

**PROVINCIA DI TERNI**



**Agenzia Umbria Ricerche**

# **Manuale tecnico**

*di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni*

**Applicabilità delle tecniche, limiti e soluzioni**

*con il patrocinio di*



**ASSOCIAZIONE  
ITALIANA  
PER LA  
INGEGNERIA  
NATURALISTICA**

## GRUPPI DI LAVORO E COMITATI TECNICI

### Gruppo di lavoro redazionale

Arch. Donatella Venti  
*Dirigente Servizio Assetto del Territorio  
della Provincia di Terni*

Dott. Geol. Federico Bazzurro  
*AUR, Responsabile e coordinatore della ricerca*

Dott. For. Fabio Palmeri  
*Esperto di Ingegneria Naturalistica*

Dott. Geol. Tonino Uffreduzzi  
*Esperto per gli aspetti geologici e territoriali*

Prof. Roberto Venanzoni  
*Esperto per gli aspetti floristico-vegetazionali,  
bioclima e suolo*

Arch. Gioia Gibelli  
*Esperto di ecologia del paesaggio -  
Vicepresidente SIEP, consulente IRRES*

### Hanno collaborato:

Dott. Alfonso Russi  
Dott. Piero Calò  
Dott.ssa Angela Balboni  
P.A. Carlo Bonelli  
Dott.ssa Chiara Zanoni  
Dott.ssa Daniela Gigante  
Dott. Francesco Vale  
Prof. Rosario Giuffrè  
Dott.ssa Sabrina Pignatelli  
Dott.ssa Sara Fusco  
Dott. Federico Sabatini

*Coordinamento editoriale:* Marcello Bruni  
*Progetto grafico, copertina, editing:* Vito Simone  
Foresi

*Elaborazioni grafiche, tabellari e impaginazione:*

Patrizia Virgili, Sara Calisi

*Supporto informatico:* Emanuele Pettini

*Segreteria di redazione:* Sara Calisi



**Provincia di Terni**  
**Servizio Assetto del Territorio - Ufficio**  
**Urbanistica**

via Plinio il Giovane, 21  
05100 Terni  
Tel. 0744 483579 - 483586  
e-mail: [ptcptr@provincia.terni.it](mailto:ptcptr@provincia.terni.it)  
[urbanistica@provincia.terni.it](mailto:urbanistica@provincia.terni.it)  
<http://www.provincia.terni.it>



**AUR**  
**Agenzia Umbria Ricerche**

Via Mario Angeloni, 78  
06124 Perugia  
Tel. 075 5045805  
Fax 075 5002905  
e-mail: [info@aur-umbria.it](mailto:info@aur-umbria.it)  
<http://www.aur-umbria.it>

*Il documento che viene qui pubblicato è stato valutato ed approvato dal Comitato Tecnico per la gestione sostenibile dell'attività estrattiva della Amministrazione Provinciale di Terni e dal Comitato Tecnico per la tutela del suolo e la Prevenzione dei rischi idrogeologici della Amministrazione Provinciale di Terni nella riunione congiunta del 22 gennaio 2003 ed è stato approvato dalla Giunta Provinciale di Terni con Delibera n. 15 del 4 febbraio 2003.*

### Comitato Tecnico per la gestione sostenibile dell'attività estrattiva

Arch. D. Venti, Provincia di Terni, Dirigente Servizio Assetto del Territorio  
Dott. A. Monsignori, Regione Umbria, Servizio Cave  
Dott. A. Salvagnini, socio esperto AIPIN  
Dott. F. Bazzurro, esperto in pianificazione e gestione attività estrattive  
Dott. S. Trastulli, esperto in pianificazione e gestione attività estrattive  
R. Biagioli, rappresentante Assocave  
Dott. L. Blois, rappresentante Associazione Piccole Industrie  
Geom. M. Battistelli, rappresentante Associazione Industriali

### Comitato Tecnico per la tutela del suolo e la prevenzione dei rischi idrogeologici

Arch. D. Venti, Provincia di Terni, Dirigente Servizio Assetto del Territorio  
Ing. S. Viali, Provincia di Terni, Dirigente Tutela dell'Ambiente  
Dott. V. Vitale, Provincia di Terni, Dirigente Gestione Faunistica  
Dott. M. Conticelli, Comunità Montana M.te Peglia e Selva di Meana  
Dott. P. Schiaroli, Comunità Montana Croce di Serra  
Dott. P. Rinaldi, Comunità Montana Valle di Nera e M.te San Pancrazio  
Geom. S. Banella, Consorzio di Bonifica Val di Chiana Romana  
Ing. G.P. Benedetti, Consorzio di Bonifica Tevere - Nera  
Ing. P. Cornolini, socio esperto AIPIN  
Dott. T. Uffreduzzi, esperto tutela del suolo e prevenzione rischi idrogeologici  
Dott. F. Palmeri, socio esperto AIPIN  
Ing. R. Spinsanti, direttore ATO, esperto idraulica



# SOMMARIO

9	PRESENTAZIONI	44	6.2.1	<i>Periodi d'intervento</i>
		44	6.2.2	<i>Limiti d'impiego</i>
		44	<b>6.3</b>	<b>Le fasi pre-progettuali</b>
		46	6.3.1	<i>Programmazione del lavoro</i>
		46	6.3.2	<i>Analisi e studi di supporto alla progettazione</i>
17	1. ORIGINE DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA	46	6.3.2.1	Cartografia
		46	6.3.2.2	Strumenti urbanistici e pianificazione
17	1.1 <b>Fonti storiche</b>	47	6.3.2.3	Studi e rilievi esistenti
17	1.2 <b>L'Ingegneria Naturalistica contemporanea dal 1945 ad oggi</b>	47	6.3.2.4	Raccolta della bibliografia
	<b>Bibliografia</b>	47	6.3.2.5	Rilievi topografici
19		50	6.3.2.6	Analisi dell'ambiente di intervento
		50	6.3.2.7	Rilievi vegetazionali
21	2. DEFINIZIONI, OBIETTIVI, FUNZIONI ED AMBITI DELL'INGEGNERIA NATURALISTICA	50	6.3.2.8	Studi idrologico-idraulici
		51	6.3.2.9	Studi geologici e geotecnici
		51	6.3.2.10	Rilievo fotografico
		51	6.3.2.11	Ulteriori dati
21	2.1 <b>Definizioni</b>	51	6.3.3	<i>Progettazione</i>
21	2.2 <b>Obiettivi</b>	52	6.3.3.1	Indagini geologiche e geotecniche
21	2.3 <b>Funzioni</b>	52	6.3.3.2	Integrazione agli studi idraulici e idrologici
22	2.4 <b>Ambiti d'intervento</b>		6.3.3.3	Studio di fattibilità ambientale (o studio d'impatto ambientale ove richiesto)
23	2.5 <b>Criteri generali</b>	57	6.3.3.4	Analisi dei suoli
25	<b>Bibliografia</b>		6.3.3.5	Analisi del clima
27	3. DEONTOLOGIA PROFESSIONALE	57	6.3.3.6	Tavole e disegni
		58	6.3.3.7	Allegati grafici e particolari costruttivi
27	<b>Premessa</b>	61	6.3.3.8	Computo metrico estimativo ed elenco prezzi unitari
27	<b>Principi generali</b>	61	6.3.3.9	Analisi prezzi e Capitolato Speciale d'Appalto
27	<b>Principi di base</b>		6.3.3.10	Percentuale manodopera
27	<b>Uso dei titoli professionali e sociali</b>	62	6.3.3.11	Piano di manutenzione
28	<b>Obblighi professionali</b>		6.3.3.12	Sicurezza
28	<b>Difesa dei membri</b>	62	<b>6.4</b>	<b>Lavori preparatori</b>
29	4. RAPPORTI TRA ECOLOGIA DEL PAESAGGIO ED INGEGNERIA NATURALISTICA	62	<b>6.5</b>	<b>Documentazione richiesta per le opere minori di Ingegneria Naturalistica</b>
		63		<b>Bibliografia</b>
		63		
		64		
32	<b>Bibliografia</b>	66		
33	5. I PROGETTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA NEL CONTESTO NORMATIVO	67		
		69	7.	<b>I MATERIALI</b>
33	5.1 <b>Introduzione</b>	69	<b>7.1</b>	<b>I materiali</b>
34	5.2 <b>Legislazione nazionale</b>	69	7.1.1	<i>Materiali vegetali vivi</i>
37	5.3 <b>Legislazione regionale</b>	69	7.1.1.1	Sementi
37	5.3.1 <i>Legislazione regionale umbra</i>	69	7.1.1.2	Semenzali
37	5.3.1.1 Riferimenti legislativi regionali	70	7.1.1.3	Talee e astoni
40	5.3.1.2 Riferimenti normativi provinciali	70	7.1.2	<i>Materiali organici inerti naturali e artificiali</i>
41	<b>Bibliografia</b>	71	7.1.2.1	Legname
43	6. METODOLOGIA DI BASE DELLA PROGETTAZIONE DI TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA	71	7.1.2.2	Bioreti e biostuoie
		72	7.1.3	<i>Materiali organici e inorganici naturali</i>
		72	7.1.3.1	Ammendanti
43	6.1 <b>Problemi operativi dell'Ingegneria Naturalistica</b>	72	7.1.3.2	Terreno vegetale
		73	7.1.3.3	Fertilizzanti e compost
43	6.2 <b>Scelta del metodo e della tipologia costruttiva di Ingegneria Naturalistica</b>	73	7.1.3.4	Pietrame
		73	7.1.4	<i>Materiali inorganici industriali</i>
		75		<b>Bibliografia</b>

## PARTE SECONDA

79	8. LE CARATTERISTICHE BIOTECNICHE DELLE PIANTE IMPIEGABILI IN INGEGNERIA NATURALISTICA	138
79	8.1 <b>Premessa</b>	
80	8.2 <b>La scelta delle specie e le caratteristiche biotecniche delle piante</b>	139
87	8.3 <b>Apparati radicali</b>	
89	8.3.1 <i>Salici</i>	
105	8.3.2 <i>Limiti per l'esecuzione di lavori con i salici</i>	
110	<b>Bibliografia</b>	139
113	9. CARATTERISTICHE TERRITORIALI DELLA PROVINCIA DI TERNI	142
113	9.1 <b>Inquadramento geografico generale</b>	142
118	9.2 <b>Aspetti geologici e geomorfologici</b>	143
118	9.2.1 <i>Geologia</i>	144
118	9.2.1.1 <i>Stratigrafia</i>	149
119	9.2.1.2 <i>Tettonica</i>	154
121	9.2.2 <i>Geomorfologia</i>	154
126	9.3 <b>Aspetti floristico-vegetazionali</b>	154
126	9.3.1 <i>Introduzione</i>	155
127	9.3.2 <i>Serie di vegetazione</i>	155
127	9.3.2.1 <i>Serie Appenninica montana mesofila neutro-basifila del faggio (Polysticho aculeati - Fageto sylvaticae sigmetum)</i>	156
128	9.3.2.2 <i>Serie Appenninica collinare mesofila neutro-basifila del carpino nero (Scutellario columnae - Ostryeto carpinifoliae sigmetum)</i>	156
129	9.3.2.3 <i>Serie Pre-appenninica collinare termofila neutro-basifila del carpino nero (Asparago acutifolii - Ostryeto carpinifoliae sigmetum)</i>	157
130	9.3.2.4 <i>Serie Pre-appenninica collinare termofila neutro-basifila della roverella (Roso sempervirentis - Quercetum pubescentis sigmetum)</i>	157
131	9.3.2.5 <i>Serie Pre-appenninica tirrenica alto-collinare mesofila subacidofila del cerro (Cephalanthero longifoliae - Querceto cerridis sigmetum)</i>	160
132	9.3.2.6 <i>Serie Pre-appenninica tirrenica basso-collinare termofila subacidofila del cerro (Erico arboreae - Querceto cerridis sigmetum)</i>	160
133	9.3.2.7 <i>Serie Pre-appenninica collinare termofila neutro-basifila del cerro (Roso sempervirentis - Querceto pubescentis quercetosus cerridis sigmetum)</i>	163
134	9.3.2.8 <i>Serie Pre-appenninica centro-italica basso-collinare subacidofila termofila del farnetto (Malo florentinae - Querceto frainetto sigmetum)</i>	165
135	9.3.2.9 <i>Serie Pre-appenninica tirrenica collinare subacidofila mesofila del cerro (Coronillo emeri - Querceto cerridis sigmetum)</i>	166
136	9.3.2.10 <i>Serie Pre-appenninica tirrenica collinare termofila neutro-basifila del cerro (Asparago tenuifolii - Querceto cerridis sigmetum)</i>	173
137	9.3.2.11 <i>Serie tirrenica mesomediterranea</i>	174

9.3.2.12	<i>Serie tirrenica mesomediterranea extrazonale edafo-mesofila neutro-basifila del leccio (Cyclamino repandi - Querceto ilicis sigmetum)</i>	175
9.3.2.13	<i>Serie centro-orientale mesomediterranea e submediterranea collinare edafo-xerofila neutro-basifila del leccio e leccete appenniniche collinari mesofile neutro-basifile (Fraxino ornì - Querceto ilicis sigmetum)</i>	175
9.3.2.14	<i>Geoserie ripariali ed edafo-igrofile azonali</i>	175
9.4	<b>Aspetti climatici</b>	175
9.4.1	<i>Clima e Bioclima</i>	175
9.4.1.1	<i>Come si misura il clima</i>	175
9.4.2	<i>Indici bioclimatici</i>	175
9.4.3	<i>Analisi bioclimatica della provincia di Terni</i>	175
9.4.3.1	<i>Carta del Fitoclima della provincia di Terni</i>	175
9.5	<b>Aspetti idrologici</b>	175
9.5.1	<i>Il reticolo idrografico</i>	175
9.5.1.1	<i>Sub-bacino 3 (fiume Nestore)</i>	175
9.5.1.2	<i>Sub-bacino 4 (fiume Topino - torrente Marroggia)</i>	175
9.5.1.3	<i>Sub-bacino 5 (fiume Tevere a monte del fiume Paglia)</i>	175
9.5.1.4	<i>Sub-bacino 6P (fiume Paglia)</i>	175
9.5.1.5	<i>Sub-bacino 6C (torrente Chiani)</i>	175
9.5.1.6	<i>Sub-bacino 7T (fiume Tevere a monte del fiume Nera)</i>	175
9.5.1.7	<i>Sub-bacino 7A (fiume Tevere tra fiume Nera e limite di provincia)</i>	175
9.5.1.8	<i>Sub-bacino 8 (fiume Nera a valle del fiume Velino)</i>	175
9.5.1.9	<i>Sub-bacino 9 (fiume Nera a monte del fiume Velino)</i>	175
9.5.1.10	<i>Sub-bacino 10 (fiume Velino)</i>	175
9.5.2	<i>I parametri idrologici</i>	175
9.5.2.1	<i>Sub-bacino 5 (fiume Tevere a monte del fiume Paglia)</i>	175
9.5.2.2	<i>Sub-bacino 6 (fiume Paglia - torrente Chiani)</i>	175
9.5.2.3	<i>Sub-bacino 7 (Tevere a monte dell'Aniene)</i>	175
9.5.2.4	<i>Sub-bacino 8 (fiume Nera)</i>	175
9.5.2.5	<i>Sub-bacino 9 (fiume Nera e fiume Corno a monte del fiume Velino)</i>	175
9.5.2.6	<i>Sub-bacino 10 (fiume Velino)</i>	175
	<b>Bibliografia</b>	
10.	STABILITÀ DEI VERSANTI IN EROSIONE CON TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA	175
10.1	<b>La stabilità dei versanti in erosione</b>	175
10.2	<b>I processi erosivi</b>	175
10.3	<b>L'Ingegneria Naturalistica nella sistemazione dei versanti</b>	175
10.4	<b>I limiti dell'Ingegneria Naturalistica nelle opere su versante</b>	175
10.4.1	<i>Campo di applicazione delle opere di copertura</i>	175
10.4.2	<i>Campo d'applicazione per le opere di stabilizzazione</i>	175

177	10.4.3	177	11.3.9
		217	11.3.9.1
180	10.4.4		
181	<b>10.5</b>	219	11.3.10
		219	11.3.11
181	<b>10.6</b>	219	11.3.12
		219	11.3.13
182	<b>10.7</b>		11.3.14
184	<b>10.8</b>	221	11.3.14.1
184	10.8.1	222	11.3.14.2
185	10.8.2	222	11.3.14.3
		223	11.3.14.4
187	10.8.2.1	223	11.3.14.5
187	10.8.2.2	223	11.3.14.6
187	10.8.3	223	<b>11.4</b>
188	10.8.4	223	<b>Parametri idraulici necessari per la</b>
			<b>realizzazione di opere di Ingegneria</b>
			<b>Naturalistica in ambito idraulico</b>
190	10.8.4.1	233	11.4.1
194	<b>10.9</b>		11.4.2
194	10.9.1	237	11.4.3
194	10.9.2		11.4.4
195	10.9.3	238	11.4.5
195	10.9.3.1	239	11.4.5.1
195	10.9.3.2	240	11.4.5.2
195	10.9.3.3	241	11.4.6
195	10.9.4	242	11.4.6.1
196	10.9.5	242	11.4.6.2
197	10.9.6	244	11.4.6.3
197	10.9.7	245	<b>11.5</b>
198	10.9.8	245	<b>Valutazione della scabrezza</b>
198	10.9.9	246	<b>in presenza della vegetazione</b>
199	10.9.10	246	<b>11.6</b>
199	<b>10.10</b>		<b>Verifica della protezione spondale</b>
200	<b>10.11</b>		<b>con tecniche di Ingegneria</b>
206	<b>Bibliografia</b>		<b>Naturalistica rispetto alle</b>
207	11.	249	<b>caratteristiche della corrente</b>
	TECNICHE DI INGEGNERIA	249	<b>11.7</b>
	NATURALISTICA DI USO FREQUENTE	249	<b>Calcolo delle tensioni</b>
	NELLA PROTEZIONE DEI CORSI	249	<b>di trascinamento</b>
	D'ACQUA	250	11.7.1
207	<b>11.1</b>		11.7.2
208	<b>11.2</b>	250	<b>11.8</b>
		251	<b>Le rampe a blocchi e rampe</b>
		251	<b>di risalita per pesci</b>
208	11.2.1	251	11.8.1
209	<b>11.3</b>	252	11.8.2
		252	11.8.3
210	11.3.1	252	11.8.4
		253	11.8.5
212	11.3.2	253	<b>11.9</b>
212	11.3.3	255	<b>Classificazione delle tecniche</b>
213	11.3.4	257	<b>di Ingegneria Naturalistica</b>
214	11.3.5	259	<b>impiegabili in ambito idraulico</b>
214	11.3.6		<b>11.10</b>
214	11.3.7		<b>Dimensionamento minimo efficace</b>
214	11.3.8		<b>e statica delle tecniche di Ingegneria</b>
214			<b>Naturalistica in ambito idraulico</b>
			<b>11.11</b>
			<b>Progettazione con criteri</b>
			<b>ecologici in ambito fluviale</b>
			<b>11.12</b>
			<b>Pianificazione dei lavori</b>
			<b>di Ingegneria Naturalistica</b>

262	<b>11.13 Corsi d'acqua in ambito provinciale</b>	318	<b>14.2 Interventi stabilizzanti</b>
268	<b>Bibliografia</b>	318	14.2.1 <i>Messa a dimora di talee</i>
271	12. <b>TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA DI USO FREQUENTE NELLE AREE ESTRATTIVE</b>	321	14.2.2 <i>Messa a dimora di arbusti ed alberi</i>
271	<b>12.1 L'Ingegneria Naturalistica e le cave</b>	324	14.2.3 <i>Trapianto di rizomi</i>
273	<b>12.2 Il recupero ambientale in cave di versante</b>	326	14.2.4 <i>Copertura diffusa</i>
273	<b>12.3 Il recupero ambientale in cave di pianura</b>	329	14.2.5 <i>Viminata viva</i>
274	<b>12.4 Siti degradati in ambito provinciale</b>	334	14.2.6 <i>Viminata viva spondale</i>
276	<b>Bibliografia</b>	338	14.2.7 <i>Graticciata</i>
277	13. <b>ALTRI AMBITI DI INTERVENTO: INFRASTRUTTURE LINEARI, ECOSISTEMI FILTRO, COPERTURE VERDI</b>	339	14.2.8 <i>Fascinata drenante su pendio</i>
277	<b>13.1 Strade, autostrade, ferrovie, canali: alterazione e distruzione degli ambienti presenti</b>	341	14.2.9 <i>Fascinata viva spondale</i>
277	13.1.1 <i>Soluzioni progettuali</i>	343	14.2.10 <i>Canaletta in legname</i>
278	<b>13.2 Ecosistemi filtro</b>	345	14.2.11 <i>Ribalta viva</i>
280	13.2.1 <i>L'Ingegneria Naturalistica quale strumento di riqualificazione e rinaturalizzazione di habitat ed ecosistemi</i>	347	14.2.12 <i>Cordonata</i>
280	13.2.2 <i>Depurazione naturale delle acque</i>	350	14.2.13 <i>Gradonata viva</i>
282	13.2.3 <i>Ingegneria Naturalistica ed ecosistemi</i>	354	<b>14.3 Interventi combinati di consolidamento</b>
284	13.2.4 <i>Le problematiche ecologiche per la scelta delle specie</i>	356	14.3.1 <i>Grata viva</i>
285	13.2.4.1 <i>Indagini botaniche per la scelta delle specie e delle tipologie vegetazionali di progetto</i>	358	14.3.2 <i>Palificata viva spondale con palo verticale frontale</i>
286	<b>13.3 Coperture verdi</b>	362	14.3.3 <i>Palificata viva spondale ad una ed a due pareti</i>
287	13.3.1 <i>Coperture per parcheggio e magazzini</i>	366	14.3.4 <i>Palificata viva di sostegno</i>
290	<b>Bibliografia</b>	369	14.3.5 <i>Palificata tipo Roma</i>
		370	14.3.6 <i>Palizzata viva filtrante</i>
		372	14.3.7 <i>Rivestimento vegetale di fossi e solchi di erosione</i>
		375	14.3.8 <i>Pennelli e repellenti vivi</i>
		377	14.3.9 <i>Gabbionata in rete metallica zincata rinverdita</i>
		380	14.3.10 <i>Materasso spondale in rete metallica rinverdito</i>
		390	14.3.11 <i>Terra rinforzata rivegetata</i>
		392	14.3.12 <i>Rampe a blocchi</i>
		405	14.3.13 <i>Briglia in legname e pietrame</i>
		407	14.3.14 <i>Briglia in terra</i>
		409	14.3.15 <i>Rullo di geotessile e rullo metallico spondali</i>
		413	14.3.16 <i>Scogliera viva</i>
		415	<b>Bibliografia</b>
<b>PARTE TERZA</b>			
293	14. <b>ELENCO DELLE TECNICHE</b>	415	15. <b>APPROFONDIMENTI TEORICO-SCIENTIFICI</b>
293	<b>14.1 Interventi antierosivi</b>	417	<b>15.1 La lettura del paesaggio vegetale</b>
293	14.1.1 <i>Semina a spaglio</i>	420	15.1.1 <i>Dinamismo della vegetazione come processo cicatrizzante</i>
294	14.1.2 <i>Semina con fiorume</i>	421	<b>15.2 La Fitosociologia applicata alle problematiche ambientali</b>
297	14.1.3 <i>Semina a paglia e bitume (sistema Schiechteln®)</i>	421	<b>15.3 La scelta e l'utilizzo delle specie vegetali</b>
297	14.1.4 <i>Semina con matrice a fibre legate</i>	421	15.3.1 <i>La flora</i>
299	14.1.5 <i>Idrosemina</i>	421	15.3.2 <i>Quali specie scegliere?</i>
301	14.1.6 <i>Idrosemina a spessore</i>	423	15.3.3 <i>Come si riconoscono le specie?</i>
303	14.1.7 <i>Supporti antierosivi di fibre naturali e sintetiche nelle semine</i>	424	15.3.4 <i>Dove possono essere reperite le specie?</i>
308	14.1.8 <i>Biotessile in juta (geojuta)</i>	424	15.3.5 <i>Note sugli aspetti geomorfologici e pedologici</i>
309	14.1.9 <i>Geocelle a nido d'ape in materiale sintetico (tipo Armater)</i>	425	<b>Bibliografia</b>
312	14.1.10 <i>Geostuoia tridimensionale materiale sintetico</i>	427	
313	14.1.11 <i>Geostuoia (o georete) tridimensionale in materiale sintetico bitumata in opera a freddo</i>		16. <b>GLOSSARIO</b>
315	14.1.12 <i>Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebitumata industrialmente a caldo</i>		
317	14.1.13 <i>Rivestimento vegetativo in rete metallica a doppia torsione e geostuoia tridimensionale</i>		

**L**e metodologie e le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, sono, al contempo, strategiche e qualificanti per il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Terni, in quanto strumento essenziale e fondamentale per l'attuazione di interventi di bonifica dei dissesti.

*Ciò acquista ancor più valore per un piano che ha l'ambizione di essere non solo piano paesistico ma anche strumento concreto di attuazione delle politiche di sviluppo sostenibile.*

*Il manuale in oggetto, in tal senso, specifica, descrive e prescrive, in attuazione del PTCP, le tecniche relative agli interventi manutentivi, a quelli volti alla regimentazione e rinaturalizzazione dei corsi d'acqua, alla mitigazione degli impatti legati alla realizzazione di infrastrutture, al risanamento dei versanti e al recupero ambientale delle aree degradate da fenomeni naturali o da interventi antropici.*

*Le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica costituiscono modalità ottimali di intervento da applicarsi su tutto il territorio provinciale da parte di tutti i soggetti coinvolti a vario titolo nelle progettazioni e nella pianificazione, al fine di caratterizzare gli interventi come fattori a basso impatto ambientale e compatibili con le esigenze di tutela del paesaggio e dei suoi ecosistemi. L'obiettivo è quindi duplice: da un lato tutelare, mantenere e conservare le caratteristiche originarie dei territori, dall'altro ripristinare, ove necessario, situazioni compromesse a causa di interventi degradanti per l'ambiente.*

*In questo contesto si inseriscono anche le nuove funzioni caratterizzanti la Provincia nel nuovo assetto federale, trasferite dallo Stato e dalla Regione in materia di formulazione di indirizzi tecnico-amministrativi per la progettazione, esecuzione e manutenzione delle opere pubbliche, con particolare riferimento alla difesa idrogeologica, alle sistemazioni forestali, ai risanamenti spondali, proseguendo per la regimazione e la rinaturalizzazione dei corsi d'acqua, fino ad arrivare al recupero delle aree in degrado.*

*Il Manuale di Ingegneria Naturalistica, è, in questa ottica, uno strumento fortemente innovativo e propedeutico a una nuova visione della pianificazione che configura una visione del nostro territorio più consona ad uno sviluppo, la cui necessità è innegabile, ma che deve essere compiuto nel rispetto di criteri ambientalmente compatibili.*

Prof. Fabio Paparelli  
Assessore all'Urbanistica  
della Provincia di Terni

**A**ll'interno del percorso di formazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale i principi alla base delle tecniche dell'Ingegneria Naturalistica sono stati assunti come uno degli elementi guida, nella convinzione che il Piano dovesse dedicare una particolare attenzione non solo all'individuazione delle strategie di sviluppo più coerenti con i caratteri ambientali e paesaggistici del territorio, ma anche all'introduzione di elementi qualitativi all'interno della progettazione, alle diverse scale di intervento.

Si era infatti consapevoli che una efficace politica di tutela del paesaggio e dell'ambiente dovesse prevedere sia forme di conservazione attiva delle caratteristiche peculiari degli ambiti territoriali provinciali, che interventi specifici tesi a ripristinare situazioni di degrado, sia locali che generalizzate. Inoltre, per la gestione della valenza paesistica del Piano Provinciale l'adozione di queste tecniche poteva fornire un rilevante supporto operativo al consolidamento della linea di pianificazione ecologica intrapresa dal Piano stesso.

Di concerto con le Comunità Montane e gli Enti di Bonifica, all'interno di un apposito gruppo tecnico di lavoro, le metodologie e le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica sono state quindi individuate come le modalità ottimali di intervento, da adottarsi su tutto il territorio provinciale, in quanto caratterizzate da un basso impatto ambientale e pienamente compatibili con la tutela del paesaggio e degli ecosistemi, e come procedure operative ottimali per l'attuazione degli interventi legati al dissesto idrogeologico, in aree soggette a rischio o caratterizzate da fenomeni di degrado spondale; dalle Norme di Attuazione del PTCP inoltre esse sono state rese obbligatorie in alcune unità di paesaggio ad alta valenza ambientale e paesaggistica per l'esecuzione di interventi di bonifica dei dissesti, per la manutenzione, la regimazione e la rinaturalizzazione dei corsi d'acqua, la mitigazione degli impatti legati alla realizzazione di infrastrutture, il risanamento dei versanti ed il recupero ambientale delle aree degradate da fenomeni naturali o da interventi antropici.

Altro aspetto di rilevante valore sul fronte della tutela ambientale è quello relativo alla scelta fatta di individuare le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica come procedure operative ottimali per l'attuazione degli interventi di ripristino morfologico e recupero ambientale dei siti estrattivi oggetto di coltivazione, ampliamento, riattivazione, recupero e riambientamento. L'adozione di tali tecniche costituisce un preciso vincolo progettuale e un fattore preferenziale per la valutazione positiva della compatibilità ambientale dell'intervento in progetto da parte della Provincia.

*A livello generale questa scelta progettuale operata dal PTCP coinvolge sia i singoli Uffici Provinciali che operano in materia di difesa del suolo, di tutela dell'ambiente, di pianificazione del territorio, di viabilità e di gestione ittico-faunistica, sia le Comunità Montane, i Consorzi di Bonifica ed i Comuni della Provincia, nonché gli altri Enti pubblici che, secondo le loro competenze, svolgono interventi nel settore della tutela del suolo e la prevenzione dei rischi geologici. Gli stessi criteri di indirizzo e linee di intervento costituiscono anche un definito vincolo a livello progettuale e un preciso riferimento per la valutazione delle opere e degli interventi nel settore da eseguirsi a cura di altri soggetti pubblici e privati. Al fine di dare continuità a questa politica, più attenta nei confronti degli elementi costitutivi degli ecosistemi e delle relazioni intercorrenti fra loro, queste tecniche vengono previste e adottate nelle fasi di pianificazione, programmazione, progettazione, approvazione, esecuzione e collaudo di ogni intervento.*

*Nel Piano è contenuto un primo elenco delle tipologie degli interventi adottabili e di quelle non adottabili nonché l'indicazione di altri specifici settori di progettazione in cui utilizzare preferibilmente le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica.*

*La pubblicazione del presente Manuale di Ingegneria Naturalistica costituisce pertanto un importante strumento di riferimento per la realizzazione delle opere non solo in quanto raccolta sistematica degli assunti teorici e delle relative tecniche, ma soprattutto in quanto descrittivo delle modalità di intervento consigliabili nelle condizioni geo-climatiche, morfologiche, pedologiche e vegetazionali del territorio regionale.*

Arch. Donatella Venti  
Coordinatore del PTCP  
della Provincia di Terni

***I**l presente volume rappresenta un importante precedente in campo nazionale italiano in quanto è il primo manuale di Ingegneria Naturalistica promosso da una Provincia come quella di Terni dotata per di più di una normativa specifica riguardante il settore. In realtà, per il livello ed i contenuti specifici la sua validità è chiaramente meritevole di rango nazionale per tutte le regioni a territorio montano dell'Italia Centrale.*

*Notevoli sono gli spunti originali degli autori rispetto ad altri manuali esistenti e ottima la puntualizzazione di definizioni, obiettivi, funzioni, in rapporto con altre discipline parallele.*

*Molto interessante il rilievo dato ad alcuni argomenti sinora poco rappresentati in altri manuali, tra cui: le manutenzioni intese nel vero senso della parola, cioè di interventi periodici su opere realizzate; le caratteristiche biotecniche delle specie legate agli apparati radicali; la parametrizzazione delle capacità di resistenza delle piante.*

*Questo manuale rappresenta un determinante passo avanti nel compimento di quella che può essere considerata la prima fase conoscitiva e di divulgazione dell'Ingegneria Naturalistica in Italia, proiettando gli utenti dello stesso nella dimensione dell'applicazione.*

*Si aprono viceversa i capitoli della sperimentazione dal vivo, del monitoraggio dei risultati, della ricerca finalizzata, della produzione di specie autoctone di arbusti, ma anche di specie erbacee attingendo in particolare a quei serbatoi genetici che sono le aree protette.*

*Senza questi affinamenti di metodi e materiali non potrà progredire in Italia la seconda fase relativa alle tecniche di rinaturalizzazione ed Ingegneria naturalistica nel vero senso del termine, che mira come noto alla ricostituzione di ecosistemi oltre che alla stabilizzazione e consolidamento.*

*Dovrà nel frattempo comunque proseguire la formazione professionale e la messa a punto di normative e documenti tecnici sempre più dettagliati e di livello avanzato per portare a regime in tutti i settori pubblici e privati l'applicazione delle tecniche naturalistiche.*

*Con questo manuale la Provincia di Terni e gli Autori hanno dato un grosso contributo allo stato dell'arte ed al processo dinamico di ottimizzazione sopracitato che rientra tra l'altro in pieno nelle attività portate avanti anche dall'Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica.*

Dott. Giuliano Sauli  
Presidente nazionale AIPIN



**I**l Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica della Provincia di Terni è uno dei risultati del proficuo rapporto di collaborazione tra l'Agenzia Umbria Ricerche e la Provincia di Terni, in modo particolare con il Servizio Assetto del Territorio, sviluppatosi a partire dal 1997 con il contributo dato dall'allora IRRES agli studi di settore ed alla redazione degli aspetti territoriali-ambientali del PTCP.

*Il rapporto è proseguito negli anni, grazie all'apporto di ricercatori ed esperti, con la redazione di ricerche sinergiche tese all'elaborazione di strumenti conoscitivi e gestionali della pianificazione territoriale e ambientale provinciale, anche in settori molto specifici e innovativi quali l'Ingegneria Naturalistica o l'Ecologia del Paesaggio.*

*La redazione del Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica è temporalmente coincisa con la nascita dell'AUR dall'esperienza dell'IRRES, una trasformazione che è consistita anche nell'acquisizione di un diverso ruolo che oggi, oltre alla raccolta e analisi dei dati e redazione di ricerche sull'andamento e trasformazione delle strutture socio-economiche e territoriali, affida all'Agenzia il compito di finalizzare tali studi al supporto dell'elaborazione delle politiche regionali.*

*In questa diversa veste si conferma la validità del contributo che l'Agenzia può dare all'Ente provinciale, anche in relazione ai nuovi assetti istituzionali che si stanno disegnando; una continuità del lavoro, quindi, per contribuire alla redazione di strumenti, quale è il Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica che, oltre ad avere un elevato contenuto scientifico e conoscitivo, è sicuramente un indispensabile strumento di attuazione e gestione delle politiche nell'ambito della pianificazione ambientale e territoriale.*

Dott. Stefano Patriarca  
Direttore dell'Agenzia  
Umbria Ricerche



## **PARTE PRIMA**

---

**Avvertenza per il lettore**

*L'elenco delle pubblicazioni riportato al termine di ogni capitolo è da considerarsi quale bibliografia principale di riferimento relativamente allo specifico argomento trattato.*

### 1.1 Fonti storiche

L'Ingegneria Naturalistica come disciplina è relativamente recente, anche se le prime esperienze affermate mediante relazioni, rapporti e pubblicazioni sono ascrivibili a partire già dall'Ottocento ed in particolare nell'area alpina di lingua tedesca (Austria, Svizzera).

Ricordiamo Besser (1820) per la sistemazione di torrenti in montagna con la tecnica delle viminate (anche se tale tecnica era già conosciuta molto tempo prima poiché negli insediamenti celtici ed illirici veniva utilizzata come recinzione, sostegno di muri e protezione dei fossi; Schiechtel, 1973).

P. Demontzey (1880) ha descritto per la prima volta, nel suo libro *Studi sui lavori di riforestazione e rinverdimento delle montagne*, la cordonata ideata da Couturier (1880), denominata di seguito "cordonata sec. Couturier", impiegata, soprattutto in Francia ed in Italia, per il rimboschimento di pendii sassosi e di colate di fango tramite l'impiego di piantagione del tipo a siepe-cespuglio (ovvero senza l'utilizzo di talee con capacità vegetativa). Demontzey osservò che nel caso di particolari situazioni di pendio instabile minacciato da fenomeni di franamento, sarebbe stato necessario rinforzare le cordonate con talee di salice; questa possibilità fu recepita da Praxl (1954), in caso di sistemazione di grandi frane. Dato che l'impiego delle talee si dimostrò comunque esile, Praxl rinforzò la banchina costruendovi al di sotto un basamento con ramaglia di conifere creando così un nuovo tipo di cordonata, ovvero la cordonata su base di ramaglia sec. Praxl (1954) (Schiechtel, 1973).

A seguito di una ricerca bibliografica (AA.VV., 2001- *Interventi di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*) sono emerse testimonianze di sistemazioni idraulico-forestali (Cornelini, Menegazzi, 2001) sul complesso craterico Somma-Vesuvio a seguito di "lave di fango" connesse all'eruzione del 1906. Vi sono testi come *La sistemazione idraulica forestale dei monti Somma e del Vesuvio dal 1° luglio 1906 al 30 giugno 1913* del sotto-ispettore forestale Pietro Lacava e *La bonifica e la sistemazione idraulica dei torrenti del Somma e del Vesuvio* dell'ingegner Riccardo Simonetti ("Giornale del Genio Civile", 1912), che descrivono interventi, di sistemazione e manutenzione montana, provvedimenti legislativi, mezzi finanziari e organizzativi, ecc. Questi testi mettono in evidenza come gli effetti delle eruzioni furono catastrofici per la zona colpita e, come furono altrettanto vasti i provvedimenti di con-

trollo del materiale piroclastico sciolto, tramite molteplici provvedimenti di sistemazione forestale con tecniche naturalistiche estensive, dal trattenimento di materiali eruttati sulle pendici e nelle gole, al consolidamento e alla sistemazione delle frane verificatesi. L'Ufficio forestale di Caserta eseguì, in via sperimentale, alcune opere di tipo difensivo: fascinate nelle zone a monte, mentre, ai piedi delle pendici furono costruite delle graticciate (per deboli pendenze), briglie in legname e/o pietrame e fascinate (con forte pendenza).

Queste pubblicazioni d'inizio Novecento (Cornelini, Menegazzi, 2001), dimostrano una notevole esperienza nell'utilizzo di alcune tecniche antierosive superficiali, stabilizzanti e consolidanti (semine e trapianto di zolle di specie erbacee, fascinate, graticciate, briglie in legname e pietrame) e che oggi, con maggiore attenzione alla parte "viva", inseriamo tra quelle proprie dell'Ingegneria Naturalistica.

### 1.2 L'Ingegneria Naturalistica contemporanea dal 1945 ad oggi

Furono in particolare degli operatori forestali (ispettori) appartenenti alla Pubblica Amministrazione che nell'ambito dei loro incarichi iniziarono a sperimentare, valutare, codificare e consolidare alcune tipologie e criteri d'intervento basati sull'impiego di materiale vivente (piante) e/o naturale (legname, pietre).

Tali tecnici, tra i quali si possono ricordare Krauedener (1951), Hassenteufel (1954), Seifert (1965), Prückner (1965) per citarne alcuni, operarono a lungo nei territori montani, in compiti in genere collegati alla problematica della lotta all'erosione ed al consolidamento dei versanti, maturando delle significative esperienze, che trovano riscontro anche nella bibliografia specializzata.

Più recentemente la divulgazione di questi temi ha ricevuto un notevole impulso da alcune pubblicazioni specifiche sia a carattere generale che legate ad esempi operativi puntuali. Tra le prime vanno citate *Ingenieurbiologie* (Krauedener, 1951), *Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau* (Schiechtel, 1973), *Naturnhaer Erdbau mit Ingenieurbiologischen Bauweisen* (Schiechtel - Stern, 1992), *Die Weiden in der Praxis* (Schiechtel, 1992); pubblicazioni a carattere specifico illustranti le problematiche concrete, affrontate secondo i principi dell'Ingegneria Naturalistica, sono ormai numerose tanto in Italia che all'estero. Pare importante soffermarsi su due elementi. In primo luogo ricordare il ruolo

fondamentale che ha svolto nel consolidamento scientifico e nella divulgazione dell'Ingegneria Naturalistica il professor Hugo Meinhard Schiechl. Austriaco, il professor Schiechl operò dapprima come tecnico dell'Amministrazione forestale occupandosi di interventi di consolidamento mediante l'impiego di piante vive nella lotta all'erosione. In seguito operò come ingegnere naturalista e consulente libero professionista maturando significative esperienze anche nel settore dei rinverdimenti di opere strutturali, in particolare nelle costruzioni stradali.

È grazie a lui se le esperienze portate avanti da Seifert e Kruedener in Germania, da Hassenteufel ed altri in Austria e da Hofmann in Italia, sono state sottoposte ad una verifica sistematica ed attraverso la ricerca e la sperimentazione si sono individuati nuovi criteri d'intervento, ma in particolare sono state gettate le basi per indagini analitiche sulle attitudini biologiche delle singole specie vegetali impiegate in questi lavori. Nel 1973, anno di pubblicazione del primo manuale *Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau* sopra citato, viene infatti tradotto dal tedesco anche in italiano con il titolo *Bioingegneria forestale*, seguito dalla pubblicazione in Italia di altri testi inerenti lo stesso argomento (Dragogna, Watschinger, Schiechl).

Nel panorama storico dell'Ingegneria Naturalistica possiamo ricordare date come quella del 1972, in cui si è assistito alla fondazione negli Stati Uniti della International Erosion Control Association (IECA), e quella del 1978 in cui l'Azienda Speciale Bacini Montani dell'Alto Adige, grazie all'attività di F. Florineth avviava una serie di interventi sistematici di Ingegneria Naturalistica in zona montana e alpina.

Nel 1980 è stata fondata in Germania la Gesellschaft für Ingenieurbiologie, a cui hanno fatto seguito, a partire dal 1983, numerosi congressi con specifiche relazioni sull'Ingegneria Naturalistica.

È a partire dal 1984 che, si è verificato anche in Italia un primo vero approccio alla materia con l'esecuzione di interventi in cave e strade (Sauli), in zona pedemontana (Provincia Autonoma di Trento, Carbonari, Mezzanotte) e con pubblicazioni specifiche sul tema dell'Ingegneria Naturalistica (Florineth, Sauli, Kipar). A partire dal 1988 in Italia sono state emanate una serie di normative in campo ambientale ed in particolare sull'impatto ambientale, che prevedevano in maniera più o meno esplicita l'inserimento sistematico in alcune tipologie progettuali di interventi di Ingegneria Naturalistica. Nella legge n. 102 del 2 maggio 1990 per la Valtellina, all'articolo 6 viene citato per la prima volta ed in modo esplicito il termine "tecniche di bioingegneria".

Nel 1989 è stata fondata in Italia la Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica (AIPIN), presieduta dal professor Giuliano Sauli.

L'AIPIN si afferma rapidamente per il numero

dei soci e soprattutto per la qualità delle iniziative svolte.

Le prime pubblicazioni scientifiche in lingua italiana sono comparse nel 1990 sulla rivista "Acer", ed oggi sono diverse le realtà editoriali che s'interessano di Ingegneria Naturalistica. Nel 1990 sono stati adottati dalla Regione Sicilia, dalla Regione Basilicata e dalla Provincia Autonoma di Bolzano, i primi capitolati sulle opere di Ingegneria Naturalistica.

La definizione di Ingegneria Naturalistica "nasce" nello stesso anno, in occasione del Primo Congresso di Ingegneria Naturalistica a Torino. Nel corso del tempo, a questa iniziativa pilota ne sono seguite altre come: seminari, escursioni tecniche guidate, workshop, ecc.

Sono stati istituiti, inoltre, alcuni Comitati Tecnici AIPIN, quali: "Glossario", "Capitolato", "Codice deontologico", "Interferenze faunistiche", "Geotecnica-idraulica", "Ecosistemi filtro". Con il 1993 sono iniziate le attività dei Comitati "Glossario" e "Capitolato" dell'AIPIN, che hanno portato alla redazione dell'elenco preliminare delle principali tecniche di Ingegneria Naturalistica e all'unificazione della nomenclatura tecnica, nonché alla redazione delle voci di capitolato relative a circa 100 tecniche d'intervento. Dal 1993 sono stati redatti i primi manuali tecnici di Ingegneria Naturalistica, nati dalla collaborazione tra i professionisti e le Regioni (Regione Emilia-Romagna, Regione Veneto).

Come "pietre miliari" che trattano l'Ingegneria Naturalistica, è doveroso citare tre opere di H.M. Schiechl, ovvero *I salici nell'uso pratico* del 1992, *Ingegneria Naturalistica. Manuale delle opere in terra* (pubblicato insieme a Stern) sempre nel 1992 e *Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche* (ancora con Stern) del 1994.

Nel 1995 il Ministero dell'Ambiente ha tradotto le schede tecniche del Cantone di Berna *Opere di Ingegneria Naturalistica sulle sponde* e nel 1997, ha presentato la pre stampa delle *Linee guida per i capitolati speciali per interventi di Ingegneria Naturalistica e lavori di opere a verde*, redatte in collaborazione con il Comitato Tecnico "Capitolato" dell'AIPIN.

Tra il 1994 e il 1995 è stato costituito il Gruppo Interregionale di Lavoro sui Recuperi Ambientali e l'Ingegneria Naturalistica e realizzato il primo video sulle tecniche di Ingegneria Naturalistica.

È del 1996 la prima edizione del *Dictionary of Soil Bioengineering* (Oplatka - Diez - Leuzinger - Palmeri - Dibona - Frossard, 1996) in quattro lingue (inglese, tedesco, francese ed italiano) "dei termini di Ingegneria Naturalistica intesa in senso lato e comprendente vari settori, come l'idraulica, le costruzioni in terra, la geomorfologia, l'ecologia, ecc."

Sono questi gli anni delle grandi ed importanti collaborazioni con altre associazioni sia di livello nazionale sia internazionale, come la Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA), l'AIVEP, la Federazione delle Associazioni Professionali Ambiente e Paesaggio (FEDAP), il

World Wildlife Fund (WWF), ecc. e con Enti Pubblici come Ministeri, Regioni, Università. Nel 1995 è stata costituita la Federazione delle Associazioni Professionali Ambiente e Paesaggio (FEDAP) e nel 1996 a Vienna la Federazione Europea per l'Ingegneria Naturalistica (EFIB), la quale raccoglie tutte le associazioni e federazioni europee che si occupano di Ingegneria Naturalistica, diventando punto di incontro e confronto per numerosi professionisti europei ed extraeuropei.

A livello europeo possiamo segnalare presso l'Università di Vienna, il primo Istituto di Ingegneria Naturalistica, diretto da F. Florineth (1994), mentre nello stesso anno veniva costituita in Spagna la Federacion de Ingenieria del Paisaje" (AEIP), organizzatrice di molti ed interessanti congressi sul tema.

Nel 1997, sempre a Vienna veniva fondata la Österreichischer Ingenieurbiologischer Verein. Il diffondersi dell'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica sia nelle progettazioni sia nelle realizzazioni degli interventi, ha portato nel 1996 all'istituzione da parte dell'AIPIN di un elenco nazionale di soci AIPIN esperti in materia di Ingegneria Naturalistica e di un elenco delle ditte qualificate nell'esecuzione di lavori di Ingegneria Naturalistica, nella produzione di materiale vivaistico e nella commercializzazione di prodotti da impiegare in opere di Ingegneria Naturalistica.

Il 1997 ha visto nascere la Scuola Nazionale per l'Ingegneria Naturalistica all'interno dell'AIPIN, l'adozione del "Codice deontologico e forme di tutela professionale" a livello nazionale e l'elaborazione ad opera del Comitato Tecnico Tariffario del "Tariffario per la determinazione dei compensi per le prestazioni professionali per incarichi di Ingegneria Naturalistica" che viene approvato dall'Assemblea straordinaria AIPIN il 3 luglio, dello stesso anno.

È del 1998 l'emanazione della legge quadro coordinata con le modifiche introdotte dal DLgs A. S. 2288, art. 2, ("Ambito oggettivo e soggettivo di applicazione della legge", che cita: "Ai sensi e per gli effetti della presente legge e del regolamento di cui all'articolo 3, comma 2, si intendono per lavori pubblici, se affidati dai soggetti di cui al comma 2 del presente articolo, le attività di costruzione, demolizione, recupero, ristrutturazione, restauro e manutenzione di opere ed impianti, anche di presidio e difesa ambientale e di Ingegneria Naturalistica"), in materia di lavori pubblici "Testo coordinato DL 11 febbraio 1994, n. 109" nota come "Merloni ter"; del 1999 il DPR 21 dicembre '99, n. 554 "Regolamento di attuazione delle legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni".

Nel 1999 è stato istituito un gruppo di lavoro tra Associazione Idrotecnica Italiana (AII), Associazione Geotecnica Italiana (AGI), Associazione Italiana Pedologi (AIP), AIPIN Sezione AGI/IGS Roma, SIGEA, TERR.A Centro studi Idraulici per l'ambiente. Il gruppo di lavoro così costituito, si occupa principalmente della

terminologia e delle tariffe professionali nei settori della rinaturalizzazione, dell'Ingegneria Naturalistica e della difesa del suolo.

Infine, anche a testimonianza dei passi in avanti nel settore della ricerca teorica ed applicata in Ingegneria Naturalistica, non vanno dimenticate le più recenti pubblicazioni di testi, CD-Rom e manuali sull'Ingegneria Naturalistica a partire da U. Schlüter con *Planze als Baustoff* (1996); *Opere e tecniche d'Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale*, a cura della Regione Liguria - Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo; il CD-Rom realizzato nel 1999 dalla Comunità Montana del Casentino (Arezzo) Servizio Centro Risorse Educative e Didattiche (CRED) dal titolo *Ingegneria Naturalistica. Un'eredità per il futuro*; il CD-Rom *Ingegneria Naturalistica* realizzato da AIPIN Sezione Bolzano - Alto Adige (2001); *Tecniche naturalistiche nella sistemazione del territorio* di A. Carbonari e M. Mezzanotte, della Provincia Autonoma di Trento - Servizio Ripristino e Valorizzazione Ambientale e Servizio Foreste (1993, 1995 e 2000); *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1: Processi territoriali e criteri metodologici* (2000), a cura della Regione Toscana - Dipartimento Politiche Territoriali e Ambientali e *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 2: Sviluppo e applicazioni in Toscana* (2001), anch'esso a cura della Regione Toscana - Dipartimento Politiche Territoriali e Ambientali fino al recentissimo *Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico*, a cura della Regione Lazio - Dipartimento Ambiente e Protezione Civile (2002), supportato di videocassetta dal titolo *Ingegneria Naturalistica. Applicazione di tecniche a basso impatto ambientale* (dicembre 2001) con consulenza tecnico-scientifica di Naturstudio, Università della Tuscia e con il patrocinio tecnico-scientifico dell'AIPIN di Trieste.

## Bibliografia



Cornellini P., Menegazzi G., 2001  
*Tecniche d'Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio: esperienze del presente e del passato*, in *Interventi d'Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*, a cura di Carlo Bifulco- Parco Nazionale del Vesuvio.

Demontzey P., Seckendorff A., 1880  
*Studien über die Arbeiten der Wiederbewaldung und Berasung der Gebirge*, Carl Gerold Verlag, Wien, 379 S.

Hassenteufel W., 1954  
*Die Bedeutung der Pflanzensoziologie für die Wildbach - und Lawinenverbauung Festschrift Aichinger*, I Bd., Sonderdruck der "Angewandten Pflanzen-soziologie".

Kraudener A., 1951  
*Ingenieurbiologie*, Verlag Ernst Reinhardt, Monaco.

- Lucchetta A., 1994  
*Ingegneria Naturalistica: origine, evoluzione e prospettive*, atti del "Corso di formazione professionale in ingegneria naturalistica" promosso da Regione del Veneto - Dipartimento Foreste, Belluno.
- Praxl V., 1954  
*Verbauung und Begrünung von Moränenabbrüchen in Vorarlberg*, Vereinszeitschr. Der Dipl. Ing. der Wildbachverbauung, H. 5.
- Prückner R., 1965  
*Die Technik der lebendverbauung*, Österr. Agreverlag, Wien.
- Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2002  
*Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico nella regione Lazio*, Regione Lazio, Roma.
- Schiechtl H.M., 1973  
*Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau*, Verlag G. D. V., Callwey, Monaco.
- Schiechtl H.M., 1992  
*Die Weiden in der Praxis*, Verlag Patzer, Berlino-Hannover.
- Schiechtl H.M., Stern R., 1992  
*Naturnhaer Erdbau mit Ingenieurbiologischen Bauweisen*, trad. it. *Manuale delle opere in terra*, Edizione Castaldi, Feltre (BL).
- Schlüter U., 1996  
*Planze als Baustoff. Ingenieurbiologie in praxis und umwelt*, Patzer Verlag, 1996.
- Seifert A., 1965  
*Naturferner und naturnaher Wasserbau*, Montana Verlag, Zürich.
-



## 2.1 Definizioni

L'Ingegneria Naturalistica è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive o parti di esse nella realizzazione di interventi particolarmente efficaci per la sistemazione dei corsi d'acqua, delle loro sponde e dei versanti, limitando l'azione erosiva degli agenti meteorici, di scarpate e superfici degradate da fattori naturali (dissesto idrogeologico) o antropici (cave, discariche, opere infrastrutturali). Tali tecniche sono caratterizzate da un basso impatto ambientale e si basano essenzialmente sulle caratteristiche biotecniche di alcune specie vegetali, caratteristiche sintetizzabili principalmente nella capacità di sviluppo di un considerevole apparato radicale e nell'elevata capacità di propagazione vegetativa.

Queste qualità sono direttamente funzionali ad un'efficace azione di trattenimento delle particelle di terreno e ad una più veloce e diffusa ricolonizzazione vegetale di ambienti degradati dall'intervento umano. A questi materiali vivi possono poi essere affiancati sia materiali biodegradabili di origine naturale (legname, piante o loro parti, talee, fibre di cocco, juta, paglia, legname, biostuoie, ecc.) che altri materiali quali pietrame, ferro o prodotti di origine sintetica in diverse combinazioni (geotessili, ecc.), che consentano un consolidamento duraturo delle opere.

I principali sinonimi possono essere:

- *Ingegneria Naturalistica nelle costruzioni in terra* = sistemazione a verde;
- *Ingegneria Naturalistica nelle costruzioni idrauliche* = sistemazione in vivo.

In Svizzera è definita anche come "sistemazione in verde ed in vivo".

Come termini sostitutivi generali, nella Repubblica Federale Tedesca sono d'uso comune le definizioni di "costruzioni in vivo" o "sistemazioni in vivo", ma anche di "tecnica vegetazionale".

Sono impiegati i termini:

- *Ingegneria*, in quanto si utilizzano dati tecnici e scientifici a fini costruttivi, di consolidamento ed antierosivi;
- *Naturalistica*, in quanto tali funzioni sono legate ad organismi viventi, in prevalenza piante di specie autoctone, con finalità di ricostruzione d'ecosistemi naturaliformi ed all'aumento della biodiversità.

## 2.2 Obiettivi

L'utilizzo di queste tecniche punta, sostanzialmente, alla ricostituzione di nuove unità

ecosistemiche (biosistemi naturaliformi) in grado di autosostenersi mediante processi naturali, con positive ripercussioni sulle caratteristiche geopedologiche, idrogeologiche, idrauliche, vegetazionali, faunistiche e paesaggistiche del territorio.

L'Ingegneria Naturalistica consente, infatti, di effettuare tutta una serie di operazioni in difesa del territorio, per la conservazione del suolo, soprattutto in funzione dell'erosione, causa/effetto fondamentale del lento e progressivo depauperamento dei suoli. A più vasta scala l'Ingegneria Naturalistica ha come obiettivo l'aumento della complessità e della diversità/eterogeneità del "sistema di ecosistemi", innescando quindi un processo evolutivo che porti ad un equilibrio dinamico in grado di garantire un livello più elevato di metastabilità nonché un miglioramento della qualità del paesaggio. Altro obiettivo dell'ingegneria naturalistica è quello di permettere in alcuni casi l'aumento della connettività (connessione reale) della circuitazione (connessione potenziale) nel sistema di ecosistemi, oltre che di aumentarne nel complesso la biopotenzialità.

## 2.3 Funzioni

Le principali funzioni dell'Ingegneria Naturalistica possono essere sintetizzate nei punti che seguono.

- *Funzione ecologica*, di creazione e/o ricostruzione di ambienti paranaturali o naturaliformi. Non si tratta di un semplice intervento di rinverdimento e di piantagione, ma di un innesco di processi ecosistemici, di diminuzione del deficit di trasformazione: le tecniche di Ingegneria Naturalistica sono in grado di modificare la scala temporale, entro cui si compie la successione naturale, accorciandola significativamente; un aspetto rilevante per la riuscita di alcuni recuperi ambientali e nell'attuazione di interventi di *restauration ecology*. Tra le funzioni ecologiche principali si ricorda il miglioramento delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno e dei corsi d'acqua, il recupero di aree degradate, lo sviluppo di associazioni vegetali autoctone, la realizzazione di macro- e microambienti naturali divenuti ormai sempre più rari, l'aumento della biodiversità locale e territoriale.
- *Funzione tecnica*, di consolidamento del terreno, copertura del terreno, riduzione dell'erosione spondale, protezione del terreno dall'erosione, sistemazione idrogeologica ed aumento della ritenzione delle precipitazioni meteoriche, miglioramento del drenaggio.

- *Funzione estetico-paesaggistica*, di ricucitura al paesaggio percepito circostante; “rimarginazione delle ferite” del paesaggio, inserimento di opere e costruzioni nel paesaggio, protezione dal rumore.
- *Funzione socio-economica*, relativa al beneficio sociale indotto, alla gestione economica delle risorse naturali ed al risparmio ottenibile rispetto alle tecniche tradizionali sui costi di costruzione e di manutenzione di alcune opere; questa funzione viene realizzata quando tutto il processo è a regime, ovvero è funzionante e collaudato e i diversi attori coinvolti, sia pubblici sia privati, compiono correttamente le rispettive funzioni.
- *Funzione di sviluppo dell'occupazione* nelle aree collinari e montane o depresse in genere.

## 2.4 Ambiti d'intervento

Le tecniche di Ingegneria Naturalistica possono essere applicate nei seguenti settori:

- tutela del suolo, in generale: sistemazione di frane, consolidamento, bonifica e riqualificazione ecologica di versanti naturali soggetti a dissesti idrogeologici;
- sistemazioni idrauliche spondali: consolidamento e riqualificazione ecologica di sponde di corsi d'acqua, laghi ed invasi; di sponde soggette ad erosione con contestuale rinverdimento; costruzione di briglie e pennelli; creazione di rampe di risalita per l'ittiofauna; realizzazione di ambienti idonei alla sosta ed alla riproduzione degli animali; rinaturalizzazione di dighe in terra;
- sistemazione di porti, coste, stabilizzazione dune costiere; ricostruzione barene lagunari: consolidamento dei litorali soggetti ad erosione e assestamento delle dune;
- progettazione di opere di mitigazione ed esecuzione di sistemazioni temporanee o permanenti di aree di cantiere;
- consolidamento e stabilizzazione delle scarpate in ambito stradale e ferroviario:
  - riqualificazione ecologica di rilevati e trincee delle infrastrutture;
  - realizzazione di barriere e rilevati vegetali antirumore, fasce di vegetazione tampone: messa in opera di barriere vive e mascheramenti vegetali; messa in opera di barriere antirumore mediante rilevati rinverditi; messa in opera di barriere vegetali per combattere la diffusione di polveri ed aerosol;
- costruzione di vasche di sicurezza ed ecosistemi filtro a valle di scarichi idrici;
- ricostruzione di habitat, consolidamento e riqualificazione ecologica di versanti denudati derivanti da azioni di progetti infrastrutturali (spalle di dighe, portali di gallerie, ecc.);
- realizzazione di nuove unità ecosistemiche in grado di aumentare la biodiversità locale o territoriale e/o di offrire fruizioni di tipo naturalistico;
- realizzazione di nuove strutture ambientali in grado di garantire la permanenza e la mobilità della fauna protetta (ad esempio scale di risalita per pesci, sovrappassi o sottopassi per fauna, recinzioni);
- ripristino di aree attraversate da metanodotti e condotte interrate;
- interventi di riqualificazione di aree destinate a interporti, centrali elettriche, insediamenti industriali;
- ripristino di cave e discariche: consolidamento e riqualificazione ecologica dei fronti di cava e delle discariche;
- realizzazione di coperture verdi (edilizia, industria): dal verde pensile alla riduzione delle superfici impermeabilizzate.

Come si può notare dal precedente elenco, l'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica è esteso su più fronti; questo spiega la diffusione di tali tecniche, anche in relazione all'affermarsi degli standard ambientali derivanti dalla diffusione delle procedure di VIA a tutti i livelli amministrativi (VIA regionale, VIA nazionale) ed a tutti i livelli progettuali (Sauli, 2002). Entro il filone dell'Ingegneria Naturalistica si possono ulteriormente delineare tre settori, spesso presenti contemporaneamente durante la fase operativa (si veda il “Codice deontologico AIPIN”):

- la *rinaturalizzazione* (si veda il glossario riportato alla fine del testo), ovvero la costituzione di biotopi o ecosistemi paraturali, non collegata ad interventi funzionali anche se talvolta realizzata quale “opera di compensazione”;
- l'Ingegneria Naturalistica in senso stretto, ovvero la realizzazione di sistemi antierosivi, realizzati con piante vive abbinate ad altri materiali, talvolta alternati ad opere realizzate in calcestruzzo;
- i provvedimenti per la fauna ed in particolare quelli per garantire la continuità degli habitat (rampe di risalita per i pesci, sottopassi per anfibi, ecc.) (Cornellini, Sauli, 2002).

Schematicamente si possono elencare i settori tecnico-scientifici di analisi, dai quali si ricavano elementi che sono utilizzati normalmente in un progetto di Ingegneria Naturalistica (da *Manuale di Ingegneria Naturalistica della Regione Lazio*, 2002):

- Geolitologia, Geomeccanica;
- Geomorfologia, Idrologia;
- Pedologia;
- Topoclima, Microclima;
- Vegetazione:
  - serie dinamiche potenziali:
  - elenco floristico specie stadio corrispondenti:
    - 1) *arbusti*;
    - 2) *suffrutici*;
    - 3) *erbacee*:
      - a) graminacee
      - b) leguminose
- Geotecnica, verifica statica;
- Verifica idraulica;
- Biotecnica specie vegetali;

- Interferenza con dinamismi faunistici;
- Tecnologia dei materiali.

Dopo aver spiegato che cosa si intende per Ingegneria Naturalistica ed elencato quali sono i suoi obiettivi, i suoi ruoli ed i suoi ambiti d'applicazione si ritiene opportuno segnalare una non corretta interpretazione di tale disciplina, con la quale si sostiene come non si possano considerare opere di "pura" ingegneria naturalistica quelle come, ad esempio, la gabbionata rinverdita, la terra rinforzata o la briglia in terra. A rigore, tali opere, secondo questa interpretazione, potrebbero essere definite opere di "ingegneria a ridotto impatto ambientale".

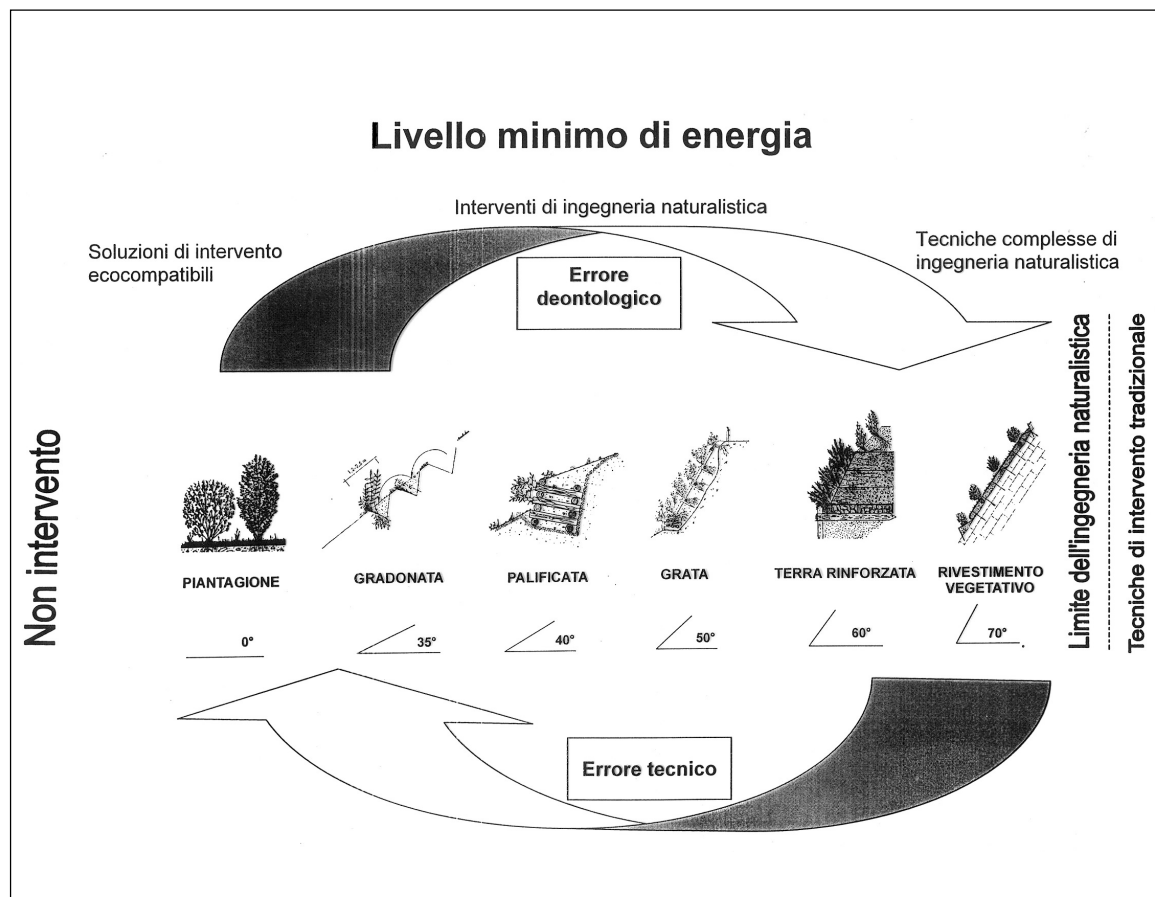
Gli autori del presente scritto non si trovano d'accordo con quanto sopra riportato, in quanto essi considerano queste opere ascrivibili a pieno titolo tra quelle di Ingegneria Naturalistica, riferendosi a quanto definito dall'indiscusso padre della disciplina, Hugo Meinhard Schiechl.

## 2.5 Criteri generali

Nelle fasi di programmazione pianificazione, progettazione, esecuzione e collaudo degli interventi e delle opere relative alla tutela del suolo e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per la mitigazione degli impatti derivanti dalla realizzazione di opere ed infrastrutture, vengono adottati i seguenti criteri generali:

- Impiegare la minima tecnologia necessaria per la risoluzione del problema (*legge del minimo*; cfr. **fig. 2.1**). Non sono ammesse opere sovradimensionate o comunque opere a complessità eccessiva rispetto al problema da risolvere, né tantomeno opere sottodimensionate. È opportuno evidenziare che l'Ingegneria Naturalistica non può essere considerata la soluzione a tutti i problemi legati al degrado ambientale ed idrogeologico, in quanto diversi casi devono necessariamente essere affrontati con tecniche di ingegneria classica, se non si rende, addirittura, necessario evitare qualsiasi tipo d'intervento. Agli estremi del campo d'azione in cui è possibile intervenire con tecniche di Ingegneria Naturalistica si collocano, da un lato il "non intervento" (da prendere sempre in considerazione come alternativa possibile), lasciando all'evoluzione dei fenomeni naturali il recupero o la sistemazione dell'area e dall'altro i limiti tecnico-operativi imposti all'Ingegneria Naturalistica, oltre i quali le soluzioni proposte non sono efficaci e pertanto si rende necessario ricorrere ad altre soluzioni tecniche. Si vuole comunque ribadire che l'Ingegneria Naturalistica rappresenta un formidabile strumento per aiutare la natura a ricostruire gli equilibri naturali nelle aree in dissesto, a proteggere le superfici denudate mediante la vegetazione, i suoli, il paesaggio, gli ecosistemi. Per i motivi sopra esposti è essenziale che vengano privilegiate

**Fig. 2.1** - Schema che illustra la "legge del minimo"



tali tecniche in tutti i casi in cui l'Ingegneria Naturalistica può essere validamente impiegata per il corretto riordino del territorio e in un quadro generale di tutela dinamica, per uno sviluppo sostenibile e duraturo. Nella **figura 2.1** è illustrato il criterio da seguire quando si dispone un intervento di Ingegneria Naturalistica: si commette un errore tecnico quando le opere che devono essere impiegate per il consolidamento di un versante o di una sponda sono sottodimensionate rispetto al reale problema esaminato o che si vuole risolvere; si compie, al contrario, un errore deontologico quando si impiegano opere ad elevata stabilità e complessità per territori in cui non c'è una reale emergenza e per i quali sarebbe sufficiente, per la risoluzione del problema, adottare una tecnica meno complessa e molto probabilmente, più economica e compatibile con l'ambiente.

Per un buon intervento di Ingegneria Naturalistica è quindi necessario:

- individuare, caso per caso, la tecnica idonea alla risoluzione del problema che richieda il minimo impiego di materiale, sia naturale che sintetico, prediligendo i materiali biodegradabili e le opere più semplici;
- conformare i progetti nel campo specifico della forestazione, alle norme ed alle soluzioni della selvicoltura naturalistica;
- programmare, progettare e realizzare gli interventi in materia di tutela del suolo e di prevenzione dei rischi idrogeologici anche in funzione della salvaguardia e della promozione della qualità dell'ambiente;
- adottare metodi di esecuzione tali da compromettere nella maniera minima possibile e comunque in modo non irreversibile le funzioni biologiche dell'ecosistema in cui si va ad operare, compatibilmente con il soddisfacimento delle necessarie condizioni di sicurezza e di efficacia, rispettando i valori ambientali, ecologici e paesaggistici;
- sviluppare una progettazione caratterizzata da una spiccata valenza interdisciplinare/transdisciplinare attraverso analisi di tipo geologico, geomorfologico, geotecnico, idrologico, idraulico, floristico-vegetazionale e faunistico, riferite ad ambiti territoriali adeguatamente estesi intorno all'area di interesse;
- esaminare, in particolare, per gli interventi in ambito fluviale la portata, la dinamica del trasporto solido e la pendenza del corso d'acqua in esame, per un tratto significativo, al fine di verificare la fattibilità dell'intervento in ordine anche a possibili alterazioni negative del naturale deflusso delle acque e delle condizioni complessive di equilibrio del corso d'acqua stesso;
- esaminare, in particolare per gli interventi in ambito di versante e di ripristino cave, le diverse condizioni di stabilità, i parametri geotecnici (peso di volume, angolo d'attrito, coesione), la messa in sicurezza di tutta l'area tramite operazioni di disaggio, riprofilatura, messa in opera di sistemazioni idrauliche per

i drenaggi, la migliore strategia di recupero ambientale per ottenere la massima diversità biologica e morfologica, diversificando, ad esempio, quanto più possibile i fronti di scavo e seguendo le forme naturali del terreno;

- prestare particolare attenzione e cura al recupero ambientale, nelle fasi di progettazione e di esecuzione dell'intervento, puntando a ricostituire gli elementi naturali che caratterizzano, o caratterizzavano, l'ecosistema presente nell'ambito interessato dall'intervento, stabilendone specificatamente le modalità ed i tempi di esecuzione;
- impiegare il più possibile il materiale vegetale presente in area di cantiere, conservandolo scrupolosamente all'inizio delle operazioni di cantiere per un suo reimpiego.

I progetti relativi alle opere con tecniche di Ingegneria Naturalistica sono redatti dal progettista, sulla base di un approfondito studio dell'assetto locale, delle caratteristiche delle componenti ambientali presenti e degli obiettivi dell'intervento, con l'individuazione delle metodologie che meglio rispondono ai necessari criteri di efficacia, compatibilità ambientale ed economicità dell'opera.

Le Amministrazioni, da parte loro, dovranno provvedere alla produzione di materiale vivaistico di specie vegetali idonee (preferibilmente autoctone) da impiegarsi nelle opere di Ingegneria Naturalistica o all'individuazione dei "giacimenti vegetali", o verdi, per permettere la raccolta delle grandi quantità di talee che sono necessarie per la realizzazione di tali opere. In sede di collaudo deve essere verificato anche lo stato di ripristino dei luoghi al contorno dell'opera e l'efficacia complessiva dell'intervento con particolare riferimento al recupero delle condizioni di naturalità.

Al fine di garantire il rispetto dei criteri previsti dalle presenti linee di indirizzo il soggetto realizzatore degli interventi deve avvalersi del supporto di tecnici qualificati: forestale, ingegnere, geologo, biologo, agronomo, ecc.

Come accennato e spesso evidenziato nei testi di Ingegneria Naturalistica questa disciplina non permette la risoluzione di tutte le problematiche, sia di versante che idrauliche che di qualità delle acque, o legate all'inquinamento acustico, ecc.

Pertanto è opportuno conoscere i limiti d'applicazione di ogni tecnica impiegata e delle piante utilizzate per la loro realizzazione, è fondamentale avere una buona conoscenza delle caratteristiche biotecniche.

È per questo motivo che risulta molto importante la programmazione e l'azione di monitoraggio delle opere di Ingegneria Naturalistica, un'attività che consente di confrontare le esperienze facendo crescere l'intera attività operativa e di ricerca nel settore. Poiché si tratta di interventi che spesso vengono previsti anche a scala di bacino o regionale è quindi, opportuno prevedere:

- l'inserimento di tali tecniche ai diversi livelli di programmazione e pianificazione;

- l'uniformità degli *iter* autorizzativi;
- la disposizione di un censimento dei giacimenti vegetali, di salici soprattutto, e l'*iter* autorizzativo semplificato per il loro prelievo;
- la precisazione di modalità esecutive uniformi e la codifica, per quanto possibile, delle tipologie di Ingegneria Naturalistica, anche per tematismi (strate, corsi d'acqua, ecc.);
- il *censimento* delle opere di Ingegneria Naturalistica già realizzate, con evidenziazione delle tipologie, della loro localizzazione, del loro numero e del loro stato;
- la redazione, conservazione ed aggiornamento di *schede sintetiche* (archivio descrittivo) per ogni singolo intervento (in particolare, indicando nella scheda tutti gli elementi fondamentali dell'intervento come l'anno di realizzazione, il costo dell'opera, le specie impiegate, comprese anche le indicazioni riguardo alle manutenzioni previste ed effettuate);
- la *georeferenziazione* degli interventi realizzati, con l'inserimento degli stessi in sistemi informativi territoriali (GIS/SIT) esistenti o prevedendo la predisposizione di una specifica banca dati geografica delle opere di Ingegneria Naturalistica, laddove questi sistemi non siano ancora disponibili;
- la *realizzazione* nell'ambito del Sistema Informativo Territoriale (SIT) di un database per la gestione delle opere (a livello d'interventi previsti e di manutenzione): necessità, scadenze temporali di tali azioni, efficacia delle azioni di manutenzione, ecc.;
- il *monitoraggio della stazione* (parametri climatici, pendenza, esposizione, portata, trasporto solido, ecc.) *ante operam* (prima della realizzazione dell'opera);
- il *rilievo dei tempi e dei costi* e delle modalità esecutive, durante la fase di esecuzione e di cantiere (monitoraggi *in operam*);
- il *monitoraggio socio-economico* (occupazione creata, aumento della qualificazione della manodopera locale, garanzia di continuità di lavoro);
- il *monitoraggio post operam* (ad opera terminata) nel breve periodo;
- il *monitoraggio della qualità delle opere e del raggiungimento degli obiettivi previsti* (sviluppo degli apparati epigei e ipogei delle piante in tempi definiti, successo delle piantagioni e relativa densità, verifica delle deformazioni delle opere, ecc.);
- il *monitoraggio dell'impatto ambientale* (creazione di un'associazione vegetale di qualità, successo ecologico, ecc.) *post operam* nel lungo periodo;
- la *realizzazione di celle frigorifere* per rendere disponibile una certa quantità di talee in periodo non idoneo alla loro piantagione e, la realizzazione di vivai di Ingegneria Naturalistica per la produzione di piante;
- la programmazione degli interventi su base stagionale; infatti è stato constatato (Schiechtl, 1973) che tutti gli interventi che si basano sull'impiego di piante legnose dotate di capacità vegetativa, sono effettuati nel modo mi-

gliore durante il riposo vegetativo. Nelle condizioni climatiche dell'Europa Alpina Centrale, l'inizio del riposo invernale è in genere ancora più favorevole (autunno) rispetto alla fine del riposo invernale (primavera). Per questo motivo si devono tenere in considerazione i periodi di crescita e sviluppo della vegetazione utilizzata, al fine di rendere il più lungo possibile il periodo in cui è possibile impiegare le tecniche di Ingegneria Naturalistica.

Un fattore che non va tralasciato in quest'ottica è dato dall'altitudine della zona soggetta ad intervento: infatti si impiegheranno le suddette tecniche nei mesi più caldi a quote più elevate, per favorire un migliore attecchimento delle piante. Al contrario, per lo stesso scopo, a quote più basse è preferibile lavorare nei mesi più freddi, che sono generalmente caratterizzati da flussi d'aria relativamente più caldi.

Vista la crescente applicazione di queste tecniche costruttive e considerato che la loro efficacia sul lungo periodo è l'aspetto fino ad ora meno conosciuto, risulta strategico passare ad una fase di ricerca anche attraverso il monitoraggio delle opere, che consenta di approfondire le conoscenze di tutti quegli aspetti che nell'Ingegneria Naturalistica sono ancora poco investigati e noti.

Tra questi aspetti ricordiamo ad esempio:

- le caratteristiche biotecniche delle piante utilizzate in questi interventi: il loro approfondimento consentirebbe di stabilire quali delle specie vegetali autoctone siano in grado di assolvere al meglio alla funzione di stabilizzazione delle sponde e dei versanti, o di miglioramento della qualità delle acque;
- l'effettiva capacità tecnica delle piante di trattenere il terreno e di resistere a sollecitazione;
- l'efficacia nel tempo delle opere di Ingegneria Naturalistica non solo dal punto di vista tecnico, ma anche ecologico;
- il monitoraggio dei parametri che influenzano direttamente le opere (caratteristiche stagionali) ed i tempi e costi di realizzazione delle stesse.

## Bibliografia



AA.VV., 1994

Atti del "Corso di formazione professionale in Ingegneria Naturalistica" promosso dalla Regione del Veneto, Belluno.

Schiechtl H.M., Stern R., 1992

*Ingegneria Naturalistica. Manuale delle opere in terra*, Edizioni Castaldi, Feltre (BL).

Schiechtl H. M., 1973

*Bioingegneria Forestale. Basi, materiali da costruzione vivi, metodi*, Edizione Castaldi, Feltre (BL).

Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2002

*Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico nella regione Lazio*, Regione Lazio, Roma.



Le regole comportamentali di riferimento per i professionisti e per tutti coloro che si occupano degli interventi di Ingegneria Naturalistica, sono consultabili nel Codice Deontologico dell'AIPIN.

**Codice deontologico e forme  
di tutela professionale  
dell'Associazione Italiana  
Per l'Ingegneria Naturalistica**

*(approvato dall'Assemblea generale  
ordinaria del 21 febbraio 1997)*

### Premessa

Il termine "Ingegneria Naturalistica" viene inteso come equivalente del tedesco *Ingenieurbiologie*. Per Ingegneria Naturalistica s'intende la disciplina tecnico-naturalistica che utilizza:

- tecniche di rinaturalizzazione finalizzate alla realizzazione di ambienti idonei a specie o comunità vegetali e/o animali;
- le piante vive, o parti di esse, quali materiali da costruzione, da sole o in abbinamento con altri materiali;
- materiali, anche solo inerti, infrastrutture ed altri provvedimenti volti a fornire condizioni favorevoli alla vita di specie animali.

Vengono impiegati i termini: "ingegneria" in quanto si utilizzano dati tecnici e scientifici a fini costruttivi, di consolidamento ed antierosivi; "naturalistica" in quanto tali funzioni sono legate ad organismi viventi, in prevalenza piante di specie autoctone, con finalità di ricostruzione di ecosistemi tendenti al naturale ed all'aumento della biodiversità.

### Principi generali

**Art. 1** - Il Codice Deontologico dell'AIPIN (di seguito denominato Codice) ha lo scopo di precisare, secondo un modello etico di comportamento comune, i diritti e i doveri dei soci AIPIN nell'esercizio della loro attività professionale nel campo dell'ingegneria naturalistica.

**Art. 2** - Sono tenuti all'osservanza del presente Codice, ivi compresa la premessa, tutti i soci AIPIN nell'attività professionale, sia tecnica che didattica, che culturale. L'accettazione del Codice è condizione per l'appartenenza all'Associazione.

**Art. 3** - Il socio è tenuto ad osservare tutti i provvedimenti generali e particolari approvati dall'Assemblea e dal Consiglio Direttivo (CDN).

### Principi di base

**Art. 4** - Il socio AIPIN si adopera in tutte le sedi e, in particolare in quella progettuale, per la priorità delle finalità naturalistiche degli interventi. L'impiego di tecnologia e materiali non naturali è possibile nei casi di necessità strutturale e/o funzionale normalmente in abbinamento con materiale vivente. Deve comunque essere adottata la tecnologia meno complessa a pari risultato, considerando anche l'ipotesi del non intervento.

**Art. 5** - Il socio AIPIN deve agire sempre con integrità scientifica, diligenza e onestà riconoscendo nella caratterizzazione interdisciplinare dell'Ingegneria Nutaralisatica i limiti della propria competenza professionale, ricorrendo all'altrui competenza nelle attività professionali che la richiedano. In tali casi deve risultare chiaramente l'apporto di ciascuno.

**Art. 6** - Le tecniche di Ingegneria Naturalistica riconosciute dall'AIPIN sono quelle elencate nelle "Voci di Capitolato" dal Comitato Tecnico "Capitolato"; aggiunte e aggiornamenti vengono sottoposti al Comitato Tecnico stesso e ratificati dal CDN.

### Uso dei titoli professionali e sociali

**Art. 7** - I soci AIPIN possono fregiarsi di tale titolo accompagnato dalla rispettiva qualifica (aderente, effettivo, ecc.).

**Art. 8** - I soci AIPIN non possono usare il logo dell'Associazione su loro carta intestata o per loro altri fini privati.

**Art. 9** - L'uso dei titoli derivanti dalle cariche sociali (presidente, vicepresidente, segretario, ecc.) è ammesso:

- all'interno dell'Associazione;
- nei comunicati ufficiali dell'Associazione;
- quando si rappresenta in veste ufficiale l'Associazione;
- nel proprio curriculum vitae.

**Art. 10** - L'uso improprio dei titoli di cui ai precedenti articoli costituisce infrazione alle presenti norme.

## Obblighi professionali

**Art. 11** - Il rapporto con il committente è di natura contrattuale e deve essere improntato alla massima lealtà e correttezza ed espletato secondo scienza, coscienza e diligenza.

Il socio AIPIN deve instaurare un rapporto fiduciario con il committente eseguendo esattamente e diligentemente l'incarico conferitogli. Deve tutelare altresì gli interessi del committente nel miglior modo possibile, purché questo non contrasti con quelli della collettività, dello stesso oggetto di intervento o con la sua professionalità, o il prestigio dell'Associazione.

**Art. 12** - Nel caso in cui le soluzioni tecniche indicate dal committente e/o imposte da organi di controllo contrastino con le finalità dell'Ingegneria Naturalistica, il socio dovrà fare opera di sensibilizzazione presso il committente al fine di introdurre *in toto* o in parte tecniche di Ingegneria Naturalistica. Qualora ciò non sia possibile il socio, per l'opera in oggetto non potrà fregiarsi del titolo di appartenenza all'Associazione.

**Art. 13** - Il socio è tenuto al segreto professionale. In particolare non deve divulgare a terzi informazioni riguardanti il lavoro proprio e/o di altri soci senza autorizzazione degli interessati compresa la committenza.

**Art. 14** - Il socio deve astenersi in ogni circostanza da apprezzamenti denigratori nei confronti di un altro socio, in particolare quando ne prosegua opera iniziata ed interrotta.

**Art. 15** - Il socio in caso di assunzione di un incarico già affidato ad altro socio AIPIN deve preventivamente accertarsi presso il collega che non sussistano ancora rapporti relativi a detto incarico.

**Art. 16** - Il socio AIPIN non deve sottostare ad alcuna forma di pressione che possa condizio-

nare la sua imparzialità, integrità o il suo giudizio professionale.

**Art. 17** - Il socio AIPIN deve cercare di fornire il più alto livello professionale in ogni situazione o contingenza. Deve inoltre curare particolarmente il proprio aggiornamento professionale per garantire una elevata qualità nello svolgimento dell'incarico affidatogli.

**Art. 18** - Per le sue attività professionali nel campo della rinaturalizzazione e dell'Ingegneria Naturalistica il socio dovrà attenersi ai tariffari predisposti dall'associazione ove esistenti, che comunque non dovranno essere in contrasto a quelli dell'ordine e/o collegio professionale di appartenenza. L'inosservanza dei minimi e massimi stabiliti costituisce infrazione al Codice. La rinuncia totale o parziale al compenso è consentita in casi eccezionali e per comprovate motivazioni.

## Difesa dei membri

**Art. 19** - L'AIPIN si impegna a difendere e sostenere i soci oggetto di accuse ingiustificate sull'osservanza del presente Codice.

**Art. 20** - L'AIPIN si impegna a difendere e sostenere i soci sottoposti a pressioni e/o condizionamenti da parte del committente e/o datore di lavoro con lo scopo di ostacolare il normale esercizio della (loro) professione.

**Art. 21** - Qualora un socio ritenga di promuovere azioni legali contro un altro socio per motivi professionali nell'ambito dell'Ingegneria Naturalistica deve preventivamente informare il Collegio dei Probiviri e il CDN per esplorare la possibilità di dirimere in via pacifica la vertenza sulla base di quanto esposto dallo Statuto, dal Regolamento e dal presente Codice.

**Art. 22** - Il presente Codice è costituito da una premessa e 22 articoli.



Una delle cause dell'aumento di conflittualità nel rapporto tra uomo e natura negli ultimi decenni, è da ricercarsi nella sempre maggiore specializzazione degli usi del territorio antropizzato. Da numerose osservazioni delle trasformazioni avvenute sul territorio dal XVIII secolo in avanti, risulta che le superfici utilizzate dall'uomo sono rimaste arealmente pressoché invariate nel tempo.

Ciò che si è modificato sensibilmente, soprattutto nelle zone più intensamente popolate, sono invece le modalità d'uso del territorio che hanno generalmente determinato un'accentuazione del contrasto tra elementi antropici e naturali, con una sensibile diminuzione dell'eterogeneità funzionale degli ecotopi.

A questo processo ha contribuito notevolmente l'eliminazione degli elementi di naturalità diffusi nel territorio antropico. L'aumento di contrasto, accompagnato alla semplificazione delle funzioni degli ecosistemi (fenomeno assai comune nei paesaggi antropizzati europei), conduce ad una specializzazione spinta delle tessere che compongono il mosaico ambientale, aumentandone la fragilità e diminuendone le interazioni esistenti e potenziali, nonché la possibilità di fruizione delle stesse da parte di più popolazioni (animali e vegetali). Ciò comporta inoltre una generale diseconomia nell'utilizzo del territorio disponibile.

Per richiamare un esempio noto, l'agricoltura tradizionale consente un'organizzazione del territorio favorevole sia all'utilizzo da parte dell'uomo che alla frequentazione di un gran numero di specie animali che trovano, ad esempio, nelle siepi l'*habitat* ottimale. Inoltre il sistema di campi chiusi può costituire un elemento di transizione tra la città e i sistemi naturali con funzione di filtro e di mitigazione dei disturbi reciproci. La perdita diffusa dell'agricoltura tradizionale ha condotto ad una generalizzata banalizzazione del sistema paesaggistico, non compensata da alcun sistema alternativo.

Il contrasto sempre più spinto tra paesaggio antropico e naturale, prodotto dalle modifiche delle attività umane, è acuitizzato da certe modalità gestionali che vedono una netta separazione tra i due tipi di paesaggio: la protezione totale delle oasi naturali da una parte (con la tendenza a isolarle completamente dalla presenza umana) e l'eliminazione progressiva di ciò che è naturale dalle aree occupate dall'uomo dall'altra (che vede la cronica carenza di spazi verdi nelle città, l'eliminazione di elementi naturali dalla campagna soprattutto in pianura e nei fondovalle la canalizzazione e cementificazione dei corsi d'acqua, ecc.).

Questa scelta gestionale risulta altamente squilibrata, perché impedisce quella complementarietà tra natura ed artificio che ha consentito la coevoluzione dei nostri paesaggi nei secoli, risultati da una stratificazione di usi e di invenzioni subordinata alle condizioni esistenti, alle risorse del tessuto originario e alle interazioni con gli ecosistemi naturali. Ricordiamo infatti l'affermazione di Zev Naveh (1994) che intende la biosfera come *total human ecosystem*, e l'uomo come una delle tante popolazioni interagenti con l'ambiente, e non come qualcosa di estraneo ai processi naturali.

È quindi opportuno soffermarsi su alcune considerazioni riguardanti i rapporti tra il paesaggio antropico e quello naturale prima di inoltrarsi nell'argomento principale del presente testo.

I processi fondamentali che dominano l'evoluzione di un dato territorio si possono sintetizzare in tre tipi fondamentali: geofisico-climatici, adattativi, inventivi (Ingegnoli, 1993). I primi influenzano prevalentemente il substrato abiotico e la vegetazione, i secondi la vegetazione e gli animali (uomo compreso), i terzi appartengono tipicamente all'uomo. La prevalenza di uno dei tre tipi di processi, e la presenza relativa degli altri due, permettono di classificare il paesaggio secondo diversi gradi di naturalità: il dominio dei processi di tipo inventivo è caratteristico di un sistema prevalentemente antropico, il dominio di uno degli altri due tipi di processi è caratteristico di sistemi prevalentemente naturali a vari stadi di naturalità (dove prevalgono i processi adattativi in presenza dell'uomo si ha comunque una dominanza dei processi "naturali" su quelli tipicamente antropici).

Peraltro si osservi come anche nei sistemi naturali la componente "inventiva" possa essere presente, a patto che sia subordinata al dominio degli altri due tipi di processi nella trasformazione e gestione del territorio.

Da quanto detto si deduce che la "naturalità" è legata ai tipi di processi presenti, più che alla storia dei processi: se in un'area, correttamente progettata e gestita dall'uomo, dopo un primo periodo iniziale a connotazione inventiva, dominano i processi di tipo geofisico-climatico e/o adattativo, possiamo avere un grado di naturalità maggiore rispetto a quello riscontrabile in un'area seminaturale da secoli, in cui esista un conflitto tra i diversi tipi di processi, che non consenta una normale evoluzione del sistema. Ciò sottolinea l'importanza della rinaturazione di aree antropizzate o degradate secondo criteri che tendano ad innescare

processi di tipo naturale (che tengano quindi conto della capacità di evoluzione dei suoli, della successione vegetazionale, della fauna potenziale, dei rapporti tra queste componenti e dei legami con gli ecosistemi adiacenti), e non intraprendere rinverdimenti generici o lasciare che la natura agisca spontaneamente: troppo spesso infatti la natura da sola non trova condizioni idonee ad evolversi.

Parlando di conservazione della natura è bene considerare quanto detto, perché interventi recenti di rinaturazione, se effettuati con criteri corretti, possono produrre potenzialità naturali maggiori di situazioni soggette a rinaturazione spontanea o di altre lasciate indisturbate dall'uomo, ma condizionate da fattori limitanti determinanti.

Anche il regime di disturbi è utile ai fini della valutazione della naturalità del paesaggio. Più l'antropizzazione è spinta, maggiore è il controllo dei disturbi di tipo naturale da parte dell'uomo, fino alla quasi totale eliminazione dei disturbi a bassa e media frequenza, intensità ed estensione. Negli ecosistemi antropici rimangono in genere incontrollati i disturbi ad alta frequenza, intensità ed estensione, che facilmente si acuiscono in risposta all'eliminazione dei bassi e medi regimi (è significativo il fatto che, anche in questo caso, assistiamo ad un aumento del "contrasto"): ciò determina una maggiore fragilità del sistema.

Nei paesaggi naturali invece, il regime dei disturbi entra a far parte dell'equilibrio metastabile ed è componente fondamentale dell'organizzazione stessa del territorio: c'è infatti la presenza di disturbi a tutti i livelli e tale presenza concorre all'evoluzione del sistema di ecosistemi aumentando la metastabilità. Da questa riflessione appare significativa l'opportunità di aumentare la presenza dei disturbi a basso regime nei tessuti antropici ai fini di aumentarne le possibilità di equilibrio: ad esempio rinaturare i corsi d'acqua restituendo all'acqua aree esondabili, inserire aree verdi in città per modificare il microclima).

Quanto detto si inserisce nel dibattito sulla conservazione della natura, intesa non solo in riferimento alla tutela di aree naturalistiche, ma quale condizione fondamentale al mantenimento degli equilibri dei paesaggi in genere. In questo senso la conservazione è legata sia al mantenimento che alla ricostruzione degli elementi naturali all'interno del tessuto antropico, alle loro modalità distributive e alle interazioni reciproche.

Un moderno approccio alla conservazione attiva della natura, non prevede infatti il solo mantenimento degli ecosistemi naturali esistenti, ma anche l'esecuzione d'interventi migliorativi e di rinaturazione e necessita di principi teorici e metodi scientifici su cui basare le scelte progettuali e di strumenti tecnici atti a trasformare in realtà ciò che la teoria suggerisce.

I rapporti tra teoria e possibilità applicative sono molto stretti, sia in relazione alla fattibilità e realizzazione degli obiettivi teorici stessi, sia

in relazione alle verifiche sui processi indotti da opere di rinaturazione di vario genere, che possono avere ricadute impensabili a priori. In pratica esiste l'esigenza di instaurare processi di verifica continua e interattiva tra teoria, ipotesi di lavoro, realizzazioni ed evoluzione di quanto realizzato.

Alla luce di quanto affermato, Ecologia del Paesaggio ed Ingegneria Naturalistica si pongono come discipline di base fondamentali e complementari ai fini della pianificazione, progettazione integrata e dei controlli di interventi finalizzati alla conservazione della natura.

Per comprendere il rapporto tra le due discipline è necessario prima di tutto dare alcune definizioni.

L'Ecologia del Paesaggio è la disciplina che studia il paesaggio come livello biologico di organizzazione della vita, la cui parte applicativa riguarda l'Ecologia applicata e la Pianificazione territoriale. L'Ecologia del Paesaggio dovrebbe essere considerata uno specifico capitolo dell'"Ecologia integrata" (Ingegnoli, 1997).

Tale definizione risulta ancora provvisoria e necessita di ulteriori approfondimenti e confronti. Concetto base della definizione data è quello di *paesaggio*, tuttora in evoluzione e oggetto di studio e discussione a livello internazionale. In questo contributo si considera una delle definizioni più diffuse, quella formulata da Forman e Godron (1986), modificata da Ingegnoli (1993) secondo la quale il paesaggio è un "sistema di ecosistemi interagenti che si ripetono in un intorno".

Questa definizione ha delle implicazioni notevoli rispetto allo studio del paesaggio e alle applicazioni che ne conseguono: studiare il paesaggio significa relazionarsi con un altissimo grado di variabilità, da quella relativa alle componenti e fattori che costituiscono gli ecosistemi, alle interazioni e al regime di disturbi che ne modificano continuamente struttura e funzioni, ai rapporti gerarchici di scala spazio-temporale che condizionano l'evoluzione del paesaggio, e cambiano al variare dei fenomeni in gioco.

Le finalità dell'Ecologia del Paesaggio nei confronti della conservazione sono:

- fornire principi, criteri teorici di riferimento e metodologie di studio del paesaggio;
- fornire diagnosi ambientali anche con il supporto di indici e modelli quantitativi opportuni;
- fornire modelli sintetici predittivi;
- indirizzare le scelte di conservazione e di gestione del territorio;
- fornire controlli sulle trasformazioni pianificate.

In particolare per quanto riguarda principi e criteri, riteniamo opportuno accennarne alcuni tra quelli che riteniamo maggiormente innovativi nei confronti della conservazione delle risorse naturali:

- la visione sistemica del paesaggio impone di considerare i sistemi naturali in rapporto a quelli antropici per metterne in luce le reci-

proche influenze e da queste derivare criteri di gestione che superino il concetto tradizionale di tutela; introduce inoltre la scala temporale come dimensione fondamentale dei sistemi paesistici, indirizzando verso un approccio di tipo dinamico e puntualizzando come i *deficit* di trasformazione possano essere gravemente condizionati da tempi più o meno lunghi;

- i concetti di “eterogeneità” e di “coevoluzione” ribaltano i tradizionali criteri di valutazione delle tessere del mosaico paesistico, imponendo una rivalutazione degli elementi di basso stadio successionale in rapporto al mosaico ambientale;
- la teoria delle dinamiche *sink/source*, inserisce l'importanza delle dimensioni e della distribuzione delle tessere del mosaico ambientale dipendentemente dalla loro funzione dominante, riconoscendo talvolta valore strategico a tessere apparentemente poco importanti.

L'Ingegneria Naturalistica è invece, come già si è detto, una disciplina tecnico-scientifica, e fornisce tecniche di costruzione con materiale vegetale vario, che può essere abbinato ad altri materiali (legno, pietrame, reti zincate, geotessili, biostuoie, ecc.) dipendentemente dalle esigenze del sito.

Queste tecniche, se opportunamente impiegate, spesso sono indispensabili per raggiungere determinati obiettivi di rinaturazione a diverse scale spazio-temporali.

Gli obiettivi devono però essere ben chiari ed individuati attraverso metodi di studio che integrino i diversi aspetti che costituiscono il paesaggio.

L'Ingegneria Naturalistica, invece, viene, talvolta considerata come il rimedio generalizzato per il recupero di aree degradate, secondo l'ottica che un qualsiasi rinverdimento sia la miglior soluzione di tutti i problemi ambientali.

In realtà, nonostante le due discipline possano sembrare a prima vista molto distanti, operano semplicemente a due livelli diversi: l'Ecologia del Paesaggio a livello di studio, di valutazione e di pianificazione dei sistemi di ecosistemi e l'Ingegneria Naturalistica a livello di esecuzione delle linee guida che sono state individuate nella pianificazione.

Non è quindi, a nostro avviso, compito dell'Ingegneria Naturalistica verificare la compatibilità ambientale di un'opera, ma è compito specifico della disciplina dell'Ecologia del Paesaggio verificare, sulla base degli obiettivi da perseguire:

- la possibilità di realizzare l'intervento secon-

**Tab. 4.1 - Diffusione e complementarietà tra Ecologia del Paesaggio e Ingegneria Naturalistica**

Ecologia del Paesaggio	Ingegneria Naturalistica
<b>Fornisce:</b> principi e metodologie di studio del sistema paesistico da considerarsi prodromico per interventi a scala di unità territoriale (bacino, corso d'acqua, unità di paesaggio, ecc.) e comunque indispensabili per centrare l'obiettivo di massima efficienza ecologica degli interventi previsti.	<b>Fornisce:</b> tecniche costruttive e di intervento principalmente e preferibilmente con materiale vivo o in abbinamento con materiale morto o sintetico (sempre che ciò sia assolutamente indispensabile per motivi di sicurezza); risulta essere a livello di unità territoriale lo “strumento” con il quale operare sul territorio in modo compatibile fatte salve le necessità tecniche di sicurezza.
<b>Permette:</b> di focalizzare i diversi obiettivi a diverse scale spazio-temporali; può pertanto risultare predittiva nel caso di massiccio impiego di tecniche di IN a scala di paesaggio, di biocomprensorio, di corso d'acqua, di apparato funzionale; riesce quindi a mettere in luce l'efficienza complessiva degli interventi, a delimitare zone in cui è necessario un maggiore o minore sviluppo di “naturalità” ad individuare zone particolarmente sensibili ove addirittura è necessario prendere in considerazione l'ipotesi di non intervento.	<b>Permette:</b> di raggiungere obiettivi diversificati a svariate scale spazio-temporali, fatte salve le indagini con obiettivi pianificatori: a volte interventi puntuali possono avere ricadute a scale spaziali molto ampie, come nel caso di ricucitura di connessioni interrotte. La differenza sostanziale sta nelle capacità attuative da parte dell'IN nel raggiungimento degli obiettivi sulle linee guida date dall'Ecologia del Paesaggio.
<b>Necessita:</b> dell'impiego di tecniche di IN per il raggiungimento di alcuni obiettivi, data la capacità di quest'ultima di mitigare l'azione dei fattori limitanti ecologici e tecnici e la capacità di modificare la scala temporale in cui avvengono i processi. L'EP prevede l'impiego dell'IN solo nel caso in cui non esistano soluzioni alternative, più “naturalistiche” come per esempio l'evoluzione naturale per il raggiungimento degli obiettivi individuati.	<b>Necessita:</b> di un approccio più globale e sistemico, soprattutto per comprendere tutti gli aspetti che formano il paesaggio: 2 o 3 rampe a blocchi non risolvono chilometri di briglie anche se possono costituire un netto miglioramento a scala locale per l'ittiofauna (sempre che sia verificato a priori il fatto che la possibilità di spostamento dell'ittiofauna sia il problema gerarchicamente più rilevante per il sistema considerato).

do i canoni di una corretta programmazione e progettazione;

- la necessità di realizzare l'intervento per perseguire gli obiettivi prefissati di recupero e/o mitigazione;
- il livello di compatibilità ambientale dell'intervento;
- l'efficacia dell'intervento dal punto di vista tecnico ed ecologico in senso lato.

Pertanto, l'Ingegneria Naturalistica può e deve dare il suo contributo negli aspetti prettamente tecnico-operativi, lasciando all'Ecologia del Paesaggio quelli di sua competenza.

Tramite la **tabella 4.1**, sono sintetizzate le differenze e complementarietà delle due discipline: Pertanto gli obiettivi raggiungibili con l'Ingegneria Naturalistica, previa analisi ecologica, sono sintetizzabili come segue:

1) *A scala territoriale:*

- realizzazione di ecosistemi specifici per l'assorbimento di disturbi naturali (aree esondabili, boschi del piano subalpino, montano, basale, pascoli del piano alpino, coperture vegetali anche con strutture spaziali complesse per il contenimento dell'erosione);
- realizzazione, ripristino o conservazione di habitat preziosi per gli equilibri ambientali (zone umide, dune sabbiose costiere, habitat di rarità relativa, aumento dell'apparato protettivo e dell'*habitat* naturaliforme);
- ripristino delle dinamiche paesistiche eliminate o danneggiate nei sistemi ambientali (realizzazione e ripristino di connessioni biotiche tra ecosistemi isolati, aumento della grana degli ecosistemi, ripristino delle interazioni terra-acqua-vegetazione nei bacini idrici, ecc.);
- recupero di aree degradate in genere;
- aumento dell'eterogeneità del paesaggio;
- aumento della biopotenzialità territoriale con riduzione del deficit di trasformazione.

2) *A scala locale:*

- consolidamenti di versanti e sponde in erosione superficiale e profonda;
- conservazione del terreno (copertura per li-

mitare l'“effetto *splash*” delle precipitazioni, per ridurre l'erosione diffusa e concentrata, per migliorare le caratteristiche fisico-chimiche; drenaggi in zone instabili per l'allontanamento delle acque di ruscellamento);

- predisposizione delle condizioni favorevoli alla formazione di nicchie ecologiche;
- aumento della biodiversità sia animale che vegetale;
- attivazione ed accelerazione delle successioni vegetazionali secondarie nelle aree degradate;
- incentivazione delle dinamiche locali della fauna (eliminazione di barriere, realizzazione di elementi connettivi, creazione di siti favorevoli, di passaggio, di sosta, di rifugio e di alimentazione);
- assorbimento dei disturbi locali (realizzazione di opere di difesa spondale, costruzione di barriere antirumore verdi, di zone di lagunaggio e fitodepurazione, sistemazione di frane, ecc.);
- ricostruzione di ecosistemi specifici per l'incorporazione di disturbi naturali (contenimento dell'erosione, realizzazione di casse di laminazione, ecc.);
- assorbimento di disturbi locali temporanei (zone di cantiere, cave in esercizio, ecc.).

## Bibliografia



Gibelli G., Palmeri F., 1999  
*Ecologia del ripristino e Ingegneria Naturalistica*, in Massa R., Ingegnoli V., *Biodiversità estinzione e conservazione*, UTET libreria, Torino

Ingegnoli V., 1993  
*Fondamenti di Ecologia del Paesaggio*, Città Studi, Torino.

Ingegnoli V., Padoa Schioppa E., 1997  
*Il ruolo della storia ambientale, nel senso del rapporto uomo-paesaggio, nella conservazione biologica*, atti, S.It.E.

### 5.1 Introduzione

Si ritiene indispensabile fornire dei criteri per l'esecuzione delle diverse fasi di elaborazione, necessarie alla stesura di un progetto di Ingegneria Naturalistica, ovvero alla redazione della documentazione tecnica prevista dalle normative in materia. Tale trattazione è importante, sia perché i progetti di Ingegneria Naturalistica richiedono alcuni specifici contenuti in aggiunta o modifica, rispetto ai progetti che utilizzano le tecniche convenzionali, sia perché tali contenuti presentano un carattere almeno in parte innovativo, quindi non ancora patrimonio di tutti i tecnici interessati.

I progetti di Ingegneria Naturalistica, infatti, comportano una spiccata multidisciplinarietà, o meglio transdisciplinarietà, poiché entrano in gioco altri fattori rispetto a quelli strettamente fisici, spesso poco considerati o valutati, come quelli ambientali e sociali.

Solo attraverso un percorso basato sulla qualità delle scelte e il rigore tecnico, che si potrà sviluppare una nuova cultura coerente con la piena affermazione dei nuovi approcci, non solo tecnici, ma anche politico-sociali, sui quali si fonda l'Ingegneria Naturalistica.

Nella trattazione seguente sarà dedicata maggiore attenzione alle metodologie e alle modalità di impostazione ed elaborazione dei progetti. Si tenga presente che, specie nel campo dell'Ingegneria Naturalistica, a fronte della notevole diversità applicativa e molteplicità delle problematiche incontrabili, le modalità d'impostazione ed elaborazione dei progetti, possono presentarsi estremamente varie. Quindi, si invita il lettore a considerare tali metodi piuttosto come "linee guida orientative" che "regole certe". In riferimento alle dimensioni delle opere è opportuno evidenziare la necessaria distinzione tra quelle "minori" e/o puntuali e quelle "maggiori" e/o continue, che per le peculiari caratteristiche richiederanno approcci progettuali diversificati.

Per "opera minore" s'intende un intervento, in genere di manutenzione, che preveda anche diverse tipologie di opere di Ingegneria Naturalistica semplici, standardizzate e di rapida esecuzione da realizzare su un elemento lineare o un'area puntuale e circoscritta, precisamente identificabili e con limitata interazione con centri edificati ed infrastrutture antropiche. Alcuni significativi esempi, sono: sistemazioni di piccole frane e smottamenti di versante, sistemazioni di scarpate di opere viarie minori e piste di bosco, sistemazione di sentieri e mulattiere, sistemazione di ruscelli, piccoli torrenti, canali

di bonifica ed irrigui, sorgenti e fontanili, nonché interventi di manutenzione diffusa sul territorio. Per "opera complessa" s'intende un intervento coordinato realizzato con diverse tipologie di opere di Ingegneria Naturalistica, distribuite su aree di maggiore dimensione che possono presentare anche consistenti interazioni con centri edificati ed infrastrutture antropiche, nonché coinvolgere ampie superfici montane o di pianura, quali significative porzioni di versante, cospicui tratti di corsi d'acqua o interventi lineari su strade e ferrovie, oppure vaste aree degradate da fattori naturali o antropici.

Per le opere minori per le quali è necessario un approccio snello e rapido, anche in relazione all'eventuale urgenza dell'intervento e alle disponibilità finanziarie, si propone una procedura progettuale semplificata.

Le "opere complesse" poiché possono condizionare il territorio in modo significativo, richiedono nella fase progettuale un'attenta analisi preliminare transdisciplinare, corredata da accurate valutazioni diagnostiche. Si rammenta che molte tipologie di opere complesse, ai sensi della legislazione vigente, potranno essere soggette a procedura di Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA).

Nel caso di opere complesse gli interlocutori che concorrono alla progettazione e realizzazione delle opere potranno essere: il progettista e i suoi consulenti esperti nelle diverse discipline, il direttore dei lavori, l'impresa o l'Ente ed il collaudatore.

Sarebbe auspicabile che il direttore dei lavori potesse usufruire del contributo di un esperto di Ingegneria Naturalistica o di un equivalente provinciale o regionale ombro del Gruppo di Lavoro Interassessorile per l'Ingegneria Naturalistica, istituito con Delibera della Giunta Regionale (DGR) della Lombardia n. 5/50412 del 28 marzo 1994 e successive integrazioni, a cui si rimanda per l'approfondimento del tema. Tale contributo riveste una particolare importanza, in quanto gli esperti potranno provvedere alle operazioni di monitoraggio prima, durante e dopo l'intervento, nonché affiancarsi in qualità di consulenti al direttore dei lavori in cantiere per la valutazione puntuale e la risoluzione di specifiche problematiche che possono emergere durante la realizzazione di lavori, proponendo al direttore eventuali adeguamenti in corso d'opera.

Per le opere minori, invece, nei limiti consentiti dalla legislazione vigente, alcune delle figure citate potranno essere accorpate in un unico soggetto progettista, a condizione che dispon-

ga di conoscenze specifiche e sufficienti nelle discipline coinvolte.

## 5.2 Legislazione nazionale

È evidente come molte delle tipologie di opere e di interventi presentino situazioni che possono comportare l'applicazione, anche consistente, dell'Ingegneria Naturalistica (regolazione di corsi d'acqua, cave, discariche). A tale proposito, nell'ambito di uno studio di VIA, sarebbe necessario prescrivere il ricorso a soluzioni per la minimizzazione degli impatti e dimostrarne la fattibilità e l'efficacia. Occorre però sottolineare anche un fattore in qualche modo contraddittorio, nel contesto giuridico specifico. Il "Testo Unico sulle opere idrauliche" (Regio Decreto n. 523 del 15 luglio 1904) vieta esplicitamente "le piantagioni che s'inoltrino dentro gli alvei dei fiumi, torrenti, rivi e canali, a costringere la sezione normale e necessaria al libero deflusso delle acque" e "le piantagioni di qualunque sorta di alberi ed arbusti sul piano e sulle scarpe degli argini e loro banche e sottobanche, lungo i fiumi, torrenti e canali navigabili".

Nella realizzazione delle opere di Ingegneria Naturalistica in ambito fluviale, di fatto, s'introduce vegetazione arborea e arbustiva, sebbene lo sviluppo di questa avvenga dopo qualche mese dai lavori. Peraltro, le modalità con cui s'inserisce e si sviluppa tale vegetazione e le caratteristiche delle specie vegetali utilizzate fanno sì che tale impianto vegetale possa essere inteso in termini di "opera idraulica" piuttosto che in termini di semplice "piantagione", in relazione alla sua omogeneità, densità, continuità e tipologia costruttiva. Comunque, a rigore, la questione rimane non ben definita, quindi soggetta a differenti interpretazioni, anche nelle autorizzazioni agli interventi.

Le opere realizzate con tecniche di Ingegneria Naturalistica, come del resto qualsiasi altro tipo d'intervento, devono fare riferimento comunque a tutte quelle normative che trattano delle problematiche interessate e dell'esecuzione di opere sul territorio. Le categorie principali sono: difesa del suolo, impatto ambientale, risorse idriche, lavori pubblici, Pubblica Amministrazione, urbanistica, edilizia, regolamenti tecnici sui materiali e sulle resistenze meccaniche, regolamenti sulle professioni, sicurezza. Occorre quindi che l'intervento soddisfi quanto previsto e che ottenga tutti i permessi e nulla osta necessari, seguendo un iter più o meno complesso e articolato secondo gli aspetti ed i problemi che lo caratterizzano. La fase di progettazione dei ripristini trova nel Decreto Ministeriale (DM) 20 agosto 1912, "Approvazione delle norme per la preparazione dei progetti di lavori di sistemazione idraulico-forestale nei bacini montani", la norma di riferimento. Negli ultimi anni è stato rivisto ampiamente il quadro normativo in materia di difesa del suo-

lo e delle acque in genere. In linea di massima, si è affermato un approccio legato alla pianificazione unitaria di bacino idrografico e il legislatore ha posto particolare attenzione agli aspetti di riequilibrio ed inserimento ambientale e di minimizzazione dell'impatto.

È possibile elencare alcune delle normative riguardanti l'applicazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica risalendo all'inizio del secolo scorso, quando ancora non si parlava direttamente di Ingegneria Naturalistica, ma comunque ci si poneva il problema di valutare i metodi di sistemazione dei corsi d'acqua o dei versanti, dopo eventuali dissesti idrogeologici. È il caso del Regio Decreto (RD) n. 1357 del 3 giugno 1940, recante il "Regolamento per l'applicazione della Legge 29 giugno 1939, n. 1497 sulla protezione delle bellezze naturali" e del Regio Decreto Legge (RDL) n. 1338 del 18 giugno 1936, in forza del quale la concessione dei terreni del demanio idrico veniva rilasciata di preferenza ai proprietari, agli enfiteuti o agli usufruttuari rivieraschi di corsi d'acqua pubblici, a scopo di piantagione di pioppi o di altre essenze arboree. Tali aree dovevano essere gestite dall'Amministrazione delle Finanze secondo criteri di economicità, ossia fornendo un reddito mediante il canone concessorio. Con la più recente "legge Cutrera" L. 37/1994, "Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle acque pubbliche", viene modificato l'articolo 6 del RDL 1338/1936; in tal senso il diritto di prelazione per le concessioni diviene, così, di Comuni, Province, Regioni e Comunità Montane, nonché ai titolari di programmi ai cui ai Regolamenti CEE n. 2078 del 30 giugno 1992 relativo a "Metodi di produzione agricola compatibili con le esigenze di protezione dell'ambiente e con la cura dello spazio naturale" e n. 2080 del 30 giugno 1992, che istituisce un regime comunitario di aiuti alle misure forestali nel settore agricolo. La legge più significativa rimane, comunque, la Legge n. 183 del 18 maggio 1989, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo", che ha come obiettivo quello di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale e la tutela degli aspetti ambientali ed essi connessi (art. 1, comma 1). È in seguito a questa legge che sono state definite le Autorità di Bacino che predispongono il Piano di Bacino, il quale può essere considerato uno strumento orientatore, al di sopra di qualsiasi altro atto pianificatorio (PRG, PTC) per garantire un uso e una gestione razionale delle risorse e l'integrità fisica dell'ambiente, i cui aspetti ecologici, paesistici e territoriali vengono affrontati in modo unitario ed integrato. A livello nazionale la prima legge dello Stato che richiama la necessità di impiegare tecniche di Ingegneria Naturalistica (chiamata allora "bioingegneria") è la Legge n. 102 del 2 maggio 1990, "Disposizioni per la ricostruzione e rinascita della Valtellina e delle adiacenti

zone delle Province di Bergamo, Brescia e Como, nonché della Provincia di Novara, colpite dalle eccezionali avversità atmosferiche di luglio ed agosto 1987". L'articolo 9, al comma 3 recita infatti: "Gli interventi di sistemazione idrogeologica nelle aree di maggiore rilevanza ambientale, di cui al comma 2, si attuano preferibilmente con l'impiego di tecniche di bioingegneria, con particolare riguardo alla sistemazione idraulica dei corsi d'acqua".

Per la realizzazione di interventi di Ingegneria Naturalistica, il Ministero dell'Ambiente, Servizio per la Valutazione dell'Impatto Ambientale, Informazione ai cittadini e la Relazione sullo Stato dell'Ambiente - Commissione per la Valutazione dell'Impatto Ambientale, nel novembre 1992 ha predisposto il documento *Indicazioni preliminari per il recupero delle cave a cielo aperto e delle discariche di inerti di risulta collegate all'attività di escavazione*.

Nel 1993, lo stesso Servizio del Ministero, ha pubblicato *Opere d'Ingegneria Naturalistica sulle sponde, tecniche costruttive ed esempi nel Cantone di Berna*.

Ancora del 1993 è il Decreto del Presidente della Repubblica (DPR) del 14 Aprile 1993, "Criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica", finalizzato all'eliminazione di situazioni di pericolo per i centri abitati, in conseguenza di eventi critici di deflusso. In questo testo si sottolinea la particolare attenzione che deve essere posta alla conservazione dei consorzi vegetali e alla rinaturazione delle sponde e degli alvei e si raccomanda, ove possibile, la sostituzione di opere impattanti con "tecnologie di Ingegneria Ambientale". Nell'ambito di tale atto, si riporta fra le "tipologie di interventi manutentori da effettuarsi", la "sostituzione di elementi di gabbionata metallica deteriorata o instabile o altra difesa artificiale deteriorata o in frana, utilizzando tecnologie di Ingegneria Ambientale". Ne deriva che, secondo tale atto, queste opere, peraltro definite, sia da alcune normative sia da operatori del settore, fra quelle di Ingegneria Naturalistica, purché rinverdite, non dovrebbero essere comprese tra le tecniche di Ingegneria Ambientale. In effetti, anche malgrado l'eventuale rinverdimento, il principio di costruzione e di funzionamento di tali manufatti non rientra nell'ambito dei principi su cui si basano le tecniche d'Ingegneria Naturalistica.

Il testo coordinato Decreto Legge (DL) n. 109 dell'11 febbraio 1994 "Legge quadro coordinata con le modifiche indotte dal Disegno di Legge AS 2.288 in materia di lavori pubblici" (Merloni *ter*, 1998) all'articolo 2, comma 1 introduce testualmente l'Ingegneria Naturalistica fra le attività definite come "lavori pubblici". Il Regolamento attuativo della stessa legge, recentemente approvato dal Consiglio dei Ministri (in data 10 dicembre 1999), nello spirito della ricerca di soluzioni a minimo impatto ambientale, richiede poi (artt. 21, 29) la redazione di studi di prefattibilità e di fattibilità ambientale, ovvero di VIA ove previsto. Il principio della

migliore soluzione sul piano ambientale è richiamato già nelle disposizioni generali per la progettazione (art. 15), ove, in particolare, si prescrive: "Gli elaborati progettuali devono prevedere misure atte ad evitare effetti negativi sull'ambiente, sul paesaggio e sul patrimonio storico-artistico ed archeologico in relazione alle attività di cantiere".

La legge quadro sui lavori pubblici, oltre a indicare gli elaborati che devono comporre le diverse fasi di qualsivoglia progettazione (preliminare, definitiva ed esecutiva), introduce infine un'altra prescrizione di rilievo: la redazione del "piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti" (art. 16, comma 5), che deve essere redatto secondo quanto previsto dal regolamento collegato (cfr. art. 40). È ovvio come tale strumento sia importante in particolare per gli interventi che presentano un'evoluzione considerevole nel tempo, quali quelli di Ingegneria Naturalistica.

Una legge che si propone di dare un nuovo assetto alla gestione delle risorse idriche in Italia, in conformità con le esigenze di risparmio e protezione, è la Legge n. 36 del 5 gennaio 1994, "Disposizioni in materia di risorse idriche", detta anche "legge Galli". Fra i principi generali che la legge introduce, i più importanti riguardano le acque superficiali e sotterranee, che sono pubbliche e costituiscono una risorsa salvaguardata e gestita secondo criteri di solidarietà. Un altro principio fondamentale è relativo all'uso e al consumo umano dell'acqua, prioritario rispetto agli altri usi. Gli obiettivi fondamentali della legge Galli mirano, in particolare, al superamento di alcuni aspetti negativi che contraddistinguono l'attuale gestione dei servizi idrici, con la formazione di nuove gestioni organizzate e delimitate regionalmente in Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) e con il concetto di Servizio Idrico Integrato, autoremunerativo (introdotto con l'articolo 4), per la captazione, l'adduzione e la distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura, di depurazione, ecc.

La "legge Cutrera" (L. 37/1994, "Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle altre acque pubbliche") sostituisce alcuni articoli del Codice Civile, in particolare l'articolo 942 che viene sostituito dall'articolo 1: "I terreni abbandonati dalle acque correnti, che insensibilmente si ritirano da una delle rive portandosi sull'altra, appartengono al demanio pubblico, senza che il confinante della riva opposta possa reclamare il terreno perduto", e l'articolo 3 che sostituisce l'articolo 946 del Codice Civile per alvei abbandonati: "Se un fiume o un torrente si forma un nuovo letto, abbandonando l'antico, il terreno abbandonato rimane assoggettato al regime proprio del demanio pubblico"; infine l'articolo 947 del Codice Civile è sostituito dall'articolo 4: "Le disposizioni (suddette) si applicano ai terreni comunque abbandonati sia a seguito di eventi naturali che per fatti artificiali indotti dall'attività antropica, ivi com-

prendendo anche i terreni abbandonati per fenomeni di inalveamento. La disposizione dell'articolo 941 non si applica nel caso in cui le alluvioni derivano da regolamento del corso dei fiumi, da bonifiche o da altri fatti artificiali introdotti dall'attività antropica".

I principi introdotti da questa normativa sono decisamente innovativi poiché introducono il diritto prioritario del fiume rispetto all'uso antropico delle fasce riparie. Si tratta di un principio che è alla base delle priorità nell'approccio idraulico-ambientale, che presuppone la considerazione del corpo idrico come ecosistema, il quale quindi dispone degli spazi di sua pertinenza (vedi le "aree di pertinenza fluviale"). A questi principi ci si richiama nel seguito in merito all'individuazione di obiettivi e scelte. In ogni caso, nei progetti, si dovrà evitare assolutamente di realizzare opere tali da "riconquistare" all'uso economico le aree conquistate dal corso d'acqua con la sua dinamica geomorfologica e idraulica.

Nell'aprile 1994 è stata prodotta la prima bozza del capitolato speciale tipo per "Opere a verde e ripristini ambientali", successivamente nel 1995 (prima edizione) e nel 1997 il Ministero dell'Ambiente ha pubblicato le *Linee guida per capitolati speciali per interventi d'Ingegneria Naturalistica e lavori di opere a verde*.

Con la "legge Cutrera" (L 37/1994), precedentemente accennata, si permette di tutelare gli ecosistemi fluviali anche attraverso il recupero e la ridefinizione delle aree demaniali lungo i fiumi, favorendone la concessione alle Amministrazioni pubbliche che intendono promuovere parchi, riserve o comunque progetti di salvaguardia ambientale. La L 37/1994 (artt. 1-4) modifica, sostanzialmente, alcuni articoli di Codice Civile (artt. 942, 945-947), definendo appartenenti allo Stato i terreni abbandonati dalle acque correnti, laddove prima potevano essere acquisiti "per accessione" dai proprietari confinanti. Con la L 37/1994 lo Stato identifica prioritario l'obiettivo di salvaguardia e tutela della natura rispetto a quello produttivo (piantazione di pioppi) definito dal RDL 1338/1936.

Per la realizzazione delle opere di Ingegneria Naturalistica non esiste un albo specifico a livello nazionale, anche se la DGR della Lombardia n. 442 del 16 gennaio 1995 sui lavori agroforestali e le imprese operanti in tale settore, istituite in Albo regionale dalla LR 36/1992 della Lombardia, individua fra le competenze di queste ultime gli interventi "di rinaturalizzazione" e "azioni di bioingegneria".

La mancanza di criteri selettivi validi a livello nazionale, induce effetti negativi dal punto di vista della corretta esecuzione dei cantieri e delle opere, in quanto consente, anche a imprese operanti nell'edilizia o nel movimento terra, di partecipare a gare e appalti concernenti la realizzazione di interventi con tecniche di Ingegneria Naturalistica. Può così capitare che opere di Ingegneria Naturalistica o sistemazioni spondali, o opere prevalentemente

forestali (tecniche vegetali, tagli, sfalci, pulizie di alveo) vengano eseguite da maestranze non qualificate, prive di adeguate conoscenze.

Si ricorda, inoltre, l'obbligo di accompagnare i progetti di opere pubbliche dei Comuni con "una relazione che attesti la conformità del progetto alle prescrizioni urbanistiche ed edilizie, nonché l'esistenza dei nulla osta di conformità alle norme di sicurezza, sanitarie, ambientali, paesistiche", (DL n. 662 del 31 dicembre 1996 "Misure di razionalizzazione della finanza pubblica" convertito in Legge n. 30 del 29 febbraio 1997, art. 4, comma 60, punto 16).

Con la Legge n. 344 dell'8 ottobre 1997, "Disposizioni per lo sviluppo e la qualificazione degli interventi e dell'occupazione in campo ambientale" il Ministero dell'Ambiente promuove iniziative di supporto alle azioni in tale settore delle Amministrazioni pubbliche, in modo da aumentare l'efficienza dei relativi interventi, anche sotto il profilo della capacità di utilizzazione delle risorse derivanti da cofinanziamenti dell'Unione Europea (UE). Il fine principale è quello di garantire le migliori pratiche ambientali con adeguati livelli professionali nella realizzazione e nella gestione di interventi ambientali prioritari, nel caso in cui siano necessarie specifiche competenze non reperibili nelle figure professionali disponibili.

Non va dimenticato il Decreto Legge (DL) n. 180 dell'11 giugno 1998, noto come "decreto Sarno", che prevede "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", a seguito del tragico evento alluvionale (scorrimenti traslativi e/o colate detritico-fangose) che ha investito alcuni centri abitati della Campania il 5 e 6 maggio 1998 e il collegato Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri (DPCM) del 29 settembre 1998, "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'articolo 1, commi 1 e 2, del Decreto Legge 11 giugno 1998, n. 180".

Con il Decreto Ministeriale 4 febbraio 1999, "Attuazione dei programmi urgenti per la riduzione del rischio idrogeologico, di cui agli articoli 1, comma 2 e 8, comma 2 del Decreto Legge n. 180, convertito con modificazioni, della Legge 3 agosto 1998, n. 267", il Ministero dell'Ambiente richiede che nella relazione tecnica di accompagnamento alla richiesta di erogazione del finanziamento, venga indicato l'eventuale ricorso a tecniche di Ingegneria Naturalistica. L'Autorità di Bacino del Fiume Po ha adottato con Deliberazione 11 maggio 1999, n. 1 il progetto di "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)", pubblicato in data 28 luglio 1999, nonché ha adottato nell'aprile 1997 il "Quaderno delle opere tipo", che contiene numerose tipologie di interventi di Ingegneria Naturalistica. Anche il PAI detta normative nel campo dell'Ingegneria Naturalistica.

Il Decreto Legislativo (DLgs) n. 152 dell'11 maggio 1999 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Diret-



tiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane”, modificato dal Decreto Legislativo n. 258 del 18 agosto 2000 dalla L. 388/2001 (“Finanziaria 2001”) e dalla L. 448/2001 (“Finanziaria 2002”), pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana” (GU) del 29 maggio 1999, nei principi relativi alle finalità della norma (art. 1, lettera d), nelle competenze degli Enti (art. 3, comma 6) e nella tutela delle aree di pertinenza dei corpi idrici (art. 41, comma 1), richiama diversi aspetti peculiari dell’Ingegneria Naturalistica.

Il Decreto Legislativo, infatti, all’articolo 1 specifica: “Il presente Decreto definisce la disciplina generale per la tutela delle acque superficiali, marine e sotterranee perseguendo i seguenti obiettivi: d) mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, nonché la capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e ben diversificate”; all’articolo 3 (“Competenze”): “Le competenze disciplinate dal presente Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n. 112 e dagli altri provvedimenti statali e regionali adottati ai sensi della Legge 15 marzo 1997, n. 59, fino all’attuazione delle disposizioni di cui all’articolo 1, comma 6. I Consorzi di Bonifica ed irrigazione, anche attraverso appositi accordi di programma con le competenti autorità, concorrono alla realizzazione di azioni di salvaguardia ambientale e di risanamento delle acque, anche al fine della loro utilizzazione irrigua, della rinaturalizzazione dei corsi d’acqua e della fitodepurazione”. Il decreto legislativo all’art. 41, “Tutela delle aree di pertinenza dei corpi idrici”, specifica al comma 1: “Ferme restando le disposizioni di cui al capo VII del Regio Decreto 25 luglio 1904, n. 523, al fine di assicurare il mantenimento o il ripristino della vegetazione spontanea nella fascia immediatamente adiacente ai corpi idrici, con funzioni di filtro per i solidi sospesi e gli inquinanti di origine diffusa, di stabilizzazione delle sponde e di conservazione della biodiversità da contemperarsi con le esigenze di funzionalità dell’alveo, entro un anno dall’entrata in vigore del presente decreto, le Regioni disciplinano gli interventi di trasformazione e gestione del suolo e soprassuolo previsti nella fascia di almeno 10 metri dalla sponda dei fiumi, laghi, stagni e lagune comunque vietando la copertura dei corsi d’acqua, che non sia imposta da ragioni di tutela della pubblica incolumità e la realizzazione di impianti di smaltimento rifiuti”.

Il Decreto del Presidente della Repubblica n. 554 del 21 dicembre 1999, “Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni”, reca all’articolo 15 l’indicazione che “il documento preliminare, con approfondimenti tecnici ed amministrativi graduati in rapporto all’entità, alla tipologia e categoria dell’intervento da realizzare” riportando fra l’altro l’indicazione della situazione iniziale e della possibilità di far ricorso alle tecniche di Ingegneria Naturalistica.

Il Decreto del Presidente della Repubblica n.

34 del 25 gennaio 2000, “Regolamento recante istituzione del sistema di qualificazione per gli esecutori di lavori pubblici, ai sensi dell’articolo 8 della Legge 11 febbraio 1994, n. 109 e successive modificazioni”, definisce le nuove categorie di lavori per i quali può essere richiesta la qualifica delle ditte esecutrici. Per le opere di Ingegneria Naturalistica, la categoria è “OG 13: l’esecuzione di attività rientranti nella citata categoria, riguardano eminentemente interventi di Ingegneria Naturalistica che si concretizzano in interventi di consolidamento e stabilizzazione necessari a seguito del verificarsi di dissesti idrogeologici o comunque dal verificarsi di eventi che hanno compromesso l’equilibrio ecosistemico del territorio. Tale definizione è stata ripresa dalla recente Deliberazione n. 87 del 27 marzo 2002.

Segnaliamo anche il Decreto Ministeriale n. 175 del 4 ottobre 2000, “Rideterminazione e aggiornamento dei settori scientifico-disciplinari e definizione delle relative declaratorie, ai sensi dell’articolo 2 del Decreto Ministeriale 23 dicembre 1999”. Approvato in via definitiva il DL 279/2000 (“decreto Soverato”) convertito in L. 365/2000, che stanziava i fondi per Soverato e contiene le norme di emergenza per le calamità che hanno colpito il Centro-Nord in ottobre-novembre nello stesso anno. Con la conversione in legge del DL 279 diventano definitivi anche i vincoli di salvaguardia imposti dal Governo a 290 Comuni a rischio nella fascia di 150 metri da fiumi e laghi.

### 5.3 Legislazione regionale

In materia di Ingegneria Naturalistica la legislazione offre diverse direttive a livello regionale. Nella **tabella 5.1** si riporta un quadro generale delle principali normative regionali in materia di difesa del territorio e di ripristino con l’impiego di tecniche di Ingegneria Naturalistica.

#### 5.3.1 Legislazione regionale umbra

##### 5.3.1.1 Riferimenti legislativi regionali

La Regione dell’Umbria si è segnalata in questo ultimo periodo per un significativo aumento di attenzione relativamente agli aspetti legati alla pianificazione urbanistica, territoriale e ambientale, in merito all’adozione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica. In particolare si citano:

1) Legge Regionale n. 27 del 24 Marzo 2000, “Piano Urbanistico Territoriale (PUT)”, in cui in più punti viene espressamente fatto riferimento all’Ingegneria Naturalistica come riferimento tecnico prioritario in diversi ambiti di attività, si citano:

- capo I (“Sistema Ambientale”), articolo 12 (“Zone di elevata diversità floristico-vegetazionale”), comma 3, lettera B, in cui sono vietati la distruzione ed il danneggiamento della vegetazione ripariale se non

Tab. 5.1 - Principali normative regionali in materia di difesa del territorio e Ingegneria Naturalistica

Regione	Normativa	Titolo
Veneto	Corte di Cassazione riguardo alla Legge Regione Veneto 7 settembre 1982, n. 44	Norme per la disciplina delle attività estrattive, art. 2, 33.
	Regolamento CEE n. 2052/88, obiettivo 5b.	Iniziativa cofinanziata dal FEOGA. Apertura termini per la presentazione di proposte di intervento per il periodo 1994 - 1999.
	Deliberazione della Giunta Regionale 30 agosto 1994, n. 4003	Circolare regionale inerente gli interventi di manutenzione nei corsi d'acqua: aspetti tecnici ed ambientali.
	Circolare regionale 10 ottobre 1994, n. 32, Deliberazione della Giunta	Interventi di manutenzione nei corsi d'acqua: aspetti tecnici ed ambientali.
	Legge 2 ottobre 1997, n. 345	Finanziamenti per opere e interventi in materia di viabilità, di infrastrutture, di difesa del suolo, nonché per la salvaguardia di Venezia.
Campania	Legge Regionale 7 gennaio 1983, n. 9	Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico.
	Giunta Regionale, Seduta del 22 novembre 1998	Programma degli interventi urgenti per la qualificazione, manutenzione e risanamento idrogeologico del territorio regionale.
	Determinazione 21 febbraio 2001, n. 9/2001	Ambito oggettivo d'applicazione della disciplina contenuta nell'art. 88 del DPR 554/1999.
Toscana	Legge Regionale 7 marzo 1995, n. 56	Istituzione dell'Agenzia per la Protezione Ambientale della Toscana.
	Delibera del Consiglio Regionale 20 maggio 1997, n. 155	Direttive sui criteri progettuali per l'attuazione degli interventi in materia di difesa idrogeologica.
	Legge Regionale 6 aprile 2000, n. 56	Norme per la conservazione e la tutela degli <i>habitat</i> naturali e seminaturali, della flora e della fauna selvatiche; modifiche alla Legge Regionale del 23 gennaio 1998, n. 7 e Legge Regionale del 11 aprile 1995, n. 49.
Friuli Venezia Giulia	Legge Regionale 19 novembre 1991, n. 52 - Circolare esplicativa	Norme regionali in materia di pianificazione territoriale e urbanistica come modificata con Legge Regionale 14 luglio 1992.
	Circolare del 22 marzo 1994, n. 7	La tutela del corso d'acqua: indicazioni e criteri per la formazione degli strumenti urbanistici comunali; contenuti ed elementi nel PRGC; linee guida e documentazioni progettuali finalizzate al rilascio e l'autorizzazione paesaggistica.
Marche	Circolare PGR 23 gennaio 1997, n. 1	Criteri e indirizzi per l'attuazione di interventi in ambito fluviale nel territorio della Regione Marche.
Piemonte	Legge Regionale 2 novembre 1982, n. 32	Criteri tecnici per l'individuazione e il recupero delle aree degradate e per la sistemazione e rinaturalizzazione di sponde ed alvei fluviali e lacustri, procedura amministrativa per la concessione di contributi regionali.
	Deliberazione Consiglio Regionale 31 luglio 1991, n. 250 - 11937	Criteri tecnici per l'individuazione e il recupero delle aree degradate e per la sistemazione e rinaturalizzazione di sponde e alvei fluviali e lacustri, procedura amministrativa per la concessione di contributi (Legge Regionale 2 novembre 1982, n. 32, artt. 2 e 12).
Umbria	Deliberazione della Giunta Regionale 13 gennaio 1993, n. 100	Regio Decreto 25 luglio 1904, n. 523. Polizia delle acque pubbliche. Provvedimento in merito all'esecuzione di opere sulle acque pubbliche.
	Legge Regionale 24 marzo 2000, n. 27	Piano Urbanistico Territoriale (PUT).

(segue)

Segue tab. 5.1 - Principali normative regionali in materia di difesa del territorio e Ingegneria Naturalistica

Regione	Normativa	Titolo
Lazio	Circolare rif. LR 60/1990 "Polizia idraulica" e "Testo Unico opere idrauliche" 523/1904	Criteri progettuali per l'attuazione degli interventi in materia di difesa del suolo nel territorio della Regione Lazio.
	Delibera 28 maggio 1996, n. 4340	Criteri progettuali per l'attuazione degli interventi in materia di difesa del suolo.
Emilia Romagna	Circolare 6 settembre 1994, n. 3939	Direttiva concernente criteri progettuali per l'attuazione degli interventi in materia di difesa nel territorio della Regione Emilia – Romagna.
	Legge Regionale 30 gennaio 1995, n. 6	Norme in materia di programmazione e pianificazione territoriale, in attuazione della Legge 8 giugno 1990, n. 142 e modifiche ed integrazioni alla legislazione urbanistica ed edilizia.
	Circolare dell'Assessore alla Programmazione Pianificazione e Ambiente 3 marzo 1995 (prot. n. 2537)	Attuazione della Legge Regionale 30 gennaio 1995, n. 6, "Norme in materia di programmazione e pianificazione territoriale in attuazione della Legge 8 giugno 1990, n. 142 e modifiche ed integrazioni alla legislazione urbanistica ed edilizia. Trasmissione della prima circolare illustrativa della legge".
	Deliberazione della Giunta Regionale 11 novembre 1997, n. 2019	Indirizzi per la formulazione di un regolamento di gestione delle Aree di riequilibrio ecologico.
Lombardia	Deliberazione della Giunta Regionale 26 settembre 1992, n. 32	Approvazione dei criteri per l'esercizio della subdelega, da parte dei Comuni, delle funzioni amministrative ex Legge 29 giugno 1939, n. 1497.
	Deliberazione della Giunta Regionale 19 dicembre 1995, 6/6586	Direttiva concernente criteri ed indirizzi per l'attuazione degli interventi di Ingegneria Naturalistica sul territorio della Regione.
	Programma Regionale di Sviluppo 5.1.5, aprile 1996	Riequilibrio delle condizioni ambientali attraverso la rinaturalizzazione ed il recupero ambientale con l'impiego di tecniche di Ingegneria Naturalistica.
	Deliberazione della Giunta Regionale luglio 1997, n. 6/29567	Direttiva sull'impiego dei materiali vegetali vivi negli interventi di Ingegneria Naturalistica in Lombardia.
	Deliberazione della Giunta Regionale 25 luglio 1997, n. 6/30195 - testo presentato con Deliberazione della Giunta Regionale 18 giugno 1999, n. 6/43749, al Consiglio Regionale per l'approvazione della proposta definitiva	Piano Territoriale Paesistico Regionale.
	Deliberazione della Giunta Regionale 29 febbraio 2000, n. 6/48740	Approvazione della direttiva "Quaderno opere tipo di Ingegneria Naturalistica".
	Deliberazione della Giunta Regionale dicembre 2000, n. 7/2571	Approvazione della Direttiva per il reperimento di materiale vegetale vivo nelle aree demaniali da impiegare negli interventi di Ingegneria Naturalistica.
Liguria	Legge Regionale 28 gennaio 1993, n. 9	Organizzazione regionale della difesa del suolo in applicazione della Legge 18 maggio 1989, n. 183.

per interventi di sistemazione idraulica da effettuarsi con tecniche di Ingegneria Naturalistica;

- capo V (“Rischio territoriale ed ambientale”), articolo 46 (“Individuazione delle parti di territorio esposte a pericolo geologico ed idrogeologico”), comma 5 in cui l’adozione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica è prioritaria sia per le sistemazioni morfologiche dei terreni in pendio (lettera F) che per le sistemazioni delle sponde fluviali (lettera I) che per il recupero di ambiti estrattivi dismessi (lettera H);
  - capo V (“Rischio territoriale ed ambientale”), articolo 48 (“Fasce di rispetto dei corsi d’acqua e dei laghi”), comma 4, in cui il taglio della vegetazione ripariale è limitato ai casi di comprovata necessità di difesa idraulica e sono da realizzare prioritariamente con interventi di Ingegneria Naturalistica;
  - capo V (“Rischio territoriale ed ambientale”), articolo 48 (“Fasce di rispetto dei corsi d’acqua e dei laghi”), comma 5, in cui nelle sopraccitate fasce di rispetto sono consentiti sia interventi per la valorizzazione ambientale realizzati con metodologie a basso impatto ambientale, ovvero Ingegneria Naturalistica (lettera C) che interventi di ricomposizione ambientale di siti estrattivi (lettera F), di cui alla Legge Regionale n. 2 del 3 gennaio 2000 che prevede a sua volta l’adozione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica;
  - capo V (“Rischio territoriale ed ambientale”), articolo 49 (“Interventi di manutenzione e sistemazione idraulica dei corsi d’acqua”), comma 1, in cui la Regione adotta specifici atti di indirizzo per gli interventi di manutenzione e sistemazione idraulica dei corsi d’acqua, secondo criteri di ingegneria finalizzata ad obiettivi di salvaguardia naturalistica;
- 2) Regolamento Regionale n. 4 del 24 maggio 2000 “Regolamento tecnico attuativo della Legge Regionale 3 gennaio 2000 n. 2: norme per la disciplina dell’attività di cava e per il riuso di materiali provenienti da demolizioni”, in cui viene espressamente fatto riferimento all’Ingegneria Naturalistica come prioritaria per gli interventi di riambientamento dei siti estrattivi siano essi in attività, chiusi o dismessi. In particolare si cita:
- titolo I (“Oggetto, definizioni e criteri”), articolo 2 (“Definizioni”), comma 1, lettera M (“Recupero ambientale”): gli interventi di reinserimento morfologico-paesaggistico vengono svolti privilegiando l’utilizzo dell’Ingegneria Naturalistica;
  - titolo I (“Oggetto, definizioni e criteri”), articolo 2 (“Definizioni”), comma 1, lettera N (“Ingegneria Naturalistica”), in cui viene fornita una sintetica definizione della metodologia in oggetto.

Si citano anche, a titolo esemplificativo dell’ampiezza e dell’importanza che sta progressivamente ricoprendo questa metodologia, le principali

normative prodotte da altre Regioni rimandando all’articolata bibliografia per altri riferimenti.

### 5.3.1.2 Riferimenti normativi provinciali

1) Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) per la Provincia di Terni, approvato dal Consiglio Provinciale con atto n. 150 del 14 settembre 2000 ed in vigore dal 23 ottobre 2000, di cui alla Legge Regionale n. 31 del 21 ottobre 1997, “Disciplina della pianificazione urbanistica comunale e norme di modificazione delle Leggi Regionali 2 settembre 1974, n. 53; 18 aprile 1989, n. 26; 17 aprile 1991, n. 6 e 10 aprile 1995 n. 28”.

La Provincia di Terni, al fine di affrontare in maniera organica il problema della tutela del suolo, ed applicando appieno le modalità della concertazione fra Enti, ha costituito un Sottogruppo Difesa del Suolo cui hanno partecipato, oltre ai membri competenti del Comitato Tecnico e agli esperti della Provincia, i rappresentanti delle Comunità Montane della Provincia di Terni nonché i rappresentanti del Consorzio di Bonifica Tevere-Nera e dell’Ente di Bonifica Valdichiana Romana. All’interno del lavoro del Sottogruppo è stato esaminato, discusso ed approvato un documento di programma, condiviso da tutti gli Enti sopraccitati, che individua come prioritario l’utilizzo delle tecniche di Ingegneria Naturalistica per ogni futuro programma di intervento nei settori di attività di loro competenza, dal titolo “Linee di indirizzo e criteri generali per la progettazione e l’attuazione degli interventi in materia di protezione idrogeologica e di difesa del suolo, di manutenzione dei corsi d’acqua e di recupero ambientale delle aree degradate nel territorio della Provincia di Terni”.

2) Norme di Attuazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Terni:

- titolo III (“Normativa ambientale e paesaggistica”), capo IV (“Tutela del suolo e prevenzione di rischi e gestione delle risorse abiotiche”) è presente uno specifico capitolo all’applicazione delle tecniche dell’Ingegneria Naturalistica dal titolo “Linee di indirizzo e criteri generali per l’utilizzo dell’Ingegneria Naturalistica in materia di tutela del suolo e prevenzione dei rischi geologici nel territorio della Provincia di Terni”;
- articoli da 82 a 91 dove, oltre all’adozione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica, vengono definiti, obiettivi, definizioni, funzioni ed ambiti dell’Ingegneria Naturalistica, criteri generali, tipologie dei lavori adottabili e non adottabili, settori di utilizzo e criteri per la manutenzione della vegetazione.

Queste tecniche sono state inoltre indicate come preferenziali in diversi ambiti di progettazione e intervento quali gli articoli 67 (“Interventi di sistemazione di versanti”), 77 (“Riambientamento di siti estrattivi”) e 110 (lettera G, “Regimazioni idrauliche”).

**Bibliografia**



AA.VV., 2000a

*Manuale di metodologie e tecniche a basso impatto in materia di difesa del suolo. Studio di nuove metodologie ambientali in materia di difesa e miglioramento ambientale*, a cura di Regione Marche e WWF, allegato alla rivista "Attenzione", 10 settembre.

AA.VV., 2000b

*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica.*

*Vol. 1. Processi territoriali e criteri metodologici*, Col-lana "Fiumi e Territorio", Regione Toscana, Firenze.

"Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 2000 Supplemento straordinario al n. 19 del 9 maggio.

Cornelini P., Preti F., Sauli G., 2002

*Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico nella regione Lazio*, Regione Lazio, Roma.

---



### 6.1 Problemi operativi dell'Ingegneria Naturalistica

L'Ingegneria Naturalistica può sostituire l'ingegneria classica solo in parte e nelle condizioni fisiche, tecniche ed ambientali adatte. Vi saranno pertanto delle situazioni in cui potrà operare l'Ingegneria Naturalistica, altre nelle quali, per valutazioni inerenti la pubblica sicurezza e/o gli spazi modesti a disposizione e/o le caratteristiche climatiche, sarà necessario intervenire secondo gli schemi dell'ingegneria classica.

Al di là delle scelte progettuali, che dovranno basarsi su un'attenta analisi è importante conoscere alcune caratteristiche che vincolano gli interventi soprattutto per gli aspetti biologici. Bisogna tenere presente che, in genere, le maestranze che operano sui cantieri hanno spesso scarsa dimestichezza e manualità con interventi a connotazione spiccatamente biologica ed agricolo-forestale. È necessario pertanto promuovere dei momenti formativi per le maestranze chiamate ad operare in questo settore. Le stesse problematiche si presentano anche per gli operatori di macchine, che hanno scarsa esperienza in questo settore e che si trovano spesso ad operare con macchine non idonee.

Altro aspetto limitante degli interventi su base biologica è dato dalla stagionalità, che in genere li condiziona notevolmente. Pertanto, come già accennato, i lavori devono essere effettuati nelle stagioni in cui il materiale vegetale è allo stadio vegetativo adatto e/o nelle stagioni in cui le caratteristiche climatiche locali sono favorevoli all'attecchimento della vegetazione. Se s'interviene, ad esempio, mediante l'utilizzo di talee di salice, l'intervento dovrà avvenire, a seconda delle fasce altimetriche, o sul tardo inverno - inizio primavera (fine febbraio - fine aprile) o sulla tarda estate - inizio autunno (metà settembre - inizio ottobre). Tale aspetto è da prendere in particolare considerazione in fase di programmazione dei lavori.

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica, non essendo in genere ad immediato effetto, richiedono momenti di controllo, di verifica e manutenzione, per un certo periodo di tempo dopo la loro realizzazione. In particolare, se si tratta d'interventi complessi e destinati a risolvere problemi difficili, bisogna prevedere in sede progettuale anche gli oneri per la realizzazione di interventi di manutenzione che consentano alla vegetazione di affermarsi stabilmente attraverso l'evoluzione verso associazioni vegetali mature e quindi più stabili. Le operazioni di manutenzione

potranno consistere in rinfoltimenti, sostituzioni, risemine, concimazioni, realizzazione di opere accessorie, potature e diradamenti.

Un problema particolare è quello della reperibilità dei materiali vegetali viventi da utilizzare in cantiere. Tale problema può sembrare a prima vista di non particolare rilevanza, ma in realtà non vanno sottovalutati gli effetti producibili a lungo termine sulla flora autoctona da parte delle immissioni di specie alloctone, spesso provenienti da regioni che presentano caratteristiche completamente diverse (possibilità di fenomeni d'inquinamento genetico delle popolazioni locali). Ciò nonostante, va comunque valutato l'aspetto temporale prendendo in considerazione il fatto che la vegetazione impiegata è prevalentemente pioniera e, quindi, destinata ad essere soppiantata in tempi lunghi e/o medi.

### 6.2 Scelta del metodo e della tipologia costruttiva di Ingegneria Naturalistica

Nonostante le considerazioni già fatte, è opportuno rimarcare che per la scelta delle tipologie costruttive devono essere tenuti in considerazione anche i criteri di scelta della specie, programmando la stagione in cui determinati interventi possono essere eseguiti nel modo migliore. Di seguito riportiamo alcune osservazioni sulle condizioni che agiscono in maniera determinante nella scelta delle tipologie.

- *Scopo degli interventi costruttivi*: l'obiettivo immediato è dato dal consolidamento delle sponde, delle scarpate e dell'alveo o dalla protezione di infrastrutture o edifici. Altri obiettivi consistono nella creazione di spazi per gli animali acquatici e terrestri, nello sviluppo di boschi di protezione per i corsi d'acqua che richiedano semplici cure colturali e che siano multifunzionali, di siepi campestri e/o di fasce di canneto, di associazioni di megaforie e pratvie.
- *Effetto tecnico atteso*: è necessario valutare se, tenendo conto delle direttive inerenti la sicurezza, la sistemazione possa essere attuata unicamente con materiali tecnici vivi o come intervento combinato con tecniche tradizionali o, ancora, con tecniche in "grigio".
- *Disponibilità di materiali costruttivi vivi*: è necessario definire quali piante adatte alle caratteristiche stagionali possa essere procacciate nelle vicinanze del cantiere, quali piante portate sul posto. A tal riguardo si riporta un elenco gerarchico di riferimento:

- a) salvaguardia per riutilizzo del materiale vivo presente nella zona di cantiere;
- b) reperimento e raccolta in luoghi adiacenti o confinanti alla zona di cantiere, anche su proprietà privata (previa autorizzazione del proprietario);
- c) reperimento del materiale in zone a quote maggiori, sempre nelle vicinanze, se la stagione è avanzata o se è necessario intraprendere i lavori prima del periodo di riposo;
- d) impiego di materiale già nelle prime fasi vegetative, proveniente dalle zone circostanti, con ausilio di sostanze rizogene;
- e) reperimento in ambito provinciale;
- f) reperimento in ambito regionale;
- g) acquisto in vivaio specializzato nella produzione di materiale vivo per l'Ingegneria Naturalistica, previa verifica da parte della DL della provenienza del seme o delle piantine o delle talee.

Come già evidenziato nel *Criteri generali* (paragrafo 2.5) è necessario fare un censimento dei giacimenti vegetali. Inoltre, per i salici tali giacimenti ricadono spesso in aree golenali demaniali. È necessario, pertanto, attivare procedure semplificate per rendere disponibili tali piante in tempi rapidi e per evitare l'onere di pagamento di prezzi di macchiatico, per la realizzazione di opere pubbliche. A tal riguardo si veda la Direttiva sull'impiego dei materiali vegetali vivi negli interventi di Ingegneria Naturalistica in Lombardia (approvata con Deliberazione di Giunta VI/29567 dell'1 luglio 1997) e la successiva richiesta da parte della Regione Lombardia (nota prot. 346/99 del 9 luglio 1999) al prelievo, in modo permanente, di materiale vegetale vivo (soprattutto salice, pioppo, ontano ed altre essenze spontanee) nelle aree demaniali lungo i corsi d'acqua, in attesa che venga stipulata una convenzione con il Ministro delle Finanze, che disciplini una procedura amministrativa unica per tutto il territorio nazionale.

- *Stagione*: come già detto, gli interventi per i quali vengono impiegati materiali costruttivi con capacità di propagazione vegetativa sono legati prevalentemente al riposo vegetativo (tardo autunno - inverno) e alla necessità di definire i cronoprogrammi dei lavori.

### 6.2.1 Periodi d'intervento

La stagione più indicata per eseguire interventi di Ingegneria Naturalistica viene stabilita anche dal ritmo di accrescimento delle piante e delle parti utilizzate, che dipende a sua volta dai caratteri stagionali. I metodi costruttivi, nei quali vengono impiegati materiali con capacità di propagazione vegetativa, devono essere eseguiti durante il periodo di riposo vegetativo (ottobre/novembre - marzo/aprile).

Le semine di manti erbosi avvengono durante il periodo vegetativo. Le semine di piante legnose vengono eseguite in primavera od in autunno. Le piante legnose radicate vengono

messe a dimora e/o sistemate preferibilmente in primavera o in autunno, cioè all'inizio o alla fine del periodo vegetativo.

Le piante in vaso o in contenitori vengono invece piantate anche durante l'estate.

### 6.2.2 Limiti d'impiego

I limiti all'impiego di materiali costruttivi vivi sono legati a limiti biologici, tecnici e temporali (Schiechtel, Stern, 1994).

- *Limiti biologici*: zone senza possibilità di sviluppo per le piante superiori, limiti degli areali, attitudinali della vegetazione, zone con forte inquinamento delle acque, ecc.
- *Limiti tecnici*: (in ambito di versante) il consolidamento delle scarpate è possibile solo nel corpo terroso compenetrabile dalle radici. I movimenti del terreno in profondità possono essere impediti solo indirettamente mediante interventi di ingegneria naturalistica, come la sottrazione dell'acqua mediante soprassuoli vegetali; (in ambito idraulico) velocità di flusso troppo elevate, forze di trascinarsi troppo grandi, pressioni della corrente troppo forti e correnti d'acqua troppo turbolente.
- *Limiti temporali*: lavori al di fuori e durante il periodo vegetativo.

In base alle ridotte possibilità di applicazione si comprende come l'Ingegneria Naturalistica non sempre costituisca un'alternativa, ma sia spesso un'integrazione delle costruzioni ingegneristiche.

## 6.3 Le fasi pre-progettuali

Se il sito d'intervento è definito con precisione, l'area di progetto corrisponde a quella occupabile dall'opera e dalle connesse operazioni necessarie per la sua realizzazione. Occorre, infatti, considerare opportunamente le caratteristiche delle aree interessate dalle attività di cantiere, di prelievo, di lavorazione e di movimentazione del verde e dei materiali, di eventuale riporto o reperimento del terreno. Qualora l'area di progetto non sia stata identificata, è corretto indagare su più aree compatibili rimandando al progetto esecutivo la giusta ubicazione e gli approfondimenti del caso. Quest'ultimo aspetto può essere trattato dal "Piano di coordinamento e sicurezza dei lavori", previsto dalla normativa in materia di sicurezza, ove la tipologia di questi lo richieda. L'area d'indagine, è di norma più vasta di quella di progetto, rendendosi necessario analizzare anche i fattori fisici ed ambientali che presentano un raggio di influenza maggiore di quello strettamente progettuale.

Per i progetti di opere idrauliche in alveo occorre rapportare l'opera al bacino idrografico di competenza, del quale si dovrà stimare in particolare il contributo delle portate idriche di piena, all'altezza della sezione idraulica interessata.



L'inquadramento dell'opera nel contesto del bacino, così come quello rispetto ai confini amministrativi del territorio, servirà anche per la verifica delle interazioni con gli strumenti di pianificazione e la gestione delle procedure organizzative (piani, competenze, vincoli).

La segnalazione del sito (o dei siti) interessato dall'intervento dovrà essere prodotta su una cartografia a piccola scala (1:50.000 o 1:25.000) e a scala maggiore, di dettaglio (1:10.000 o 1:5.000).

I progetti di Ingegneria Naturalistica sono caratterizzati da uno stretto rapporto con il territorio, sia per l'influsso esercitato su di esso che per i condizionamenti indotti. Occorre pertanto analizzare tutti i fattori che possono interagire con gli interventi, calandosi nel contesto ambientale – ma anche sociale – nel raggio d'influenza corrispondente a ciascuno di tali fattori. Alcuni di essi vanno valutati nell'ambito dell'intero bacino idrografico (idrologia), altri per zone più ristrette (stabilità del suolo).

È fondamentale per l'ottenimento di un assetto idraulico-ambientale in equilibrio, intervenire con opere di difesa idraulica o di sistemazione di versante, solo nel caso in cui la loro realizzazione si renda veramente necessaria. Detta necessità è determinata dall'esistenza di situazioni di danno, di rischio o di vulnerabilità inaccettabili. Alla valutazione di convenienza devono anche partecipare fattori economici (costo dell'opera e della gestione rispetto al costo dei beni da difendere) e politici (gestione dell'ambiente, fruizione dell'area, ecc.), oltre che funzionali (interruzione di servizi, collegamenti, ecc.).

Una volta stabilita l'esigenza di intervenire, si rende necessario ridurre i termini del problema sfruttando la capacità dello stesso sistema naturale di rispondere alle pressioni provenienti dall'esterno. Nel caso dei corsi d'acqua si tende a riconquistare o ampliare le aree di pertinenza fluviale, ove le piene si possano sfogare riducendo velocità e livelli; in sostanza si pratica l'operazione opposta della bonifica e della regimazione, tradizionalmente adottata negli ultimi decenni. Nel caso di versanti si cerca di controllare l'erosione, sfruttare la vegetazione circostante, rimuovere le cause d'innescio del fenomeno, drenare l'acqua superficiale e profonda. Queste problematiche e gli approcci d'intervento che ne derivano, saranno trattati in una fase pre-progettuale e dovranno essere quindi adeguatamente affrontati tramite un confronto con i pianificatori e i gestori del territorio in riferimento al "quadro programmatico", espresso dagli strumenti vigenti a diversi livelli (dal Piano di Bacino, al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, sino al Piano Strutturale su scala comunale).

Da tale confronto devono emergere gli interessi collettivi alla messa in sicurezza del territorio, gli obiettivi della pianificazione e le risorse eventualmente disponibili per realizzare gli intenti programmatici. In questa fase il ruolo dei tecnici esperti in Ingegneria

Naturalistica consiste principalmente nel mettere in evidenza pregi e costi delle diverse ipotesi, contribuendo a una selezione degli obiettivi e supportando una valutazione di tipo multicriteriale delle alternative di azione, compresa quella di non intervenire ("alternativa zero") in ossequio anche alla già trattata "legge del minimo" (cfr. cap. 2, fig. 2.1).

Il Regolamento della legge quadro sui lavori pubblici richiama principi di valutazione delle "problematiche di ordine ambientale" già in sede di programmazione degli interventi (art. 13) e in sede progettuale (capo II "La progettazione", art. 15 "Disposizioni preliminari") e prescrive in particolare che (art. 15, comma 12), qualora siano possibili più scelte progettuali, la scelta deve avvenire mediante l'impiego di una metodologia di valutazione qualitativa e quantitativa, multicriteri o multiobiettivi, tale da permettere di dedurre una graduatoria di priorità tra le soluzioni progettuali possibili. Tale modo di operare risulta aderente nell'ambito dell'approccio dell'intervento sul territorio, che, di fatto, è basato sul perseguimento del miglior compromesso possibile tra esigenze antropiche e dinamiche naturali. Si tende quindi ad indirizzare le scelte progettuali, in termini sia di tecnica che di localizzazioni, verso l'impiego di soluzioni a basso impatto ambientale (si pensi, per esempio, al caso delle casse di espansione o alla determinazione dei tratti fluviali in cui realizzare difese spondali).

I limiti d'applicazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica sono evidenti, in particolare, nei casi di elevata antropizzazione. Quando i corsi d'acqua, per esempio, presentano ingenti edificazioni lungo le fasce ripariali, normalmente non c'è lo spazio per ospitare opere che comportino la riduzione della velocità della corrente idrica o della sezione idraulica (le scarpate sistemate con tecniche di Ingegneria Naturalistica possono risultare, infatti, meno ripide, e nel medio periodo, più rugose, con un aumento della scabrezza e dell'ingombro da parte della vegetazione).

Vi sono limiti intrinseci dal punto di vista tecnico: nel caso di consolidamento di corpi franosi profondi, per esempio, le tecniche di Ingegneria Naturalistica risultano insufficienti in quanto, lo strato di suolo consolidato o protetto è limitato a quello colonizzabile in futuro dagli apparati radicali.

Sulla base dei risultati della prima fase di analisi del problema, degli obiettivi e del territorio si potranno definire, sulla base di valutazioni di massima e dell'esperienza dei progettisti, le tipologie di intervento che si ritengono adeguate, ovvero la classe di tecniche applicabili per ciascuna sub-area di intervento e procedere di conseguenza nell'impostazione degli studi e dei progetti.

Saranno poi queste successive valutazioni, anche quantitative, che consentiranno di verificare l'idoneità delle ipotesi fatte, modificandole o affinandole.

### 6.3.1 Programmazione del lavoro

Le modalità organizzative del lavoro vanno programmate sulla base dei dati preliminari che individuano, in linea di massima, la problematica e la tipologia d'intervento. In particolare è importante pianificare le indagini, in quanto queste richiedono un'attenta valutazione dei tempi di realizzazione, non solo per motivi amministrativi, ma anche perché, specie per gli indicatori ambientali, la validità dei dati raccolti può dipendere da indicatori stagionali.

Un altro importante aspetto organizzativo è quello della formazione del gruppo di lavoro. Essendo i progetti di Ingegneria Naturalistica a carattere transdisciplinare, si dovrà stabilire di volta in volta, a seconda del tipo di progetto e delle caratteristiche territoriali e ambientali, quali competenze coinvolgere per la fase d'indagine e per quella di progettazione. È importante stabilire da subito i ruoli operativi della committenza rispetto a quelli dei progettisti, anche se tali ruoli dovrebbero essere già definiti nella convenzione formale d'incarico stipulata tra le parti. Si dovrà chiarire, in particolare, chi svolge o segue determinate procedure e quali documentazioni o materiali dovrà fornire la committenza. Si tenga presente che, ai sensi della legge quadro sui lavori pubblici, il coordinamento delle procedure autorizzative e formali spetta al "responsabile del procedimento", che normalmente è un rappresentante tecnico dell'Ente appaltante; di tale lavoro può essere anche incaricato il progettista, che in ogni modo svolge sempre un ruolo di compartecipazione. In alcuni casi potrebbe essere opportuno organizzare incontri preventivi con gli Enti interessati, al fine di individuare in un primo *screening* le possibili alternative, o per conoscere se l'intervento necessita o meno di una determinata autorizzazione.

Un altro aspetto da esaminare prima della progettazione, è quello relativo ai permessi d'accesso ai luoghi di intervento, ovvero a terreni di proprietà privata, per effettuare sopralluoghi e indagini (ambientali, topografici, geologico-tecnici). In alcuni casi occorre richiedere all'Ente la produzione di uno specifico permesso, previo accordo o informativa con i proprietari dei terreni interessati. Modalità simili si dovranno adottare in sede di esecuzione dei lavori, in relazione alle aree interessate dal cantiere e agli spostamenti e transiti di automezzi; si dovranno inoltre prevedere eventuali forme d'indennizzo per danni arrecati, da valutare al termine dei lavori.

### 6.3.2 Analisi e studi di supporto alla progettazione

La raccolta della documentazione e i rilievi in campo costituiscono la fase analitica della progettazione preliminare, a cui si aggiunge la fase di prima elaborazione e/o trasposizione grafica; di seguito si fornisce un elenco di massima degli elaborati che sarebbe necessario produrre.

#### 6.3.2.1 Cartografia

A seconda dell'estensione dell'intervento e dell'area che viene investita dal progetto, può essere opportuno utilizzare una carta in scala 1:25.000 (corografia generale, per esempio individuazione del bacino idrografico), e/o una carta a scala 1:5.000 o 1:10.000 (corografia di dettaglio, per esempio analisi di un tratto fluviale), e/o una carta a scala 1:2.000 (planimetria, per esempio misurazione e quantificazione dell'intervento).

Tali cartografie sono generalmente disponibili su supporto magnetico, il che consente di acquisirle per elaborazioni grafiche in sistemi di disegno al computer compatibili con gli standard maggiormente usati in topografia e in progettazione (CAD-GIS).

Sulle carte topografiche è possibile individuare alcuni dei servizi a rete (quali gli elettrodotti), mentre per le servitù e i vincoli connessi a servizi interrati (distribuzione metano, acquedotto, ecc.) occorre reperire informazioni presso gli Enti gestori o tramite rilevazione delle cartellature di segnalazione.

#### 6.3.2.2 Strumenti urbanistici e pianificazione

Le cartografie dei Piani urbanistici (in genere a scala 1:2.000), dei Piani territoriali (in generale a scala 1:10.000) o dei Piani di Bacino (in genere a scala 1:25.000) possono servire per la definizione degli interventi di progetto e per l'orientamento alle soluzioni più adeguate. In prima istanza queste cartografie ci informano sui vincoli territoriali futuri, sulle aree di futura urbanizzazione che necessitano di salvaguardia dai rischi e dai dissesti, sulle aree di pertinenza fluviale o destinate a opere di difesa idraulica o di espansione fluviale. Dove le prescrizioni di piano prevedono la destinazione a parco, a verde di rispetto o naturalistico, ad uso agricolo, allora non è opportuno artificializzare il contesto territoriale, e non vi sono normalmente motivazioni valide per ridurre o contrastare gli aspetti di naturalità legati alle dinamiche fluviali o geomorfologiche.

La consultazione di mappe catastali (in scala 1:2.000 o 1:4.000) è di grande rilevanza in quanto il regime di proprietà dei suoli è spesso un elemento condizionante e determinante per le scelte di programmazione territoriale.

L'individuazione dei confini demaniali lungo strade, fiumi o litorali è talvolta problematico e uno degli obiettivi della sistemazione ambientale può essere quello di riedificare in maniera visibile dei confini ai beni pubblici e agli ambienti fluviali (con siepi, filari, fossi, ecc.), in modo da impedire fenomeni d'abusivismo o appropriazione indebita dei suoli.

Le mappe catastali usate come base per rilievi topografici, costituiscono spesso un'interessante testimonianza storica sulle dinamiche fluviali, perché consentono di verificare lo spostamento del ciglio di sponda imputabile all'evoluzione del corso d'acqua, confine tradizionale delle acque pubbliche e quindi limite estremo dei fondi agricoli.

### 6.3.2.3 Studi e rilievi esistenti

Se esistono studi, tesi di laurea, ricerche, precedenti progetti relativi all'area d'intervento, è bene acquisire tale materiale per gli opportuni riscontri sullo stato dei luoghi; studi e analisi ambientali preesistenti, inoltre, possono testimoniare sull'evoluzione storica di un fenomeno (frana, dissesto, ecc.), fornendo spesso grandezze e misure utilizzabili per il dimensionamento degli interventi futuri.

Nei progetti a forte caratterizzazione territoriale può risultare utile raccogliere informazioni provenienti dalla conoscenza e dall'esperienza di coloro che vivono nel territorio o che ci lavorano, primi fra tutti i tecnici che operano nelle Amministrazioni pubbliche.

### 6.3.2.4 Raccolta della bibliografia

La bibliografia allegata ai progetti è ordinariamente costituita dai testi o studi citati nel lavoro, o utilizzati a giustificazione di particolari affermazioni. Nel caso dei progetti che utilizzano tecniche di Ingegneria Naturalistica, si pone il problema di fornire suggerimenti di ricerca sia ai progettisti sia ai soggetti che devono svolgere una funzione di verifica del progetto, sia a quei tecnici che, pur visionando il progetto o occupandosi di problematiche affini, non conoscono i presupposti della disciplina, o non hanno esperienza di tali tecniche e sentono l'esigenza di approfondire l'argomento.

Nella fase di analisi dei costi, i riferimenti obbligati per il progettista sono i prezzari ufficiali del Ministero dei Lavori Pubblici (pubblicati regione per regione a cura del Provveditorato alle Opere Pubbliche), i prezzari regionali, in particolare quelli specifici per opere agricole-forestali o di ingegneria naturalistica eventualmente esistenti, i prezzari della associazioni di categoria (per esempio, Assoverde, AIPIN).

Nella redazione dei progetti di Ingegneria Naturalistica e ambientale si utilizzano spesso dei materiali di provenienza locale o legati a particolari circostanze di approvvigionamento (castagno, paleria, pietrame di cava, piante autoctone, ecc.). I prezzi di tali materiali possono distaccarsi anche in maniera sensibile dai prezzi ufficiali di riferimento.

Nella fase di progettazione preliminare occorre eseguire dei rilievi sul campo che possano consentire misurazioni di larga massima (rilievi speditivi) in quanto l'importo economico degli interventi previsti va quantificato con una certa precisione; tali rilievi non possono sovente essere confortati da misurazioni adeguate, in quanto gli incarichi per rilievi e misure sono normalmente compresi nella fase definitiva della progettazione. Il lavoro di progettazione deve quindi contare sulle conoscenze acquisite in campo o tramite l'integrazione con analisi cartografiche.

Tali rilievi sono costituiti da ricognizioni in campo, dalla raccolta di un'adeguata documentazione fotografica, dalla raccolta di cartografie e da rilievi topografici di ridotta estensione, dal tracciamento di sezioni idrauliche tipo e, ove

possibile ed opportuno, da disamine della flora e della vegetazione del luogo attuate in modo approfondito, anche se non necessariamente sistematico da documentazioni iconografiche storiche (per verificare le dinamiche naturali), dal reperimento di informazioni cartografiche sul regime di proprietà, sulle reti di servizi passanti nelle aree di progetto e sulle servitù a queste collegate (Bacci, Bardi, Dignani, 2000).

### 6.3.2.5 Rilievi topografici

I rilievi topografici puntuali nelle aree direttamente interessate dal progetto sono sempre necessari e sono finalizzati alla restituzione di planimetrie e sezioni localizzate; la scala prescelta varia a seconda dell'estensione.

Per ciò che riguarda le sezioni, poiché costituiscono elaborato di supporto anche alla fase di cantiere, vi è la necessità di consentire la percezione esatta delle modificazioni del profilo dei suoli o delle condizioni idrauliche; perciò è opportuno disporre di restituzioni a stampa a scala 1:100, 1:50, 1:20 o, addirittura, 1:10.

Il rilievo topografico assume spesso un ruolo marginale della progettazione, posto adeguatamente ad un livello inferiore rispetto agli altri aspetti trattati, spesso con valenza connessa a valutazioni esclusivamente economiche (computi, espropri). Già tali finalità meriterebbero maggiore cura e l'esame di alcuni elaborati progettuali, le conseguenti approssimazioni che un "errato" rilievo topografico e una cattiva restituzione implicano, induce a ritenere che vada riservata un'attenzione maggiore agli aspetti topo-cartografici relativi alle progettazioni nel campo idraulico e geotecnico. Nella pratica professionale il progettista (o il gruppo di progettazione), in genere, delega il rilievo topografico a professionisti specializzati che spesso hanno poca familiarità con le problematiche ambientali.

Spesso si nota un'attenzione, non sempre motivata alla precisione numerica, ma non bilanciata da una cura delle problematiche geomorfologiche o delle emergenze idraulico-naturalistiche.

Pertanto l'attività di indirizzo e controllo dei rilievi non è da trascurare, date le implicazioni e i limiti che può provocare alla prosecuzione dell'iter progettuale.

Le considerazioni fin qui svolte spingono a ritenere indispensabile una riflessione sui *criteri guida dei rilievi topografici* finalizzati alla progettazione di un intervento naturalistico.

Un accurato rilievo consentirà di sviluppare meglio tutte le fasi progettuali e di rappresentare in modo più chiaro le indicazioni necessarie a chi è deputato all'esame e valutazione del progetto e a chi, successivamente, dovrà eseguire l'oggetto progettuale.

A questo proposito si segnala che dovrà essere posta particolare attenzione nella determinazione della sezione di deflusso e, della tipologia delle opere d'arte, della situazione futura in rapporto alle operazioni di manutenzione. Si dovrà predisporre quanto necessario per la circolazione dei mezzi in genere, dei raggi d'azione dei mezzi

effossori (per lo scavo) o per il diserbo, dei trasporti a rifiuto, ecc.

Sulla scorta di quanto detto non sembrerà fuori luogo parlare di *programma di rilievo* o ancora meglio di *progetto di rilievo topografico*.

Le finalità progettuali influenzano le scelte topografiche e indicano il grado di precisione (incertezza), nella determinazione delle grandezze topografiche atte a rappresentare, in maniera "fedele", l'oggetto del rilievo. È altresì fondamentale prefigurare l'estensione del rilievo:

- piccola estensione;
- media estensione;
- grande estensione.

Il primo passo progettuale è finalizzato alla predisposizione di una cartografia di base.

È opportuno ed indispensabile che tale cartografia di base sia approntata prima che venga svolta qualsiasi altra attività progettuale; altrettanto indispensabile che tutti gli "attori" del progetto siano forniti ed interagiscano tra di loro a mezzo della stessa cartografia di base. La cartografia di base per i lavori progettuali in genere è frutto di un'elaborazione e/o di un aggiornamento di una cartografia preesistente. È importante aggiornare la cartografia con l'inserimento delle infrastrutture e completarla con l'acquisizione delle mappe recanti l'indicazione dei vincoli di varia natura imposti sul territorio (delimitazioni di parchi naturali, riserve naturali, aree archeologiche, ecc.)

Acquisita e completata la cartografia di base, essa sarà messa a disposizione di tutti gli "attori" che interverranno nella progettazione (ingegnere, architetto, geologo, agronomo, forestale, naturalista, ecc.) in modo da adottare un'unica base per i riferimenti cartografici, a vantaggio della comprensione.

La cartografia di base può essere utile per l'impostazione del progetto, ma per l'elaborazione del progetto esecutivo è indispensabile procedere al rilievo dettagliato del terreno su cui va ad inserirsi l'opera.

Il rilievo di dettaglio fornirà:

- la restituzione plano-altimetrica dell'area in oggetto;
  - in ambito fluviale: dell'area interessata ordinariamente dal deflusso della corrente idrica, delle aree di espansione, delle aree di spandimento, delle sponde e degli argini per una distanza significativa dall'alveo;
  - in ambito di versante: nell'intorno dell'area in oggetto sino a caratterizzare il suo assetto morfologico;
- in ambito fluviale è necessario eseguire il profilo longitudinale dei punti più depressi dell'alveo, delle sommità arginali o del terreno immediatamente vicino alle sponde nel caso di alvei incassati;
- per i versanti è necessario eseguire delle sezioni trasversali che rappresentino l'andamento altimetrico in direzione perpendicolare all'asse, o lungo la linea di massima pendenza.

La cartografia di dettaglio, elaborata a seguito del rilievo celerimetrico, dovrà comprendere quanto riportato nella **tabella 6.1**.

Per la simbologia da adottare si consiglia di far ricorso a quella codificata, in quanto generalmente usata e facilmente reperibile in pubblicazioni.

Per i tematismi specifici e non previsti si farà ricorso a nuovi simboli, avendo cura di adottare tratti semplici con richiami logici tali da renderli di intuibile lettura.

Nelle prime fasi, risulta utile un confronto tra il progettista ed il topografo. Il progettista illustra all'incaricato del rilievo le idee progettuali e fornisce ogni elemento utile per la valutazione dei particolari da acquisire. Si consulterà la cartografia acquisita individuando i capisaldi su cui dovrà appoggiarsi il rilievo di dettaglio. Se il progettista dovrà compiere ogni sforzo per trasmettere al topografo lo spirito che anime la progettazione, quest'ultimo farà in modo da percepire tutte le "esigenze topo-cartografi-

**Tab. 6.1** - *Contenuto della cartografia di dettaglio elaborata a seguito del rilievo celerimetrico*

	Corsi d'acqua	Versanti
Rappresentazioni	X	X
Grandezze geometriche	X	X
Alveo	X	
Argini	X	
Piano campagna	X	X
Golene	X	
Pendenze	X	X
Livelli idrici	X	
Magra	X	
Morbida	X	
Piena	X	
Aree d'espansione	X	
Intersezioni	X	X
Ponti	X	
Strade	X	X
Immissioni	X	
Scarichi	X	X
Derivazioni	X	
Guadi	X	
Indicazioni ai fini della sicurezza	X	X
Interferenze	X	X
Linee elettriche		X
Gasdotti		X
Linee telefoniche		X
Acquedotti	X	X
Fognature	X	X
Aree belliche	X	X
Indicazioni per il programma di manutenzione	X	X

che” necessarie per trasformare le idee progettuali in elaborati di cantiere.

Un buon rilievo è anche frutto di una buona conoscenza del territorio, pertanto la ricognizione dei luoghi dovrà interessare un ampio intorno alla zona d’interesse individuando ogni particolare utile quali opere d’arte, strade, fabbricati, linee elettriche, linee telefoniche, acquedotti, fognature, metanodotti ed ogni altro particolare che potrà tornare utile nella progettazione.

Va osservata attentamente la vegetazione (alberi, arbusti, tipi di colture, ecc.) elemento fondamentale per una progettazione che voglia far ricorso a tecniche di Ingegneria Naturalistica compatibili con lo stato dei luoghi.

Il sopralluogo preliminare consentirà al topografo di avere una visione generale dei luoghi. È opportuno in questa fase eseguire un’adeguata documentazione fotografica con l’indicazione sulla carta base dei punti di vista e dei coni di visuale.

Bisogna approfondire in quest’operazione più tempo possibile in quanto un’attenta ricognizione, oltre all’utile raccolta di dati, consentirà di comprendere l’evoluzione del fenomeno studiato (corso d’acqua e regime idraulico oppure versante e dinamica dei movimenti), ricavando da ciò indicazioni che condurranno a corrette scelte progettuali.

Oltre alla puntuale ricognizione dell’area in progetto, nel caso di intervento in ambito fluviale va fatta anche una ricognizione dell’intero bacino imbrifero per poter successivamente cartografare grandezze necessarie alla stima di parametri che pure concorrono alla determinazione della portata (superfici permeabili boscate, superfici impermeabili non boscate, superfici impermeabili) e nel caso di ambito di versante la ricognizione va estesa all’intero versante.

La ricognizione va anche indirizzata al rilievo di tutti i particolari che concorreranno successivamente alla redazione del piano di sicurezza ed, in particolare, alle zone individuate come aree di cantiere.

Nei sopralluoghi che si effettueranno, incontrando la gente del posto la si interroghi sull’esperienza che la lega agli elementi del territorio futuri, o almeno apparentemente tali: queste considerazioni potranno suscitare idee progettuali o comunque fornire indicazioni preziose sull’evoluzione dei fenomeni ambientali. Nel caso in cui sulle carte a nostra disposizione non sia riportato il corso d’acqua oppure lo stesso abbia subito un cambiamento di letto od altre variazioni, potremmo, in un lasso di tempo brevissimo, anche in fase di ricognizione, rilevare la nuova situazione utilizzando un ricevitore GPS ed un sistema di rilevamento dinamico.

Altrettanto dicasi per i movimenti franosi ancora attivi.

Il topografo proseguirà con la predisposizione delle apparecchiature, degli strumenti e del personale ausiliario. Il progettista fornirà indi-

cazioni circa gli strumenti da utilizzare, in funzione del grado di precisione, dell’estensione del rilievo e dell’altimetria; il topografo verificherà ed integrerà tali indicazioni concludendo tale fase con la redazione di una lista di strumenti ed apparecchiature e dei collaboratori, che è strettamente connessa alla metodologia di rilievo adottata.

Si predisporrà l’occorrenza per l’accesso alla zona da rilevare: trattandosi generalmente di aree fluviali o di versanti in dissesto sarà certamente presente una vegetazione arbustiva ed arborea, per questo si potrebbe verificare il caso in cui si debba far ricorso all’uso di decespugliatori o tagliaerba.

Nel rilievo di medie dimensioni di solito il rilievo plano-altimetrico è eseguito separatamente nelle fasi planimetrica ed altimetrica.

La parte planimetrica è rilevata col ricorso a strutture di appoggio costituite da poligoni di tipo chiuso, più raramente da triangolazioni, in ogni caso da strutture predeterminate, aventi i vertici situati in prossimità del corso d’acqua e collegate ai punti di posizione nota (vertici trigonometrici - poligoni o triangolazioni di base).

La parte altimetrica è definita da operazioni di livellazioni, in genere livellazioni geometriche, in alcuni casi trigonometriche, anch’esse definite da strutture iperdeterminate e collegate a punti di quota note (livellazioni di base).

Una tecnica di utilizzo più recente nel rilievo plano-altimetrico può essere quella già accennata del Sistema di Posizionamento Globale (GPS) dei vertici di appoggio, attraverso l’uso di ricevitori satellitari con stazionamento statico puro o statico rapido.

Le fasi di un rilievo celerimetrico di piccola estensione o di dettaglio sono due:

- la determinazione dei punti d’appoggio partendo dai capisaldi con poligoni, più raramente si fa ricorso alle triangolazioni;
- la determinazione dei punti di dettaglio mediante il rilievo per coordinate polari, per coordinate cartesiane o per allineamento.

Particolare attenzione dovrà essere posta nel rilievo delle sezioni trasversali che dovranno essere eseguite con le seguenti modalità:

- secondo piani verticali e perpendicolari, all’andamento del corso d’acqua esistente od al nuovo asse progettato nonché per le aree di versante lungo la linea di massima pendenza, al fine di ottenere quanti più punti di dettaglio;
- nei corsi d’acqua le sezioni dovranno essere realizzate con le spalle al senso della corrente e la spaziatura dovrà avere una sequenza di 150-200 m per canali su fondovalle, con sequenza di 20-30 m per corsi d’acqua prevallivi, ogni qualvolta tra due sezioni la differenza di quota del pelo libero dell’acqua superi i 50 cm e in ogni cambio sensibile della geometria del terreno;
- nei versanti le sezioni dovranno essere realizzate ortogonalmente e longitudinalmente alla linea di massima pendenza con spaziatura compatibile con l’estensione dell’area interes-

sata e con battitura dei punti ogni qualvolta vi sia un cambio di pendenza.

In corrispondenza delle opere d'arte, produrre 4 sezioni: 2 che interessino l'opera, 1 a monte ed 1 a valle distanziate rispetto all'opera di circa 10-50 m.

Occorrerà rilevare, con altrettanta attenzione, tutti gli scoli d'acqua, le caratteristiche dimensionali, la loro origine e natura.

Il rilievo topografico assumerà tutti i dati che consentiranno la restituzione su carta dei seguenti elaborati:

- piano quotato per punti;
- piano quotato con curve di livello;
- planimetria, profilo e sezioni;
- planimetria catastale dello stato di fatto;
- rilievo delle opere d'arte.

Se si ritiene opportuno, si eseguiranno delle verifiche con l'ausilio dello strumento. Con l'ausilio delle monografie, si partirà dai capisaldi e si controllerà prima la rete dei punti di appoggio e poi i punti di dettaglio.

Un esempio: di un rilievo interessante una zona lungo 1 km si potranno verificare 2 punti d'appoggio ed una sezione ogni venti.

Verificata la rispondenza del rilievo con lo stato di fatto si procederà all'aggiornamento della cartografia acquisita.

Si costruirà l'andamento planimetrico, in modo rigorosamente geometrico, con curve e rettilinei; su apposite tabelle sono annotati i dati caratteristici degli elementi geometrici (angoli al vertice, angoli al centro, tangente, bisettrice, sviluppo dell'arco, lunghezza dei rettilinei, ecc.).

Occorrerà tenere conto delle proprietà esistenti e da espropriare in modo da non creare eccessivi relitti o smembramenti.

Manifestandosi delle incompatibilità si correggeranno i tracciati ed i profili con le modalità e nella successione come sopra indicate.

Definito il tracciato, il profilo e le sezioni si porrà l'attenzione sulla sistemazione delle acque.

Definiti gli elaborati (planimetria, profilo, sezioni) si potranno calcolare, eventualmente, le aree ed i volumi per computare i movimenti di materiale.

#### 6.3.2.6 Analisi dell'ambiente di intervento

L'analisi degli ecosistemi interessati dall'intervento si rende necessaria ad orientare la scelta delle sistemazioni del suolo, delle regimazioni idrauliche, delle specie vegetali di progetto. Quest'analisi può essere costituita da differenti contributi, per esempio da una semplice descrizione all'interno della relazione di progetto, ad una restituzione cartografica che individui il confine tra i diversi ecosistemi (fronte del bosco, linea di sponda, ecc.), ad una dettagliata descrizione della fauna, ad una ricerca bibliografica sulle caratteristiche del sistema di paesaggio nel quale si interviene.

#### 6.3.2.7 Rilievi vegetazionali

La flora esistente nel sito può essere indagata in due modi:

- attraverso un censimento floristico;
- attraverso un'analisi vegetazionale.

Nel primo caso, vi sono sistemi di analisi codificati e consuetudinari che possono consentire di rilevare tutte le specie presenti in una determinata area e di attribuire al sito caratteristiche ambientali di qualità o di degrado ambientale a seconda del tipo di spettro biologico, corologico ed ecologico che emerge dal censimento.

Il censimento floristico, condotto con criteri rigorosi e scientifici, presuppone rilievi di campo diffusi, indagini a campione approfondite con delimitazione di aree di saggio permanenti, in diverse stagioni. L'aspetto positivo del censimento floristico è dato dalla sua potenzialità di "fotografare" gli aspetti di qualità ambientale di un sito consentendo un'ottima ed immediata visualizzazione con la quantificazione delle specie rare, delle specie endemiche ed esotiche. L'analisi floristica, naturalmente, non può informare sulle dinamiche vegetazionali o sui fenomeni in atto a livello di fitocenosi (dominanza, recessione, ecc.).

L'analisi vegetazionale, invece, propone un approccio di tipo diverso, cioè un'indagine che, pur partendo dal censimento floristico, pone l'attenzione sui rapporti di tipo sociale (competitivo) che le piante intrattengono tra loro; questo tipo di analisi ci offre informazioni sulle associazioni vegetali, sui rapporti esistenti all'interno di tali consociazioni, sul livello di evoluzione e di maturità dell'associazione medesima.

Il metodo più consolidato di analisi delle cenosi vegetali è il "metodo fitosociologico" o di "Braun Blanquet". Il vantaggio maggiore di tale sistema di analisi è dato dall'esistenza di una strumentazione di analisi e di restituzione dei dati conosciuta dai tecnici del settore; inoltre fornisce informazioni di tipo dinamico in quanto, oltre ad analizzare una formazione vegetazionale consentendoci di attribuirle ad un'associazione classificata, ci permette di valutare se localmente questa si presenta in progressione, in evoluzione o in regressione.

#### 6.3.2.8 Studi idrologico-idraulici

A valle e a monte dell'area di progetto, nelle situazioni dove le tecniche d'intervento potrebbero far variare le portate è necessario prevedere uno studio idrologico - idraulico, già nella fase di progettazione preliminare.

La valutazione di alcune grandezze idrauliche è comunque importante e viene richiesta se esse incidono sul funzionamento o sulla resistenza dell'opera oppure, viceversa, se quest'ultima può determinare una variazione delle stesse grandezze tale da comportare eventuali problemi. In tali casi è opportuno produrre verifiche che attestino l'accettabilità rispetto alle condizioni stimate, oppure che orientino alla modifica nel dimensionamento o nella scelta delle soluzioni.

Si tenga presente che, quasi sempre, le grandezze in gioco hanno natura stocastica e, soprat-

tutto per le opere di Ingegneria Naturalistica, i dati necessari a tarare modelli interpretativi sono essenzialmente carenti, se non mancanti. Quindi si ricorre a osservazioni di riferimento e a principi cautelativi.

#### 6.3.2.9 Studi geologici e geotecnici

In molti casi può essere necessario verificare le condizioni di stabilità del terreno e delle opere ivi collocabili, tramite lo studio di eventuali movimenti franosi e valutazioni geotecniche, che richiedono l'analisi del tipo di terreno, delle condizioni geomorfologiche e idrogeologiche. Queste ultime possono essere importanti anche nel caso di potenziali effetti determinati dall'interazione con la falda (Bacci, Bardi, Dignani, 2000). Gli studi della geomorfologia e delle dinamiche fluviali in particolare del trasporto solido sono importanti per la mirata pianificazione e progettazione degli interventi di sistemazione idraulica dei corpi idrici, specie ove non si limitino a semplici consolidamenti puntuali.

#### 6.3.2.10 Rilievo fotografico

È necessario nella fase di progettazione preliminare in quanto consente un'immediata visualizzazione delle problematiche e dello stato dei luoghi interessati dal progetto. È opportuno che la documentazione fotografica sia congrua nel numero delle immagini e costituita da foto ben leggibili georeferenziate ed organizzate con riferimenti didascalici.

#### 6.3.2.11 Ulteriori dati

Nella fase di elaborazione progettuale può risultare utile effettuare confronti ed incontri mirati con la popolazione, con soggetti collettivi portatori di interessi diffusi, con associazioni e comitati locali.

Come accennato i progetti di Ingegneria Naturalistica presuppongono la disponibilità di materiale vivo o morto usualmente non presente sul mercato, e presuppongono il coinvolgimento di maestranze, forestali, tecnici del verde, specializzati in tale settore.

Tra i materiali fuori mercato, rientrano la ramaglia viva di salice, la ramaglia morta di castagno di dimensioni ridotte, le talee in genere di specie dotate di capacità di propagazione vegetativa e di capacità di emissione di radicazione avventizia (salici, pioppi, tamerici, miricaria, ecc.).

Motivi di carattere paesaggistico-ambientale suggeriscono poi di utilizzare terreni e pietrame di provenienza locale, che possiedono il chimismo compatibile con le condizioni stazionali, i colori e la forma propri del luogo e che inglobano normalmente semi già presenti in sito.

### 6.3.3 Progettazione

L'articolazione, la struttura e gli obiettivi delle diverse fasi della progettazione sono definite dalla legge quadro sui lavori pubblici (L. 109/

1994). In genere sono previste tre fasi di progettazione, corrispondenti a rispettivi tre livelli di approfondimento e definizione: preliminare, definitiva ed esecutiva. Si rimanda quindi alla suddetta normativa (art. 16) e al suo regolamento attuativo (DPR 554/1999) per le procedure e le formalità da espletare.

A tal proposito, in linea generale, l'articolo 15 del suddetto regolamento dispone quanto segue: "La progettazione deve essere adeguata tra l'altro a principi di minimizzazione dell'impiego di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate nell'intervento e di massima manutenibilità, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni nel tempo.

Il responsabile del procedimento cura la redazione di un documento preliminare all'avvio della progettazione, con allegato ogni atto necessario alla redazione del progetto [...]. Il documento preliminare [...] riporta fra l'altro l'indicazione a) della situazione iniziale e della possibilità di far ricorso alle tecniche di Ingegneria Naturalistica; h) degli impatti dell'opera sulle componenti ambientali [...].

I progetti [...] sono redatti [...] in modo da assicurare il massimo rispetto e la piena compatibilità con le caratteristiche del contesto territoriale e ambientale in cui si colloca l'intervento, sia nella fase di costruzione che in sede di gestione.

Gli elaborati progettuali prevedono misure atte ad evitare effetti negativi sull'ambiente, sul paesaggio [...] in relazione all'attività di cantiere". La progettazione deve essere adeguata tra l'altro a principi di minimizzazione dell'impiego di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate nell'intervento e di massima manutenibilità, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni nel tempo.

La *progettazione preliminare* ha lo scopo essenziale di consentire una verifica con il committente su un ventaglio di ipotesi progettuali ancora da esplorare o da approfondire in modo da poter scegliere con precisione gli indirizzi del successivo progetto esecutivo. Lo scopo principale della progettazione preliminare è, talvolta, quello di consentire ad un Ente di rivolgere specifiche richieste di finanziamento ad altri Enti pubblici erogatori, competenti in materia trattata o dotati di poteri di controllo o di supervisione. Gli elementi costitutivi della progettazione possono essere:

- caratterizzazione del problema, tramite rilievi di campo e indagini preliminari, descrizione sintetica delle problematiche che originano la necessità di intervento;
- individuazione delle ipotesi di soluzione, tramite descrizione sintetica delle strategie di intervento e delle tecniche ritenute più adeguate, loro localizzazione su cartografia a sca-

la vasta e media, documentazione schematica sulle tipologie proposte;

- studio di prefattibilità ambientale, ovvero confronto di massima dei prevedibili effetti fra le possibili soluzioni e individuazione delle misure di mitigazione e miglioramento;
- analisi economica, tramite determinazione di massima dei costi previsti per le sistemazioni proposte.

La progettazione definitiva ed esecutiva deve essere strutturata in modo da consentirne una valutazione da parte degli organi pubblici committenti o di controllo; deve, quindi, prevedere una relazione tecnica sintetica che motivi, sulla base degli studi svolti in fase preliminare e dei successivi confronti, le scelte tecniche e progettuali; deve, inoltre, prevedere tutti gli elaborati grafici necessari a rendere comprensibile e cantierabile l'intervento. Per ciò che riguarda la parte economica, il progetto esecutivo deve prevedere un elenco prezzi, con i prezzi a misura e a corpo di tutti i materiali e tutte le opere progettate o inserite nel medesimo progetto, un capitolato speciale d'appalto con tutte le condizioni e prescrizioni d'impresa, un computo metrico estimativo con la quantificazione degli interventi, il relativo prezzo e i totali risultanti. Si tenga inoltre presente che il "regolamento Merloni" richiede anche il "quadro dell'incidenza percentuale della quantità di manodopera", che risulta essere un aspetto importante per i lavori di Ingegneria Naturalistica.

Per gli elaborati che compongono il progetto definitivo ed esecutivo si rimanda ai capitoli specifici la trattazione più approfondita degli argomenti.

### 6.3.3.1 Indagini geologiche e geotecniche

Alcune tecniche di Ingegneria Naturalistica (gradonate vive, cordonate vive, palificate vive) possono essere interpretate come strutture geometricamente e strutturalmente definite, il cui comportamento meccanico può essere quindi modellizzabile matematicamente.

Per quel che riguarda gli interventi di Ingegneria Naturalistica, in ambito fluviale, di versante od in aree degradate, le relazioni geologica e geotecnica sono parte della documentazione progettuale, già nella fase di progettazione preliminare.

Studi geomorfologici, geologici, geopedologici e geotecnici di dettaglio con indagini in sito e prove di laboratorio, sono indispensabili a corredo della progettazione, perché l'efficacia delle tecniche di Ingegneria Naturalistica è direttamente collegata al tipo di substrato, alle sue caratteristiche geomeccaniche, al chimismo del suolo.

Alcune delle analisi in ambito geologico e geotecnico, che devono essere effettuate come supporto alla progettazione di opere di Ingegneria Naturalistica possono essere così suddivise:

#### 1) In ambito fluviale:

- A scala di bacino idrografico:
  - analisi geolitologiche e strutturali;
  - analisi geomorfologiche;

- analisi morfometriche, con acquisizione dei seguenti elementi:

- § delimitazione del bacino (spartiacque superficiale e sotterraneo);
- § forme reticolate (*pattern*);
- § perimetri e superfici del bacino e dei sottobacini;
- § quote;
- § lunghezza del corso d'acqua principale e delle aste fluviali di classe minore;
- § pendenza dei corsi d'acqua e del versante;
- § densità dei drenaggi;
- § fattore forma;
- § rapporti di biforcazione;
- § uso del suolo per il coefficiente di deflusso;
- § capacità d'infiltrazione.

- Per le sponde ed il fondo del corso d'acqua:
  - competenza del fiume;
  - dimensione massima dei blocchi trasportati;
  - erosione delle sponde;
  - aree in deposito;
  - presenza di opere (di Ingegneria Naturalistica e non) già realizzate.

#### 2) In ambito di versante:

- analisi geolitologiche e strutturali;
- analisi geomorfologiche (acclività, presenza di elementi morfogenetici);
- stratigrafia dei terreni con acquisizione dei seguenti elementi:
  - § spessori;
  - § presenza e caratteri della falda acquifera, filtrazione ecc;
  - § caratteristiche geomeccaniche;
- geometria, estensione ed andamento in profondità della/e superficie/i di scivolamento;
- valutazione delle volumetrie (masse) di terreno in movimento;
- presenza ed interferenza delle opere (di Ingegneria Naturalistica e non) preesistenti;
- verifiche numeriche di stabilità di pendio, allo stato attuale, a seguito dell'intervento.

Si possono di seguito elencare alcune analisi, per quanto riguarda gli aspetti geotecnici:

- granulometria dei terreni di sedime degli interventi ed in ambito fluviale dei sedimenti trasportati e depositati con determinazione dei *limiti di Atterberg* per il materiale più fine, porosità e grado di saturazione;
- parametri geotecnici dei terreni di sedime delle opere, in particolare angolo d'attrito interno, coesione, peso naturale, mediante prove in sito ed in laboratorio, in condizioni drenate e non drenate.

### 6.3.3.2 Integrazione agli studi idraulici e idrologici

Nel caso di interventi in ambito fluviale i dati da acquisire per gli studi di carattere idraulico possono essere di seguito elencati nei seguenti punti:

- dati idrologici della stazione pluviometrica



più vicina al luogo dell'intervento (reperibili presso Enti);

- dati topografici del/i bacino/i sotteso/i al corso d'acqua e sversanti nello stesso;
- rilievi plano-altimetrici per il calcolo delle pendenze del corso d'acqua compreso il profilo longitudinale;
- rilievi per l'acquisizione della velocità del corso d'acqua;
- rilievi spondali per la definizione dei coefficienti di scabrezza.

Gli Enti territoriali con specifiche competenze sulla gestione della rete idrografica hanno già condotto studi aventi analoghe finalità; i dati in essi raccolti ed elaborati, costituiscono un preciso riferimento di base per la redazione dei progetti di sistemazione idraulico-ambientale; in particolare si ricordano:

- SAPRO - Ministero dei Lavori Pubblici - Provveditorato per le Opere Pubbliche del Lazio, *Piano generale per la difesa del suolo e la utilizzazione delle risorse idriche del Bacino del Fiume Tevere. Secondo stralcio*, Roma, 2001;
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere, *Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico* (PAI), Roma, 2001;
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere, *Primo Stralcio Funzionale. Aree soggette a rischio di esondazione nel tratto del Tevere compreso tra Orte e Castel Giubileo. Progetto di Piano di Bacino*, Roma, 1995;
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere, *Piano straordinario diretto a rimuovere le situazioni a rischio molto elevato* (PST), Roma 1999;
- Autorità di Bacino del Fiume Tevere, *Prima Elaborazione del Progetto di Piano di Bacino del Fiume Tevere*, Roma, 1999;
- Consorzio di Bonifica Tevere-Nera, *Studio per l'individuazione dei tratti fluviali in dissesto e a rischio ricadenti nel territorio consortile*, Terni, 1999;
- Consorzio Irriguo e di Bonifica Valdichiana Romana, *Studio idraulico*, in corso di elaborazione.

Se nel progetto preliminare si sono presentate sezioni tipo della sistemazione idraulico-ambientale, nel progetto definitivo ed esecutivo si devono allegare:

1) in ambito fluviale:

- sezioni idrauliche reali, localizzate su planimetria e quotate;
- profili longitudinali dell'alveo;
- calcoli idraulici rapportati alle sezioni tracciate;
- i livelli di piena nei punti interessanti;

2) in ambito versante:

- sezioni geologiche, localizzate su cartografia planimetrica, quotate, con indicazione della falda e della/e superfici di scivolamento;
- stratigrafie locali con parametri geomecanici;
- caratterizzazione geotecnica puntuale.

A titolo d'esempio si riportano quattro grafici indicanti un rilievo di base con indicati alcuni parametri idraulici necessari per la progettazione in un ambito fluviale.

In particolare nelle figure 6.1 e 6.2 è rappresen-

tato un tratto di corso d'acqua con indicate le sezioni. Accanto alle sezioni viene mostrata, su reticolo di 2 m x 1 m, la situazione reale (fig. 6.3). Il quarto diagramma (fig. 6.4) mostra l'elaborazione grafica utile per la determinazione ed il confronto, su diverse sponde, della forza di trazione esercitata dall'acqua. In funzione della portata di piena, della geometria dell'alveo e del tracciato longitudinale del corso d'acqua, infatti, si ricavano le massime tensioni agenti sulle strutture di progetto.

I calcoli delle tensioni tangenziali massime agenti sulle opere possono essere effettuati secondo il metodo delle tensioni di trascinamento partendo dalla formula:

$$\tau_w = \gamma R i$$

dove:

$$\begin{aligned} \gamma &= \text{peso specifico} \\ R &= \text{raggio idraulico} \\ i &= \text{inclinazione} \end{aligned}$$

o, per sezioni con un rapporto tra la larghezza e la profondità superiore a 30:

$$\tau_w = g h i$$

$$h = \text{altezza del pelo libero}$$

tenendo ovviamente conto dei coefficienti correttivi per l'aumento delle tensioni tangenziali nei tratti di asta in curva. Tali valori vanno confrontati nei vari tratti dell'alveo con le massime tensioni tangenziali resistenti ammissibili per le strutture di progetto, verificando sempre che sia:

$$\tau_r > \tau_w$$

$$\begin{aligned} \tau_r &= \text{resistenza al trascinamento delle opere di Ingegneria Naturalistica;} \\ \tau_w &= \text{tensioni tangenziali massime agenti sulle opere.} \end{aligned}$$

A tal riguardo si veda il paragrafo relativo al *Metodo delle tensioni di trascinamento*.

Nella progettazione con le opere vive vanno considerate due situazioni:

- la resistenza dell'opera di Ingegneria Naturalistica a fine lavori, con le piante non sviluppate e quindi in grado di fornire il contributo della parte viva alla resistenza della struttura; tale situazione d'altronde nella verifica della portata transitabile nella sezione è quella più favorevole ai fini della scabrezza;
- la resistenza dell'opera di Ingegneria Naturalistica dopo tre periodi vegetativi con le piante sviluppate sia nell'apparato radicale, sia nella parte aerea, in grado di fornire il contributo della parte viva alla resistenza della struttura; tale situazione nella verifica della portata ( $q$ ) transitabile nella sezione, è quella più sfavorevole per l'aumento della scabrezza indotto dalla presenza delle piante. Il valore di tre periodi vegetativi è un dato medio: in situazioni estreme (quote elevate, zone a forte siccità), può aumentare.

Per quanto riguarda i valori della massima resistenza al trascinamento  $\tau_r$  delle opere di In-

Fig. 6.1 - Progetto esecutivo su un tratto di torrente Apsa (località Miniera, Urbino)

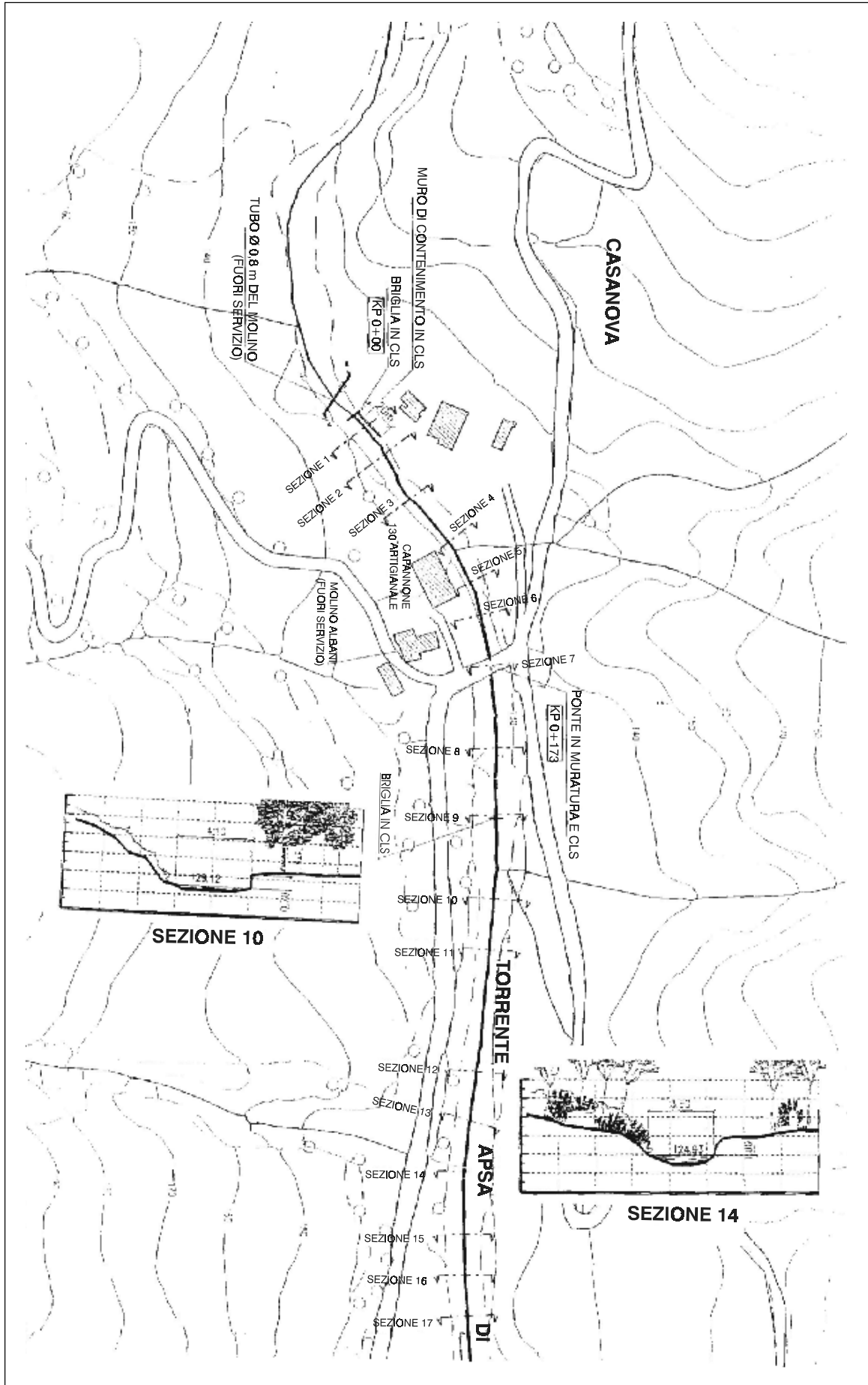


Fig. 6.2 - Progetto esecutivo su un tratto di torrente Apsa (località Miniera, Urbino)

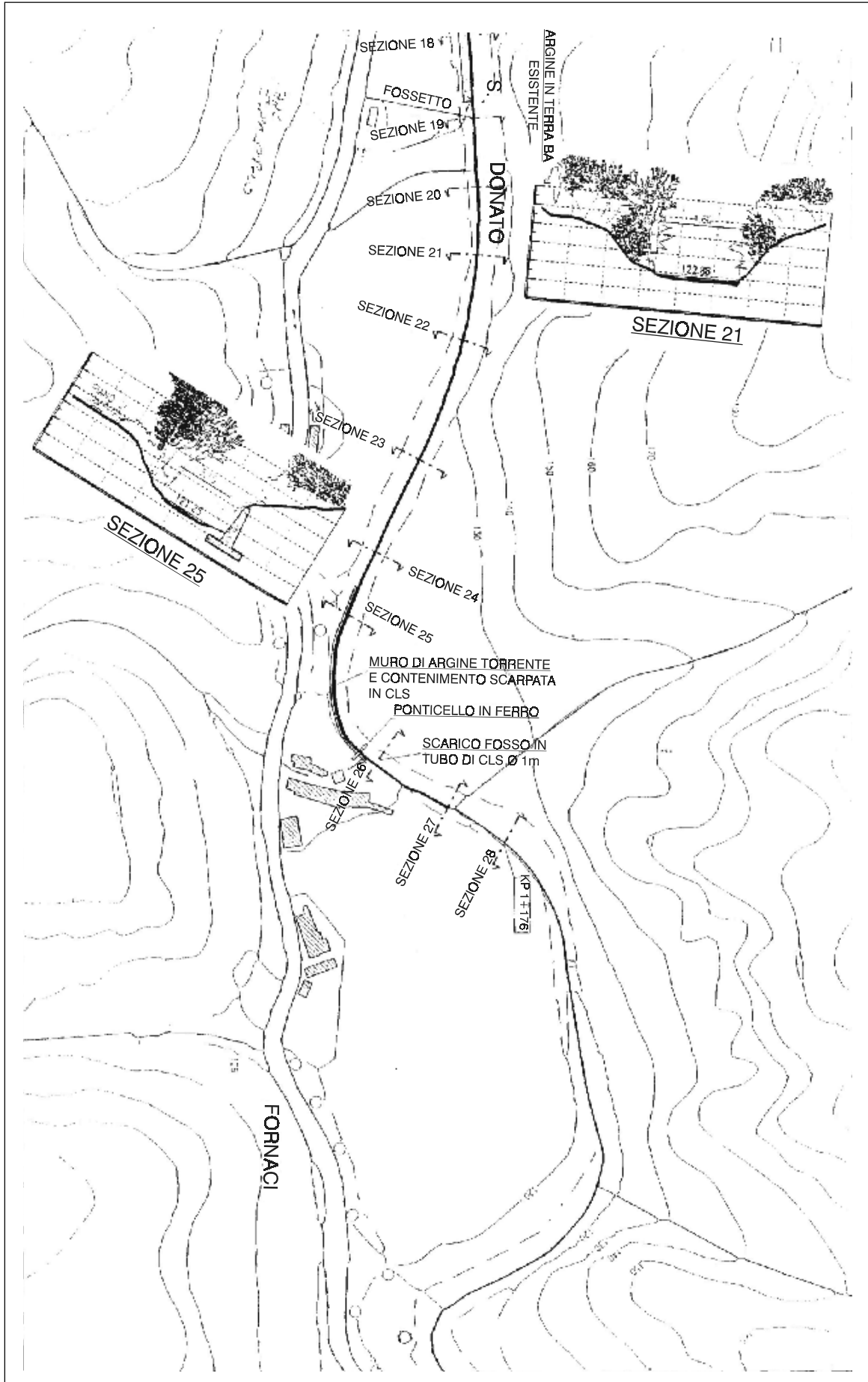


Fig. 6.3 - Progetto esecutivo su una sezione di un tratto di torrente Apsa (località Miniera, Urbino)

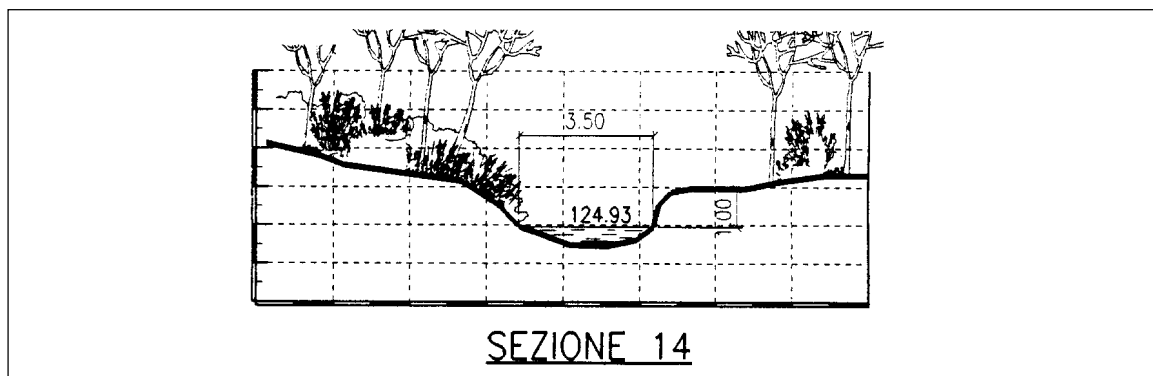
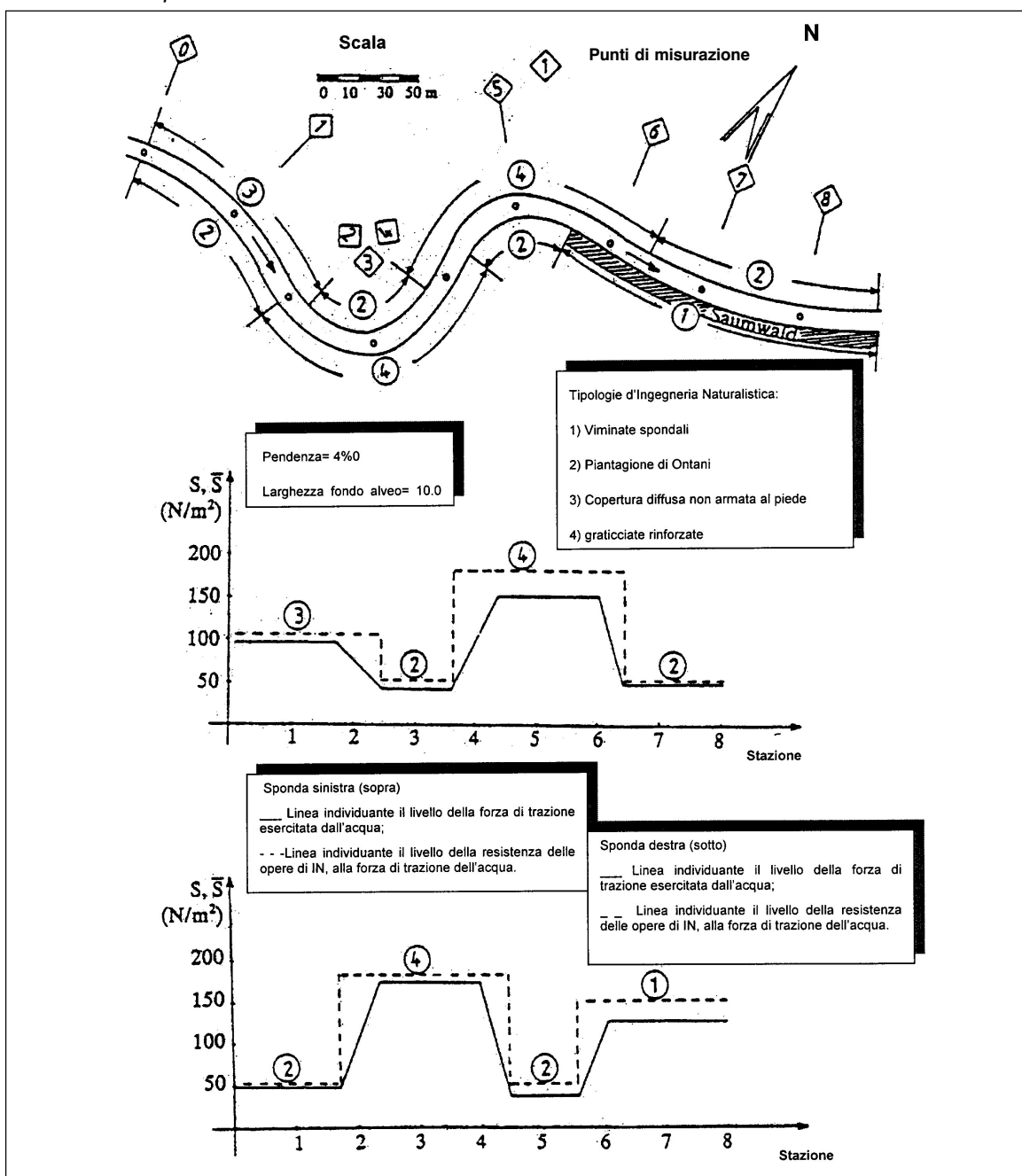


Fig. 6.4 - Diagramma mostrante la forza di trazione esercitata dall'acqua sulle diverse sponde del corso d'acqua



Fonte: Johannsen, modificato da Palmeri, 2001.

Tab. 6.2 - Resistenza all'erosione delle opere di Ingegneria Naturalistica

Tipologia d'intervento	$\tau_{max}$ sopportabili dalla struttura appena realizzata senza lo sviluppo delle piante vive (N/m <sup>2</sup> )		$\tau_{max}$ sopportabili dalla struttura con le piante vive sviluppate dopo 1 + 1.5 anni (N/m <sup>2</sup> )	
	Cotico erboso	0,2 P		0,26 P
			0,3 M	
Talee	0,1 M	0,1 P	1,5 I	0,6 M
			1,0 G	0,6 P
Copertura diffusa	0,5 M	1,5 P	3,0 M	3,0 F
			3,0 P	
Viminata viva	0,1 M	0,1 P	0,1 P	0,5 M
			2,5 F	
Pali con fascine			2,5 F	
Gradonata viva	0,2 P		1,2 F	1,2 P
Ribalta viva	0,2 M	0,2 P	1,0 M	1,2 G
			1,5 F	0,8 P
File di ceppaie			0,8 F	
Fascinata viva	0,2 P	0,7 G (morta)	0,8 I	1,0 G
			2,0 F	0,6 P
Scogliera rinverdita con talee di salice	1,0 P		30 M	3,0 P
Palificata viva doppia	5,1 P		6,1 P	1,5 I
Gabbionate vive	3,5 M		4,1 M	
Materassi Reno rinverditi	2,0 ÷ 3,3 M		4,1 M	

**Legenda:** F = Florineth F., ("Acer", n. 4, 1999); M = Maccaferri - Programma Macra, 1996; P = Palmeri F., 1996; G = Gertsgraser - Convegno EFIB, Trieste, 1999; I = Rio Inferno - Cornolini P., Sauli G., in "Acer", n. 2, 2001.

Ingegneria Naturalistica si riportano i valori riportati nella **tabella 6.2**.

### 6.3.3.3 Studio di fattibilità ambientale (o studio d'impatto ambientale ove richiesto)

Nel caso di interventi di Ingegneria Naturalistica, la scelta di utilizzare queste tecniche rappresenta una forte attenzione al problema posto dall'articolo 29 del "regolamento Merloni". Occorre dimostrare in questo caso che la soluzione scelta, anche rispetto ad altre opzioni rientranti nella categoria delle opere di Ingegneria Naturalistica, rappresenta quella migliore per l'ambiente.

### 6.3.3.4 Analisi dei suoli

Per quanto riguarda l'analisi del suolo si può riportare a titolo d'esempio la **tabella 6.3**, in cui sono presenti gli aspetti principali di un'analisi del terreno. È quindi indispensabile conoscere le caratteristiche del terreno, ed in particolare:

- la classe di struttura (si analizza la forma degli aggregati, la durezza, l'umidità presente, ecc. e si classifica il terreno, ad esempio nella classe poliedrica subgrossolana);
- la classe di tessitura (sabbiosa, franco sabbiosa, ecc.);
- il colore;
- la denominazione (ad esempio, terreno su frana).

Dalle informazioni raccolte si trarranno poi conclusioni su:

- tessitura e struttura;
- sostanza organica e calcarea, eventualmente presente;
- caratteristiche idrologiche;
- caratteristiche chimiche (pH, presenza di fosforo, ecc.);
- qualità del suolo e suo possibile utilizzo.

### 6.3.3.5 Analisi del clima

Per quanto attiene il clima ed i climogrammi utili per l'Ingegneria Naturalistica, risultano interessanti i seguenti:

- diagramma pluviometrico;
- diagramma termometrico;
- diagramma termopluviometrico;
- diagramma ombrotermico;
- climogramma precipitazioni-temperature;

**Tab. 6.3 - Progetto di rinaturazione con tecniche di Ingegneria Naturalistica sul versante roccioso della diga di Ridracoli**

Provenienza	Orizzonte	Classi granulometriche e $\phi$ delle particelle in mm					Classe di tessitura	Classe di struttura	Codice colore di Munsell	Colore	Scheletro	Soluzione circolante								
		TOTALI			SABBIA							Particelle con $\phi > 2$ mm	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Sali solubili totali	Conducibilità elettrica mS/cm	
		Sabbia % (2-0,05)	Limo % (0,05-2)	Argilla % (<0,002)	Grossa % (1-0,05)	Fine % (0,25-0,1)														Classe
Frana	1	740	220	40	185	555	SF FS	PSG	10 YR 6/2 Grigio Br. chiaro	scaglie	175									
	2	800	120	80	300	500	SF FS	GF	7,5 YR 5/4 Bruno giallastro	scaglie ciottoli	70									
S. Sofia	3	520	380	100	200	320	FS F	PG+GF	10 YR 6/4 Bruno giallastro chiaro	ciottoli	13									
S. Sofia	4	500	350	150	150	350	F FS	SPF	10 YR 7/3 Bruno m. pallido	ass.	-									
Graticc.	5	750	100	150	500	250	FS	GF	10 YR 4/4 Bruno giallastro scuro	scaglie	20									
Orizzonte	FRAZIONE ORGANICA					Carbonati totali % come CaCO <sub>3</sub>	Ferro libero % (Deb - Filmer)	Ossidi di ferro liberi %	MISURE IDROLOGICHE						PH					
	S. O %	Carbonato organico % (Walkley - Black)	Azoto totale % (Kjeldhal)	C/N	Densità				Contenuto in acqua				in H <sub>2</sub> O 1:2,5	in KCl M 1:2,5						
					Densità reale gr/cc				Densità app. gr/cc	Porosità %	Saturazione in H <sub>2</sub> O %	C.O.L.E.			Umidità all'aria %	Umidità % alla CC - 0,1at	Umidità % alla CC - 0,3at	Umidità % al P.A. - 15at.	Acqua disp. m <sup>3</sup> /ha/cm	
1	14,5	8,4	0,9	9	320			2,6	1,28	50	42				12	7	5,3	8,55		
2	11,7	6,8	0,8	8	170			2,5	1,12	53	47,5				16	8	8,3	8,72		
3	10,1	5,9	0,6	9	240			2,5	1,16	53	45				19	10	10,5	7,84		
4	10,7	6,2	0,7	9	140			2,6	1,18	54	43				15	9	7,1	8,59		
5	10,7	6,2	0,6	10	140			2,6	1,20	54	39				18	11	8,2	7,83		
Orizzonte	BASI ESTRAIBILI - NH <sub>4</sub> , AC				ACIDITÀ DI SCAMBIO			CSC TOTALE meq/100gr	Saturazione basica %	ANIONI SCAMBIABILI - fosfati			MICROELEMENTI							
	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	TOTALE	H <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>			TOTALE	Fosforo totale P in gr/100gr	Fosforo assim. Olsen P mg/Kg	Fosforo assim. Truog P mg/Kg	Mn	B	Cu	Zn	Mo	Co	Fe
	meq/100gr										mg/kg									
1	10,6	1,3		0,9	12,8			12,8												
2	8,6	0,8		0,6	10			10												
3	15,9	2,9		0,9	19,7			19,7												
4	16,8	2,5		1,2	20,5			20,5												
5	9	1,8		0,7	11,5			11,5												

Fonte: Palmeri F., 1994.

- climogramma di Peguy;
- climogramma di Walter.

Per quanto attiene gli indici climatici si riportano di seguito i più interessanti per l'Ingegneria Naturalistica (cfr. anche figg. 6.5-6.6, elaborate con il programma DIACLI):

1) *Indice di De Martonne:*

$$I_a = 12 \cdot \frac{P}{(T + 10)}$$

con:

P = precipitazioni medie annue (mm);  
T = temperatura media annua (°C).

Rapporto tra indice e zona:

- < 5: zone desertiche;
- 8-15: zone litoranee e sublitoranee;

- 16-21: zone collinari e pedemontane;
- >21: zone montane.

2) *Indice di De Martonne e Gottmann:*

$$I_a = \frac{\left[ \frac{P}{(T + 10)} + 12 \cdot \frac{p}{t} \right]}{2}$$

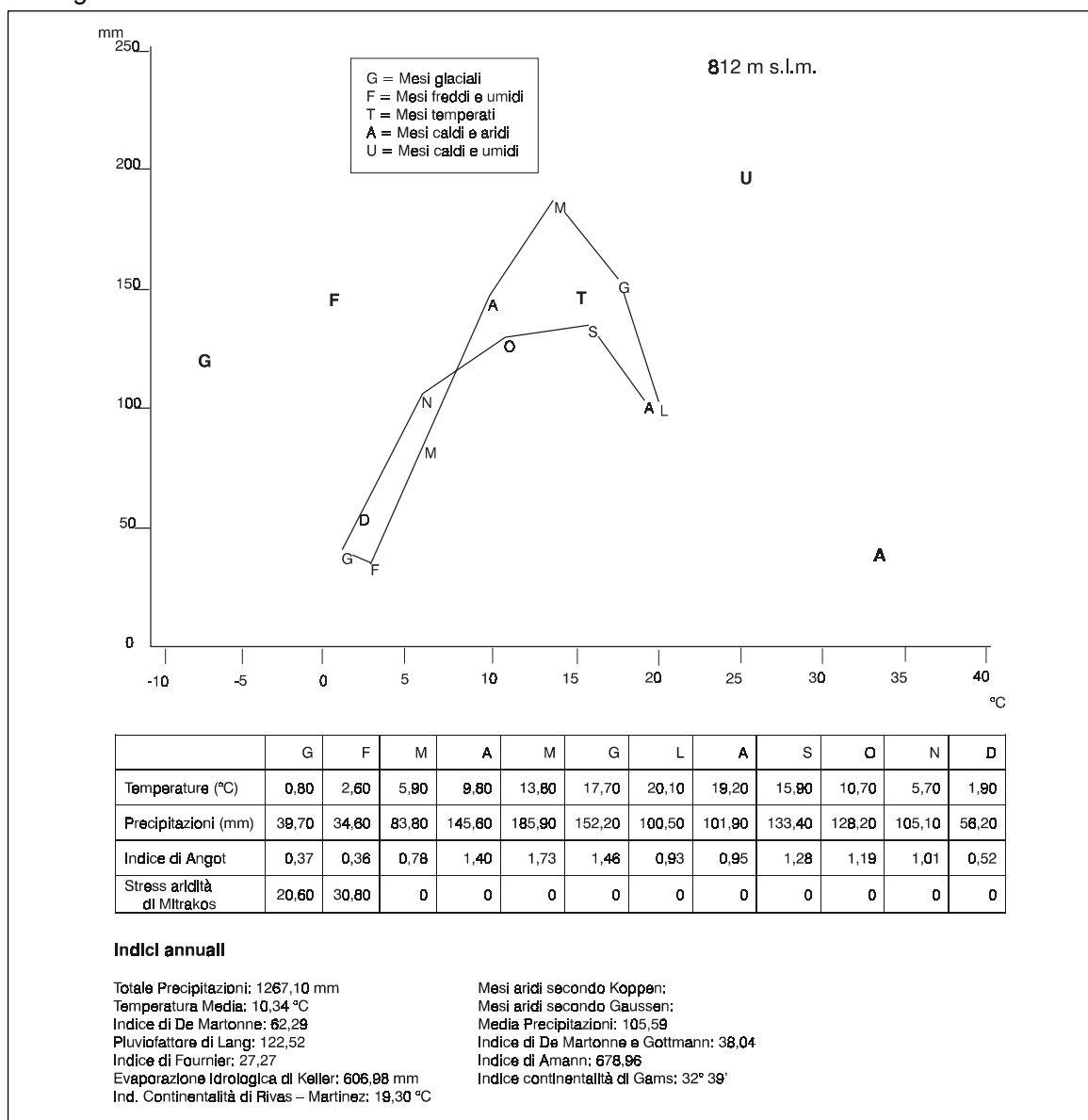
con:

P = precipitazioni medie annue (mm);  
T = temperatura media annua (°C);  
p = precipitazioni del mese più arido (mm);  
t = temperatura del mese più arido (°C).

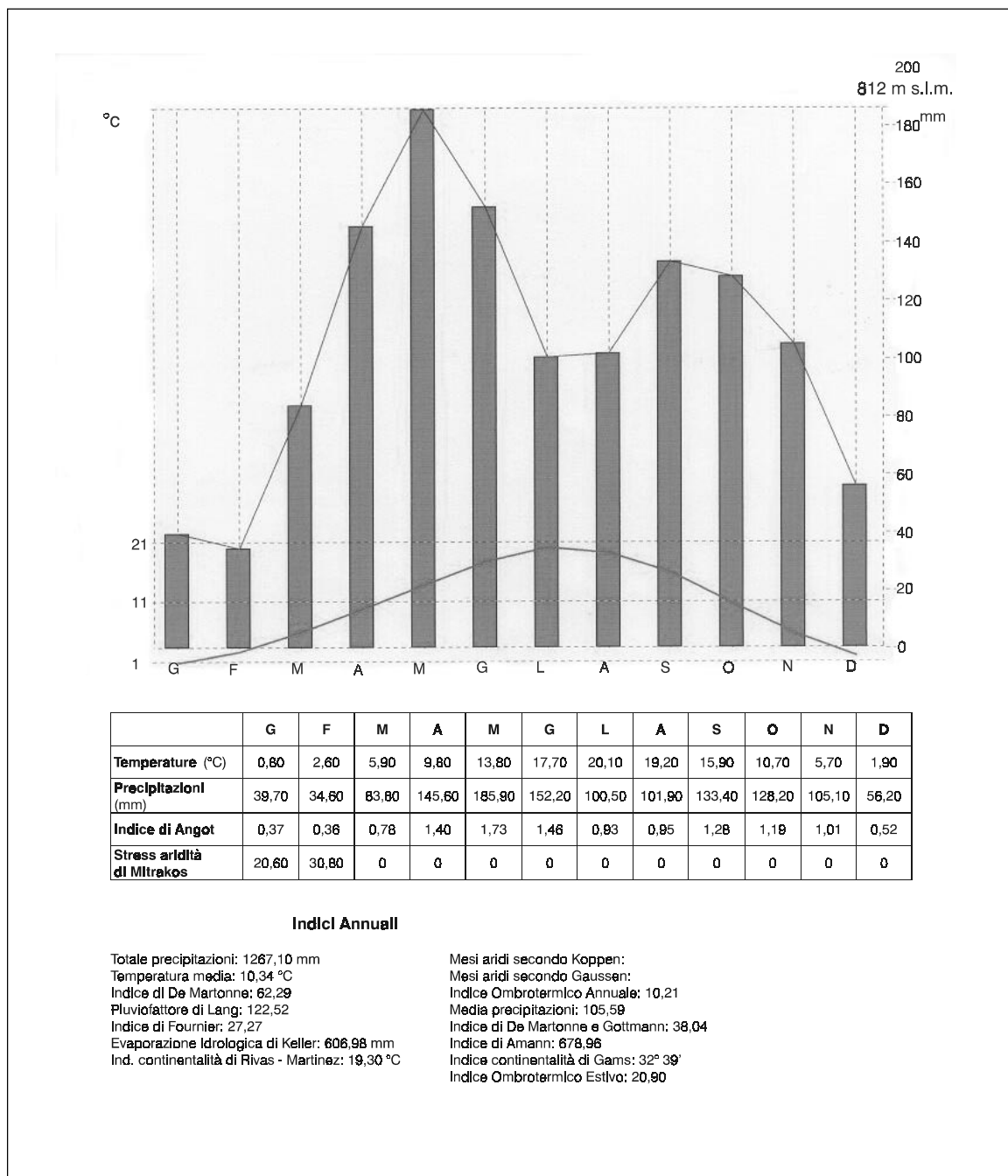
Rapporto tra indice e zona:

- 8-15: zone litoranee e sublitoranee;
- 16-21: zone collinari e pedemontane;
- >21: zone montane.

**Fig. 6.5 - Programma DIACLI: gestione dei dati climatici, climogramma di Peguy della stazione di Graglia**



Fonte: Russi Software®, Bolzano 2001.

**Fig. 6.6** - Programma DIACLI: gestione dei dati climatici, climogramma ombrotermico della stazione di Graglia

Fonte: Russi Software®, Bolzano 2001.

3) *Pluviofattore di Lang:*

$$I_L = \frac{P}{T}$$

con:

$P$  = precipitazioni medie annue (mm);  
 $T$  = temperatura media annua (°C).

Rapporto tra indice e zona:

- 25-43: zone litoranee;
- 44-52: zone sublitoranee;
- 53-64: zone collinari;
- >65: zone montane.

4) *Indice di Fournier:*

$$I_F = \frac{p^2}{P}$$

con:

$p^2$  = precipitazioni del mese più piovoso (mm);  
 $P$  = precipitazioni medie annue (mm).

5) *Indice di Amann:*

$$I_A = \frac{P \cdot T}{E}$$



con:

$P$  = precipitazioni medie annue (mm);  
 $T$  = temperatura media annua (°C);  
 $E$  = escursione annua di temperatura (°C).

6) *Indice di Angot:*

$$I_A = \frac{P}{(P/365 \cdot g)}$$

con:

$p$  = precipitazioni medie del mese di riferimento (mm);  
 $P$  = precipitazioni medie annue (mm);  
 $g$  = numero di giorni del mese di riferimento (n).

7) *Indice di continentalità di Gams:*

$$I_G = \cot g \left( \frac{P}{A} \right)$$

con:

$P$  = precipitazioni medie annue (mm);  
 $A$  = quota stazione (m s.l.m.).

Rapporto tra indice e zona:

- 0°-5°: zone litoranee;
- 5°-15°: zone sublitoranee;
- 15°-30°: zone collinari;
- >30°: zone montane.

8) *Evaporazione idrologica di Keller:*

$$E_{iK} = (0,116 \cdot P) + 460$$

con:

$P$  = precipitazioni medie annue (mm).

9) *Mesi aridi secondo Köppen:*

$$p < 30$$

con:

$p$  = precipitazioni medie mensili (mm).

10) *Mesi aridi secondo Gaussen:*

$$p < 2 \cdot t$$

con:

$p$  = precipitazioni medie mensili (mm);  
 $t$  = temperature medie mensili (°C).

11) *Indice di continentalità di Rivas-Martinez:*

$$I_C = T_{MAX} - T_{MIN}$$

con:

$T_{MAX}$  = temperatura media del mese più caldo (°C);  
 $T_{MIN}$  = temperatura media del mese più freddo (°C).

12) *Indice ombrotermico annuale:*

$$I_O = \frac{P_M}{T_M}$$

con:

$P_M$  = somma delle precipitazioni medie dei mesi con temperatura > 0° (mm);  
 $T_M$  = somma delle temperature medie degli stessi mesi (°C).

13) *Indice ombrotermico estivo:*

$$I_{OE} = \frac{P_E}{T_E}$$

con:

$P_E$  = somma delle precipitazioni medie dei mesi estivi (mm);  
 $T_E$  = somma delle temperature medie dei mesi estivi (°C).

### 6.3.3.6 Tavole e disegni

Sono il contenuto principale del progetto esecutivo in quanto la raffigurazione degli interventi deve essere tale da consentirne l'immediata cantierizzazione.

Tra le tavole di progetto deve essere presente una planimetria di progetto nella quale siano identificabili con apposite simbologie o legende gli interventi di progetto, ove possibile redatta a grande scala (1:500, 1:200, 1:100).

Quando gli interventi presuppongono consistenti movimenti di terra e non semplici riprofilature, si devono produrre una planimetria e specifiche sezioni con il movimento terra riportato tramite legenda e colorazione convenzionale.

Le sezioni di progetto, redatte nella medesima scala delle sezioni dei movimenti di terra, devono invece riportare con simbologie e raffigurazioni schematiche, gli interventi e le tecniche di progetto. Le quote delle sezioni e delle tavole indicanti i movimenti di terra devono essere eseguiti con il medesimo criterio.

Le elaborazioni devono essere riprodotte *ad hoc* per ciascun progetto.

### 6.3.3.7 Allegati grafici e particolari costruttivi

Poiché le tecniche di Ingegneria Naturalistica non sono standardizzate e sono ancora poco conosciute dalle imprese di settore; si rende necessario allegare al progetto esecutivo alcune tavole che riportino in grande o in grandissima scala (1:50, 1:20, 1:10) i dettagli costruttivi delle diverse tecniche utilizzate.

È opportuno che le tavole contenenti i dettagli costruttivi siano particolarmente ricche di punti quotati, di chiare legende, in modo da evitare equivoci o errori nella realizzazione delle opere da parte delle imprese costruttrici (aspetto non trascurabile e meno raro di quel che si pensi), pena l'inefficienza e notevoli rischi di incongruenza sia sul piano tecnico che economico.

### 6.3.3.8 Computo metrico estimativo ed elenco prezzi unitari

Gli elaborati di analisi economica necessari all'affidamento di un progetto sono differenziati a seconda della committenza; se il cliente è un privato è necessario procedere alla semplice redazione di un computo metrico e di un elenco prezzi unitari che consentano il raffronto tra le offerte delle diverse ditte che si candidano alla realizzazione. Nel caso in cui il cliente è la Pubblica Amministrazione detti elaborati dovranno essere dettagliati, e comunque redatti secondo gli standard classici delle progettazioni, a cui si rimanda per gli approfondimenti del caso.

L'aggiudicazione avviene in genere sottoponendo alle imprese invitate o candidatesi un elenco prezzi unitari privo di cifre e l'Ente sceglie sulla base della percentuale di ribasso offerta sul totale dei prezzi unitari, o per appalti consistenti, sulla base della somma dei singoli ribassi sulle voci d'elenco. Questa procedura obbliga a redigere un elenco prezzi limitato alle voci realmente presenti nel progetto o ritenute di possibile utilizzazione con varianti, in quanto elenchi molto ricchi di voci possono falsare il risultato permettendo al limite di aggiudicare l'appalto all'impresa che offre sconti maggiori su opere non previste in realtà nel progetto.

Per quel che riguarda le modalità costruttive, bisogna tener presente che tutte le volte che si introducono modifiche alle tipologie tecniche riportate in manualistica o in letteratura si devono anche calcolare le differenze di prezzo che queste modifiche comportano.

Nel computo le quantità delle opere si desumono dai disegni degli elaborati progettuali e applicando le densità precisate negli elaborati medesimi o nell'elenco prezzi unitari. La densità di opere, quali la messa a dimora di piante radicate, sono a loro volta dipendenti dai fini progettuali e dagli scopi dell'intervento: quando l'obiettivo è un rivestimento rapido e continuo la densità è elevata, quando l'obiettivo è invece l'edificazione di siepi o macchie arbustive si devono seguire corretti principi agronomici nella scelta dei sesti di impianto.

### 6.3.3.9 Analisi prezzi e Capitolato Speciale d'Appalto

Quando il committente è un Ente pubblico le procedure di attribuzione dell'appalto rendono in genere obbligatori altri due elaborati allegati alla progettazione esecutiva: il Capitolato Speciale d'Appalto (CSA) e l'Analisi prezzi. Il CSA riporta le condizioni poste all'impresa dal punto di vista della corretta esecuzione dei lavori, della gestione dei cantieri, del rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza e di diritto dei lavoratori. Tra l'altro il CSA dovrà contenere la parzializzazione delle opere e il periodo di attività coincidente con i tempi del fermo biologico.

L'Analisi prezzi è invece un elaborato che viene richiesto quando si reputa necessario giustifi-

care e fondare, sopra un'analisi dettagliata, i prezzi riportati nell'elenco prezzi unitari, spesso a causa dell'importo dei lavori in appalto o della tipologia non standardizzata delle opere di progetto.

L'Analisi prezzi delle opere di Ingegneria Naturalistica si costruisce quantificando, per ogni unità di misura dell'opera, il tempo di lavoro necessario ripartito per qualifica (operaio, operaio forestale qualificato, ecc.), il materiale utilizzato e il nolo macchine stimato in ore e frazioni.

A titolo d'esempio si veda l'Analisi prezzi contenute nel *Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico* della Regione Lazio - Assessorato per l'Ambiente, Dipartimento Ambiente e Protezione Civile (2001) disponibile *on-line* al sito [www.lppp.regione.lazio.it](http://www.lppp.regione.lazio.it).

Per assegnare i prezzi in modo corretto e veritiero il progettista pondererà quale tra le esperienze riportate in bibliografia o recensite da riviste specializzate e quelle effettuate personalmente, si avvicini di più alla realtà di intervento.

### 6.3.3.10 Percentuale manodopera

Tra i vari documenti componenti il progetto esecutivo, di cui all'articolo 35, comma 1, lettera l, del DPR 554/1999, vi è anche il quadro dell'incidenza percentuale della quantità di manodopera per le diverse categorie di cui si compone l'opera o il lavoro.

Si può utilizzare il DM 11 dicembre 1978 o si possono impiegare Analisi prezzi già effettuate o di nuova redazione, da inserire come base per il calcolo del prezzo unitario, secondo quanto contenuto nella Determinazione 37/2000 (vedi oltre). Al fine di agevolare il lavoro dei tecnici, sono state redatte le seguenti linee-guida che forniscono uno schema metodologico per determinare il quadro dell'*Incidenza percentuale della quantità di manodopera* ( $I_{MO}$ ) per le diverse categorie (generali o specializzate) di cui si compone l'intervento, sulla base dell'*Incidenza media della sicurezza* (IS) sul *Costo di costruzione* (C) contenute nella Determinazione 37/2000 dell'Autorità per la Vigilanza sui Lavori Pubblici.

*Schema metodologico* - L'importo per l'esecuzione delle lavorazioni e forniture nonché per l'attuazione dei piani di sicurezza, ovvero il cosiddetto *Costo di costruzione* (C) per ogni categoria (generale o specializzata individuate ai sensi dell'allegato A al DPR 34/2000) di cui si compone l'intervento, è determinato dalla stima delle *Quantità* (Q) delle lavorazioni o forniture previste nel progetto per il relativo *Prezzo unitario* (P) così come dedotto dai prezziari o dai listini ufficiali vigenti nell'area interessata.

In caso di mancanza del prezzo unitario delle singole lavorazioni o forniture nel listino prezzi adottato, si procederà secondo quanto disposto dall'articolo 34, comma 2, del DPR 554/1999:

- applicando alle quantità di materiali, mano d'opera, noli e trasporti, necessari per la realizzazione delle quantità unitarie di ogni voce,

i rispettivi prezzi elementari dedotti da listini ufficiali o dai listini delle locali camere di commercio ovvero, in difetto, dai prezzi correnti di mercato (ad eccezione, così come si desume da quanto disposto dall'articolo 21, comma 1bis, della L. 109/1994, della manodopera che dovrà essere dedotta dai bollettini ufficiali emessi nella provincia in cui si realizza l'opera);

- aggiungendo all'importo così determinato una percentuale per le spese relative alla sicurezza;
- aggiungendo ulteriormente una percentuale, per spese generali;
- aggiungendo infine una percentuale del 10% per utile dell'appaltatore.

A tale proposito, a puro titolo esemplificativo, è opportuno segnalare alla presente Determinazione due tabelle (scaricabili sul sito [www.autoritalavoripubblici.it/del/del.html](http://www.autoritalavoripubblici.it/del/del.html)) che rappresentano le modalità applicative del calcolo dell'*Indice della sicurezza* (IS) e dell'*Incidenza percentuale della quantità di mano d'opera* ( $I_{MO}$ ):

- tabella 1: *Modello per il calcolo dell'incidenza percentuale della quantità di mano d'opera e dell'indice della sicurezza*;
- tabella 2: *Modello per il calcolo dei prezzi dei materiali, noli e trasporti costituenti un prezzo di lavorazione*.

#### 6.3.3.11 Piano di manutenzione

Il piano di manutenzione rientra tra gli elaborati progettuali obbligatori ai sensi della L. 109/1994, che prevede di allegarlo al progetto esecutivo (art. 16, comma 5), mentre il "regolamento Merloni" attuativo ne descrive il contenuto (DPR 554/1999, art. 40). L'articolo 40 è infatti dedicato interamente al piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti, anche se altri articoli dello stesso regolamento ne danno ulteriori indicazioni: l'articolo 2, ad esempio, definisce *manutenzione* "la combinazione di tutte le azioni tecniche, specialistiche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione".

Il piano sarà costituito da un manuale d'uso, da un manuale di manutenzione e da un programma di manutenzione.

Il *manuale d'uso* dovrà contenere l'insieme delle informazioni per l'utente che possono permettere di conoscere le modalità di fruizione dell'opera, di corretta gestione della stessa e di effettuazione degli interventi manutentivi non specialistici per la sua conservazione; prevederà, inoltre, la collocazione delle opere o degli impianti, con rappresentazioni grafiche e descrizioni per una sistemazione corretta.

Il *manuale di manutenzione* fa riferimento alle parti più importanti dell'opera, fornendo tutte le indicazioni per un uso corretto dei materiali, delle diverse unità tecnologiche, oltre ad una corretta manutenzione da riservare agli specialisti. L'ultimo documento del piano di manutenzione è il *programma di manutenzione*, nel quale sono indicati i controlli e gli interventi periodici necessari per garantire la perfetta

gestione dell'opera e delle sue parti durante tutta la vita delle strutture.

Il principio generale da tenere presente è che la manutenzione degli interventi di Ingegneria Naturalistica dovrebbe essere tendenzialmente nulla quando sia possibile lasciare libero spazio all'evoluzione naturale della vegetazione inserita nelle opere e deve invece essere proporzionalmente crescente in relazione all'artificialità perseguita dei soprassuoli edificati.

Gli obiettivi degli interventi di manutenzione possono essere diversi, in relazione alle finalità progettuali e in rapporto a queste variano anche le operazioni corrispondenti.

Il piano di manutenzione è divenuto obbligatorio per tutte le opere a partire dal 28 luglio 2002.

Tramite la manutenzione è inoltre possibile accelerare il processo di raggiungimento del massimo di efficacia delle opere (cfr. **fig. 6.7**): questo grafico mette in relazione l'efficacia degli interventi, sia con tecniche d'ingegneria classica, sia con tecniche di Ingegneria Naturalistica, nel corso del tempo.

Come si può osservare dagli andamenti, sono le opere in calcestruzzo (*cls*) ad avere un'efficacia ottimale entro i primi 5-6 anni dal termine dell'intervento, per poi non garantire più tale efficacia nei successivi anni, a causa del degrado della struttura stessa. Con il procedere del tempo sono le opere di Ingegneria Naturalistica (in presenza di manutenzione), a reagire rapidamente, garantendo le migliori condizioni di stabilità e sicurezza, dopo un intervallo di circa 6-7 anni; ovvero dopo che la vegetazione ha preso il sopravvento sulla struttura e ne ha preso il posto.

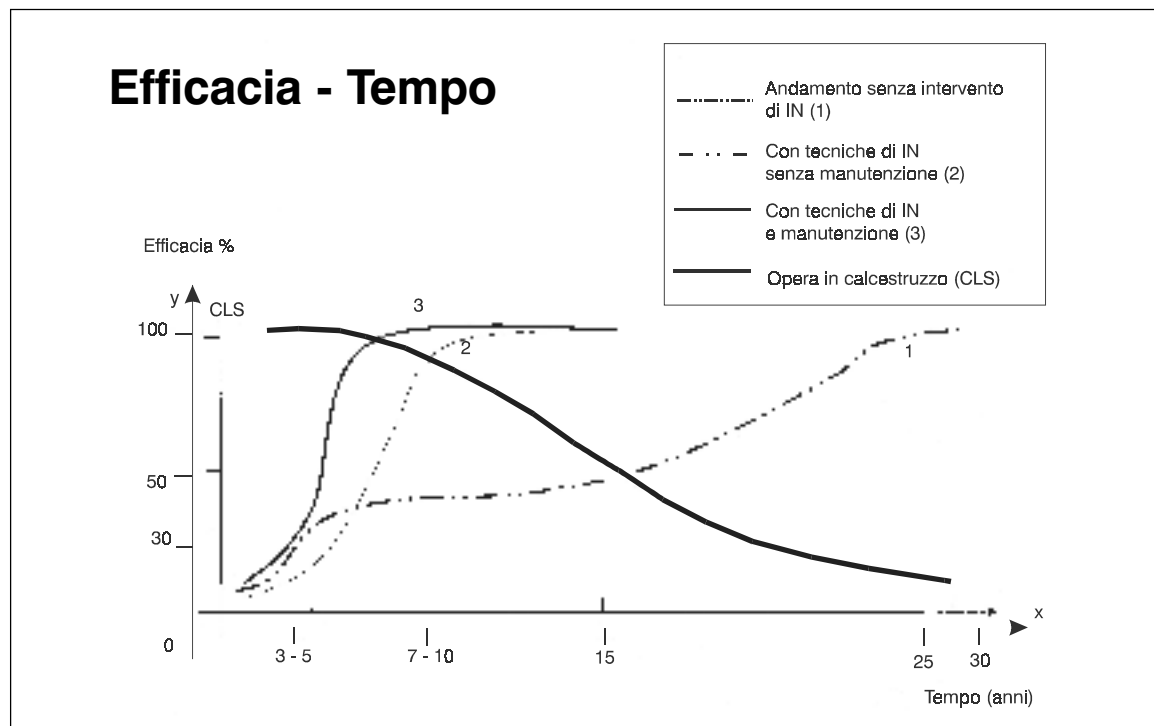
#### 6.3.3.12 Sicurezza

Ove il caso lo richieda, può essere obbligatoria la predisposizione del Piano di sicurezza ai sensi dell'articolo 11 del Decreto Legge n. 494 del 14 agosto 1996, così come modificato dal Decreto Legislativo n. 528 del 19 novembre 1999. L'articolo 4 definisce gli obblighi del "coordinatore per la sicurezza" in fase di progetto quale redattore del Piano di sicurezza e di coordinamento. La normativa istituisce anche la figura del "coordinatore per la sicurezza" in fase esecutiva.

Il decreto si applica alle attività descritte all'Allegato I, che corrisponde ai lavori edili e di genio civile, tuttora regolati dal DPR 164/1956, ai quali si aggiungono i lavori impiantistici.

Le opere di Ingegneria Naturalistica rientrano dall'articolo 2, comma 1 e dall'Allegato 1 del DLgs 494/1996, come modificato con Decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 528 del 19 novembre 1999, "Modifiche ed integrazioni al Decreto legislativo 14 agosto 1996, n. 494, recante attuazione della Direttiva 92/57/CE in materia di prescrizione minime di sicurezza e di salute da osservare nei cantieri temporanei o mobili", nelle opere idrauliche, marittime, di bonifica, di sistemazione forestale e del suolo, scavi e consolidamenti.

Fig. 6.7 - Andamento nel tempo dell'efficacia delle opere di Ingegneria Naturalistica



Fonte: Palmeri, Balboni, Tecnovia® Srl, 2000.

Il DLgs 494/1996 ed il DLgs 528/1999 prevedono obblighi a carico del committente (o del responsabile dei lavori da lui incaricato) che comprendono la designazione del *coordinatore per la progettazione* e del *coordinatore per l'esecuzione dell'opera* (rispettivamente prima della fase di progettazione esecutiva e prima dell'affidamento dei lavori). Tale designazione è obbligatoria per cantieri di dimensioni superiori a determinate soglie: oltre 200 uomini-giorno, più di un'impresa presente in cantiere o nel caso di svolgimento di lavorazioni pericolose. Per quanto riguarda la definizione di queste ultime e le modalità di redazione e gestione dei piani e delle attività di competenza del coordinatore per la progettazione e per l'esecuzione dei lavori, responsabile in materia di sicurezza, si faccia riferimento alla citata normativa.

Rimangono in vigore le norme particolari dettate dal DPR 164/1956, dalle altre norme vigenti in materia di prevenzione nonché dal DLgs 626/1994 (come modificato dal Decreto Legislativo n. 359, "Attuazione della Direttiva 95/63/CE che modifica la Direttiva 89/655/CEE relativa ai requisiti minimi di sicurezza e salute per l'uso di attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori" del 4 agosto 1999, e dal Decreto Legislativo n. 242, "Modifiche ed integrazioni al Decreto Legislativo 19 settembre 1994 n. 626, recante attuazione di direttive comunitarie riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro" del 19 marzo 1996.

Si ricorda, inoltre, che come riportato nella Determinazione n. 9 dell'Autorità di Vigilanza sui Lavori Pubblici "Ambito oggettivo di applica-

zione della disciplina contenuta nell'art. 88 del DPR 554/1999" del 21 febbraio 2001 ("regolamento Merloni"), nell'ambito di tale applicazione, "non sono da ricomprendere i lavori di manutenzione forestale in amministrazione diretta, qualora abbiano ad oggetto interventi che facciano rimanere salve le situazioni naturali e non siano configurabili come opere di edilizia. Sono, invece, soggetti alle regole anzidette i lavori in ambito forestale che comprendano opere necessarie per la eliminazione del dissesto idrogeologico e la sistemazione agraria e che costituiscano opere di Ingegneria Naturalistica in senso proprio".

A titolo esemplificativo si riporta una tabella indicante i parametri delle stazioni che possono essere presi in considerazione per i progetti di Ingegneria Naturalistica (cfr. **tab. 6.4**).

## 6.4 Lavori preparatori

I lavori preparatori sono provvedimenti diretti a rendere sicura l'area del cantiere ed a proteggere gli operai. Servono allo scopo come installazioni temporanee, canali di deviazione, calettature, armature in legno, barriere e recinzioni. Parti dell'area da cui la vegetazione ed il terreno vengono asportati per erosione, devono essere sottoposti a varie correzioni prima di avviare la vera e propria sistemazione di Ingegneria Naturalistica. Le forme accentuate del terreno, come le costolature e le creste, devono essere ridotte e spianate.

Particolarmente importante è il *modellamento delle linee di sponda* e dei bordi di rottura spor-

Tab. 6.4 - Parametri delle stazioni da prendere in considerazione per opere di Ingegneria Naturalistica

Verifica	Aspetti	Parametri rilevati	Motivazione
Sul versante	Parametri climatici	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Temperatura</b> media, min. e max. annua e mensile</li> <li>- <b>Precipitazioni</b> medie, min. e max. annue e mensili, curva di possibilità pluviometrica <math>h = at^n T_r^m</math></li> <li>- <b>Umidità</b> media, min. e max. annua e mensile</li> <li>- <b>Diagramma di Walter</b></li> <li>- <b>Pluviofattore di Lang</b></li> <li>- <b>Diagrammi di Peguy</b></li> <li>- <b>Indice di Mitrakos</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caratterizzazione di aspetti legati alla vegetazione.</li> <li>- Individuazione del limite dello sviluppo della vegetazione legato alla mancanza di precipitazioni sufficienti e di umidità atmosferica sufficiente.</li> </ul>
	Pendenza	- Classi (%): 0-15/15-25/25-35/35-50/50-75/>75	Rapporto tra sviluppo della vegetazione ed inclinazione dei versanti.
	Esposizione	- Per settori: N – NE – E – SE – S – SW – W – NW	c.s., condizioni macro e micro climatiche particolari.
	Bilancio idrico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Bilancio di Thornthwaite</b></li> <li>- Calcolo del <b>ricarico</b> della falda</li> </ul>	Verifica del deficit idrico estivo.
	Specie presenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arboree, arbustive, erbacee</li> <li>- <b>Rilievo fitosociologico</b> della zona con aree di saggio quadrate permanenti in area cantiere e nell'intorno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifica delle specie autoctone impiegabili e della successione vegetazionale.</li> <li>- Verifica dell'influsso antropico sulla vegetazione.</li> </ul>
	Condizioni di struttura e chimismo del suolo e del substrato geologico in relazione alla sistemazione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Suolo</b>: pH, granulometria (%), rapporto C/N, % di sostanza organica, cationi/anioni principali presenti, capacità di scambio cationi (C.S.C.);</li> <li>- <b>Geologia</b>: substrato - permeabilità</li> </ul>	- Verifica di condizioni limite e dell'influenza di tali aspetti sulla vegetazione.
Lungo i corsi d'acqua	Descrizione del bacino di riferimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Report descrittivo</b>: area del bacino (km<sup>2</sup>), inclinazione media, idrografia, etc.</li> <li>- <b>Parametro di accumulo</b> iniziale (mm)</li> <li>- <b>Parametro di perdita</b> per infiltrazione-percolazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valutazione della situazione di riferimento.</li> <li>- Verifica dello stato dell'uso del suolo.</li> </ul>
	Parametri climatici	- Vedi sopra	
	Esposizione	- Vedi sopra	
	Condizioni di struttura e chimismo del suolo e del substrato geologico in relazione alla sistemazione	- Vedi sopra	
	Sezione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Geometria</b> della sezione</li> <li>- <b>Pendenza del fondo</b> per un tratto a monte-valle min. di 50 m e/o 5-10 volte la larghezza dell'alveo</li> <li>- <b>Materiale delle sponde</b> e vegetazione ripariale - <b>scabrezza</b></li> <li>- <b>Angolo di attrito interno</b> e coesione delle sponde</li> </ul>	
	Portata	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Minima</b></li> <li>- <b>Oscillazioni</b> mensili</li> <li>- <b>Periodo di secca</b> (se presente)</li> <li>- Media</li> <li>- Massima assoluta</li> <li>- Storiche (a discrezione dei rilevatori) 100-200-500 anni</li> <li>- Installazione di un idrometro</li> </ul>	- Dati idraulici relativi al corso d'acqua per inquadrare le forze agenti sulle opere di Ingegneria Naturalistica.
	Forze in gioco	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Trazione al fondo</b></li> <li>- <b>Trazione sulla sponda</b></li> </ul>	- Verifica delle forze di resistenza della vegetazione.
	Trasporto solido	- $d_{50}$ , $d_{75}$ , $d_{100}$ , <b>curva granulometrica</b> - report descrittivo	- Verifica dell'influenza del trasporto solido.
Specie presenti	- Arboree - arbustive - erbacee	(vedi caso versante) - Verifica della dinamica della vegetazione delle sponde all'aumentare dell'erosione di fondo del corso d'acqua.	

genti, frammisti a scanalature. Queste fratture del terreno sono particolarmente soggette all'erosione, forniscono costantemente altro materiale e devono essere arrotondate per eliminare il focolaio di erosione. Ciò avviene asportando il margine di rottura sporgente. Lo spianamento di pendii ultraripidi può avvenire con diversi metodi: a mano, con getto d'acqua o con mezzo meccanico.

La *salvaguardia dei materiali da costruzione vivi e riutilizzabili* costituisce un importante principio nella esecuzione di opere di Ingegneria Naturalistica.

Anticipando i lavori di costruzione veri e propri, occorre quindi prendere disposizioni precauzionali per salvaguardare non solo tutta la vegetazione che può essere reimpiegata, ma anche gli altri materiali da costruzione inerti, purché autoctoni.

Come accennato, poiché nelle sistemazioni naturalistiche si dovrebbero impiegare preferibilmente solo quelle specie vegetali che si trovano su stazioni paragonabili, è opportuno scegliere le specie più idonee in maniera semplice, eseguendo un rilievo fitosociologico della stazione o nelle stazioni vicine e simili.

Sviluppando progetti basati sull'Ingegneria Naturalistica si ottengono buoni risultati quando si impiegano materiali vivi autoctoni. Ciò

vale anche per le piante legnose capaci di ricacciare, atte a riprodursi per via agamica. Se nel corso dei provvedimenti costruttivi la vegetazione deve essere rimossa, ne deve essere garantita la sua riutilizzazione a conclusione dei lavori, dopo averla provvisoriamente accantonata.

Più sfavorevole è la posizione del cantiere, tanto più decisiva diventa questa necessità.

A conclusione (parziale) dei lavori di costruzione, lo strato di terreno vegetale, compenetrato dalle radici e asportato in precedenza, viene di nuovo riportato e incorporato e, in caso di bisogno, integrato con altre tipologie costruttive di Ingegneria Naturalistica.

## 6.5 Documentazione richiesta per le opere minori di Ingegneria Naturalistica

### Interventi minori

- A) piccole frane e smottamenti di versanti (con eventuale relazione geologica in base alle problematiche);
- B) sistemazione scarpate di opere viarie minori e piste di esbosco;
- C) sistemazioni intorno ai piloni di linee elettriche e di impianti risalita;

Tab. 6.5 - Elenco elaborato per lo stato di fatto

Stato di Fatto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Planimetria 10.000 e 2.000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Estratti mappa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Documentazione fotografica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Inquadramento vegetazionale	X	X		X				X	X		X	X			X	
Rilievo stato di fatto	X	X		X	X			X	X		X	X		X	X	
Sezioni	X	X		X	X			X	X		X	X		X	X	
Relazione sintetica d'inquadramento <sup>1</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

<sup>1</sup> Se non previsto specificatamente la relazione di inquadramento deve contenere in modo sintetico tutti gli elementi tali da definire le caratteristiche dei luoghi d'intervento.

Tab. 6.6 - Elenco elaborato per il progetto

Progetto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Part. Costruttivo	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X			X	
Indicazione dei materiali	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ind. Materiali vegetali (specie)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Calcoli stabilità <sup>2</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Relazione idraulica								X								
Sezioni longitudinali (alveo) <sup>2</sup>								X								
Relazione tecnica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

<sup>2</sup> Nell'ipotesi di predisposizione di palificata di  $h > 2,5$  m e muri calcolati.

- D) pulizia e sistemazione sentieri, mulattiere e aree limitrofe;
- E) approntamento piccole aree attrezzate di sosta in ambito boscato;
- F) aree al contorno di sentieri didattici, percorsi natura e percorsi vita;
- G) sistemazioni ruscelli e piccoli torrenti senza opere trasversali;
- H) idem con opere trasversali (briglie);
- I) sistemazioni viarie minori con muretti a secco e tecniche miste;
- J) predisposizione di pozze per abbeverata d'alpeggio e di selvaggina;
- K) sistemazioni e approntamenti presso sorgenti e fontanili;
- L) sistemazioni risorgive, cavi, fossati e drenaggi in ambito planiziale;
- M) sistemazioni e manutenzioni presso impianti sciistici;
- N) sistemazioni di verde al contorno degli edifici urbani e rurali;
- O) piccoli interventi nelle aree protette (parchi, riserve, oasi, a discrezione dell'ente gestore);
- P) negli interventi inquadrabili come piccola manutenzione del territorio.

**N.B.:** alcune opere si possono inoltre configurare come interventi di manutenzione straordinaria tal quale.

Non rientrano in alcune casistiche le opere di Ingegneria Naturalistica predisposte all'interno di specifici e articolati progetti di interventi sul territorio legate a:

- recupero di cave e discariche (che prevedono un progetto di recupero globale);
- recupero di altre aree degradate (in quanto parte integrante del progetto di recupero delle stesse);
- progetti di opere viarie su gomma e su rotaia o la predisposizione di porti e attracchi in ambito fluviale o lacustre con carattere sovracomunale;
- grandi opere di sistemazione idraulica su bacini idrografici di qualsiasi ordine;
- grandi opere di sistemazione e d'assetto complessivo del territorio su scala almeno provinciale;

- predisposizione di impianti e stazioni sciistiche.

Nelle **tabelle 6.5-6.6** sono descritte le matrici di individuazione degli elaborati per lo stato di fatto e per il progetto.

## Bibliografia



Trupiano A., 2000

*Anche la manutenzione entra nella progettazione dei lavori*, in "Edilizia e territorio - Il Sole 24 Ore", n. 23, pag. 24.

Bacci M., Bardi S., Dignani A., 2000

*Manuale di metodologie e tecniche a basso impatto in materia di difesa del suolo. Studio di nuove metodologie ambientali in materia di difesa del suolo e miglioramento ambientale*, WWF Regione Marche, 2000.

"Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 2000 *Deliberazione della Giunta Regionale 29 febbraio 2000, n. 6/48740 "Approvazione Direttiva Quaderno opere tipo di Ingegneria Naturalistica"*, 1° supplemento straordinario n. 19.

Ferraiolo F., Vicari M., 1996

*Il programma MAC.R.A. per la verifica di interventi di protezione spondale. Manuale d'uso*, Officine Maccaferri Spa, Bologna 1996.

Palmeri F., Sauli G., 1994

*Relazione: progetto di rinaturazione e Ingegneria Naturalistica sul versante roccioso lato est della diga di Ridracoli*, Comune di Bagno di Romagna (FO), 1994.

Russi A., 2001

*Programma DIACLI. Gestione dati climatici*, software prodotto da Russi Software, Bolzano.

Schiechtl H.M., Stern R., 1994

*Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche*, Edizioni Arca, Belluno.





## 7.1 I materiali

In funzione dei problemi da risolvere o dei miglioramenti da apportare a un ecosistema paranaturale, le tecniche di Ingegneria Naturalistica utilizzano diversi materiali, seguendo il principio di associazione di materiali vivi (piante) e materiali inerti.

Attualmente, oltre ai materiali inerti naturali, il mercato offre una vasta gamma di materiali industriali, perciò è opportuno suddividere i vari materiali disponibili in:

- Materiali organici:
  - vegetali vivi;
  - inerti naturali;
  - inerti industriali.
- Materiali inorganici:
  - naturali;
  - industriali.

### 7.1.1 Materiali vegetali vivi

Sono materiali provenienti dal mondo vegetale che hanno la capacità di rinnovarsi rapidamente rendendo più stabile il terreno:

- sementi;
- semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree;
- talee di specie arbustive o arboree: la talea è un segmento di fusto separato dalla pianta madre capace di produrre radici avventizie e di rigenerare così un altro esemplare, a volte con sviluppi considerevoli ed in breve tempo (per esempio, salici, pioppi, noccioli).

Le talee possono presentarsi sotto diverse forme:

- *culmo*: stelo di graminacea, in genere elofita, che produce un tallo;
- *talea piccola*: fusto legnoso di 20-50 cm di lunghezza ed un diametro < 1-2 cm;
- *talea grossa*: fusto legnoso di 1-3 m di lunghezza ed un diametro di 2-5 cm;
- *astone*: fusto legnoso sino a 7 m di lunghezza ed un diametro di 4-15 cm;
- *ramaglia*: rami dai quali non vengono eliminate le ramificazioni secondarie;
- *rizomi e radici*: parti di organi sotterranei di riserva, capaci di produrre nuove piante;
- *piote erbose (zolle)*: insieme compatto di radici e fusti erbacei, di origine naturale o prodotti in vivaio; vengono commercializzati in elementi di dimensioni variabili (0,3-0,5 m x 0,5-2,5 m), hanno uno spessore di 1-5 cm ed un peso di 20-30 kg/mq;
- *margotte*: è la propaggine per la quale il ramo da sottoporre al trattamento riproduttivo si incide e recinge di terra debitamente mantenuto da un apposito manicotto.

Particolare attenzione andrà posta per la salvaguardia della vegetazione arborea e arbustiva presente in loco, in quanto, se compatibile con i lavori previsti, consente di ottenere un recupero ambientale, nonché idrogeologico, più immediato e sicuro.

Quando si opera con materiale vegetale vivente il grado di attecchimento richiesto può essere variabile a seconda che si utilizzino piantine a radice nuda o in contenitore. Esso varia anche in relazione alla densità di impianto e alle caratteristiche stazionali.

Di seguito si riportano alcune percentuali ottimali di attecchimento, considerandolo uniformemente distribuito sul terreno.

- Al collaudo:
  - *piantina a radice nuda*: non inferiore al 90%;
  - *piantine in contenitore*: non inferiore al 100%.
- Alla fine del periodo di garanzia:
  - *piantina a radice nuda*: non inferiore all'80%;
  - *piantine in contenitore*: non inferiore al 90%.

Qualora si eseguano dei recuperi ambientali in zone soggette al pascolo di animali domestici o selvatici è consigliabile realizzare opportune recinzioni per la protezione delle piantine.

L'uso di mezzi meccanici idonei consente di ridurre l'impatto anche nelle fasi di impianto del cantiere e di realizzazione dell'opera.

Come più volte affermato, i recuperi ambientali si basano, oltre che su precise regole ecologiche, anche sul rispetto e sulla sensibilità nei confronti della flora e della fauna spontanea. Al termine dell'intervento è doveroso rimuovere tutti i residui di lavorazione ancora presenti nel cantiere (contenitori vari, parti di griglie o reti, filo di ferro, ecc.).

#### 7.1.1.1 Sementi

I principali obiettivi raggiungibili con l'impiego di miscugli di sementi di specie erbacee sono di carattere idrogeologico (azione antierosiva), naturalistico e paesaggistico.

I campi d'applicazione degli inerbimenti sono vari:

- versanti franosi;
- piste da sci;
- argini fluviali;
- ex cave;
- discariche;
- infrastrutture viarie o ferroviarie.

Particolare attenzione andrà posta nell'adeguato modellamento del terreno, nella corretta scelta del periodo d'intervento, ma soprattutto

to nella selezione del miscuglio delle sementi da impiegare in funzione delle condizioni pedologiche, climatiche e della vegetazione presente nella località d'intervento.

In genere un miscuglio di sementi erbacee è composto da graminacee (ad azione radicale superficiale), da leguminose (ad azione radicale profonda e con capacità di arricchimento in azoto del terreno), e da altre specie ritenute necessarie e compatibili.

Un ottimo prodotto per i miscugli di sementi erbacee è il "fiorume" ricavabile dai fienili; anche se, il suo reperimento risulta difficoltoso, in quanto la fienagione avviene in un determinato periodo della stagione, precisamente prima che il seme raggiunga la piena maturità (questo per ottenere un prodotto di grande nutrimento per gli animali). Il taglio precoce delle piante, pertanto, non permette di ottenere una grande quantità di seme maturo (le quantità richieste di "fiorume" sono comunque elevate: 0,5-2 kg/mq); se ne consiglia pertanto l'uso solo su piccole superfici di notevole valore naturalistico che richiedono un'elevata qualità dei semi.

La semina del "fiorume" in quantità massima del 30% o del seme prodotto in vivaio, da effettuarsi preferibilmente durante il periodo vegetativo, può avvenire manualmente o meccanicamente nei seguenti modi:

- *semina a spaglio*;
- *idrosemina*: le sementi di specie erbacee sono poste in soluzioni acquose contenenti concimi chimici o organici, sostanze miglioratrici del terreno, leganti, prodotti fito-ormonici; fibre vegetali, pasta di cellulosa; diverse sono le soluzioni possibili, in relazione alla tipologia ed alla quantità delle sostanze impiegate:
  - *idrosemina semplice*: costituita da seme, fertilizzante e collante. Crea un letto di germinazione ottimale su terreni in cui è presente abbondante frazione fine e colloidale, ma con inclinazioni non superiori a 20°;
  - *idrosemina con mulch*: simile alla precedente ma con l'aggiunta di *mulch* di fibre e di legno o di pasta di cellulosa. È adatta a terreni con le stesse caratteristiche della idrosemina semplice ma con inclinazioni fino a 35° e con presenza di fenomeni erosivi di media intensità;
  - *idrosemina con mulch a fibre legate*: è una idrosemina con *mulch* in fibre di legno di lunghezza controllata in quantità elevata e collante naturale ad elevata viscosità. È una idrosemina con un forte potere protettivo ed elevata capacità di ritenzione idrica. È adatta a terreni fortemente erodibili con inclinazione fino a 50°-60°, 1,2:141,7:1, mediamente poveri di materia organica e di frazione fine;
  - *idrosemina a spessore*: è una idrosemina ricca di materiale organico (torba ed eventualmente *compost*) e *mulch* di fibre di legno. È adatta alle situazioni in cui il substrato è particolarmente povero di materiale organico, è sassoso o roccioso. In

condizioni difficili per forte pendenza e sulle terre rinforzate si miscela della paglia triturrata da aggiungere all'ultimo passaggio per la formazione di una copertura che dovrà avere uno spessore variabile da 2 a 4 cm a seconda della quantità di materia organica;

- *semina con coltre protettiva di paglia (mulch)*: le sementi vengono distribuite sul terreno e poi ricoperte da materiale vegetale a funzione protettiva; è particolarmente idonea su superfici povere di humus;
- *semina con coltre protettiva di paglia e bitume*: le sementi vengono coperte da sostanze vegetali (paglia) fissata da un'emulsione bituminosa instabile a funzione protettiva.

È comunque consigliato l'inserimento di specie vegetali tipiche della zona, anche se l'azione miglioratrice del terreno di particolari specie pioniere transitorie può costituire un valido aiuto all'insediamento di quelle definitive più esigenti assicurandosi che non siano presenti specie particolarmente espansive.

#### 7.1.1.2 Semenzali

Si possono impiegare *semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree* sulle rive dei corsi d'acqua (al piede delle sponde e delle piante elofite, nell'alveo le idrofite) o sulle pendici instabili, anche ad integrazione del consolidamento effettuato con talee.

Gli alberi e gli arbusti possono essere acquistati a *radice nuda* (latifoglie), in *fitocella* o *con pane di terra* e l'apparato radicale dovrà essere proporzionato alle dimensioni della chioma; va sottolineato che le piante a radice nuda non offrono le stesse garanzie di attecchimento di quelle in fitocella o con pane di terra. Per quanto concerne la messa a dimora delle piantine, il periodo più idoneo è quello del riposo vegetativo. Particolare cura dovrà essere posta sia nell'acquisto del materiale vegetale, verificandone attentamente la provenienza, lo stato sanitario (assenza di malattie, parassiti, ferite, ecc.) e le dimensioni, sia durante il trasporto e la messa a dimora delle piante, al fine di evitare di procurare loro ferite, traumi, essiccamenti.

#### 7.1.1.3 Talee e astoni

Possono offrire spazi disponibili per una rapida espansione delle specie esotiche presenti nelle aree limitrofe (per es: Robinia, Ailanto). Diverse specie (*Salix spp.*, *Populus spp.*) hanno la capacità di svilupparsi a partire da semplici rami o loro parti, denominate appunto talee (getti non ramificati, lignificati, della lunghezza da 25 a 60 cm) o astoni (getti diritti poco ramificati con una lunghezza di 1-3 m). Con esse si possono realizzare alcune tra le tipologie di consolidamento del terreno più importanti, quali:

- la *viminata*: talee intrecciate tra paletti;
- la *fascinata*: rami lunghi e raccolti a mazzi, di lunghezza > 1 m (astoni); si possono così realizzare consolidamenti di pendici soggette ad erosione, nonché drenaggi;

- la *difesa spondale con ramaglia* (getti ramificati di almeno 60 cm di lunghezza e di differente spessore): fasci di rami stesi in una nicchia d'erosione di una sponda fluviale e trattenuti da pali di legno; l'effetto filtrante della struttura determina un deposito dei materiali fini trasportati in sospensione dalla corrente che aumenta la stabilità dell'opera, la quale protegge la sponda dall'azione erosiva dell'acqua;
- la *copertura diffusa con astoni* (3 m): grosse talee disposte sulle sponde dei corsi d'acqua in modo da formare un rivestimento dell'intera superficie e svolgere così una funzione antierosiva;
- il *rinverdimento dei manufatti*: le talee sono utilissime per poter rinverdire le opere di consolidamento, di sostegno o di difesa spondale quali gabbioni, scogliere, muri di sostegno o palificate.

L'epoca del taglio e dell'utilizzo delle talee è legata al periodo di riposo vegetativo delle diverse specie e, quindi, a quello autunnale-primaverile; tutte le talee per potere radicare e svilupparsi, devono essere dotate di gemme laterali. Le talee, se poste orizzontalmente, producono una maggiore massa di radici, a differenza di quelle poste in senso verticale. Particolare attenzione andrà posta, infine, durante il trasporto e lo stoccaggio al fine di evitarne l'essiccamento.

Si consiglia di impiegare parti di piante legnose quanto più grosse e lunghe possibili, adatte di volta in volta al metodo di costruzione, poiché il successo della radicazione e della cacciata aumenta col crescere del volume dei rami. In base all'esperienza, i risultati migliori si ottengono con porzioni della dimensione di un dito fino a quella di un braccio. Verghe e rami sottili disseccano facilmente e quindi vengono per lo più impiegati solo in combinazione con parti vegetali di maggiori dimensioni. Per procurarsi le quantità occorrenti di parti vegetali si hanno le seguenti possibilità a disposizione (Schiechtel, Stern, 1994):

- le parti di piante legnose possono essere ottenute da popolamenti naturali posti nelle vicinanze, affini dal punto di vista ecologico;
  - nel corso d'interventi culturali gli arbusti possono essere tagliati da sistemazioni già esistenti, eseguite con materiale idoneo e, le parti legnose delle piante che ne derivano possono essere utilizzate;
  - in caso di bisogno le parti vegetali necessarie possono essere ottenute anche da vivai, nel caso non siano disponibili o lo siano solo difficilmente, soprassuoli naturali.
1. *Margotte*: è una tecnica che consiste nel piegamento di un ramo o di un pollone e nel suo successivo interrimento: in tali condizioni vengono emesse nuove radici e, una volta che il ramo viene separato dalla pianta madre, si ha un nuovo esemplare.
  2. *Rizomi*: si possono ottenere individui arborei o arbustivi anche utilizzando rizomi o loro pari.

3. *Piote o zolle erbose*: servono a proteggere le sponde o i pendii sistemati di recente. La posa in opera delle zolle può avvenire in diversi modi: a scacchiera, a linee oblique, a cordoni orizzontali, in modo continuo o isolatamente; gli eventuali spazi vuoti verranno chiusi naturalmente dalla vegetazione spontanea con il passare del tempo, anche se, a volte si potranno verificare difficoltà in tal senso. In relazione agli elevati costi d'impianto, gli interventi che prevedono la copertura totale potranno essere effettuati solo su piccole superfici o in zone molto importanti da un punto di vista naturalistico laddove l'impiego di specie autoctone risulti essere indispensabile; va sottolineato il fatto che l'utilizzo di zolle provenienti da località limitrofe è una garanzia d'idoneità del materiale di propagazione utilizzato.

4. *Tappeto erboso*: assolve alle stesse funzioni delle piote erbose naturali, ma la sua produzione in vivaio offre alcuni vantaggi: maggiore disponibilità, maggiore uniformità e relativo migliore attecchimento.

#### 7.1.2 Materiali organici inerti naturali e artificiali

I materiali di origine organica, ma senza capacità vegetativa, vengono detti inerti o "morti"; il loro uso può rendersi necessario quando sia richiesta una efficacia immediata dell'intervento, che non possa essere garantita dalle piante a causa dei tempi necessari al loro sviluppo:

Materiali organici inerti naturali:

- *legname*: tronchi, ramaglia, sciaveri;
- *concimi organici*: da impiegarsi qualora il substrato sia povero di sostanze nutritive;
- *ammendanti*: sostanze miglioratrici del terreno; idonee su substrati poveri di sostanze nutritive o con una struttura ed una tessitura del terreno non ottimale;
- *reti di juta, fibra di cocco o di altri vegetali* (ad esempio, paglia, sisal, kenaf): sono strutture a maglie aperte realizzate mediante tessitura (annodatura) di fibre vegetali;
- *biostuoie*: sono materassini di fibre vegetali (legno, paglia, cocco), contenute in reticelle poliolefiniche o organiche (ad esempio, juta), in commercio sono disponibili anche stuoie preseminate e preconciate;
- *concimi organici*: da impiegarsi qualora il substrato sia povero di sostanze nutritive;
- *mulch di legno, pasta di cellulosa vergine o riciclata* per impieghi nelle miscele da idrosemina.

##### 7.1.2.1 Legname

Il legname viene impiegato con funzione di consolidamento temporaneo in attesa che la vegetazione subentri in tale ruolo. Si usano vari tipi di legname: abete bianco, abete rosso, larice, castagno, pino, douglasia sono i materiali più diffusi. Spesso ai fini di aumentarne la durabilità vengono scortecciati. Le dimensioni, sia in lunghezza che diametro, variano a seconda degli

impieghi. Vengono, molto spesso, usati tondami fuori misura - cortame (diversi dai canonici 2 e 4 metri) e non di prima scelta. Si faccia attenzione alla provenienza del materiale (ad esempio, larice della Siberia o quercia della Slovenia) in relazione alle distanze con il cantiere.

#### 7.1.2.2 Bioreti e biostuoie

Bioreti e biostuoie possono essere impiegate in svariate condizioni, prevalentemente con funzione di controllo dell'erosione, nelle opere di:

- consolidamento di versanti franosi;
- consolidamento di dune costiere;
- consolidamento di piste da sci;
- recupero di ex cave;
- consolidamento di rilevati artificiali (discariche, infrastrutture viarie e ferroviarie, ecc.);
- costruzione di barriere antirumore;
- realizzazione di parchi urbani ed impianti sportivi.

Questi materiali offrono diversi vantaggi, quali:

- riduzione dell'erosione superficiale di origine idrica o eolica durante il delicato periodo post-intervento di sistemazione in attesa che la copertura vegetale si affermi; sono particolarmente utili in zone caratterizzate da notevoli avversità ambientali;
- non ostacolano, bensì favoriscono l'inerbimento delle superfici interessate dall'intervento, sia grazie alla capacità di trattenuta delle particelle più fini utili allo sviluppo della vegetazione, sia per la costituzione di un supporto per le specie vegetali pioniere;
- inducono una riduzione dell'evaporazione idrica del terreno e capacità di conservazione di un certo grado di umidità del suolo: alcuni prodotti di origine naturale possono assorbire 2-3 l/mq di acqua;
- inducono un benefico "effetto-serra" con conseguente trattenuta di calore;
- hanno una capacità di drenaggio superficiale degli accumuli di acqua nel terreno;
- sono disponibili di una vasta gamma di prodotti con trama, struttura e resistenze diverse che si prestano all'applicazione in diverse condizioni;
- sono competitivi dal punto di vista economico rispetto a soluzioni tradizionali, in relazione ai costi di produzione, di trasporto e di posa in opera;
- hanno capacità di incrementare la fertilità del terreno in seguito alla loro decomposizione e conseguente apporto di sostanza organica; esse sono totalmente biodegradabili, in quanto costituite da cellulosa e lignina (si decompongono completamente in 1-6 anni) ed inoltre non sono dannose per piante ed animali.

#### 7.1.3 Materiali organici e inorganici naturali

I materiali naturali usati tradizionalmente nell'Ingegneria Naturalistica sono:

- ammendanti (organici/inorganici);
- terreno vegetale (organico);
- fertilizzanti, compost (organici);
- pietrame, altri inerti (inorganici).

#### 7.1.3.1 Ammendanti

Le tecniche di ammendamento del terreno sono stabilite in base alle caratteristiche dei terreni che confluiscono nelle aree in cui si intende intervenire. Nel caso di terreni a forte drenaggio si possono impiegare polimeri accumulatori dell'acqua o collanti.

L'ammendamento può essere effettuato a seconda del prodotto con due modalità sostanziali:

- mediante miscela in fase di movimentazione del terreno;
- con applicazione dopo la stesura mediante aspersione superficiale.

Si possono effettuare le seguenti operazioni di inoculo, ove il caso lo richieda (in fase di lavori, spetta alla direzione dei lavori decidere a proposito):

- mediante piccole quantità di terreno prelevate in loco per innesco del processo microorganico con ceppi autoctoni e selezionati;
- mediante batteri e micorrize, di provenienza dal mercato, addizionati alle miscele di sementi per l'idrosemia.

Tra i materiali impiegabili per l'ammendamento e concimazione dei terreni vengono segnalati i seguenti:

- lapillo e/o pomice;
- bentonite di tipo agricolo;
- corteccia;
- compost di corteccia;
- paglia;
- flocculanti (compresi acidi umici);
- polimeri flocculanti;
- sabbia;
- argilla;
- sostanza organica (fertilizzante organico);
- ammendanti chimici;
- concimi chimici;
- micorrize.

Il miscelamento del terreno viene controllato dalla direzione dei lavori ed avviene in apposito piazzale predisposto dalla stessa.

Per quanto concerne la corteccia, questa deve essere matura (con giusto grado di umidità e non fresca per evitare l'inibizione della crescita delle piante soprattutto erbacee) ed a scaglie non troppo grandi.

Per la sostanza organica va privilegiato l'impiego di letame bovino maturo; è possibile l'impiego di letame equino ed ovino nella misura del 30% sul totale. La percentuale di sostanza organica aggiunta non dovrà comunque mai eccedere il 5%.

#### 7.1.3.2 Terreno vegetale

In relazione al valore ecologico intrinseco del terreno vegetale, eventualmente presente, nell'area oggetto di un qualsiasi intervento sul territorio che prevede un successivo recupero ambientale, è consigliato provvedere alla rimozione ed allo stoccaggio del suddetto terreno che in seguito, potrà essere utilizzato in loco al fine di costituire un prezioso substrato per la messa a dimora di specie vegetali.

Il terreno vegetale eventualmente utilizzato e

proveniente da altro sito dovrà rispondere a determinate caratteristiche, quali:

- assenza di corpi estranei;
- assenza di pietrame;
- presenza di materiale inerte grossolano, avente un diametro > 2 mm, in quantità inferiore al 25% del volume totale;
- assenza di materiale legnoso (tronchi, rami, radici);
- assenza di agenti patogeni della vegetazione;
- assenza di sostanze tossiche;
- presenza della parte organica (batteri, micorizze, microfauna).

A tal fine l'analisi del suolo consentirà di evidenziare le caratteristiche fisico-chimiche del materiale.

È importante non eccedere nella quantità di terreno vegetale adoperato in quanto le radici delle piante tenderebbero a colonizzare lo strato fertile, ma incoerente, senza ancorarsi al substrato roccioso, con possibili conseguenze di smottamenti per sovraccarico; è consigliato, quindi riportare uno strato di terreno non superiore a 16-20 cm di spessore.

#### 7.1.3.3 Fertilizzanti e compost

I fertilizzanti vengono impiegati per raggiungere elevate rese produttive.

I compost sono il risultato di una fermentazione aerobica controllata che consente di ottenere residui di varia natura, prevalentemente derivanti da Residui Solidi Urbani (RSU), in cui la componente organica risulta stabilizzata ed in parte umificata.

#### 7.1.3.4 Pietrame

Il pietrame viene impiegato spesso per opere di protezione, di consolidamento e, più raramente, di sostegno, nonché per la realizzazione di opere trasversali quali le rampe di risalita per pesci.

#### 7.1.4 Materiali inorganici industriali

Esistono diversi prodotti industriali che consentono di integrare efficacemente le tecniche "biologiche" e svolgere diverse funzioni in maniera permanente:

- controllo dell'erosione superficiale dovuta agli agenti meteorici;
- controllo dell'erosione in ambito fluviale;
- contenimento e rinforzo per la realizzazione di opere di sostegno;
- rinforzo del terreno: aumento della resistenza al taglio del terreno al fine di aumentarne la stabilità e di realizzare pendii e opere di sostegno;
- drenaggio;
- separazione e filtrazione;
- impermeabilizzazione;
- contenimento e rafforzamento superficiale;
- funzioni accessorie (fissaggio e collegamento);
- correzione ed integrazione delle proprietà chimico-fisiche dei terreni.

Questi materiali sono realizzati con acciaio, polimeri e sostanze chimiche di varia natura:

- *geogriglie*: materiale polimerico sia deforma-

bile che non conformato a forma di griglia realizzato connettendo tra di loro e fissando nelle giunzioni i materiali polimerici stessi.

I principali tipi sono quelle:

- estruse;
- tessute;
- a nastri sovrapposti e saldati.

Possono essere realizzate con poliestere, polipropilene, polietilene; possono essere dotate di rivestimento protettivo o meno. Sono materiali dotati di resistenza a trazioni significative e di bassa deformabilità, pertanto vengono usati prevalentemente nel rinforzo dei terreni (opere di sostegno e pendii rinforzati) e per la ripartizione di carichi su terreni a bassa portanza;

- *geotessuti*: sono strutture piane e regolari formate dall'intreccio di due o più serie di fili costituiti da fibre sintetiche, che consentono di ottenere aperture regolari e di piccole dimensioni. In relazione al telaio utilizzato si distinguono in tessuti: a trama e ordito, a maglia a catenella (*warp knitted*). Possono essere in poliestere o polipropilene (più raramente polietilene). Vengono usati con funzione di rinforzo, filtrazione e separazione nelle opere idrauliche e stradali e di consolidamento;
- *geotessili non tessuti*: materiali costituiti da fibre polimeriche coesionate mediante agugliatura o termosaldatura. Ne esistono con caratteristiche idrauliche e meccaniche anche molto diverse e vengono usati con funzione di filtrazione e separazione nelle opere idrauliche, stradali e di consolidamento;
- *reti metalliche a doppia torsione a maglie esagonali in filo d'acciaio*: vengono realizzate mediante la tessitura di trafilato d'acciaio. Per aumentarne la durabilità il filo viene galvanizzato con lega di zinco ed alluminio ed eventualmente plasticato. Possono avere diverse resistenze a seconda delle combinazioni diametro del filo - tipo di maglia. Sono reti per uso ingegneristico dotate di elevata resistenza e caratterizzate dalla capacità di confinare localmente le eventuali rotture o strappi. Si utilizzano per molteplici applicazioni: realizzazione di elementi per rinforzo dei terreni, realizzazione di rivestimenti vegetativi (in abbinamento con biostuoie o geostuoie) per il controllo dell'erosione su scarpate ripide, realizzazione di gabbioni e materassi da riempire con pietrame che sono utilizzati nelle difese fluviali e nelle opere di sostegno;
- *geostuoie tridimensionali*: sono costituite da filamenti di materiali sintetici (polietilene ad alta densità, poliammide, polipropilene o altro), aggrovigliati in modo da formare uno strato molto deformabile dello spessore di 10-20 mm, caratterizzato da un indice dei vuoti molto elevato (> 90%). Possono essere saturate con materiali naturali (ghiaia, bitume) e sintetici (gomme) per applicazioni particolari; le geostuoie possono venire rinforzate mediante reti metalliche a doppia torsione e geogriglie;
- *geocompositi drenanti*: sono costituiti dal-

**Tab. 7.1** - Piante e materiali utilizzabili a seconda delle diverse tipologie d'impiego

Ambiti d'impiego		PIANTE			MATERIALI UTILIZZABILI			
		Naturalità crescente ←			Naturalità crescente ←			
		Piante autoctone	Piante esotiche naturalizzate	Piante esotiche di recente introduzione	Materiali naturali	Materiali biodegrad.	Materiali artificiali	
1 2 3 4 5 6	↑ Naturalità crescente	Aree protette	X X X	-	-	X X	X X	- <sup>(1)</sup>
		Aree naturali	X X X	-	-	X X	X X	X
		Aree agricole	X X	X	-	X X	X X	X
		Parchi e giardini	X X	X	X	X	X	X
		Aree urbane	X X	X	X	X	X	X
		Aree industriali	X X	X	X	X	X	X

**Legenda:**

- XXX = impiego esclusivo;  
 XX = possibilità di impiego preferenziale;  
 X = impiego indifferente in funzione delle scelte progettuali;  
 - = incompatibilità assoluta.

<sup>(1)</sup> Utilizzo solo per la soluzione di problemi geotecnici ed idraulici per la protezione diretta di edifici o infrastrutture esistenti.

<sup>(\*)</sup> Nelle categorie materiali biodegradabili, naturali o artificiali si fa riferimento a quelli strutturali e non ai componenti

Fonte: AIPIN, 2002.

**Tab. 7.2** - Materiali impiegati per l'Ingegneria Naturalistica in funzione delle loro caratteristiche meccaniche

Materiali	Massa areica (g/m <sup>2</sup> )	Durabilità (anni)		Resistenza alla trazione (kN/m)	
		Minima	Massima	Minima	Massima
Biorete juta	200 ÷ 500	1	2	1	2
Biorete cocco	400 ÷ 900	5	8	5	10
Biostuoia cocco	300 ÷ 400	0,5	1	0,3	0,5
Biostuoia paglia	300 ÷ 400	0,3	0,5	0,3	0,4
Biostuoia in legno	500 ÷ 800	1	2	1,8	2,2
Geostuoia tridimensionale	500 ÷ 800	> 5		1,3	1,8
Geostuoia tridimensionale rinforzata	1.500 ÷ 2.500	> 5		38	200
Geogriglie	300 ÷ 2.200	20	120	30	1.000
Geotessuti	80 ÷ 1.000	10	50	10	500
Reti metalliche a doppia torsione	1.200 ÷ 1.750	30	> 100	27	65

l'associazione (in produzione) di uno strato di georete (o di geotessile) racchiuso tra uno o due strati di geotessile (o tra una membrana e un geotessile). Lo spessore complessivo del geocomposito può variare tra 5 e 30 mm. Svolgono funzione filtrante e drenante nelle trincee drenanti e nei dreni a tergo di opere di sostegno;

- *geomembrane*: svolgono la funzione di barriere idrauliche per impermeabilizzare bacini, argini, canalette, ecc. Possono essere polimeriche (HDPE, PVC, PP) o bentonitiche (argilla bentonitica intrappolata tra due geotessili).

Possiamo riassumere tramite la **tabella 7.1** la preferibilità d'impiego dei materiali per le tecniche di Ingegneria Naturalistica.

Nella **tabella 7.2** si riporta l'elenco dei materiali impiegati per l'Ingegneria Naturalistica in funzione delle loro caratteristiche meccaniche.

## Bibliografia



AA.VV., Regione Emilia Romagna - Assessorato all'Ambiente, Regione Veneto - Assessorato Agricoltura e Foreste, 1993

*Manuale Tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Bologna.

Schiechl H.M., Stern R., 1992

*Ingegneria Naturalistica. Manuale delle opere in terra*, Edizioni Castaldi, Feltre (BL).

Schiechl H. M., Stern R., 1994

*Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche*, Edizioni Arca, Gardolo (TN).

Pirolì S., s.d.

*Quali materiali per quali opere*, in Regione Liguria - Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo, *Opere d'Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale*, Genova.





## **PARTE SECONDA**

---



### 8.1 Premessa

L'Ingegneria Naturalistica è una disciplina che utilizza piante vive per consolidare e difendere versanti o sponde dai dissesti. Le piante sono viste oggi con grande interesse come materiali da costruzione viventi, in quanto offrono l'opportunità di ricostituire ambienti prossimi alla naturalità in linea con i principi della pianificazione e progettazione ecologica.

L'impiego di opere "in grigio" rigide e impattanti, come per esempio i muri di sostegno in cemento armato e le arginature con materiali sintetici, è dettato esclusivamente da aspetti tecnici con l'aggravante che un'opera "in grigio" rispetto ad un'opera "in verde" è più costosa, più impattante sull'ambiente. Più soggetta al degrado nel tempo.

È opportuno, considerando l'impiego delle piante, fare una distinzione tra gli interventi di difesa del suolo estensivi e intensivi, sebbene entrambi concorrano a garantire un maggior equilibrio nell'assetto idrogeologico: l'estensività e l'intensività non devono solo essere considerati in termini economici (un intervento estensivo permette di operare con pochi mezzi e poca manodopera contro la grande disponibilità di materiale; un intervento intensivo, permette di agire con grande disponibilità di mezzi e manodopera, ma relativa scarsità di materiale).

Per chiarire meglio è necessario precisare che gli interventi estensivi sono considerati come operazioni su grande scala (idrosemina, copertura diffusa), che non prevedono necessariamente un forte impiego di manodopera; gli imboschimenti e i rinfoltimenti, con piantine forestali di specie arboree, fanno parte degli interventi intensivi, volti a ottenere una copertura vegetale, per l'appunto boschiva, generalmente su ampie superfici.

Un intervento intensivo può considerarsi, invece, un'azione puntuale (briglia, pennelli, ecc.) che, al contrario, può richiedere un dispendio di operai o di mezzi meccanici con cui intervenire su un'area di limitata estensione.

Questo capitolo ha lo scopo di evidenziare le opportunità offerte dall'utilizzo di piante negli interventi a carattere intensivo, tra i quali trovano posto le opere di Ingegneria Naturalistica. Nell'Ingegneria Naturalistica le piante non sono più considerate solo da un punto di vista estetico, ma funzionale, ovvero come un efficace materiale vivente da costruzione e ciò costituisce la peculiarità maggiore di tale disciplina che si differenzia da quelle che utilizzano solo materiali inerti o impiegano le piante per l'arredo degli spazi urbani; le moderne innovazio-

ni, inoltre, hanno consentito di ampliare le applicazioni di queste tecniche vegetali e di aumentarne l'efficacia.

I principali vantaggi offerti dall'uso dei materiali viventi sono i seguenti:

- svolgono un'importante funzione antierosiva; in particolare, ai fini del consolidamento del terreno, le piante assolvono ad un'importante funzione meccanica trattenendo le particelle del suolo ed evitando il loro dilavamento: è stato calcolato, che la resistenza alla trazione di certe radici di graminacee è di 20-30 N/m<sup>2</sup> (*Borkenstein*), quella degli arbusti è di 100-140 N/m<sup>2</sup> e quella della copertura diffusa di salici è di 150-300 N/m<sup>2</sup> anche se tali valori possono essere in alcuni casi superati (fino a 450 N/m<sup>2</sup>);
- conferiscono stabilità al terreno in maniera dinamica, in modo direttamente proporzionale al loro sviluppo;
- costano relativamente poco, in quanto spesso si trovano in loco e/o provengono da operazioni di manutenzione di lavori simili effettuati in precedenza e di conseguenza anche l'onere per il trasporto può essere modesto; si può affermare che, in diversi casi, queste tecniche consentono sostanziali economie (dal 40% al 90%) in rapporto a quelle tradizionali;
- creano *habitat* naturaliformi per la fauna selvatica (luoghi d'alimentazione, di rifugio e di riproduzione), zone *source-sink* (concetto utilizzato per spiegare la complessità delle dinamiche delle popolazioni in ambienti eterogenei) (Pulliam, 1988; Lewin, 1989; Harrison, 1991);
- forniscono un ombreggiamento utile per limitare l'eccessiva crescita di altre compagini vegetali indesiderate nell'alveo fluviale, mantenendo bassa, nel contempo, la temperatura dell'acqua;
- favoriscono, a livello radicale, la depurazione del corso d'acqua dalle impurità presenti assimilando gli eccessi di sostanza organica ed assorbendo anche metalli pesanti o altre sostanze chimiche (fitodepurazione);
- contribuiscono ad aumentare la diversità biologica, principale fattore di pregio e di stabilità di ogni ambiente naturale;
- non sconvolgono le relazioni che intercorrono tra il corso d'acqua e la falda freatica;
- conservano e migliorano il paesaggio ed il patrimonio naturale e culturale che esso rappresenta.

I principali svantaggi di tali tecniche possono essere così riassunti:

- richiedono, in genere, una regolare manuten-

- zione, scaglionata nel tempo ed eseguita da manodopera professionalmente competente;
- esistono fattori limitanti nella loro applicazione (altitudine, illuminazione, regime termo-pluviometrico, caratteristiche del suolo, livello d'inquinamento, periodo di intervento, ecc.);
  - non sempre i risultati desiderati sono immediati e spesso richiedono un certo periodo di tempo per poter verificare l'efficacia dell'intervento.

Una considerazione di carattere generale da tenere presente in caso di recupero ambientale è quella relativa agli ecosistemi; questi risultano più stabili se il numero delle specie presenti è elevato comportando il relativo aumento della diversità biologica. A tal proposito, occorre tener presente che esiste un limite oltre il quale l'eccesso di biodiversità può portare alla fragilità dell'ecosistema; pertanto, sin dalla fase di analisi della vegetazione si dovrà considerare questo particolare aspetto, prevedendo l'inserimento di un certo numero di specie vegetali, in modo tale da rendere meno precario l'equilibrio ecologico che si sta cercando di ricreare.

La conoscenza delle esigenze delle diverse specie vegetali arboree, arbustive ed erbacee, è altresì, fondamentale per effettuare una corretta scelta e per la buona riuscita dell'intervento.

A tale fine, nella fase progettuale, è importante quindi precisare quale ruolo le piante dovranno svolgere in quella precisa situazione, e per fare ciò sarà opportuno analizzare, come già visto, i seguenti fattori di natura fisica, chimica e biologica:

- il *clima* (regime termometrico, pluviometrico, anemometrico, ecc.);
- il *suolo* (profondità, granulometria, pH, ecc.);
- l'*orografia* (altitudine, esposizione, pendenza);
- le *caratteristiche biotecniche delle piante* (capacità di consolidamento del terreno, di resistenza alle sollecitazioni meccaniche, all'erosione e all'inghiainamento, di miglioramento del suolo, di depurazione delle acque, ecc.). I salici, e in misura minore anche altre latifoglie, da una talea rigenerano una nuova pianta (riproduzione per via vegetativa): dalla parte interrata della talea emettono radici e, dalla parte aerea germogli e foglie. Ontano, salice, pioppo, frassino, nocciolo, acero e ligustro e pochi altri alberi ed arbusti sopportano senza danni ricoprimenti di terreno fino a 1-2 m di altezza: nella parte del fusto interrato formano radici avventizie. Esistono poi, piante con forte resistenza alla sommersione. Anche la capacità di adattamento di alcune piante è molto alta: alla pressione di vento o neve reagiscono con una maggiore crescita dell'apparato radicale nella direzione opposta. Le radici si sviluppano in direzione dell'acqua e degli elementi nutritivi: terreni fortemente concimati o umidi sono per lo più attraversati da apparati radicali poco profondi;
- le *caratteristiche fisiologiche delle piante*,

quali la capacità di propagazione e di moltiplicazione, la velocità di crescita, la resistenza ad attacchi parassitari, la rusticità e l'adattabilità (specie viventi in un ampio spettro di ambienti hanno spesso minori esigenze edafiche o climatiche);

- il *grado di inserimento ecologico* (sono da preferirsi le piante autoctone);
- il *grado di inserimento estetico-paesaggistico* (cromatismo, morfologia, contrasto, ecc.);
- l'*evoluzione spazio-temporale dell'ecosistema* (successioni vegetali, dinamica delle associazioni);
- la *provenienza delle sementi e delle piante e la relativa disponibilità sul mercato vivaistico* (con particolare attenzione al possibile inquinamento genetico);
- il *periodo d'intervento* (periodo vegetativo, di piene fluviali, ecc.);
- la *necessità di cure colturali* (diradamenti, potature, ecc.);

Un intervento può considerarsi riuscito qualora si verifichino le seguenti condizioni:

- la copertura vegetale (erbacea, arbustiva ed arborea) è totale e si è affermata un'associazione vegetale metastabile;
- il substrato sterile si sta trasformando in terreno vegetale;
- i fattori predisponenti l'erosione e/o l'instabilità del versante o della sponda sono stati neutralizzati;
- la superficie oggetto di intervento è tutelata e gestita in maniera corretta ed adeguata.

In sintesi, si può sostenere che è da considerarsi "ben riuscita" un'opera che dopo un certo intervallo di tempo, non presenta più segni riconoscibili della "mano dell'uomo"; spesso in alcuni casi ben riusciti è stato difficile anche individuare l'areale della zona ripristinata.

## 8.2 La scelta delle specie e le caratteristiche biotecniche delle piante

La giusta scelta delle piante è la premessa per sicuri e duraturi interventi di Ingegneria Naturalistica. La scelta e l'impiego di specie vegetali inadatte può, infatti, portare al fallimento delle sistemazioni naturalistiche. Le piante con larga amplitudine ecologica sono particolarmente adatte per l'impiego in tali interventi. Spesso nelle aree di progetto (Sauli, 2002) non sono presenti le associazioni naturali dei luoghi, per cui, in tal caso si fa riferimento alla vegetazione "potenziale" ed in particolare agli stadi delle serie dinamiche attinenti alle diverse condizioni d'intervento.

Nella scelta delle specie ci si riferisce a quelle spontanee presenti o potenziali della stazione; alcuni gruppi sono più importanti di altri sia per le caratteristiche biotecniche che possiedono, come le specie arbustive, preferite a quelle arboree (Sauli, 2002), inclusi i suffrutici e, nell'ambito delle erbacee, si ricorre a specie delle famiglie delle graminacee e delle leguminose.

L'uso quasi esclusivo di specie autoctone derivate da materiale di propagazione locale per evitare insuccessi o contaminazioni genetiche o ecologiche, garantisce l'idoneità alle condizioni geopedologiche e fitoclimatiche del luogo, fermo restando i problemi legati al periodo stagionale ed alle condizioni microambientali di messa a dimora.

Per quanto riguarda i rapporti tra idraulica e Ingegneria Naturalistica si rimanda al successivo paragrafo 11.2.

Dal punto di vista geologico e geotecnico si rimanda alle normali strategie di analisi e progettazione in uso. Attenzione particolare va posta nell'interpretazione dei dinamismi geomorfologici ed in particolare idrologici, privilegiando scelte progettuali che tendano al mantenimento o alla ricostituzione di morfologie naturaliformi (Sauli, 2002).

Nella progettazione, la scelta delle specie è funzione, anche dei seguenti fattori:

- aspetti ecologici;
- possibilità di propagazione;
- attitudini biotecniche;
- forza edificatrice;
- capacità di crescita;
- provenienza del seme;
- scopo del rinverdimento;
- effetto produttivo ed estetico.

Del punto di vista ecologico è di grande importanza conoscere le esigenze delle piante, la loro richiesta di sostanze nutritive e di umidità del terreno, temperatura e luce.

H. Gams (1939, 1940, 1941) ha dato dei contributi essenziali in questo campo con riguardo alle esigenze delle sistemazioni dei torrenti e delle valanghe, delle sistemazioni delle sponde di fiumi e ruscelli e della sistemazione delle scarpate stradali nelle Alpi. Non è necessario misurare tutti i fattori stagionali, poiché il fattore ecologico determinante è rappresentato di norma da un minimo o da un fattore dannoso in eccesso (Lundegardh, 1954). Ad esempio, su pendii franosi scoperti manca raramente la luce; in questo modo restano indeterminati solo i rimanenti fattori stagionali.

Attualmente esistono solo sporadiche precise misurazioni per la determinazione delle esigenze stagionali. Un indirizzo di ricerca più recente si occupa del rilevamento di aree minori, ecologicamente equivalenti, che in ultima analisi approderà nella definizione ecologica delle caratteristiche stagionali di determinate unità vegetazionali (Friedl, 1961, 1962; Prutzer, Cernusca, 1965).

I suoli da rinverdire sono spesso substrati privi di vita o grezzi (secondo DIN 18915 dei terreni superficiali). Per questo motivo è importante analizzare e valutare le loro caratteristiche fisiche (granulometria, contenuto di acqua e aria, compattezza) e chimiche (contenuto in sostanze nutritive, contenuto in sostanza organica, valore del pH). Queste analisi sono assolutamente necessarie (Schiechtel, 1973) in caso di substrati estremi (materiale di riporto da gallerie, depositi di scavo di miniere, residui d'industrie).

Come valutazione sommaria ci si basa sul fatto che i terreni ben areati sono più favorevoli, rispetto a quelli compatti, alla formazione di condensa dell'acqua (rugiada), mentre quelli addensati sono o troppo secchi o troppo bagnati. I terreni grezzi carbonatici sono più caldi di quelli privi di carbonato o dei terreni silicati.

Per le condizioni macroclimatiche si prendono in esame i dati della stazione climatica più vicina di pari latitudine o, per dati più dettagliati, presso il servizio meteorologico competente. Sulle condizioni mesoclimatiche è, invece, la vegetazione esistente a fornire, rapidamente, le indicazioni cercate. Su versanti da rinverdire, ad esempio per la scelta delle specie, si devono tener presenti le superfici lasciate indisturbate dai lavori di livellamento e scoronamento, a causa del diverso mesoclima.

Vi possono essere, poi, differenze considerevoli, soprattutto in corrispondenza di zone più vaste e ad elevate altitudini. Per questo motivo è consigliabile tenere distinte più aree in un unico pendio da rinverdire, sulle quali vengono impiegati diversi tipi di piante o miscugli di seme (per esempio, piste da sci).

Per una rapida e sommaria valutazione delle condizioni stagionali si può utilizzare lo schema riportato nella **tabella 8.1**.

La scelta delle specie secondo la più facile possibilità di propagazione, è il primo presupposto per l'utilizzazione di una pianta (Schiechtel, 1973).

In concordanza con il principio della provenienza, e poiché agli effetti pratici sono richieste spesso grandi quantità di materiali biologici da costruzione, per motivi economici sorge l'esigenza di una facile moltiplicazione del materiale vegetale, affinché non si debbano verificare difficoltà di approvvigionamento. Secondo Schiechtel (1973), a proposito del periodo di moltiplicazione più favorevole per le talee, si possono effettuare le seguenti riflessioni:

- non solo in primavera è possibile la moltiplicazione delle talee;
- le diverse specie presentano un ritmo individuale un po' differenziato;
- la formazione di radici e getti dipende dallo stato vegetativo della pianta al momento del taglio della talea.

È stata accennata la possibilità di sincronizzare il reperimento di materiale da talea, con gli interventi di gestione e manutenzione delle fasce vegetate ripariali, in aree golenali o marginali per non gravare eccessivamente sui popolamenti naturali.

Le possibilità di moltiplicazione delle piante, oltre al periodo più favorevole di moltiplicazione e alla provenienza delle sementi, sono alla base dei metodi di piantagione. Una facile moltiplicazione è, quindi, la via più diretta all'utilizzo di una specie. Le piante possono riprodursi per via sessuale (semina, piantagione, selvaggioni, trapianto di intere associazioni con zolle erbose o pani di terra) oppure moltiplicarsi per via vegetativa (talee caulinari, astoni,

Tab. 8.1 - Schema per la valutazione di condizioni stazionali

Campo di valutazione	Indici di stima	Fattori influenti
Stato del terreno	1 = molto buono; 2 = buono; 3 = medio; 4 = cattivo; 5 = pessimo.	Granulometria (contenuto in granuli fini), permeabilità, capacità di ritenzione idrica, umidità del terreno (ristagno d'acqua o simili), reazione del terreno (valori di pH), fertilità (in particolare il contenuto in sostanze tossiche, profondità (spessore) dello strato portante della vegetazione).
Clima	1 = molto favorevole; 2 = favorevole; 3 = medio; 4 = sfavorevole; 5 = molto sfavorevole.	Quantità e distribuzione delle precipitazioni, umidità dell'aria, durata e frequenza dei periodi di siccità, intensità dell'evaporazione (vento, insolazione), frequenza della variazione del periodo dei geli, durata del manto nevoso, temperatura media e variazioni di temperatura, condizioni di luce (quantità, esposizione).
Pericolo d'erosione	1 = molto modesto; 2 = modesto; 3 = medio; 4 = elevato; 5 = molto elevato.	Acclività (pendenza dell'area), tendenza agli effetti del maltempo (piogge torrenziali, caduta grandine, sommersione), vento (frequenza, intensità, raffiche), coesione del terreno (distribuzione della granulometria, conformazione dei granuli, contenuto in parti leganti, umidità del terreno), frequenza dei geli, pericolo di franamento (strati di scivolamento e simili).

talee radicali, talee di rizoma, propaggini, divisione di cespi).

Si elencano di seguito alcune delle diverse possibilità, con cui propagare le specie vegetali:

- *semine*:

- *piante legnose*: non tutte le piante si riproducono convenientemente tramite semina (Schiechtl, 1973). Nel caso di salici e di pioppi si preferisce usare la via di propagazione vegetativa, perché i loro semi inaridiscono rapidamente, a causa dell'assenza del rivestimento di protezione e conservano la facoltà germinativa solo per pochi giorni. Molte specie legnose sono propagate tramite semine in pieno campo (come nel caso di conifere, di querce, di aceri e di frassini). Metodi più recenti ed economici sono la semina a piazzole (per somministrare la semente a rinverdimento iniziale avvenuto) e tramite l'idrosemia (in caso di scarpate ripide e sassose). Per quelle specie legnose che non si possono moltiplicare in pieno campo a livello soddisfacente, si ricorre a vivai. I selvaggioni ottenuti da soprassuoli possono essere utilizzati solo come soluzione di ripiego (Schiechtl, 1973) nel caso non esista nessun'altra possibilità di procurarsi le piante. Il materiale vegetale viene danneggiato durante l'estrazione in misura molto maggiore di quanto non avvenga nell'estrazione in vivaio ed, inoltre, esso non è uniforme per età e per crescita. Tuttavia anche la semina di qualche specie legnosa in vivaio presenta delle difficoltà. Per l'utilizzazione dei lavori con tecniche di Ingegneria Naturalistica bisognerebbe far uso solo di materiale vegetale di ottima qualità.

Al di là delle determinazioni generalmente valide (grandezza prescritta, età, tipo di allevamento, assenza di parassiti e malattie) occorre controllare che la semente sia adatta allo scopo specifico, facendo attenzione alla provenienza del seme ed al luogo di allevamento, che devono presentare ambedue condizioni analoghe di stazione rispetto al luogo d'impiego, oltre ad un rapporto favorevole fra radice e parte aerea;

- *graminacee ed erbe non graminoidi*: fra questa categoria vi sono molte piante adatte all'Ingegneria Naturalistica, ma solo un numero ridotto si trova in commercio come semente. La scelta dei miscugli di seme adatti al metodo di semina prescelto è molto importante per raggiungere il risultato desiderato. Non è, inoltre, solo necessaria la conoscenza delle specie vegetali, delle loro esigenze, delle loro caratteristiche di accrescimento, ma anche la capacità di valutare di volta in volta la stazione in modo giusto (Schiechtl, 1973). Sempre secondo Schiechtl (1973) una vegetazione ricca di specie è più stabile e resistente di una povera. Per questo motivo, continua Schiechtl, è necessario comporre dei miscugli che siano tanto più ricchi di specie quanto più estreme si presentano le condizioni stazionali; ecco i motivi:

§ le monocolture sono sempre minacciate, rappresentano il presupposto causale per calamità patologiche, sia per quanto riguarda il tappeto erboso, sia che si tratti di selvicoltura o di agricoltura (Sauer, 1966);

§ le monocolture sono rare in natura e in

tal caso sono indice di condizioni sfavorevoli;

§ le stazioni estreme non si possono confrontare con i terreni prativi o agrari, dove bastano dei miscugli costituiti da poche specie e capaci di vita propria;

§ anche in caso di tappeti erbosi occorre tendere verso la longevità e la durata del rinverdimento;

§ non sempre i semi in commercio sono adatti all'Ingegneria Naturalistica, in quanto sono stati coltivati per altri scopi.

La quantità di seme da impiegare dipende dal numero dei semi delle specie vegetali contenute nel miscuglio e dal grado di difficoltà della superficie da ricoprire con manto erboso. È necessario tenere conto delle perdite, dovute:

- ad impurità ed alla germinabilità ridotta;
- al trasporto da parte dell'acqua e del vento;
- al consumo da parte di animali e di uccelli;
- alla elevata parte di granuli grossolani sulla superficie dei terreni grezzi.

Come regola di condotta nei miscugli di graminacee si usa una quantità di semente che varia dai 10 ai 20 g/m<sup>2</sup> (su superfici favorevoli) fino a 30 g/m<sup>2</sup> (su superfici sfavorevoli). Una semina troppo densa è altrettanto sfavorevole di una rada, perché le specie a crescita lenta e durevoli possono venire soffocate da quelle più rapide.

In riferimento ai miscugli di sementi esiste nell'Ingegneria Naturalistica l'annoso ed insoluto problema di disporre agli effetti pratici soltanto dei cosiddetti "miscugli standard". Per le semine di manti erbosi non è purtroppo possibile trovare in commercio le specie che corrispondano allo sviluppo naturale della vegetazione. Da molto tempo infatti, non vengono più raccolti semi indigeni selvatici.

Il *fiorume* (i residui provenienti da fienili o da depositi di fieno) rappresenta quindi localmente un materiale da costruzione molto prezioso. La raccolta di semente proveniente da soprassuoli naturali è per lo più antieconomica e, può essere presa in considerazione solo per casi particolari. Nella scelta del miscuglio di semente vanno però tenuti in considerazione, non solo la stazione e l'obiettivo dell'intervento, ma anche il prezzo. L'utilizzo del fiorume potrebbe incentivare lo sfalcio di aree pascolive non produttive e, quindi, contribuire al mantenimento degli stessi pascoli.

In interventi costruttivi realizzati secondo le regole dell'Ingegneria Naturalistica ha dato buon esito la scelta, fra le sementi reperibili in commercio, delle graminacee, delle erbe non graminoidi e delle piante legnose più adatte.

Come accennato, la maggior parte dei tipi di varietà di semi offerti in commercio vengono coltivati per l'agricoltura e non corri-

spondono spesso, o in prevalenza, alle esigenze richieste dall'Ingegneria Naturalistica. I miscugli di sementi ricchi di specie sono i più vicini al prato naturale e, risultano anche i più stabili. I miscugli puri di graminacee sono adatti, infatti, solo in misura modesta per interventi di Ingegneria Naturalistica.

In alcuni paesi sono stati raccomandati per regioni ed anche per stazioni i cosiddetti *miscugli-norma* di sementi; anche i commercianti offrono miscugli del genere, prodotti sulla base delle loro esperienze. Così a volte risulta vantaggioso, lasciar comporre il miscuglio di semi da parte di un esperto o da un ufficio specializzato. I miscugli offerti o raccomandati dal mercato dovrebbero venire esaminati in merito alla loro efficacia, attitudine e rispetto alla possibilità di introduzione di specie invasive.

I miscugli per le semine di piante legnose richiedono particolare esperienza. Oltre ai semi delle piante legnose devono essere di norma aggiunti anche semi di graminacee e di erbe non graminoidi, perché la semina non serve solamente per la costituzione di una vegetazione di piante legnose, ma anche per il consolidamento della scarpata. Sono perciò da escludere le graminacee e le erbe non graminoidi che possono svilupparsi determinando una forte concorrenza per le piante legnose.

• *Talee*: Lindemann (1952) indica i fattori che influiscono sulla radicazione delle talee:

- scelta della pianta madre;
- temperatura;
- umidità;
- substrato di moltiplicazione;
- contenuto di sostanze nutritive e di crescita delle parti di talea;
- scelta dei tipi di pollone;
- sostanze sintetiche di crescita;
- influenza della luce (ritmo annuale e diurno).

Nell'Ingegneria Naturalistica non è possibile prendere in considerazione tutti questi fattori, pertanto non è quasi mai possibile la scelta di piante madri particolarmente vitali; allo stesso modo, in campagna non si può influenzare la temperatura o (raramente) l'umidità e il substrato (Schiechtel, 1973). Si consiglia di operare con le tecniche di Ingegneria Naturalistica in autunno o all'inizio della primavera, per far sì che le talee al sopraggiungere del periodo di aridità, abbiano già formato delle radici sufficientemente lunghe. Un'irrigazione artificiale dovrebbe essere tentata su pendii in frana solo in casi eccezionali, poiché i terreni grezzi tendono all'erosione ed un apporto di umidità eccessiva porta ad un'insoddisfacente formazione di radici. Un leggero miglioramento del substrato, quasi sempre sufficiente, avviene durante i lavori preparatori all'inverdimento, durante lo scoronamento dei margini di distacco.

Per migliorare le condizioni trofiche è consigliabile l'impiego di concimi artificiali, il che

avviene nel modo migliore mediante la somministrazione ripetuta di concimi complessi ternari in piccole dosi. La facoltà di emettere getti e radici, secondo Leibundgut e Grüning (1951) dipende da sostanze di crescita che sono immagazzinate nel tessuto vivente, nelle gemme e da qui viene trasportata verso la superficie del taglio basale, dove si raccoglie e provoca la formazione di radici. È stato dimostrato che la talea più lunga, ovvero quella più grossa, mostra una capacità di crescita più elevata a causa della sua migliore condizione di partenza; le lunghezze delle radici aumentano con il volume, ovvero con la lunghezza delle talee.

Agli effetti pratici, lo spessore della talea è limitato solo dalla convenienza (difficoltà di trasporto e spese più elevate) e del problema del rifornimento da parte dei popolamenti naturali o dei vivai. Vanno quindi impiegati tutti gli spessori dei rami che raggiungono il diametro di un braccio. I rami sottili e le punte dei rametti vengono mescolati con i rami più grossi e vecchi. Nei lavori su pendii, dove può agire l'erosione, l'inghiainamento, la caduta di massi, l'inacidimento e l'abrasione, le talee vanno tagliate con lunghezze da circa 0,75 m fino a 1,20 m (a seconda delle condizioni del terreno) e vanno disposte con tutte le loro diramazioni.

- **Talee radicali:** possono essere allevate per la moltiplicazione come polloni radicali, anche se non danno dei risultati migliori rispetto a questi ultimi. Anche in questo caso si ottiene una maggiore percentuale di radicazione, usando delle talee vicine alla base ed un più alto numero di radici rispetto a quelle lontane dal fusto, secondo il principio delle articolazione delle fasi (Passecker, 1949, 1954).
- **Propaggini e margotte:** i rami bassi delle piante legnose che si moltiplicano agamicamente radicano spesso laddove i rami vengono a contatto con il terreno. Si può trarre vantaggio da questa particolarità, fissando i rami al terreno. Dopo la crescita del ramo si interrompe il collegamento con la pianta madre, tagliandolo, infatti, si ottiene una nuova pianta. Serve per infoltire ed espandere rapidamente l'arbustame già esistente.
- **Divisione di rizomi e di cespi:** le piante messe allo scoperto per fenomeni di erosione o scoronamento, possono essere suddivise e nuovamente impiantate. Ciò si può fare in tutte quelle piante che formano più ricacci, la cui diramazione si trova nel terreno (arbuti), ma anche nelle graminacee e nelle piante erbacee perenni a forte crescita di tipo cespitoso (Schiechtl, 1973).

Per evitare di creare dei soprassuoli vegetali monospecifici, si tende ad utilizzare specie vegetali diverse tra loro, che presentino comunque le stesse caratteristiche. Questo accorgimento può però dare origine a nuove piante, ibridi di specie differenti, cosa che può avvenire con le specie del genere *Salix*, o con graminacea del genere *Festuca*.

L'inquinamento genetico delle specie presenti sul territorio sul quale viene fatto l'intervento di Ingegneria Naturalistica si può mitigare seguendo un protocollo per il reperimento delle piante da utilizzare per le opere progettate. Per tale motivo si cerca sempre di utilizzare specie autoctone, intendendo per piante autoctone non solo quelle della stessa specie, ma anche dello stesso luogo. È, infatti, frequente il caso in cui piante della stessa specie, ma di zone differenti, risultano geneticamente distanti tra loro.

Il protocollo si articola secondo i seguenti punti:

- si devono utilizzare piante autoctone (della stessa specie e dello stesso luogo);
- nel caso non fosse possibile utilizzare piante del posto, si possono utilizzare piante prese nelle immediate vicinanze del cantiere; per principio occorre cercare di utilizzare solo piante erbacee e legnose autoctone, provenienti dalla zona di vegetazione più vicina al cantiere di lavoro. Quanto più alti sopra il livello del mare sono ubicati i cantieri, tanto più criticamente andrebbe affrontato questo punto; non solo, ma anche le precipitazioni medie annuali, caratteristiche della zona, influenzano la scelta delle specie;
- se non è possibile procedere come descritto al punto precedente, ci si rivolge a vivai specializzati per il reperimento delle talee, tenendo presente che i vivai generalmente non sono in grado di fornire grandi quantità;
- nel caso non fosse possibile operare neanche secondo il punto descritto precedentemente, si vanno a reperire le piante anche in zone distanti dall'area di cantiere, ma sempre in ambito regionale, con piante certificate.

Per procurarsi le quantità occorrenti di parti vegetali si hanno, pertanto, le seguenti possibilità a disposizione:

- le parti di piante legnose possono essere ottenute da popolamenti naturali posti nelle vicinanze, affini dal punto di vista ecologico;
- nel corso di interventi colturali gli arbusti possono essere tagliati da sistemazioni già esistenti, eseguite con materiale idoneo, e le parti legnose delle piante che ne derivano possono essere utilizzate;
- in caso di bisogno le parti vegetali necessarie possono essere ottenute anche da vivai, nel caso non siano disponibili, o lo siano solo difficilmente, da soprassuoli naturali.

Esempi di specie con larga valenza ecologica riportati in letteratura, sono:

- **Alberi:** ontano bianco (*Alnus incana*), larice (*Larix decidua*), robinia (*Robinia pseudo-acacia*), salicone (*Salix caprea*), betulla bianca (*Betula pendula*), ontano nero (*Alnus glutinosa*), pioppo nero (*Populus nigra*), pino silvestre (*Pinus sylvestris*).
- **Arbusti:** sanguinella (*Cornus sanguinea*), salice da ripa (*Salix eleagnos*), gisilostio (*Lonicera xylosteum*), salice da vimini (*Salix viminalis*), ligustro (*Ligustrum vulgare*), salice da ceste (*Salix triandra*), salice rosso



(*Salix purpurea*), sambuco (*Sambucus nigra*), salice di monte (*Salix nigricans*).

- **Graminacee e leguminose:** agrostide bianco (*Agrostis stolonifera*), loglio perenne (*Lolium perenne*), ginestrino (*Lotus corniculatus*), erba mazzolina (*Dactylis glomerata*), bolognino (*Trifolium pratense*), festuca rosa (*Festuca rubra*), paleino odoroso (*Anthoxanthum odoratum*), trifoglio ladino (*Trifolium repens*), erba fienarola (*Poa pratensis*), antillide (*Anthyllis vulneraria*).

La distribuzione naturale potenziale della vegetazione e della sua flora (specie vegetali) si orienta verso regioni floristiche ben precise: medioeuropea, mediterranea, ecc.

Così come per le piantine in vaso o con pane di terra, anche per le talee occorre fare attenzione alle condizioni stagionali delle specie vegetali utilizzate.

Le piante possiedono proprietà biotecniche che si possono riassumere qui di seguito:

- **Per quanto riguarda le proprietà tecniche:**
  - difesa dall'erosione, copertura del terreno e riduzione degli impatti provocati dalle precipitazioni: a titolo di esempio si riporta un caso osservato da F. Florineth in Alto Adige (*Studienblatte zur Vorlesung Ingenieurbiologie*) ove sono state misurate asportazioni di suolo in solchi di erosione più o meno ripidi, durante un periodo vegetativo, da 300 a 1.300 g/m<sup>2</sup> di terreno, mentre in una sola giornata con 60 mm di precipitazioni e in presenza di grandine, è stata rilevata l'asportazione di circa 5 kg/m<sup>2</sup>; al contrario superfici rinverdite mostrano dopo il terzo anno, fenomeni erosivi modesti dell'ordine di grandezza di 25-140 g/m<sup>2</sup> e, le associazioni prative naturali alpine, non hanno dato luogo ad alcuna asportazione;
  - regolazione del bilancio idrologico del terreno (evaporazione, formazione e miglioramento del suolo);
  - riduzione della velocità di scorrimento superficiale e della forza di trascinamento dell'acqua;
  - formazione di capillizio radicale nel suolo (forma delle radici; rapporto tra radici e parte epigea);
  - aumento della resistenza alla trazione;
  - aumento della resistenza al taglio.
- **Per quanto riguarda le proprietà biologiche:**
  - capacità di rigenerazione;
  - capacità di adattamento all'ambiente;
  - resistenza alla sommersione anche per periodi prolungati: salici (*Salix spp.*), pioppo bianco (*Populus alba*), ontano nero (*Alnus glutinosa*) e frassini (*Fraxinus excelsior*);
  - capacità di emettere radici avventizie: ontani, salici, pioppi, frassini, ciliegio (*Prunus avium*), ligustro (*Ligustrum sp.*), acero montano (*Acer pseudoplatanus*) e altre;
  - capacità di riproduzione per via vegetativa, ovvero per talea: tamerice (*Tamarix gallica*, *T. africana*, *T. articulata*), salici, pioppo

nero (*populus nigra*), maggiociondolo (*Laburnum anagyroides* e *L. alpinum*), miricaria (*Myricaria germanica*), sambuco (*Sambucus sp. nigra*), canna (*Phragmites australis*); talea radicale: ontano bianco (*Alnus incana*), crespino (*Berberis vulgaris*), nocciolo (*Corylus avellana*), lampone (*Rubus idaeus*), rizoma.

Con il termine "attitudine biotecnica" si indica una pianta, che si adegua all'esigenze di una attività che impieghi l'Ingegneria Naturalistica. Più specifico è il termine di "costituzione ecologica" (*ecotecnica*) con il quale intendiamo la resistenza di parti di piante e/o di piante nei confronti delle forze meccaniche che agiscono sul germoglio e/o sulla radice. Le piante con elevata valenza biotecnica dovrebbero possedere le qualità elencate di seguito:

- **Resistenza alla sollecitazione meccanica del germoglio e della radice.** Secondo Schiechl (1973), la resistenza delle radici delle piante acquista tanta più importanza quanto più esse sono fitte nel terreno. L'effetto consolidante del terreno mediante le radici non è basato solo sull'elevata resistenza, ma anche sulle molte diramazioni dell'intero sistema radicale. Si veda a tale proposito il paragrafo successivo *Apparati radicali*.
- **Resistenza contro la sommersione periodica od episodica.** Le brevi sommersioni della durata da varie ore fino a due settimane possono verificarsi nelle associazioni riparie e in quelle arbustive, ogni anno o più volte all'anno. La vegetazione di questi luoghi è adeguata a questi eventi. Su tali stazioni le specie introdotte artificialmente, non autoctone, verrebbero danneggiate in maniera da forte a letale e falliscono. Solamente poche specie, per lo più alberi, sopportano un ristagno dell'acqua con durata lunga, fino a permanente. È stata notata una buona compatibilità nei confronti del ristagno nel salice bianco (*Salix alba*), nel salice fragile (*Salix fragilis*) e nel suo incrocio *Salix rubens* come anche nel salice odoroso (*Salix pantandra*). Un ristagno improvviso produce effetti più dannosi di un innalzamento graduale dello specchio d'acqua. In presenza di un ristagno artificiale permanente gli alberi dovrebbero venir schermati con pietrisco e ciottolame fin sopra lo specchio d'acqua, affinché si possano formare radici avventizie (**tab. 8.2**).
- **Resistenza all'inghiainamento.** Un ricoprimento con il trasporto solido da parte di ruscelli o di fiumi provoca il deperimento progressivo della maggior parte delle graminacee e delle erbe non graminoidi, soprattutto quando i sedimenti sono molto impermeabili (argilla, limo) ed hanno uno spessore maggiore di 10 cm. Di contro, molte piante legnose sopportano questa colmata senza perdere la vitalità. I salici, e anche i pini, hanno resistito ad inghiainamenti, fino oltre i 3 m (fino al 30% dell'altezza dell'albero) senza danni evidenti.
- **Facoltà di formare nell'acqua radici galleggianti.** Specialmente alcune specie di salici

**Tab. 8.2** - Alcune specie legnose resistenti alla sommersione

Nome latino e nome italiano delle latifoglie	Piano altitudinale
<i>Alnus glutinosa</i> Ontano nero	Collinare sub-montano da 100 a 1.200 (1.800) m s.l.m.
<i>Populus alba</i> Pioppo bianco, gattice	Collinare sub-montano da 0 a 800 (1.500) m s.l.m.
<i>Populus nigra</i> Pioppo nero, albero	Collinare sub-montano fino a 800 (1.800) m s.l.m.
<i>Salix Alba</i> Salice bianco	Collinare sub-montano fino a 900 m s.l.m.
<i>Salix fragilis</i> Salice fragile	Collinare sub-montano fino a 1.100 m s.l.m.

formano sott'acqua, quando stanno vicine ad essa, lunghi e densi ciuffi di radici che galleggiano liberamente. Esse smorzano adeguatamente l'energia della corrente e proteggono così le sponde dall'erosione.

- **Capacità di resistenza alle sollecitazioni meccaniche.** Si presenta in terreni franosi e in caso di erosione; questa resistenza è richiesta anche nei sistemi di costruzione più stabili, dove nei primi anni occorre tener conto di limitati movimenti sulla superficie del terreno, della caduta di sassi e dell'abrasione da neve. La pianta è esposta a queste influenze anche quando è stata messa a dimora con gradonate, viminate, fascinate, sebbene essa goda in tali casi di una maggiore protezione (Schiechtel, 1973).

Nelle specie pioniere alpine, l'espressione dell'adattamento a particolari condizioni di terreno, si può notare dalle forme di crescita anormali, a seguito di condizioni di vita estrema.

Queste meccanomorfosi contraddistinguono, in genere, quelle specie che sono in grado di sopportare delle sollecitazioni estreme. Esse sono l'espressione di una reazione correlativa per la perdita del getto apicale, per il ribaltamento, pressione e spinta della neve, erosione del suolo, inghiaamento, oscillazione del livello del terreno, caduta sassi.

Queste specie, il cui verticello di radici più basso resta ancora in funzione, dopo l'inghiaamento e la formazione di un verticello di radici avventizie, sopportano l'oscillazione del livello del terreno e, quindi, alternativamente l'inghiaamento e l'erosione, fatto questo che si riscontra solo in specie legnose geneticamente giovani. Fra le conifere hanno tali caratteristiche il pino silvestre (*Pinus silvestris*) ed il pino mugo nella sua forma eretta (*Pinus mugo var. uncinata*).

- **Azione consolidante (legante) del terreno.** È la capacità di legare e consolidare il terreno

mediante il sistema radicale della pianta; essa è una risultante derivante dalla forma della radice, dalla densità della radicazione e quindi dalla massa radicale. Queste qualità possono essere in parte compensate da una corrispondente resistenza allo strappo. Particolarmente importante appare il rapporto fra il volume dei getti ed il volume delle radici (della massa), tanto più che con ciò è possibile stimare, senza lunghi complessi scavi, in base alle parti della pianta visibile, quelle nascoste nel terreno (Schiechtel, 1973). Le specie a radicazione estensiva, con un ampio sistema radicale strisciante e/o penetrante in profondità (tipo di pianta legnosa; cfr. tab. 8.3), formano sistemi orizzontali e verticali; mentre questi ultimi vengono suddivisi, nel caso di individui adulti, propagati per via sessuale a seconda della forma, in radici fittonanti e fascicolate (specie a radicazione profonda) ed in radici penetranti in profondità (specie a radicazione piatta). Le piante legnose moltiplicate agamicamente in sito, possono però essere difficilmente inquadrare in uno di questi schemi. Il gruppo delle specie a radicazione intensiva, con radici meno striscianti in profondità, molto ramificate e fittamente addensate, rappresentano il tipo delle graminacee. Nel caso delle erbe non graminoidi, anzitutto nelle leguminose, esistono delle transizioni fra i due tipi di radice. Il consolidamento più efficace del terreno si ottiene in ogni modo quando la compenetrazione radicale nel corpo terroso avviene in diversi strati del terreno. È quindi assolutamente necessario impiegare diverse specie, anche ai fini della stabilizzazione del terreno.

- **Facoltà di colonizzare i suoli sterili,** propria delle specie pioniere, che nella colonizzazione naturale di aree prive di vegetazione, preparano, come colonizzatori primari, la strada agli ulteriori stadi di successione. Si tratta in prevalenza di specie a vasta amplitudine ecologica.
- **Forza edificatrice.** Con questo termine si intende l'azione miglioratrice del terreno o della stazione, esercitata dalla vegetazione mediante la quale l'associazione pioniera viene portata, senza ulteriore intervento, attraverso la successione, verso stadi vegetazionali più evoluti. Questo effetto trae origine dal consolidamento del terreno, dal miglioramento del mesoclima e del terreno. La velocità di sviluppo, e con ciò la produzione di sostanza organica, hanno in questa circostanza un ruolo essenziale. Di particolare importanza agli effetti pratici risulta l'utilizzazione di specie vegetali che, con l'aiuto dei loro simbiotici e/o la caduta delle loro foglie, arricchiscono in azoto il terreno. Soprattutto gli ontani e le leguminose possiedono questa proprietà. Il lavoro d'edificazione si basa principalmente su:
  - qualità generali delle specie pioniere;
  - facoltà di migliorare il terreno;
  - consolidamento e coesione del terreno.

Tab.8.3 - Piante radicate con capacità di sviluppo di radici avventizie

Specie	Resistenza all'inghiainamento	Resistenza agli slittamenti e movimenti di neve	Grande resistenza alla caduta sassi	Buon consolidamento del terreno	Grande resistenza alla trazione
<i>Acer pseudoplatanus</i>	X	X	X	X	X
<i>Acer platanoides</i>				X	
<i>Alnus incana</i>	X		X	X	
<i>Alnus viridis</i>	X	X	X		
<i>Sorbus aucuparia</i>	X	X	X		
<i>Sorbus aria</i>		X	X		
<i>Fraxinus excelsior</i>		X	X	X	X
<i>Populus tremula</i>			X	X	
<i>Alnus Glutinosa</i>	X			X	
<i>Castanea sativa</i>			X		
<i>Ulmus montana</i>				X	
<i>Quercus robur</i>				X	
<i>Salix spp.</i>	(X)	X	X	(X)	X
<i>Cornus spp.</i>		X		X	
<i>Liguster spp.</i>	X	X	X	X	X
<i>Sambucus spp.</i>	(X)		X		
<i>Viburnum opulus</i>				X	
<i>Berberis vulgaris</i>	X	X	X		X

Fonte: AIPIN, sezione Bolzano, 1995.

Le proprietà meccaniche del terreno vengono migliorate utilizzando robuste radici, profonde e molto estese che, penetrando nel terreno, consentono l'apporto in profondità di ossigeno e della fauna entro di esso. La decomposizione delle specie vegetali morte favorisce l'aumento di umidità e di contenuto trofico, così come la copertura della superficie del terreno con foglia larga causa un sostanziale mutamento nel microclima, rendendo possibile una rapida formazione di *humus*. La forza edificatrice delle piante permette di avviare una successione vegetale naturale, creando delle colonizzazioni di biocenosi più esigenti, a scapito delle piante che possiedono tale qualità.

- **Resistenza al sale.** Essa ha importanza sulle coste marine o laddove vengono impiegati sali anticongelanti per lunghi periodi ed in dosi elevate come, ad esempio, lungo la viabilità per la sicurezza del traffico.
  - **Capacità di crescita.** È una proprietà fondamentale per la buona riuscita dell'Ingegneria Naturalistica. Si preferiscono radici che raggiungano già nei primi anni un'adeguata profondità e che i getti crescano presto in altezza o in larghezza, proteggendo il terreno.
- Altre specie di piante radicate con capacità di sviluppo di radici avventizie, impiegate in opere di Ingegneria Naturalistica, come le gradonate vive con latifoglie, che presentano particolari caratteristiche biotecniche, sono elencate, a titolo d'esempio, nella **tabella 8.3**.

### 8.3 Apparatî radicali

Affinché le radici delle piante impiegate per stabilizzare un terreno in movimento, oppongano la giusta resistenza alle sollecitazioni meccaniche del suolo stesso, è necessario conoscere il comportamento che presentano nei confronti:

- delle elevate velocità di deflusso;
- delle forti pressioni della corrente e delle correnti d'acqua turbolente (per quanto riguarda un corso d'acqua);
- delle grandi forze di trascinarsi;
- della tolleranza nei riguardi dello sterco e del rinterro temporaneo;
- dell'urto e della forza del trasporto solido.

Le sollecitazioni meccaniche provocate dai movimenti del terreno e quelle di trazione e di taglio che ne derivano, come pure quelle dovute alle forze del manto nevoso e della caduta di sassi, dovrebbero ugualmente venire tollerate.

La resistenza alla rottura dell'apparato radicale è il prodotto dell'intensità di radicamento per la resistenza alla trazione delle singole radici. La resistenza all'estirpamento delle piante è diversa, come si può vedere nelle **tabella 8.4**.

Le specie che formano stoloni hanno una scarsa resistenza alla trazione, mentre nelle altre graminacee e nelle erbe con apparato radicale profondo, questa è superiore (Florineth, 1994). Arbusti ed alberi offrono una resistenza alla trazione fino a 5.500 N (1N=0,1 kg). Semine di graminacee e popolamenti misti di leguminose e graminacee offrono rispettiva-

**Tab. 8.4** - Resistenza all'estirpamento di piante erbacee e latifoglie

Specie	Forza di trazione (N)	Diametro della radice (Ø mm)	Tensione di trazione (N/cm <sup>2</sup> )
<i>Poa annua</i>	1,04		
<i>Agrostis stolonifera</i>	1,24		
<i>Festuca duriuscula</i>	2,04		
<i>Deschampsia caespitosa</i>	2,90		
<i>Lolium perenne</i>	5,00		
<i>Nardus stricta</i>	7,60		
<i>Bromus inernis</i>	9,90		
<i>Trifolium repens</i>	3,50	0,9	547
<i>Anthyllis vulneraria</i>	86	3,5	901
<i>Trifolium hybridum</i>	125	3,1	1.658
<i>Lotus corniculatus</i>	142	3,6	1.404
<i>Trifolium pratense</i>	154	3,7	1.438
<i>Onobrychis sativa</i>	350	10	443
<i>Medicago sativa</i>	3.250	30	460
<i>Salix caprea</i>	5.500	85	97
<i>Betula pendula</i>	3.000	53	136
<i>Carpinus betulus</i>	4.000	78	83

Fonte: Florineth, 1993.

**Tab. 8.5** - Resistenza al taglio di un terreno misurata come pressione laterale massima con un sovraccarico di 20 kN/m<sup>2</sup>

Prova n.	Popolamenti di graminacee e leguminose	Sr (%)	$\tau^{(20)}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\Delta \tau^{(20)}$ (kN/m <sup>2</sup> )
1	<i>Alopecurus geniculatus</i>	63	48,7	9,0 23%
2	<i>Poa pratensis</i>	63	43,7	
3	<i>Agrostis stolonifera</i>	61	38,5	5,2 16%
4	<i>Festuca pratensis</i> <i>Festuca rubra</i> <i>Poa pratensis</i> <i>Trifolium pratense, ecc.</i>	84	37,8	13,4 55%
5	<i>Poa pratensis</i>	74	37,0	7,5 25%
6	<i>Agrostis stolonifera</i>	100	35,7	4,8 16%
7	<i>Lolium multiflorum</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Poa annua</i> <i>Trifolium repens, ecc.</i>	39	30,7	2,9 9%
8	<i>Lolium multiflorum</i> <i>Agrostis stolonifera</i> <i>Poa annua</i> <i>Trifolium repens, ecc.</i>	65	30,4	-0,6 -2%
9	<i>Alopecurus geniculatus</i>	100	30,1	

Fonte: Florineth, 1993.

mente delle resistenze al taglio di 30,1-48,7 kN/m<sup>2</sup> in cui la differenza tra l'orizzonte radicato e quello non attraversato da radici arriva fino al 55%.

La grande differenza dipende soprattutto dalla composizione delle specie vegetali: graminacee note come *Poa pratensis*, *Festuca rubra* e *Festuca*

*pratensis* confermano il loro valore per il consolidamento del terreno mediante inerbimenti, mentre il *Lolium multiflorum* si è mostrato inadatto secondo quanto si rileva dall'esame della tabella 8.5 in cui:

- *Sr* è il grado di saturazione dell'acqua nel terreno;

- $\tau$  (20) è la resistenza al taglio calcolata con una tensione normale di 20 kN/ m<sup>2</sup>;
- $\Delta\tau$ (20) è l'aumento della resistenza al taglio del terreno attraversato da radici in confronto ad uno privo di radici.

Per quanto riguarda la resistenza a trazione delle radici, si può fare riferimento ai valori riportati in letteratura. Essa dipende dal tipo di specie vegetale.

Nella **tabella 8.6** sono riportati i valori medi relativamente a piante più comunemente diffuse lungo le sponde di alvei fluviali o su versanti.

Di più difficile valutazione risulta invece la porzione di terreno occupata dalle radici, per la determinazione del termine ( $\Delta\tau/\Delta$ ), essendo limitati i dati disponibili in letteratura e considerando inoltre che esso varia anche in funzione della profondità e del tipo di terreno.

Dal rapporto radice-parte aerea della pianta, calcolato con il volume o peso delle rispettive parti vegetali, possiamo constatare che alcune piante hanno più radici che germogli o foglie

(vedi lo schema riportato nella **tabella 8.7** e nella **figura 8.1**).

Le specie vegetali da impiegare devono offrire una grande capacità di resistenza, una crescita rapida, una copertura diffusa, una radicazione forte e un'elevata rusticità, soprattutto per quanto riguarda le esigenze edafiche (**fig. 8.2**). In particolare, esistono specie che resistono all'immersione totale delle proprie radici in acqua (permanenza costante) ed altre che rifiuggono tale situazione.

Nelle **figure 8.3-8.20** sono raffigurati una serie di apparati radicali (erbacei ed arborei), che mettono bene in evidenza il volume di terreno coinvolto dalla stabilizzazione delle radici stesse, e l'idoneità degli apparati radicali in funzione della pendenza e della tipologia di sponde e scarpate (**fig. 8.20**).

### 8.3.1 Salici

Data la prevalente distribuzione naturale dei salici nei biotopi umidi e in generale nei pressi dei corpi idrici, essi hanno costituito sin dai tempi più remoti, a causa della loro regolare e frequente presenza, un materiale da costruzione privilegiato per il consolidamento delle sponde.

Nelle sistemazioni con tecniche di Ingegneria Naturalistica, i salici vengono utilizzati soprat-

**Tab. 8.6** - Valori di resistenza e trazione delle radici di alcune piante più comunemente presenti lungo le sponde fluviali e sui versanti

Specie	Nome comune	Resistenza a trazione (Mpa)
<i>Alnus incana</i>	Ontano bianco	32
<i>Populus nigra</i>	Pioppo nero	5 ÷ 12
<i>Populus canadensis</i> o <i>P. x euroamericana</i> .	Pioppo americano	32 ÷ 46
<i>Quercus robur</i>	Farnia	32
<i>Robinia pseudacacia</i>	Robinia	68
<i>Salix purpurea</i>	Salice rosso	36
<i>Salix fragilis</i>	Salice fragile	18
<i>Salix dasyclados</i>	Salice	17
<i>Salix elaeagnos</i>	Salice ripaiolo	15
<i>Salix helvetica</i>	Salice elvetico	14
<i>Salix hastata</i>	Salice astato	13
<i>Salix cinerea</i>	Salice cinereo	12

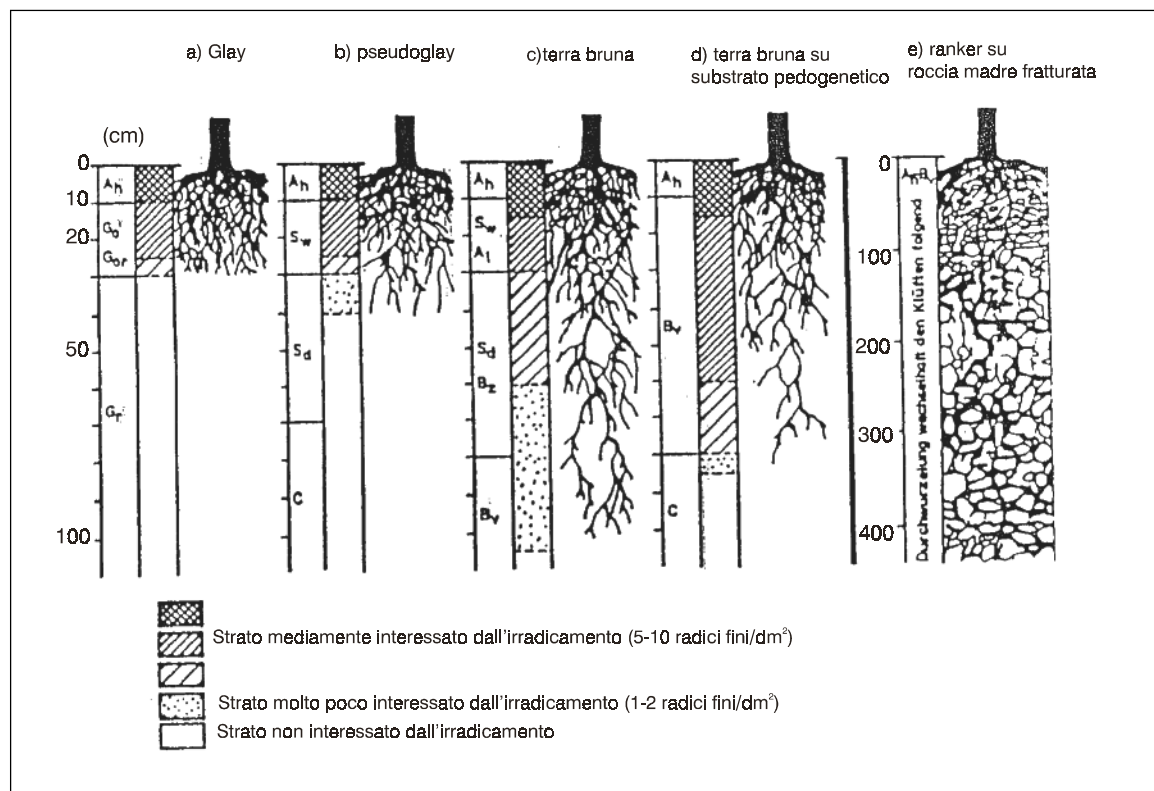
Fonte: Greenway, 1987.

**Tab. 8.7** - Rapporto tra il volume dell'apparato radicale e la parte aerea di diverse piante

Arbusti ed alberi	
<i>Salix glabra</i>	2,4
<i>Viburnum Lantana</i>	2,3
<i>Erica carnea</i>	2,0
<i>Salix eleagnos</i>	1,8
<i>Salix nigricans</i>	1,8
<i>Alnus viridis</i>	1,6
<i>Salix purpurea</i>	1,5
<i>Fraxinus excelsior</i>	1,5
<i>Ligustrum vulgare</i>	1,2
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1,1
<i>Hippophae rhamnoides</i>	1,0
<i>Berberis vulgaris</i>	0,6
<i>Salix alba</i>	0,5
Piante erbacee	
<i>Stipa species</i>	5-15
<i>Equisetum arvense</i>	5,5
<i>Rumex scutatus</i>	5,5
<i>Deschampsia caespitosa</i>	1,6
<i>Festuca ovina</i>	1,1
<i>Anthyllis vulneraria</i>	0,8
<i>Achillea millefolium</i>	0,7
<i>Lotus corniculatus</i>	0,7

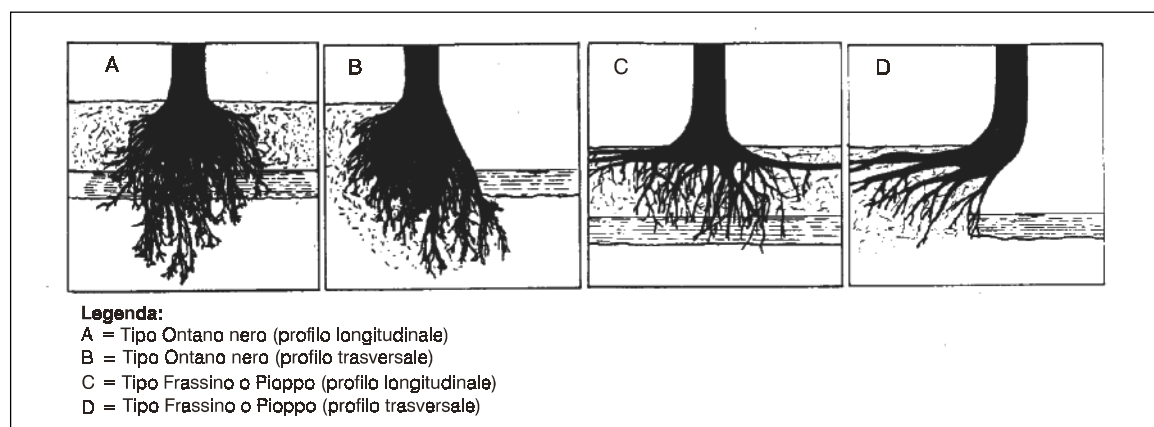
Fonte: Florineth, 1993.

Fig. 8.1 - Schema illustrante l'apparato radicale di una pianta in relazione ai diversi tipi di terreno



Fonte: Dispense AIPIN del “Corso di specializzazione sulle caratteristiche biotecniche delle piante utilizzabili in Ingegneria Naturalistica”, 1995, modificato in Palmeri, 2001.

Fig. 8.2 - Diversità tipologiche degli apparati radicali

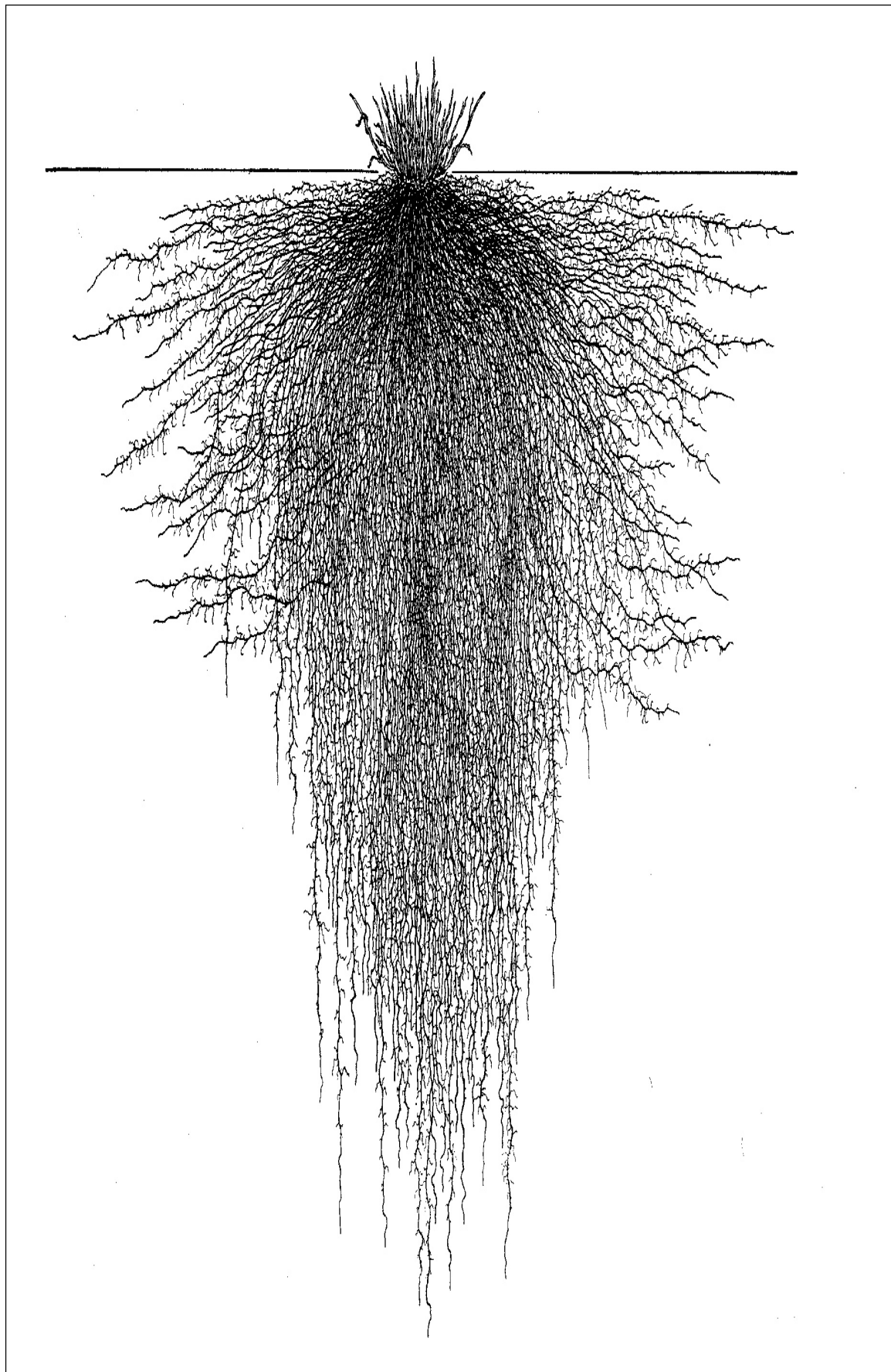


Fonte: Lachat, 1991.

tutto perché hanno un'ottima attitudine biotecnica (Schiechl, 1992) e una rapida propagazione vegetativa. Per poter utilizzare i salici nei lavori di consolidamento, attuati con opere di Ingegneria Naturalistica, è necessario che le loro parti legnose siano in grado di formare radici e getti avventizi alle condizioni esistenti al momento dell'evento costruttivo. I rami di salice con capacità di propagazione vegetativa vengono impiegati nelle sistemazioni di Ingegneria Naturalistica in campo idraulico per diversi scopi:

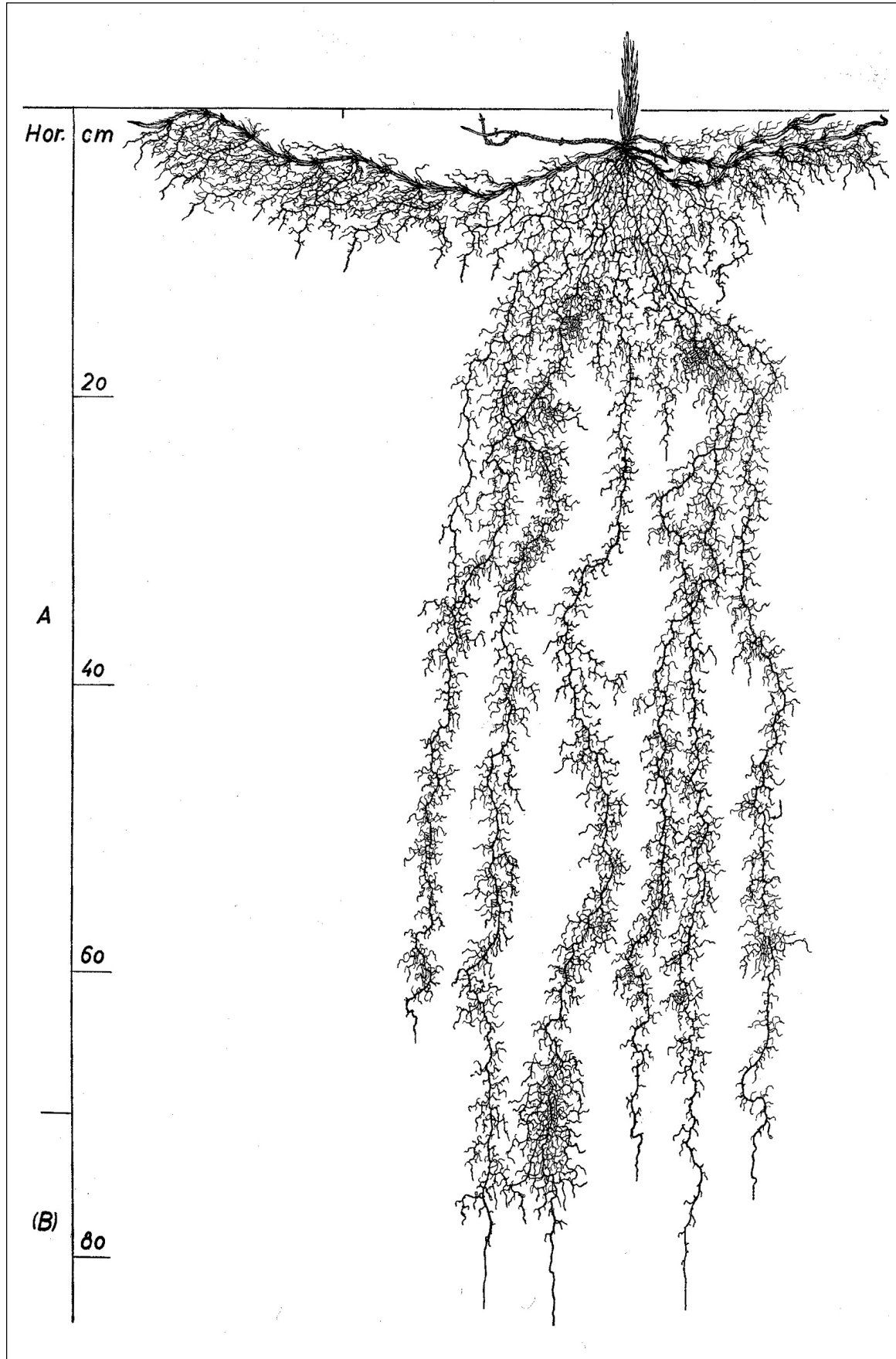
- per il prosciugamento;
  - come opere trasversali nei corsi d'acqua;
  - per la protezione spondale lungo i corsi d'acqua e i laghi;
  - per il risanamento di punti danneggiati.
- Il loro impiego per i lavori in terra ha, invece, i seguenti scopi:
- per il prosciugamento;
  - per il consolidamento di fossi;
  - per sostenere ripide scarpate instabili;
  - per la protezione del terreno da franamenti ed erosione su pendii.

**Fig. 8.3** - Apparato radicale di *Lolium perenne*



Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

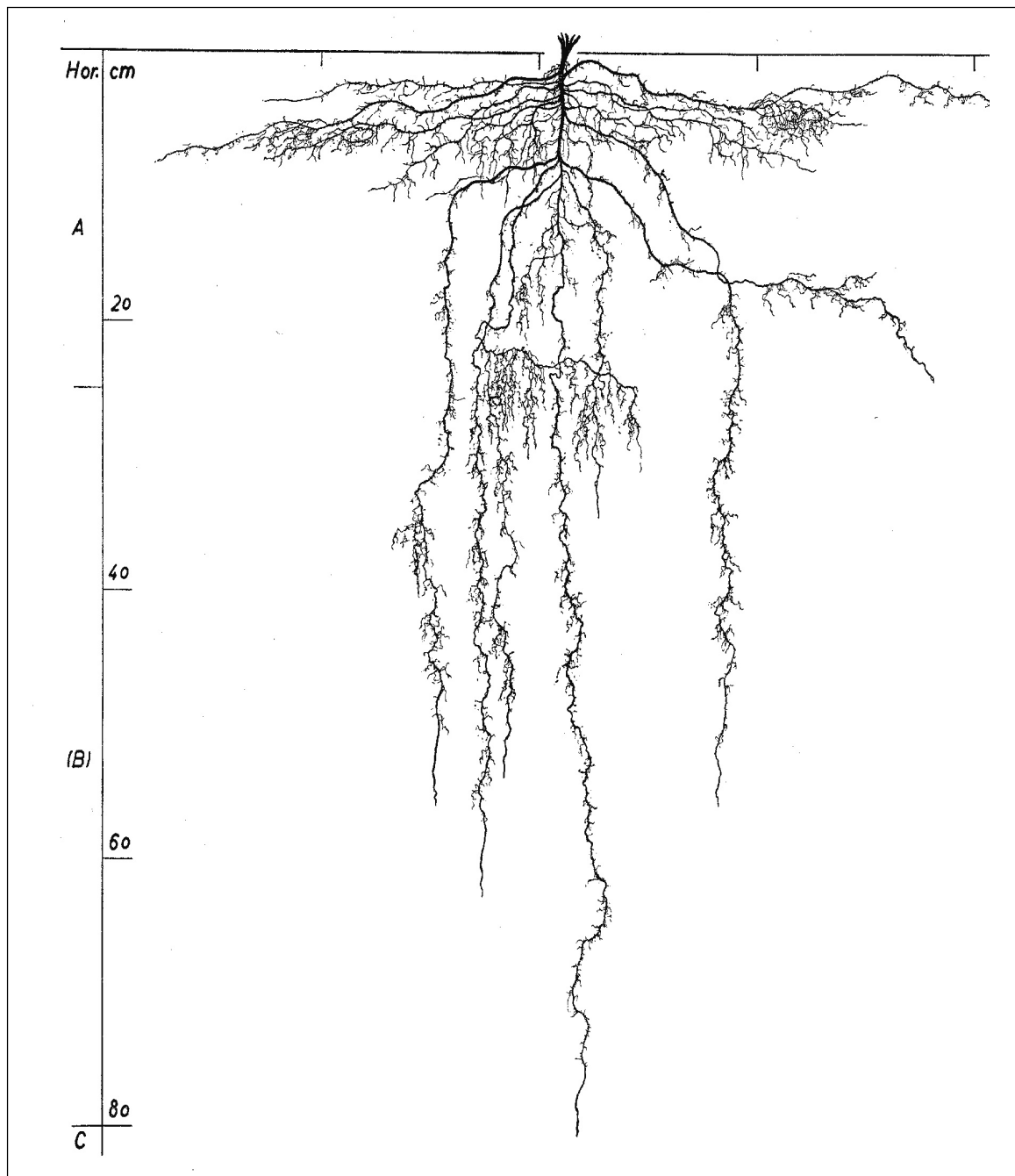
Fig. 8.4 - Apparato radicale di *Agropyron repens*



Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

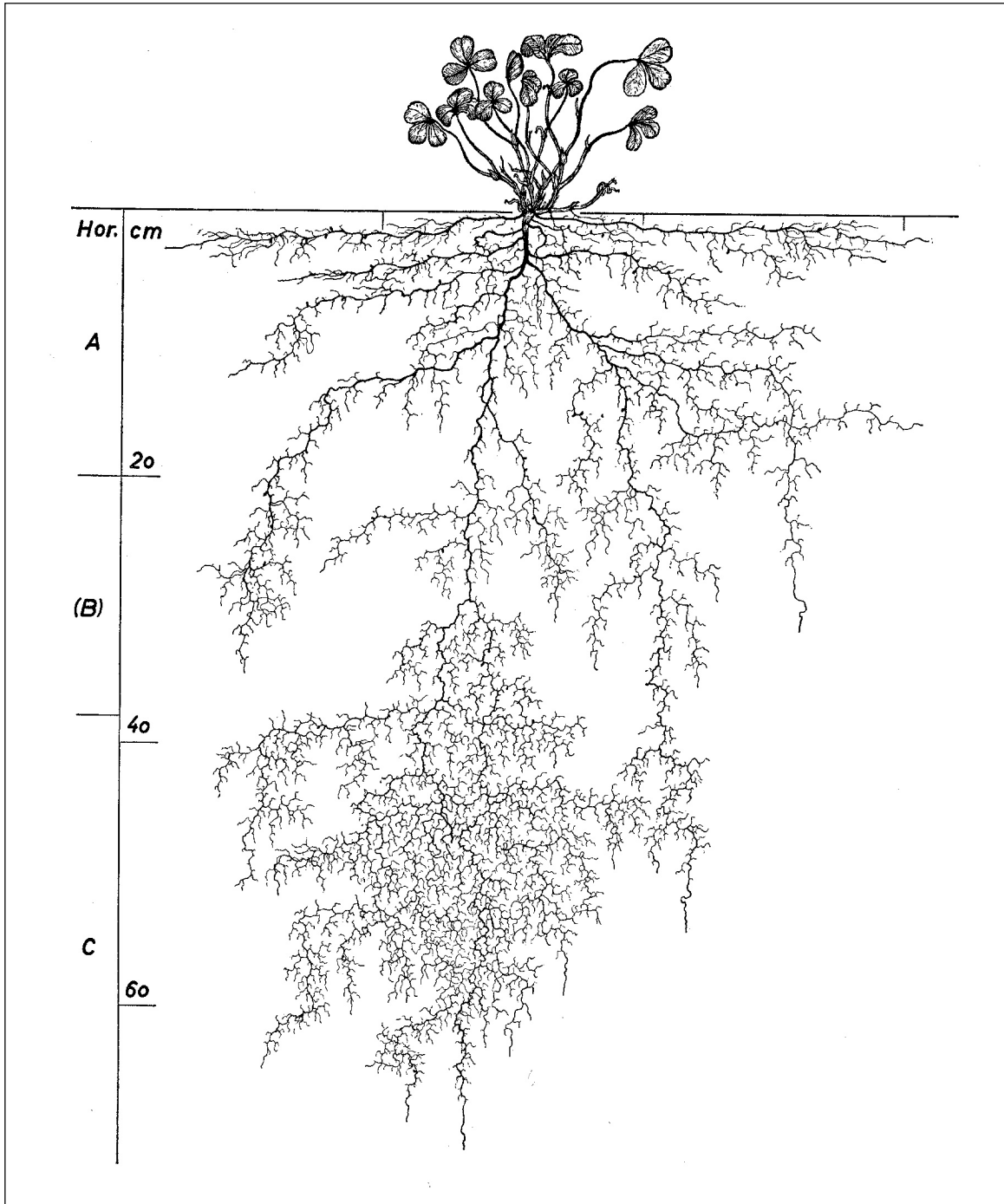


Fig 8.5 - Apparato radicale di *Trifolium pratense*



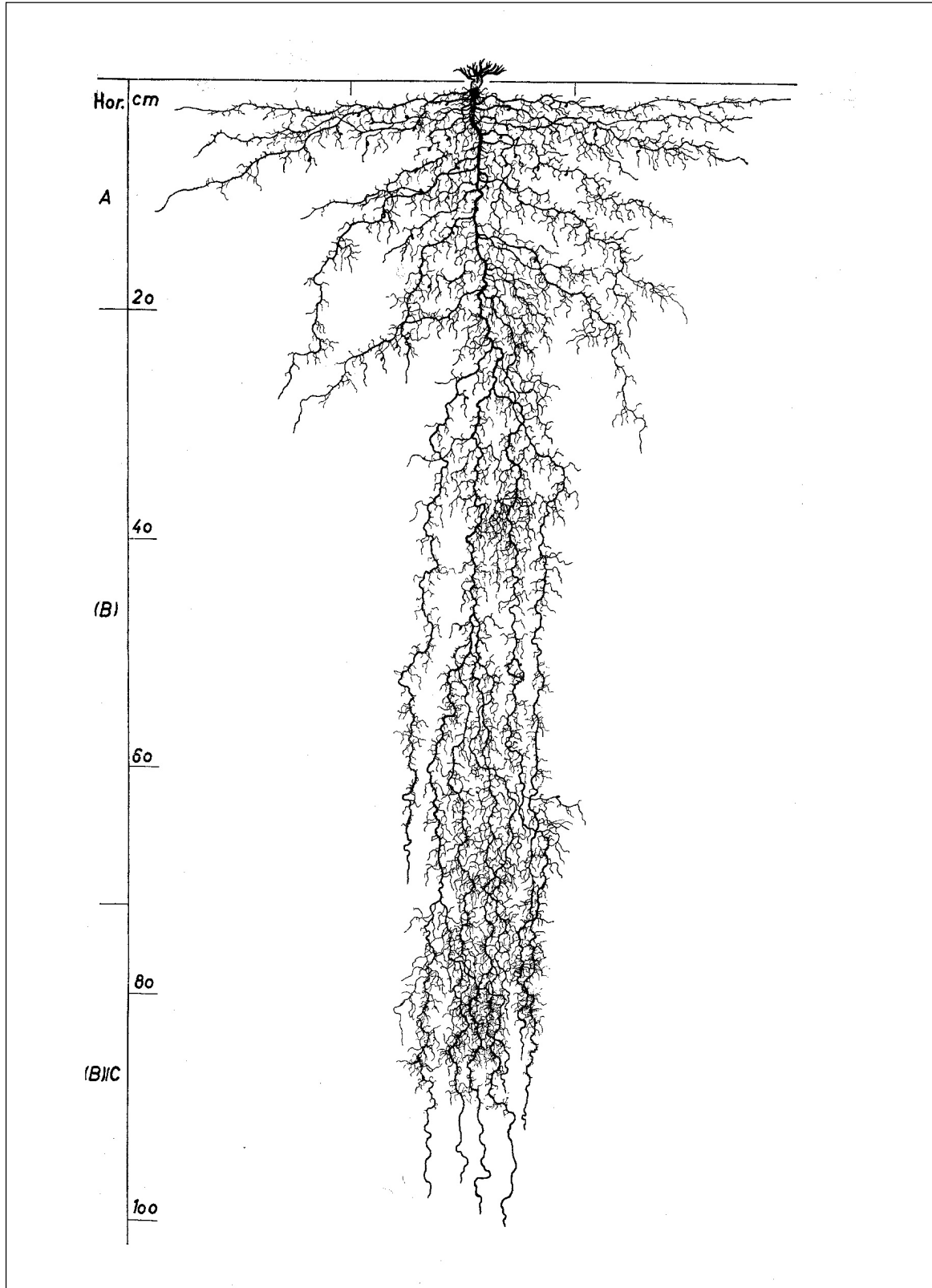
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.6 - Apparato radicale di *Trifolium repens*



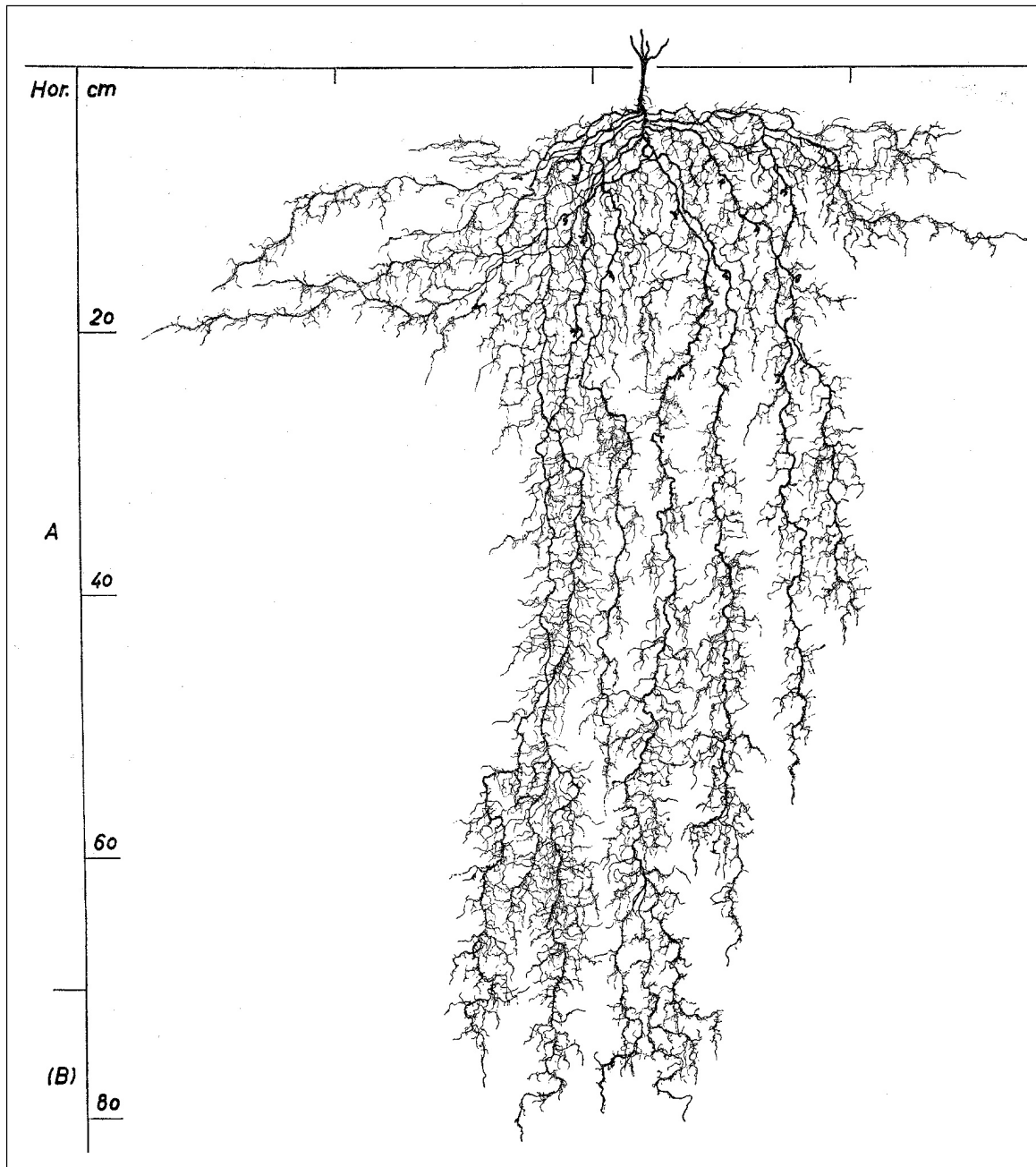
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.7 - Apparato radicale di *Lotus corniculatus*



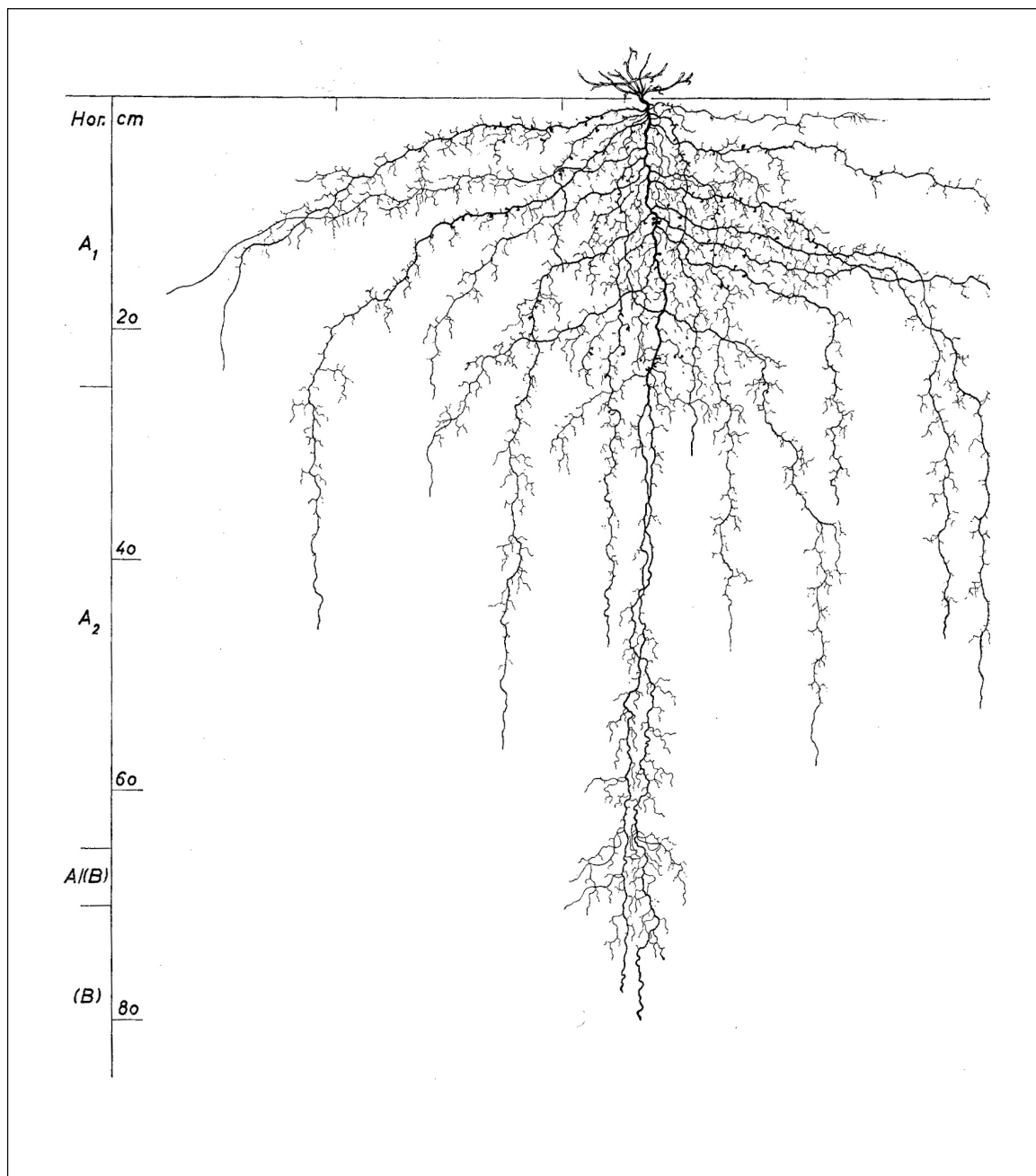
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.8 - Apparato radicale di *Vicia villosa*



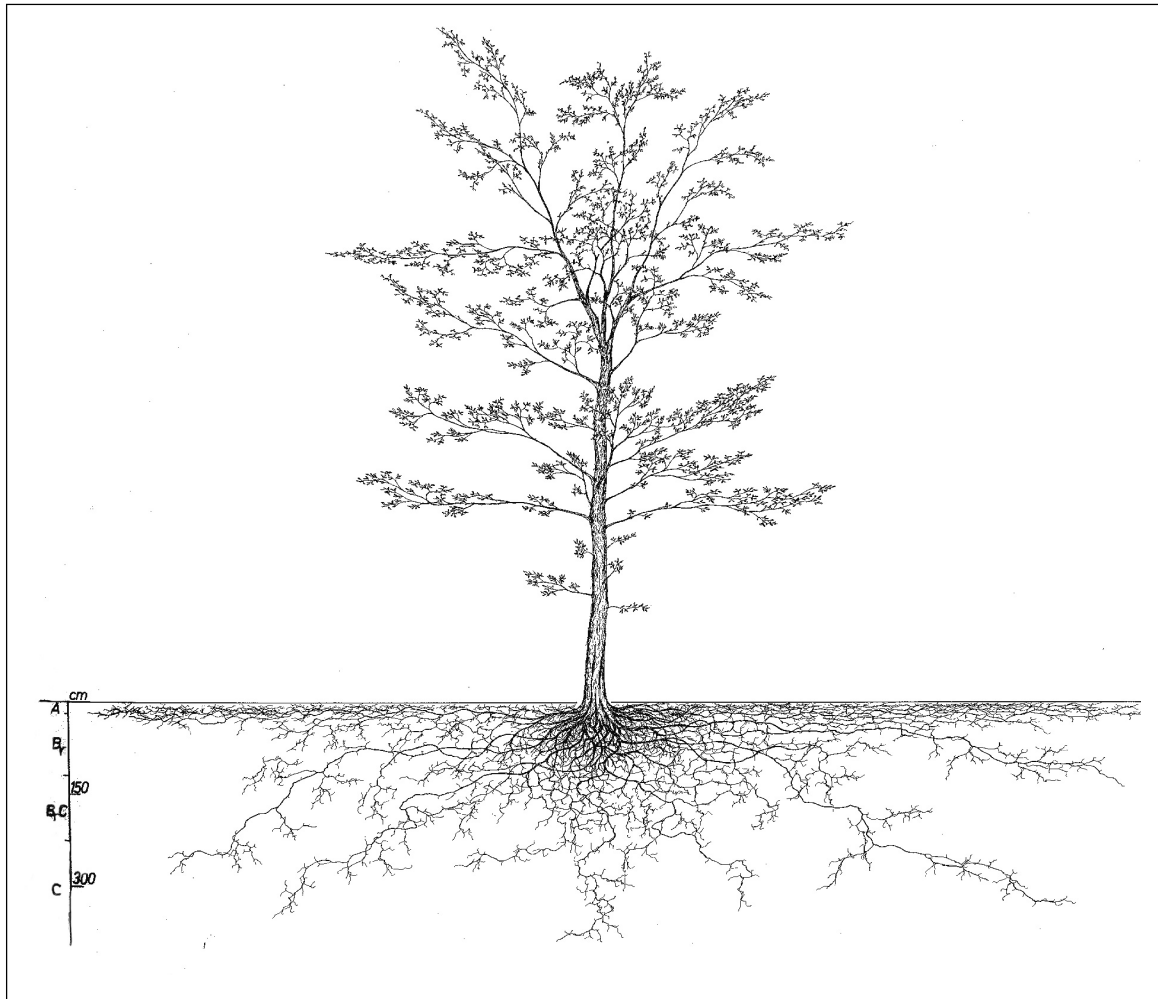
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.9 - Apparato radicale di *Vicia sativa*



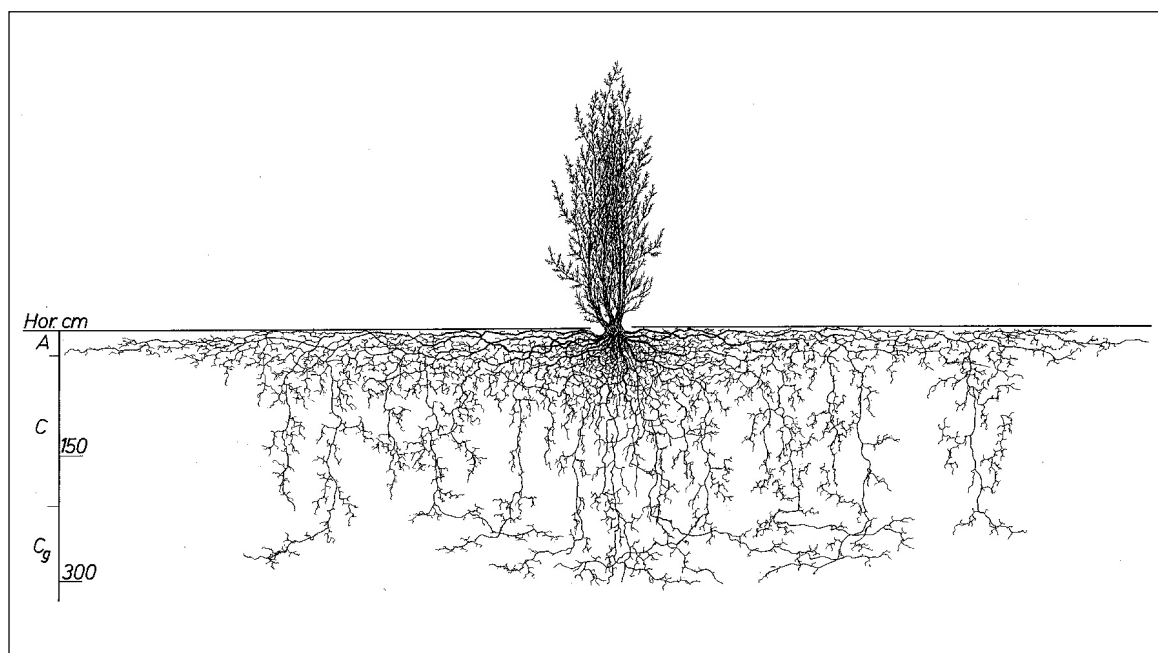
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.10 - Apparato radicale di *Carpinus betulus*



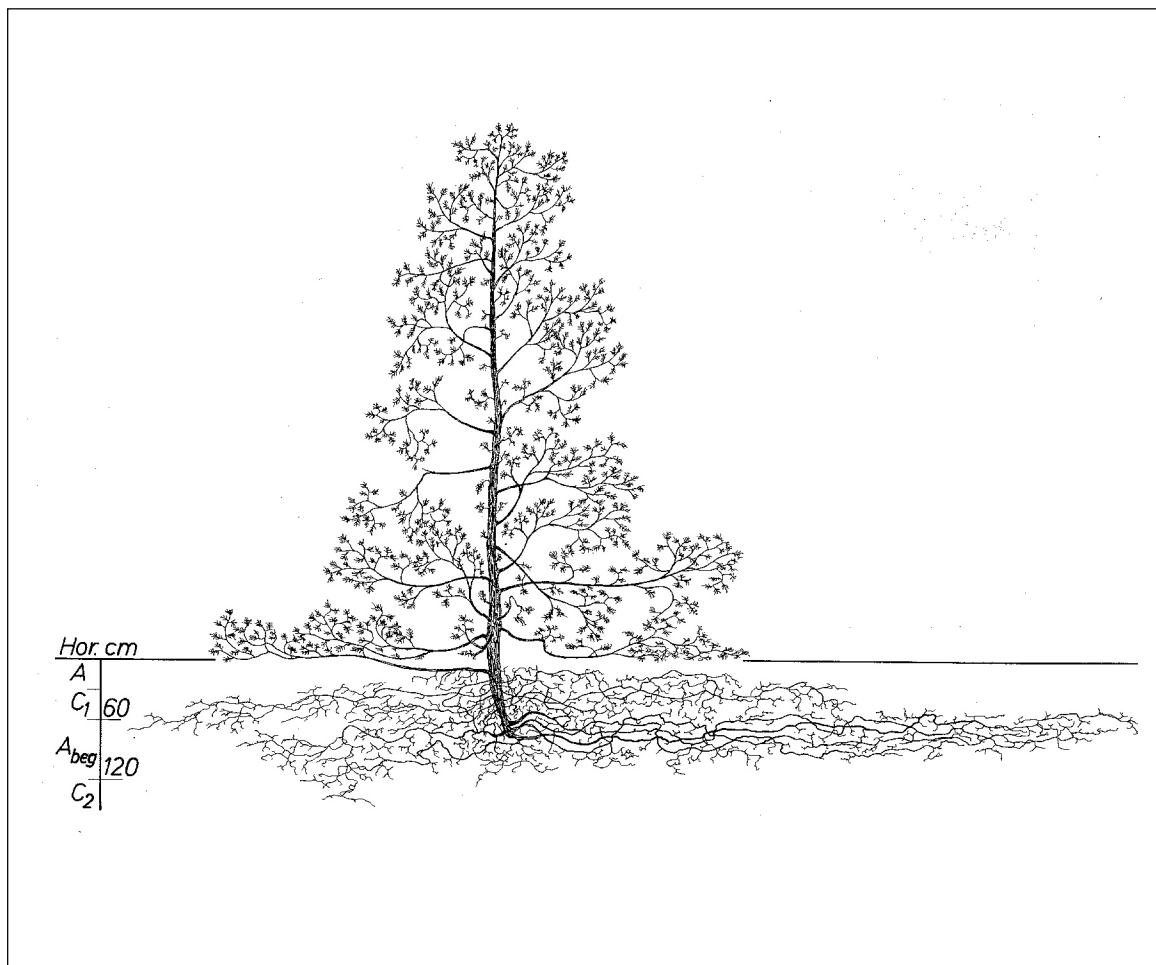
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.11 - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



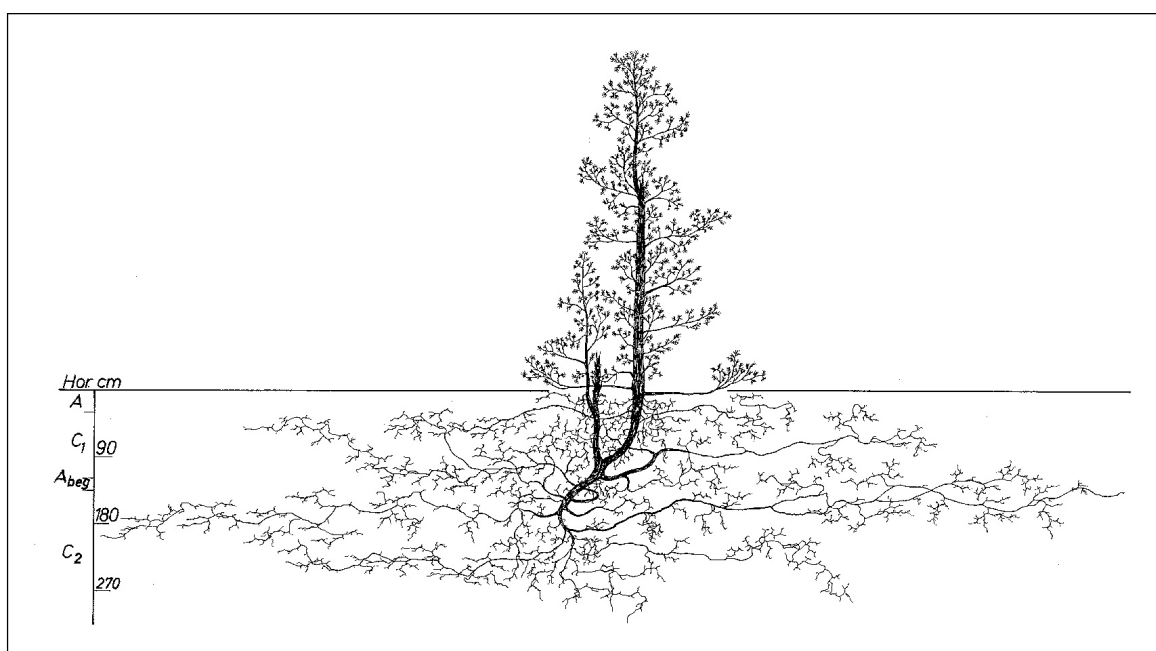
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.12** - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



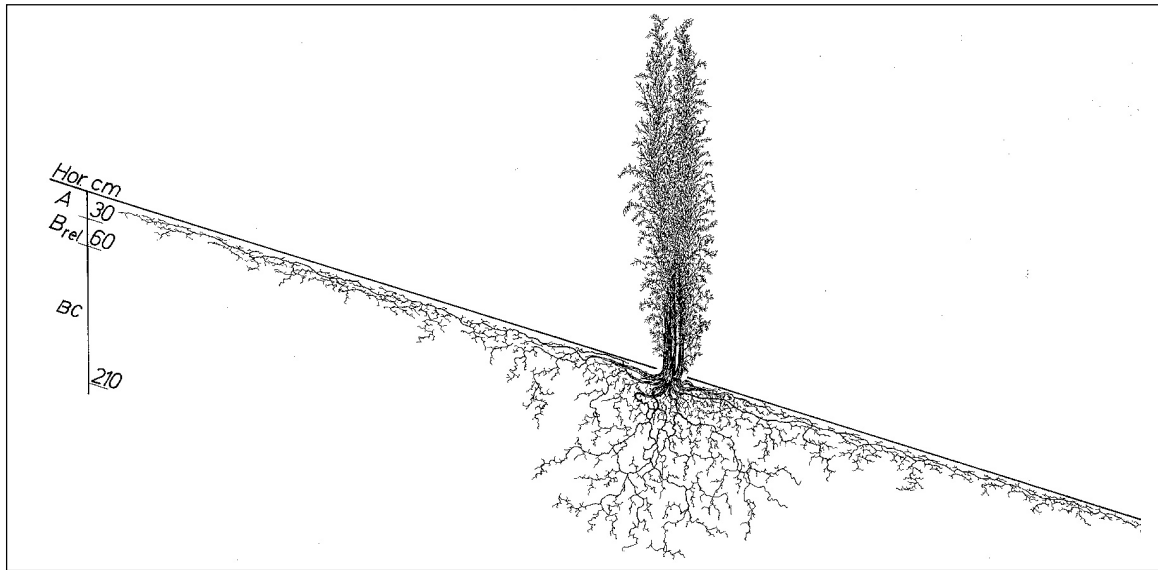
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.13** - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



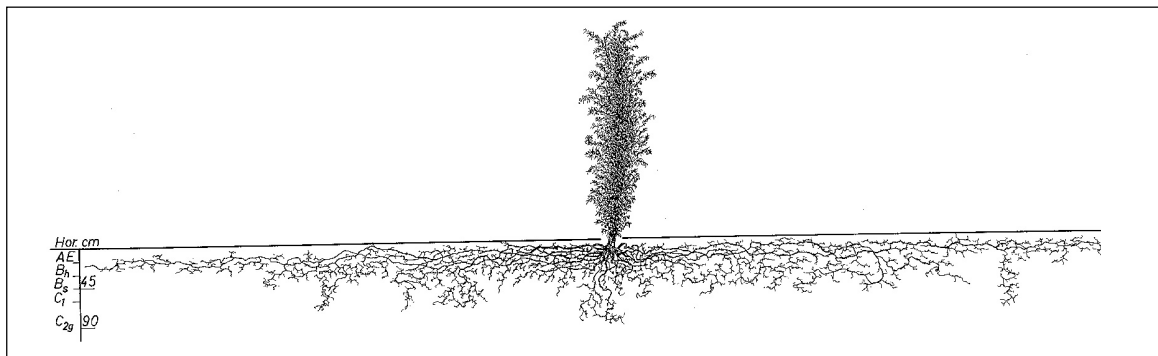
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.14** - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



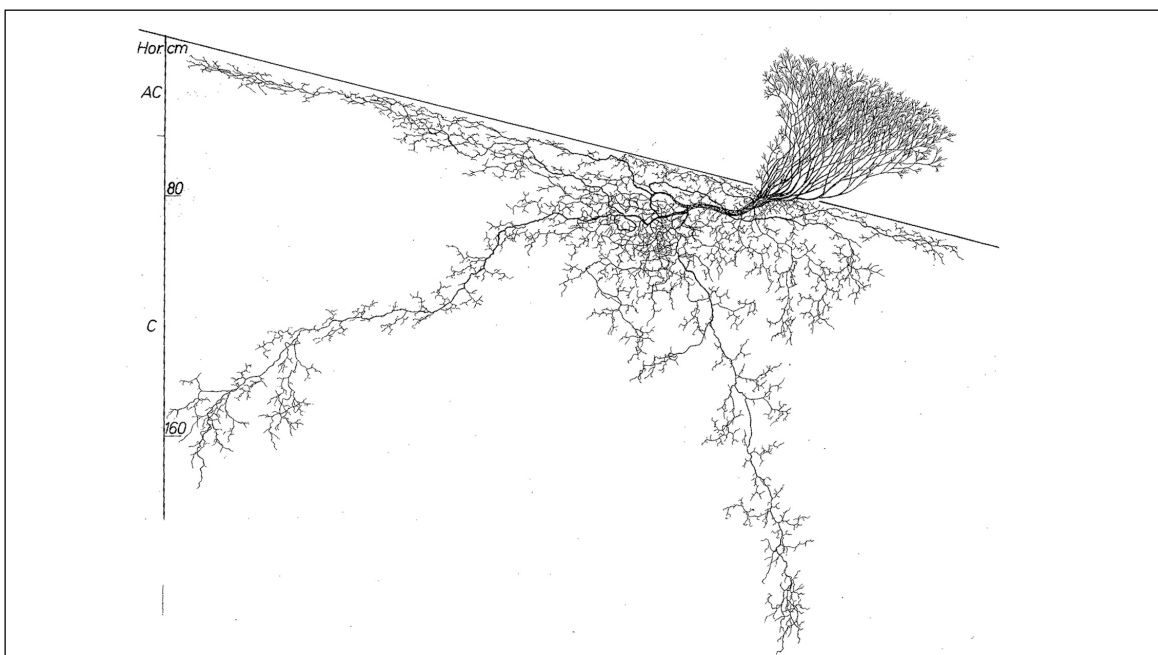
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.15** - Apparato radicale di *Juniperus communis* ssp. *Communis*



Fonte: Wurzeln, 1997.

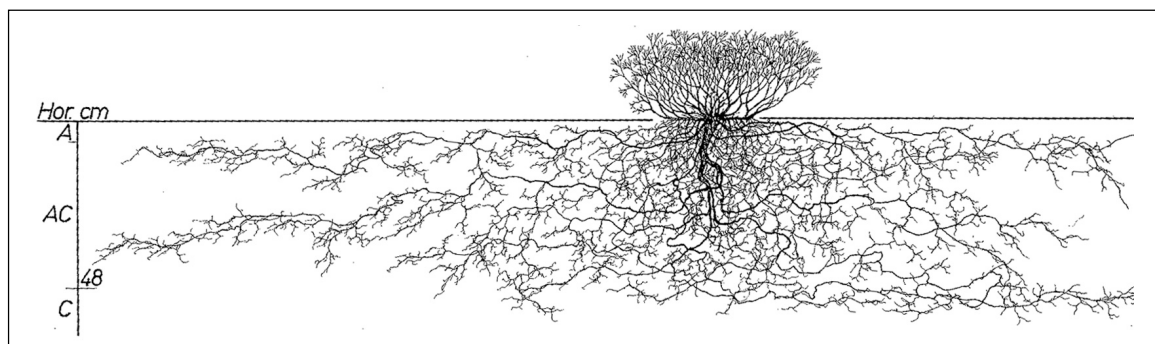
**Fig. 8.16** - Apparato radicale di *Genista radiata*



Fonte: Wurzeln, 1997.

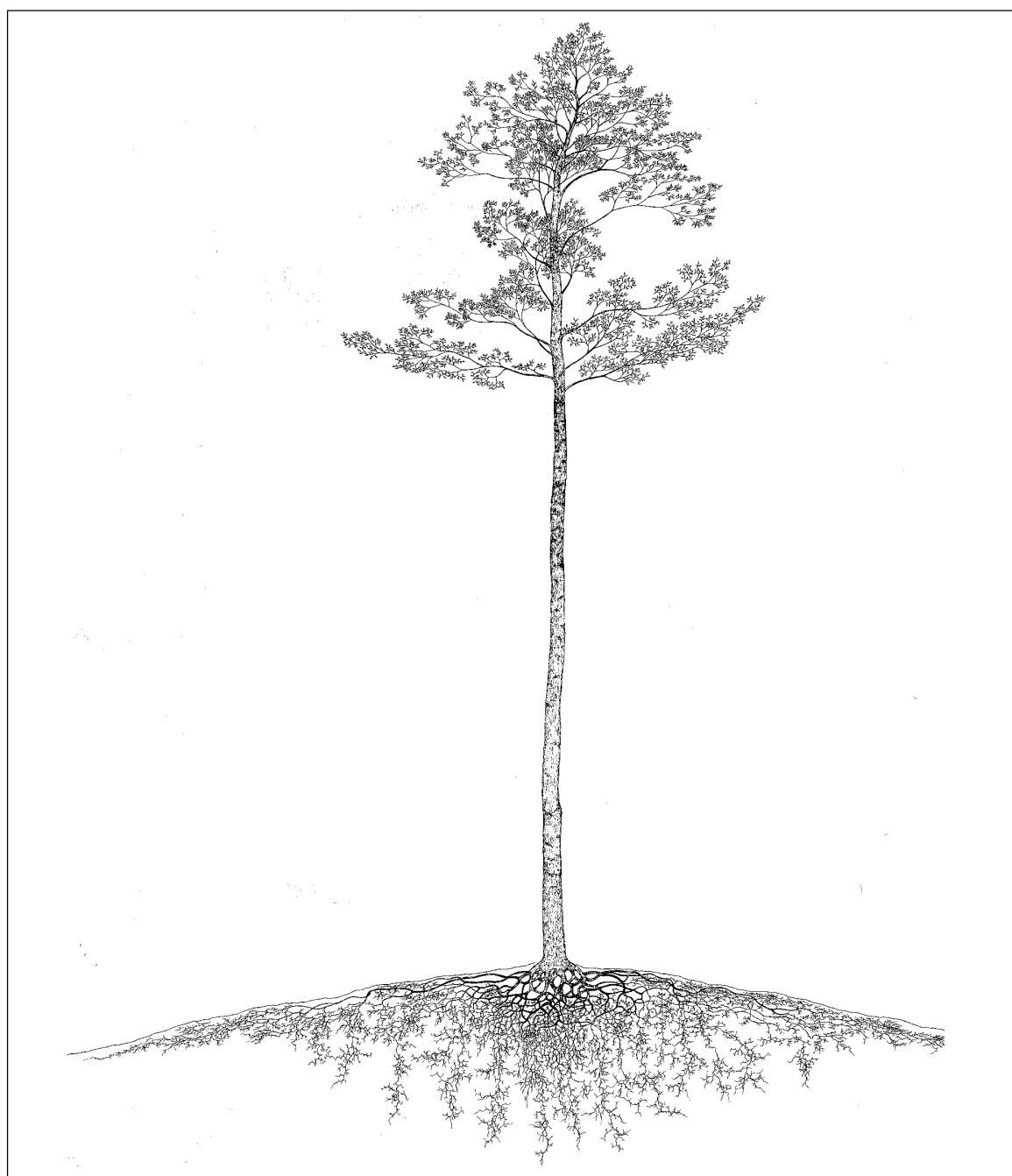


**Fig. 8.17** - Apparato radicale di *Genista radiata*



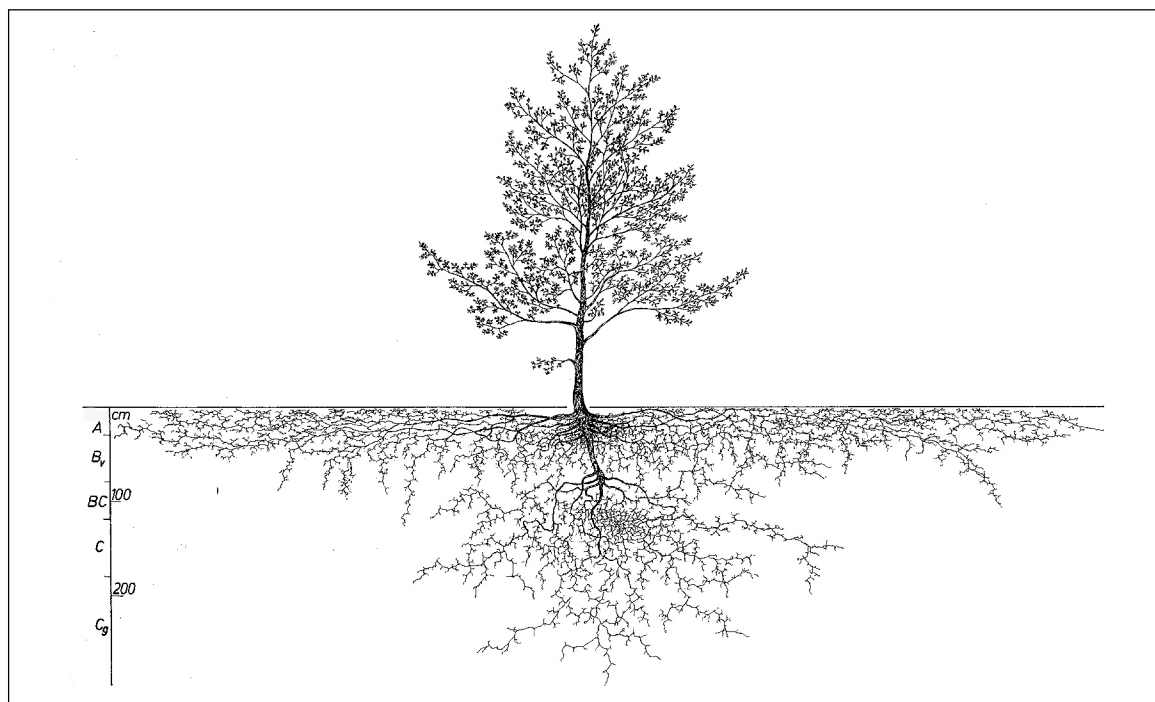
Fonte: Wurzeln, 1997.

**Fig. 8.18** - Apparato radicale di *Fagus sylvatica*



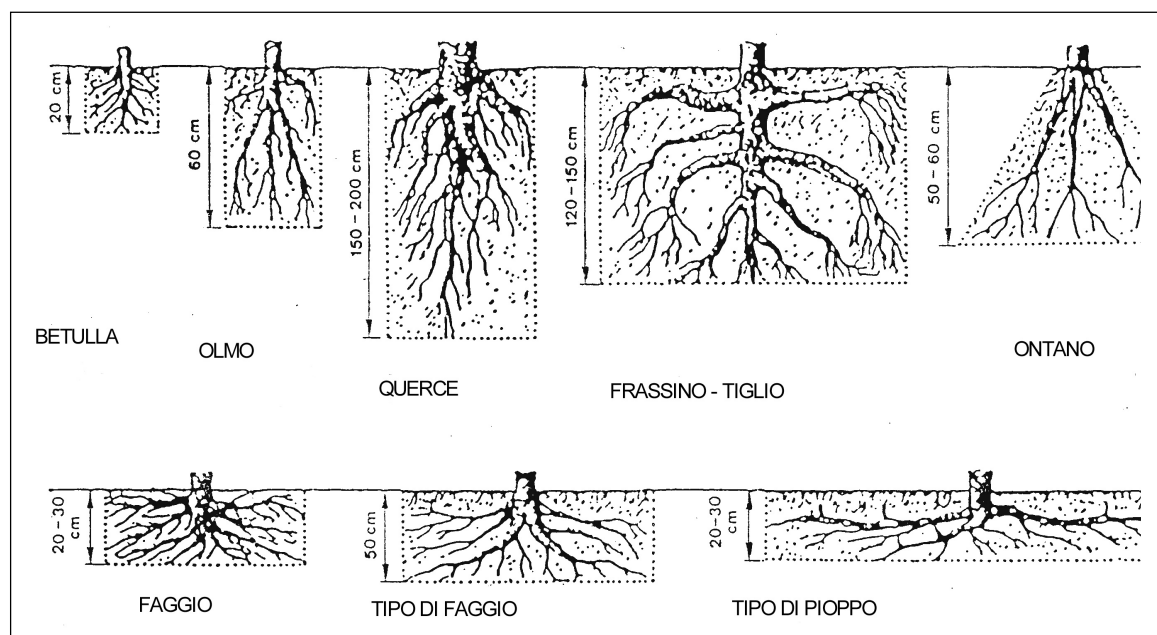
Fonte: Kutschera, Sobotik, 1997.

Fig. 8.19 - Apparato radicale di *Quercus robur*



Fonte: Kutschera – Sobotik, 1997.

Fig. 8.20 - Confronto tra i diversi apparati radicali delle diverse specie di alberi



Fonte: Mathey, 1929.

In tutte le zone dove possono attecchire i salici e quindi dove essi possono essere utilizzati come materiali da costruzione, vengono adottati ripetitivamente gli stessi metodi di costruzione sperimentati.

Le specie di salici utilizzate allo scopo dipendono invece sempre dalle condizioni stazionali, poiché le sistemazioni di Ingegneria Naturalistica vengono eseguite prevalentemente nel paesaggio non urbanizzato. La loro differente

forma di sviluppo influenza anche l'applicabilità delle diverse tipologie. Con gli interventi attuati nel paesaggio per scopi minerari, industriali, energetici e nel sistema delle comunicazioni, si creano aree incolte che non sono più da considerare agli effetti di una utilizzazione agronomica e forestale, perché i terreni sono troppo poveri di sostanze nutritive o troppo compatti, oppure presentano un pH estremo o sono inquinati da sostanze tossiche.

Su tali stazioni possono essere piantati dei salici. Essi allignano qui, non solo meglio della maggior parte delle altre latifoglie, che vanno prese in considerazione, ma essi possono servire anche come coltura preparatoria per futuri stadi di successione e di più elevato valore. In particolare il salice caprino ed il salice barbuto hanno dimostrato di essere più resistenti della maggior parte delle altre latifoglie nei confronti dei gas di scarico, contenenti SO<sub>2</sub> e fluoro.

Nel dare pratica esecuzione ai lavori di Ingegneria Naturalistica si possono impiegare convenientemente solo quelle specie che hanno facoltà di propagazione agamica almeno nella misura del 70%.

Le specie di salice che radicano e ricacciano in modo insufficiente sono (Schiechtl, 1992):

- salicone (*Salix caprea*);
- salice di Lagger (*Salix laggeri*);
- salice glauco (*Salix glaucosericea*);
- salice della Slesia (*Salix silesiaca*).

Dalle esperienze dei vari studiosi, sappiamo che la facoltà di propagazione dei salici, dipende dal ritmo vegetativo interno, cioè dalla fase di sviluppo delle piante nel corso dell'anno. Questo ritmo di vegetazione è specifico per la specie ed è rilevante per la data del taglio, non per il momento di messa a dimora. Per piante della stessa specie, tagliate a quote inferiori, il ritmo annuale è in genere più marcato rispetto a quelle situate a quote superiori.

Le curve annuali della propagazione agamica presentano, generalmente, un marcato picco durante il riposo vegetativo e due chiare depressioni fra fioritura e fruttificazione e durante l'alterazione cromatica autunnale delle foglie. Questo ritmo di vegetazione non influisce solo sul risultato della radicazione, ma si riflette anche come effetto incrementale almeno nei primi tre anni di vita. Nell'eseguire opere di Ingegneria Naturalistica si raccomanda, pertanto, di effettuare il taglio nella stagione favorevole ovvero, durante il riposo vegetativo invernale.

Per le opere di Ingegneria Naturalistica è necessario utilizzare rami interi (preferibilmente di fase giovanile, in quanto, in quella età, i polloni di ceppaia radicano meglio di quelli senili) infissi obliquamente nel terreno.

Il successo alla radicazione e all'accrescimento dipendono, quindi da due tipi di fattori:

- *età dei getti* (solo in caso di specie di salici di difficile propagazione);
- *volume della talea*: la talea più lunga e più grossa possiede, a causa di una maggiore riserva di rizocalina immagazzinata nelle cellule del cambio, un'elevata capacità d'accrescimento nei primi tre anni di vita.

La migliore esecuzione del taglio di salici si ottiene con adeguate seghe a motore o a mano, mentre nel caso di arbusti possono essere utilizzate anche cesoie tagliarami. I rami devono essere portati in cantiere ed utilizzati per la costruzione, nella loro lunghezza totale subito dopo il taglio, per evitare che il materiale pos-

**Tab. 8.8** - Resistenza allo strappo delle radici delle piante

Graminacee	5 – 10 MN/m <sup>2</sup>
Altre specie erbacee	3 – 60 MN/m <sup>2</sup>
Salici e pioppi	10 – 70 MN/m <sup>2</sup>

sa essiccarsi. I veicoli adibiti al trasporto non devono essere riscaldati e devono essere chiusi per evitare l'essiccamento causato dal vento. Nel caso non sia possibile impiegare subito la ramaglia viva, occorre eseguire un immagazzinamento adeguato, mantenendo artificialmente il riposo vegetativo ed evitando il disseccamento. Per questo scopo ci sono tre possibilità:

- *immersione nell'acqua fredda*; la temperatura dell'acqua non deve superare i 15 °C; deve essere corrente e ricca di ossigeno;
- *immagazzinamento in celle frigorifere*, in sacchi di PVC con temperatura da 0 °C a 1 °C e 98% di umidità;
- *posa in tagliola nella neve o nella terra*. Il sito deve essere all'ombra e la ramaglia deve essere riparata con fogli in PVC o mediante aspersione di antitranspiranti.

La provvista del materiale deve essere pianificata a tempo debito, perché per le sistemazioni di Ingegneria Naturalistica sono necessarie grandi quantità di ramaglia viva. Esistono in merito tre possibilità per l'approvvigionamento:

- *popolamenti naturali* (giacimenti vegetali): a questo proposito, considerato che sono necessarie notevoli quantità di materiale vivo, è necessario coordinare altre attività quali la gestione della forestazione e della vegetazione più in generale, sulle aree golenali e marginali. Opportunamente gestite queste forme di vegetazione subspontanea, infatti, possono fornire grandi quantità di materiale vivo senza gravare su popolamenti naturali;
- *vecchie sistemazioni di Ingegneria Naturalistica*;
- *vivai specializzati*.

Come già detto, una caratteristica fondamentale che le diverse specie vegetali – in particolare i salici – devono possedere per essere utilizzati nelle opere di Ingegneria Naturalistica, è la resistenza allo strappo: l'erosione del terreno, l'interrimento, l'inghiainamento, l'abrasione provocata dai movimenti del terreno, i danni causati dalla caduta sassi, devono essere sopportati dai salici (**tab. 8.8**).

I valori riportati nella **tabella 8.8** variano a seconda del contenuto idrico delle radici (quanto più sono asciutte, tanto più sono resistenti alla trazione) e quindi anche secondo la stagione, l'età ed il tipo di umidità del terreno.

Generalmente la maggior parte delle specie di salice sono dotate di un sistema radicale espanso, vale a dire di radici che si estendono orizzontalmente, lunghe e resistenti allo strappo e

che spesso si spingono anche molto in profondità nel terreno.

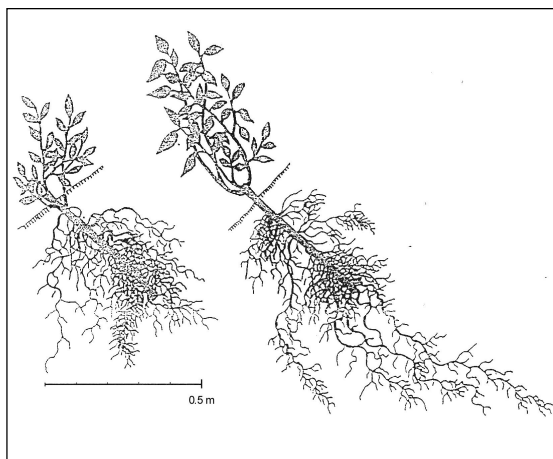
In questo modo viene compenetrata dalle radici e, con ciò stabilizzata, una massa terrosa anche cospicua. Le numerose radici laterali creano nel terreno un'elevata resistenza di attrito interno delle superfici, per cui i salici si annoverano fra i più preziosi leganti del terreno. Questo consolidamento del terreno non avviene solo per mezzo delle radici, ma ad esso concorre anche l'inserimento dei rami vivi se l'intervento avviene in modo tale che i rami risultino immersi nel terreno. La massa radicale per m<sup>3</sup> di terreno deve essere più grande possibile. L'esigenza che il volume radicale debba essere uguale o maggiore del volume delle parti vegetali aeree viene assolta da tutte le specie di salice (fig. 8.21).

Per quanto riguarda la resistenza alla sommersione dei salici, le uniche informazioni si hanno sulla base di osservazioni e, pertanto, si ammette che tutte le specie di salice centro-europee sopportano senza danni una sommersione di più giorni, persino i salici prostrati che durante lo scioglimento della neve sono spesso coperti per giorni interi dall'acqua. La specie più sensibile alla sommersione è il salicone.

Per contro, solo poche specie di salici sopportano una sommersione prolungata e perenne, quale si può verificare come conseguenza della costruzione dei bacini idroelettrici. Sulla base di più osservazioni risulta che il salice bianco (*Salix alba*), il salice fragile (*Salix fragilis*), e il salice odoroso (*Salix pentandra*) sopportano sommersioni prolungate e persino perenni. L'altezza della sommersione non deve superare i 2 m ed essa dipende evidentemente dall'altezza dell'albero al momento dell'inizio della sommersione. Una sommersione graduale viene sopportata più facilmente di un improvviso ristagno per l'intera altezza.

Anche l'inghiainamento provocato dal materiale fluitato o da lave torrentizie, è un evento che si verifica di frequente in molti popolamenti naturali di salice, e la maggior parte dei salici arbustivi e arborei sono in grado di sopportarlo senza sostanziali danneggiamenti. I salici, a differenza di specie vegetali più esigenti, hanno bisogno d'interventi culturali limitati; per loro natura, infatti, essi si insediano senza eccezioni su suoli sterili. L'obiettivo di ogni sistemazione di Ingegneria Naturalistica deve essere anche quello di evitare interventi manutentori impegnativi dopo l'impianto della vegetazione e perciò di porre i presupposti affinché la successione naturale proceda da sola. Per motivi funzionali può essere necessario impedire nella sua ulteriore evoluzione il popolamento di salici creato. I soprassuoli di salice rappresentano nel piano collinare e montano stadi vegetativi di breve durata, che si evolvono spesso in altri tipi di bosco di latifoglie o di conifere. Questo caso si presenta, ad esempio, nei soprassuoli di salici arbustivi formati per il consolidamento spondale. In questi casi i popolamenti di salici devono essere tagliati ad intervalli da 5 a 10 anni, allo scopo di mantenere

Fig. 8.21 - Apparato radicale nelle talee della specie *Salix nigricans* dopo due anni



Fonte: Schiechl, 1975.

la loro vitalità. Nello stesso tempo devono essere allontanate tutte le altre piante legnose che potrebbero aduggiare il popolamento dei salici. Per favorire la crescita occorre evitare eventuali danneggiamenti provocati dalla selvaggina; a tal scopo si possono usare *shelter* di protezione o sostanze repellenti. Solo in casi eccezionali sono necessarie anche misure per favorire la crescita mediante concimazioni o altri metodi di miglioramento del suolo. Un taglio può rendersi necessario quando il popolamento sia stato danneggiato da eventi eccezionali come, ad esempio, dalle piene. I soprassuoli di salici giovani e bassi sono sensibili ad ogni forma di concorrenza, anche a quella delle graminacee e delle erbe non graminoidi, ed essi devono quindi essere aiutati nel loro sviluppo nei primi 2 o 3 anni di vita, eliminando questa concorrenza.

Le singole specie di salice hanno una distribuzione geografica molto diversa. Alcune delle specie a distribuzione molto estesa (euriecie) sono: *Salix alba*, *Salix aurita*, *Salix caprea*, *Salix cinerea*, *Salix daphnoides*, *Salix fragilis*, *Salix purpurea*, *Salix repens* e *Salix viminalis*. Alcune di queste specie sono attualmente più diffuse che in origine, perchè sono state impiegate di frequente anche al di fuori del loro effettivo areale come, ad esempio, il *Salix caprea*, *viminalis*, ecc. Alcune delle specie di salice con areale strettamente delimitato (stenoecie) sono: *Salix herbacea*, *Salix hastata* e *Salix reticulata*, che sono tipiche delle zone di alta montagna. Ogni specie di salice occupa distinti piani altitudinali entro la sua area di distribuzione geografica, pertanto, a titolo d'esempio, si riportano nella figura 8.22, i limiti altitudinali superiori ed inferiori che rappresentano veri e propri limiti d'esistenza, oltre i quali le specie di salice considerata, non può allignare e nelle due figure successive (figg. 8.23-8.24), la distribuzione delle specie di salice che possono essere ritenute idonee all'impiego in un determinato ambito altitudinale.

Per quanto attiene la distribuzione e le specie di salicacee presenti nel territorio provinciale di Terni si faccia riferimento al paragrafo 9.3.

Il numero delle possibili specie utilizzabili non è molto grande e, comunque, già all'interno degli stessi salici vi sono esigenze molto diverse. Per la scelta delle specie, una volta individuate quelle più idonee dal punto di vista biogeografico ed ecologico, i seguenti parametri possono già essere indicativi per un utilizzo efficiente:

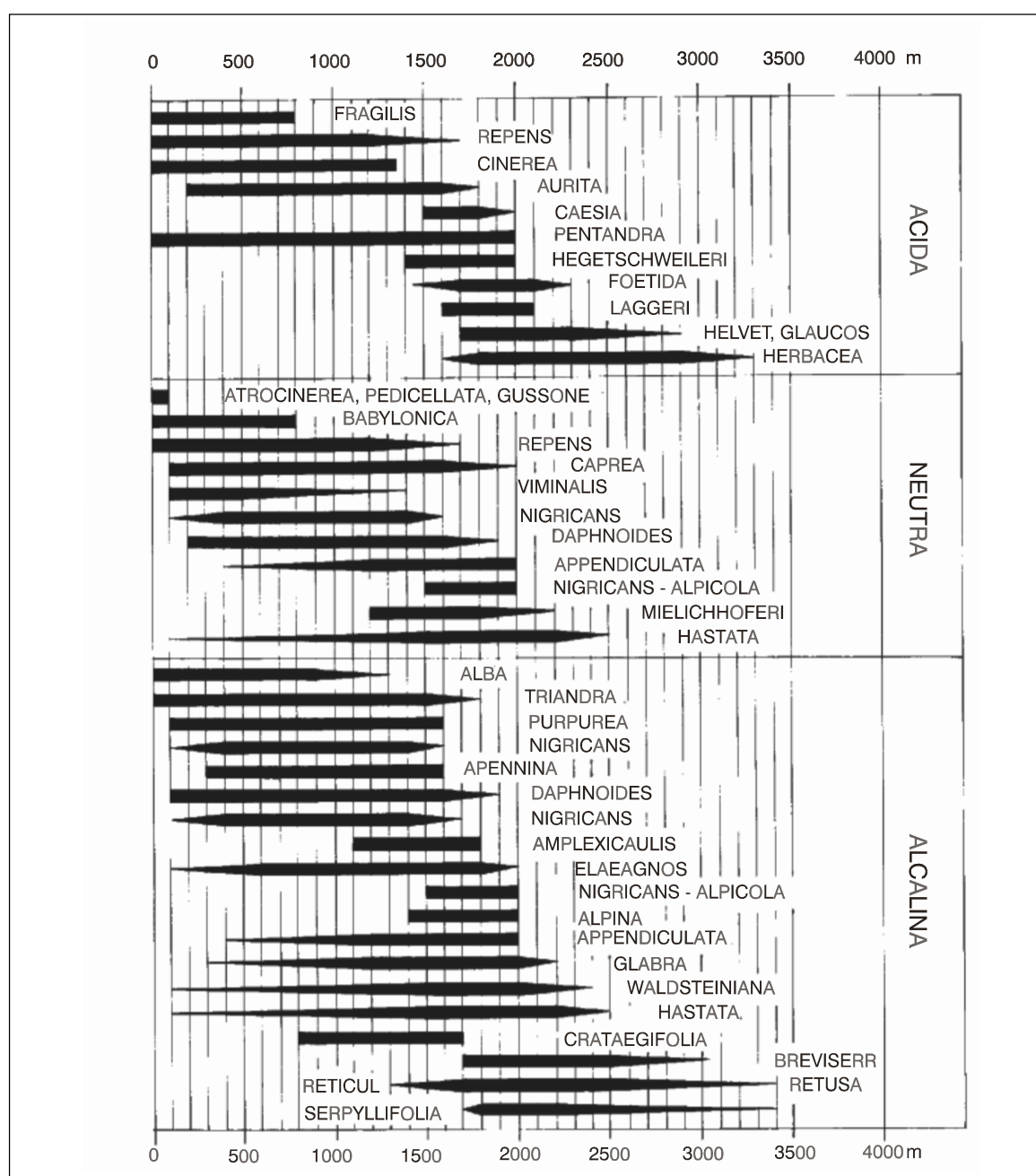
- capacità d'attecchimento, limiti di impiego, altezza delle piante (tab. 8.9);
- esigenza di umidità nel terreno (fig. 8.25);
- acidità del terreno (fig. 8.26);
- sciafilia (fig. 8.27).

### 8.3.2 Limiti per l'esecuzione di lavori con i salici

L'epoca, come detto, più favorevole per procurarsi i rami e le talee con capacità di propagazione agamica è quella dello stadio di riposo vegetativo, cioè l'intervallo fra la caduta delle foglie e la cacciata (in genere, da ottobre ad aprile). Gli arbusti, come pure i giovani alberi, vengono tagliati direttamente sopra il terreno, gli alberi più vecchi, come salici a capitozza. Il taglio viene effettuato meglio con la sega o la forbice; deve puntare ad ottenere una superficie di taglio liscia e relativamente piccola.

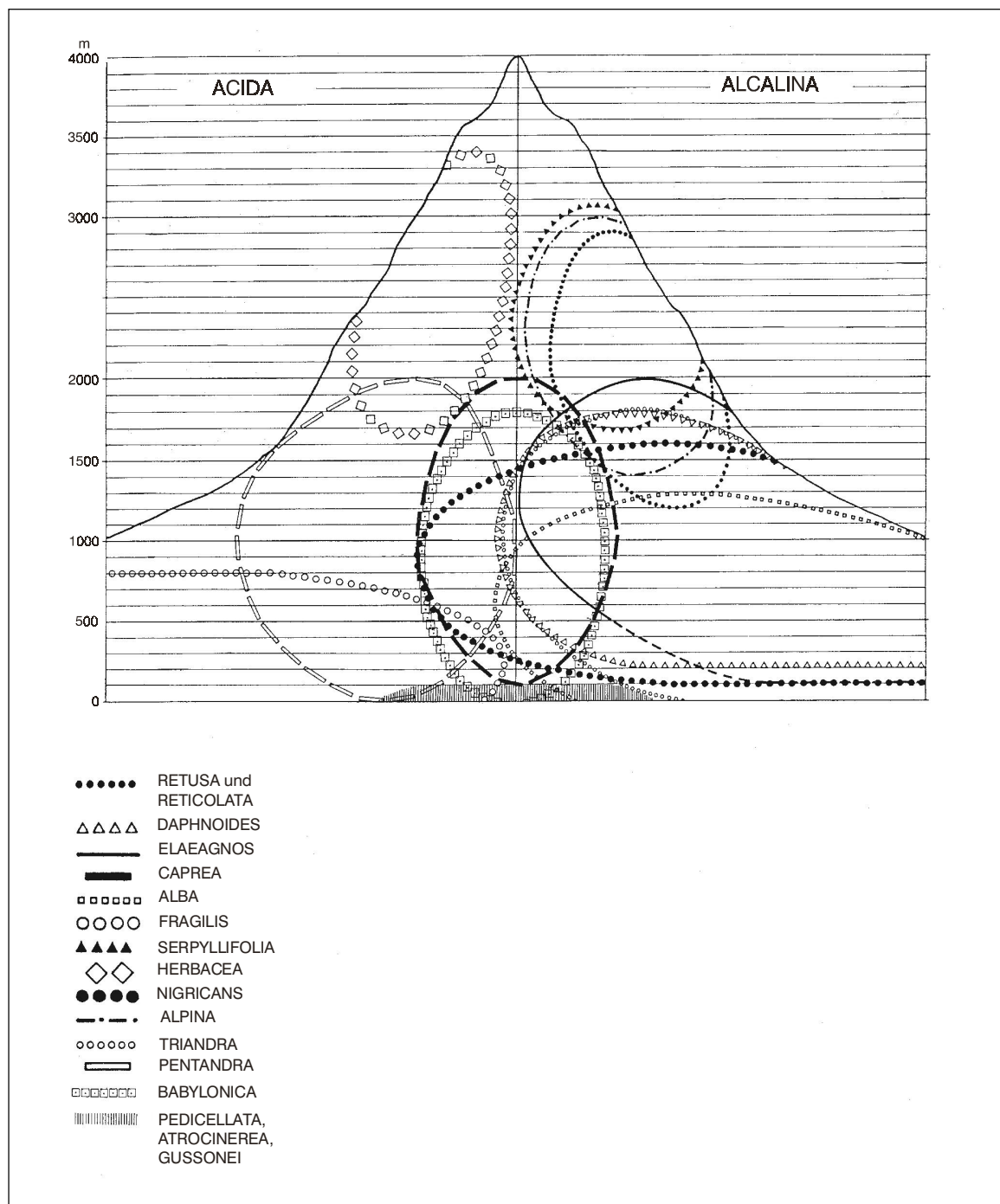
I rami vengono trasportati al cantiere nella loro lunghezza totale, al fine di proteggerli meglio

**Fig. 8.22** - Distribuzione altitudinale delle specie di salice e loro diffusione secondo la reazione del terreno



Fonte: Schiechl, 1992.

Fig. 8.23 - Distribuzione altitudinale dei salici arborei e dei salici prostrati e reazione del terreno



Fonte: Schiechl, 1992.

dall'essiccamento, e solo là, se trovano immediato impiego, vengono sezionati nella giusta misura.

Per principio occorre procedere all'immediata messa a dimora delle parti vegetali, ponendo particolare attenzione affinché i rami e le talee vengano collocati nel terreno per evitarne il disseccamento e nella giusta direzione rispettando il geotropismo della pianta.

Se l'immediata messa a dimora non è possibile, il materiale tagliato durante il riposo vegetativo può essere mantenuto in stato di riposo per lunghi periodi, a condizione che esso

venga protetto dal disseccamento e dal riscaldamento.

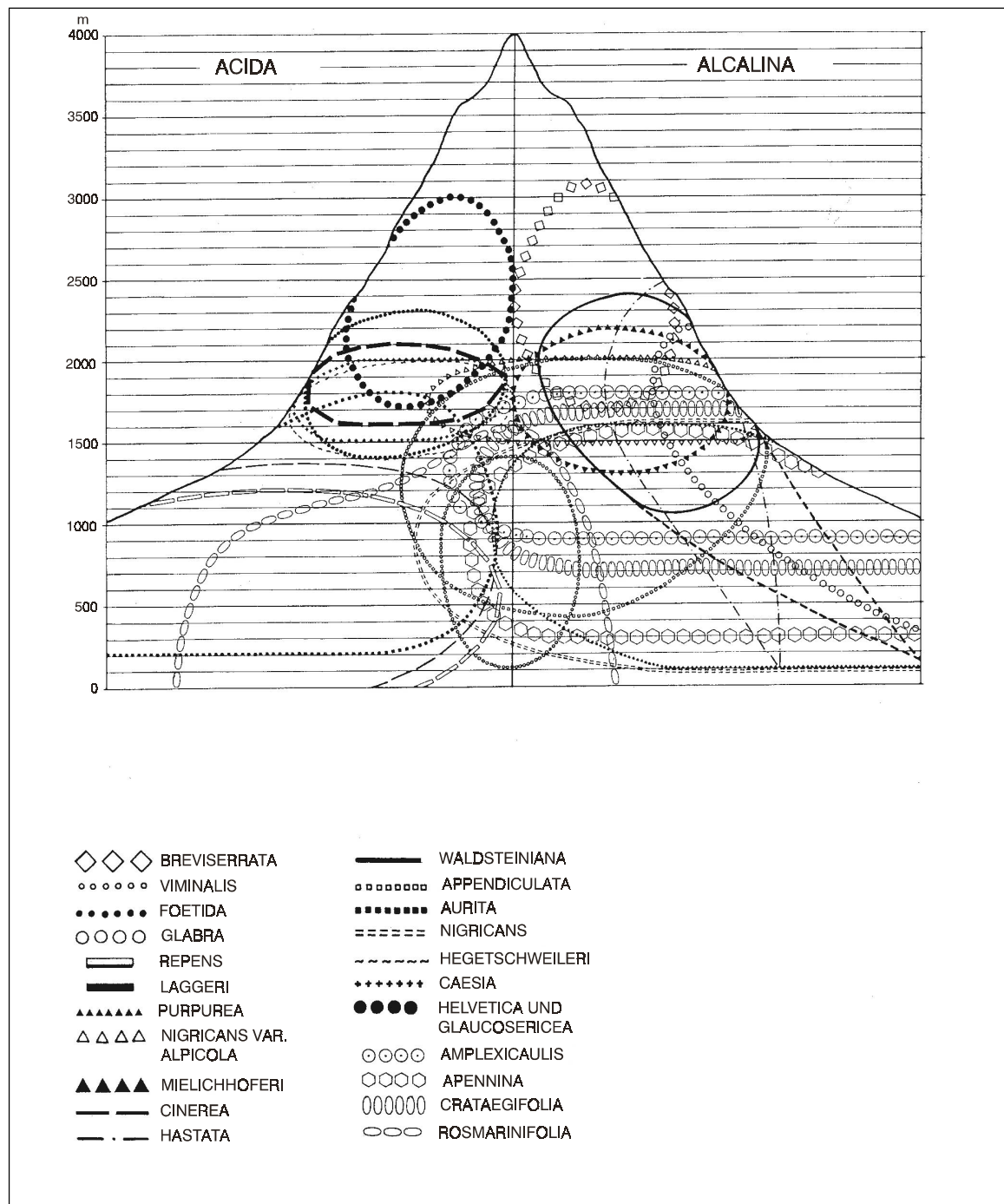
Ciò avviene collocandolo nella neve, immergendolo in acqua corrente ad una temperatura massima di 15 °C, oppure immagazzinandolo in celle frigorifere (0 °C - 1 °C e 98% di umidità) in sacchetti di PVC o in pellicole.

Anche gli antitranspiranti possono impedire il disseccamento.

Nello stadio di ripresa vegetativa i materiali con capacità di propagazione non possono essere immagazzinati.

Nel campo delle sistemazioni idrauliche è pos-

Fig. 8.24 - Distribuzione altitudinale dei salici arborei e dei salici prostrati e reazione del terreno



Fonte: Schiechl, 1992.

sibile ottenere e sistemare le piante legnose, atte a ricacciare ed a riprodursi per via agamica anche durante il periodo vegetativo.

Il presupposto per una corrispondente percentuale d'attecchimento è dato da una rapida messa a dimora, immediatamente dopo il taglio, di preferenza su stazioni ben inumidite fino a quelle costantemente bagnate.

Da un punto di vista fisiologico (Paiero, Semenzato, Urso, 1996) i fattori che influenzano la capacità rizogena delle specie legnose sono molteplici.

Un ruolo fondamentale è esercitato dagli ormo-

ni vegetali e regolatori della crescita. Queste sostanze, che agiscono sui tessuti in accrescimento a concentrazioni fisiologicamente molto basse, sono responsabili della regolazione di numerosi fenomeni, dalla moltiplicazione cellulare, alla distensione, alla differenziazione dei tessuti ai processi di fioritura e senescenza. Tra gli ormoni, i più attivi ad influenzare la differenziazione delle radici avventizie sono le auxine.

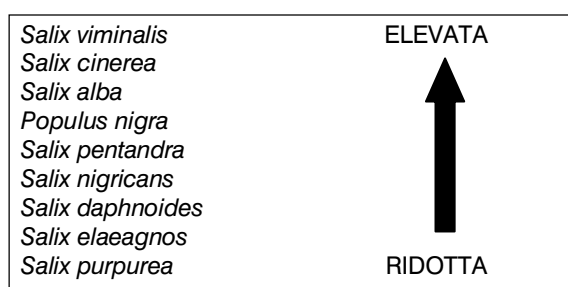
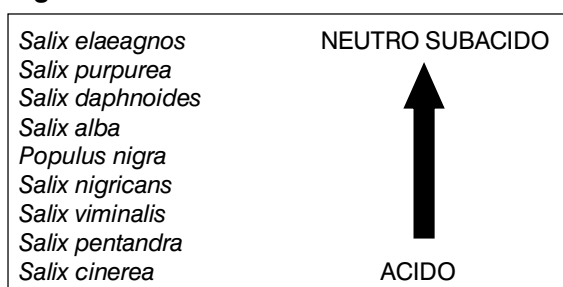
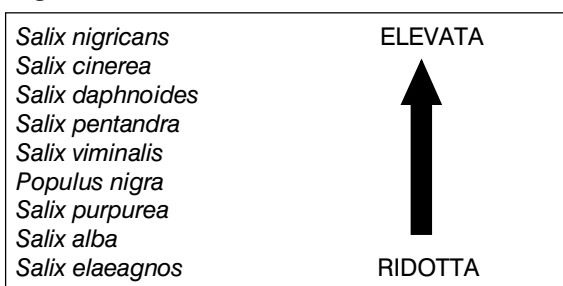
Il ruolo stimolatore dell'acido indolacetico (IAA), sintetizzato nei meristemi in accrescimento, sulla formazione delle radici avventizie



**Tab. 8.9** - Capacità d'attecchimento, limiti d'impiego e altezza delle piante

Tipologia	Specie	Percentuale di attecchimento (%)	Limite altitudinale (m s.l.m.)	Sviluppo in altezza (m)
Salici	<i>Salix purpurea</i>	100	- 1.600	2 ÷ 6
	<i>Salix daphnoides</i>	90	- 1.800 <sup>(*)</sup>	6 ÷ 10
	<i>Salix viminalis</i>	90	- 600	Fino a 4
	<i>Salix cinerea</i>	75	- 1.300	2 ÷ 6
	<i>Salix nigricans</i>	75	- 1.700	2 ÷ 5
	<i>Salix alba</i>	75	- 1.000	Fino a 24
	<i>Salix elaeagnos</i>	70	- 1.100	Fino a 10
	<i>Salix pentandra</i>	70	- 1.800 <sup>(*)</sup>	Fino a 13
Non salici	<i>Populus nigra</i>	65	- 900	20 ÷ 25
	<i>Ligustrum vulgare</i>	65	- 1.200	Fino a 2
Non adatti all'utilizzo come talee	<i>Alnus incana</i>	25	- 1.200	Fino a 20
	<i>Berberis vulgaris</i>	10	- 1.000	Fino a 2
	<i>Alnus viridis</i>	10	- 1.800 <sup>(*)</sup>	Fino a 3
	<i>Salix caprea</i>	5	- 1.300	Fino a 5

(\*) L'altezza di 1.800 m s.l.m. corrisponde al limite della vegetazione.

**Fig. 8.25** - Esigenza di umidità nel terreno**Fig. 8.26** - Acidità del terreno**Fig. 8.27** - Sciafilia

è noto da tempo (Thimann e Koepfli, 1935; Went, 1935; Hackett, 1970; Haissig, 1972); auxine di origine sintetica quali l'acido indolbutirrico (IBA) e l'acido naftalenacetico (NAA), hanno un effetto ancora più pronunciato se applicate, a concentrazioni variabili a seconda delle specie, alle talee da radicare (Thimann, 1935).

L'impiego degli ormoni rizogeni nelle tecniche di Ingegneria Naturalistica è legato alla necessità di prolungare il periodo di possibile intervento.

Alcune sperimentazioni condotte sull'ontano nero hanno dimostrato come piccole quantità di ormoni, disciolte nell'acqua ed irrorate sulle talee con mezzi manuali (irroratrice a spalla), permettono di aumentare la percentuale di attecchimento e di portarla fino al 97%-98% dando, quindi, la possibilità di impiegare specie che notoriamente hanno una percentuale di attecchimento bassa e, di poter impiegare tali piante anche in periodi biologici e/o climatici sfavorevoli (Palmeri, 2002).

Tutte le specie legnose con attitudine alla moltiplicazione vegetativa possono essere messe a dimora anche come piante radicate, allevate da seme.

Giovani piante radicate di specie legnose non atte alla moltiplicazione vegetativa vengono impiegate solo nelle gradonate (con latifoglie radicate) o come elemento complementare nelle gradonate (con l'utilizzo di latifoglie radicate e ramaglia viva).

Per questo scopo si prestano preminentemente le specie pioniere dei terreni grezzi che resistono all'inghiainamento e, possono formare radici avventizie resistenti alla trazione. Le conifere non sono adatte allo scopo.

Per gli interventi di Ingegneria Naturalistica



Tab. 8.10 - Limiti temporali per la messa a dimora di materiale vegetale vivo\*

	Mesi											
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Piantagione a radice nuda												
Piantagione in contenitore												
Messa a dimora zolle o rotoli di cotico erboso												
Semine di specie erbacee e/o legnose senza pacciamatura												
Semine di specie erbacee e/o legnose con pacciamatura												
Piantagione di rizomi o zolle di canneto												
Piantagione di culmi di canneto												
Piantagione di talee												

\* In nero il periodo idoneo, in grigio il periodo idoneo soltanto in alcune aree, in bianco il periodo generalmente non idoneo.

Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1. Processi territoriali e criteri metodologici*, Regione Toscana, 2001, modificato.

tendenti al consolidamento, non sempre è possibile impiegare tutte le specie legnose autoctone dell'area floristica corrispondente, a differenza di quanto avviene nel giardinaggio e nella modellazione del paesaggio.

Le specie che nel senso stretto del termine non si prestano, per caratteristiche meccaniche o vegetative, ai metodi di Ingegneria Naturalistica, possono però essere introdotte, in aggiunta, in un momento successivo, quando sono stati raggiunti gli scopi del consolidamento.

È stato più volte affermato che la messa a dimora delle piante dà solitamente i migliori risultati se effettuata durante il periodo di riposo vegetativo. Tale periodo è ovviamente variabile con le condizioni climatiche locali e in alcuni casi anche con la fisiografia.

A titolo d'esempio si riporta quanto classificato per il territorio ternano in cui le condizioni mesoclimatiche sono molto variabili (si veda la

carta fitoclimatica per la provincia di Terni contenuta nella cartografia allegata al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Terni.

La durata del periodo di riposo vegetativo non è quindi identica né per le diverse regioni, né all'interno della stesse, né per tutta la provincia di Terni (Centro Italia), ma può comunque nella maggior parte dei casi considerarsi compresa tra ottobre-novembre e marzo-aprile.

Non tutte le tecniche d'impianto di materiali vivi hanno i medesimi limiti temporali d'impiego; molto dipende, oltre che dalle specie utilizzate, dalle caratteristiche stazionali (altitudine, esposizione, ecc.).

Alcuni accorgimenti, inoltre, possono prolungare il periodo utile come, ad esempio, l'uso di postime in contenitore invece che a radice nuda, oppure la messa in conservazione del materiale proveniente da propagazione

**Tab. 8.11** - Periodo adatto alla raccolta di talee caulinari da specie di *Salix*\*

Inizio fioritura	Sfioritura	Formazione gemme	Ingiallimento foglie	Abscissione foglie

\* In nero il periodo idoneo, in grigio il periodo parzialmente idoneo, in grigio scuro il periodo possibile in stazioni umide.  
Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1. Processi territoriali e criteri metodologici*, Regione Toscana, 2001.

vegetativa (in particolare la raccolta autunnale e la conservazione durante l'inverno prolunghe-  
rebbero il periodo utile all'impianto in prima-  
vera).

Nella **tabella 8.10** vengono fornite alcune indi-  
cazioni circa il periodo migliore di messa a di-  
mora per le diverse tipologie di materiale ve-  
getale per la Provincia di Terni.

I periodi più adatti alla raccolta di materiale  
dotato di capacità di propagazione vegetativa,  
per specie del genere *Salix*, è riportato nella  
**tabella 8.11**.

Per quanto riguarda altre specie arboree o  
arbustive propagabili per talea legnosa  
caulinare, quali *Laburnum sp.pl.*, *Populus  
sp.pl.*, *Tamarix sp.pl.*, *Ligustrum vulgare*, i pe-  
riodi migliori per la raccolta del materiale dalle  
piante madri sono quelli immediatamente pre-  
cedenti alla germogliazione e quelli immedia-  
tamente successivi all'abscissione fogliare, con  
preferenza per questi ultimi; la raccolta è co-  
munque possibile anche durante il periodo di  
riposo vegetativo.

Per quanto riguarda i suffrutici mediterranei  
come, ad esempio, *Lavandula sp.pl.*, *Helichry-  
sum italicum*, *Santolina sp.pl.*, *Salvia  
officinalis*, *Rosmarinus officinalis*, occorre pre-  
levare le talee dalla base dei getti dell'anno a  
fine estate.

*biotecniche delle piante utilizzabili in Ingegneria  
Naturalistica*, Bolzano, 22-23 giugno.

Farina A., 1993  
*L'ecologia dei sistemi ambientali*, CLUEP Editrice, Pa-  
dova.

Florineth F., 1993  
*Consolidamento dei versanti franosi con tecniche d'In-  
gegneria Naturalistica*, in "Verde Ambiente", n. 6.

Gams H., 1939  
*Die Wahl zur künstlichen Berasung und Bebuschung  
von Bachbetten, Schutthängen und Straßenbö-  
schungegen geeigneter Pflanzen des Alpen-gebietes*.

Gams H., 1940  
*Die natürliche Begrünung von Fels und Schutthängen  
in den Hochalpen*, "Forschungsarbeiten aus dem  
Straßenwesen", Berlino.

Gams H., 1941.  
*Die ökologischen und biozönotischen Vorausset-  
zungen der Lebendverbauung*, "Forschungsdienst.  
Organ der deutschen Landwirtschaft".

Greenway D.R., 1987  
*Vegetation and slope stability*, in *Slope stability* a cura  
di M.G. Anderson e K.S. Richards, J. Wiley and Sons,  
New York.

Hackett W.P., 1970  
*The influence of auxine, catechol and methanolic  
tissue extract on root initiation in aseptically cultured  
shoot apices of the juvenile and adult form of Hedera  
helix L. Jour.* in "Amer. Soc. Hort.", 95.

Haissig B.E., 1972  
*Meristematic activity during adventitious root  
primordium development. Influence of endogenous  
auxin and applied gibberellic acid*, in "Plant Physio-  
logy", 49.

Kutschera L., 1960  
*Wurzeletlas - mitteleuropäischer Ackerunkräuter und  
Kulturpflanzen*, DLG - VERLAGS - GMBH, Francoforte.

Kutschera L., Sobotik M., 1997  
*Bewurzelung von Pflanzen in den verschiedenen  
Lebensräumen*, in "Stapfia", 49.

Lachat B., 1991  
*Le cours d'eau. Conservation, entretien et amenge-  
ment*, Consiglio d'Europa, Strasburgo.

## Bibliografia



AA.VV., 1993  
*Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Regione  
Emilia Romagna - Assessorato all'Ambiente, Regione  
Veneto - Assessorato Agricoltura e Foreste, Bologna.

AA.VV., 2000  
*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica.  
Vol. 1. Processi territoriali e criteri metodologici*, Re-  
gione Toscana - Giunta Regionale, Dipartimento Poli-  
tiche Territoriali e Ambientali, Firenze.

Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica  
(AIPIN) - sezione Bolzano, Alto Adige, 1995a  
*Reperimento del materiale vegetale*, tratto da H.M.  
Schiechtl e C. Pagnoncini della scuola forestale  
intercantonale di Maienfeld (CH).

Associazione Italiana Per l'Ingegneria Naturalistica  
(AIPIN) - sezione Bolzano, Alto Adige, 1995b  
*Corso di specializzazione sulle caratteristiche*

Paiero P., Semenzato P., Urso T., 1996

*Biologia vegetale applicata alla tutela del territorio*, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Università di Padova - Dipartimento Territorio e Sistemi agroforestali, Edizioni Progetto, Padova.

Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2002

Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico, Regione Lazio - Punto Stampa S.r.l., Roma.

Schiechtl H.M., 1973

*Bioingegneria forestale. Basi, materiali da costruzioni vivi, metodi*, Edizioni Castaldi, Feltre.

Schiechtl H.M., 1992

*I salici nell'uso pratico*, Edizioni Arca, Gardolo (TN).

Schiechtl H.M., Stern R., 1994

Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche, Edizioni Arca, Gardolo (TN).

Piroli S., s.d.

*Quali materiali per quali opere*, in Regione Liguria - Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo, *Opere d'Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale*, Genova.

Thimann K.V., Koepfli J.B., 1935.

*Identity of the growth promoting and root forming substances of plants*, in "Nature", 135.

Went F.V., 1935

*Hormones involved in root formation*, in "Proceedings of 6<sup>th</sup> International Botanical Congress", 2.

---



### 9.1 Inquadramento geografico generale

La Provincia di Terni confina a nord e a nord-est con la provincia di Perugia, a nord-ovest con la Toscana (provincia di Siena) ad ovest a sud ed a sud-ovest con il Lazio; più propriamente, ad ovest ed a SSO viene a trovarsi confinante con la provincia di Viterbo, mentre a sud-est con quella di Rieti.

Dal punto di vista geografico il territorio provinciale può essere diviso in due settori; uno comprendente l'ambito Amerino-Narnese-Ternano e l'altro quello Orvietano (**tav. 9.1**).

L'ambito Amerino-Narnese-Ternano si sviluppa nella parte centro-meridionale del territorio provinciale e comprende, oltre i territori comunali di Amelia, Narni e Terni, i comuni di Acquasparta ed Avigliano Umbro a nord, Guardea, Alviano, Giove, Penna in Teverina, Attigliano e Lugnano in Teverina ad ovest, Otricoli, Calvi dell'Umbria e Stroncone a sud e Polino, Arrone e Ferentillo ad est.

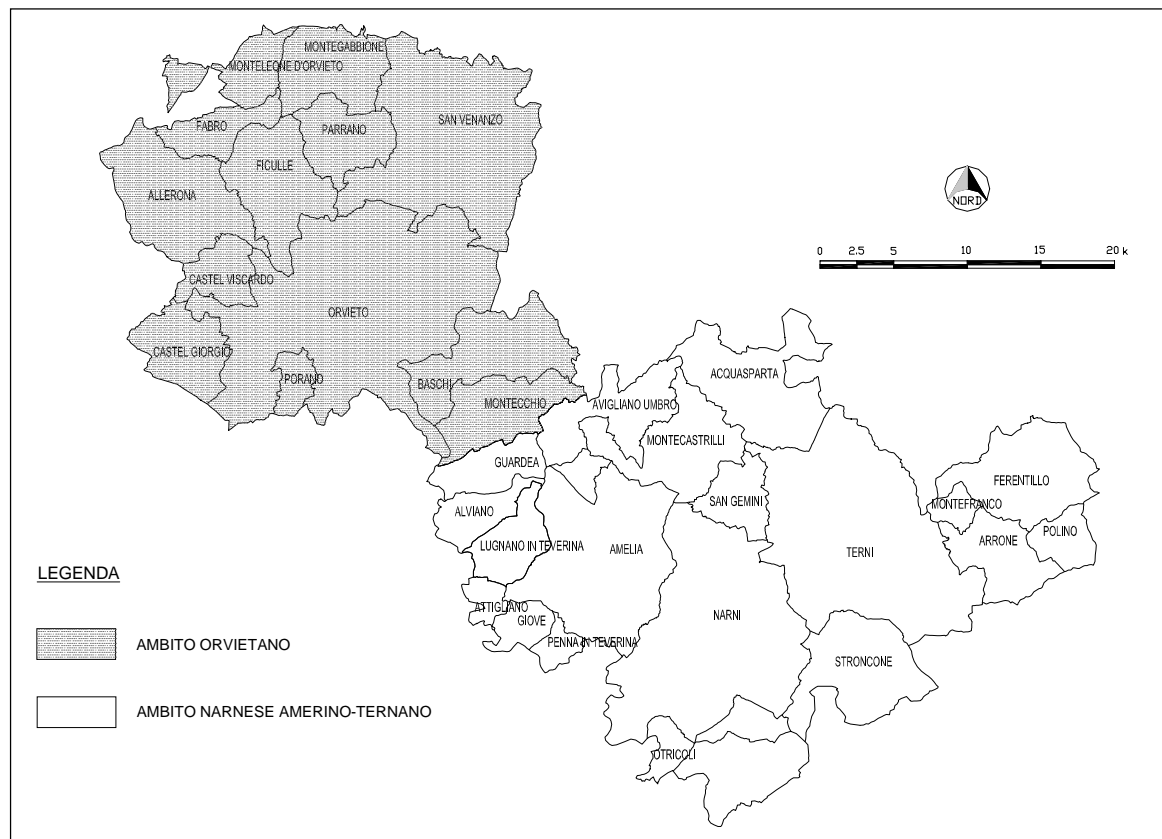
L'area ricade per la maggior parte nel settore

intermedio e finale del bacino del fiume Nera fino alla sua confluenza con il fiume Tevere e può essere considerata un territorio di transizione dalle aree montane interne caratterizzate da strette valli comprese entro le alte dorsali appenniniche, alle aree occidentali più aperte con sistemi collinari ed anche montuosi alternati a pianure e valli dai caratteri più dolci.

Nel lato orientale e sud-orientale del territorio provinciale, infatti, sono posizionati i massicci montuosi che con il loro andamento vincolano fortemente l'intero assetto geografico della zona; qui si trova il complesso montuoso più alto, non solo dell'ambito, ma di tutto il territorio provinciale, individuato nel raggruppamento monte La Pelosa (che con i suoi 1.635 m s.l.m. rappresenta la cima più alta), monte Torrinaro (1.308 m s.l.m.) e monte Poro (865 m s.l.m.).

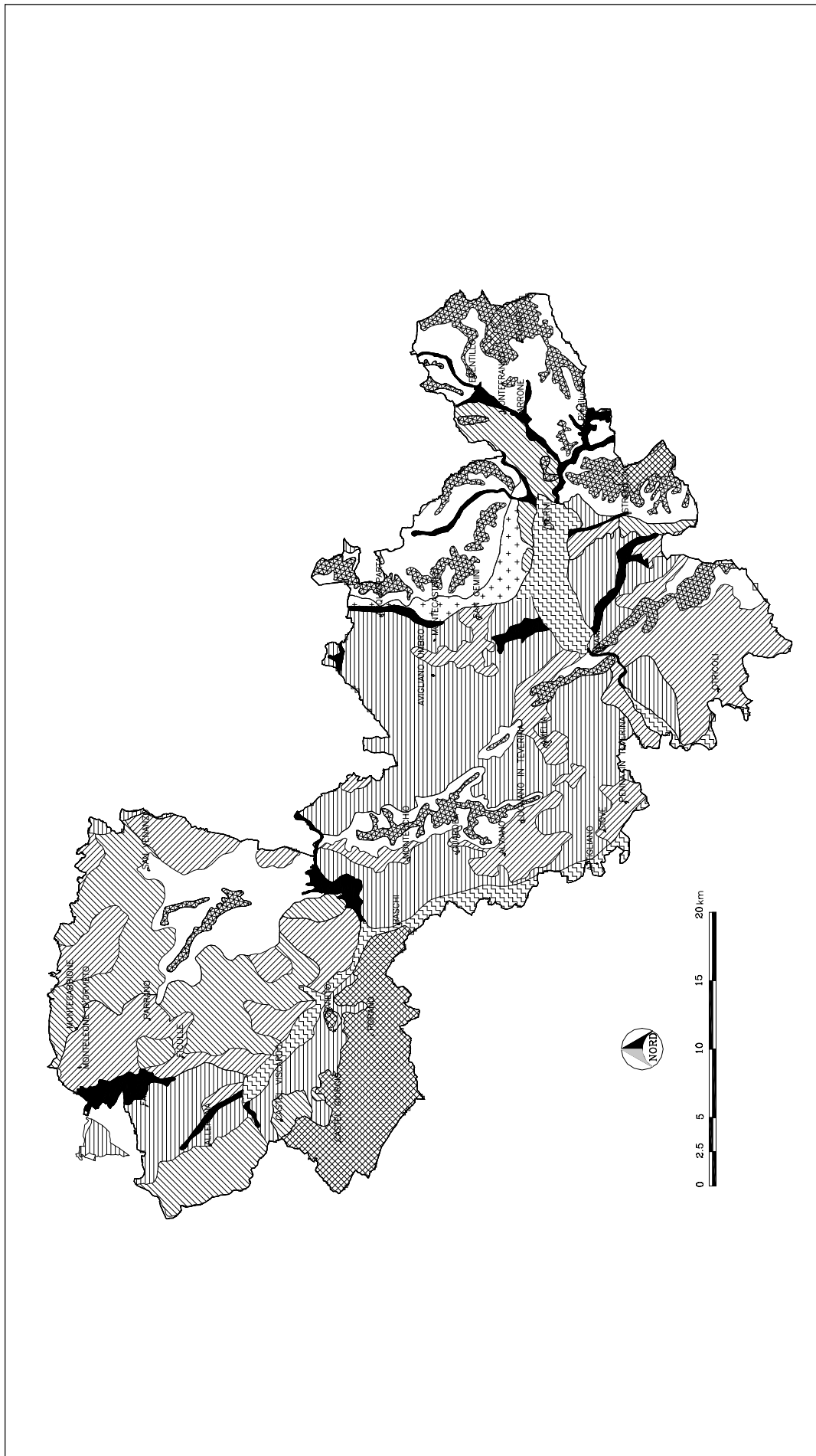
La zona montana, disposta in direzione prevalente ENE-OSO, è caratterizzata da un'area di cresta e di crinale alla quale si raccorda, mediante una fascia di versante ed un'area basso-montana (la bassa Valnerina), nonché un'area

**Tav. 9.1** - Schema per ambito del territorio della Provincia di Terni













Fonte: Provincia di Terni, *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP)*, rielaborazione Uffreduzzi, 2003.

Tav. 9.2 - Carta delle unità morfologiche del territorio della Provincia di Terni



Fonte: Provincia di Terni, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), ri elaborazione Uffreduzzi, 2003.

**Legenda della carta delle unità morfologiche del territorio della Provincia di Terni con indicazione delle pendenze prevalenti**

	<b>AREA DI CRESTA E CRINALE</b> comprende la parte sommitale delle dorsali montane ad una quota altimetrica di 800-1600 metri s.l.m., pendenze di 15°-25° (26.7%-46.6%)	
	<b>VERSANTE ED AREA BASSO-MONTANA</b> pendenze di 25°-40° (46.6%-84.0%)	
	<b>FASCIA PEDEMONTANA</b> pendenze di 5°-15° (8.7%-26.7%)	
	<b>AREA COLLINARE</b> comprende i settori con pendii dolci, crinali ampi e subpianeggianti, vallecicole poco acclivi, la quota e' tra i 100-400 m	pendenze di 15°-25° (26.7%-46.6%)
		pendenze di 10°-15° (17.6%-26.7%)
		pendenze di 0°-10° (0.0%-17.6%)
	<b>PIANORO MONTANO</b> comprende aree subpianeggianti poste a quote superiori ai 900 m, pendenze di 0°-5° (0.0%-8.7%)	
	<b>AREA TABULARE</b> posta ad una quota compresa tra i 300-600 m talora con brusche scarpate di raccordo, pendenze di 0°-5° (0.0%-8.7%)	
	<b>AREA PIANEGGIANTE AMPIA</b> pendenze di 0°-2° (0%-3.4%)	
	<b>AREA DI FONDOVALLE FLUVIALE</b> legata al reticolo idrografico, comprendente quote altimetriche variabili, aperta od incassata, pendenze di 0°-5° (0.0%-8.7%)	

collinare che si spinge fino a raggiungere pendenze estremamente basse, nella Conca ternana caratterizzante il settore centrale dell'ambito Amerino-Narnese-Ternano.

In questo settore orientale sono presenti, come espressioni morfologiche esclusive, riconducibili a pianori, due aree complessivamente di limitata estensione, ubicate in un'area sommitale dei monti di Miranda e Stronccone (Prati di Stronccone e Piani di Ruschio) e nel settore montano di Polino (area di Collebertone).

Nella parte centrale dell'ambito si individuano la conca ternana ed i sistemi collinari che la delimitano, sviluppandosi in direzione NNO-SSE con una estensione notevole e sono limitati a settentrione dall'imponente dorsale dei monti Martani, a oriente ed a sud dai sistemi montuosi appenninici sopra citati e a occidente dalla lunga dorsale Narnese-Amerina.

Nel complesso il settore orientale è interessato prevalentemente da aree collinari (con pendenze variabili dal 45% a meno del 10%) e, nella zona di raccordo alla catena dei monti Martani, da una fascia pedemontana. La zona della Conca ternana dove scorre il fiume Nera risulta carat-

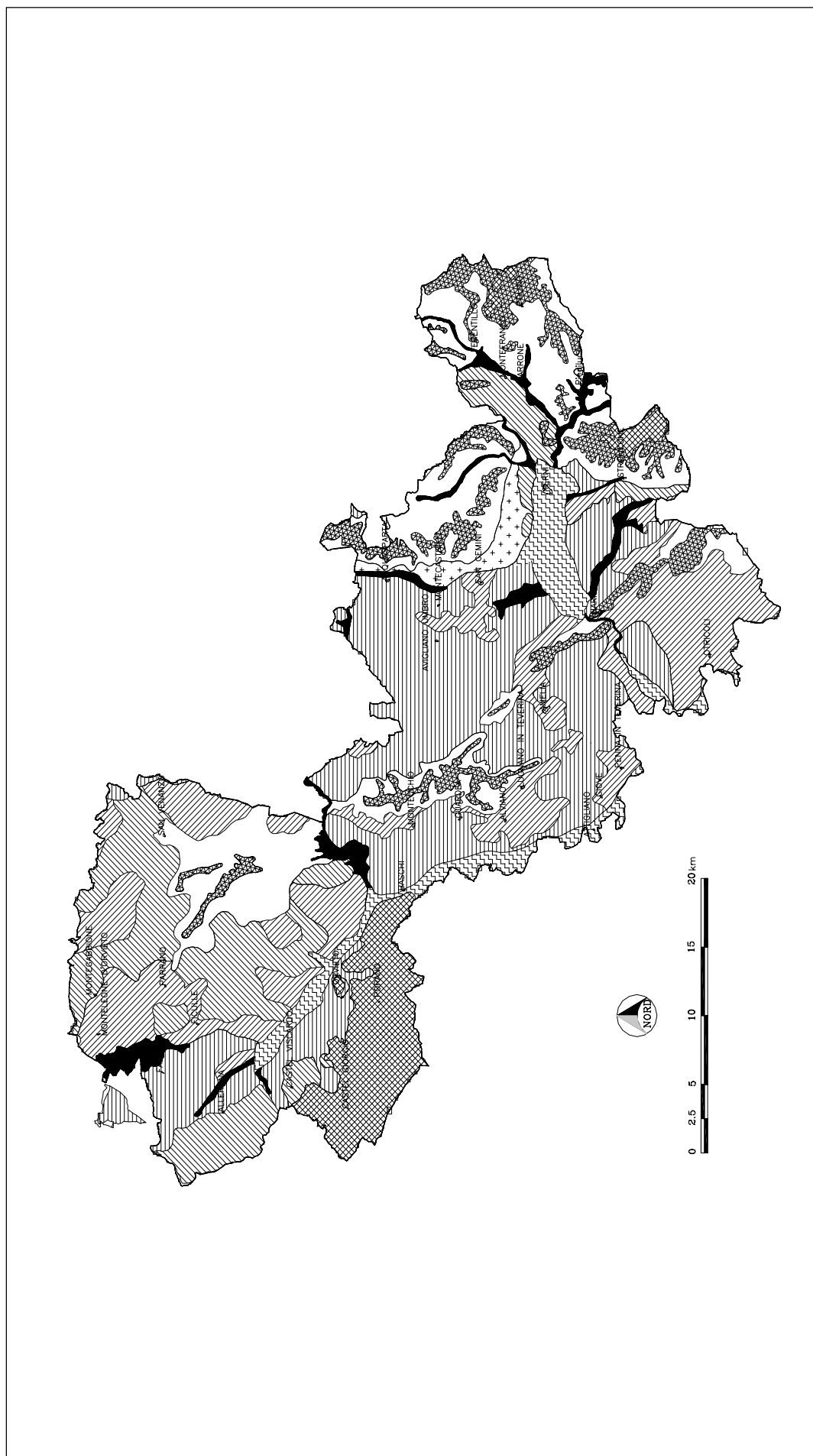
terizzata da un'ampia area pianeggiante che ricomincia nell'andamento la direzione di flusso del fiume stesso.

La parte occidentale è caratterizzata dalla presenza della dorsale montuosa Narnese-Amerina che presenta direzione NO-SE e separa le zone interne sopra descritte, dalla valle costituita dal fiume Tevere e dai territori laziali a diversa conformazione, situati ad occidente; una fascia costituita da aree collinari caratterizzate da forme articolate, posta ad occidente della catena Narnese-Amerina, svolge una funzione di raccordo degradando progressivamente verso la valle del Tevere.

L'ambito Orvietano è situato invece nella parte centro-settentrionale del territorio provinciale, ha un'estensione di circa 1.009 km<sup>2</sup> ed è delimitato a nord dai monti del Pievese, ad est dalla valle del Tevere, a sud dai monti dell'Amerino, mentre ad ovest confina con il Lazio (provincia di Viterbo) ed in minima parte con la Toscana.

La zona non presenta brusche variazioni morfologiche, se si esclude l'allineamento montano costituito dal monte Castellaccio (637 m










Tav. 9.3 - Carta geologica del territorio della Provincia di Terni



Fonte: Provincia di Terni, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), rielaborazione Uffreduzzi, 2003.



## Legenda della carta geolitologica del territorio della Provincia di Terni

<b>FORMAZIONI CONTINENTALI</b>	
	DETRITO (1) detriti di pendio, anche in forma di conoide, costituito prevalentemente da materiale granulare sciolto o poco cementato, con scheletro clastico di natura calcarea, a spigoli vivi, e matrice più o meno abbondante di natura limo-argillosa Olocene
	DEPOSITI ALLUVIONALI (2) di granulometria varia da limi a ghiaie, in funzione del materiale di disfacimento e delle modalità di trasporto e deposito, prevalentemente di natura calcarea, talora in forma di terrazzo Olocene
	TRAVERTINI (3) litoidi di natura calcarea con intercalazioni di sabbie calcaree, talora pedogenizzati Olocene - Pleistocene
	SABBIE ED ARGILLE (5) sabbie, limi ed argille con livelli conglomeratici, di origine lacustre Pleistocene
	CONGLOMERATI (6) puddinghe, costituite da clasti calcarei, in matrice sabbiosa, arrotondati, prevalentemente cementati, di origine lacustre Pleistocene - Pliocene
<b>FORMAZIONI VULCANICHE</b>	
	DEPOSITI VULCANICI (4) tufi, tuffiti e cineriti, di origine piroclastica, stratificati, talora pedogenizzati Pleistocene
<b>FORMAZIONI MARINE</b>	
	DEPOSITI CLASTICI (7) sabbie, limi, conglomerati, sciolti o cementati, di origine marina o salmastra Pleistocene - Pliocene
<b>FORMAZIONI DELLA SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANA E TOSCANA</b>	
	MARNE CALCAREE E ARENARIE QUARZOSE (8) marne, marne calcaree e calcari marnosi (Scaglia cinerea e Bisciaro), marne, marne calcaree in alternanza a bancate arenacee di natura calcarea nel settore meridionale e di natura quarzoso-feldspatica nel settore settentrionale (Falda Toscana), talora in depositi flyschoidi Miocene - Paleocene
	CALCARI (9) calcari, calcari dolomitici e dolomie, massivi e biancastri, calcari e calcari marnosi, marne ed argilliti, ben stratificati, con selce anche abbondante (Dolomie, Calcare Massiccio, Corniola, Rosso Ammonitico, Calcari selciferi, Marne ad Aptici, Marne a Fucoidi e Scaglia rossa) Eocene - Triassico

s.l.m.), monte Piatto (769 m s.l.m.), monte Peglia (837 m s.l.m., che rappresenta la cima più alta dell'ambito) e Poggio Spaccato (738 m s.l.m.); le quote altimetriche, infatti, variano in tutto il territorio in esame tra i 300 m s.l.m. ed i 600 m s.l.m.; ne consegue che la stragrande maggioranza dell'ambito risulta caratterizzato da aree collinari con pendenze decrescenti man mano che ci si allontana dal complesso montuoso sopra citato.

In prossimità di Orvieto, l'area dove scorre il fiume Paglia e dove questo confluisce nel fiume Tevere risulta caratterizzata da un'ampia area pianeggiante che ricalca nell'andamento la direzione di flusso del fiume stesso.

Nell'ambito Orvietano, in un'area localizzata tra Castelgiorgio e la Valle del Paglia-Tevere è inoltre presente un ben definito morfotipo,

tabulare e subpianeggiante, legato intimamente alla natura geologica dei terreni di substrato (vulcanici); localmente, ai bordi, si rinvengono lembi isolati di tavolato aventi limitata estensione areale, caratterizzati da scarpate subverticali (Rupe di Orvieto).

Per descrivere le caratteristiche morfologiche del territorio provinciale, è stato possibile individuare alcuni ambiti territoriali caratterizzati da forti e prevalenti analogie morfologiche e morfometriche (acclività del pendio, esposizione, quota altimetrica, ecc.) definirne i limiti areali e descriverne sinteticamente in legenda i caratteri morfologici comuni e la classe di pendenza prevalente.

Gli ambiti individuati cartograficamente nella **tavola 9.2** vengono brevemente descritti nella **Legenda**.

## 9.2 Aspetti geologici e geomorfologici

### 9.2.1 Geologia

#### 9.2.1.1 Stratigrafia

Il territorio della provincia di Terni appartiene al contesto geologico dell'Appennino Centrale ed è costituita da formazioni litoidi depostesi nel periodo che va dal Triassico sino all'Olocene in vari domini paleogeografici (cfr. **tav. 9.3 e Legenda**). Le litologie riscontrabili sono varie e possono essere raggruppate in quattro ambiti sedimentari: formazioni vulcaniche, formazioni continentali, formazioni marine, formazioni della Successione umbro-marchigiana e del Dominio toscano.

Questi ambiti sono al loro interno complessi, con litotipi appartenenti a vari ambienti deposizionali da marino di piattaforma carbonatica passante a pelagico (mare profondo) (Successione umbro-marchigiana) per giungere sino ad una sequenza superiore di tipo torbiditico (Dominio toscano), nel Quaternario poi, a seguito dell'emersione, si è impostata in alcune aree una deposizione di ambiente salmastro, lacustre e fluviale (formazioni continentali) con la sovrapposizione stratigrafica dei depositi di tipo vulcanico legate al vulcanismo laziale (formazioni vulcaniche).

I litotipi maggiormente rappresentati appartengono al complesso carbonatico, costituito dalle formazioni della Successione umbro-marchigiana, ascrivibili ad un intervallo di tempo che va dal Trias superiore al Miocene inferiore. Tale successione inizia con i calcari bianchi e cristallini, in banci massivi, appartenenti alla Formazione del Calcare Massiccio e prosegue caratterizzata da calcari e calcari marnosi ben stratificati della Formazione della Corniola, nella parte superiore del Lias la sedimentazione continua con un elevato contenuto argilloso e la deposizione dei calcari marnosi rossastri, marne, marne argillose con frequenti Ammoniti, compresi nella Formazione del Rosso Ammonitico.

Nel Dogger ed in parte del Malm prosegue la deposizione con i Calcari Detritici, formati da calcari Filaments, a cui si trovano sovrapposti i Calcari Selciferi e Marne ad Aptici, costituiti da calcari e Calcari Selciferi alternati a livelli e strati di selce, contenuti abbondanti Aptici.

Nell'intervallo Totonico-Barremiano, nel bacino abbiamo la deposizione della Maiolica, costituita da un calcare micritico, biancastro, ben stratificato, a cui seguono le marne e marne calcaree policrome delle Marne a Fucoidi.

Nell'Aptiano inizia la sedimentazione dei calcari e calcari marnosi biancastri e rosati, costituenti le formazioni della Scaglia Bianca, Rossa e Variegata, superiormente troviamo la Scaglia Cinerea, rappresenta da una successione di calcari marnosi e marne la serie è chiusa dai calcari scuri con selce nera in strati e lenti, appartenenti alla Formazione del Bisciario.

Tali formazioni le ritroviamo a partire da ovest, lungo la dorsale Calvi-Narni-Amelia, che pro-

segue poi in quella del monte Peglia, nei monti Martani e lungo i monti che bordano la Valnerina, sino ai confini della provincia.

Il complesso terrigeno, comprende le formazioni depostesi tra il Paleocene superiore ed il Miocene superiore, l'origine di queste formazioni, legate principalmente al Dominio Toscano, è legata a processi sedimentari di natura torbiditica, con alternanza di livelli arenacei, calcareniti, marne ed argille.

Questi comprendono i litotipi delle marne ed argilliti dell'Insieme Varicolori, considerato equivalente agli Scisti Policromi e dalle soprastanti arenarie quarzoso-feldspatiche, in banci, appartenenti alle Arenarie del Trasi-meno-Macigno, che affiorano nella parte occidentale della provincia, sino a sud di monte Peglia; nel complesso terrigeno possiamo includere anche la Formazione Marnoso-Arenacea appartenente al Dominio Umbro-Marchigiano sempre legata ad ambienti deposizionali di tipo torbiditico.

Al di sopra di questi due complessi si ritrovano in affioramento sia i litotipi del complesso vulcanico che quelli terrigeni marini.

Quest'ultimo comprende sia i depositi legati al ciclo sedimentario marino che i depositi continentali legati al riempimento di bacini lacustri ed a depositi essenzialmente fluviali, subordinatamente da detriti di pendio.

I sedimenti marini, presenti principalmente ad ovest della dorsale Narnese-Amerina, sono formati da argille, sabbie e conglomerati ed ascrivibili cronologicamente all'intervallo Pliocene inferiore - Pleistocene inferiore.

I sedimenti continentali, di origine lacustre, palustre e fluviale, si rinvengono tra le dorsali dei monti di Narni-Amelia e monte Peglia da un lato ed i monti Martani e della Valnerina dall'altro.

Questi sedimenti, principalmente di età plio-pleistocenica, sono legati nella maggior parte al colmamento dell'antico Bacino Tiberino ed in particolare del suo ramo occidentale, comprendono le formazioni di Fosso Bianco e di Ponte Naia, rispettivamente di ambiente lacustre e di conoide alluvionale, ascrivibili al Pliocene e le formazioni di Santa Maria di Ciciliano ed Acquasparta, di piana alluvionale la prima e legati a piccoli laghi la seconda, ascrivibili al Pliocene superiore - Pleistocene inferiore.

Oltre a tali formazioni sono presenti depositi continentali fluviali, anche terrazzati, coltri detritiche di versante e travertini.

Questi depositi, per lo più recenti, comprendono sedimenti accumulatisi in tempi recenti, lungo le pianure alluvionali e le valli ombre, i detriti presenti sui versanti e alla base di questi, i travertini di origine per lo più idrotermale, posti prevalentemente ai margini delle dorsali, e i travertini di ambiente di cascata (cascata delle Marmore).

I litotipi del complesso vulcanico, presenti principalmente nell'area nord-occidentale della provincia, comprendono depositi del Pleisto-

cene, formati a seguito delle eruzioni vulcaniche dell'area Vulsina, che poggiano su argille plioceniche di origine marina.

Manifestazioni di attività magmatica profonda, si rinvencono, con caratteristiche di unicità nei pressi di San Venanzo e di Colpetrazzo. Il vulcano di Pian di Celle ed il vicino vulcano di San Venanzo presentano, infatti, caratteristiche più uniche che rare non solo in Italia ma nel mondo intero; il nucleo antico del paese di San Venanzo, è costruito su un bastione di tufo, a forma di mezzaluna, che abbraccia a Sud una conca ellittica che costituisce l'area craterica; l'importanza della manifestazione vulcanica di quest'area è riconducibile al fatto che i materiali lavici e piroclastici sono qui costituiti da rocce e minerali rarissimi in combinazione con la presenza di condotti vulcanici simili ai camini kimberlitici, i cosiddetti "diatemi".

Nell'area di Colpetrazzo si sono individuati degli affioramenti di piroclastiti (Stoppa *et alii*, 1991, 1992, 1994 e 1995) già in precedenza individuate da vari autori seppure non cartografate, costituenti un *plateau* di bastioni e delta piroclastici, raccordati con depositi epiclastici; sono stati individuati inoltre, sulla base d'indizi morfologici e sedimentologici, tre probabili centri d'emissione (Colpetrazzo, Torre Lorenzetta e Colle Pulcino), costituiti da colli di forma conica e cima piatta, caratterizzati da maggiori spessori di piroclastiti a granulometria grossolana.

Le facies individuate, varie e difficilmente correlabili per tutta l'area di affioramento, possono essere sinteticamente descritte come una breccia stratoide, con clasti calcarei micritici e silicei, a spigoli vivi, in una matrice cineritica da scarsa a prevalente, con intercalazioni cineritiche, spessore totale 8 m, (facies a), livelli di tufi cineritici chiari ricchi in cristalli (facies b, c, d), livelli di clasti sedimentari in matrice piroclastica e livelli cineritici, spessore totale 6 m (facies e), deposito cineritico massivo, od a banchi con nuvole di cristalli di pirosseni ed olivina, spessore da 3 m a 15 m, (facies f), dune metriche con lapilli sottili e cenere grossolane, ricche di cristalli (facies g), depositi alluvionali, ciottolosi in matrice argillosa rossastra, canalizzati nelle piroclastiti sottostanti (facies h).

L'intera sequenza è interpretata come il risultato di energetiche esplosioni di tipo freatomagmatico, coinvolgenti depositi detritici di pendio preesistenti, interessati da falda acquifera, con meccanismi di messa in posto legati ad ondate piroclastiche e ricadute; essenziale la tettonica distensiva plio-pleistocenica, guidata dalla "Faglia dei Martani" per la risalita del materiale magmatico, l'età è Pleistocene medio (0,39 milioni di anni).

#### 9.2.1.2 Tettonica

Per quanto riguarda l'evoluzione tettonica dell'area, dopo la fase disgiuntiva del Lias medio, che, tramite una faglia distensiva a direzione attuale nord-sud, ha causato la delimitazione

fra l'area a sedimentazione pelagica (bacino umbro-marchigiano) e quello neritico di piattaforma carbonatica (laziale-abruzzese) (Castellarin, Colacicchi e Praturlon, 1978), si assiste durante l'ultima parte del Giurassico, il Cretacico ed il Paleogene ad una stasi dell'attività, che viene interrotta da brevi fasi tettoniche legate alla variazione del ritmo di subsidenza, durante il Cretacico superiore.

Nel Miocene superiore, quest'area viene investita da una fase tettonica compressiva, l'area umbro-marchigiano-sabina si solleva mentre la piattaforma laziale-abruzzese, con continui collassi, si disarticola in diversi blocchi, alcuni dei quali emergono.

L'attuale assetto tettonico è il risultato di successivi eventi tettonici sviluppatosi nell'Italia Centrale negli ultimi 15 milioni di anni, a partire dal Serravalliano, con una serie di fasi compressive, nel Pliocene, in seguito al perdurare delle spinte verso est, le unità umbrosabine si accavallano sulla piattaforma laziale-abruzzese lungo la linea Olevano-Antrdoco-Posta; legato alle spinte compressive verso est è anche l'accavallamento delle unità del Dominio Toscano al di sopra di quello umbro-marchigiano.

Nel Pliocene superiore e nel Pleistocene continuano gli sforzi compressivi della tettonogenesi nel margine adriatico dell'Appennino, mentre nel margine tirrenico iniziano a manifestarsi imponenti sforzi distensivi che, tramite grandi sistemi di faglie dirette, generalmente a direzione appenninica, ribassano vaste aree dando origine ad alti e bassi strutturali (tipo Horst e Graben).

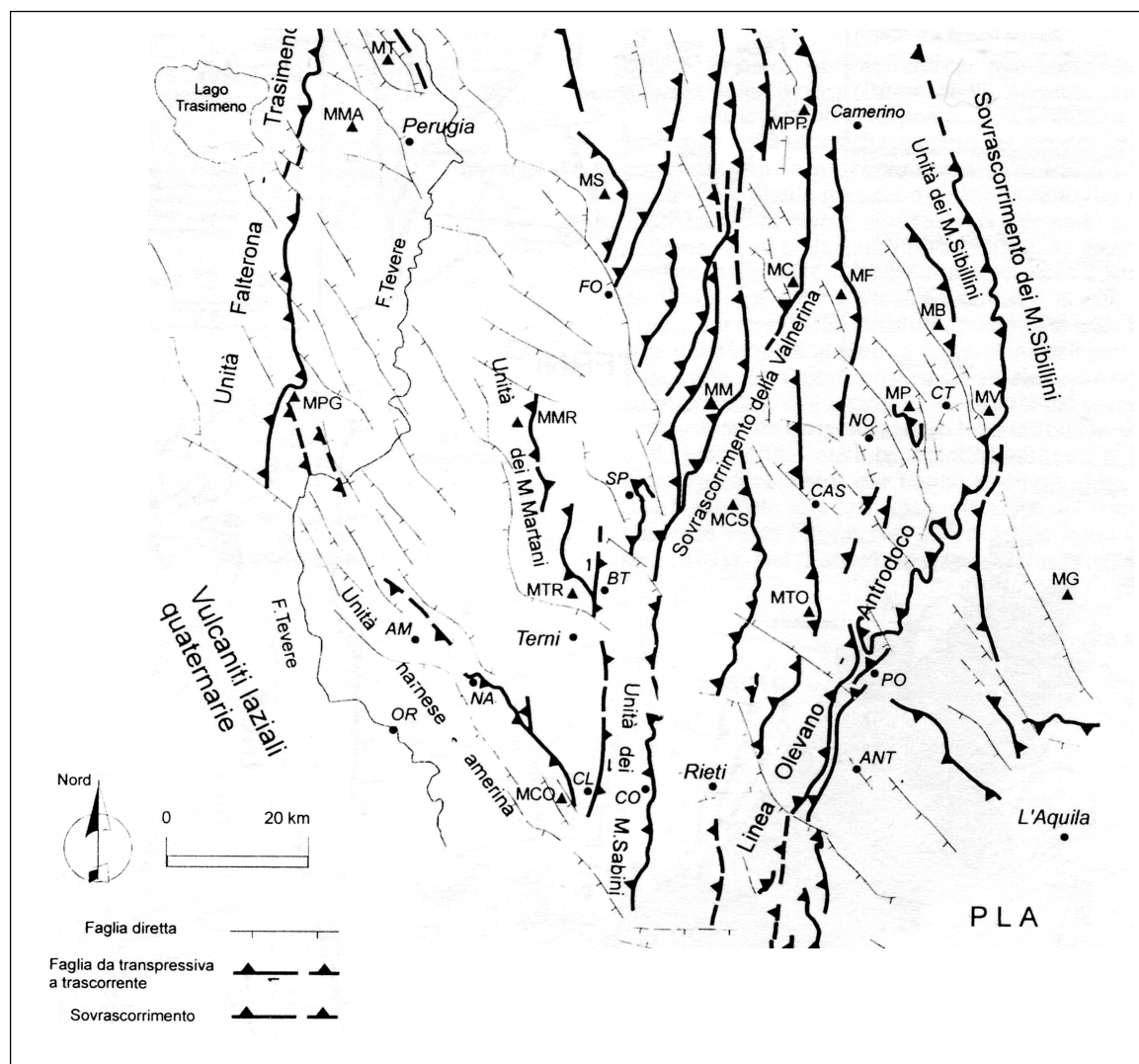
Nelle aree costiere maggiormente ribassate si assiste ad un'ingressione marina con deposizione di complessi argilloso-sabbioso-conglomeratici, nelle aree interne si ha la formazione delle depressioni intrappenniniche e l'instaurarsi dei bacini plio-pleistocenici con una deposizione clastica di facies prima lacustre e successivamente fluvio-lacustre (Bacino Tiberino).

Dal punto di vista strutturale, l'assetto tettonico è costituito da una serie di deformazioni, orientate in senso meridiano, nella parte orientale e a direzione appenninica in quella occidentale, entrambe a vergenza orientale; la diversa orientazione delle struttura (virgazione umbra) è legata a componenti oblique nella deformazione da ricollegarsi all'esistenza di discontinuità tettoniche giurassiche, riattivate durante la fase compressiva.

All'interno di tutta l'area le dorsali originate dall'azione compressiva, sono formate da pieghe e pieghe rovesciate, pieghe faglie, accavallamenti e sovraccorrimenti, caratterizzate da fenomeni di vicarianza e complicate dall'azione di dislocazioni a carattere distensivo, che tramite abbassamenti e basculamenti hanno anche determinato la formazione dei bacini intramontani e delle principali valli (tav. 9.4).

Sebbene se non in maniera predominante, nel territorio provinciale i depositi maggiormente

Tav. 9.4 - Schema tettonico-strutturale dell'Appennino Centrale



Fonte: Deiana, Piali, 1994.

presenti sono ascrivibili alle formazioni della Successione umbro-marchigiana e toscana che si estendono da nord a sud ed investono la fascia centrale ed orientale del territorio in esame presentando, più propriamente, direzione circa NO-SE.

Nel settore più occidentale del territorio provinciale l'assetto geologico è guidato dalla presenza della dorsale narnese-amerina, una struttura anticlinale con direzione assiale NNO-SSE in cui al nucleo si rinvencono i terreni più antichi (dolomie e calcari dolomitici di età triassica) ed ai fianchi i termini più giovani di età cretacea (formazioni della Maiolica, Marne a Fucoidi ed il complesso della Scaglia).

I terreni appartenenti alla successione Toscana sono costituiti da una successione di litofacies che va dal Calcare Cavernoso del Trias superiore al Macigno dell'Oligocene; nei pressi dell'abitato di Allerona, si può riscontrare la presenza di ofioliti (lambi di crosta oceanica e di mantello sovrascorsi su aree continentali durante la subduzione di un braccio oceanico, e comprendono peridotiti più o meno serpenti-

nizzate, gabbri e basalti) appartenenti al complesso delle Unità di Facies Ligure ed Austroalpina interna e, più propriamente all'interno della formazione argilloso calcarea di Santa Fiora costituita prevalentemente da sequenze torbiditiche arenaceo-pelitiche o calcarenitico-lutitiche.

Il fianco occidentale della struttura geologica anticlinale dei Monti Narnesi-Amerini, viene raggiunto da depositi vulcanici appartenenti alla provincia vulcanica *s.l.* Laziale di età deposizionale pleistocenica, soprattutto nella regione settentrionale andando ad interessare i territori comunali di Castel Viscardo, Porano, Castel Giorgio e Orvieto (parte occidentale); tale abitato è ubicato su depositi piroclastici, potenti circa 70 metri, poggianti su argille plioceniche, formati a seguito dell'attività vulcanica vulsina di circa 315.000 anni; in geomorfologia tale struttura è definita "mesa" poiché la placca tufacea è stata ritagliata da profondi solchi di erosione.

L'evoluzione geologica ha determinato, per il territorio della provincia di Terni, la distribu-

zione spaziale dei litotipi di seguito descritta. Nel settore ribassato, che si estende sino alla valle del Tevere, al di sopra delle formazioni carbonatiche della successione umbro-marchigiana che fungono da substrato, si rinvencono potenti spessori di depositi clastici di età plio-pleistocenica ed olocenica di origine marina e continentale.

Tali depositi sono costituiti alla base dalle argille azzurre di età pliocenica e superiormente da argille e sabbie grigie di età pleistocenica, entrambe legate alle trasgressioni del mare che, in tali periodi, arrivava a lambire i versanti occidentali della dorsale montana.

In alcuni settori si rinviene una successione di argille, limi e sabbie di origine lacustre ed età pliocenica e pleistocenica, tra loro in complessi rapporti di eteropia di facies laterale.

Tali sedimenti, presenti in parte nel settore occidentale, interessano localmente i territori comunali di Narni ed Amelia (parte occidentale), Penna in Teverina, Baschi e Montecchio, mentre sono predominanti nella zona settentrionale.

In prossimità delle aste fluviali del fiume Tevere e dei suoi affluenti, si rinvencono i lembi di depositi alluvionali terrazzati, associati ad essi localmente affiorano tavolati travertinosi dallo spessore limitato; depositi di travertini si rinvencono diffusamente anche nel settore centrale del territorio provinciale, nei pressi dell'abitato di Acquasparta; questi, disposti in direzione circa nord-sud, possiedono una buona estensione laterale.

I termini più propriamente legati alla successione deposizionale umbro-marchigiana sono localizzati nella parte centro-meridionale interessando i territori comunali di Narni, Amelia, Penna in Teverina a sud (dove affiorano anche i termini più antichi legati agli ambienti di piattaforma), estendendosi fino ai territori comunali di Montecchio, Baschi ed, in parte, Orvieto nel settore centrale.

I sedimenti appartenenti alla Successione toscana si rinvencono esclusivamente nel settore settentrionale ed interessano i territori comunali di San Venanzo, Parrano, Montegabbione, Ficulle ed, in parte, Orvieto.

Nella zona orientale del territorio provinciale (comuni di Arrone, Ferentillo, Terni, San Gemini e Acquasparta) c'è una predominanza dei depositi appartenenti alla Successione umbro-marchigiana; tra questo settore più orientale e l'altro sopra descritto, più occidentale, trovano collocazione i termini di sedimentazione continentale depositi nella Conca ternana.

La Conca di Terni è una depressione intramontana, con geometria subrettangolare, di origine tettonica, risultato delle intense fasi tettoniche distensive che a partire dal Miocene superiore hanno interessato questa parte dell'Appennino Centrale determinando, tramite grandi faglie a direzioni generali est-ovest e nord-sud, il ribassamento del settore e l'instaurarsi nel Pliocene superiore di un bacino

lacustre (ramo occidentale del Bacino Tiberino).

La depressione presenta un riempimento rappresentato da un potente spessore di depositi di origine continentale e facies lacustre, costituiti da un'alternanza di argille, sabbie e conglomerati in frequenti eteropie di facies.

Gli eventi succedutisi nel Quaternario hanno determinato il graduale riempimento del lago con l'instaurarsi di un reticolo fluviale che ha permesso la deposizione di spessori, potenti ed estremamente variabili per granulometria e distribuzione areale, di sedimenti di facies fluvio-lacustre, come limi, sabbie e ghiaie, di età Plio-Pleistocene, che interessano la maggior parte del territorio comunale di Terni, San Gemini, Avigliano ed Acquasparta, fino a raggiungere parte del territorio comunale di Baschi (parte orientale).

In particolare, la pianura alluvionale del fiume Nera è caratterizzata dalla presenza dei depositi alluvionali di età olocenica che, con spessori variabili, poggiano sui sedimenti lacustri più antichi.

### 9.2.2 Geomorfologia

La Provincia di Terni è un settore caratterizzato da un territorio prevalentemente collinare e montuoso, soggetto a varie forme di erosione e dissesto.

Nel territorio sono presenti numerosi dissesti idrogeologici riconducibili essenzialmente a processi morfogenetici legati alla dinamica di versante od alla dinamica fluviale.

Le tipologie maggiormente individuate, per quanto riguarda i processi morfogenetici della dinamica di versante, sono riconducibili ad elementi morfologici quali orlo di scarpate (e/o nicchie di frana), frane recenti, paleofrane, dissesti superficiali (soliflusso) e colamenti mentre i processi morfogenetici legati alla dinamica fluviale riguardano la presenza di conoidi di deiezione, di aree calanchive, erosione areale per ruscellamento, aree golenali o di possibile esondazione; sono presenti, inoltre, corsi d'acqua con eventi storici di esondazione che hanno interessato sia aree agricole che aree urbanizzate e corsi d'acqua con situazione d'instabilità per forte erosione spondale e/o di fondo.

Tali elementi morfologici sono intimamente correlati all'assetto geolitologico e strutturale del territorio.

Nei settori di affioramento dei terreni ascrivibili alla Successione umbro-marchigiana, proprio per l'essere costituite da litotipi prevalentemente di natura carbonatica, gli elementi morfogenetici legati alla dinamica di versante si limitano a scarpate e/o alla presenza di frane per crollo di blocchi litoidi così come nelle aree interessate dalla presenza delle piroclastiti di natura vulcanica; è il caso della rupe di Orvieto dove sono presenti fenomeni di crollo dovuti all'opera di scalzamento operato da processi erosivi e dalla fessurazione del materiale piroclastico.

Analogo comportamento presentano i travertini litoidi che, localmente interessati da cavità ipogee e da strutture di ciglio in aggetto, unitamente alla fratturazione sono interessati, come in prossimità della Cascata delle Marmore, da frane di crollo.

Diversa è invece la situazione nei terreni incoerenti (sabbie e ghiaie) o coesivi (argille e limi) appartenenti alle formazioni continentali e marine ed ad alcuni termini della Successione toscana e/o vulcanica dove le tipologie di dissesti idrogeologici sono riconducibili maggiormente a dissesti superficiali diffusi ed a movimenti lenti di versante classificabili come colamenti e solo subordinatamente a frane (recenti o paleofrane) in cui sia possibile individuare un corpo di frana ed una nicchia di distacco.

Si nota come tali fenomeni siano localizzati prevalentemente nella parte settentrionale del territorio provinciale dove si riscontrano le caratteristiche aree calanchive, impostate su terreni argillosi con direzione NO-SE ricalcando le aree di affioramento delle formazioni marine; tali aree calanchive caratterizzano i territori comunali di Attigliano, Penna in Teverina, Alviano fino, più a nord, di Ficulle e Fabro ed, inoltre, nella parte orientale del settore centro-settentrionale del territorio provinciale, in prossimità dei territori comunali di San Venanzo ed Orvieto.

I settori centro-meridionale ed occidentale del territorio provinciale sono caratterizzati maggiormente dalla presenza di colamenti e subordinatamente di frane complesse, in quanto in tali aree sono diffusi in affioramento i depositi di origine marina e quelli di origine continentale legati al Bacino Tiberino.

In prossimità delle zone di raccordo tra i rilievi carbonatici e le aree di fondovalle si riscontra la presenza dei conoidi di deiezione; la situazione più rappresentativa di questa tipologia si può riscontrare al bordo settentrionale della Conca ternana al raccordo con i monti Martani. Nel territorio provinciale sono inoltre presenti dei dissesti idrogeologici legati alla dinamica fluviale individuati in erosione areale per ruscellamento, in aree golenali e/o di esondazione localizzate soprattutto lungo i corsi d'acqua principali quali il fiume Tevere (andando a lambire i territori comunali di Giove, Penna in Teverina, Attigliano e la parte più orientale del comune di Narni), il torrente Paglia (interessando il tratto che corre all'interno del territorio comunale di Orvieto - zona Ciconia - e la parte più meridionale del territorio comunale di Allerona), il torrente Chiani (parte settentrionale del territorio provinciale) ed, infine, il fiume Nera nel tratto compreso tra la città di Terni e quella di Narni; sono in aggiunta presenti, lungo le aste fluviali principali e/o secondarie, dissesti causati da corsi d'acqua che hanno interessato aree agricole o urbane e da corsi d'acqua con situazioni di instabilità per forte erosione spondale e/o di fondo (**tavv. 9.5a-9.5b e Legenda**).

Un'analisi di maggior dettaglio del territorio

provinciale permette di descrivere con più precisione i dissesti idrogeologici legati sia alla dinamica di versante che alla dinamica fluviale s.l.

Nella valle del Nera e valle del Tescino non si riscontrano elementi morfogenetici particolari ad esclusione di diffusi, ma dimensionalmente limitati, conoidi di deiezione e di alcune frane recenti cartografabili nell'area compresa tra il versante sinistro della valle del Nera e il fosso Rosciano; per quanto riguarda i dissesti segnalati, essi riguardano eventi di esondazione, del fiume Nera (tratto Arrone - Cascata delle Marmore) e del fosso Rosciano (tratto Ponte Canale - Arrone), che interessano prevalentemente aree agricole.

Da segnalare il dissesto per erosione spondale della rupe della Cascata delle Marmore, e dell'abitato di Montefranco, dichiarati da consolidare, mentre l'abitato di Ampugnano di Ferentillo risulta segnalato.

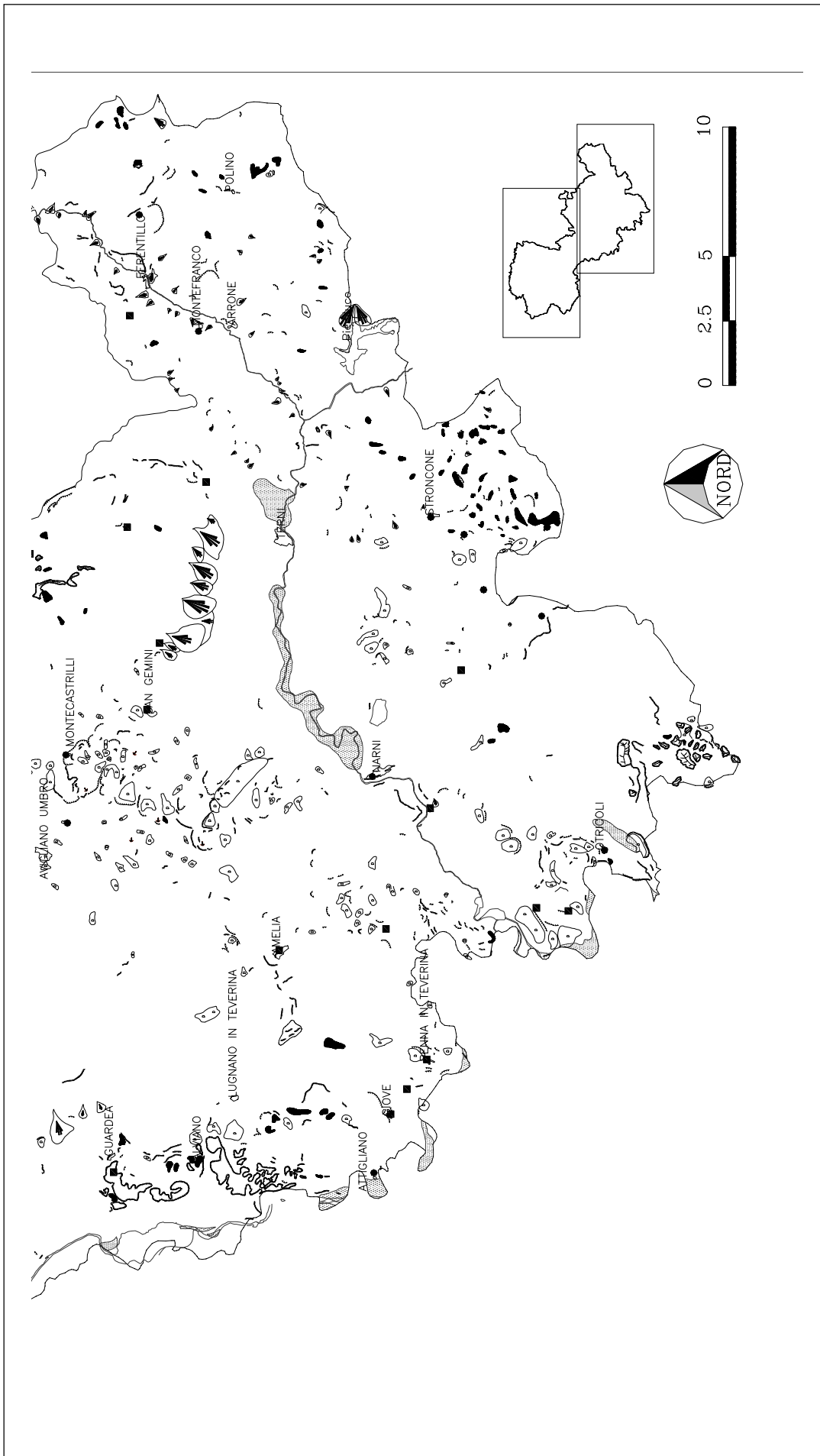
Nella zona compresa tra i monti di Miranda e Stroncone e la bassa Valnerina e monti di Polino, si evidenziano come elementi morfogenetici prevalenti, una frana recente di media dimensione nell'area di Castellonalto ed alcune frane localizzate; diffusi i corsi d'acqua a forte erosione di fondo mentre nel settore Miranda-Stroncone-Finocchietto c'è presenza di zone di erosione areale per ruscellamento, numerose le scarpate morfologiche; non sono state segnalate situazioni di dissesto diffuso se non le esondazioni del fiume Nera (tratto confine provinciale - Ferentillo) e del fosso La Sargiola in prossimità dell'abitato di Polino; gli abitati di Stroncone e Finocchietto sono soggetti a dissesto, dichiarati da consolidare, mentre quello di Castellonalto è segnalato.

Nella zona dei monti Martani si riscontrano come elementi morfogenetici prevalenti, i numerosi corsi d'acqua a forte erosione di fondo, ampi settori ad erosione calanchiva nella alta Valserra e numerose scarpate morfologiche nella bassa Valserra; al margine meridionale ed occidentale di quest'area, sono presenti estesi conoidi di deiezione legati ai corsi d'acqua, di raccordo con le aree a debole acclività; si segnalano situazioni di esondazione nei tratti mediani dei fossi che scendono verso la Conca ternana; gli abitati di Cesi, Rocca San Zenone, Appecano e Porzano, sono segnalati a rischio di dissesto.

Nella zona che comprende la Conca ternana si evidenziano come elementi morfogenetici prevalenti, gli estesi conoidi di deiezione della fascia pedemontana a Nord, alcune frane localizzate nelle aree collinari meridionali e le ampie aree golenali e di possibile esondazione legate al fiume Nera; per gli eventi di esondazione segnalati, sono da considerare la quasi totalità dei fossi che scendono dai monti Martani e che interessano la parte nord dell'abitato di Terni, ed i tratti finali dei fossi Calamone, Tarquinio e Caldaro, per quest'ultimo gli alluvionamenti interesserebbero anche infrastrutture ed abitazioni; eventi di esondazione segnalati per il fiume



Tav. 9.5a - Carta geomorfologica del territorio della Provincia di Terni: parte sud



Fonte: Provincia di Terni, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), rielaborazione Uffreduzzi, 2003.



## Legenda della carta geomorfologica del territorio della Provincia di Terni

ELEMENTI MORFOGENETICI	
DINAMICA DI VERSANTE	DINAMICA FLUVIALE
	Scarpata morfologica e/o ciglio di scarpata di frana (i trattini indicano il lato di valle)
	Frana recente, di dimensioni cartografabili (corpo di frana e nicchia di distacco)
	Frana antica o paleofrana, di dimensioni cartografabili (corpo di frana e nicchia di distacco)
	Frana di dimensioni non cartografabili
	Area di dissesto prevalentemente superficiale
	Colamento - movimento lento di versante
	Conoide di deiezione
	Area calanchiva
	Erosione areale per ruscellamento
	Area golenale e/o di possibile esondazione
DISSESTI SEGNALATI	
	Dichiarato da consolidare o trasferire
	Segnalato potenzialmente vulnerabile
CENTRO ABITATO CON DISSESTI	

Nera nel tratto stabilimento Montedison - ponte di Augusto, che interesserebbero anche zone industriali; a sud dell'abitato di Terni vengono segnalati eventi di esondazione per il torrente Il Fossato, il fosso di Vallecaprina ed il fosso di Valenza, che interesserebbero anche aree urbanizzate.

Nelle colline interne di Sangemini, Acquasparta ed Avigliano si evidenzia come elemento morfogenetico prevalente l'estesa area a forte concentrazione di frane recenti, colamenti e dissesti superficiali, che si estende da La Cerqua (a nord di Narni Scalo) sino a Montecastrilli-Casteltodino, nonché le aree con analoghe caratteristiche che interessano, nel settore settentrionale, Rosaro-Sismano ed Acqualoreto-Collelungo; da evidenziare la situazione di esondabilità di alcuni tratti del fosso Bianco (Montecastrilli) e del torrente Naia (Selvarelle Basse); gli abitati di Montecastrilli, Quadrelli ed Acqualoreto sono soggetti a dissesto, dichiarati da consolidare, mentre quelli di San Gemini, Rosaro e Collelungo sono segnalati.

Nel settore interessante le colline interne del torrente LAia si riscontrano, come elementi morfogenetici prevalenti, alcune frane localizzate nelle aree a ridosso dei versanti orientali (Coppe); da evidenziare la situazione di esondabilità diffusa del torrente LAia e dei suoi affluenti torrente Fara e fosso di Vasciano, nel tratto sino alla località Molino Cipiccia.

Gli abitati di Coppe ed Aguzzo sono soggetti a

dissesto, dichiarati da consolidare, mentre quello di L'Altrocanto è segnalato.

Nella zona dei monti Narnesi ed Amerini si riscontrano come elementi morfogenetici prevalenti, i numerosi corsi d'acqua a forte erosione di fondo, numerose scarpate morfologiche poste soprattutto in corrispondenza di corsi d'acqua a direzione trasversale (gole di Stifone, valli del Rio Grande), estesi conoidi di deiezione legati ai corsi d'acqua, di raccordo con le aree a debole acclività (zona di Guardea-Montecchio), alcune frane e dissesti, localizzati soprattutto nel settore centrale (zona di Amelia); le uniche situazioni di eventi di esondazione segnalati che interessino infrastrutture sono limitate al fosso della Pasquarella (strada per il santuario) ed il fosso di Grande, nel tratto prossimale Sambucetole; situazioni di forte erosione spondale sono legati al Rio Grande ed al fosso di Macchie, ad ovest di Amelia; gli abitati di Vasciano e Narni sono soggetti a dissesto, dichiarati da consolidare, mentre quelli di Taizzano ed Amelia sono segnalati.

Nelle colline esterne di Otricoli, Amelia e Montecchio si riscontrano due elementi morfogenetici prevalenti; i settori in cui è presente erosione calanchiva (soprattutto nelle aree a sud-est di Otricoli, Attigliano, Alviano e ad ovest di Guardea, tra Baschi e Montecchio); ed i settori caratterizzati da estese frane recenti, colamenti e dissesti prevalentemente superficiali, che rinvergono nell'area di Penna, a nord

di Otricoli, Montecampano e nord di Civitella; le situazioni di esondazione segnalate riguardano il fosso Silla in località Molino Silla ed i fossi di Alviano e Pupigliano in località Stazione di Alviano, mentre alvei fluviali in instabilità per erosione spondale e di fondo si riscontrano prevalentemente nell'area tra Montecchio e la valle del Tevere; gli abitati di Otricoli, Alviano e Civitella di Baschi e Baschi, sono soggetti a dissesto, dichiarati da consolidare, mentre quelli di San Vito, Guadamello, Montecampano, Penna, Case Pescicoli, Giove e Guardea sono segnalati.

Nella Valle del Tevere l'elemento morfogenetico prevalente è costituito dalle aree golenali e di possibile esondazione del Tevere, individuate prevalentemente nei tratti prospicienti Alviano-Attigliano-Giove e Penna-Orte-Otricoli-Gallese; le situazioni di esondazione segnalate riguardano il fiume Tevere nei tratti golenali prospicienti Otricoli, Penna e Attigliano dove potrebbe interessare anche infrastrutture; inoltre, sono segnalati dissesti dovuti ad erosioni di sponda nel tratto Baschi-Lago di Alviano e sulle sponde del Lago di Corbara.

Nella Valle del Paglia si riscontrano come elementi morfogenetici prevalenti, le aree golenali e di possibile esondazione del fiume Paglia, individuate nel tratto stazione di Allerona - area a valle di Orvieto; i diffusi settori ad erosione calanchiva delle aree più di versante, le scarpate morfologiche di raccordo con il *plateau* vulcanico dell'area di Orvieto e di lembi isolati nella valle (Orvieto), talora in frana; da evidenziare le situazioni di esondabilità del fiume Paglia (fosso Pozzangone - confluenza torrente Romealla - stazione di Allerona) che interessa anche abitato ed infrastrutture, del torrente Chiani e fosso Carcaione in prossimità dell'abitato di Ciconia, del fiume Paglia da Ciconia alla confluenza con il Tevere (che interessa zone prevalentemente agricole), del fosso Albergo La Nona che interesserebbe l'abitato di Sferrocavallo; l'abitato di Orvieto è soggetto a dissesto, dichiarato da consolidare, mentre quelli di Rocca Ripesena e Palombara sono segnalati.

Nell'area del tavolato di Castel Viscardo e Porano sono scarsi gli elementi morfogenetici, individuati soprattutto in numerose scarpate morfologiche e aree di frane recenti legate ai corsi d'acqua ad accentuata erosione lineare; sono segnalate limitate situazioni di dissesto ed esondazione in vicinanza di Porano; gli abitati di Porano e Viceno sono soggetti a dissesto, dichiarati da consolidare, mentre quelli di Sugano e Benano sono segnalati.

Nell'area del monte Rufeno e Selva di Meana si evidenziano come elementi morfogenetici prevalenti, i numerosi corsi d'acqua a forte erosione di fondo e laterale, le estese aree in frana recente e dissesti superficiali (zona di Allerona) nonché diffusi colamenti superficiali; gli eventi di esondazione segnalati interessano i fossi prospicienti Allerona (fosso Rivarcale, fosso Rivassene e fosso Ripuglie) che coinvolgono

zone agricole; l'abitato di Allerona è soggetto a dissesto, dichiarato da consolidare.

Nelle colline di Orvieto e di Montegabbione si riscontrano come elementi morfogenetici prevalenti, nell'area orientale, i numerosi corsi d'acqua a forte erosione di fondo, gli estesi settori ad erosione calanchiva nelle aree di raccordo con la valle del Paglia, numerose scarpate morfologiche e dissesti (frane, colamenti e movimenti superficiali) nelle aree prossimali ai versanti collinari-montani; da evidenziare le segnalazioni di esondabilità del fosso Ripuglie sino alla confluenza con il fiume Paglia (Allerona - monte Rubiaglio), del torrente Chiani (a sud di Olevole) e del fosso del Molino (a nord di Montegabbione) che interessano prevalentemente aree agricole; corsi d'acqua con segnalazione di dissesti per forte erosione spondale e di fondo si riscontrano nel circondario dell'abitato di Ficulle; numerosi gli abitati soggetti a dissesto, di cui Ficulle, Carnaiola, Montegabbione e Monteleone di Orvieto, dichiarati da consolidare, mentre Olevole, Poggio della Fame e monte Rubiaglio sono segnalati.

Nella valle del torrente Chiani si riscontra come elemento morfogenetico prevalente, l'area golenale e di possibile esondazione del torrente Chiani, individuata nel tratto confine provinciale - Fabro - Carnaiola; da evidenziare le segnalate situazioni di esondabilità del fosso Mulinella e del suo affluente, che coinvolgono abitato ed infrastrutture (località Santa Maria di Monteleone di Orvieto); l'abitato di Fabro è soggetto a dissesto, dichiarato da consolidare. Nell'area del monte Peglia e di San Venanzo si riscontrano come elementi morfogenetici prevalenti i diffusi settori ad erosione areale per ruscellamento diffuso, ed alcune aree di dissesto franoso ed erosione calanchiva nel lato orientale; non si hanno segnalazioni di dissesti di particolare rilevanza legati ai corsi d'acqua; l'abitato di Parrano è soggetto a dissesto, dichiarato da consolidare, mentre l'abitato di Civitella dei Conti è segnalato.

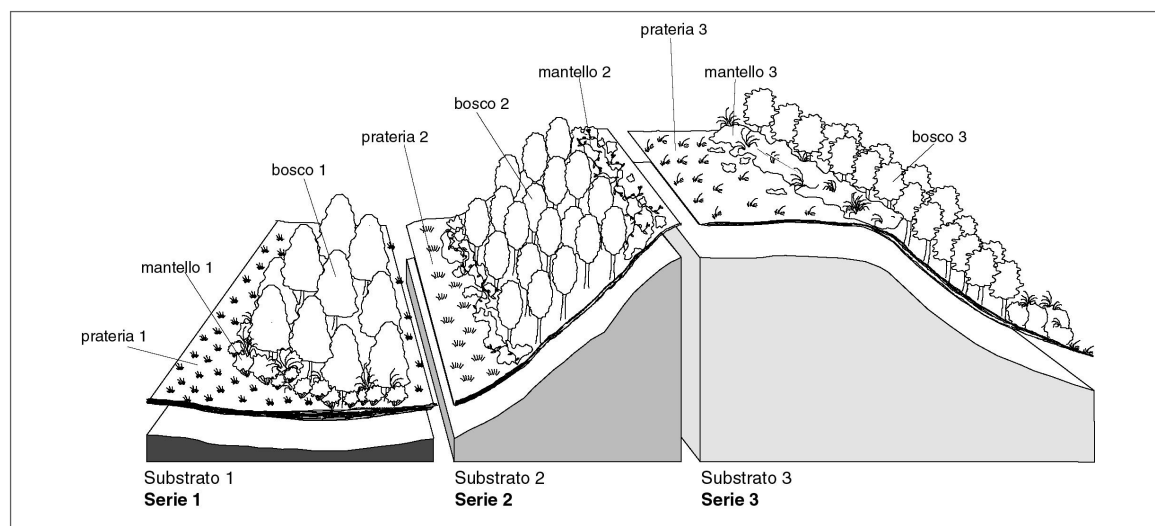
Nell'area compresa tra il fiume Tevere, Marsciano e Todi si riscontrano come elementi morfogenetici prevalenti, le aree di frana recente e dissesto generalizzato presenti nel settore ad est di Civitella dei Conti, Rotecastello e Ripalvella; gli abitati di Rotecastello e Ripalvella presentano dissesti segnalati.

### 9.3 Aspetti floristico-vegetazionali

#### 9.3.1 Introduzione

La serie di vegetazione (**fig. 9.1**) è il naturale punto di arrivo di chi si occupa dello studio sia dei tipi di vegetazione che dei loro rapporti dinamici; pertanto diviene lo strumento indispensabile, anche se poco conosciuto, per le attività applicative: infatti, con la descrizione della serie vengono prese in considerazione le caratteristiche floristico-strutturali in senso sintassonomico, quelle dinamiche (quali la testa del-

Fig. 9.1 - Esempio d'interpretazione e schematizzazione del paesaggio vegetale



la serie o stadio finale o climax in senso successionale e le comunità vegetali di sostituzione, stadi della successione primaria o secondaria) ed altre informazioni deducibili dall'analisi corologica (elemento corologico, biogeografia) ed ecologica (forma biologica). La Fitosociologia, disciplina che si occupa dello studio scientifico della vegetazione, ha acquisito negli ultimi anni un ruolo sempre più importante nello studio ecologico del paesaggio, nella progettazione ambientale, nella pianificazione territoriale e quindi nell'Ingegneria Naturalistica. Tale scienza ha saputo integrare varie discipline specialistiche e creare modelli speditivi d'interpretazione del paesaggio che tengono conto sia dei valori naturali che delle alterazioni antropiche, predittivi rispetto alle modificazioni e trasformazioni indotte sulla vegetazione dal variare delle condizioni ambientali, soprattutto prodotte dalle attività umane. Sulla base di quest'approccio scientifico sono state effettuate le indagini vegetazionali preliminari al PTCP della Provincia di Terni (Provincia di Terni, 1997) che hanno portato alla realizzazione della Carta delle Serie di vegetazione della provincia (Biondi *et al.*, 2000a; Id., 2000b; Id., 2001a; Id., 2001b; Biondi *et al.*, 2002). In questa sede, i risultati di tale analisi vengono messi a disposizione delle discipline applicate, quali l'Ingegneria Naturalistica, enucleando le informazioni specifiche.

### 9.3.2 Serie di vegetazione

Di seguito vengono elencate le Serie di vegetazione rappresentate dalla Carta con indicate le caratteristiche ambientali e climatiche dei territori ove si sviluppano e le principali specie guida utilizzabili sia per il riconoscimento della vegetazione ivi presente che per le opere di progettazione e ripristino ambientale. Uno schema tridimensionale illustra i rapporti tra le associazioni vegetali che compongono ciascuna Serie di vegetazione.

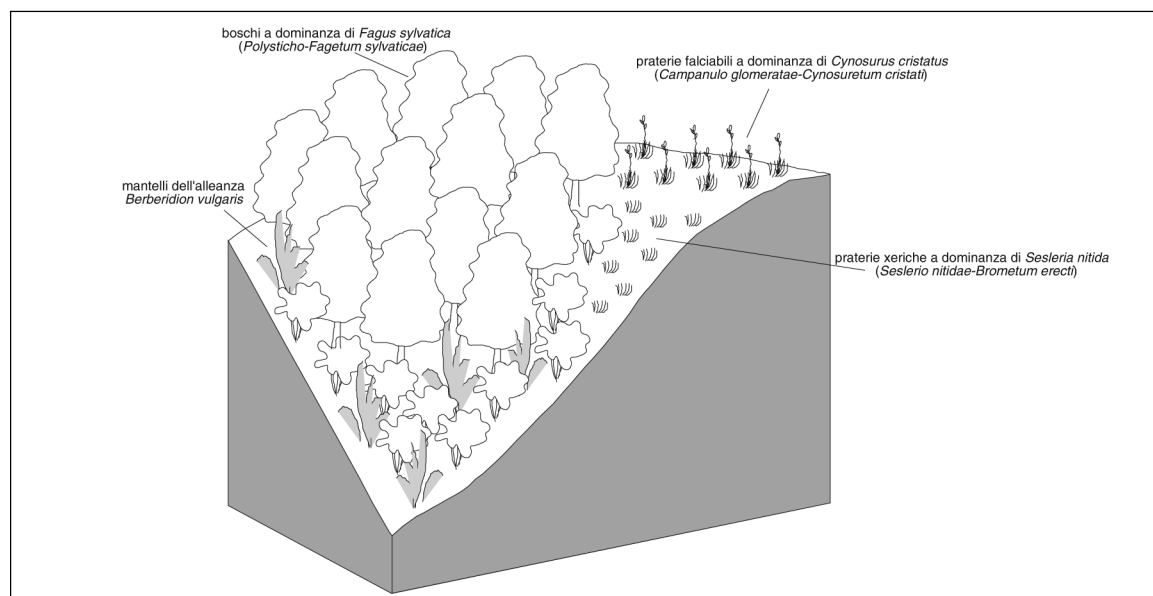
#### 9.3.2.1 Serie Appenninica montana mesofila neutro-basifila del faggio (*Polysticho aculeati - Fagetum sylvaticae sigmetum*)

Serie del piano montano dei settori calcarei appenninici presenti nella porzione orientale della provincia.

L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui mesofili neutro-basifili a dominanza di faggio (*Polysticho aculeati - Fagetum sylvaticae*), monospecifici nello strato arboreo o con specie tipiche dei boschi del piano bioclimatico sottostante (fig. 9.2).

- Principali caratteristiche ambientali riferite all'associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: (800) 1.000 ÷ 1.600 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: calcareo;
  - *morfologia*: da acclive a molto acclive;
  - *macroclima*: temperato.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.1**.
- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
  - boschi di *Fagus sylvatica* per lo più monospecifici nello strato arboreo (*Polysticho aculeati - Fagetum sylvaticae*) o con alberi provenienti dai boschi del piano bioclimatico sottostante quali *Acer obtusatum* o *Quercus cerris*, talvolta con *Ilex aquifolium* e *Taxus baccata* (*Polysticho aculeati - Fagetum sylvaticae taxetosum baccatae*);
  - prati-pascoli mesofili su suolo evoluto (*Briza mediae - Brometum erecti*).
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Ionopsidium savianum\**, *Paeonia officinalis\**, Orchidee (*Orchis.*, *Ophrys*, ecc.), *Fritillaria orsiniana*, *Veronica orsiniana*, *Viola eugeniae*, *Gentiana lutea*, *Carpinus betulus*.

Fig. 9.2 - Serie Appenninica montana mesofila neutro-basifila del faggio



Tab. 9.1 - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del Polysticho aculeati - Fageto sylvaticae sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

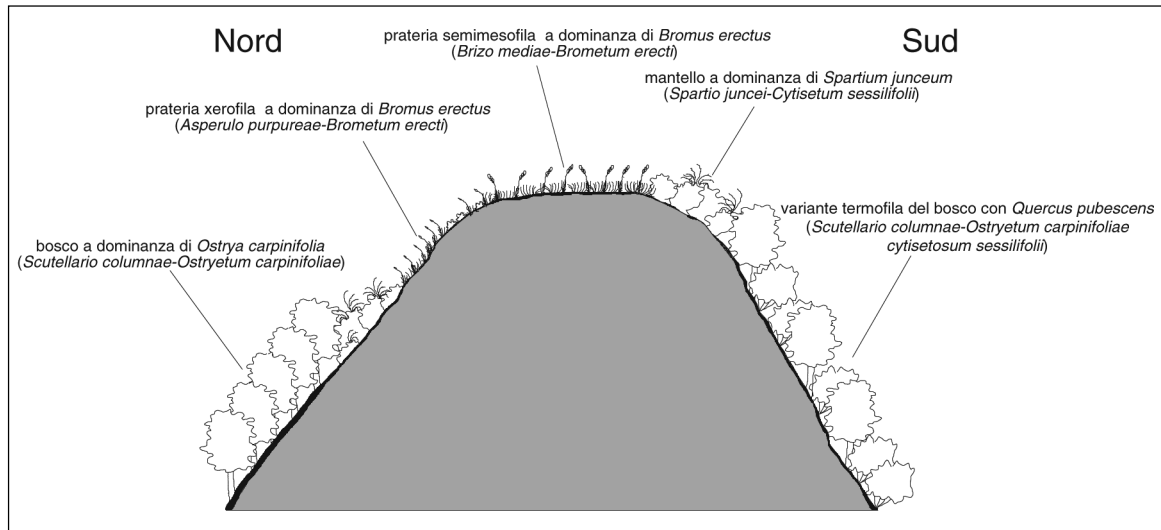
Erbacee e Cimefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Bromus erectus</i>	<i>Cytisus sessilifolius</i>	<i>Fagus sylvatica</i>
<i>Phleum ambiguum</i>	<i>Euonymus europaeus</i>	<i>Quercus petraea</i>
<i>Briza media</i>	<i>Coronilla emerus</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Trifolium pratense</i>	<i>Cornus mas</i>	<i>Sorbus domestica</i>
<i>Trifolium ochroleucum</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Acer obtusatum</i>
<i>Trifolium repens</i>	<i>Sorbus aria</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Lathyrus pratensis</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Castanea sativa</i>
<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Sorbus domestica</i>
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Amelanchier ovalis</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>
<i>Koeleria splendens</i>	<i>Cotoneaster integerrimus</i>	<i>Populus tremula</i>
<i>Cynosurus cristatus</i>	<i>Rhamnus alpina</i>	<i>Alnus viridis</i>
<i>Lolium perenne</i>	<i>Rosa sp. pl.</i>	
<i>Festuca rubra</i>		
<i>Sesleria nitida</i>		

### 9.3.2.2 Serie Appenninica collinare mesofila neutro-basifila del carpino nero (*Scutellario columnae - Ostryeto carpinifoliae sigmetum*)

Serie del piano collinare dei settori calcarei e calcareo-marnosi appenninici presenti nella porzione orientale della provincia. L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui mesofili neutro-basifili misti a prevalenza di carpino nero (*Scutellario columnae - Ostryetum carpinifoliae*) governati a ceduo (fig. 9.3).

- Principali caratteristiche ambientali riferite all'associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 500 ÷ 1.000 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: calcareo;
  - *morfologia*: da acclive a molto acclive;
  - *macrobioclima*: temperato.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.2**.

**Fig. 9.3 - Serie Appenninica collinare mesofila neutro-basifila del carpino nero**



**Tab. 9.2 - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie dello Scutellario columnae - Ostryeto carpinifoliae sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali**

Erbacee e Camediteche	Arbustive	Arboree
<i>Bromus erectus</i>	<i>Coronilla emerus</i>	<i>Ostrya carpinifolia</i>
<i>Phleum ambiguum</i>	<i>Spartium junceum</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Briza media</i>	<i>Colutea arborescens</i>	<i>Acer monspessulanum</i>
<i>Trifolium pratense</i>	<i>Cytisus sessilifolius</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Trifolium ochroleucum</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Acer obtusatum</i>
<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Crataegus oxyacantha</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Coronilla minima</i>	<i>Cornus mas</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Coronilla varia</i>	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Festuca circummediterranea</i>	<i>Juniperus communis</i>	
<i>Finops inops</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i>	
<i>Sesleria nitida</i>	<i>Prunus mahaleb</i>	
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Euonymus europaeus</i>	
<i>Cynosurus cristatus</i>	<i>Prunus spinosa</i>	
	<i>Rosa canina</i>	
	<i>Rosa arvensis</i>	
	<i>Staphylea pinnata</i>	

- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
  - prati-pascoli semimesofili su suolo evoluto (*Brizo mediae - Brometum erecti*);
  - prati-pascoli mesofili sfalciati (*Cynosurion cristati*).
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Ionopsidium savianum\**, *Paeonia officinalis\**, *Taraxacum palustre\**, *Crocus biflorus*, *Romulea columnae*, Orchidee (*Orchis*, *Ophrys*, ecc.),

*Fritillaria orsiniana*, *Veronica orsiniana*, *Viola eugeniae*, *Gentiana lutea*, *Carpinus betulus*.

**9.3.2.3 Serie Pre-appenninica collinare termofila neutro-basifila del carpino nero (*Asparagus acutifolii - Ostryeto carpinifoliae sigmetum*)**

Serie del piano collinare dei settori calcarei e calcareo-marnosi pre-appenninici presenti nella porzione centro-occidentale della Provincia.

L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui termofili neutro-basifili misti, a prevalenza di carpino nero e talvolta di cerro (*Asparago acutifolii* - *Ostryetum carpini-foliae*).

- Principali caratteristiche ambientali riferite all'associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 500 ÷ 1.000 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: calcareo;
  - *morfologia*: da acclive a molto acclive;
  - *macrobioclima*: temperato variante sub-mediterranea.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.3**.
- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
  - prati-pascoli semimesofili su suolo evoluto (*Phleo ambigu* - *Bromion erecti*).

- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: Orchidee (*Orchis*, *Ophrys*, ecc.).

**9.3.2.4 Serie Pre-appenninica collinare termofila neutro-basifila della roverella (*Roso sempervirentis* - *Querceto pubescentis sigmetum*)**

Serie del piano collinare dei settori calcareo-marnosi, marnosi, detritici ed argillosi preappenninici presenti nella porzione centro-occidentale della provincia.

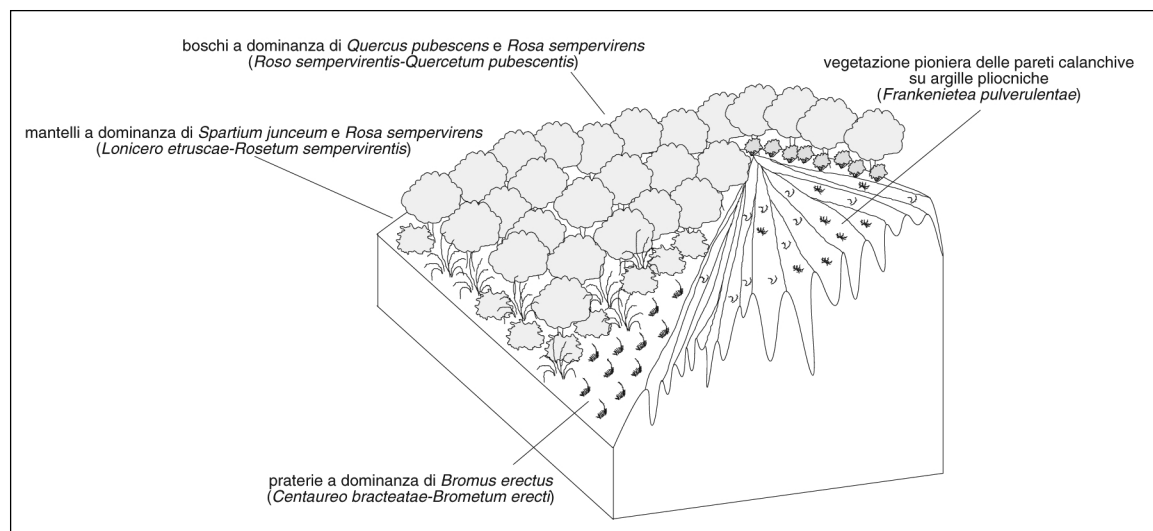
L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui termofili neutro-basifili misti a prevalenza di roverella (*Roso sempervirentis* - *Quercetum pubescentis*) caratterizzati da fisionomia aperta (**fig. 9.4**).

- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 50 ÷ 500 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: sud;

**Tab. 9.3** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie dell'*Asparago acutifolii* - *Ostryeto carpini-foliae sigmetum*, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Bromus erectus</i>	<i>Coronilla emerus</i>	<i>Ostrya carpini-folia</i>
<i>Phleum ambigu</i>	<i>Spartium junceum</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Briza media</i>	<i>Colutea arborescens</i>	<i>Acer monspessulanum</i>
<i>Trifolium pratense</i>	<i>Cytisus sessilifolius</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Trifolium ochroleucum</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Acer obtusatum</i>
<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Cornus mas</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Coronilla minima</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Onobrychis alba</i>	<i>Prunus spinosa</i>	

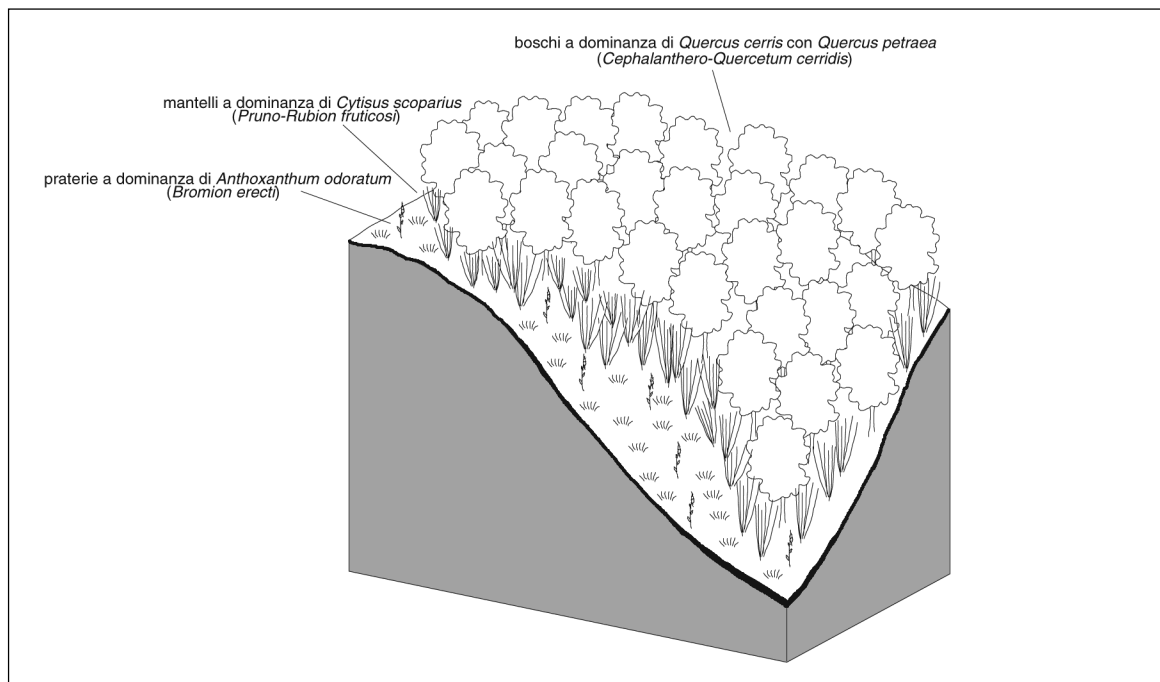
**Fig. 9.4** - Serie Pre-appenninica collinare termofila neutro-basifila della roverella



**Tab. 9.4** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del Roso sempervirentis - Querceto pubescentis sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Bromus erectus</i>	<i>Spartium junceum</i>	<i>Quercus pubescens</i>
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Centaurea bracteata</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Acer monspessulanum</i>
<i>Trifolium pratense</i>	<i>Cytisus sessilifolius</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Trifolium repens</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Cercis siliquastrum</i>
<i>Vicia sativa</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Celtis australis</i>
<i>Hedysarum coronarium</i>	<i>Rosa sempervirens</i>	<i>Pistacia terebinthus</i>
<i>Vicia villosa subsp. varia</i>	<i>Lonicera etrusca</i>	<i>Ulmus minor</i>
<i>Phleum pratense</i>		
<i>Dactylis glomerata</i>		
<i>Agropyron repens</i>		
<i>Daucus carota</i>		

**Fig. 9.5** - Serie Pre-appenninica tirrenica alto-collinare mesofila subacidofila del cerro



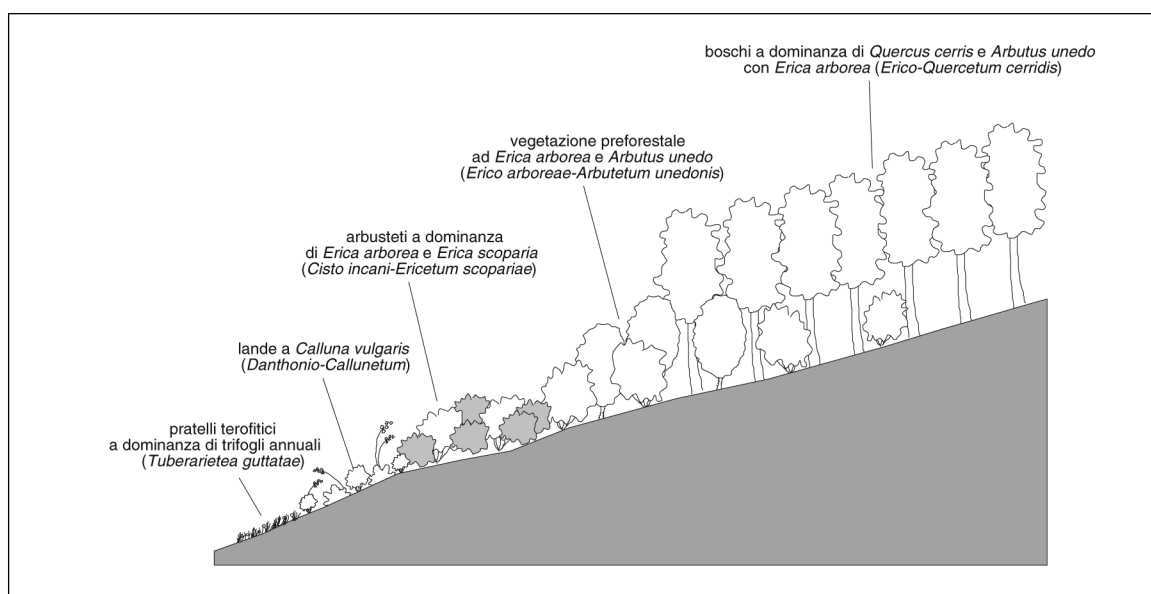
- *substrato*: calcareo-marnoso, marnoso, argilloso, detritico;
- *morfologia*: da mediamente acclive ad acclive;
- *macrobioclima*: temperato, temperato variante submediterranea.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.4**.
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Imperata cylindrica*.

9.3.2.5 Serie Pre-appenninica tirrenica alto-collinare mesofila subacidofila del cerro (*Cephalanthero longifoliae* - *Querceto cerridis sigmetum*)

Serie del piano alto-collinare dei settori silicei pre-appenninici presenti nella porzione occi-

**Tab. 9.5** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del *Cephalanthero longifoliae* - *Querceto cerridis sigmetum*, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	<i>Cytisus scoparius</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Luzula campestris</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Quercus petraea</i>
<i>Carex pallescens</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Prunus avium</i>
<i>Carex flacca</i>	<i>Crataegus oxyacantha</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Rosa arvensis</i>	<i>Sorbus domestica</i>
<i>Bromus erectus</i>	<i>Genista germanica</i>	

**Fig. 9.6** - Serie Pre-appenninica tirrenica basso-collinare termofila subacidofila del cerro

dentale della provincia. L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui mesofili subacidofili misti a dominanza di cerro e talvolta di rovere (*Cephalanthero longifoliae* - *Quercetum cerridis*) ben strutturati, in alcuni casi avviati ad alto fusto (fig. 9.5).

- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 500 ÷ 1.000 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: arenaceo;
  - *morfologia*: da mediamente acclive ad acclive;
  - *macroclima*: temperato.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.5**.
- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
  - lande a *Calluna vulgaris* (*Danthonio-Callunetum*).
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di par-

ticolare interesse fitogeografico: *Quercus petraea*, *Calluna vulgaris*, *Ilex aquifolium*, *Dictamnus albus*.

#### 9.3.2.6 Serie Pre-appenninica tirrenica basso-collinare termofila subacidofila del cerro (*Erico arboreae* - *Querceto cerridis sigmetum*)

Serie del piano basso-collinare dei settori silicei preappenninici presenti nella porzione occidentale della provincia.

L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui termofili subacidofili misti a dominanza di cerro con buona presenza di leccio (*Erico arboreae* - *Querceto cerridis*) (fig. 9.6).

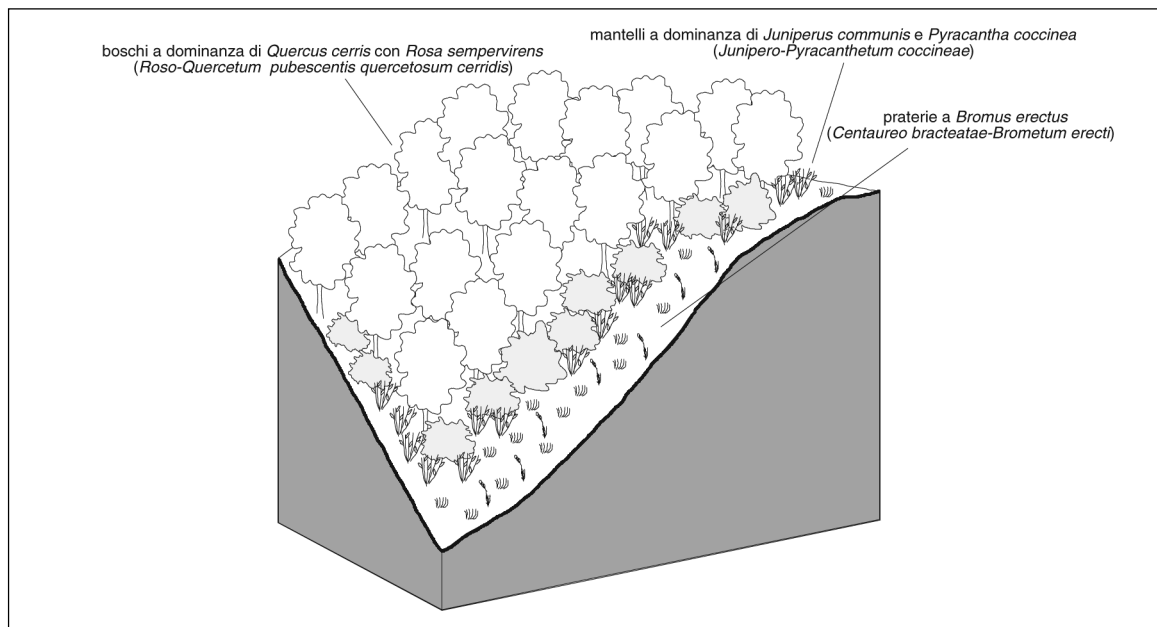
- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 250 ÷ 650 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: arenaceo;
  - *morfologia*: da mediamente acclive ad acclive;



**Tab. 9.6** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie dell'Erico arborea - Querceto cerridis sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Carex flacca</i>	<i>Arbutus unedo</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Erica arborea</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Erica scoparia</i>	<i>Quercus dalechampii</i>
<i>Agrostis tenuis</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Quercus crenata</i>
<i>Danthonia decumbens</i>	<i>Cytisus scoparius</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Dorycnium hirsutum</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Sorbus domestica</i>
<i>Micromeria graeca</i>	<i>Rosa sempervirens</i>	
<i>Convolvulus cantabrica</i>	<i>Genista germanica</i>	
	<i>Calluna vulgaris</i>	
	<i>Phillyrea media</i>	

**Fig. 9.7** - Serie Pre-appenninica collinare termofila neutro-basifila del cerro



- *macrobioclina*: temperato variante submediterranea.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.6**.
- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
  - arbusteti a dominanza di *Erica arborea* e *Erica scoparia* (*Cisto incani* - *Ericetum scopariae*);
  - lande a *Calluna vulgaris* (*Danthonio-Callunetum*).
- Specie floristiche rare (\*rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Serapias lingua*, *Serapias vomeracea*, *Calluna vulgaris*, *Quercus crenata*, *Tuberaria guttata*, *Centaureum maritimum*, *Cytinus hypocistis*.

**9.3.2.7 Serie Pre-appenninica collinare termofila neutro-basifila del cerro (*Rosa sempervirentis* - *Querceto pubescentis quercetosum cerridis sigmetum*)**

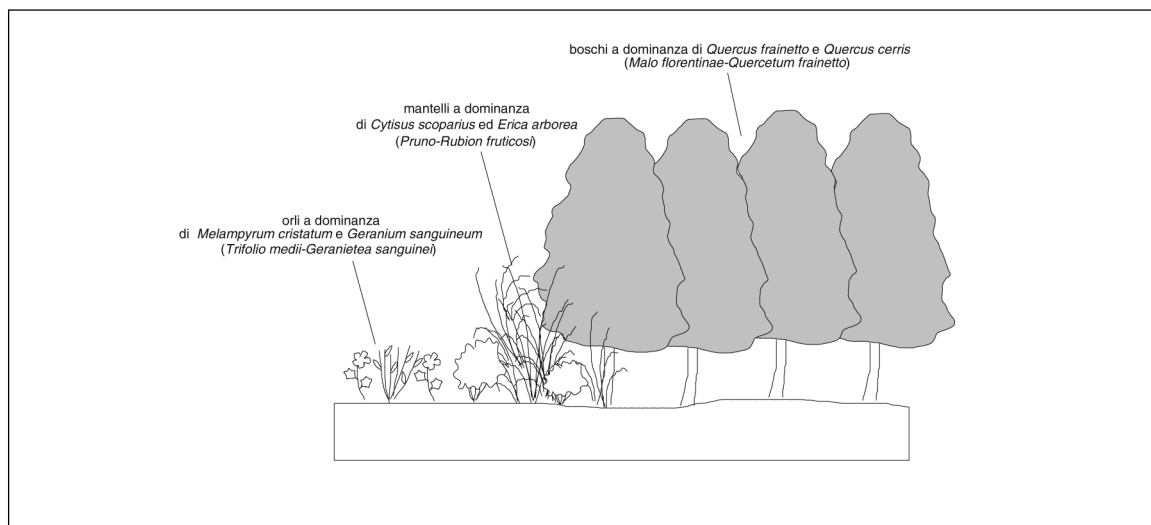
Serie del piano collinare dei settori marnoso-arenacei e sabbiosi preappenninici presenti nella porzione centro-occidentale della provincia. L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui termofili neutro-basifili misti a prevalenza di cerro con leccio (*Rosa sempervirentis* - *Querceto pubescentis quercetosum cerridis*), caratterizzati da fisionomia chiusa (**fig. 9.7**).

- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 250 ÷ 650 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: marnoso, marnoso-argilloso;
  - *morfologia*: da mediamente acclive ad acclive;

**Tab. 9.7** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del Roso sempervirentis - Querceto pubescentis quercetosum cerridis sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Bromus erectus</i>	<i>Pyracantha coccinea</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Quercus pubescens</i>
<i>Trifolium pratense</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Trifolium repens</i>	<i>Spartium junceum</i>	<i>Acer monspessulanum</i>
<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Cytisus sessilifolius</i>	<i>Ulmus minor</i>
<i>Hedysarum coronarium</i>	<i>Coronilla emerus</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Vicia villosa</i> subsp. <i>varia</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Sorbus domestica</i>
<i>Vicia sativa</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	
<i>Phleum pratense</i>	<i>Rosa sempervirens</i>	
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Lonicera etrusca</i>	
<i>Agropyron repens</i>	<i>Cornus mas</i>	
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	<i>Cornus sanguinea</i>	
subsp. <i>herbaceum</i>	<i>Euonymus europaeus</i>	

**Fig. 9.8** - Serie Pre-appenninica centro-italica basso-collinare termofila subacidofila del farnetto



- *macrobioclima*: temperato variante sub-mediterranea.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.7**.

**9.3.2.8 Serie Pre-appenninica centro-italica basso-collinare subacidofila termofila del farnetto (*Malo florentinae* - *Querceto frainetto sigmetum*)**

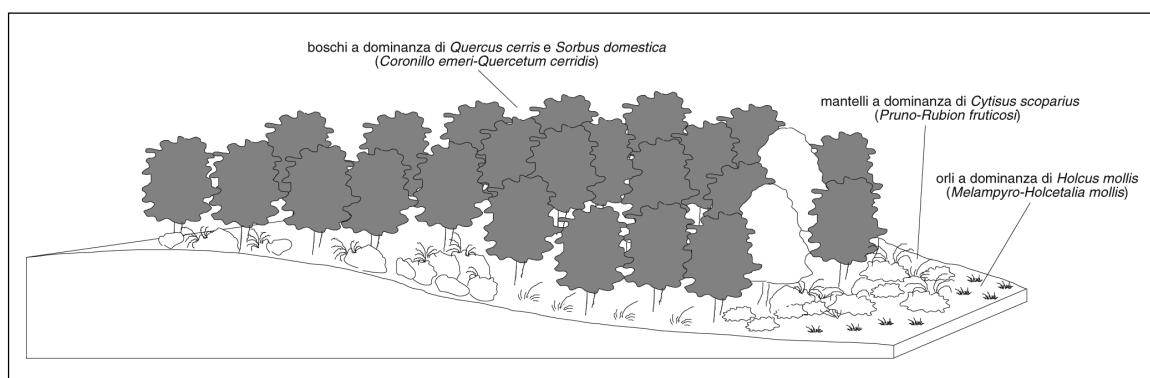
Serie del piano basso-collinare dei settori vulcanitici e sabbiosi Villafranchiani preappenninici presenti nella porzione centro-occidentale della provincia, su morfologie piatte o

pianeggianti. L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui termofili subacidofili misti a prevalenza di farnetto e quercia crenata (*Malo florentinae* - *Quercetum frainetto*) (**fig. 9.8**).

- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 150 ÷ 450 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: sabbioso-argilloso (Villafranchiano), vulcanitico;
  - *morfologia*: da pianeggiante a poco acclive;
  - *macrobioclima*: temperato variante sub-mediterranea.
- Specie proprie delle fitocenosi che costitui-

**Tab. 9.8** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del *Malo florentinae* - Querceto frainetto sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Cynosurus cristatus</i>	<i>Malus florentina</i>	<i>Quercus frainetto</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Cytisus scoparius</i>	<i>Quercus crenata</i>
<i>Carex flacca</i>	<i>Crataegus oxyacantha</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Trifolium medium</i>	<i>Erica scoparia</i>	<i>Sorbus domestica</i>
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Erica arborea</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
<i>Cistus salvifolius</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Acer campestre</i>
	<i>Genista germanica</i>	<i>Prunus avium</i>
	<i>Cornus mas</i>	
	<i>Cornus sanguinea</i>	
	<i>Ligustrum vulgare</i>	
	<i>Prunus spinosa</i>	
	<i>Mespylus germanica</i>	
	<i>Rosa arvensis</i>	

**Fig. 9.9** - Serie Pre-appenninica tirrenica collinare mesofila subacidofila del cerro

scono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.8**.

- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
  - boschi a dominanza di *Quercus frainetto* (*Malo florentinae* - *Quercetum frainetto*);
  - orti a dominanza di *Melampyrum cristatum* e *Geranium sanguineum* (*Trifolio medii* - *Geranietea sanguinei*).
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Quercus frainetto*, *Quercus crenata*, *Malus florentina*, *Genista germanica*, *Teucrium siculum*, *Serratula tinctoria*.

#### 9.3.2.9 Serie Pre-appenninica tirrenica collinare subacidofila mesofila del cerro (*Coronillo emeri - Querceto cerridis sigmetum*)

Serie del piano collinare dei settori vulcanitici e sabbiosi Villafranchiani preappenninici pre-

senti nella porzione centro-occidentale della provincia, su morfologie acclive.

L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui mesofili subacidofili misti a prevalenza di cerro e sorbo domestico, talvolta con carpino bianco e castagno (*Coronillo emeri - Quercetum cerridis*) (**fig. 9.9**).

- Principali caratteristiche ambientali riferite all'associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: (300) 500 ÷ 900 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: vulcanitico, sabbioso-argilloso (Villafranchiano);
  - *morfologia*: da mediamente acclive ad acclive;
  - *macroclima*: temperato.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.9**.

**Tab. 9.9** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del Coronillo emeri - Querceto cerridis sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

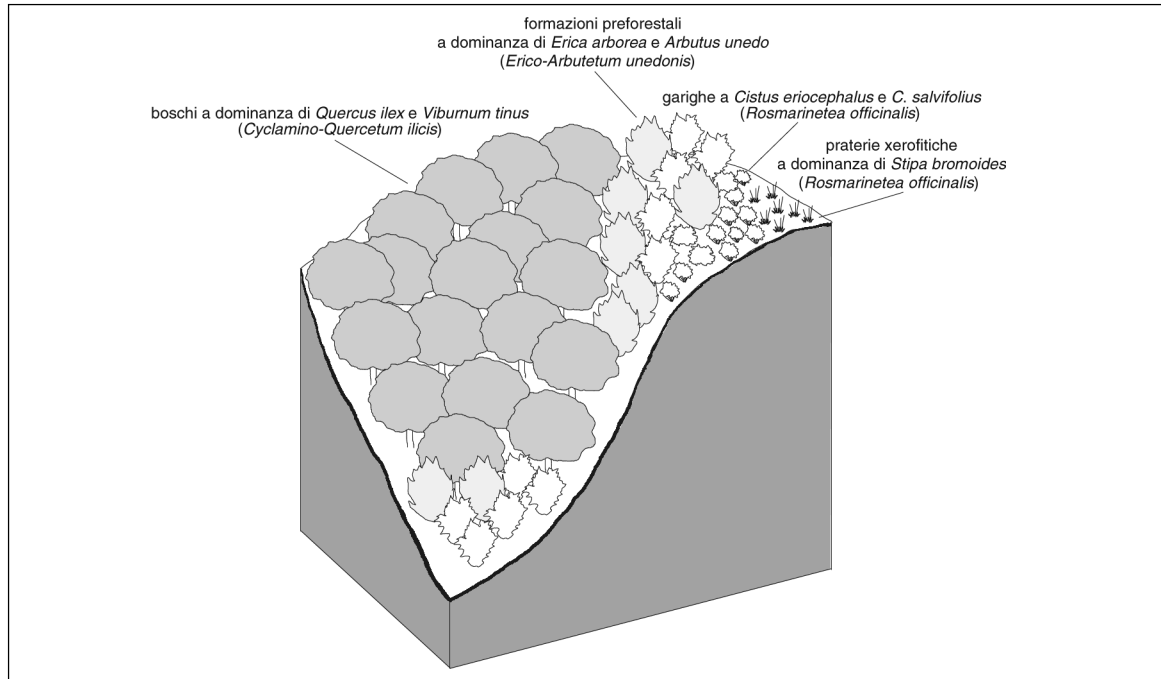
Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Cytisus scoparius</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Carex flacca</i>	<i>Erica arborea</i>	<i>Quercus crenata</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Erica scoparia</i>	<i>Castanea sativa</i>
<i>Trifolium medium</i>	<i>Pyracantha coccinea</i>	<i>Corylus avellana</i>
<i>Cynosurus cristatus</i>	<i>Juniperus communis</i>	<i>Carpinus betulus</i>
<i>Holcus mollis</i>	<i>Crataegus oxyacantha</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Sorbus domestica</i>
	<i>Mespilus germanica</i>	
	<i>Rosa arvensis</i>	
	<i>Genista germanica</i>	

**Tab. 9.10** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie dell'Asparago tenuifolii - Querceto cerridis sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Bromus erectus</i>	<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Quercus cerris</i>
<i>Brachypodium rupestre</i>	<i>Prunus spinosa</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Ligustrum vulgare</i>	<i>Ostrya carpinifolia</i>
<i>Dorycnium pentaphyllum subsp. herbaceum</i>	<i>Rosa arvensis</i>	<i>Fraxinus oxycarpa</i>
<i>Carex flacca</i>	<i>Pyracantha coccinea</i>	<i>Sorbus torminalis</i>
	<i>Juniperus communis</i>	<i>Acer campestre</i>
		<i>Prunus mahaleb</i>
		<i>Celtis australis</i>
		<i>Ulmus minor</i>

- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
    - formazioni a dominanza di *Carpinus betulus* e localmente di *Castanea sativa* (*Coronillo emeri* - *Quercetum cerridis carpinetosum betuli*).
  - Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Quercus crenata*, *Serratula tinctoria*, *Teucrium siculum*, *Malus florentina*.
- 9.3.2.10 Serie Pre-appenninica tirrenica collinare termofila neutro-basifila del cerro (*Asparago tenuifolii*-*Querceto cerridis sigmetum*)**
- Serie del piano collinare dei settori calcarei e calcareo-argillosi presenti nella porzione occidentale della provincia. L'associazione testa della serie è costituita da boschi decidui termofili neutrobasifili misti a prevalenza di cerro (*Asparago tenuifolii* - *Quercetum cerridis*).
- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
    - *intervallo altitudinale*: (300) 500 ÷ 900 m.s.l.m.;
    - *esposizione preferenziale*: indifferente;
    - *substrato*: argilloso;
    - *morfologia*: da mediamente acclive ad acclive;
    - *macrobioclima*: temperato.
  - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.10**.
  - Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
    - aggruppamenti a *Fraxinus oxycarpa* su suoli ad elevata percentuale di argilla e forte ritenzione idrica.
  - Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Fraxinus oxycarpa*, *Asparagus tenuifolium*.

**Fig. 9.10** - Serie tirrenica mesomediterranea termofila subacidofila del leccio



**Tab. 9.11** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del Cyclamino repandi - Querceto ilicis sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Dorycnium hirsutum</i>	<i>Erica arborea</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Stipa bromoides</i>	<i>Arbutus unedo</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Hyparrenia hirta</i>	<i>Viburnum tinus</i>	
<i>Cistus salvifolius</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i>	
<i>Cistus creticus</i> subsp. <i>eriocephalus</i>	<i>Juniperus communis</i>	
<i>Argyrolobium zanonii</i>	<i>Rosa sempervirens</i>	
<i>Stipa bromoides</i>	<i>Pistacia lentiscus</i>	
<i>Bothriochloa ischaemum</i>	<i>Phyllirea media</i>	
<i>Micromeria graeca</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>	
<i>Helychrisum italicum</i>	<i>Lonicera implexa</i>	
	<i>Spartium junceum</i>	

**9.3.2.11 Serie tirrenica mesomediterranea termofila subacidofila del leccio (Cyclamino repandi - Querceto ilicis sigmetum)**

Serie del piano mesomediterraneo dei settori calcarei e silicei presenti nella porzione sud-occidentale della provincia. L'associazione testa della serie è costituita da boschi sempreverdi termofili subacidofili a dominanza di leccio e sclerofille mediterranee (Cyclamino repandi - Quercetum ilicis) (fig. 9.10).

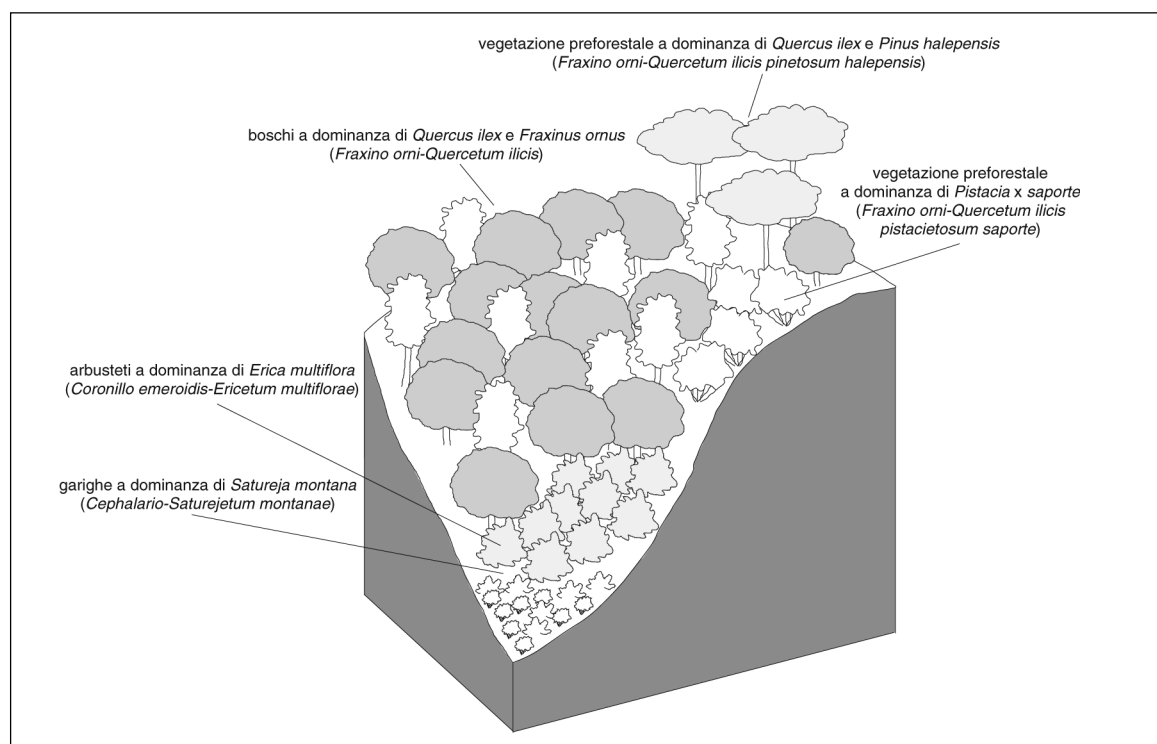
• Principali caratteristiche ambientali riferite all'associazione testa della serie:

- *intervallo altitudinale*: 100 ÷ 500 (600) ms.l.m.;
- *esposizione preferenziale*: indifferente;
- *substrato*: arenaceo, calcareo decarbonatato (terre rosse);
- *morfologia*: da mediamente acclive ad acclive;
- *macroclima*: mediterraneo.

- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.11**.
- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:

**Tab. 9.12** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del *Cyclamino repandi* - *Querceto ilicis lauretoso nobilis sigmetum*, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camediteche	Arbustive	Arboree
<i>Dorycnium hirsutum</i>	<i>Rosa sempervirens</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Stipa bromoides</i>	<i>Euonymus europaeus</i>	<i>Laurus nobilis</i>
<i>Hyperbaria hirta</i>	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Cistus salvifolius</i>	<i>Phyllirea media</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Cistus creticus</i> subsp. <i>eriocephalus</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>	
<i>Argyrolobium zanonii</i>	<i>Lonicera implexa</i>	
<i>Stipa bromoides</i>	<i>Spartium junceum</i>	
<i>Bothriochloa ischaemum</i>	<i>Viburnum tinus</i>	
<i>Micromeria graeca</i>		
<i>Helychrisum italicum</i>		

**Fig. 9.11** - Serie centro-orientale mesomediterranea e submediterranea collinare edafo-xerofila neutro-basifila del leccio

- arbusteti a dominanza di *Juniperus oxycedrus* e *Erica multiflora* (*Pistacio lentisci-Juniperetum oxycedri ericetosum multiflorae*);
- garighe a *Cistus creticus* ssp. *eriocephalus* e *Cistus salvifolius* (*Rosmarinetea officinalis*).
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Cytinus hypocistus*, *C. ruber*\*, *Mirtus communis*\*, *Eri-*

*ca multiflora*, *Diplachne serotina*, *Buxus sempervirens*, *Monotropa hypopitys*.

#### 9.3.2.12 Serie tirrenica mesomediterranea extrazonale edafo-mesofila neutro-basifila del leccio (*Cyclamino repandi* - *Querceto ilicis lauretoso nobilis sigmetum*)

Serie del piano mesomediterraneo dei settori argilloso-sabbiosi presenti nella porzione sud-

**Tab. 9.13** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del Fraxino orni - Querceto ilicis sigmetum, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Satureja montana</i>	<i>Spartium junceum</i>	<i>Pinus halepensis</i>
<i>Cephalaria leucantha</i>	<i>Cytisus sessilifolius</i>	<i>Celtis australis</i>
<i>Bromus erectus</i>	<i>Coronilla emerus</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Thymus serpyllus</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>	<i>Cercis siliquastrum</i>
<i>Dorycnium hirsutum</i>	<i>Phyllirea media</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Melica ciliata</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Pistacia x saportae</i>
	<i>Erica multiflora</i>	
	<i>Pistacia terebinthus</i>	
	<i>Colutea arborescens</i>	

occidentale della provincia. L'associazione testa della serie è costituita da boschi sempreverdi mesofili neutro-basifili a dominanza di leccio ed alloro (*Cyclamino repandi - Quercetum ilicis lauretosum nobilis*).

- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 100 ÷ 300 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;
  - *substrato*: argilloso-sabbioso;
  - *morfologia*: da mediamente a molto acclive;
  - *macrobioclina*: mediterraneo.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.12**.
- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
  - boschi di *Quercus ilex* con *Laurus nobilis* (*Cyclamino repandi-Quercetum ilicis lauretosum nobilis*);
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Laurus nobilis*.

**9.3.2.13 Serie centro-orientale mesomediterranea e submediterranea collinare edafo-xerofila neutro-basifila del leccio e leccete appenniniche collinari mesofile neutro-basifile (*Fraxino orni - Querceto ilicis sigmetum*)**

Serie del piano collinare e del piano mesomediterraneo dei settori calcarei appenninici e preappenninici presenti in tutta la provincia, in situazioni edafiche particolarmente povere. L'associazione testa della serie è costituita da boschi misti xerofili neutrobasifili a dominanza di leccio ed ornello (*Fraxino orni - Quercetum ilicis*) (**fig. 9.11**).

- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: 100 ÷ 500 (600) m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: indifferente;

- *substrato*: calcareo;
- *morfologia*: da mediamente a molto acclive;
- *macrobioclina*: mediterraneo, temperato variante submediterranea.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.13**.
- Comunità vegetali rare e di particolare interesse fitogeografico:
  - vegetazione preforestale a dominanza di *Quercus ilex* e *Pinus halepensis* in situazioni rupestri (*Fraxino orni-Quercetum ilicis pinetosum halepensis*); nelle zone più interne a *Pistacia x saporte* (*Fraxino orni-Quercetum ilicis pistacietosum x saporte*);
  - garighe a dominanza di *Satureja montana* (*Cephalario leucanthae-Saturejetum montanae*) talvolta con *Euphorbia spinosa* (subass. *euphorbietosum spinosae*).
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Pistacia x saporte*, *Euphorbia spinosa*.

In contesto appenninico sono presenti leccete con caducifoglie montane: *Cephalanthero longifoliae - Quercetum ilicis*.

- Principali caratteristiche ambientali riferite alla associazione testa della serie:
  - *intervallo altitudinale*: (500) 600 ÷ 1.000 m s.l.m.;
  - *esposizione preferenziale*: sud;
  - *substrato*: calcareo;
  - *morfologia*: da mediamente a molto acclive;
  - *macrobioclina*: temperato.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.14**.

**9.3.2.14 Geoserie ripariali ed edafo-igrofile azonali**

Complesso di formazioni edafoigrofile e ripariali presenti in adiacenza al reticolo idrografico del territorio provinciale, a carattere azonale.

**Tab. 9.14** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie del *Cephalanthero longifoliae* - Querceto ilicis *sigmetum*, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Satureja montana</i>	<i>Spartium junceum</i>	<i>Pinus halepensis</i>
<i>Cephalaria leucantha</i>	<i>Cytisus sessilifolius</i>	<i>Celtis australis</i>
<i>Bromus erectus</i>	<i>Coronilla emerus</i>	<i>Quercus ilex</i>
<i>Thymus serpyllus</i>	<i>Rhamnus alaternus</i>	<i>Cercis siliquastrum</i>
<i>Dorycnium hirsutum</i>	<i>Phyllirea media</i>	<i>Fraxinus ornus</i>
<i>Melica ciliata</i>	<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Pistacia x saportae</i>
	<i>Erica multiflora</i>	
	<i>Pistacia terebinthus</i>	
	<i>Colutea arborescens</i>	

**Tab. 9.15** - Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono le geoserie ripariali ed edafo-igrofile azonali, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali

Erbacee e Camefitiche	Arbustive	Arboree
<i>Agropyron repens</i>	<i>Salix eleagnos</i>	<i>Salix alba</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Salix purpurea</i>	<i>Ulmus minor</i>
<i>Phragmites australis</i>	<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Acer campestre</i>
<i>Typha domingensis</i>	<i>Sambucus nigra</i>	<i>Fraxinus oxycarpa</i>
<i>Typha latipholia</i>	<i>Frangula alnus</i>	<i>Alnus glutinosa</i>
<i>Carex pendula</i>	<i>Viburnum opulus</i>	<i>Populus nigra</i>
<i>Carex riparia</i>		<i>Populus alba</i>
<i>Holoschoenus australis</i>		<i>Populus canescens</i>
<i>Holcus lanatus</i>		
<i>Trifolium repens</i>		
<i>Melilotus officinalis</i>		
<i>Galega officinalis</i>		

- Comunità arbustive e arboree:
  - formazioni arbustive a dominanza di *Salix eleagnos* (*Salicetum eleagni*);  
§ principali caratteristiche ambientali:
    - *granulometria*: ciottolosa;
    - *morfologia*: acclive;
  - formazioni arbustive a dominanza di *Salix purpurea* (*Saponario officinalis* - *Salicetum purpureae*);  
§ principali caratteristiche ambientali:
    - *granulometria*: ciottolosa;
    - *morfologia*: acclive;
  - formazioni a dominanza di *Salix alba* (*Salicetum albae*);  
§ principali caratteristiche ambientali:
    - *granulometria*: da sabbioso-argillosa a ciottolosa;
- *morfologia*: da poco acclive ad acclive;
- formazioni a dominanza di *Salix cinerea* (*Salicetum cinereae*);  
§ principali caratteristiche ambientali:
  - *granulometria*: argillosa;
  - *morfologia*: da pianeggiante a poco acclive;
- formazioni a dominanza di *Alnus glutinosa* (*Aro italici* - *Alnetum glutinosae*);  
§ principali caratteristiche ambientali:
  - *granulometria*: da argilloso-sabbiosa ad argillosa;
  - *morfologia*: da pianeggiante a poco acclive;
- formazioni a dominanza di *Fraxinus oxycarpa* (*Carici remotae* - *Fraxinetum oxycarpae*):



- § principali caratteristiche ambientali:
- *granulometria*: argillosa;
  - *morfologia*: da pianeggiante a poco acclive;
- formazioni a dominanza di *Populus nigra* (aggr. a *Populus nigra*):
- § principali caratteristiche ambientali:
- *granulometria*: da ciottolosa a sabbioso-argillosa;
  - *morfologia*: pianeggiante;
- formazioni a dominanza di *Populus alba* (*Populetum albae*):
- § principali caratteristiche ambientali:
- *granulometria*: da sabbiosa ad argillosa;
  - *morfologia*: pianeggiante;
- formazioni a dominanza di *Populus canescens* (aggr. a *Populus canescens*):
- § principali caratteristiche ambientali:
- *granulometria*: argillosa;
  - *morfologia*: da pianeggiante a poco acclive;
- formazioni a dominanza di *Ulmus minor* (*Aro italici-Ulmetum minoris*):
- § principali caratteristiche ambientali:
- *granulometria*: argillosa;
  - *morfologia*: da mediamente a poco acclive;
- prati umidi e palustri: *Phragmitetum vulgaris*; *Typhetum angustifoliae*; *Butometum umbellati*; aggr. a *Eleocharis palustris*; *Bolboschoenetum maritimi*; aggr. a *Schoenoplectus mucronatus*; *Juncetum subnodulosi*; *Galio palustris-Caricetum ripariae*; *Sparganietum erecti*; *Scirpetum lacustris*; *Mentha aquatica-Caricetum pseudocyperis*; *Caricetum elatae*; *Mariscetum serrati*; *Caricetum acutiformis*; *Galio palustris-Caricetum ripariae*; aggr. a *Juncus effusus*; aggr. a *Juncus inflexus*; *Cyperetum longi*; aggr. a *Cyperus fuscus*; *Dactylido-Festucetum arundinaceae*; aggr. a *Equisetum telmateja*; *Polygono lapathifolii-Bidentetum*;

**Tab. 9.16** - Specie erbacee impiegate nel progetto di rinverdimento di scarpate per rilevato stradale nell'area Valfabbrica - Schifanoia (PG)

Famiglia Gramineae	1A Esposizioni calde (%)	1B Esposizioni fresche (%)
<b>GRAMINEAE</b>		
<i>Agropyron repens</i>	8	6
<i>Dactylis glomerata</i>	8	8
<i>Cynodon dactylon</i>	7	4
<i>Festuca arundinacea</i>	5	5
<i>Lolium perenne</i>	5	5
<i>Lolium multiflorum</i>	5	5
<i>Poa trivialis</i>	3	2
<i>Brachypodium rupestre</i>	4	2
<i>Bromus erectus</i>	5	3
<i>Festuca rubra</i>	4	6
<i>Holcus lanatus</i>	-	4
<i>Poa pratensis</i>	-	2
<i>Festuca ovina</i>	-	4
<b>Totale Gramineae</b>	<b>54</b>	<b>56</b>
<b>LEGUMINOSAE</b>		
<i>Lotus corniculatus</i>	8	8
<i>Medicago falcata</i>	4	-
<i>Medicago sativa</i>	5	5
<i>Medicago lupulina</i>	5	5
<i>Vicia sativa</i>	3	3
<i>Vicia villosa</i>	3	3
<i>Trifolium pratense</i>	3	4
<i>Trifolium repens</i>	3	3
<i>Onobrychis viciifolia</i>	3	4
<i>Hedysarum coronarium</i>	3	3
<b>Totale Leguminosae</b>	<b>40</b>	<b>38</b>
<b>ALTRE</b>		
<i>Daucus carota</i>	2	2
<i>Taraxacum officinale</i>	-	2
<i>Plantago lanceolata</i>	2	2
<i>Sanguisorba minor</i>	2	-
<b>Totale Altre</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>TOTALE</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Quantità gr/m<sup>2</sup></b>	<b>40</b>	<b>40</b>

**Tab. 9.17** - Specie arbustive impiegate nel progetto di rinverdimento di scarpate per rilevato stradale nell'area Valfabbrica - Schifanoia (PG)

Specie	Nome comune
<b>ARBUSTI TERMOFILI</b>	
<i>Prunus spinosa</i>	prugnolo
<i>Acer campestre</i>	loppio
<i>Coronilla emerus</i>	dondolino
<i>Euonymus europaeus</i>	berretta da prete
<i>Crataegus monogyna</i>	biancospino
<i>Cornus sanguinea</i>	sanguinello
<i>Rosa canina</i>	rosa selvatica
<i>Ligustrum vulgare</i>	ligustro
<i>Spartium junceum</i>	ginestra di Spagna
<i>Juniperus communis</i>	ginepro comune
<i>Juniperus oxycedrus</i>	ginepro ossicedro
<i>Pyracantha coccinea</i>	agazzino
<b>ARBUSTI MESO-IGROFILI</b>	
<i>Salix purpurea</i>	salice rosso
<i>Salix eleagnos</i>	salice ripaiolo
<i>Ligustrum vulgare</i>	ligustro
<i>Euonymus europaeus</i>	fusaggine
<i>Corylus avellana</i>	nocciolo
<i>Populus alba</i>	pioppo bianco
<i>Crataegus monogyna</i>	biancospino
<i>Cornus sanguinea</i>	sanguinello
<i>Cornus mas</i>	corniolo
<i>Sambucus nigra</i>	sambuco comune

**Tab. 9.18** - Specie arboree impiegate nel progetto di rinverdimento di scarpate per rilevato stradale nell'area Valfabbrica - Schifanoia (PG)

Specie	Nome comune
<b>ALBERI</b>	
<i>Quercus cerris</i>	cerro
<i>Quercus robur</i>	farnia
<i>Acer obtusatum</i>	acero d'Ungheria
<i>Populus alba</i>	pioppo bianco
<i>Populus nigra</i>	pioppo nero
<i>Salix alba</i>	salice comune
<i>Alnus glutinosa</i>	ontano nero
<b>PICCOLI ALBERI</b>	
<i>Acer campestre</i>	testucchio
<i>Fraxinus ornus</i>	orniello
<i>Ostrya carpinifolia</i>	carpino nero
<i>Sorbus domestica</i>	sorbo comune
<i>Sorbus torminalis</i>	ciavardello
<i>Ulmus minor</i>	olmo
<i>Pyrus pyraster</i>	pero selvatico

**Tab. 9.19** - Specie da talea impiegate nel progetto di rinverdimento di scarpate per rilevato stradale nell'area Valfabbrica - Schifanoia (PG)

Specie	Nome comune
<i>Salix purpurea</i>	salice rosso
<i>Salix eleagnos</i>	salice ripaiolo
<i>Salix alba</i>	salice bianco
<i>Ligustrum vulgare</i>	ligustro
<i>Tamarix sp. pl.</i>	tamerice

- comunità idrofittiche: *Lemnetum trisulcae*; *Miriophyllo verticillati-Nupharetum lutei*; *Potametum lucentis*; *Potametum pectinato-perfoliati*; aggr. a *Callitriche stagnalis*; aggr. a *Hippuris vulgaris*; aggr. a *Najas marina*; aggr. a *Potamogeton spp*; aggr. a *Ceratophyllum demersum*; aggr. a *Potamogeton natans*; aggr. a *Spirodela polyrrhiza*; aggr. a *Najas minor*.
- Specie proprie delle fitocenosi che costituiscono la serie di vegetazione, da utilizzare nei recuperi, ripristini e restauri ambientali: si veda la **tabella 9.15**.
- Specie floristiche rare (\* = rarissime) e di particolare interesse fitogeografico: *Cladium mariscus\**, *Carex elata\**, *Nuphar luteum\**, *Carex paniculata\**, *Iris pseudacorus*, *Potamogeton lucens*, *P. pectinatus*, *P. perfoliatus*, *P. natans*, *Lemna trisulca*, *Miriophyllum verticillatum*, *M. spicatum*, *Hippuris vulgaris*, *Carex pseudocyperus*, *Callitriche stagnalis*, *Alnus glutinosa*.

Si riporta a titolo d'esempio una serie di miscugli di specie arbustive ed arboree, impiegate nel progetto di rinverdimento di scarpate per rilevato stradale, nel tratto Valfabbrica-Schifanoia (PG) (**tabb. 9.16 - 9.19**).

Le consociazioni di specie sono state scelte, in questo caso, in base ai seguenti requisiti:

- coerenza con la flora e la vegetazione locale;
- appartenenza agli stadi dinamici della serie dei querceti a caducifoglie (*Aceri obtusati-Quercetum cerris sigmetum*) ed alla serie igrofila;
- valore faunistico;
- aumento della biodiversità;
- funzione di filtro per il contenimento di polveri e rumori;
- miglioramento ambientale delle aree agricole;
- facilità di attecchimento;
- facilità di reperimento sul mercato;
- minima manutenzione;
- valore estetico e paesaggistico.

Si è tenuto conto, oltre alla superficie disponibile, anche dei vincoli imposti da motivi di sicurezza.

## 9.4 Aspetti climatici

### 9.4.1 Clima e Bioclima

Clima e tempo (meteorologico) sono due con-

cetti intuitivi che rappresentano realtà profondamente diverse tra di loro. Spesso si attribuiscono al primo eventi che sono solo ricollegabili a particolari condizioni del tempo, principalmente alle precipitazioni meteoriche. Nella definizione di *clima* è insita la memoria degli eventi e, a seconda di ciò che essa evoca, diremo che un territorio è caratterizzato da un clima più o meno favorevole, più o meno caldo, più o meno freddo oppure nuvoloso, ventoso, ecc. Il tempo meteorologico si riferisce alle condizioni climatiche di un preciso momento, passato o futuro. Le previsioni meteorologiche cercano di prevedere queste condizioni al fine di pianificare le attività umane a breve termine.

Il clima è uno dei fattori determinanti per la distribuzione degli organismi viventi e per moltissime delle attività umane; le discipline che si occupano del clima, fatta eccezione per la Meteorologia che si occupa di prevedere gli eventi meteorologici (“che tempo farà”), sono essenzialmente la Climatologia e la Bioclimatologia. La prima studia il clima indipendentemente dalle ripercussioni sugli organismi viventi, la seconda ha per scopo di individuare gli effetti provocati dallo stesso sugli organismi viventi e, nel caso delle piante, individuare relazioni sia a livello morfologico (adattamenti) che distributivo (biogeografia). Attraverso questo approccio alcune discipline, tra le quali la Geobotanica e la Fitosociologia, sono arrivate a definire tipi bioclimatici, e quindi a riportarli su carte tematiche. Questo approccio si è dimostrato particolarmente utile per rappresentare i modelli climatici “al suolo” per mezzo della cartografia.

Appare evidente che la climatologia, e più in particolare la Bioclimatologia, rivestono particolare importanza nella pianificazione ambientale, nello studio del paesaggio e, non ultima, nella realizzazione di opere di recupero ambientale, nel campo dell’Ingegneria Naturalistica, per quanto riguarda sia la scelta che l’utilizzo delle specie vegetali.

Il clima come fattore ecologico ha un profondo effetto sullo sviluppo della vegetazione: la correlazione tra formazioni vegetali, fisionomie, tipologie vegetazionali e tipologie climatiche è stata ampiamente discussa e dimostrata sin dagli albori della geobotanica da molti autori tra i quali Hann, Koppen, De Martonne, Emberger, Amman, Gams, Thorntwaite, Walter, Lieth, Rivas-Martinez, ecc.

Integrando le elaborazioni dei dati climatici con la distribuzione dei diversi tipi di vegetazione, è possibile caratterizzare e differenziare le zone e/o piani altitudinali. Di converso, una carta vegetazionale, per le motivazioni sopra accennate, permette di individuare le caratteristiche climatiche al suolo.

Le definizioni che si incontrano in campo geobotanico quali: fasce o piani di vegetazione, climax, serie climatiche di vegetazione (vedi *Glossario*), stanno ad indicare questa intima connessione tra clima e vegetazione.

Nel corso della presente breve trattazione, si

farà riferimento alle caratteristiche del clima utili per capire i rapporti clima - individuo - vegetazione - paesaggio vegetale, quindi ai seguenti termini:

- *microclima*: clima osservabile in un punto limitato della superficie terrestre come, ad esempio, quello presente nei differenti strati del bosco, come nel sottobosco o tra le fronde degli alberi, oppure nel substrato pedogenetico; il suo campo d’azione è riferibile al singolo individuo;
- *macroclima*: clima che si manifesta in una regione più o meno ampia, principalmente dipendente da fattori geografici quali la latitudine, oltre che dall’altitudine, la vicinanza dal mare, l’estensione della terraferma, la presenza di grandi laghi o enormi foreste, ecc. Il suo campo d’azione è riferibile al paesaggio vegetale di un territorio sufficientemente ampio;
- *mesoclima*: è il macroclima modificato dalla presenza di fattori topografici, ad esempio il clima differente lungo due pendii con esposizione rispettivamente nord e sud, oppure il clima che si osserva in una vallata stretta; il suo campo d’azione è riferibile ad un tipo di vegetazione.

#### 9.4.1.1 Come si misura il clima

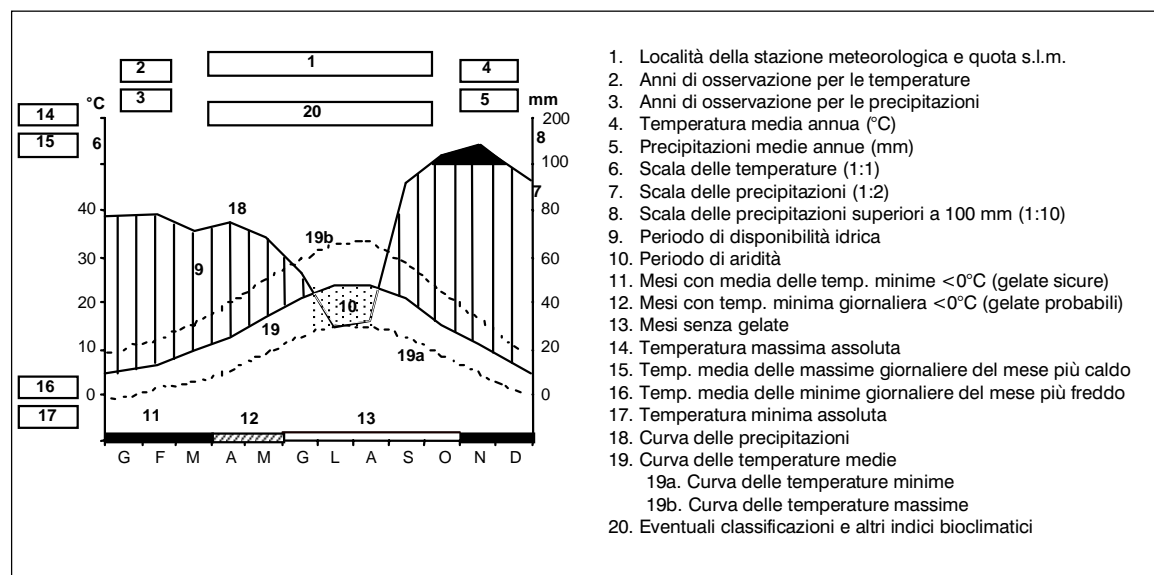
Il clima dipende da fattori geografici ed orografici; infatti, con il loro variare, cambiano anche i parametri della temperatura e dell’umidità.

Appare evidente che misurare le caratteristiche del clima presenta una notevole complessità: bisognerebbe conoscere l’andamento della temperatura giornaliera, l’ammontare delle precipitazioni in tutte le loro forme, l’umidità dell’aria, la radiazione solare, la nuvolosità, il vento, la pressione atmosferica, ecc.

Attualmente, per ridurre ragionevolmente questa complessità, vengono considerati essenzialmente due parametri facilmente misurabili anche in assenza dell’uomo: la *temperatura* e le *precipitazioni* meteoriche giornaliere misurate con strumenti (termometro e pluviometro) che sono solitamente contenuti in una capannina (stazione climatica) posta a 2 m di altezza rispetto al suolo e in una superficie aperta.

La temperatura è misurata in gradi centigradi (°C) e deve riportare almeno l’informazione della temperatura massima e minima del giorno in osservazione; le precipitazioni vengono espresse in mm di acqua per m<sup>2</sup> (= mm/m<sup>2</sup>) e rappresentano il totale delle precipitazioni cadute in un giorno su una data superficie. Questi dati, opportunamente elaborati attraverso l’uso di indici bioclimatici forniranno, nel corso degli anni, i dati sufficienti per caratterizzare il clima. Quando si deve caratterizzare il clima di un territorio (ad esempio, prima della realizzazione di un’opera di Bioingegneria) si fa riferimento alle stazioni termopluviometriche e pluviometriche più vicine al sito d’intervento e comunque con caratteristiche stazionali simili. I dati meteorologici (*temperatura* e *precipitazioni*,

Fig. 9.12 - Diagramma ombrotermico di Walter e Lieth



Tab. 9.20 - Parametri stagionali, dati climatici e indici bioclimatici delle stazioni pluviometriche esaminate

Ombrotipo	Stazione	Quota (m s.l.m.)	P (mm)	Pest	Regime	MDS (lug)	SDS
UMIDO SUPERIORE	Marmore	377	1.217	173,3	AIPE	27,7	0,0
	Scheggino	367	1.154	204,1	AIPE	8,9	0,0
UMIDO INFERIORE	Massa Martana	356	1.110	160,2	APIE	39,8	0,0
	Narni Scalo	95	1.063	153,5	APIE	36,4	0,0
	Arrone	285	1.063	184,9	AIPE	16,4	0,0
	Monteleone di Spoleto	990	1.061	185,0	AIPE	11,0	0,0
	Montegabbione	594	1.046	173,4	AIPE	12,0	0,0
	San Gemini*	337	1.041	171,0	AIPE	31,0	0,0
	Calvi dell'Umbria	401	985	140,1	AIPE	40,5	6,7
	Cascia*	743	955	117,4	AIPE	8,9	0,0
	Ficulle	437	954	156,5	AIPE	20,1	0,0
	Attigliano	95	936	121,9	AIPE	39,4	19,8
	Guardea	387	919	130,4	AIPE	21,3	13,1
Prodo	404	910	123,2	AIPE	38,1	17,8	

\* Stazioni termopluviometriche con pochi anni di rilevamenti termometrici.

Legenda: P = precipitazione media annuale; Pest = precipitazione del trimestre estivo (giugno, luglio, agosto); Regime = regime pluviometrico, A = autunno, I = inverno, P = primavera, E = estate; MDS<sub>(7)</sub> = indice dello stress idrico nel mese di luglio; SDS = indice dello stress idrico estivo.

in particolare) sono forniti dagli Enti preposti quali il Ministero dei Lavori Pubblici, i Consorzi di Bonifica, le Autorità di Bacino, le Regioni e le Provincie, gli aeroporti, ecc. Generalmente le pubblicazioni del Ministero dei Lavori Pubblici (*Annali*) sono quelle che riportano serie di dati riferite a molti anni d'osservazione. L'insieme dei dati, elaborati ed indicizzati, non sempre permette un'agevole e immediata interpretazione degli stessi in quanto può dare origine a tabelle con enormi quantità di numeri o formule di difficile comprensione e confronto (tabb. 9.20-9.21).

Per ovviare a questo fatto possono essere usati dei grafici che permettono un confronto più agevole dei dati numerici riferiti ad una o più stazioni climatiche.

Particolarmente usato, per questo scopo, è il diagramma climatico, definito ombrotermico o di Walter e Lieth (fig. 9.12).

#### 9.4.2 Gli indici bioclimatici

L'analisi bioclimatica consiste nell'elaborazione dei parametri di temperature e precipitazioni relativi alle singole stazioni. Vengono di



**Tab. 9.22** - Abbreviazioni utilizzate per i vari parametri climatici e bioclimatici considerati

<b>T</b>	Temperatura media annuale
<b>T<sub>max</sub></b>	Temperatura media delle massime
<b>T<sub>min</sub></b>	Temperatura media delle minime
<b>Ta<sub>max</sub></b>	Temperatura media delle massime assolute
<b>Ta<sub>min</sub></b>	Temperatura media delle minime assolute
<b>t'</b>	Temperatura massima registrata
<b>m'</b>	Temperatura minima registrata
<b>ETA</b>	Escursione termica annuale
<b>P</b>	Precipitazione media annuale
<b>Pest</b>	Precipitazione del trimestre estivo (6-7-8)
<b>1-12</b>	Relativo al mese n
<b>(c)</b>	Relativo al mese più caldo
<b>(f)</b>	Relativo al mese più freddo
<b>est</b>	Relativo al periodo estivo

seguito proposti, tra quelli maggiormente applicati negli ultimi anni da vari autori, i più adatti a caratterizzare il territorio in esame.

I parametri relativi ai valori di temperature e precipitazioni sono espressi con le abbreviazioni riportate nella **tabella 9.22**.

- *Pluviofattore di Lang:*

$$\frac{P}{T}$$

dove

$P/T > 1$  = vegetazione arborea;  
 $1 > P/T > 0,5$  = vegetazione steppica;  
 $P/T < 0,5$  = vegetazione desertica.

- *Indice di aridità di De Martonne:*

$$i = \frac{P}{(T+10)}$$

dove

$i > 20$  = vegetazione forestale;  
 $20 > i > 10$  = prateria;  
 $10 > i > 5$  = vegetazione steppica;  
 $i < 5$  = vegetazione desertica.

- *Indici di Mitrakos:*

permettono di quantificare lo stress idrico (D) e quello termico (C), attraverso le formule

$$D = 2 \times (50 - P_n)$$

dove

per  $P = 0 \rightarrow D = 100$ ;  
per  $P = 50 \rightarrow D = 0$ .

$$C = 8(10 - T_n)$$

dove

per  $T = 10 \rightarrow C = 0$   
per  $T = -2,5 \rightarrow C = 100$

Tali indici sono stati calcolati per ciascun

**Tab. 9.23** - Intervalli di valori dell'Indice ombrotermico annuale ( $I_o$ ) che, in funzione dei valori degli  $I_o$  estivi, possono compensarsi e passare dal Macroclima Mediterraneo al Temperato (var. Submediterranea)

<b>I<sub>o</sub></b>	<b>I<sub>os2</sub></b>	<b>I<sub>os3</sub></b>	<b>I<sub>os4</sub></b>
2,0-3,6	>1,9	>1,9	>2,0
3,6-4,8	>1,8	>1,9	>2,0
4,8-6,0	>1,7	>1,8	>2,0
6,0-8,0	>1,5	>1,8	>2,0
8,0-10,0	>1,2	>1,6	>2,0
10,0-12,0	>0,7	>1,4	>2,0
>12,0			>2,0

mese (MDS e MCS), per l'estate (SDS) e l'inverno (WCS) e per l'anno (YDS e YCS).

- *Quoziente pluviometrico di Emberger:*

la classificazione proposta da Emberger che si basa sul calcolo del Quoziente pluviometrico (Q) permette di classificare i vari tipi di clima mediterraneo, cioè quelli caratterizzati da  $T_{\max(c)}/P_{\text{est}} < 7$ .

$$Q = \frac{100P}{T_{\max(c)}^2 - T_{\min(f)}^2}$$

dove

$20 < Q < 30$  = clima arido;  
 $30 < Q < 50$  = clima semiarido;  
 $50 < Q < 90$  = clima sub-umido;  
 $Q > 90$  = clima umido.

Tale classificazione si completa analizzando i valori di  $T_{\min(f)}$ :

$T_{\min(f)} > 7$  = climi caldi;  
 $0 < T_{\min(f)} < 7$  = climi freschi;  
 $0 > T_{\min(f)} > -5$  = climi freddi;  
 $T_{\min(f)} < -5$  = climi molto freddi.

- *La classificazione di Rivas-Martinez, prevede il calcolo dei seguenti indici:*

- *Indice ombrotermico annuale ( $I_o$ ):*

$$I_o = \frac{P_p}{T_p}$$

dove

$P_p$  = precipitazioni totali dei mesi con  $T > 0$ ;  
 $T_p$  = somma delle temperature medie mensili dei mesi con  $T > 0$ .

- *Indice ombrotermico estivo compensato ( $I_{os_2}$ ,  $I_{os_3}$ ,  $I_{os_4}$ ):*

$$I_{os_2} = \frac{P_{7+8}}{T_{7+8}};$$

$$I_{os_3} = \frac{P_{6+7+8}}{T_{6+7+8}};$$

$$I_{os_4} = \frac{P_{5+6+7+8}}{T_{5+6+7+8}}.$$

Attraverso gli indici ombrotermici di Rivas-Martinez si può definire il macrobioclima della stazione, se Temperato o Mediterraneo. Quando  $Ios_2$  è maggiore di 2, ci troviamo nella macroregione Temperata, negli altri casi siamo nella regione Temperata solo quando si verificano le condizioni elencate nella **tabella 9.23**.

Nell'ambito del macrobioclima Temperato è possibile individuare una variante Submediterranea che si realizza quando durante almeno un mese estivo  $P_1 < 2T_1$  ( $P_1/2T_1 < 2$ ) o quando  $Ios_2 < 2,5$ .

- *Indice di continentalità (Ic):*

$$I_c = T_{(c)} - T_{(f)}$$

che esprime la differenza in gradi centigradi tra la temperatura media del mese più caldo ( $T_{(c)}$ ) e quella del mese più freddo ( $T_{(f)}$ ) dell'anno, consente di inquadrare il tipo di continentalità secondo lo schema riportato nella **tabella 9.24**.

- *Indice di termicità (It) e, in caso di necessità, quello compensato (Itc) consentono*

**Tab. 9.24** - Valori dell'Indice di continentalità (Ic) e tipi corrispondenti

Ic	Macrotipo	Ic	Tipo
0-11	IPEROCEANICO	0-3	Estremamente iperoceanico
		3-7	Iperoceanico tipico
		7-11	Scarsamente iperoceanico
11-21	OCEANICO	11-18	Euoceanico
		18-21	Semi continentale
21-65	CONTINETALE	21-28	Subcontinentale
		28-45	Eucontinentale
		45-65	Ipercontinentale

**Tab. 9.25** - Valori della compensazione (C) per il calcolo dell'Indice di termicità (It)

Ic	f <sub>i</sub>	C
18-21	5	$C = C_1; C_1 = f_1 (Ic-18)$
21-28	10	$C = C_1 + C_2; C_1 = f_1 (21-18) = 15; C_2 = f_2 (Ic-21)$
28-45	20	$C = C_1 + C_2 + C_3; C_1 = 15; C_2 = f_2 (27-21) = 60; C_3 = f_3 (Ic - 27)$
45-65	30	$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4; C_1 = 15; C_2 = 60; C_3 = f_3 (46-27) = 380; C_4 = f_4 (Ic-46)$

**Tab. 9.26** - Individuazione degli orizzonti e dei piani bioclimatici in base al valore dell'Indice di termicità compensato (Itc)

Macrobioregione Mediterranea				Macrobioregione Temperata			
Piano	Orizzonte	It (Itc)	Tp*	Piano	Orizzonte	It (Itc)	Tp*
Inframediterraneo	Infer.	580-515	>2.450	Infratemperato	Infer.	480-445	>2.350
	Super.	515-450			Super.	445-410	
Termomediterraneo	Infer.	450-400	2.150-2.450	Termotemperato	Infer.	410-355	2.000-2.350
	Super.	400-350			Super.	355-300	
Mesomediterraneo	Infer.	350-280	1.500-2.150	Mesotemperato (Collinare)	Infer.	300-240	1.400-2.000
	Super.	280-210			Super.	240-180	
Supramediterraneo	Infer.	210-145	900-1.500	Supratemperato (Montano)	Infer.	180-100	800-1.400
	Super.	145-80			Super.	100-20	
Oromediterraneo	Infer.	-	450-900	Orotemperato	Infer.	-	380-800
	Super.	-			Super.	-	
Crioromediterraneo	Infer.	-	1-450	Criorotemperato	Infer.	-	1-380
	Super.	-			Super.	-	
Atermico	-	-	0	Atermico	-	-	0

(\*) Per It (Itc) < 120 il termotipo si calcola in funzione di Tp.

di definire il termotipo (orizzonte) e il piano:

$$I_t = (T + T_{\min(c)} + T_{\max(f)})$$

$$I_{tc} = I_t \pm C$$

dove C si calcola nel modo indicato nella **tabella 9.25**.

In base al macrobioclima di riferimento è possibile individuare i vari orizzonti e piani, secondo lo schema riportato nella **tabella 9.26**.

In base alla quantità di precipitazioni annuali e alla regione macrobioclimatica di appartenenza, si determina l'ombrotipo proposto da Rivas-Martinez (**tab. 9.27**).

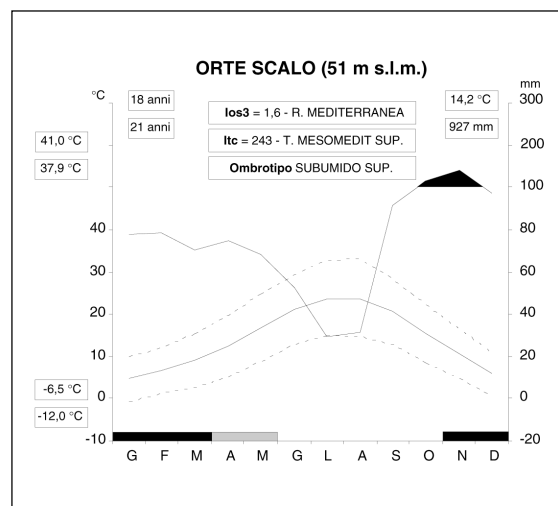
**Tab. 9.27** - Individuazione degli ombrotipi in base al valore dell'Indice ombrotermico annuale  $I_o$

Ombrotipo	$I_o$
Ultraiperarido	< 0,1
Iperarido inferiore	0,1-0,2
Iperarido superiore	0,2-0,3
Arido inferiore	0,3-0,6
Arido superiore	0,6-1,0
Semiarido inferiore	1,0-1,5
Semiarido superiore	1,5-2,0
Secco inferiore	2,0-2,8
Secco superiore	2,8-3,6
Subumido inferiore	3,6-4,8
Subumido superiore	4,8-6,0
Umido inferiore	6,0-9,0
Umido superiore	9,0-12,0
Iperumido inferiore	12,0-18,0
Iperumido superiore	18,0-24,0
Ultraiperumido	> 24

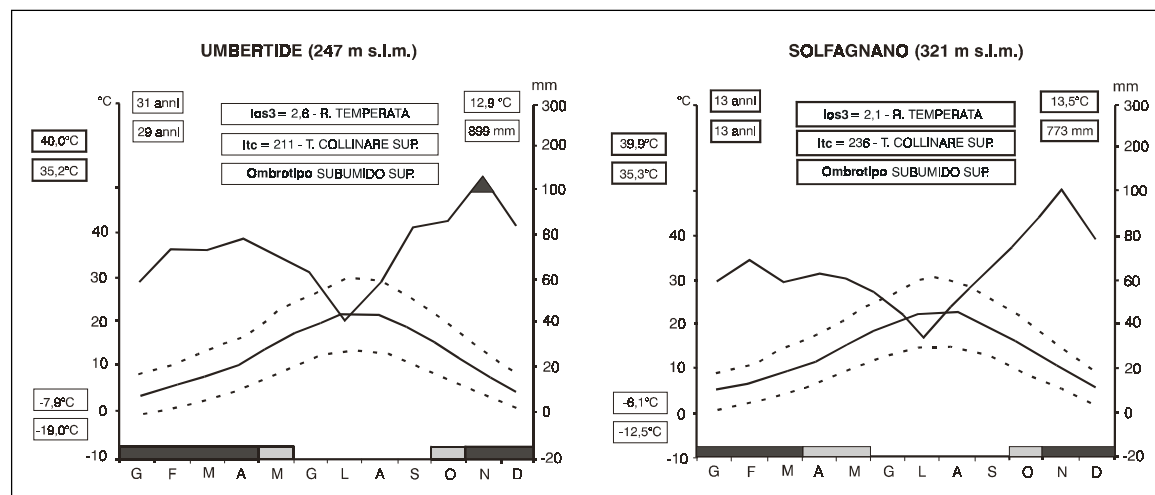
• **Il diagramma ombrotermico**

Oltre agli indici climatici, molto efficaci risultano anche i metodi di rappresentazione grafica che permettono un confronto immediato tra i diversi tipi di clima e tra i climi di diverse località. Tra i più utilizzati per la rappresentazione dei dati climatici negli studi di ecologia vegetale in tutto il mondo, ricordiamo il **diagramma ombrotermico**, ideato da Bagnouls e Gaussen e modificato da Walter e Lieth. Il diagramma ombrotermico di una certa località si costruisce come un diagramma cartesiano, ponendo sull'ascissa i mesi dell'anno, sull'ordinata di sinistra le temperature e su quella di destra le precipitazioni dove i valori delle temperature sono rappresentati con una scala doppia rispetto a quelli delle precipitazioni (1 °C = 2 mm). Si tracciano quindi le curve relative alle precipitazioni (*curva umbrica*) e alle temperature

**Fig. 9.14** - Diagrammi ombrotermici delle stazioni della Regione Mediterranea, piano Mesomediterraneo



**Fig. 9.13** - Diagrammi ombrotermici delle stazioni della Regione Temperata, variante Submediterranea, piano Collinare





(*curva termica*) utilizzando i valori medi mensili. Quando la curva delle precipitazioni scende sotto quella delle temperature, cioè quando la quantità di precipitazioni è inferiore al valore doppio della temperatura ( $P < 2T$ ), allora il periodo indicato deve considerarsi arido. Oltre i 100 mm di precipitazioni la scala viene ridotta a 1/10 e l'area corrispondente indica il periodo piovoso. In questo tipo di diagrammi vengono inoltre evidenziati, anche sulla base di quanto proposto da altri autori, altri dati, indici e periodi climatici, come riportato nella **figura 9.12**. Tali rappresentazioni grafiche permettono un'immediata interpretazione soprattutto dal punto di vista ecologico, in quanto offrono indicazioni sull'eventuale esistenza e consistenza del periodo di aridità estiva, che rappresenta il fattore limitante di maggiore incidenza nei lavori di recupero ambientale nei territori con caratteristiche climatiche spiccatamente mediterranee. L'analisi bioclimatica dà importanti indicazio-

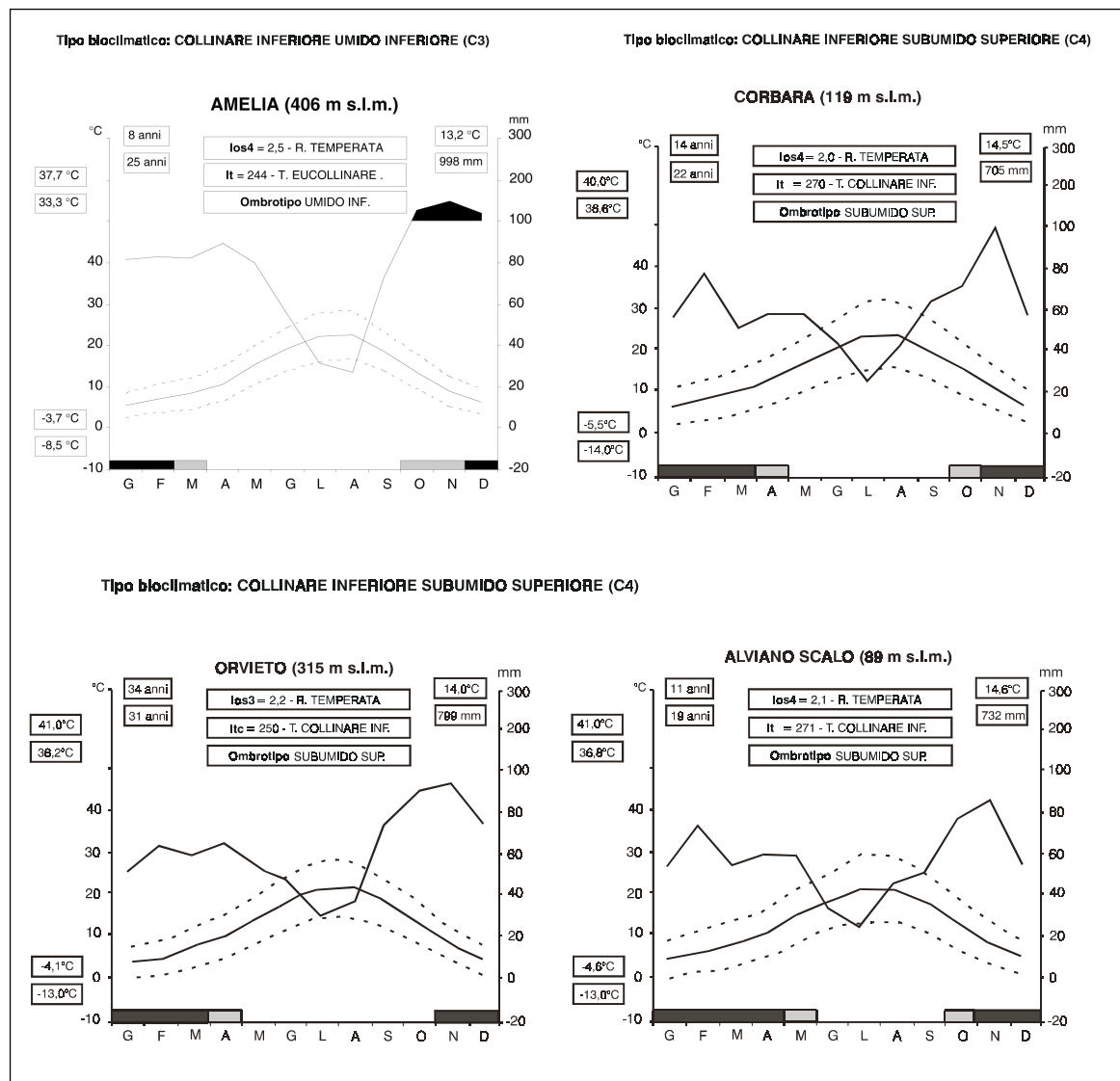
ni per la scelta delle essenze adatte per il territorio considerato.

Di seguito vengono riportati i diagrammi ombrotermici delle stazioni termopluviometriche e pluviometriche prese in esame per il territorio provinciale (**figg. 9.13-9.19**).

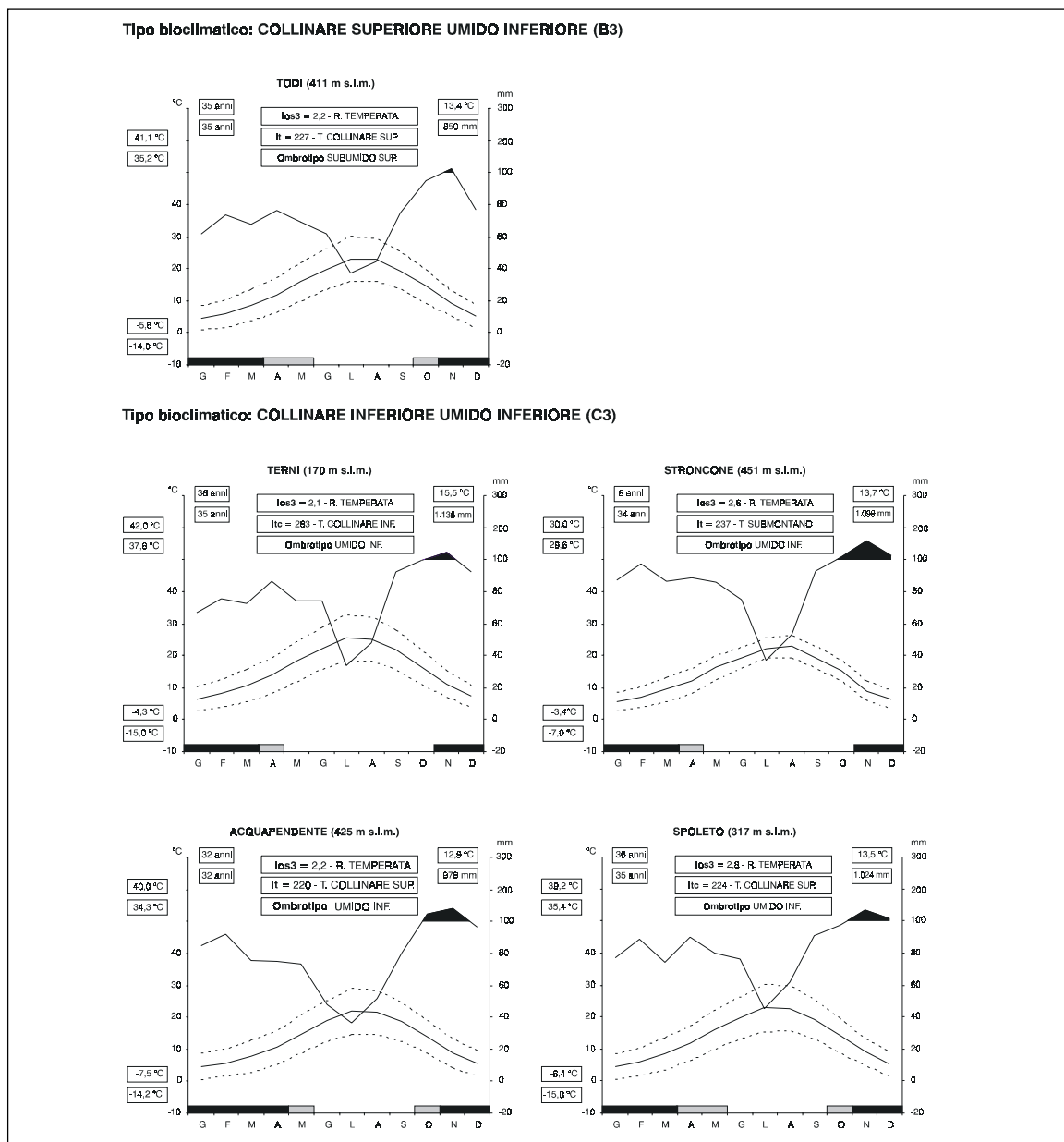
#### 9.4.3 L'analisi bioclimatica della provincia di Terni

L'inquadramento bioclimatico della provincia di Terni è stato effettuato facendo riferimento ai dati delle stazioni pluviometriche e termopluviometriche, relativi al periodo 1960-1996, e al confronto con la distribuzione delle Serie di vegetazione presenti nel territorio. La classificazione adottata è quella recentemente proposta da Rivas-Martinez *et al.* (1999) in base alla quale sono emerse situazioni bioclimatiche fortemente eterogenee che comprendono tipi bioclimatici del macrobioclima Temperato (molto ben rappresentato anche nella variante Submediterranea) e del macro-

**Fig. 9.15 - Diagrammi ombrotermici delle stazioni della Regione Temperata, piano Collinare**



**Fig. 9.16 -** Diagrammi ombrotermici delle stazioni della Regione Temperata, variante Submediterranea, piano Collinare



**Fig. 9.17 -** Diagrammi delle stazioni pluviometriche appartenenti agli ombrotipi Umido superiore e Umido inferiore

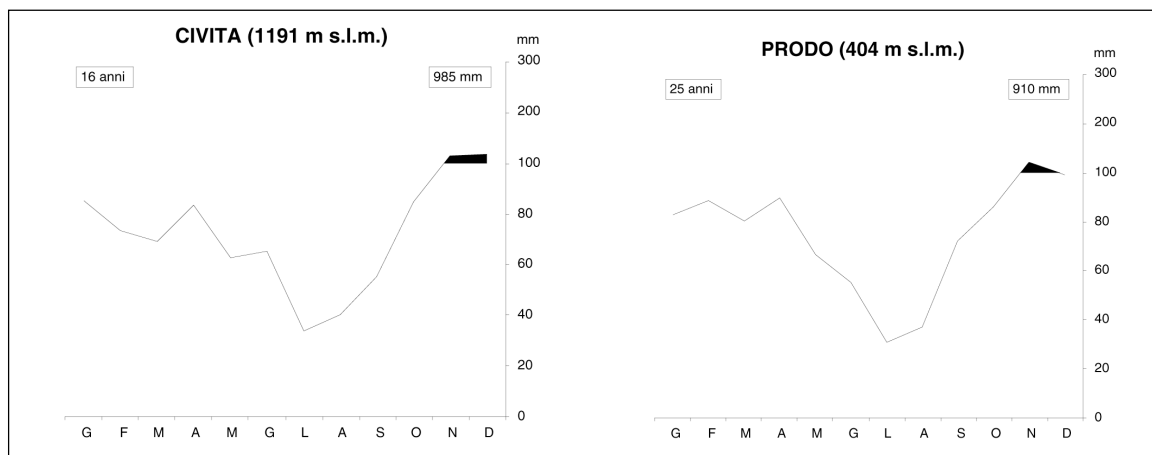
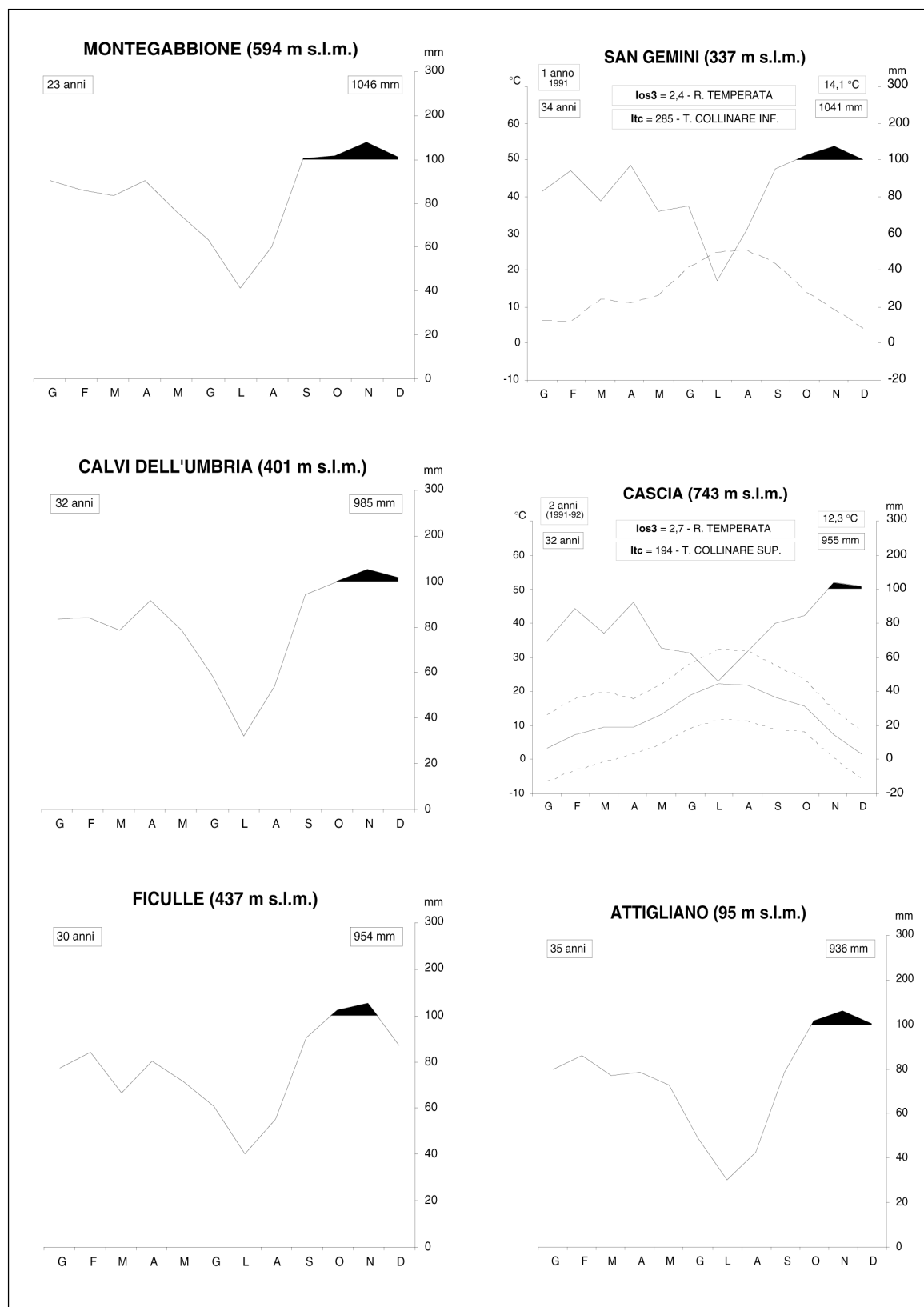


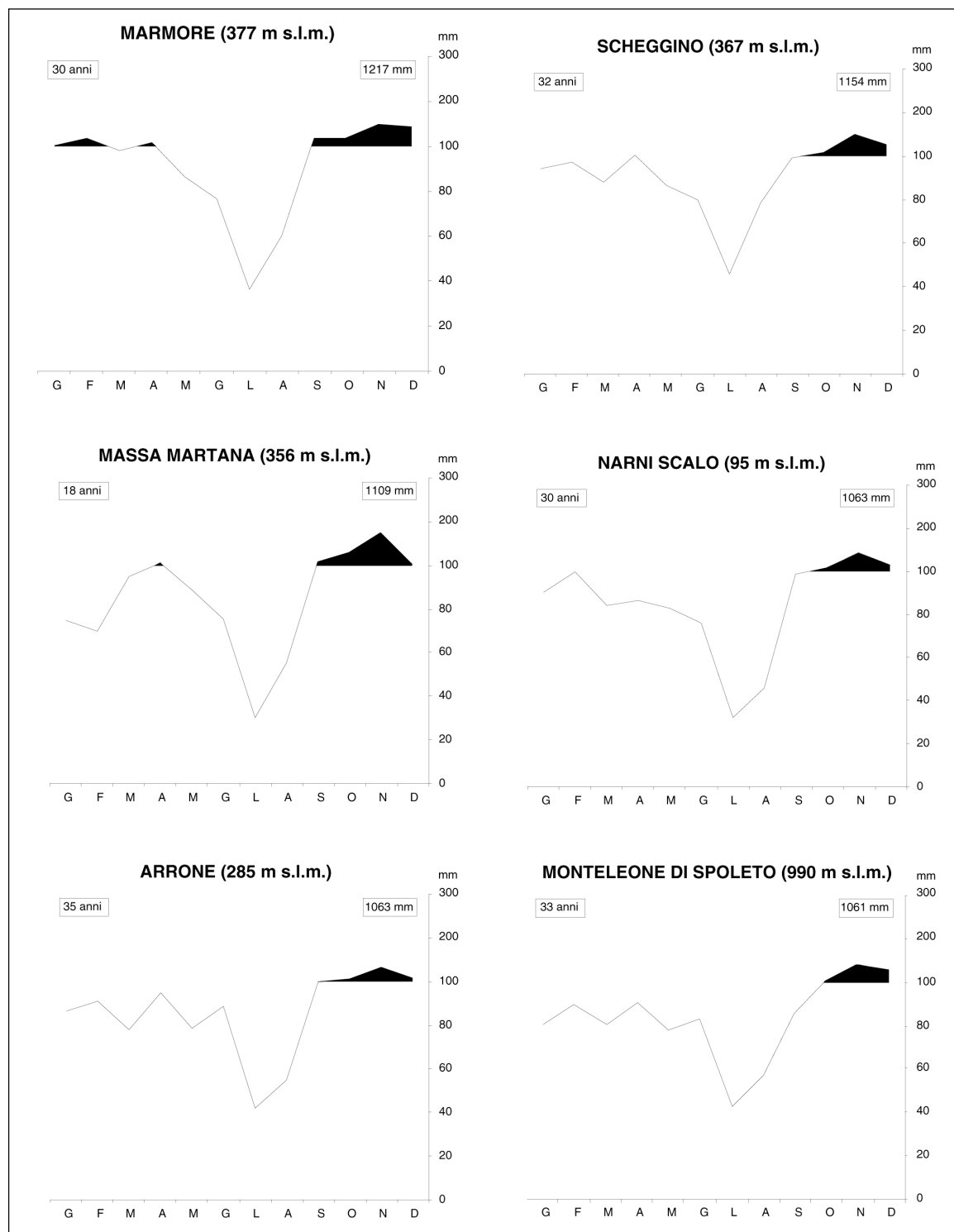
Fig. 9.18 - Diagrammi delle stazioni pluviometriche appartenenti all'ombrotipo Umido inferiore



bioclima Mediterraneo, anche se quest'ultimo ha una distribuzione marginale rispetto al territorio provinciale. Questa prima considerazione evidenzia la peculiarità del territorio che per buona parte si colloca nella fascia di transizione tra la regione biogeografica europea e quella

mediterranea, comportando interessanti e particolari situazioni floristico-vegetazionali. Per gran parte del territorio della provincia di Terni è importante porre particolare attenzione alla stagione estiva durante la quale si verifica uno stress idrico significativo.

Fig. 9.19 - Diagrammi delle stazioni pluviometriche appartenenti all'ombrotipo Umido inferiore



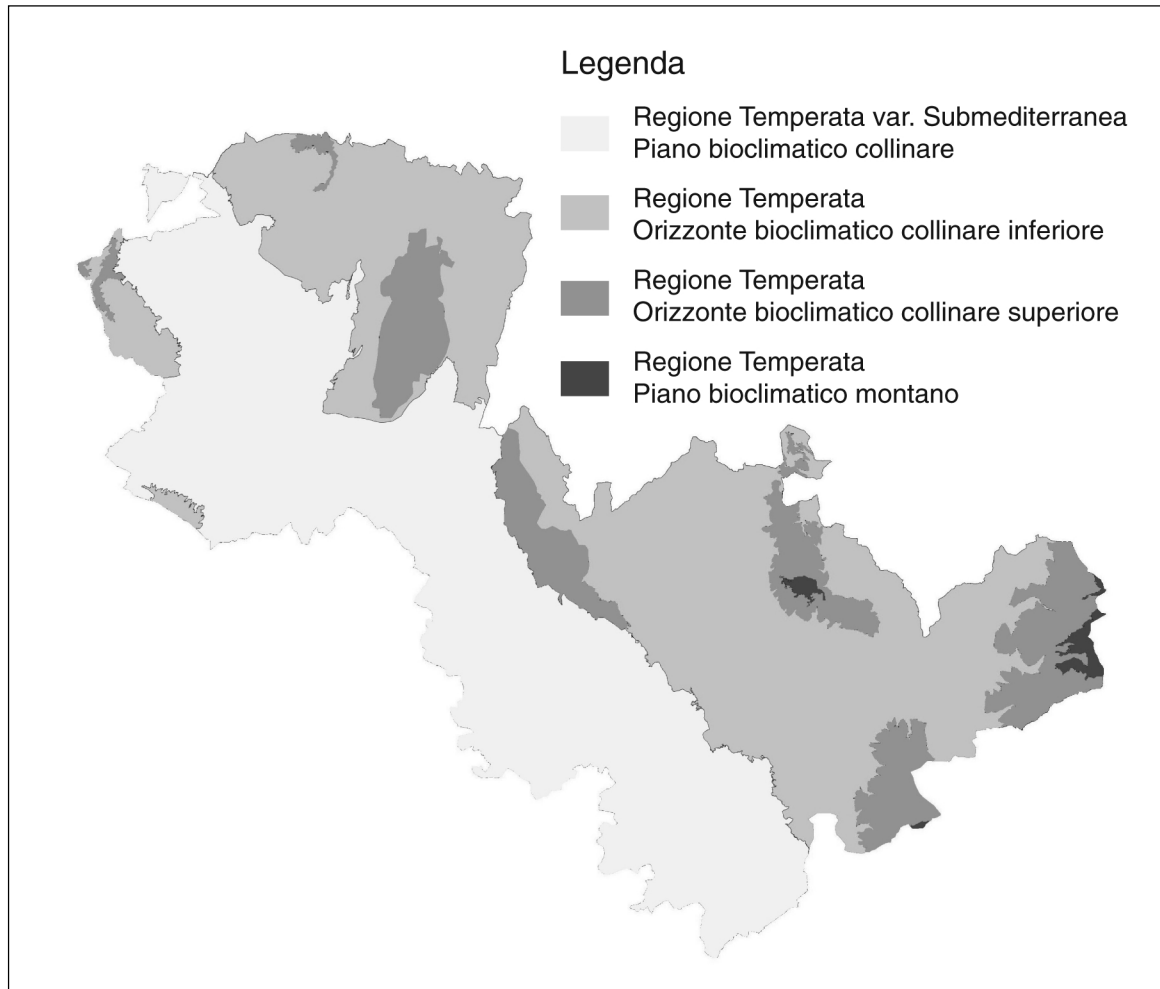
A seguito viene riportata una breve descrizione dei tipi bioclimatici derivata dall'analisi dei dati delle stazioni termopluviometriche che offrono dati più completi riferiti a periodi di tempo sufficientemente lunghi:

- **Macrobioclima Temperato:** con temperature medie annue comprese tra 9 °C e 13 °C con precipitazioni da 400 a 1.500 mm senza aridità estiva.
- **Montano:** questo piano bioclimatico, pre-

sente nella parte orientale della provincia, è stato ricavato sulla base dei dati fitosociologici attraverso comparazioni con le associazioni fitosociologiche e le stazioni termopluviometriche di altre aree del territorio umbro, poichè mancano stazioni nel territorio considerato.

- **Collinare superiore Umido inferiore:** comprende le stazioni termopluviometriche di Acquapendente, Spoleto e Stroncone, con

Tav. 9.6 - Carta fitoclimatica del territorio della Provincia di Terni



precipitazioni medie annue comprese tra 978 e 1.099 mm/anno, e temperature medie annue comprese tra 12,9 °C e 13,7 °C. Lo stress idrico del periodo estivo, seppur esiguo, è presente nelle stazioni di Acquapendente e Stroncone, lo stress da freddo è relativamente intenso e variabile come durata, potendo iniziare in autunno e prolungarsi in primavera.

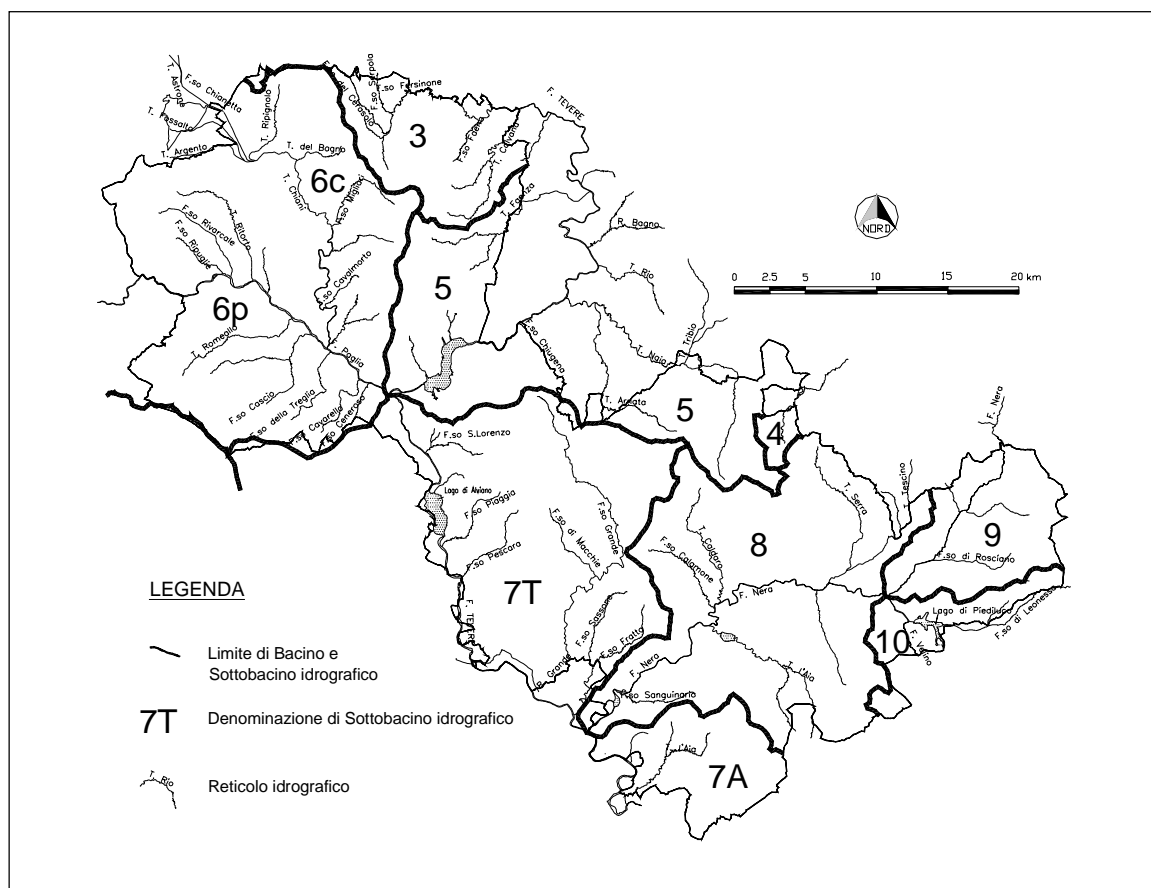
- *Collinare superiore Subumido superiore*: comprende la sola stazione termopluviometrica di Todi con precipitazione media annuale di 850 mm. La temperatura media annua è 10,6 °C, lo stress idrico estivo è maggiore rispetto alle precedenti stazioni termopluviometriche.
- *Collinare inferiore Umido inferiore*: comprende la sola stazione di Terni con valori di precipitazione media annua di 1.136 mm e temperatura media annua di 15,5 °C, con massimi di 42 °C, la minima del mese più freddo non scende mai al di sotto di 5 °C, d'estate di solito ci sono 156 mm di pioggia, motivo per cui si verifica lo stress idrico.
- *Macrobioclina Temperato variante Submediterranea*:
  - *Collinare inferiore Umido inferiore*: com-

prende la sola stazione termopluviometrica di Amelia con precipitazione media annua di 998 mm, temperatura media annua di 13,2 °C; presenta stress idrico estivo.

- *Collinare inferiore Subumido superiore*: comprende le stazioni termo-pluviometriche di Corbara, Alviano Scalo e Orvieto. Le precipitazioni medie annue sono comprese tra 705 mm e 799 mm, le temperature medie annue sono comprese tra 14 °C e 14,6 °C. Lo stress idrico si concentra durante il periodo estivo.
- *Macrobioclina Mediterraneo*: temperature medie annue comprese tra 14 °C e 18 °C, con precipitazioni comprese tra 300 mm e 900 mm;
  - *Mesomediterraneo superiore Subumido superiore*: vi appartiene la sola stazione termopluviometrica di Orte scalo, con precipitazione media annua di 927 mm e temperatura media annua di 14,2 °C; lo stress idrico è il più alto riscontrato nella provincia, con valori di precipitazione durante il periodo estivo di 113 mm.

Per le stazioni pluviometriche è stato possibile effettuare una classificazione parziale che tiene conto solo dell'ombrotipo, sempre secondo gli indici proposti da Rivas-Martinez.

Tav. 9.7 - Schema dei bacini e reticoli idrografici del territorio della Provincia di Terni



Le stazioni di Marmore e Scheggino appartengono all'ombrotipo Umido superiore, mentre le stazioni di Massa Martana, Narni Scalo, Arrone, Monteleone di Spoleto, Montegabbione, San Gemini, Calvi dell'Umbria, Cascia, Ficulles, Attigliano, Civita e Prodo appartengono all'ombrotipo Umido inferiore.

#### 9.4.3.1 Carta del Fitoclima della provincia di Terni

La distribuzione dei diversi fitoclimi della provincia di Terni è presentata nella **tavola 9.6**.

Il settore al di sopra della demarcazione che va da nord-ovest a sud-est, seguendo l'asse della catena Amerino-Narnese, appartiene alla Regione bioclimatica Temperata, ampiamente diffusa nel territorio soprattutto con il piano bioclimatico collinare; l'orizzonte collinare superiore e il piano montano si presentano in corrispondenza dei principali rilievi, rispettivamente al di sopra di quote variabili attorno ai 500-700 m s.l.m. e 900-1.100 m s.l.m. Nel settore sud-occidentale del territorio la situazione climatica, confermata anche dalle caratteristiche della vegetazione, è di transizione tra il macrobioclima Temperato e quello Mediterraneo: è classificata come variante Submediterranea della regione Temperata ed è rappresentata esclusivamente dal piano bioclimatico collinare. Ovviamente si tratta di un modello generale, è quindi logico che in queste situazioni di massima, all'interno

di un determinato bioclima si possano verificare situazioni completamente differenti al variare delle condizioni morfologiche. L'esempio principale è dato dal clima azonale presente lungo i principali corsi d'acqua. Anche in questi casi, l'osservazione della flora e della vegetazione presenti sul terreno permette un'esatta valutazione.

## 9.5 Aspetti idrologici

### 9.5.1 Il reticolo idrografico

Il reticolo idrografico del territorio della provincia di Terni, ricade interamente nel bacino del fiume Tevere; le principali aste oltre a quelle del fiume Tevere sono costituite dal fiume Paglia (destra idrografica) e dal fiume Nera (sinistra idrografica). Per motivi descrittivi il sistema idrografico è stato suddiviso in sub-bacini, già individuati dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (**tav. 9.7**). L'elenco dei bacini considerati, con le rispettive superfici ricomprese nel territorio della provincia di Terni, è riportato nella **tabella 9.28**. Per quanto riguarda i corpi lacustri sono presenti 4 invasi artificiali (Corbara, Alviano, Recentino, San Liberato) e un lago naturale regolato (Piediluco). Di seguito viene effettuata una breve descrizione delle caratteristiche salienti dei singoli sub-bacini idrografici.

Tab. 9.28 - Elenco dei bacini idrografici e superfici nel territorio della Provincia di Terni

Bacino		Superficie in provincia di Terni (km <sup>2</sup> )	Superficie totale nel bacino Tevere (km <sup>2</sup> )
ID	Denominazione		
3	Torrente Nestore	129	793,4
4	Fiume Topino - torrente Marroggia	20,7	1.220
5	Fiume Tevere a monte del fiume Paglia	249,5	6.087
6P	Fiume Paglia	329,1	1.340
6C	Torrente Chiani	239,5	458
7T	Fiume Tevere a monte del fiume Nera	411	8.412
7A	Fiume Tevere tra fiume Nera e limiti provincia	104,2	8.824
8	Fiume Nera a valle del fiume Velino	442,6	4.279
9	Fiume Nera a monte del fiume Velino	127,4	1.460
10	Fiume Velino	56,5	2.357

#### 9.5.1.1 Sub-bacino 3 (fiume Nestore)

La superficie del bacino del fiume Nestore è di circa 793 km<sup>2</sup> e raggiunge i 1.103 km<sup>2</sup> se si include anche il bacino del lago Trasimeno che è stato artificialmente collegato a quello del Nestore attraverso il canale emissario di San Savino che funziona come scolmatore e collega idraulicamente i due sistemi quando il livello della superficie lacustre supera la quota di 257,5 m s.l.m. Tale bacino è caratterizzato da quote altimetriche medie piuttosto basse (332 m s.l.m.), infatti solo il 2% del territorio si trova ubicato al di sopra dei 600 m s.l.m. di quota e ben il 57% è sotto i 300 m s.l.m.; esso si origina dalle alture comprese tra i limiti dei comuni di Città della Pieve e Monteleone d'Orvieto ed il tratto iniziale è caratterizzato da pendenze di circa il 2%. La maggior parte degli affluenti sviluppano il loro corso in aree pianeggianti o collinari, quelli che presentano un bacino idrografico superiore ai 100 km<sup>2</sup>, sono il torrente Caina ed il fosso Fersinone. Il fosso Fersinone si origina nel complesso del monte Terracone (708 m), al confine tra i territori dei comuni di Parrano e San Venanzo e si sviluppa, per la maggior parte, entro il territorio del comune di San Venanzo, ha una lunghezza complessiva di circa 23 km con pendenza media dell'1,5%; presenta numerosi affluenti in destra idrografica riceve le acque dei fossi Cerasolo e Serpolla, mentre in sinistra quelle del fosso Foena e del torrente Calvana e confluisce nel fiume Nestore poco a monte dell'abitato di Marsciano. Il bacino del fiume Nestore ricade per una piccola parte nel territorio della provincia di Terni (129 km<sup>2</sup>), in particolare vi rientrano i tratti iniziali del fosso Fersinone, suo affluente di destra, e dei torrenti Foena di Falcete e di Cerasa, che convergono a formare il torrente Foena.

#### 9.5.1.2 Sub-bacino 4 (fiume Topino - torrente Marroggia)

Il bacino del fiume Topino è piuttosto ampio e si estende per una superficie di 1.220 km<sup>2</sup> ed una quota media di 552 m s.l.m. che sale a 676

m s.l.m. nella sezione a monte della confluenza del torrente Timia; la fascia altimetrica dominante è 600-900 m s.l.m. ed il 18% della superficie del bacino si trova a quote superiori.

L'asta fluviale del fiume Topino ha una lunghezza di circa 50 km e una pendenza media dell'1% che sale al 3% nel tratto iniziale in prossimità del monte Pennino (1.471 m s.l.m.). Gli affluenti dotati di un bacino superiore ai 100 km<sup>2</sup> sono il torrente Caldognola, il fiume Menotre e il sistema torrente Timia - torrente Marroggia; quest'ultimo drena tutta la Valle Umbra Sud per una superficie complessiva di 603 km<sup>2</sup>, sviluppandosi quasi completamente in aree pianeggianti, la sua quota media è infatti di appena 186 m s.l.m., in questo ambito l'unico corso d'acqua con caratteristiche di continuità e abbondanza dei deflussi è il fiume Clitunno, mentre torrente Marroggia, torrente Timia, torrente Attone e torrente Ose assicurano il loro apporto solo durante i periodi di maggiore piovosità. La superficie del sub-bacino presente in provincia di Terni è di appena 20,7 km<sup>2</sup> ed in tale porzione di territorio è ubicato solo il tratto sorgentizio del torrente Marroggia, amministrativamente compreso entro il comune di Acquasparta.

#### 9.5.1.3 Sub-bacino 5 (fiume Tevere a monte del fiume Paglia)

Questo sub-bacino si estende dalla confluenza del fiume Chiascio fino a monte della confluenza del torrente Paglia; il bacino del fiume Tevere sotteso alla stazione di chiusura è pari a 6.087 km<sup>2</sup> con una quota media di 463 m s.l.m. mentre la porzione di bacino che ricade nella provincia di Terni è pari a circa 249,5 km<sup>2</sup>.

Gli affluenti di sinistra del fiume Tevere in questo tratto sono il torrente Naia ed il torrente Arnata (affluente in destra idrografica del torrente Naia) che nell'ambito del territorio provinciale, si trovano nei comuni di Montecastrilli e Acquasparta. Il torrente Naia si origina ad una quota altimetrica di circa 360 m s.l.m., ha una lunghezza di 30 km e un bacino di 171 km<sup>2</sup>.

Nel comune di Baschi si sviluppano i fossi Chiugena, Pasquarella e Varconi immissari diretti dell'invaso di Corbara creato, per fini idroelettrici, dall'ENEL tra il 1958 e il 1963.

In destra idrografica, invece, i principali affluenti del fiume Tevere sono tutti immissari dell'invaso di Corbara e precisamente si tratta dei fossi Pianicello, Stregaro, Ramali e del Molinetto; compresi nel comune di Orvieto. Nessuno dei corsi d'acqua citati presenta un bacino superiore ai 100 km<sup>2</sup> ed ha carattere permanente.

#### 9.5.1.4 Sub-bacino 6P (fiume Paglia)

Il bacino del fiume Paglia ha complessivamente una superficie pari a 1.340 km<sup>2</sup> di cui circa la metà in territorio toscano; la parte a monte della confluenza con il torrente Chiani ha una quota media di 415 metri ed una superficie di 811 km<sup>2</sup>; la sua quota massima è di 1.734 m s.l.m. (monte Amiata). Una parte di questo bacino è occupata da terreni vulcanici caratterizzati da permeabilità medio-alta, il suo tratto iniziale si sviluppa con direzione NO-SE fino all'altezza di Acquapendente in Toscana, quindi devia bruscamente verso est per riacquistare la direzione originaria poco dopo monte Rubiaglio; il tratto nella provincia di Terni ha una lunghezza di circa 35 km e una pendenza media dell'alveo molto bassa (circa 0,2%), la sua superficie è pari a 329 km<sup>2</sup>. In tale tratto gli affluenti in destra idrografica sono il torrente Romealla, i fossi Luguscello e Cascio che si uniscono presso la località Albergo la Nona, il fosso della Treglia, il fosso Cavarello e il fosso Ceneroso mentre in sinistra idrografica si rilevano i fossi di Ripuglie, Rivarcale, Rimacchie (affluente di sinistra del fosso Rivarcale), torrente Ritorto, fosso Anciola (affluente di sinistra del torrente Ritorto), fosso della Sala, il tratto terminale del torrente Chiani ed il fosso di Cottano, nessuno di essi, ad eccezione del torrente Chiani, ha un bacino di estensione maggiore di 100 km<sup>2</sup>. I territori attraversati da questi corsi d'acqua ricadono nei comuni di Alleronia, Ficulle, Fabro e Orvieto.

#### 9.5.1.5 Sub-bacino 6C (torrente Chiani)

Il torrente Chiani è il principale affluente in sinistra idrografica del fiume Paglia, il suo bacino ha una superficie di 458 km<sup>2</sup> e drena le acque dell'ambito della Val di Chiana romana sviluppandosi per una lunghezza di circa 42 km.

Esso si origina in prossimità del lago di Chiusi ad una quota altimetrica di circa 250 m s.l.m.; l'attuale spartiacque con il bacino lacustre è artificiale, essendo stato creato nel secolo scorso per deviare a sud le acque che naturalmente drenavano verso il lago; la quota media del bacino è di 408 m s.l.m. e la sezione di bacino compresa in provincia di Terni è pari a 239,5 km<sup>2</sup>.

Nel bacino del torrente Chiani predominano depositi fluvio-lacustri con bassa permeabilità; solo le colline più elevate presentano terreni arenacei e calcareo-marnosi più permeabili.

I principali affluenti del torrente Chiani risul-

tano, in destra idrografica, il tratto terminale del torrente Argento con i suoi affluenti rispettivamente di sinistra (parte finale del torrente Fossalto) e destra (intero corso del fosso Bussetaccio) e il fosso di Calenne; in sinistra idrografica il reticolo appare molto più sviluppato, in particolare i corsi d'acqua presenti sono il torrente Ripignolo, il torrente Sorre, il fosso del Bagno, il fosso di Migliari, il fosso dell'Elmo, il fosso Cavalmorto e il fosso Carcaione che, in destra idrografica, riceve le acque del fosso di Pagliano. I comuni attraversati dal sistema idrografico del torrente Chiani sono quelli di Fabro, Ficulle, Monteleone d'Orvieto, Montegabbione, Parrano, San Venanzo e Orvieto.

#### 9.5.1.6 Sub-bacino 7T (fiume Tevere a monte del fiume Nera)

Questa sezione di bacino si estende dal punto di chiusura del sub-bacino 5 (fiume Tevere a monte del fiume Paglia), posto a valle della diga di Corbara, fino a monte della confluenza del fiume Nera per una superficie complessiva di circa 974,4 km<sup>2</sup> di cui 411 km<sup>2</sup> compresi entro il territorio provinciale.

La superficie complessiva, di bacino idrografico del fiume Tevere, sottesa è di 8.412 km<sup>2</sup>.

Nel tratto considerato, il fiume Tevere delimita il confine provinciale e riceve le acque di numerosi affluenti di cui solo uno ha un bacino superiore ai 100 km<sup>2</sup> ed è il Rio Grande che insieme ai fossi San Lorenzo, Guardea, Piaggia, Pescara, Valle Caldari, Giove, Sassone e Fratta rappresentano i principali affluenti in sinistra idrografica del fiume Tevere; oltre questi sono presenti anche i fossi di Pilli (destra fosso San Lorenzo), Marutana (destra fosso Piaggia), Macchie e Mascia (destra e sinistra rispettivamente del Rio Grande). Gli affluenti in destra idrografica, ad eccezione del fiume Paglia che è stato trattato separatamente, sono il fosso Funcello, fosso di Castiglione, Rio Torbido, Rio Chiaro, torrente Rigo, torrente Vezza, fosso Castello, Rio Paranza; tutti questi, però, ad eccezione del primo ricadono nel territorio della Regione Lazio. Gli immissari del lago di Alviano in questo settore sono il fosso di Castiglione, Rio Torbido, Rio Chiaro ed il fosso di Guardea.

#### 9.5.1.7 Sub-bacino 7A (fiume Tevere tra fiume Nera e limite di provincia)

Tale sub-bacino si estende dalla sezione a monte della confluenza con il Nera fino al limite provinciale, la sua superficie è di 104,2 km<sup>2</sup> mentre la superficie di bacino del fiume Tevere complessiva sottesa a questo punto ammonta a circa 13.103 km<sup>2</sup>. In questo tratto il fiume Tevere riceve in sinistra idrografica le acque del fiume Nera, del fosso Vallefredda, fosso Aia, fosso Striano (tratto iniziale umbro) e quello del torrente L'Aia; ad eccezione del fiume Nera, tutti gli altri sono compresi entro i territori dei comuni di Otricoli e Calvi dell'Umbria. Gli affluenti in destra idrografica sono i fossi di Rustica, Rio di Miccino e Rio Fratta, ricadenti nel territorio extra provinciale.



#### 9.5.1.8 Sub-bacino 8 (fiume Nera a valle del fiume Velino)

Tale superficie si estende dalla sezione a valle della confluenza del fiume Velino con il fiume Nera presso la Cascata delle Marmore fino alla confluenza con il fiume Tevere. Il settore considerato ha una lunghezza di circa 60 km e una superficie di circa 442,6 km<sup>2</sup>, interamente compresi entro il territorio provinciale, mentre alla sezione di chiusura il bacino complessivamente sotteso dal fiume Nera è di 4.279 km<sup>2</sup>. In questo tratto il fiume Nera, riceve le acque dei seguenti affluenti: in destra idrografica i torrenti Serra e Caldaro, con rispettivamente il torrente Tessino e il fosso Bianco come affluenti di sinistra, e il fosso Calamone; in sinistra idrografica, invece, il fosso di Stroncone, il torrente L'Aia e il fosso Sanguinaro.

Quest'ultimo s'immette in corrispondenza dell'invaso di san Liberato. Lungo il torrente L'Aia è da segnalare la presenza dell'invaso omonimo e in corrispondenza del tratto iniziale l'immissione del Rio Campodellacqua. Nessuno dei corsi d'acqua citati ha un bacino con superficie maggiore di 100 km<sup>2</sup>.

#### 9.5.1.9 Sub-bacino 9 (fiume Nera a monte del fiume Velino)

Questa sezione di bacino del fiume Nera, è parzialmente compresa entro il territorio provinciale (circa 127,4 km<sup>2</sup>), la sezione di interesse si estende dall'ingresso del fiume Nera in provincia (comune di Ferentillo) fino a monte della confluenza del fiume Velino.

In questo breve tratto unico affluente di rilievo è il fosso di Rosciano in sinistra idrografica; altri importanti corsi d'acqua sono il fosso di Terria ed il fosso del Castellone.

#### 9.5.1.10 Sub-bacino 10 (fiume Velino)

La superficie complessiva del bacino del fiume Velino è di 2.357 km<sup>2</sup> per la maggior parte compresi entro il territorio delle regioni Abruzzo e Lazio; la superficie di bacino del fiume Velino compreso entro il territorio provinciale è di circa 56,5 km<sup>2</sup>. In questo tratto il fiume Velino funziona da immissario/emissario del lago di

Piediluco e dopo un salto di circa 150 m (Cascata delle Marmore) s'immette nel fiume Nera.

#### 9.5.2 I parametri idrologici

La rete di controllo idrologico nella provincia di Terni, riassunta nella **tabella 9.29**, è gestita da due diversi soggetti il Servizio Idrografico Regionale (SIR) e il Servizio Idrografico di Roma.

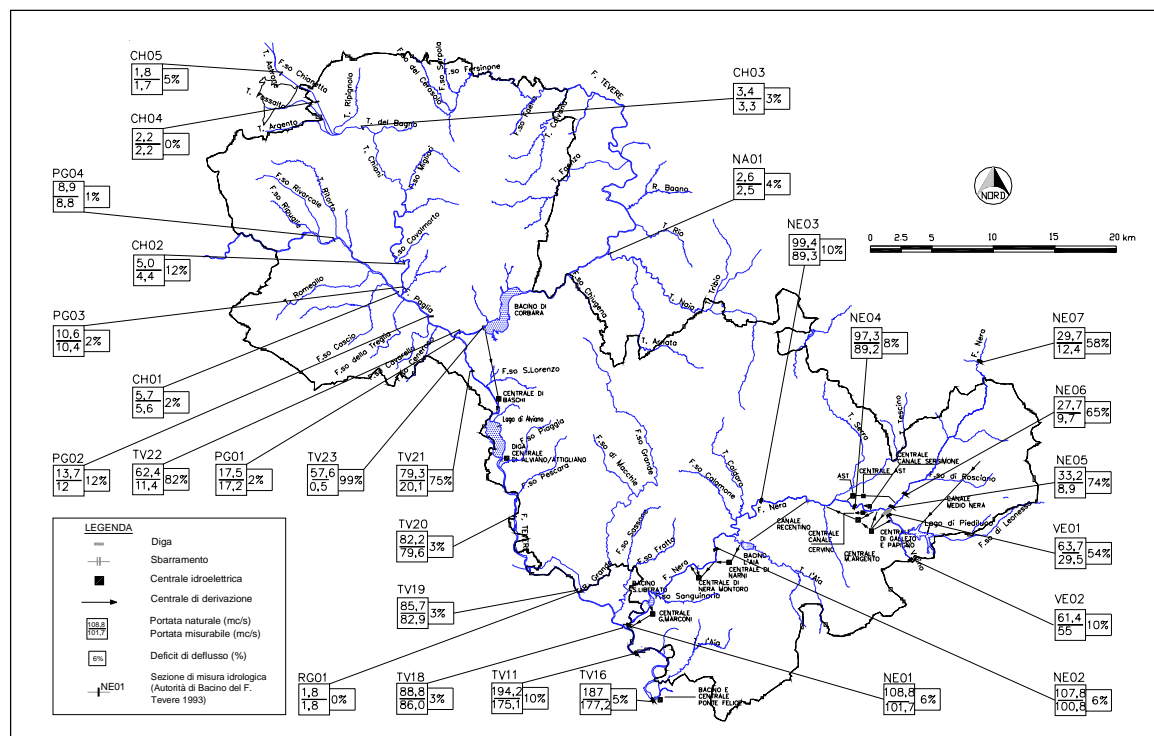
Il SIR ha un'estesa rete di rilevamento dei dati idrometrici, pluviometrici e termometrici dei principali bacini e, per quanto riguarda i deflussi superficiali, è costituita attualmente da 7 stazioni in provincia di Terni, in cui viene misurata l'altezza idrometrica con frequenza semioraria, collegate in telemisura alla stazione centrale del SIR presso la Regione dell'Umbria. Le stazioni di misura poste sul canale del Medio Nera, in corrispondenza dell'ingresso nel lago di Piediluco e sul fiume Nera a Torre Orsina sono state rese operative nel 1996 e i dati non sono ancora stati pubblicati. Il Servizio Idrografico di Roma, invece, gestisce la raccolta ed elaborazione dei dati di 4 idrometri in provincia di Terni. Per quanto riguarda gli aspetti idrologici, un notevole contributo, infine, proviene dai dati relativi agli afflussi e deflussi medi mensili e annui forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere che, attraverso uno studio di regionalizzazione, ha ricavato le leggi probabilistiche che legano il comportamento idraulico naturale di un corso d'acqua alle variabili fisiografiche del bacino sotteso e alla piovosità. Partendo dai dati sperimentali, tali leggi hanno permesso di stimare l'andamento dei deflussi anche per le stazioni non strumentate; il modello utilizzato è basato sulle serie storiche di dati idrologici del periodo 1921-1950, considerato come periodo in cui lo stato del bacino poteva essere naturale.

I deflussi stimati sono, pertanto, quelli naturali, ossia in assenza di prelievi e delle modifiche apportate al regime idraulico dall'esercizio di dighe. La precisione del modello è stata, poi, verificata confrontando i dati di alcune stazioni di misura con i corrispondenti valori stimati

**Tab. 9.29** - Stazioni idrometriche nella provincia di Terni

Corso d'acqua	Stazione	Idrometro
Fiume Tevere	Baschi	Servizio Idrografico di Roma
Fiume Tevere	Orte	Servizio Idrografico di Roma
Fiume Paglia	Ponte Adunata	Servizio Idrografico di Roma
Fiume Paglia	Allerona	Servizio Idrografico di Roma
Torrente Chiani	Santa Maria	Chiana Romana - SIR
Torrente Chiani	Ponte Osteria	Chiana Romana - SIR
Torrente Chiani	Morrano	SIR
Fiume Nera	Terni - Ponte Garibaldi	SIR
Fiume Nera	Narni Scalo	SIR
Fiume Nera	Canale Medio Nera (Lago di Piediluco)	SIR
Fiume Nera	Torre Orsina	SIR

Tav. 9.8 - Carta del regime idrico del territorio della Provincia di Terni



Tab. 9.30 - Sezioni di interesse Autorità di Bacino del Fiume Tevere

Sub-Bacino idrografico		Codice sezione	Sezione di interesse e stazione del servizio idrografico nazionale
5	Tevere a monte del Paglia	TV22	Tevere a monte del Paglia
		TV23	Tevere a valle della diga di Corbara
6	Paglia-Chiani	PG01	
		PG02	SSI Orvieto
		PG03	
		PG04	
		CH01	Torrente Chiani nella confluenza col Paglia
		CH02	Chiani a Ponte Morrano (SSI)
		CH03	Chiani a monte Torrente Sorre
7	Tevere a monte dell'Aniene	TV17	SSI Passo San Francesco
		TV18	Fiume Tevere (a monte del Nera)
		TV19	Fiume Tevere a monte della confluenza col Rio Grande
		TV20	Fiume Tevere a monte torrente Vezza
		TV21	SSI Baschi
8	Nera	RG01	Rio Grande (TR)
		NE01	Fiume Nera alla confluenza col Tevere
		NE02	Fiume Nera a Narni
		NE03	SSI Macchia Grossa
9	Nera a monte del Velino	NE04	Fiume Nera a monte di Terni
		NE05	Fiume Nera monte del Velino
		NE06	SSI Torre Orsina
10	Velino	NE07	Fiume Nera a Ceselli
		VE01	Fiume Velino (alla confluenza col Nera)
		VE02	Fiume Velino (confine di regione)

Tab. 9.31 - BFI, portate medie naturali, portate medie misurabili e deficit di deflusso

Macro bacino	COD	BFI naturale	Q <sub>a</sub> naturale (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>a</sub> misurabile (m <sup>3</sup> /s)	Deficit di deflusso	
					Q <sub>an</sub> - Q <sub>am</sub> (m <sup>3</sup> /s)	%
6 Paglia-Chiani	CH01	36	5,7	5,6	0,1	98,25
	CH02	36	5	4,4	0,6	88,00
	CH03	36	3,4	3,3	0,1	97,06
	CH04	36	2,2	2,2	0	100
	CH05	36	1,8	1,7	0,1	94,44
	PG01	30,5	17,5	17,2	0,3	98,29
	PG02	30,5	13,7	12	1,7	87,59
	PG03	31	10,6	10,4	0,2	98,11
	PG04	31	8,9	8,8	0,1	98,88
	PG05	31	5,5	5,4	0,1	98,18
7 Tevere a monte dell'Aniene	RG01	63	1,8	1,8	0	100
	TV17	67,5	194,2	175,1	19,1	90,16
	TV18	47	88,8	86	2,8	96,85
	TV19	47	85,7	82,9	2,8	96,73
	TV20	47	82,2	79,6	2,6	96,84
	TV21	47	79,3	20,1	59,2	25,35
5 Tevere a monte del Paglia	TV22	47	62,4	11,4	51	18,26
	TV23	47	57,6	0,6	57	1
8 Nera	NE01	84,5	108,8	101,7	7,1	93,47
	NE02	84,5	107,8	100,8	7	93,51
	NE03	82,6	99,4	89,3	10,1	89,84
	NE04	84,5	97,3	89,2	8,1	91,68
9 Nera a monte del Velino	NE05	83	33,8	8,9	24,9	26,33
	NE06	83	27,7	9,7	18	35,02
	NE07	83	29,7	12,4	17,3	41,75
10 Velino	VE01	85,5	63,7	29,5	34,2	46,31
	VE02	85,5	61,4	55	6,4	89,5

con il modello stesso; la stessa Autorità di Bacino, tuttavia, raccomanda cautela nell'uso dei dati pubblicati. I dati, a livello provinciale, sono riferiti a 25 sezioni in provincia di Terni, ciascuna stazione è indicata da un codice e a fianco viene segnalata la stazione strumentata (SSI) di riferimento, l'elenco delle sezioni comprese entro il territorio della provincia, è riportato nella **tabella 9.30**.

Per ciascuna sezione di interesse, oltre alle *portate naturali*, sono state calcolate le *portate misurabili*, intese come le portate che defluirebbero attraverso una sezione quando a monte vengono effettuati i prelievi relativi alle concessioni in atto.

Nelle sezioni strumentate le portate misurabili sono state ricavate direttamente dai dati disponibili, mentre per quelle non strumentate sono state ottenute attraverso l'applicazione del modello regionale adottato.

Al fine di confrontare il comportamento idraulico dei corsi d'acqua sono stati utilizzati due parametri:

- il *coefficiente di portata*, dato dal rapporto tra portata media mensile e portata media annua;

- il *Basic Flow Index (BFI)*, dato dal rapporto tra deflusso di base e deflusso totale ad una certa sezione fluviale moltiplicato per 100.

Il primo parametro permette di valutare la variabilità stagionale della portata di un corso d'acqua, mentre il secondo misura il rapporto esistente tra le due principali componenti del deflusso, quello superficiale (legato alle precipitazioni) e quello di base (legato alle caratteristiche idrogeologiche del bacino).

Tale indice tenderà al valore 100 in un bacino caratterizzato da deflussi pressoché costanti determinati da consistenti deflussi di base, mentre tenderà allo 0 in un bacino caratterizzato da portate variabili in funzione dell'andamento delle piogge.

Nella **tabella 9.31**, per ciascuna sezione, sono riportati i valori del BFI, della portata media annuale naturale (Q<sub>an</sub>) e della portata media annuale misurabile (Q<sub>am</sub>).

Per ciascuna di esse è stato, poi, calcolato il *deficit di deflusso* di portata in m<sup>3</sup>/a ( $Q_{an} - Q_{am}$ ) e la percentuale di portata misurabile attualmente presente rispetto a quella naturale ( $Q_{am}/Q_{an}$ ) allo scopo di evidenziare le sezioni in cui si verificano rilevanti perdite.

Per una più appropriata interpretazione delle caratteristiche idrologiche dei bacini in esame, sono stati riportati anche i dati relativi alle curve di durata delle portate naturali e misurabili, ricavati da elaborazioni statistiche di serie pluriennali di dati relativi alle portate giornaliere. Le curve che si ottengono dalla rappresentazione di questi dati, riportano in ascissa i giorni dell'anno ed in ordinata le medie delle portate giornaliere (nel caso di serie pluriennali). Il loro contenuto informativo è piuttosto interessante in quanto indicano il numero di giorni in cui è presente una portata uguale o maggiore a quella indicata sul corrispondente asse delle ordinate, pertanto, esse possono ritenersi rappresentative delle potenzialità idriche del corso d'acqua (**tabola 9.8**).

I dati riportati nelle tabelle seguenti sono tratti dal "Quaderno idrologico del bacino del fiume Tevere" (Autorità di Bacino del Fiume Tevere, 1995). Di seguito vengono riassunti ed analizzati i dati relativi ai sub-bacini di cui si ha disponibilità di dati idrologici.

#### 9.5.2.1 Sub-bacino 5 (fiume Tevere a monte del fiume Paglia)

In questo sub-bacino sono comprese, in provincia di Terni, due sezioni di interesse: TV22 e TV23, rispettivamente a monte della confluenza del fiume Paglia e a valle della diga di Corbara. In corrispondenza di esse si osserva un elevatissimo deficit di portata dovuto alla derivazione della quasi totalità delle acque per l'uso idroelettrico (centrale di Baschi); in particolare la portata misurabile a valle della diga di Corbara è l'1% di quella naturale.

#### 9.5.2.2 Sub-bacino 6 (fiume Paglia - torrente Chiani)

In questo sub-bacino sono state individuate 7 sezioni in provincia di Terni, di queste due (PG02 e CH02) sono strumentate. La variabilità stagionale del regime idraulico è stata valutata attraverso il coefficiente di portata e per entrambi i corsi d'acqua l'andamento dei coefficienti mensili evidenzia una forte variabilità stagionale con i minimi in corrispondenza del periodo estivo, al quale corrispondono anche le minime precipitazioni. I valori dell'indice BFI variano tra un minimo di 30,5 ad un massimo di 36; quest'ultimo valore caratterizza, in particolare, tutte le sezioni del torrente Chiani, mentre in quelle del fiume Paglia il valore massimo raggiunto dall'indice è di 31; tali valori indicano, per entrambi i corsi d'acqua, una preponderante dipendenza del deflusso dalle precipitazioni, maggiormente evidente nel sottobacino del fiume Paglia. La portata media naturale, per il fiume Paglia oscilla tra un minimo di 5,5 m<sup>3</sup>/s a monte della confluenza con

il torrente Siridone in Toscana, ad un massimo di 17,3 m<sup>3</sup>/s prima della confluenza con il fiume Tevere; la portata naturale a monte della confluenza del torrente Chiani è di 10,6 m<sup>3</sup>/s. La portata media annua alla sezione di chiusura del torrente Chiani, ammonta, invece, a 5,7 m<sup>3</sup>/s.

Dal confronto tra portata misurabile e naturale per i due corsi d'acqua non emergono sostanziali differenze ad indicare che quasi tutta la portata naturale è attualmente presente; il rapporto percentuale tra i due valori è, infatti, nella quasi totalità delle sezioni superiore al 90%, ad eccezione delle sezioni CH02 (Chiani a Ponte Morrano) e PG02 (Paglia a Orvieto) in cui la portata misurata è rispettivamente l'88% e l'87,6% di quella naturale, pertanto il *deficit di portata* ammonta nel primo caso a 0,6 m<sup>3</sup>/s e nel secondo a 1,7 m<sup>3</sup>/s. Per quanto riguarda le curve di durata delle portate naturali e misurabili del fiume Paglia e del torrente Chiani, i dati evidenziano chiaramente che per 9 mesi all'anno (274 giorni), le portate sono superiori rispettivamente a 2,2 m<sup>3</sup>/s e a 1,4 m<sup>3</sup>/s, per 10 giorni all'anno, poi, esse superano i 100 m<sup>3</sup>/s; tale valore indica la *portata caratteristica di piena*.

La *portata caratteristica di magra* è, invece, quella che viene superata per 355 giorni all'anno, nel caso delle portate naturali, tale valore è pari a 0,5 m<sup>3</sup>/s. Il confronto dei valori rivela che, nel caso delle portate misurabili, per circa un mese all'anno si hanno deflussi nulli (**tab. 9.32**). Analoghe considerazioni valgono per il torrente Chiani (**tab. 9.33**), la cui portata caratteristica di magra è pari a 0,1 m<sup>3</sup>/s mentre la portata caratteristica di piena è uguale a 34,8 m<sup>3</sup>/s; anche in questo caso per circa un mese all'anno i valori delle portate misurabili sono pari a zero.

#### 9.5.2.3 Sub-bacino 7 (Tevere a monte dell'Aniene)

Questo sub-bacino comprende 6 sezioni in provincia di Terni (da TV23 a TV18), a queste è stata aggiunta la sezione di Passo San Francesco (TV17) ubicata poco dopo il confine di regione in modo da avere i valori di portata del fiume Tevere dopo la confluenza del fiume Nera. Per evidenziare la variabilità stagionale dei de-

**Tab. 9.32** - Curve di durata delle portate naturali e misurabili del fiume Paglia

Giorni	Portata naturale (m <sup>3</sup> /s)	Portata misurabile (m <sup>3</sup> /s)
1	422,6	422,6
10	111,7	111,7
30	48,9	48,8
91	16,1	16,0
182	5,8	5,7
274	2,2	1,4
330	1,0	0
355	0,5	0
365	0,3	0

**Tab. 9.33** - Curve di durata delle portate naturali e misurabili del torrente Chiani

Giorni	Portata naturale (m <sup>3</sup> /s)	Portata misurabile (m <sup>3</sup> /s)
1	120,8	120,8
10	34,8	34,8
30	16,0	16,0
91	5,6	5,6
182	2,1	2,1
274	0,8	0,5
330	0,3	0,0
355	0,1	0,0
365	0,1	0,0

**Tab. 9.34** - Curve di durata delle portate naturali e misurabili del fiume Tevere

Giorni	Portata naturale (m <sup>3</sup> /s)	Portata misurabile (m <sup>3</sup> /s)
1	1.377,5	1.221,0
10	466,4	466,9
30	238,3	238,8
91	97,0	97,5
182	42,7	43,2
274	19,6	12,9
330	10,3	0,2
355	6,2	0,0
365	3,8	0,0

flussi dall'analisi degli andamenti dei coefficienti di portata e delle precipitazioni per le sezioni del fiume Tevere a monte della confluenza con il fiume Nera (TV18) e a Passo San Francesco (TV17), si evidenzia come l'immissione del fiume Nera eserciti un effetto "regolatore" sul regime del Tevere.

I valori dell'indice BFI variano tra un minimo di 47 ed un massimo di 67,5. Le sezioni comprese tra TV 18 e TV 21 sono caratterizzate dallo stesso valore di BFI (47). Da questo si discostano le sezioni di Passo San Francesco (TV17) e del Rio Grande d'Amelia (RG01). In questi casi i valori di BFI sono rispettivamente 67,5 e 63. Dall'esame dei valori di BFI si evidenzia, quindi, che il deflusso del fiume Tevere, prima dell'immissione del fiume Nera, è ancora particolarmente influenzato dalle precipitazioni (componente superficiale del deflusso). Nel tratto di fiume Tevere compreso nel territorio della provincia di Terni, le portate medie annue oscillano da un minimo di 79,3 m<sup>3</sup>/s (TV21) ad un massimo di 194,2 m<sup>3</sup>/s (TV17). Particolarmente significativo è il confronto tra la portata della sezione TV18 a monte della confluenza del fiume Nera (88,8 m<sup>3</sup>/s) e quella di Passo San Francesco (TV17); dall'esame dei dati si evidenzia infatti che la portata tra le due sezioni subisce un incremento di oltre il doppio.

Infine, il confronto tra portata misurabile e naturale, rivela una consistente perdita di portata in corrispondenza della sezione di Baschi (TV21), dove la portata misurabile è pari a circa il 25% di quella naturale evidenziando un deficit di ben 59,2 m<sup>3</sup>/s. La sezione sul Rio Grande non evidenzia, invece, alcuna differenza tra portata misurabile e naturale.

I dati relativi alla curva di durata, riportati nella **tabella 9.34**, evidenziano una portata caratteristica di piena pari a circa 466 m<sup>3</sup>/s.

La portata caratteristica di magra, per le portate naturali, è di 6,2 m<sup>3</sup>/s; nel caso delle portate misurabili, invece, i valori si annullano a significare che per 10 giorni all'anno possono verificarsi condizioni di criticità anche nel fiume Tevere.

**Tab. 9.35** - Curve di durata delle portate naturali e misurabili del fiume Nera

Giorni	Portata naturale (m <sup>3</sup> /s)	Portata misurabile (m <sup>3</sup> /s)
1	311,2	262,9
10	214,4	205,3
30	171,5	163,0
91	128,6	123,6
182	100,0	96,8
274	79,3	70,9
330	65,3	52,5
355	55,4	41,4
365	45,0	31,7

#### 9.5.2.4 Sub-bacino 8 (fiume Nera)

Questo sub-bacino comprende 4 sezioni da NE01 a NE04 e corrisponde al tratto di fiume Nera compreso tra la confluenza del Velino e quella del Tevere. L'andamento dei coefficienti di portata mensili caratterizzati da una bassa variabilità indicano un regime idraulico tipicamente fluviale e scarsamente influenzato dall'andamento delle precipitazioni. Il BFI, infatti, varia tra un minimo di 82,6 ad un massimo 84,5; in particolare quest'ultimo valore caratterizza 3 delle 4 sezioni presenti, tali valori indicano che il regime dei deflussi, in questo sottobacino, dipende principalmente dalla componente di base, ossia dalle caratteristiche idrogeologiche del bacino. Il bacino del fiume Nera è infatti caratterizzato da formazioni di tipo calcareo ad elevata permeabilità che assicurano un'abbondante alimentazione di base anche in periodi scarsamente piovosi. I valori delle portate medie annue, in questo settore, oscillano tra un minimo di 97,3 m<sup>3</sup>/s nella sezione di Terni (NE04) ad un massimo di 108,8 m<sup>3</sup>/s nella sezione alla confluenza con il Tevere (NE01). Dal confronto tra portata misurabile e naturale, in questo tratto fluviale, non si evidenziano rilevanti perdite, la portata misurabile è infatti mediamente pari a circa il

Tab. 9.36 - Sezioni complessive dall'asta del fiume Nera

Codice	Ubicazione	BFI	Q <sub>a</sub> naturale (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>a</sub> misurabile (m <sup>3</sup> /s)	Rapporto % tra la Q <sub>am</sub> e Q <sub>an</sub>
NE01	Fiume Nera confluenza Tevere	84,5	108,8	101,7	93,47
NE02	Fiume Nera a Narni	84,5	107,8	100,8	93,51
NE03	Fiume Nera SSI Macchia Grossa	82,6	99,4	89,3	89,84
NE04	Fiume Nera a monte di Terni	84,5	97,3	89,2	91,68
NE05	Fiume Nera monte del Velino	83,0	33,8	8,9	26,33
NE06	Fiume Nera SSI Torre Orsina	83,0	27,7	9,7	35,02
NE07	Fiume Nera Ceselli	83,0	29,7	12,4	41,75
NE08	Fiume Nera SSI Le Lastre	83,0	27,3	10,1	36,99
NE09	Fiume Nera a monte confluenza fiume Vigi	83,0	23,6	8,2	34,74
NE10	Fiume Nera a monte confluenza fiume Corno	84,0	9,6	3,1	32,29
NE11	Fiume Nera SSI Bagni di Triponzo	84,0	9,3	2,9	31,18
NE12	Fiume Nera SSI Visso	97,5	3,2	3,1	96,87

Tab. 9.37 - Media delle portate annuali delle stazioni idrometriche del SIR

Corso d'acqua	Sz	Località	Media della portata annuale (m <sup>3</sup> /s)						
			1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Torrente Chiani	21	Santa Maria	0,81	0,68	1,56	1,44	-	-	-
Torrente Chiani	22	Ponte Osteria	0,97	0,98	3,17	3,32	1,22	0,98	0,42
Torrente Chiani	14	Morrano	1,32	1,20	5,84	3,75	1,87	2,10	1,24
Fiume Nera	16	Terni (Ponte Garibaldi)	49,31	37,14	62,62	59,83	-	-	-

92% di quella naturale ed il *deficit* maggiore, pari a 10,1 m<sup>3</sup>/s, si riscontra nella sezione NE03 ubicata a Macchia Grossa. I dati relativi alla curva di durata, sono riferiti alla sezione di fiume Nera in corrispondenza della confluenza con il fiume Tevere, l'analisi dei valori riportati nella **tabella 9.35** evidenzia una portata caratteristica di piena pari a 214,4 m<sup>3</sup>/s, mentre la portata caratteristica di magra, per le portate naturali, è di 55,4 m<sup>3</sup>/s; nel caso delle portate misurabili, invece, i valori si riducono a 41,4 m<sup>3</sup>/s. L'esame dei valori evidenzia la "diversità" del bacino del fiume Nera rispetto ai precedenti, caratterizzato da deflussi consistenti per tutto l'arco dell'anno.

#### 9.5.2.5 Sub-bacino 9 (fiume Nera e fiume Corno a monte del fiume Velino)

In questo sub-bacino sono comprese 2 sezioni nella provincia di Terni (NE05 e NE06), alle quali è stata aggiunta anche la sezione NE07 (Ceselli) in provincia di Perugia per avere un ulteriore riscontro di valori in una sezione immediatamente a monte dell'ingresso in provincia. La variabilità stagionale dei deflussi è stata rappresentata per la sezione NE05 a monte dell'immissione del fiume Velino, anche in questo caso l'andamento dei coefficienti di portata mensili evidenzia un'elevata regolarità del deflusso ti-

pico di questo bacino. Le portate naturali stimate nelle 3 sezioni considerate oscillano da un minimo di 27,7 m<sup>3</sup>/s (NE06) ad un massimo di 33,9 m<sup>3</sup>/s (NE05).

In tutte le sezioni il BFI è pari a 83, valore che conferma quanto detto precedentemente, ossia che il deflusso del fiume Nera dipende principalmente dalle caratteristiche idrogeologiche del bacino, a tale effetto contribuiscono, infatti, anche le caratteristiche altimetriche (circa il 28% del bacino ha una quota media maggiore di 1.200 m s.l.m.) e la tipologia delle precipitazioni (in gran parte nevose). Il confronto tra portata misurabile e naturale evidenzia, invece, una rilevante *deficit*: infatti, la portata misurabile è mediamente pari, in questo tratto, a circa il 34% di quella naturale; il valore minimo si riscontra nella sezione NE05 a monte della confluenza del Velino (26,3%) in cui il *deficit* raggiunge i 24,9 m<sup>3</sup>/s.

Analizzando tutte le sezioni di misura presenti lungo l'asta del Nera (**tab. 9.36**), si evidenzia che nel tratto compreso tra le sezioni NE05 e NE11 si concentrano le maggiori perdite; tale comportamento è determinato dalle numerose concessioni presenti per l'uso idroelettrico delle acque che, attraverso un complesso sistema di invasi, derivazioni e restituzioni, regola i deflussi del fiume.

## 9.5.2.6 Sub-bacino 10 (fiume Velino)

In questo sottobacino si trovano 2 sezioni (VE01 e VE02) comprese in provincia di Terni. L'alto valore del BFI (85,5) evidenzia, anche per questo bacino, la dominanza delle caratteristiche idrogeologiche nel determinare i valori del deflusso. La portata naturale media annua stimata alla confluenza con il fiume Nera, ammonta a 63,7 m<sup>3</sup>/s. Per quanto riguarda il confronto tra portata misurabile e naturale, si evidenzia che la sezione posta alla confluenza con il fiume Nera (VE01) è caratterizzata da un elevato *deficit* (pari a 34,2 m<sup>3</sup>/s). La portata misurabile, in questo caso, è pari a circa il 46% di quella naturale. Per quanto riguarda i dati idrologici del SIR, le sezioni monitorate in provincia di Terni sono complessivamente 7 di cui 3 sul torrente Chiani e 4 sul fiume Nera. I dati riportati riguardano le stazioni presenti nel bacino del torrente Chiani e quella sul fiume Nera a Terni (Ponte Garibaldi) delle quali si dispone di una serie storica maggiore. Le medie delle portate annuali per le 4 sezioni sono riportate nella **tabella 9.37**.

## Bibliografia



AA.VV., 1995

*Geodinamica e Tettonica attiva del Sistema Tirreno-Appennino*, atti del convegno, in "Studi Geologici Camerti", n. 1.

Ambrosetti P. et alii, 1987

*Il Pliocene ed il Pleistocene inferiore del Bacino del Fiume Tevere nell'Umbria meridionale*, in "Geogr. Fis. Dinam. Quat", vol.10 + tavola.

Autorità di Bacino del Fiume Tevere, s.d.

*Progetto di Piano di Bacino. Primo stralcio funzionale aree soggette a rischio di esondazione nel tratto del Tevere compreso tra Orte e Castel Giubileo*.

Autorità di Bacino del Fiume Tevere, 1996a

*Piano di Bacino del Fiume Tevere, I fase*.

Autorità di Bacino del Fiume Tevere, 1996b

*Studio per l'individuazione dei tratti fluviali in dissesto o senza manutenzione. Piano di Bacino del Fiume Tevere I fase*.

Autorità di Bacino del Fiume Tevere, 1999a

*Piano straordinario diretto a rimuovere le situazioni a rischio molto elevato (PST)*, Roma.

Autorità di Bacino del Fiume Tevere, 1999b

*Prima elaborazione del progetto di Piano di Bacino del Fiume Tevere*, Roma.

Basilici G., 1993

*Il Bacino continentale Tiberino (Plio-Pleistocene, Umbria): analisi sedimentologica e stratigrafica*, tesi di dottorato di ricerca in Scienze della Terra, Università degli Studi di Bologna, V ciclo.

Basilici G., 1997

*Sedimentary facies in an extensional and deep lacustrine depositional system: the Pliocene Tiberino Basin, Central Italy*, in "Sedimentary Geology", n. 109, pp. 73-94.

Biondi E., Calandra R., Gigante D., Pignattelli S., Rampiconi E., Venanzoni R., 2002

*Il paesaggio vegetale della Provincia di Terni*, Provincia di Terni, Terni.

Biondi E., Formica E., Gigante D., Pignattelli S., Venanzoni R., 2000a

*Carta delle serie di vegetazione della Provincia di Terni, Scala 1: 100.000*, CD-Rom, Provincia di Terni.

Biondi E., Formica E., Gigante D., Pignattelli S., Venanzoni R., 2000b

*Carta delle serie di vegetazione della provincia di Terni, scala 1: 100.000*, documentazione allegata a Provincia di Terni, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Terni (PTCP), Terni.

Biondi E., Formica E., Gigante D., Pignattelli S., Venanzoni R., 2001a

*Analisi sinfitosociologica nella pianificazione ambientale territoriale: esempio applicato al Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Terni*, in "Inf. Bot. It.", n. 33, pp. 176-179.

Biondi E., Gigante D., Pignattelli S., Venanzoni R., 2001b

*L'analisi sinfitosociologica a supporto del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Terni*, in Biondi E., Segale A. (a cura di), *Pianificazione e gestione delle aree protette. Analisi dell'ambiente e biodiversità, biomonitoraggio, agricoltura sostenibile*, pp. 89-104, Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Ancona, Urbania (AN).

Boncio P., Ponziani F., Brozzetti F., Barchi M., Lavecchia G., Piali G., 1998

*Seismicity and extensional tectonics in the Northern Umbria-Marche Appennines*, in "Mem. Soc. Geol.It.", vol. LII, pp. 539-556.

Bonini M., 1997

*Evoluzione tettonica plio-pleistocenica ed analisi strutturale del settore centro meridionale del Bacino Tiberino e del Bacino di Rieti (Appennino Umbro-Sabino)*, in "Bollettino della Società Geologica Italiana", n. 116, pp. 279-318.

Brozzetti F., Lavecchia G., 1995

*Evoluzione del campo degli sforzi e storia deformativa nell'area dei Monti Martani (Umbria)*, in "Bollettino della Società Geologica Italiana", vol. 114, fasc. 1, pp. 155-176.

Brozzetti F., Stoppa F., 1995

*Le proclastiti medio-pleistoceniche di Massa Martana - Acquasparta (Umbria): caratteri strutturali e vulcanologici*, in "Il Quaternario", vol. 8, fasc. 1, pp. 95-110.

- Calamita F., Deiana G., 1986  
*Geodinamica dell'Appennino Umbro-Marchigiano*; in "Mem. Soc. Geol. It.", 35, pp. 311-316.
- Calamita F., Pizzi A., 1993  
*Tettonica quaternaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati*, in "Studi Geologici Camerti", volume speciale 1991-1992, pp. 17-25.
- Cerrina Ferroni A., Plesi G., Priami F., 1992  
*Il sovrascorrimento dell'unità Trasimeno sulla Successione umbra della zona di Umbertide: dati stratigrafici e strutturali*, in "Studi Geologici Camerti", n. 12, pp. 147-161.
- Cosentino D. et alii, s.d.  
*Carta Geologica della Media Valnerina (Umbria), scala 1:25.000*, Università degli Studi di Roma "Roma tre".
- Faraone D., Stoppa F., 1988  
*Il tufo di Orvieto nel quadro dell'evoluzione vulcano-tettonica della caldera di Bolsena. Monti Vulsini (Umbria e Lazio). Carta geologica 1:25.000*, in "Bollettino della Società Geologica Italiana", n. 107.
- Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), 1998  
*Progetto Aree Vulnerate Italiane (AVI)*.
- Lavecchia G., Minelli G., Piali G., 1984  
*L'Appennino Umbro-Marchigiano: tettonica distensiva ed ipotesi di sismogenesi*; in "Bollettino della Società Geologica Italiana", n. 103, pp. 467-476.
- Lavecchia G., Minelli G., Piali G., 1998  
*Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano. 3. Lo stile deformativo*, in "Bollettino della Società Geologica Italiana", vol. 100, n.2, pp. 271-278.
- Lotti B., 1926  
*Descrizione geologica dell'Umbria*, in "Mem. Descr. Carta Geol. d'It.", n. 21, 320 pp.
- Pettesse M.L., 1999  
*Analisi del reticolo idrografico, delle reti di monitoraggio e della qualità delle acque superficiali*, relazione di settore in Provincia di Terni, *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Terni*, Terni.
- Provincia di Terni, 1997  
*Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Terni*, documento preliminare, Terni.
- Provincia di Terni, 1999  
*Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Terni*, Terni.
- Regione Umbria, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), 1996  
*Studio dei centri abitati instabili in Umbria*, Perugia.
- Regione Umbria, Servizio Geologico d'Italia, 1980  
*Carta Geologica dell'Umbria*, scala 1:250.000.
- Regione Umbria, 1998  
*Piano di interventi urgenti sui dissesti idrogeologici a seguito del sisma del 1997*, legge regionale n. 61 del 30 marzo 1998.
- Rivas-Martínez S., Sánchez-Mata D., Costa M, 1999  
*North American Boreal and Western temperate forest vegetation*, "It. Geobot.", n. 12, pp. 5-316, Universidad de Leon.
- SAPPRO, Ministero dei Lavori Pubblici - Provveditorato OO.PP. Lazio, Autorità di Bacino del Fiume Tevere, 1991  
*Piano generale per la difesa del suolo e la utilizzazione delle risorse idriche del bacino del Fiume Tevere, 2° stralcio. Carta degli elementi geomorfologici alla scala 1:50.000*, fogli 129-131, 137-138.
- Servizio Geologico d'Italia, s.d.  
*Carta geologica, scala 1:100.000*, fogli 129-131, 137-138.
- Società Geologica Italiana, 1990  
*Guide geologiche regionali. Appennino Umbro-Marchigiano*.
- Stoppa F., Sforna S., s.d.  
*Carta Geologica dell'area vulcanica di San Venanzo*, scala 1:4.000.
- Uffreduzzi T., 1999  
*Geologia, geomorfologia e dissesto idrogeologico, idrogeologia ed attività estrattiva*, relazione di settore in Provincia di Terni, *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Terni*, Terni.
- Venanzoni R., Pignattelli S., Fornaciari M., 1999  
*La classificazione fitoclimatica dell'Umbria: approcci e applicazioni*, in "Annali della Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Perugia", n. 50, pp. 507-523, Perugia.
- Venanzoni R., Pignattelli S., Nicoletti G., Grohmann F., 1998  
*Basi per un classificazione fitoclimatica dell'Umbria (Italia)*, in "Doc. Phytosoc.", n. 18, pp. 173-198, Camerino.



### 10.1 La stabilità dei versanti in erosione

Per la conoscenza della stabilità di un pendio risulta fondamentale la storia geologica regionale e locale dell'area in esame.

La conoscenza di diversi aspetti geologici nell'area d'indagine, tra cui la tettonica, la litologia, la presenza di lineazioni tettoniche a piccola e ad ampia scala, unitamente a studi di carattere geomorfologico (foto aeree e rilievi di campagna), permettono di individuare sulla superficie topografica le zone soggette a franamenti e a fenomeni di instabilità, diffusa o concentrata. Sulla base di questi elementi, vengono individuate le "aree in frana", ed è possibile ottenere un'indicazione sulla loro storia, distinguendo (Sacchetti, Ghinelli, 2000):

- *paleofrane*, fenomeni franosi sviluppatasi in condizioni climatiche e morfologiche diverse dalle attuali;
- *frane quiescenti*, fenomeni franosi mobilitati in condizioni morfologiche e climatiche, simili alle attuali, ma che oggi sono in apparente stato di stabilità. Il movimento può riprodursi in occasione di sensibili variazioni morfologiche e per eventi climatici anomali o per sollecitazioni transitorie, quali il sisma;
- *frane attuali* (o *in atto*), cioè quelle mobilitate in condizioni morfologiche e climatiche attuali.

Il termine "frana" è generico, in quanto si intende un movimento di massa di roccia o di terreno che avviene per gravità verso il basso. Le cause scatenanti sono molteplici e dipendono da fattori interni ed esterni al fenomeno.

Si hanno così differenti tipologie di frane, come quelle indicate nella classificazione di Varnes (1958, 1978): questa classificazione fa riferimento in generale a tutti i movimenti franosi di versante, includendovi anche quei fenomeni che non sono frane in senso stretto, quali le deformazioni estremamente lente e a carattere superficiale (Panizza, 1992). La classificazione di Varnes si articola, sulla base del tipo di movimento, in cinque classi principali:

- *crolli*;
- *ribaltamenti*;
- *scivolamenti* (rotazionali e traslativi);
- *espansioni laterali e colate*;

oltre alla classe dei *fenomeni complessi* (successione di più tipologie franose, in un unico evento di mobilitazione).

Le analisi necessarie per affrontare correttamente uno studio di stabilità dei pendii, si devono sviluppare attraverso le seguenti fasi (Sacchetti, Ghinelli, 2000):

- *studio geologico*: comprende il rilievo geolo-

gico inquadrato anche nel più ampio ambito regionale;

- *studio geomorfologico*: individuazione dell'area in frana con delimitazione della stessa. Per effettuare questo studio occorre disporre del rilievo topografico del pendio, di estensione e scala opportune. La delimitazione planimetrica del corpo di frana viene generalmente svolta con:
  - rilievo geomorfologico: vengono cartografati i segni lasciati sul terreno, come fratture, nicchie, zone in contropendenza, ecc. Il rilievo a terra viene integrato dall'esame delle foto aeree;
  - rilievo di spostamenti superficiali con misure topografiche;
  - individuazione dello spessore del corpo di frana. Effettuato con metodi diretti ed indiretti come il rilievo di spostamenti orizzontali di punti mediante inclinometri; rilievo della dinamica delle fratture o distacchi presenti sulla superficie topografica per mezzo di estensimetri; rilievo della superficie di rottura mediante tubi spia o, ancora, individuando superfici di discontinuità sulla base dei caratteri strutturali, fisico-meccanici e strutturali dei terreni;
- *caratterizzazione del corpo in frana*: identificazione dei terreni; individuazione della stratigrafia; determinazione dei caratteri strutturali e delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni. In questo ambito è importante osservare che:
  - il volume e lo spessore del materiale mobilitato va precisato nel corso delle indagini;
  - il volume in questione spesso raggiunge profondità rilevanti, per cui la conoscenza della geologia della zona è indispensabile;
  - un volume di frana con spessore ridotto, può essere individuato tramite pozzi o piccoli scavi che consentano un esame visivo dei terreni;
- *analisi del regime idraulico all'interno del corpo di frana prima e dopo l'evento*: la presenza di falde idriche nel corpo di frana ha un ruolo fondamentale sulla stabilità del pendio. Il numero di punti di misura aumenta con il numero delle falde presenti nel terreno (in quanto questo può presentarsi disomogeneo. Spesso non si dispone di rilievi sulla falda all'atto del movimento franoso, il che influenza la deduzione della resistenza mobilitata e quindi i parametri di resistenza del terreno posti alla base di un eventuale progetto;
- *studio della cinematica del fenomeno franoso e classificazione del tipo di movimento franoso*, al fine di scegliere e progettare gli in-

terventi più appropriati per la stabilizzazione degli stessi;

- *modellizzazione del fenomeno franoso*: sintesi dei punti precedenti e schematizzazione degli stessi in termini tali da consentire l'analisi matematica del fenomeno stesso;
- *verifica della stabilità* per accertare che il modello proposto sia congruente con la realtà e per la messa a punto di un procedimento di calcolo da utilizzare successivamente nella progettazione dell'intervento di stabilizzazione.

## 10.2 I processi erosivi

Si ritiene opportuno precisare che con il termine "erosione" si intende l'insieme dei processi di disgregazione e alterazione della superficie terrestre indicati con il termine generico di "erosione geologica", che si manifestano, in particolare, quando una roccia si trova in un ambiente diverso da quello in cui si è formata. L'atmosfera, l'idrosfera o la biosfera hanno una notevole influenza sulle modificazioni della superficie terrestre; in particolare possiamo definire come "degradazione meteorica" l'insieme dei fenomeni legati all'atmosfera che determinano la disgregazione delle rocce superficiali e dei materiali incoerenti (suolo, depositi alluvionali, detrito di versante), con conseguente frazionamento o soluzione per quanto riguarda le prime e alterazione o rigonfiamento dei secondi, in presenza, ad esempio, di minerali argillosi (Panizza, 1992). Questi processi si manifestano perché la roccia o i terreni subiscono:

- *alterazione chimica*: trasformazione chimica dei componenti costituenti la roccia o il terreno e formati in condizioni di temperatura e pressione diverse rispetto al momento dell'alterazione. I processi che intervengono modificano la struttura chimica e, di conseguenza, muta il comportamento dei "nuovi minerali" ai diversi agenti atmosferici (l'acqua, il vento, la variazione di temperatura e di salinità);
- *degradazione fisica*: fessurazione e frantumazione

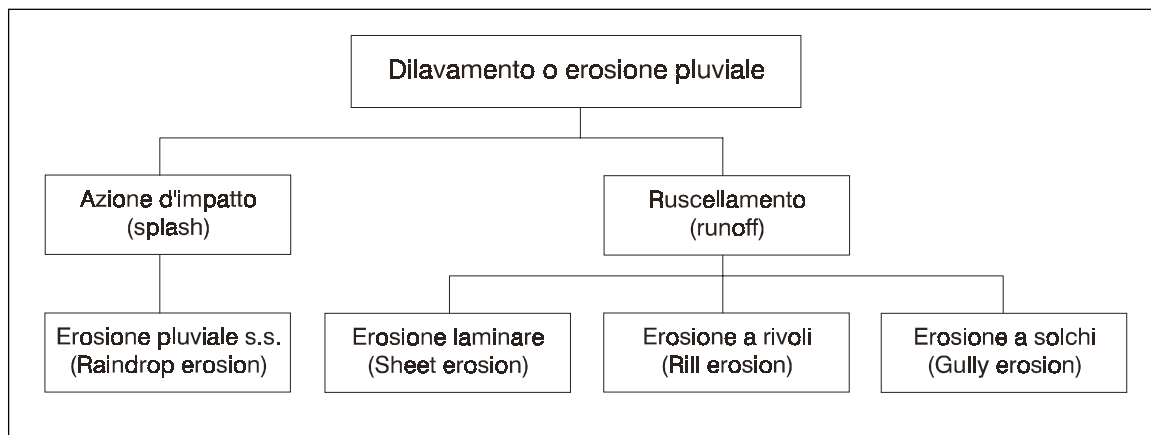
meccanica delle rocce coerenti ed incoerenti in "clasti", per opera di agenti modellanti come acqua, vento, ghiaccio e influenzati da parametri fisici quali la gravità e la temperatura. L'azione erosiva delle acque correnti superficiali sono uno degli agenti del modellamento più importanti, in quanto hanno una duplice azione, ovvero contemporaneamente chimica e meccanica.

L'acqua può provenire sia dalle precipitazioni dirette (meteoriche) sia derivare dalla fusione delle nevi nelle zone glaciali. La sua azione si sviluppa con processi diversi e diverse sono le forme di erosione che ritroviamo in un paesaggio; basti osservare come, dopo un lungo periodo di siccità, un acquazzone improvviso "scolpisca" i versanti montuosi o come le gocce di pioggia, cadendo sul terreno secco e privo di vegetazione, rimuovano le particelle fini, facendole schizzare in varie direzioni (pioggia fossile). Questi semplici comportamenti, in realtà, sono alla base di una serie ben più complessa di processi geomorfologici, che producono forme molto particolari ed importanti.

Le acque piovane, prima di raccogliersi in corsi d'acqua, possono scorrere liberamente sulla superficie e, a seconda della loro intensità e del tipo di copertura vegetale, producono diversi processi erosivi: la parte di acqua che non evapora nell'atmosfera o non s'infiltra nel terreno, può scorrere lungo i pendii e dar luogo a fenomeni di dilavamento (fig. 10.1).

L'erosione pluviale o dilavamento consiste nell'azione meccanica prodotta dall'azione dell'impatto delle gocce di pioggia (effetto *splash*); essa rimuove le particelle più fini del terreno con la conseguente distruzione della struttura dei suoli o impoverimento delle sue sostanze organiche. Gli elementi che lo compongono possono essere allontanati e spinti verso valle lungo un versante, provocandone così la destabilizzazione. Questo è un altro importante e pericoloso processo di erosione che interessa i versanti prospicienti un corso d'acqua: il detrito che scende a valle lungo il versante aumenta il trasporto solido nel bacino interessato crean-

Fig. 10.1 - Schema riassuntivo dei principali processi di erosione sui terreni



Fonte: Panizza, 1992, modificato da Balboni, 2002.

do instabilità, franamenti, scoscendimenti ed asportando la parte di terreno fertile per la crescita e lo sviluppo della vegetazione, che impoveriscono il suolo e lo convogliano verso processi di desertificazione e a strutture erosive come quelle calanchive. In caso di terreni permeabili, invece, l'acqua penetra nel sottosuolo e alimenta la falda innalzandola e provocando, nel caso di strati argillosi, pericolosi rigonfiamenti e destabilizzazione.

Le acque piovane che scorrono in superficie inizialmente in modo diffuso, tendono poi, soprattutto se il terreno è ruvido, a concentrarsi in una fitta rete di filetti d'acqua.

L'acqua provoca un'erosione con energie diverse a seconda dell'acclività del pendio sul quale scorre e degli attriti del terreno; ovviamente più il pendio è acclive, maggiore sarà l'erosione prodotta (ovviamente se la vegetazione è poco presente), perché più elevata è la velocità su forti pendenze.

Il ruscellamento laminare (*sheet erosion*) può evolvere in erosione a rivoli (*rill erosion*), con il crescere delle portate di pioggia e con l'approfondimento graduale delle incisioni, provocate dallo scorrere dell'acqua. Quando questi rivi si allungano ulteriormente lungo il versante e si ramificano con un progressivo arretramento del versante, si realizzano un insieme di fossi (*gully erosion*) che danno luogo al caratteristico paesaggio dei calanchi, tipico dell'Appennino: appaiono su terreni argillosi e privi di vegetazione. Nel caso di deboli pendenze si realizzeranno invece fenomeni di soliflusso.

In sedimenti argillosi-sabbiosi poco coerenti inglobanti massi sparsi (come nei terreni morenici), si possono formare delle strutture prodotte sempre dall'azione delle acque meteoriche, chiamate piramidi di terra. Si formano quando la massa sabbiosa viene asportata dalle piogge e dalle acque, mentre rimane il masso che protegge la parte di materiale sottostante. Le piramidi d'erosione sono invece guglie e pinnacoli intagliati in rocce eruttive, in calcari, in dolomie, in arenarie, ad opera delle acque dilavanti e della degradazione meteorica, che agisce lungo le fratture verticali allargandole.

### 10.3 L'Ingegneria Naturalistica nella sistemazione dei versanti

Per risolvere, almeno in parte, i problemi d'instabilità dei versanti, si può agire con tecniche puntuali di sistemazione, che utilizzano materiali biodegradabili più o meno durevoli e vegetazione e che permettano un consolidamento in profondità del terreno in frana (aumento della resistenza al taglio, riduzione dell'acqua nel terreno e delle pressioni neutre), senza deturpare l'ambiente e l'equilibrio naturale del territorio. Gli interventi di sistemazione con tecniche di Ingegneria Naturalistica determinano un ridotto impatto sul territorio, apportandovi, spesso, un miglioramento, sia dal pun-

to di vista estetico-paesaggistico, che faunistico. Tecniche spesso usate in questi casi sono:

- semine e idrosemine;
- piantagioni di talee o piantine;
- viminate e fascinate vive;
- gradonata viva;
- grata viva;
- palificata viva di sostegno, semplice e a parete doppia;
- gabbionate vive;
- terre rinforzate;
- materassi rinverditi;
- rivestimenti vegetativi.

L'instabilità dei versanti, come si può leggere nei diversi esempi citati nel paragrafo precedente, non è conseguenza di un solo processo, ma è assai più complessa, e diverse sono le sistemazioni che si devono prevedere.

Le sistemazioni con tecniche di Ingegneria Naturalistica possono sostituire solo in determinate condizioni, fisiche ed ambientali, quelle classiche. In casi, ad esempio, di modesti spazi a disposizione, di caratteristiche climatiche estreme o di protezione civile, s'interviene generalmente seguendo gli schemi dell'ingegneria classica. L'Ingegneria Naturalistica si distingue nettamente da quella tradizionale in quanto utilizza piante vive per stabilizzare le scarpate. Mentre nelle opere tradizionali la trincea o il rilevato vengono consolidati mediante muri di sostegno (Zeh, 1995), in quelle con l'impiego dell'Ingegneria

**Tab. 10.1** - Vantaggi e svantaggi delle opere di Ingegneria Naturalistica

Vantaggi delle opere di Ingegneria Naturalistica	Svantaggi delle opere di Ingegneria Naturalistica
Deformabilità delle opere e capacità di rigenerare parti danneggiate.	Minor scelta tra i materiali, che spesso non sono ben caratterizzati (ad esempio, piante).
Migliore capacità di adattamento ai cambiamenti ambientali.	Parametri progettuali meno precisi e procedure costruttive non ancora standardizzate.
Minor impatto ambientale, spesso miglioramento della qualità ambientale.	Tempi più lunghi per entrare in piena funzionalità.
Spesso maggior economicità e miglior bilancio energetico.	Limiti tecnici, biologici e temporali; maggiore influenza dei fattori ambientali.
Funzionalità ed efficienza crescente nel tempo e corretto inserimento paesaggistico.	Manutenzione regolare e protratta per alcuni anni dall'esecuzione, anche se con intensità decrescente.

Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, 2000, modificata da Palmeri, 2002.

Tab. 10.2 - Basi normative per l'impiego di pareti a gravità

Fattori	Opere tradizionali	Opere di Ingegneria Naturalistica
Materiali	Legno, calcestruzzo, laterizi terra e cemento armato  Caratteristiche: fissate da direttive, norme, ecc.	Terra e piante vive  Caratteristiche del terreno: in base alle direttive, norme. Caratteristiche delle radici: <b>direttive inesistenti</b>
Tipo di manufatto	Stab. dimens. esterna: in base a direttive, norme Stab. dimens. interna: in base a direttive, norme	Stab. dimens. esterna: in base a direttive, norme Stab. dimens. interna: <b>direttive e norme inesistenti</b>
Variabili	Varie  Ininfluenti	Piante, aria, acqua, luce, manutenzione, utilizzo, clima, età, concorrenza.... <b>Molto influenti</b>
Procedure tecniche	Disponibili	<b>Inesistenti</b> , esperienze limitate
Impiegabilità	Dimostrabile in base a norme	<b>Va convocata di caso in caso da un tecnico</b>

Fonte: Hoffman, 1992.

Naturalistica, si cerca di creare un ambiente armonico, combinando materiali inerti e piante, ottenendo un manufatto permeabile e drenante. Nella **tabella 10.1** si raffrontano le caratteristiche positive e negative delle opere di Ingegneria Naturalistica rispetto a quelle tradizionali.

Nella **tabella 10.2** vengono evidenziate le diverse basi normative per l'adozione di un muro a gravità di tipo tradizionale o naturalistico. Il secondo termine presuppone che l'opera non possa esistere senza piante vive; di conseguenza le piante devono presentare caratteristiche biotecniche ben precise (si pensi ad un manufatto costituito dalla massa terrosa irradicata di una scarpata consolidata con file di cespugli, ovvero gradonate vive; cfr. Hoffmann, 1992). L'opera tradizionale è realizzata solo con materiali inerti, quali legname morto, calcestruzzo, laterizi, ecc. eventualmente assieme ad un corpo terroso.

In entrambi i casi, per dimostrare la validità della scelta fatta, occorre dimostrare la stabilità dimensionale sia interna che esterna. I manufatti tradizionali possono dimensionarsi esattamente (sia per la stabilità interna che per quella esterna) in base a prescrizioni e norme già esistenti; per il manufatto di tipo naturalistico, invece, soltanto il calcolo della stabilità dimensionale esterna è effettuato in base a determinate normative, mentre solo poche esperienze di studi precedenti vengono finora in aiuto per il calcolo della stabilità dimensionale interna (senza dimenticare che a causa dell'alto numero di variabili anche queste esperienze sono difficilmente applicabili a situazioni diverse da quella originale; cfr. Hoffmann, 1992).

Per una previsione e una verifica delle reali possibilità delle piante in questo senso, si rendono, quindi, necessarie ben più vaste conoscenze da parte degli esperti, soprattutto in relazione alle caratteristiche biotecniche delle piante impiegate.

La scelta delle piante costituisce la componente d'impiego più importante per avere la garanzia di una completa rinaturalizzazione delle stazioni, sia che si tratti di versanti in frana, di corsi d'acqua o di discariche.

La scelta delle specie deve essere, quindi, oculata e deve procedere di pari passo con la conoscenza delle caratteristiche climatiche, geologiche ed ecologiche dei siti d'intervento. In questo contesto le diverse figure professionali si attivano simultaneamente analizzando i caratteri pedologici, geomorfologici, geotecnici, ecologici e botanici delle specie forestali delle aree di interesse (De Colle, Mocchiutti, 2000).

Lo studio di dettaglio delle condizioni geostatiche ed idrogeologiche diviene una premessa fondamentale per la buona riuscita degli interventi; una prima analisi è quella che viene effettuata sotto un profilo geotecnico e chimico e permette di individuare le cause dei dissesti e la natura del terreno.

Nel ripristino dei versanti in frana è necessario conoscere con precisione la profondità delle superfici di scorrimento e quindi valutare l'applicabilità degli interventi con le tecniche di Ingegneria Naturalistica.

Fondamentale diviene la realizzazione di opere di captazione e drenaggio delle acque, soprattutto per la sistemazione di numerose piccole frane in terreni argillosi ed in zone contraddistinte da depositi morenici o sub-strati flyschoidi.

Nelle aree collinari caratterizzate dalla presenza del *flysch* la maggior parte delle frane sono di tipo superficiale ed i piani di scivolamento si sviluppano al contatto tra la roccia sana ed il cappellaccio di alterazione in corrispondenza di venute d'acqua anche temporanee o per modificazione antropica del versante (De Colle, Mocchiutti, 2000).

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica posso-

no essere raggruppati, secondo Schiechl (1990), Carbonari e Mezzanotte (1993) nei seguenti insiemi:

- *interventi di copertura (rivestimento)*: sono interventi spesso integrati da interventi stabilizzanti; consistono nella semina di specie erbacee per proteggere i versanti dall'erosione, per migliorare il bilancio termo-igrometrico al suolo e le caratteristiche fisico-chimiche del terreno; la profondità delle radici in alcune specie erbacee impiegate può superare i 2 m;
- *interventi di stabilizzazione del suolo (sistemazioni stabilizzanti)*: sono operazioni di consolidamento tramite l'azione legante degli apparati radicali e la sottrazione dell'acqua mediante traspirazione, per una profondità massima di circa 3,5 m;
- *interventi di sostegno (combinati)*: queste operazioni sono effettuate per dare sostegno al versante, soprattutto in corrispondenza del-

la corona, nei tratti a forte pendenza, al piede del versante stesso; vengono impiegati materiali da costruzione vivi combinati con quelli inerti;

- *interventi di completamento (complementari)*: sono interventi di semina e piantagione di specie legnose con lo scopo di accelerare la successione naturale verso lo stadio seriale desiderato; possono essere immediatamente consecutivi ad altri interventi o seguirli di alcuni anni;
- *opere di regimazione idraulica*: con queste opere si allontanano le acque superficiali e profonde dall'area in dissesto, per evitare che le acque, fluendo, possano interferire con le operazioni di ripristino; si costruiranno quindi collettori naturali o artificiali per lo scopo.

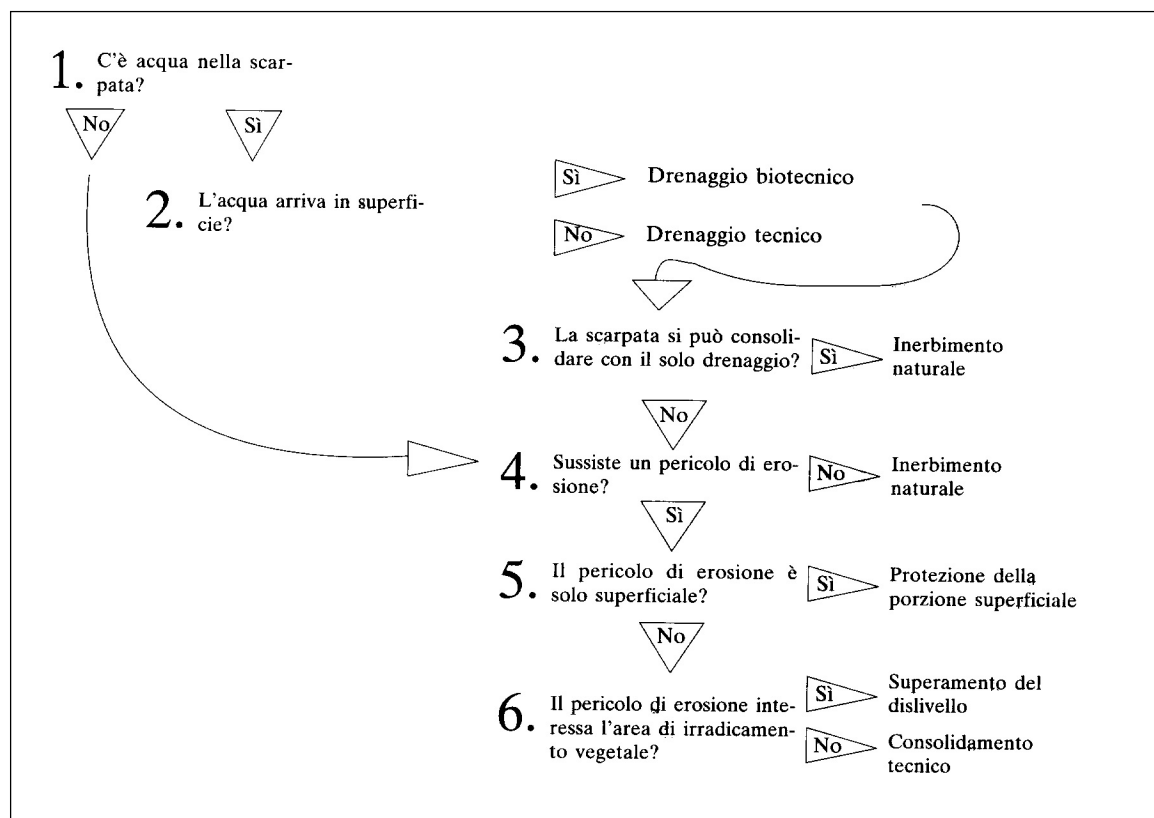
Per capire con quali tecniche di Ingegneria Naturalistica intervenire, si possono suggerire due metodologie:

**Tab. 10.3** - Schema contenente l'elenco delle opere ordinate dipendentemente dalla pendenza rilevata

Inclinazione scarpata		Tipo di intervento
10° < x < 15°		Non intervento
15° < x < 25°/27°		Semine <ul style="list-style-type: none"> <li>• manuali</li> <li>• potenziate</li> <li>• a spessore</li> </ul> Idrosemine <ul style="list-style-type: none"> <li>• potenziate</li> <li>• a spessore</li> </ul> Semine a paglia e bitume (le semine possono essere di specie erbacee/arbustive/arboree o di 2 o 3 classi)
25° < x < 35°/37°		Biostuoie (stuoie, reti, griglie) Stuoie in materiale sintetico (stuoie, reti, griglie)
35° < x < 45°		Fascinata vive Gradonata viva con talee e latifoglie radicate Cordonate vive Ribalta viva Palificata viva di sostegno a parte semplice o doppia Materasso rinverdito con piantagione di piantine radicate o talee Geocelle a nido d'ape in materiale biodegradabile e sintetico
45° < x < 55°		Geocelle a nido d'ape in materiale biodegradabile e sintetico Materasso rinverdito Grata viva
55° < x < 65°		Gabbionata rinverdita <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terra rinforzata</li> <li>• Balze in geotessuto</li> <li>• Terre rinforzate con paramento in geogriglia o geotessuto e rete metallica</li> <li>• Terre rinforzate con gabbioni</li> <li>• Terra armata</li> </ul> Rivestimento vegetativo (anche con talee e piantine)
65° < x < 80°	Solo con impianto di irrigazione	Rivestimento vegetativo (anche con talee e piantine) Terra rinforzata (anche con talee e piantine) Terra armata (anche con talee e piantine)

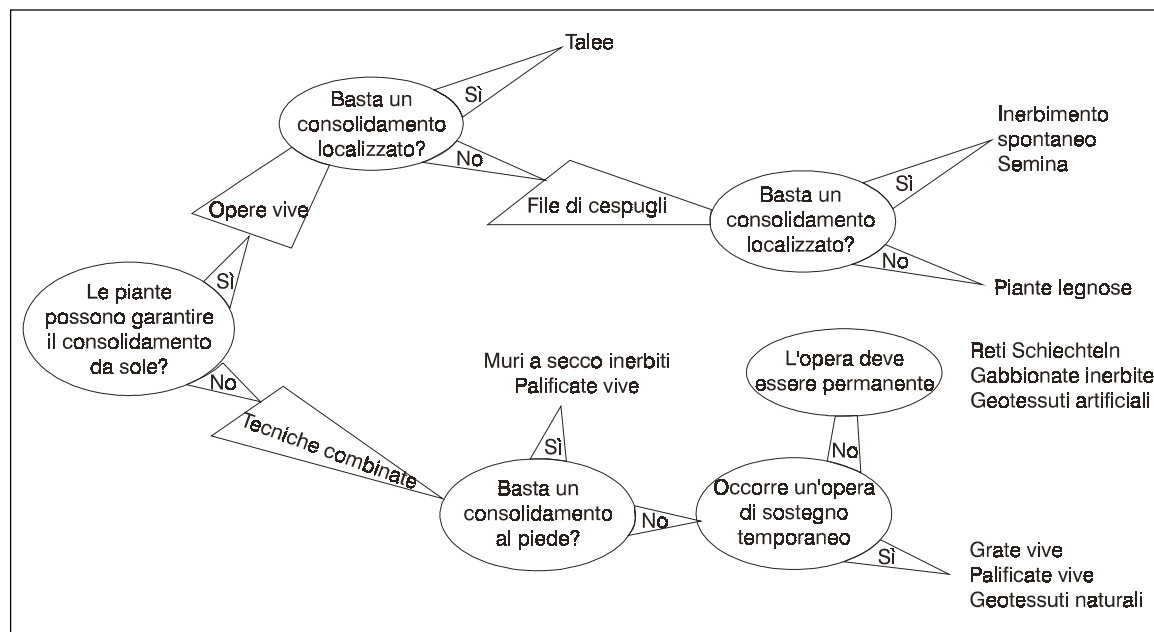
Fonte: Palmeri, 2002.

Fig. 10.2 - Sei domande per individuare la tecnica di Ingegneria Naturalistica più diffusa



Fonte: Zeh, 1992.

Fig. 10.3 - Superamento del dislivello



Fonte: Zeh, 1992.

- con la prima (Palmeri, 2000) l'inclinazione della scarpata è il fattore maggiormente condizionante la scelta delle tipologie (tab. 10.3);
- nella seconda (Zeh, 1992) viene proposto, tramite un percorso logico di domande, uno schema risolutivo (fig.10.2).

Per capire con quali opere intervenire ci si pongono, appunto, sei domande: partendo dalla prima ("C'è acqua nella scarpata?") si può passare direttamente alla quarta domanda, nel caso la risposta sia negativa; se la risposta è positiva, invece, si segue con il punto 2 ("L'acqua arriva

in superficie?”). Se la risposta è “sì”, occorre realizzare un drenaggio di tipo biotecnico come, ad esempio:

- fossi pavimentati con zolle erbose;
- fossi pavimentati con zolle erbose e pietre;
- canalette inerbite a fondo scabroso;
- canalette con stangame vivo;
- drenaggi con arbusti;
- drenaggi combinati con fascine;
- drenaggi con stangame.

Seguendo un percorso logico si giunge così al tipo di soluzione da impiegare in caso di stabilizzazione di scarpate.

Le domande poi seguono fino alla sesta, tra le cui risposte si propone quella del superamento di dislivello con opere di Ingegneria Naturalistica: infatti, per motivi di spazio, le scarpate presentano spesso una pendenza eccessivamente ripida. Per stabilizzare scarpate del genere occorre quindi realizzare ulteriori opere di consolidamento (fig. 10.3):

Di norma, nella sistemazione dei versanti si procede tramite le seguenti operazioni, secondo determinati gruppi logici di classificazione:

- *Opere accessorie preventive:*
  - tra i primi interventi è necessaria una bonifica dell'area d'intervento al fine di garantire l'accesso al cantiere per effettuare i primi disaggi, l'abbattimento delle piante instabili, la collocazione di reti paramassi;
  - recinzione dell'area di cantiere tramite barriere invalicabili (zone densamente popolate) o tramite nastro plastico a bande bianche e rosse, con apposita segnaletica (divieto d'accesso, pericolo, ecc.) e, comunque, quella prevista dalla normativa sulla sicurezza nei cantieri;
  - allestimento di eventuali aree di scarico dei materiali, delle zone di stoccaggio, dei macchinari e dei generatori elettrici per il funzionamento dell'impianto elettrico di cantiere;
  - messa in opera di sistemazioni idrauliche provvisorie, per eliminare, ad esempio, l'afflusso dall'alto di acque superficiali sul corpo di frana;
  - predisposizione di adeguati siti per i depositi di carburante ed olii;
  - predisposizione di eventuali aree destinate alla teleferica o al carico del cestello per elicottero.
- *Messa in sicurezza dell'area da corpi instabili o instabilizzanti:*
  - disaggio e/o ancoraggio degli ammassi rocciosi instabili dai pendii;
  - abbattimento e asportazione totale delle piante arboree dal versante in frana e lungo la corona, per una fascia di altezza variabile (comunque non inferiore ai 10 m) in funzione dell'altezza e dell'inclinazione della corona, dell'inclinazione del pendio soprastante, dei parametri geotecnici del terreno e delle caratteristiche della vegetazione;
  - alleggerimento della vegetazione arborea nelle restanti porzioni di versante soggetto ad instabilità, con le precauzioni descritte nel capitolo relativo ai corsi d'acqua.

- *Sistemi di fossi di guardia:*

- nella sistemazione dei versanti si deve provvedere ad allontanare, dall'area in cui si deve intervenire per il ripristino, le acque superficiali o d'infiltrazione: si realizzerà, quindi, un fosso di guardia a monte e lateralmente al dissesto. Le opere di drenaggio possono essere, per esempio, fossi pavimentati con zolle e/o pietre, canalette inerbite a fondo scabroso, drenaggi con arbusti e drenaggi combinati con fascine;

- *Accantonamento del terreno vegetale delle zolle di cotico e altro materiale vegetale:*

- data, in alcuni casi, la difficoltà dei mezzi di trasporto ad allontanare il materiale “di risulta”, si potrà accantonare il terreno vegetale presente nell'area delimitata dai lavori, per poterlo riutilizzare al momento opportuno;
- anche la difficoltà di reperimento del materiale vegetale utile non è sempre facile ed immediato: si consiglia, a tale proposito di mantenere con cura il materiale necessario, se presente nell'area oggetto di lavorazione, ad esempio:

§ le zolle erbose vanno conservate in mucchi d'altezza non superiore a 0,6 m e lunghezza non superiore a 1 m, periodicamente bagnate e tenute all'ombra ed al riparo dal vento;

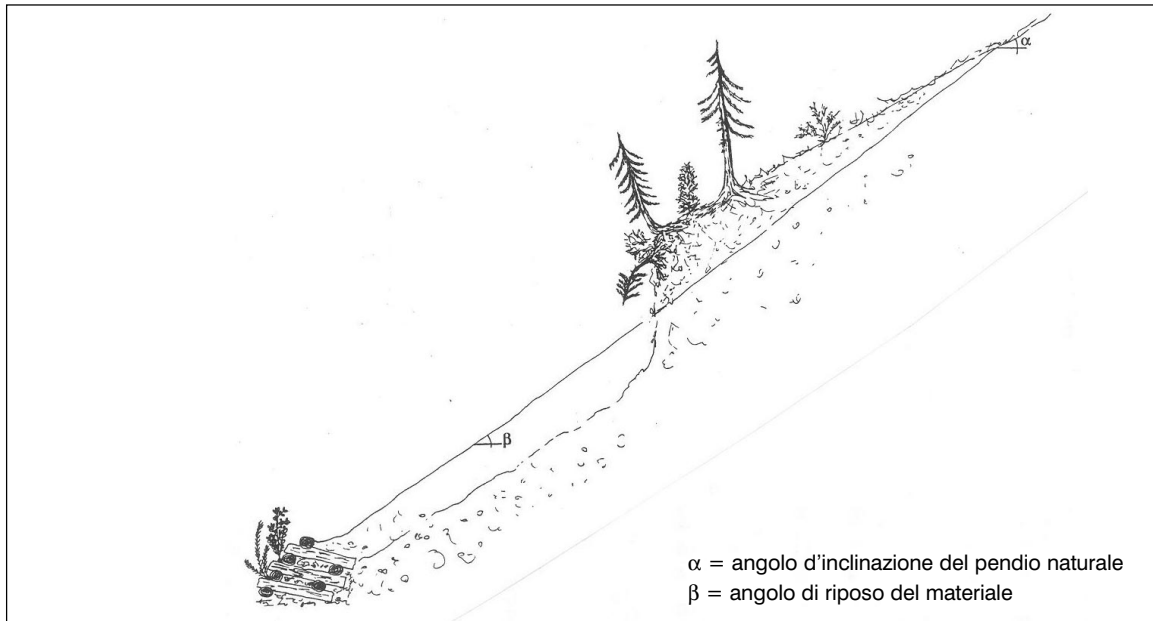
§ le piante possono essere conservate, durante il periodo di riposo vegetativo, in tagliola o coperto da ramaglia morta, proteggendole dall'essiccazione, dal riscaldamento e dal vento. Durante il periodo vegetativo, invece, si conservano in acqua corrente con profondità superiore a 20 cm e temperatura inferiore a 15° C.

Dove è possibile, si consiglia di conservare i lembi di vegetazione che non necessitano di essere sradicati e che si trovano su porzioni di versante stabili, in quanto possono probabilmente ricacciare e conferire al versante stesso maggiore stabilità.

- *Modellamento morfologico:*

- una delle prime operazioni da compiere per la messa in sicurezza di tutta l'area di intervento è la sistemazione della corona (*cigliatura*), tramite la quale si raccorderà il terreno posto al di sopra dell'area in dissesto con la base del pendio, favorendo un profilo compatibile, privo di brusche e pericolose rotture di pendio. Secondo Schiechl e Stern (1992), il raggio dell'arco di raccordo tra il terreno in posto e il corpo di frana deve essere superiore a 5 m. Insieme all'operazione di scoronamento è consigliabile prevedere, al fine di ottenere un'ulteriore stabilizzazione del pendio, un'opera di sostegno al piede (scogliere, palificate vive di sostegno, gabbionate rinverdite), accumulando a tergo di essa il materiale in eccesso soprastante (fig. 10.4). Il materiale alla base dovrà essere compattato a strati successivi che permettano un facile drenaggio delle acque e il rinverdimento;

Fig. 10.4 - Profilo di versante illustrante il rapporto tra gli scavi e i riporti di terreno



Fonte: Carbonari, Mezzanotte, 1992 (modificato).

- un'altra importante operazione è la profilatura (compensazioni scavi-riporti), con la quale si regolarizza il pendio mediante l'eliminazione di creste affilate o di porzioni di pendio particolarmente sporgenti, in funzione delle caratteristiche geomeccaniche del materiale. Il salto della corona viene annullato tramite l'apporto di materiale dall'alto ottenuto con uno scoronamento e quindi un arretramento della parte sommitale (Carbonari, Mezzanotte, 1993). La superficie da rinverdire aumenta, così, notevolmente.

Questo caso si presenta frequentemente in lavori di modellamento di versanti, ma è anche tra i più complessi, in quanto il calcolo dell'arretramento deve essere finalizzato ad ottenere il materiale necessario per compensare quello mancante alla base. Lo scavo d'arretramento può essere effettuato a mano o con mezzi meccanici. Nel primo caso la quantità di materiale da movimentare non supera generalmente i 100 ÷ 200 m<sup>3</sup> o la zona è di difficile accesso; dove la lavorazione è, invece, più impegnativa, può essere utilizzato il ragno meccanico che raggiunge il sito qualora le condizioni orografiche impediscano la costruzione di una viabilità di servizio, in quanto questo mezzo può raggiungere il luogo di lavoro risalendo anche i pendii più ripidi e spostare volumi fino a 3.000 ÷ 4.000 m<sup>3</sup> (Carbonari, Mezzanotte, 1993). Infine, le opere di sostegno costruite al piede del versante, vengono interrate e raccordate con la restante pendice;

- al di sopra delle superfici riprofilate viene posto terreno vegetale, per migliorare le caratteristiche chimico-fisiche del suolo e per

favorire l'attecchimento delle piante. Per evitare che vi siano problemi di radicazione entro lo strato minerale sottostante a quello vegetale, si devono riportare spessori di terreno vegetale superiore a 10 cm su pendii moderatamente acclivi, spessori fino a 10 ÷ 15 cm sui versanti di media inclinazione. Sui versanti ripidi ( $\alpha > 35^\circ$ ) è escluso il riporto, ma è consigliata la miscelazione del terreno con quello già presente (terreno minerale) e l'impiego di specie pioniere.

- **Regimazione idraulica:** è prioritario regimare le acque superficiali tramite canalette, collettori e pozzetti, e le acque sotterranee con drenaggi subsuperficiali e/o profondi (ad esempio, canne drenanti); non si può garantire, infatti, l'ottimale riuscita di un intervento di ripristino se in corso d'opera non si considera come fattore destabilizzante principale l'azione erosiva dell'acqua. A tale riguardo possiamo distinguere (Carbonari, Mezzanotte, 1995):
  - azione erosiva dovuta a precipitazioni meteoriche intense con scorrimenti laminari o incanalati, causa di danni superficiali;
  - azione erosiva dovuta alla presenza di sorgive perenni o periodiche, messe a luce da crolli naturali o intercettazioni con falde sotterranee durante i lavori di modellamento.

Nel primo caso si può procedere con interventi di copertura, mentre nel secondo la situazione è più complessa e si può controllare con interventi radicali di regimazione idraulica, tra cui:

- **canalette di captazione in legno:** servono per raccogliere ed allontanare l'acqua superficiale, al fine di consentire alla vegeta-



zione di svilupparsi completamente senza che la scarpata sia in erosione. Sono costituite da tavole in legno di spessore  $2 \div 4$  cm, assemblati a “U” o a “V” e fissato al terreno con picchetti in legno o ferro;

- *trincea drenante con tubo forato e geotessile*: la struttura drenante è data da un geotessile sintetico composto da una struttura in nylon alveolare, interposto a due non tessuti in poliestere, per uno spessore complessivo di 2 cm; questa struttura viene posta a monte entro una trincea scavata alla profondità di 1 m, insieme a un tubo microforato, il tutto riempito con materiale presente in loco;
- *trincea drenante con fascinate morte e vive*: il metodo di drenaggio consiste nello scavo di un fosso profondo  $80 \div 100$  cm, riempito con fascine di ramaglia morta, fissate al terreno con picchetti di legno o di ferro; se l'azione di drenaggio è permanente, si possono usare ramaglie vive di salice che, a contatto con il terreno, emettono radici e formano così una linea drenante vegetata e stabile, disposta sia lungo la linea di massima pendenza del versante o diversamente inclinata. Queste piante consentono la captazione delle acque mediante la loro infiltrazione nel terreno;
- *drenaggio con tubo forato e fondo impermeabile*: questo metodo serve per migliorare la funzionalità del drenaggio con fascinate; il fondo del fosso viene rinforzato con guaine di plastica (PE) impermeabili oltre ad un tubo microforato in plastica, che aumenta la velocità di deflusso ed impedisce i ristagni di acqua.
- *drenaggio verticale combinato*: questa tecnica si applica nei casi di più venute d'acqua e con flussi a portata non importante, ma continua; si crea un bacino d'accumulo a valle del punto di affioramento idrico, costruito con sacchetti di juta riempiti di sabbia. Entro questo sbarramento viene costruito un pozzetto in calcestruzzo al quale convogliano da monte tubi in PVC forati, mentre in uscita si inserisce un altro tubo, per lo smaltimento dell'acqua a valle;
- *pozzetti filtranti in legno*: nei punti di ristagno idrico su versante, si costruiscono pozzi di captazione, costituiti da tavole in larice di spessore  $4 \div 5$  cm a forma di scatola, con un foro a monte come filtro ed uno a valle per inserire il tubo di scarico. Il pozzetto si interra coprendolo, però, con un coperchio per l'ispezione.

Effettuate tutte le operazioni preliminari di messa in sicurezza e riordino, si dovrà procedere con l'applicazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica, in funzione del particolare tipo di movimento gravitativo. Nel caso in cui, ad esempio, il problema sia localizzato al piede del versante (scalzamento del piede a causa di erosione, generalmente dovuta ad un corso d'acqua), si dovrà provvedere a difende-

re la base del versante (o della sponda) con opere come palificate, repellenti o briglie.

Secondo Puglisi (2000), dopo l'esecuzione dei lavori si rendono opportuni interventi di sistemazione a verde della superficie di versante in frana.

La copertura vegetale (arbustiva e/o arborea), svolge, infatti, un ruolo funzionale perché assolve due compiti che integrano sinergicamente l'effetto stabilizzante, sia delle opere strutturali che di quelle idrauliche (Puglisi, 2000). L'evapotraspirazione delle piante consente di ridurre le pressioni neutre entro il terreno e l'apparato radicale fornisce un incremento della resistenza al taglio del terreno stesso. Le piante impediscono l'azione erosiva, come si è detto più volte, e la formazione di scanalature; l'azione erosiva si esplica anche per effetto di protesi, ovvero di accorgimenti costruttivi che rendono possibile l'impiego della vegetazione. A causa di andamenti climatici sfavorevoli, la vegetazione può avere bisogno di un aiuto iniziale, consistente in una grande quantità d'acqua al momento propizio. Nelle frane stabilizzate vi è spesso la possibilità di attingere acqua, ad esempio dai pozzi drenanti, per cui sono da prevedere, quando possibile, piccoli impianti di irrigazione a goccia, inserendo i tubicini a monte di vimate, fascinate, gabbioni, ecc. Se si procede a semine occorre impedire che particelle di suolo migrino per l'azione di trascinarsi delle acque di ruscellamento, scoprendo o asportando il seme, per cui si può ricorrere a tutte quelle forme che possiamo chiamare “protesi a scomparsa” (Puglisi, 2000).

#### 10.4 I limiti dell'Ingegneria Naturalistica nelle opere su versante

Per quanto riguarda l'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica su versante possiamo considerare in particolare, i seguenti limiti:

- *limiti operativi*: innanzitutto occorre impiegare manodopera che possieda il bagaglio operativo sia dell'operaio forestale che di quello edile, in quanto gli interventi su versante comprendono una serie di lavori che prevedono svariati materiali e macchine. Secondo Luchetta (1994), inoltre, gli interventi di Ingegneria Naturalistica necessitano di elevata presenza di manodopera. Le attrezzature necessarie in ambito di difesa di un versante sono macchine tipicamente forestali (trattore, motosega, gru con cavo), macchine edili (escavatore, betoniera, compressore, perforatrice), ma anche macchine speciali quali escavatore ragno ed elicottero;
- *limiti connessi alla necessità di manutenzione*: gli interventi di manutenzione, da compiersi per alcuni anni dopo l'intervento con intensità decrescente, sono tanto intensivi quanto più difficili sono le condizioni stagionali; il controllo regolare è indispensabile per non compromettere il buon esito di tutta l'operazione effettuata;

- *limiti connessi alla reperibilità dei materiali da costruzione vivi*: non sempre è facile reperire sul mercato i materiali adatti alla costruzione delle opere di Ingegneria Naturalistica (cfr. capitolo 7). In un recente lavoro (Cornellini, Sauli, 1991) è stato infatti affrontato il problema del mantenimento della diversità biotica (evitando interventi che portino a formazioni monospecifiche che determinino una bassa diversità specifica) negli interventi di rinaturalizzazione, con la proposta di individuare le specie idonee negli interventi sulle scarpate facendo riferimento all'analisi fitosociologica della vegetazione. Questo consente di riconoscere lo stadio dinamico di riferimento, in funzione delle caratteristiche ecologiche della stazione (morfologia, suolo, microclima, ecc.), data la difficoltà di reperire sementi di specie autoctone pioniere;
- *limiti connessi alla tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori*: i lavori che si compiono su versante comportano una serie di rischi legati, soprattutto alla morfologia del territorio, all'inclinazione del versante, alla presenza di salti in roccia, alla mancanza di un'agevole o percorribile via di comunicazione o di fuga in caso di evacuazione. Vero è che vi sono i "dispositivi di protezione individuale" (DPI) che sono obbligatori per le diverse condizioni di lavoro, escludendo i casi in cui è sufficiente una semina o idrosemina accompagnata da piantagioni, in quanto i primi rientrano nel campo d'applicazione del DLgs 494/1996 in materia di cantieri temporanei e mobili, così come modificato dal DLgs 528/1999, ma tali dispositivi risultano spesso insufficienti o inadeguati alle condizioni di lavoro.

#### 10.4.1 Campo di applicazione delle opere di copertura

Il fine principale di questo tipo di intervento è quello di proteggere il suolo dall'erosione superficiale, dalle acque di dilavamento e dall'azione dei vari agenti meteorologici, ripristinando la copertura vegetale. Secondo Kuonen (1983), questo tipo di tecnica può essere utilizzata su scarpate con grado di sicurezza superiore a 1,1, come si può evidenziare nella **figura 10.5**, in cui:

$\eta$  = grado di sicurezza.

è data da:

$$\eta = \frac{\text{tg}\phi}{\text{tg}\beta}$$

in cui :

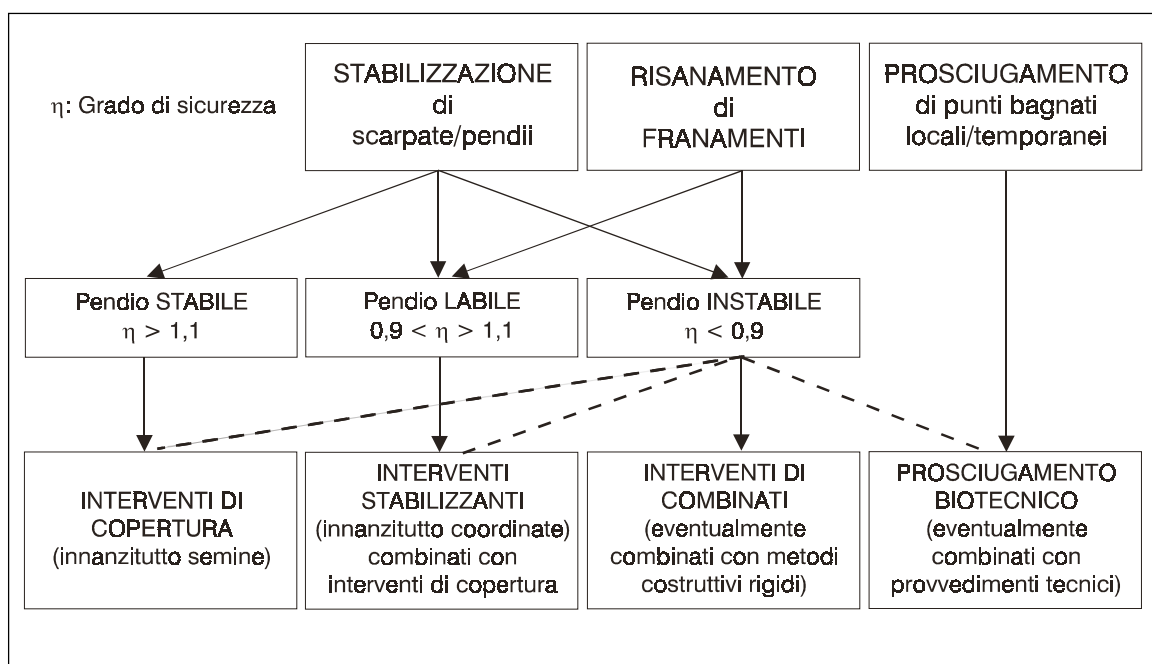
$\phi$  = angolo d'attrito;  
 $\beta$  = inclinazione del versante.

Si consiglia di utilizzare dei supporti, quali:

- idrosemina a spessore;
  - sostanze pacciamanti;
  - reti e stuoie biodegradabili;
  - reti e stuoie in materiale sintetico;
- che consentono la protezione immediata del suolo, in attesa che si affermi la vegetazione (i tempi naturali sono troppo lunghi per assicurare una protezione completa del suolo nelle prime fasi). Si vedano al riguardo le relative schede tecniche.

Le opere di copertura, accompagnate dalla regimazione delle acque, comprendono soprat-

**Fig. 10.5 - Stabilità delle scarpate e tipi d'intervento dell'Ingegneria Naturalistica**



Fonte: Kuonen, 1983.

tutto semine, da integrarsi con interventi lineari o a scacchiera.

La messa a dimora di zolle erbose o di prato in rotoli è consigliabile dove le piote sono state ricavate in seguito ad attività di cantiere come, ad esempio:

- scoronamenti;
- scavi per interrimento di tubazioni;
- pista da sci.

Le soluzioni integrative alle semine possono essere:

- *palizzate e stecconate*, che si prestano bene su coltri detritiche a materiale grossolano;
- *graticciate*, che essendo più elastiche e flessibili, si adattano a versanti in materiale più fine; sono opere che però si degradano rapidamente, quindi devono essere previste dove la vegetazione non impieghi più di 1 ÷ 2 anni per insediarsi;
- *ramaglia morta*, in sostituzione delle opere sopra elencate, se disponibile sul cantiere. La costruzione può avvenire in allineamenti livellari continui o a scacchiera. Se la ramaglia è di conifere, i rami saranno disposti con la parte più spessa verso monte e appesantita da pietrame o fissata con picchetti; se la ramaglia è di latifoglie sarà sistemata in fascine fissate al suolo con picchetti;
- *coltre protettiva e bitume (sistema nero-verde)*: questa tecnica è limitata dal fenomeno di riscaldamento dello strato superficiale del suolo, dovuto al colore scuro del bitume, che potrebbe sfavorire lo sviluppo delle piantine e, pertanto, non è tecnica adatta ai climi caldi;

- *coltre di paglia o fieno con reti scure biodegradabili a maglie larghe o reti in fibra di juta o cocco*: è una soluzione migliore rispetto a quella soprastante, in quanto il legante è di colore chiaro e ciò non comporta i problemi di cui sopra.

In genere i miscugli utilizzati per le semine sono quasi esclusivamente specie erbacee ed in parte specie arbustive ed arboree. Si consiglia, inoltre, l'impiego di essenze legnose, soprattutto in caso di versanti ripidi, di difficile accesso o con estesa copertura rocciosa, ove sarebbe difficile tornare per effettuare interventi complementari (Schiechtl, 1995).

Nella **tabella 10.4** vengono riassunte le principali opere di copertura.

Tra gli interventi citati nella tabella ricordiamo che l'ultimo è adatto per situazioni a forte rischio di erosione ed in condizioni stazionali molto sfavorevoli (di conseguenza, è un intervento molto costoso).

La posa in opera di rete metallica zincata a doppia torsione associata a coltre protettiva o a reti in juta o cocco, è indicata nei cantieri in cui vi sia il rischio di movimenti gravitativi a seguito di processi di ristagno idrico o di inclinazioni elevate di versante ( $> 35^\circ$ ), o ancora nel caso di terreni vulnerabili posti a valle.

#### 10.4.2 Campo d'applicazione per le opere di stabilizzazione

Le opere di stabilizzazione su versante sono costruzioni lineari che seguono l'andamento del-

**Tab. 10.4** - Principali opere di copertura

Tecnica	Impiego	Inclinazione del versante ( $^\circ$ )	Efficacia	Vantaggi	Svantaggi	Costo
Semine a spaglio	Versanti poco inclinati, con materiale grossolano, terreni relativamente evoluti, microclima fresco, fenomeni erosivi scarsi; rinverdimenti temporanei.	$< 20^\circ$	Media	Semplicità; assenza d'attrezzature; conveniente anche per piccole superfici.	Condizioni stazionali molto favorevoli.	Basso
Idrosemine	Versanti anche acclivi in stazioni a clima mite, in particolare poco esposto al sole e con periodo arido limitato, con fenomeni erosivi non intensi; scarpate e rilevati stradali e in genere cantieri facilmente accessibili (ad eccezione uso di elicottero).	$< 30^\circ \div 35^\circ$	Media	Procedimento rapido in cui tutte le operazioni sono concentrate in una sola fase; elevata produttività; possibilità di utilizzo di elicottero.	Condizioni stazionali relative favorevoli; disponibilità di acqua in cantiere; non si adatta a piccole superfici.	Medio - basso

(segue)

Segue tab. 10.4 - Principali opere di copertura

Tecnica	Impiego	Inclinazione del versante (°)	Efficacia	Vantaggi	Svantaggi	Costo
Semina a spessore	Adatta per quasi tutte le situazioni. Potendo variare a piacere i componenti della miscela, questa tecnica è idonea a coprire grandi e medie superfici, anche a forte pendenza, terreni grezzi e scarpate con limitata copertura sciolta.	Da superfici piane fino a 50° ÷ 60°	Elevata	Può essere applicata durante l'intero periodo vegetativo; permette di distribuire contemporaneamente sul terreno numerose sostanze essenziali per il successo dell'intervento.	-	Medio
Semine su reti o stuoie	Versanti ripidi, soggetti ad erosione idrica o eolica in condizioni non estreme, per aridità estiva ed elevate temperature al suolo; corona di frana riprofilata.	> 15° ÷ 20° e fino a 35° ÷ 37°	Elevata	Immediata protezione del suolo; miglioramento del microclima al suolo.	Trasporto materiali in cantiere; posa in opera in più fasi.	Medio - alto
Semine con coltre protettiva (paglia, fieno ecc.)	Versanti soggetti ad erosione idrica o eolica in condizioni difficili per quanto riguarda l'aridità, gli estremi termici il terreno; suoli argillosi variabile.	Variabile	Elevata	Immediata protezione del suolo; forte miglioramento delle condizioni stagionali.	Trasporto materiali in cantiere; posa in opera in più fasi.	Medio - alto

le isoipse e che si ripetono secondo un determinato interasse (diverso a seconda della tecnica di Ingegneria Naturalistica impiegata).

È necessario tenere in considerazione l'efficacia degli interventi in funzione della profondità di radicazione delle piante (per esempio, sulle gradonate vive) e dell'interasse tra le stesse. Nel caso di gradonate vive, infatti, già dopo l'inserimento delle prime piante, la stabilità aumenta di un terzo (Florineth, 1995; Hofmann, 1963); si veda a tale riguardo la relativa scheda nella terza parte del presente *Manuale*.

Non tutte le tecniche di Ingegneria Naturalistica sono adatte allo scopo; ad esempio le graticciate (o le viminate) presentano i seguenti problemi:

- radicazione modesta delle talee in relazione alla gran quantità di materiale impiegato;
- necessità di verghe lunghe e regolari atte all'intreccio;
- facilità di disseccamento e di scalzamento;
- facilità di danneggiamento per la spinta delle terre, per caduta sassi e per azione della neve;
- costi abbastanza elevati di realizzazione.

Nel caso in cui si vogliono utilizzare le *viminate*

*vive*, queste vanno adagiate su un gradoncino largo almeno 40 cm e poi interrate con altezze dal terreno non superiori a 30 cm.

Le *viminate con materiale morto*, conservano una certa importanza solo in quanto svolgono il temporaneo contenimento superficiale del terreno, in attesa che la vegetazione si insedi completamente e, quindi, sono adatte da sole all'impiego quale tecnica di sistemazione.

Altre opere di antica tradizione costruite con materiale vegetale vivo sono le *fascinate*; queste possono essere impiegate per il controllo dei fossi se disposte trasversalmente al versante, oppure longitudinalmente, per stabilizzare l'intero pendio (con inclinazioni inferiori a 30° ÷ 35°). Le *gradonate vive* sono diffuse in ambiente alpino perché consentono di riparare i danni provocati dall'erosione, non eccessivamente profonda, nei versanti o da scoscendimenti superficiali, mediante l'impiego di talee di salicacee che conservano nei primi anni di vita una notevole flessibilità, in modo tale che il peso delle neviccate le pieghi, ma non le spezzi (Puglisi, 2000).

Le più importanti opere di stabilizzazione sono descritte nella **tabella 10.5**.

### 10.4.3 Campo d'applicazione per le opere di sostegno

Dalla "legge del minimo", sappiamo che l'Ingegneria Naturalistica deve essere impiegata solo dove e quando sia realmente necessaria: si devono impiegare le tecniche a minore complessità che non richiedano, quindi, ingenti costi a parità d'efficacia. In ambito di dissesto dei versanti di un certo rilievo (la cosiddetta *esposizione* nella formula del rischio), è obbligatorio intervenire ove si temano danni ai beni presenti nelle vicinanze, o danni indiretti causati dalla produzione di detrito verso valle.

Si ha infatti:

$$R = V * P * Esp$$

dove:

- *R* = *Rischio*. Probabilità, caratteristiche e modalità del verificarsi di un evento dannoso per la salute umana e per l'ambiente. In particolare, per rischio ambientale si intende uno stato in cui sono presenti condizioni di pericolosità o di minaccia ipotetica verso l'ambiente e l'uomo. Nella stragrande maggioranza dei casi l'analisi del rischio tende ad estimare la dimensione percettiva dell'individuo che spesso è fondamentale. La maggior parte degli studi sul rischio adotta come principio base la formula per cui il rischio sarebbe uguale alla probabilità che un evento indesiderato avvenga in un certo arco temporale, definendo il rischio attraverso una funzione di tipo statistico. Probabilità del verificarsi di un danno ambientale moltiplicata per la grandezza del danno stesso. Nelle procedure di VIA esprime la possibilità che gli interventi dell'uomo superino un livello tale da provocare sensibili e spesso irreversibili fenomeni di inquinamento e di dissesto con alterazione degli equilibri preesistenti (Ministero dell'Ambiente);
- *V* = *Vulnerabilità*. Si intende l'insieme complesso di tutto ciò che esiste ad opera dell'uomo in un certo territorio e che direttamente o indirettamente è suscettibile di un danno materiale (Panizza, 1992);
- *P* = *Pericolosità*. È la probabilità che un certo fenomeno di instabilità geomorfologica si verifichi in un certo qual territorio in un determinato intervallo di tempo (Panizza, 1987);
- *Esp* = *Esposizione*. È il valore dell'elemento a rischio, ovvero il valore (che può essere espresso in termini monetari o di numero o di quantità di unità esposte) della popolazione, delle proprietà e delle attività economiche, inclusi i servizi pubblici, a rischio in una data area.

L'Ingegneria Naturalistica in realtà è in grado di agire sui primi due fattori, riducendo sia la vulnerabilità, sia la pericolosità intrinseche al versante.

L'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica su versante è in funzione di diversi parametri, quali:

- caratteristiche morfologiche del pendio;

- caratteristiche geologiche e geomeccaniche dei litotipi;
- andamento della superficie freatica e delle acque di scorrimento superficiale;
- condizioni climatiche, pedologiche, vegetazionali;
- caratteristiche delle specie vegetali e del materiale naturale impiegati;
- capacità tecnico-operative del personale e disponibilità dei mezzi di lavoro.

L'inserimento di materiali vivi è fondamentale per il raggiungimento dell'efficacia di queste opere, in quanto la funzione di sostegno può essere svolta dalla vegetazione, qualora le strutture di sostegno in legname decadano strutturalmente per il deperimento del legname.

Dal punto di vista tecnico, s'indicano di seguito alcuni accorgimenti costruttivi (Galeotti, 2000):

- lo spessore delle opere deve essere compatibile con la profondità raggiungibile da parte degli apparati radicali delle piante utilizzate; se ciò non accadesse, al termine dell'azione di consolidamento esercitato dal legname, verrebbe a mancare la funzione sostitutiva di sostegno delle radici. Lo spessore medio più verosimilmente consolidato è variabile tra 2 m e 3 m in condizione di terreno medio; se il terreno è ben "compattato" (ad esempio, terreno argilloso), avremo una minore profondità (tra 0,5 e 1,5 m circa); se è ben arieggiato, possiamo arrivare anche a 5 ÷ 7 m in quanto le radici si fermano dove non vi è più sufficiente disponibilità di aria;
- l'altezza delle opere in condizioni medie, è consigliabile non superi i 3 m ed il rapporto tra la profondità dell'opera e l'altezza, deve essere almeno uguale a 0,50 ( $b/h \geq 0,50$ ). Ciò significa che la base, nel caso di un'altezza di 3 m, dovrà essere almeno di 1,5 m (valore cautelativo di profondità a cui le radici potranno, in condizioni medie di terreno, agevolmente arrivare);
- l'inclinazione del paramento esterno della struttura impiegata è consigliabile sia inferiore ai 65° e comunque  $\leq 60^\circ$ , questo affinché le piante possano ricevere acqua piovana a sufficienza, senza però che questa ristagni;
- si consiglia l'impiego di specie arbustive rispetto a quelle arboree, con rapporto biomassa epigea/ipogea più elevata.

Le opere di Ingegneria Naturalistica su versante sono costruite generalmente in punti particolari, che richiedono maggiore consolidamento, come la corona e il piede, oppure nelle aree più acclivi. Queste opere sono soggette alle disposizioni del DM 11 marzo 1988 in materia di norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Nella **tabella 10.6** (tratta dal *Manuale* della Regione Toscana, 2000 e modificata da Palmeri, 2002) sono descritte le principali opere di sostegno.

Tab. 10.5 - Principali opere di stabilizzazione

Tecnica	Impiego	Dimensioni	Efficacia tecnica	Efficacia ecologica	Vantaggi	Svantaggi	Costo
Gradonata con talee ed eventualmente con piantine	Consolidamento di scarpate anche molto ripide e di rilevati; la più efficace delle sistemazioni stabilizzanti; su pendii molto ripidi con elevato rischio di erosione è consigliabile adottare un'armatura in tonname, mentre in stazioni aride con terreni sciolti un rinforzo longitudinale sec. Rainer.	$B = 0,8 - 1,5$ (fino a 5m nei rilevati) $l = 2 + 3$ (5) m $\beta'' = 5^\circ - 10^\circ$	Elevata	Elevata	Azione in profondità; esecuzione semplice e rapida; utilizzo di materiale vivo di ogni tipo; esecuzione manuale o meccanizzata; con l'inserimento di piantine di accelerazione della successione.	Necessità di elevate quantità di materiale vivo; cattiva ritenuta del terreno; difficoltà di sviluppo su falde detritiche in stazioni aride a seconda delle specie impiegate; forte impiego di materiale vivo.	Medio - basso
Cordonata sec. Praxl	Consolidamento di pendici con ristagni idrici, di terreni argillosi, di suoli poveri in sostanza organica.	$b > 0,6$ $l = 3$ m $\beta'' = 5^\circ - 10^\circ$	Elevata	Elevata	Possibile profondità elevata di radicazione; aerazione degli apparati radicali.	Elevato fabbisogno di talee e di ramaglia di conifere; scavo profondo in genere.	Medio - alto
Fascinata e fascinata con piantine	Drenaggio e consolidamento pendii umidi se disposte obliquamente; per stazioni aride se disposte orizzontalmente; in ogni caso per stazioni favorevoli con inclinazione inferiori a $30^\circ \div 35^\circ$ .	$b = 0,4 - 0,6$ m $l = 1,5 + 3$ m	Media	Media	Rapidità e semplicità di esecuzione se le fascine sono già pronte; scarsi movimenti di terra.	Limitato effetto in profondità; impossibilità di usare ramaglia corta e contorta; sensibile alla caduta di sassi; forte impiego di materiale vivo.	Medio - basso
Palizzata con talee e/o piantine	Consolidamento e contenimento superficiale del terreno; riduzione della pendenza media; utili su falde detritiche e ove si debbono minimizzare gli scavi; disposte in linee continue oppure a scacchiera.	$h = 0,3 - 0,5$ m $i = 2 - 4$ m	Media	Media	Immediata ritenuta del terreno; stabilizzazione superficiale di falde detritiche; scavi molto ridotti.	Efficacia superficiale.	Medio

Legenda:

B = distanza tra i gradoni trasversali al versante; b = profondità e larghezza dello scavo nelle fascinate; h = altezza della sporgenza nella palizzata; l = lunghezza delle fascine, o delle talee o, comunque della ramaglia; i = lunghezza tonname;  $\beta''$  = contropendenza dello scavo del gradone.

Tab. 10.6 - Principali opere di sostegno

Tecnica	Impiego	Dimensioni	Efficacia tecnica	Efficacia ecologica	Vantaggi	Svantaggi	Costo
Palificata ad una parete rinverdita	Consolidamento movimenti poco profondi.	$H < 1.5$ $b/H = 0.75 \div 1.0$ $\beta' = 60-75$ $\beta'' = 5-10$	Media	Elevata	Possibile impiego di materiali in loco; deformabilità; leggerezza; adattabilità alla morfologia; rapidità e facilità di costruzione; permeabilità.	Altezza limitata; durata limitata legname.	Medio - basso
Palificata a doppia parete rinverdita	Consolidamento movimenti poco profondi o mediamente profondi se in combinazione con micropali; sottoscarpa e controripa viabilità forestale o pedonale.	$H < 2.5$ (3) $b/H = 0.75 \div 1.0$ $\beta' = 60-75$ $\beta'' = 5-10$	Da media ad elevata	Elevata	Possibile impiego di materiali in loco; deformabilità; leggerezza; adattabilità alla morfologia; rapidità e facilità di costruzione; permeabilità.	Altezza limitata; durata limitata legname.	Medio - basso
Grata a parete semplice o doppia rinverdita	Scarpate alte e acclivi, senza possibilità di arretramento del ciglio, soggette ad erosione o movimenti gravitativi superficiali.	$H < 15$ (20) $\beta' = 40-55$ (60)	Media	Elevata	Unica opera possibile; materiali in loco; effetto immediato; adattabilità alla morfologia.	Laboriosità dell'esecuzione; necessità di tronchi lunghi.	Medio - alto
Gabbionata rinverdita	Consolidamento pendii, in particolare al piede e in terreni umidi e/o argillosi; sistemazione della viabilità.	Variabili $\beta' < 75$ $\beta'' = 5$	Da media ad elevata	Media	Deformabilità; permeabilità; facile e rapidità esecutiva.	Disponibilità di pietrame in loco; difficoltà di inserimento piante.	Medio - basso
Terra rinforzata	Sostegno di pendii instabili, in particolare al piede e formazione di rilevati ripidi, in zone povere di pietrame.	Variabili; $\beta' < 75$ , meglio se $\beta'' \approx 60$	Elevata	Media	Materiali di sito; deformabilità; facilità e rapidità esecutiva.	Disponibilità di pietrame in loco; difficoltà di inserimento piante.	Medio - alto
Scogliera in massi ciclopici rinverdita	Consolidamento al piede di versante; controripa visibilità.	$H < 3$ (4) $\beta' < 45$ (55)	Media	Elevata	Deformabilità; permeabilità; semplicità esecutiva.	Disponibilità massi in loco e necessità di macchine potenti: cantieri accessibili.	Medio
Muro cellulare rinverdito	Consolidamento versanti, in particolare al piede; sistemazione della viabilità.	Variabili in relazione al fabbricante; $h < 5$ (6) $\beta' < 75$	Elevata	Bassa	Rapidità e semplicità di costruzione; effetto immediato; sopporta elevate spinte con altezze anche consistenti; lunga durata; possibilità di riutilizzo degli elementi.	Elevata massa degli elementi; difficoltà di trasporto e movimentazione; teme la caduta di sassi; microclima sfavorevole alle piante.	Alto
Cuneo filtrante	Sostegno al piede di scarpate con ristagni idrici, eventualmente in abbinamento a palificate, scogliere, ecc.	Variabili con le caratteristiche geotecniche del materiale inerte e con l'inclinazione del versante.	Elevata	Media	Semplicità	Necessità di inerti in quantità e di macchine potenti: cantieri accessibili.	Medio

Legenda: h = altezza (m); b = profondità (m);  $\beta'$  = inclinazione del parametro di valle (espressa in gradi);  $\beta''$  = inclinazione verso il monte del piano di fondazione (espressa in gradi).

(\*) I costi sono relativi tra le opere descritte.

Fonte: Regione Toscana, 2000, (modificata da Palmeri, 2002).

Se si assimilano le opere di sostegno a quello che Hoffmann (1995) definisce "muro a gravità" di tipo naturalistico, dato da una porzione di terreno caratterizzata da una fitta radicazione di piante precedentemente messe a dimora, avremo le radici che, se cresciute uniformemente, permettono al corpo terroso di reagire in modo omogeneo alle forze e ai momenti esterni e, quindi, verrà verificata la stabilità dimensionale della struttura.

Nella **figura 10.6** viene illustrato schematicamente il dimensionamento di un muro a gravità realizzato con tecniche di Ingegneria Naturalistica. Nel grafico il rapporto altezza/larghezza è ricavato dalla prova di rovesciamento. Hoffmann spiega che, in base a questo grafico, un muro a gravità a profilo verticale alto 1,85 m deve essere largo 1 m, ovvero che l'irradicamento deve coinvolgere il corpo terroso per un metro di profondità ed essere sufficientemente compatto, abbastanza da evitare fessurazioni.

Questa larghezza diminuisce sensibilmente con l'aumentare dell'angolo  $\alpha$  (in caso di scarpate non verticali e, quindi, con l'aumento d'inclinazione della base dell'opera verso monte), ed inoltre il muro di terra può raggiungere altezze superiori. Vari studi, sostiene Hoffmann, confermano che le radici delle piante hanno un importante effetto consolidante sul terreno, anche se non esistono dati generali sul grado di consolidamento in funzione delle varie specie vegetali, del nu-

mero di piante messe a dimora e di altre variabili. La valutazione del precedente grafico porta alla conclusione generale che un effetto stabilizzante di determinate radici sul terreno è possibile solo fino a uno spessore dell'opera pari a 1 m. Non si esclude, comunque, che se tutte le variabili sono favorevoli e la manutenzione dell'opera viene effettuata correttamente, l'effetto stabilizzante delle radici, intervenga anche per spessori superiori al metro. Tutto ciò nel primo periodo di vita delle piante (3 ÷ 5 periodi vegetativi) ed in assenza dell'azione di sostegno operata, per esempio, dal legname.

#### 10.4.4 Opere di completamento

Sono tecniche che consentono di agevolare lo sviluppo della cenosi vegetale verso lo stadio seriale ricercato e comprendono principalmente la messa a dimora di specie arbustive ed arboree:

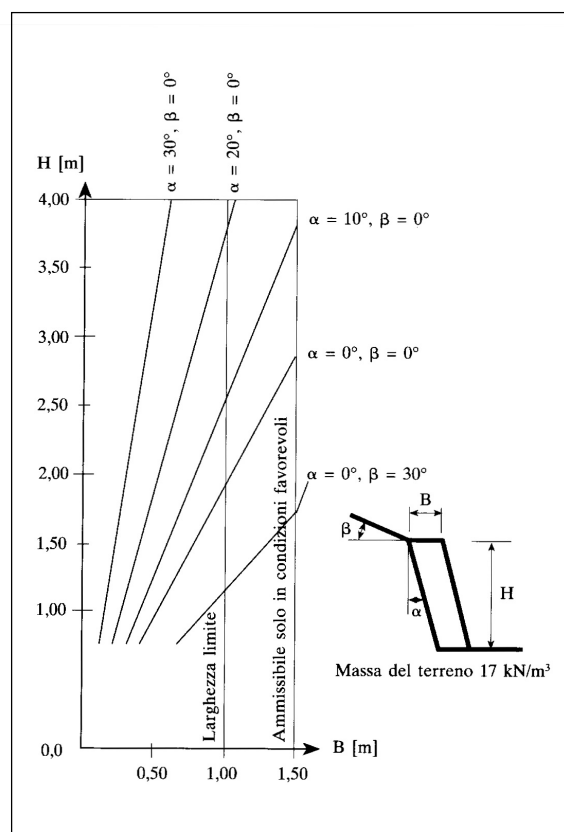
- *semina di specie legnose*: si consiglia di aggiungere al miscuglio per l'idrosemina semi di specie arboree ed arbustive;
- *piantazione in buca con postime a radice nuda*: si scelgono specie pioniere non fittonanti, in climi non aridi, in terreni possibilmente non grezzi; si sottolinea l'importanza del trasporto del materiale (bisogna evitarne il disseccamento);
- *piantazione in buca con postime in contenitore*: in questo caso si possono collocare anche specie fittonanti in stazioni difficili per aridità del clima e del suolo;
- *piantazione inclinata (ad angolo) con postime a radice nuda di piccole dimensioni*: il terreno deve presentare scarse quantità di scheletro, di argilla e di humus grezzo, ed il cotico erboso deve essere basso;
- *piantazione a fessura (con vanga) con postime a radice nuda di piccole dimensioni*: richiede le stesse caratteristiche di cui sopra, tranne la presenza di cotico preesistente;
- *piantazione con asta trapiantatrice (postime di piccole dimensioni in contenitore)*: richiedono terreni sciolti e bassa vegetazione.

Altre tecniche di rimboschimento che possono essere impiegate su versante possono essere le seguenti:

- *cordonata secondo Couturier*: è una piantazione di piante pioniere a radice nuda su gradone con successivo ricoprimento del medesimo;
- *gradonata con piantine*: messa a dimora suborizzontale di specie pioniere (principalmente con capacità di radici avventizie) a radice nuda su gradone, con successivo ricoprimento dello stesso.

Questi metodi possono essere utilizzati anche come sistemazioni stabilizzanti. Per tutti gli interventi complementari è consigliabile un'effettuazione posticipata rispetto alla sistemazione principale, in modo da consentire alla vegetazione erbacea ed arbustiva di evolversi favorevolmente rispetto alle particolari condizioni pedoclimatiche e di stabilità di pendio.

**Fig. 10.6** - Rapporto altezza/larghezza di un'opera di tipo naturalistico



Fonte: Hoffman, 1995.



Alcuni accorgimenti di carattere generale, per evitare che fattori climatici estremi, elevate pendenze di versante e condizioni edafiche, influenzino negativamente l'impianto in tutte le sue fasi, possono essere di seguito elencati:

- *allontanamento delle vegetazione esistente a strisce*: in caso di postazioni aride;
- *preparazione del suolo*:
  - *buche*: non in stazioni aride o in terreni argillosi;
  - *gradoni*: su pendii ripidi, in stazioni aride o comunque in terreni drenati;
  - *strisce*: stazioni aride con pendenze moderate ( $i < 35^\circ$ );
  - *piazzole* (parti di gradoni): versanti con rocce affioranti;
  - *piazzette* (parti di strisce): versanti con rocce affioranti ma con pendenze più moderate;
- *profondità di piantagione*: in stazioni aride è bene che sia profonda;
- *conformazione del terreno attorno al colletto*: convessa in stazioni umide, concava in stazioni aride;
- *pacciamatura* (paglia o fieno, ricoperto con terra, prodotti organici o di sintesi): in stazioni aride e terreni grezzi, con vegetazione esistente aggressiva;
- *miglioramento del terreno*: da effettuarsi con concimazioni e polimeri idroritenti, se il terreno è povero o arido;
- *copertura della buca con zolle erbose*: in caso di versanti soggetti ad erosione idrica ed eolica;
- *piantagione a mazzetti o a ciuffi*: da effettuarsi in punti al limite altitudinale della vegetazione arborea, in zone a forte ventosità e soggette alla pressione delle nevicate o di cadute sassi.

### 10.5 Sistemazione dei versanti calanchivi con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Si riporta una soluzione idonea alla sistemazione dei versanti in erosione, tratta dall'esperienza di Puglisi (2000), in particolare su terreno caratterizzato dalla presenza di forme d'erosione calanchiva.

Il metodo consiste nel predisporre il terreno al ritorno spontaneo della vegetazione. In alcuni ambiti come superfici di frana dopo il drenaggio e il modellamento, o in alvei torrentizi dopo l'imbrigliamento, è stato osservato (Puglisi, 2000) che la stabilizzazione delle particelle costituenti il suolo consente il rinvenire della vegetazione.

Questa considerazione e l'osservazione che in presenza di forme calanchive, la scarsa vegetazione spontanea non riesce a diffondersi a causa delle colatine di fango che la prostrano e la privano di fiori, frutti e semi, hanno consentito di mettere a punto una tecnica di preparazione del terreno che impedendo la formazione delle suddette colatine di fango consente alla

vegetazione spontanea di disseminare tutt'intorno e affermarsi dove il seme trova siti in cui può germinare perché gli sono risparmiati lo scalzamento/soffocamento, nonché assicurato un rifornimento idrico ipodermico costante e la protezione dell'apice radicale. Alla testata del calanco si aprono piccoli fossi di guardia che si fanno scaricare sui dossi. Segue l'apertura di solchi a spina di pesce dentro i compluvi e recapito dei medesimi sulle creste. In tal modo si abbassano i dossi, si impedisce la formazione delle colatine fangose e si facilita l'affermazione della vegetazione. Le creste a lama di coltello, già modellate possono a loro volta rinverdirsi e coprirsi di cespugli. Detto intervento di solito è parte di sistemazioni idraulico-forestali di bacini o sottobacini più ampi della pendice rinverdata o cespugliata.

### 10.6 Consolidamento dei versanti mediante l'impiego dei salici in Ingegneria Naturalistica

Le sistemazioni stabilizzanti su versante con tecniche di Ingegneria Naturalistica, richiedono vegetazione con rami vivi o talee di specie con capacità di propagazione vegetativa e con capacità di produzione di radici avventizie. Per questo motivo sono da preferire rami di salici aventi questa facoltà insieme a piante legnose radicate. Fra tutti gli interventi stabilizzanti possiamo considerarne alcuni, particolarmente efficaci, di seguito elencati:

- *fascinate vive su pendio*: vengono impiegate raramente per il consolidamento dei versanti in quanto poco efficaci, nonostante il maggiore dispendio lavorativo. Utilizzano fascine disposte sul versante a forma di spina di pesce o in strati orizzontali;
  - *vimate vive*: per poterli costruire occorrono rami che s'intreccino con facilità e che siano cresciuti dritti e lunghi. Questa tipologia permette di rinforzare solo gli strati più superficiali di terreno. Per questi motivi oggi si impiega tale tecnica insieme ad altre tipologie, in opere di prosciugamento piuttosto che per il consolidamento di versante;
  - *gradonate con ramaglia viva* costruite quasi esclusivamente con rami di salici. Questa tipologia garantisce la massima azione in profondità;
  - *gradonate con latifoglie radicate e ramaglia viva* che prevede, oltre a rami di salici, anche piante legnose radicate; anch'essa garantisce stabilizzazione in profondità;
  - *cordionate vive*: anch'esse hanno perso importanza per gli stessi motivi di cui sopra.
- Per sostenere ripide scarpate si possono impiegare materiali inerti che, dopo la costruzione delle armature possono essere completate con rami di salice e piante radicate. Si hanno così:
- *geotessili (soft gabions)*: sostituiscono a loro volta gabbioni rigidi riempiti di sassi; queste tecniche si adattano meglio alla morfologia del terreno e possono essere riempiti con pie-

trisco, ghiaia o sabbia, preferibilmente reperibile *in situ*. I rami di salice vengono disposti tra un elemento e l'altro oppure anche attraverso gli stessi materassi geotessili, facendo attenzione a non rovinarli;

- *palificata viva di sostegno*: le radici dei rami di salice che vengono inseriti entro la costruzione, svolgono una funzione di sostegno e di appoggio del legname marcito;
- *gabbioni metallici (hard gabions)*: sono tecniche sostitutive delle murature precedenti; i rami di salice sono qui disposti a strati tra un gabbione e l'altro;
- *murature a secco con talee di salice inserite nelle fessure*: è un vecchio metodo costruttivo che oggi utilizza non più la manodopera per la deposizione del materiale, ma macchine che rendono possibile l'impiego di elementi lapidei di diametro maggiore. Le talee di salice devono essere, così, più robuste e penetrare tra le fessure della muratura fino al terreno retrostante. Preferibili le specie di salici a forma strisciante o prostrata;
- *grate vive*: sono in legno, con tondini in ferro e si completano con i rami di salice nello stesso modo delle palificate.

Se si combinano le diverse tecniche di Ingegneria Naturalistica si prolungherà la durata delle opere e si miglioreranno gli effetti stabilizzanti da esse prodotti (materiale di riempimento e sottofondo), grazie alle radici dei salici resistenti alla trazione. Anche l'elevato consumo d'acqua da parte dei salici, produce un benefico prosciugamento dell'intero materiale terroso compenetrato dalle radici.

### 10.7 Principi d'intervento su versanti in erosione

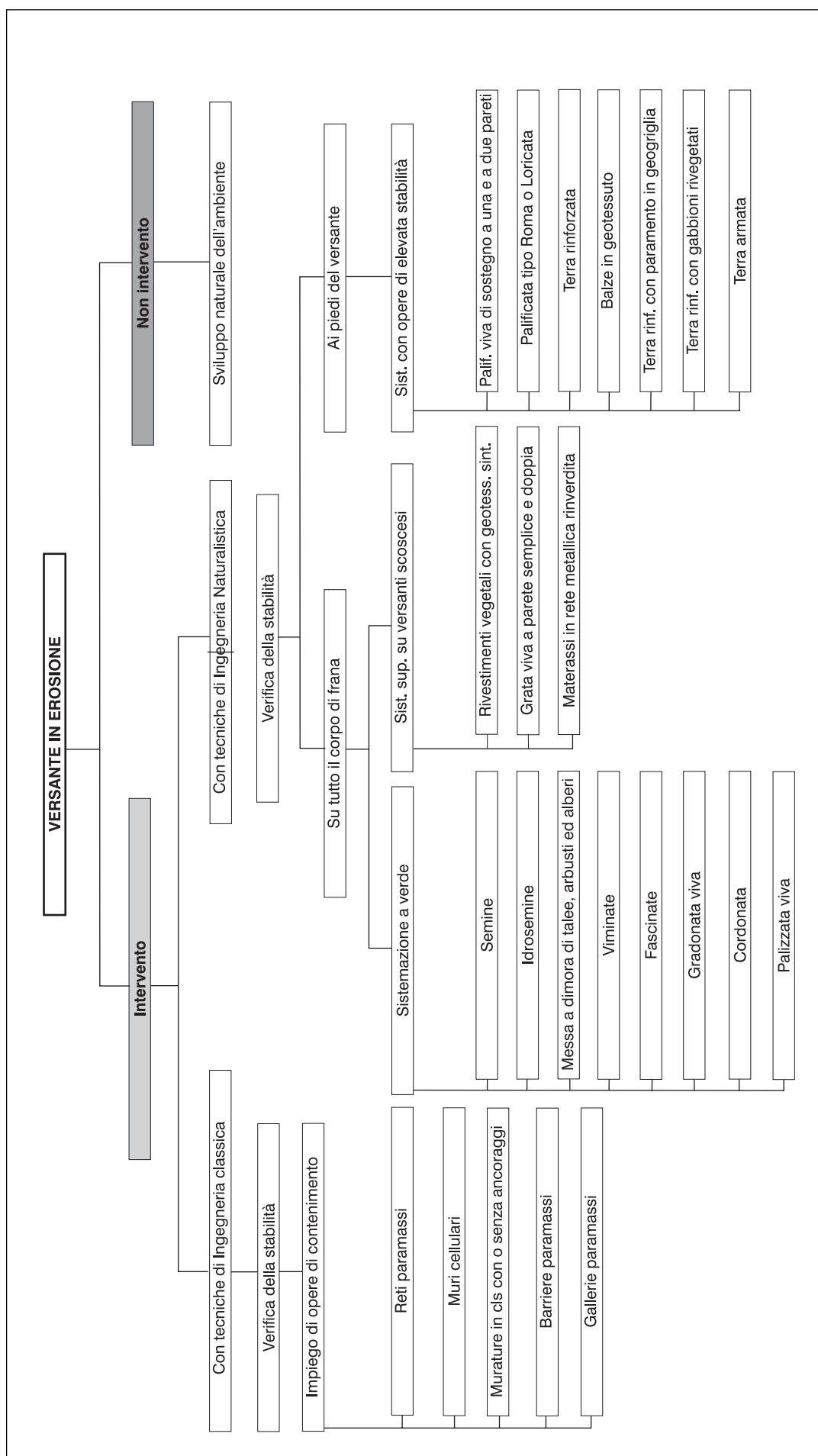
Nella sistemazione con tecniche di Ingegneria Naturalistica di versanti in frana o, comunque, soggetti a fenomeni di erosione, è necessario procedere seguendo dei principi fondamentali e sempre nel rispetto della "legge del minimo", quali:

- *impiego di tecniche di Ingegneria Naturalistica* via via più complesse e interessanti una profondità di intervento sempre maggiore, procedendo da monte verso valle, ovvero con l'aumento dello spessore di terreno movimentato. Dopo le consuete analisi preliminari è necessario intervenire, in corrispondenza della parte sottostante la corona di distacco con tecniche di Ingegneria Naturalistica stabilizzanti (dalla *piantagione alla viminata*, alla *fascinata*, alla *cordonata e palizzata*), ovvero dove lo spessore di terreno è relativamente esile e, di conseguenza, è sufficiente impiegare tecniche poco intensive. Il materiale accumulato per gravità al piede del versante (perciò più potente) e, comunque, man mano che si scende a valle, dovrà essere stabilizzato con interventi maggiormente impegnativi (sia strutturalmente che come costi), per difen-

dere la base del versante, assicurare stabilità a tutto il corpo di frana e, di conseguenza, mettere in sicurezza l'intero versante (palificate vive di sostegno, cunei filtranti, terre rinforzate, scogliere di massi ciclopici rinverdite, ecc.);

- *localizzazione della superficie di scivolamento*: questo concetto è già stato accennato nel paragrafo 10.1, ma viene qui ripreso per precisare che la profondità massima di stabilizzazione delle opere di Ingegneria Naturalistica raggiunge i 3 ÷ 3,5 m (in particolare, se il terreno è in materiale fine e costipato, la profondità di scavo è minore; al contrario, se il terreno presenta una granulometria grossolana, lo scavo raggiunge maggiori profondità); pertanto, se il piano di scivolamento è collocato ad una profondità inferiore ai 3,5 m è possibile intervenire con tecniche di Ingegneria Naturalistica allo scopo di consolidare il terreno (tramite l'apparato radicale delle piante). Al contrario, se la superficie di frana è ad una profondità superiore ai 3,5 m, allora si dovrà ricorrere a tecniche di ingegneria classica (si veda lo schema successivo), nel rispetto della "legge del minimo". Come variante a queste due possibilità d'intervento, si consiglia di impiegare tecniche miste: al piede del versante si possono adottare tecniche classiche, qualora vi siano le condizioni appropriate (potenza elevata del materiale movimentato, urgenza d'intervento, ecc.), mentre sul corpo di frana si può ricorrere ad interventi superficiali, consolidanti o di drenaggio, al fine di ridurre una successiva caduta gravitativa di materiale e/o di riduzione della pendenza (ad esempio, con palificate vive di sostegno e riporto di terreno vegetale); ciò naturalmente nel caso in cui una tecnica di Ingegneria Naturalistica (palificate vive di sostegno, gabbionate rinverdite, terre rinforzate, scogliere rinverdite) non risultino sufficienti alla risoluzione del problema del fissaggio al piede (consolidamento) del versante;
- *verifica di stabilità al piede del versante*: quest'analisi condiziona notevolmente, non solo nella scelta dell'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica, ma anche nell'eventuale possibilità di intervenire con opere di ingegneria classica o, addirittura, di non intervenire affatto. Si può infatti schematizzare quest'ultimo concetto seguendo il percorso del diagramma della **figura 10.7**, tenendo sempre presente la "legge del minimo" e la gravità del fenomeno di dissesto. Le opere di Ingegneria Naturalistica possono essere impiegate, in questo ambito, come interventi di consolidamento al piede e di copertura antierosiva sul resto del versante, assecondando il naturale sviluppo dell'ecosistema. Le opere di ingegneria classica, nei casi di maggior dissesto idrogeologico, interverranno come opere di contenimento del problema, spesso, però, non nel rispetto della naturale evoluzione del paesaggio.

Fig. 10.7 - Principi d'intervento su versanti con tecniche di Ingegneria Naturalistica



Fonte: Palmeri, Balboni, 2002.

## 10.8 Analisi di stabilità dei pendii

L'analisi di stabilità dei pendii viene normalmente affrontata con *modelli dell'equilibrio limite* che studiano le condizioni di equilibrio di volumi di terreno delimitati inferiormente da superfici di scorrimento.

L'analisi è limitata a detti volumi, senza esaminare lo stato tensionale e deformativo dell'intero pendio, valutando il solo stato tensionale lungo le potenziali superfici di scorrimento che limitano inferiormente i volumi presi in esame e lungo le quali viene definito il coefficiente di sicurezza allo scorrimento (Sacchetti, Ghinelli, 2000 in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000).

La superficie critica è quella caratterizzata dal minimo valore del coefficiente di sicurezza che esprime le condizioni di stabilità del pendio. La ricerca sulla superficie critica viene condotta in modo diverso in funzione delle condizioni geomorfologiche, litologiche, geomeccaniche e di stabilità del sito.

Questa ricerca è rivolta alla valutazione del coefficiente di sicurezza definito tramite l'espressione:

$$F = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

dove:

- $\tau_f$  = resistenza al taglio media disponibile lungo la superficie di scorrimento;
- $\tau_m$  = resistenza media mobilitata, ossia lo sforzo tangenziale medio che equilibra il peso del volume di terreno e degli eventuali carichi applicati lungo la superficie di scorrimento;
- $F$  = coefficiente di sicurezza, che rappresenta il termine per il quale deve essere divisa la resistenza al taglio disponibile per determinare le condizioni di rottura lungo la superficie determinata.

Generalmente la condizione di rottura viene imposta riducendo in eguale misura le differenti componenti della resistenza al taglio di tutti i terreni incontrati dalla superficie di rottura. Nella realtà ciò non si verifica, in quanto il grado di mobilitazione della resistenza al taglio delle singole porzioni di terreno interessate dalla superficie di scorrimento, è legato al regime delle deformazioni, a loro volta differenti per i tipi di terreni.

### 10.8.1 Parametri di resistenza

In caso di pendii instabili in terreni saturi, l'analisi per il calcolo dei parametri di rottura, può essere espressa sia in termini di tensioni totali, sia in termini di tensioni effettive.

Al primo caso si fa ricorso in condizioni non drenate, considerando che:

$$\tau_f = c_u$$

in cui:

- $\tau_f$  = resistenza al taglio;
- $c_u$  = coesione non drenata.

Ragionando in termini di tensioni effettive, ci si basa sulla resistenza dello scheletro solido la quale viene determinata tramite prove drenate o non drenate con misura delle pressioni neutre.

L'espressione della resistenza al taglio disponibile è quella di Mohr-Coulomb:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \varphi'$$

dove:

- $c'$  = coesione dello scheletro solido;
- $\varphi'$  = angolo d'attrito o di resistenza al taglio dello scheletro solido;
- $\sigma'$  = tensione normale effettiva sul piano di rottura.

La tensione normale effettiva è legata a quella normale totale  $\sigma$  ed alla pressione neutra  $u$  dal criterio delle tensioni effettive di Terzaghi, espresso dalla relazione:

$$\sigma = \sigma' + u$$

Nelle condizioni drenate il regime delle pressioni neutre  $u$  sarà "in equilibrio" con le condizioni idrauliche al contorno; nelle condizioni non drenate tale condizione non si verificherà (Sacchetti, Ghinelli, 2000, in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000). Come è noto nei terreni a grana grossa si verifica sempre la condizione drenata (ad eccezione delle condizioni di sollecitazione sotto sisma), in quanto la permeabilità degli stessi risulta sufficientemente elevata da consentire in tempi rapidi il ristabilirsi delle condizioni di "equilibrio" delle pressioni neutre con le condizioni idrauliche al contorno. Nei terreni a grana fine, di bassa permeabilità, può verificarsi tanto la condizione drenata quanto quella non drenata.

L'analisi delle condizioni in termini di tensioni totali è apparentemente più semplice; il punto fondamentale del metodo è la valutazione attendibile della coesione non drenata  $c_u$  che condiziona in modo proporzionale il coefficiente di sicurezza.

Questo parametro è influenzato da caratteri di disomogeneità e discontinuità in genere a scala maggiore di quella del campione esaminato in laboratorio e, pertanto, la sua indeterminatezza è elevata (Sacchetti, Ghinelli, 2000 in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000). Più razionale appare l'approccio in termini di tensioni effettive. In questo caso è indispensabile, però, la conoscenza del regime delle pressioni neutre.

I metodi di calcolo vengono perciò presentati in termini di tensioni effettive, ipotizzando noto il regime delle pressioni neutre. Nei pendii naturali queste ultime sono legate alla struttura lito-stratigrafica ed al regime pluviometrico. Di difficile attuazione è la loro previsione teorica

ed è indispensabile ricorrere alla loro misura attraverso l'installazione di un significativo numero di piezometri.

L'analisi di stabilità andrebbe eseguita in base alla condizione idraulica più gravosa prevedibile.

Nella maggior parte dei tecnici, si dispone di misure eseguite in un tempo sempre limitato e pari solo ad alcuni mesi o qualche anno e tali da non rendere attendibile la suddetta previsione.

Per quanto attiene ai parametri di resistenza al taglio occorre ricordare come, di solito, le superfici critiche nei pendii naturali risultino abbastanza superficiali e tali da essere condizionati dalla coesione drenata  $c'$  che, al pari della coesione non drenata  $c_u$  risulta di difficile determinazione. Più attendibile risulta, invece, la determinazione in laboratorio dell'attrito  $\phi'$  (Sacchetti, Ghinelli, 2000, in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000).

#### 10.8.2 Metodi per l'analisi di stabilità di pendii naturali ed artificiali

Il caso più semplice per affrontare l'analisi di stabilità dei pendii, è quello che vede l'applicazione ad un pendio indefinito dei differenti metodi a nostra disposizione. Con il termine "pendio indefinito" si individua un declivio a pendenza costante sufficientemente esteso, in modo tale che le considerazioni relative ad un suo elemento tipico possano essere estese all'intero pendio (Sacchetti, Ghinelli, 2000 in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000). Le proprietà geomeccaniche del terreno e la pressione neutra sono costanti lungo piani paralleli al piano campagna (fig. 10.8)

È possibile calcolare le tensioni normale e tangenziale agenti su una giacitura parallela al piano campagna.

Definiamo come *tensione normale totale*:

$$\sigma = \gamma Z \cos^2 \beta$$

e come *tensione normale tangenziale*:

$$\tau = \gamma Z \sin \beta \cos \beta$$

in cui:

- $\beta$  = inclinazione del pendio;
- $Z$  = profondità della giacitura considerata;
- $\gamma$  = peso dell'unità di volume del terreno ( $\gamma_{\text{sat}}$  se il terreno è saturo).

Il coefficiente di sicurezza definito come rapporto fra la resistenza  $\tau_r$  a taglio disponibile e la  $\tau_m$  mobilitata, sarà:

$$F = \frac{c' + (\gamma Z \cos^2 \beta - u) \tan \phi'}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$

Il coefficiente di sicurezza cresce linearmente

con la coesione  $c'$  e con la tangente dell'angolo d'attrito, mentre diminuisce con la pressione neutra  $u$  e risulta, inoltre, funzione decrescente della profondità.

Nel caso in cui il versante sia interessato da un moto di filtrazione parallelo al piano campagna, la pressione neutra sarà data dalla seguente relazione:

$$u = \gamma_w h_w \cos^2 \beta$$

dove  $h_w$  è la profondità della superficie di scorrimento rispetto alla superficie libera della falda.

In questo caso, il coefficiente di sicurezza vale:

$$F = \frac{c' + (\gamma Z - \gamma_w) \cos^2 \beta \tan \phi'}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$

Introducendo il coefficiente di pressione neutra  $r_u$  pari al rapporto tra la pressione neutra e la tensione normale totale, il coefficiente di sicurezza diventa:

$$F = \frac{c'/\gamma * Z + (1 - r_u) \cos^2 \beta \tan \phi'}{\sin \beta \cos \beta}$$

Dalle due precedenti relazioni si possono trarre le seguenti considerazioni:

- il coefficiente di sicurezza tende a diminuire al crescere della profondità, a parità di  $r_u$  (coefficiente di pressione neutra) e se  $c'$  è diverso da zero;
- si può ricavare l'angolo di resistenza al taglio richiesto o mobilitato  $\tan \phi_{\text{RICH}} = \tan \beta / (1 - r_u)$  imponendo  $F = 1$  e nel caso che la coesione  $c'$  sia nulla o che il termine  $c'/\gamma$  sia trascurabile.

Dall'ultima relazione riportata si possono trarre ulteriori conclusioni, ovvero:

- l'angolo di attrito richiesto è pari all'angolo di inclinazione del pendio se la falda è profonda (ovvero se  $r_u = 0$ , per falde al di sotto della superficie di scorrimento);
- l'angolo di attrito risulta pari al doppio dell'inclinazione del pendio se la falda è presente al piano campagna (con  $r_u = 0,5$ ).

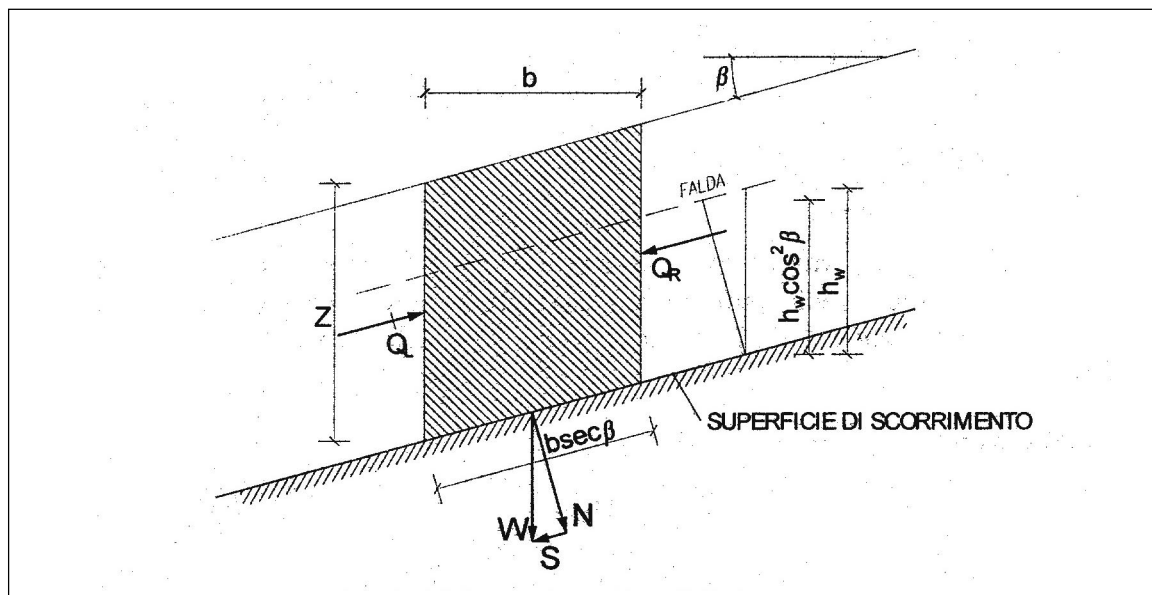
In caso di pendio indefinito costituito da terreno incoerente saturo a partire dal piano campagna, ed interessato da un moto stazionario unidirezionale, con inclinazione costante  $\alpha$  sull'orizzontale ( $\alpha > \beta$ ), si può dimostrare che la pressione neutra in un punto vale:

$$u = \frac{\gamma_w Z}{(1 + \tan \alpha \tan \beta)}$$

in questo caso si ottiene:

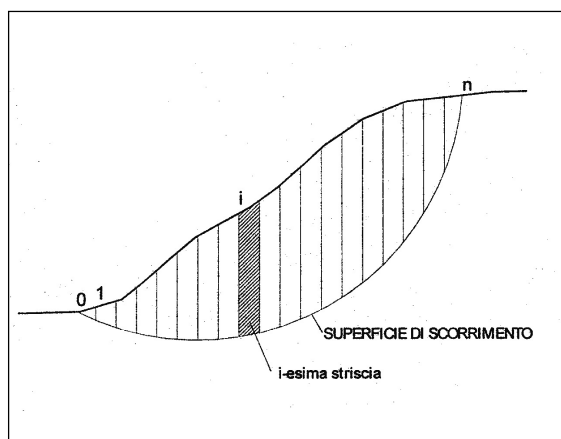
$$\tan \phi'_{\text{RICH}} = \frac{\tan \beta}{1 - \frac{\gamma_w (1 + \tan^2 \beta)}{\gamma (1 + \tan \alpha \tan \beta)}}$$

Fig. 10.8 - Schema di pendio indefinito



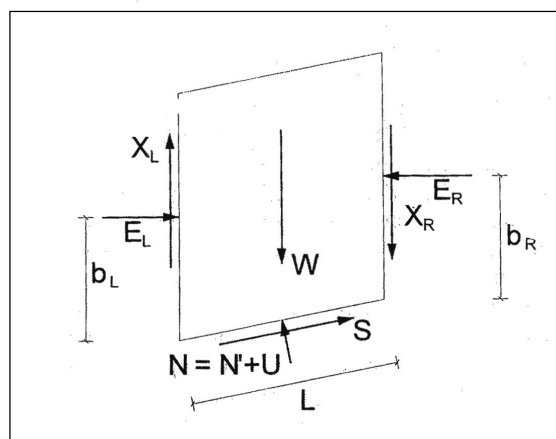
Fonte: Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1, 2000.

Fig. 10.9 - Metodo delle strisce



Fonte: Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1, 2000.

Fig. 10.10 - Sistema di forze agenti su una striscia



Fonte: Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1, 2000.

Si può ricavare anche, per  $\alpha = \beta$ , l'angolo di resistenza al taglio richiesto o mobilitato:

$$\tan \varphi'_{RICH} = \frac{\tan \beta}{(1 - \gamma_w / \gamma)}$$

che risulta pari a circa il doppio di  $\tan \beta$ . Passiamo ora a metodi più complessi per il calcolo della stabilità dei pendii, tra i quali evidenziamo:

- metodo di Fellenius;
- metodo di Bishop.

Questi due approcci rientrano in quelli definiti come "metodi delle strisce", con cui si tendono a valutare, in termini discreti, lo stato tensionale all'interno della massa e lungo la superficie di scorrimento:

In generale, la massa di terreno presa in considerazione è compresa tra il piano campagna e

la potenziale superficie di rottura e viene suddivisa in un numero discreto di conci o strisce verticali (fig. 10.9).

Con questi metodi vengono determinate le componenti normali e tangenziali delle azioni agenti lungo le basi delle strisce (fig. 10.10).

Ipotizziamo che le strisce siano sottili e delimitate inferiormente da basi piane; in questo caso sono note le rette di azione delle componenti normali e tangenziali delle forze lungo le stesse. Indicando con  $n$  il numero delle strisce, lo stato tensionale è individuato tramite  $5n-3$  grandezze incognite:

- lungo le interfacce:

- $n-1$  componenti normali  $E$ ;
- $n-1$  componenti tangenziali  $X$ ;
- $n-1$  altezze  $b$  della linea di azione della componente normale  $E$ .

- lungo le basi:

$n$  componenti normali  $N$ ;  
 $n$  componenti tangenziali  $S$ .

Il sistema di forze in esame deve risultare equilibrato. Lungo le basi il terreno deve trovarsi in condizione di rottura in presenza della resistenza a taglio ridotta, ossia di  $c'/F$  e di  $\tan\phi'/F$ .

$F$ , l'incognita, è il coefficiente di sicurezza.

Si possono scrivere allora  $3n$  equazioni di equilibrio ( $2n$  alla traslazione ed  $n$  alla rotazione) ed  $n$  condizioni che legano, in corrispondenza di ciascuna striscia,  $S$ ,  $N$  ed  $F$ :

$$S = \frac{[c'L + (N - U)\tan\phi\alpha]}{F}$$

dove:

$L$  = lunghezza della base della striscia;  
 $N$  = forza normale totale sulla base della striscia;  
 $U$  = risultante della pressione neutra lungo la striscia.

Purtroppo il numero delle incognite supera quello delle equazioni e, di conseguenza, il problema risulta indeterminato. Tra i molteplici metodi delle strisce con cui si possono risolvere i problemi sopra accennati, si possono riportare, a titolo d'esempio, il *metodo di Fellenius* ed il *metodo di Bishop*, che risultano ampiamente impiegati nella corrente pratica progettuale.

#### 10.8.2.1 Metodo di Fellenius

Il *metodo di Fellenius* viene applicato adottando superfici di scorrimento a generatrice circolare ed ipotizza che le forze di interfaccia possano essere trascurate, perché parallele alla base di ogni striscia. Lo sforzo normale agente sulla base di ciascuna striscia viene determinato imponendo la condizione di equilibrio alla traslazione nella direzione normale alla base stessa, risultando pari (Sacchetti, Ghinelli, 2000, in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000):

$$N = W \cos \alpha$$

Lo sforzo tangenziale, in base alla condizione di rottura, risulta pari a:

$$S = \frac{[c'L + (N - U)\tan\phi\alpha]}{F}$$

Imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione intorno al centro del cerchio:

$$\sum W \sin \alpha = \sum S$$

si perviene alla nota espressione del coefficiente di sicurezza:

$$F = \frac{\sum [c'L + (W \cos \alpha - uL)\tan\phi\alpha]}{\sum W \sin \alpha}$$

Poiché il termine  $(W \cos \alpha - uL)$  può risultare negativo, è stato proposto un differente modo per calcolare lo sforzo normale effettivo, alleggerendo il peso  $W$  della sottospinta  $(uL \cos \alpha)$ . Si ha pertanto la seguente espressione del coefficiente di sicurezza:

$$F = \frac{\sum [c'L + (W - uL \cos \alpha)\cos \alpha \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha}$$

#### 10.8.2.2 Metodo di Bishop

Questo metodo rappresenta un'evoluzione del *metodo di Fellenius*.

Lo sforzo normale agente sulla base di ogni striscia viene determinato imponendo la condizione di equilibrio alla traslazione verticale; esso risulta pari a:

$$N = \frac{[W + \Delta X - c'L \sin \alpha / F + uL \tan \phi' \sin \alpha / F]}{m\alpha}$$

dove:

$m\alpha = \cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi') / F$ ;  
 $\Delta X = X_R - X_L$  = differenza fra le forze tangenziali d'interfaccia.

Lo sforzo tangenziale è dato dall'espressione:

$$S = \frac{[c'L + (N - U)\tan\phi']}{F}$$

Il coefficiente di sicurezza è determinato nello stesso modo del *metodo di Fellenius*, imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione intorno al centro del cerchio:

$$\sum W \sin \alpha = \sum S$$

Sostituendo si perviene alla seguente espressione implicita del coefficiente di sicurezza:

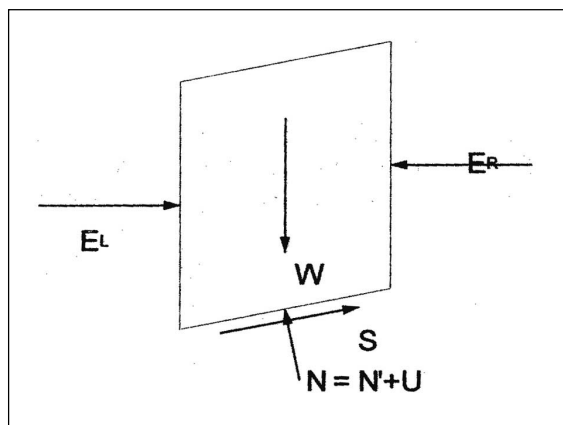
$$F = \frac{\sum [(W + \Delta X - uL \cos \alpha)\tan \phi' + c'L \cos \alpha] [1/m\alpha]}{\sum W \sin \alpha}$$

Bishop notò che per variazioni anche notevoli della distribuzione delle  $X$  il coefficiente di sicurezza oscillava in un campo molto ristretto (pari all'1%), pertanto propose per i problemi tecnici, di trascurare le forze tangenziali d'interfaccia. Il metodo prende il nome di "Bishop semplificato" (fig. 10.11).

Poiché  $m\alpha$  è funzione del coefficiente di sicurezza, il metodo deve ricercare  $F$  in modo iterativo. Sono sufficienti in genere  $4 \div 5$  iterazioni per raggiungere la convergenza.

#### 10.8.3 Influenza della vegetazione sulla stabilità dei versanti

Il terreno rinforzato dalle radici si comporta come un materiale composito nel quale fibre elastiche con valori relativamente alti di resi-

**Fig. 10.11** - Ipotesi del metodo di Bishop semplificato

Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*. Vol. 1, 2000.

stenza a trazione sono inglobate in una matrice di suolo con valori più bassi (Waldron, 1977) e quindi quasi plastico (Gray, Leiser, 1982). L'azione esercitata dalle radici è duplice: da un lato vi è la resistenza a trazione loro propria, dall'altro la loro aderenza al terreno circostante, lungo la superficie di contatto, che si traduce con la prima in un incremento di resistenza al taglio del terreno così rinforzato (Puglisi, 2000).

La *resistenza al taglio* è un sistema di forze che si oppone allo scorrimento reciproco delle particelle di un corpo.

Non dipende dalle dimensioni dei corpi a contatto e si indica (convenzionalmente) con il simbolo  $\tau$ , mentre si esprime in *kPa*. Tale tensione è proporzionale alla forza unitaria  $\sigma$  che spinge le particelle una contro l'altra e alla resistenza d'attrito  $\tan\phi$  che si sviluppa tra i granuli essendo  $\phi$  l'angolo d'attrito interno del materiale.

Se questo è coerente compare anche una resistenza unitaria aggiuntiva che si chiama *coesione*  $c$ , che agisce anche a pressione nulla ( $\sigma = 0$ ). Nelle relazioni che esprimono la resistenza al taglio del terreno, Waldron (1977) ha introdotto una *pseudo-coesione*  $\Delta S$  per tenere conto del contributo di resistenza fornito dalle radici incorporate nel terreno.

Partendo dall'equazione di Coulomb si avrà:

$$\tau = c + \sigma \tan\phi$$

Terzaghi la modificò in termini di sforzi efficaci:

$$[1] \quad \tau = c' + \sigma' \tan\phi'$$

dove

$$[2] \quad \sigma' = \sigma - u$$

essendo

- $\sigma$  = tensione normale totale;
- $u$  = pressione interstiziale;
- $c'$  = coesione;
- $\phi'$  = angolo d'attrito interno.

con gli ultimi due parametri che competono allo scheletro solido.

Nel modello ideato da Waldron (1977), al secondo membro della [2] compare il termine  $\Delta S$ , che esprime l'incremento di resistenza al taglio del terreno dovuto alle radici, con unità di misura uguali alla  $\tau$ , alla  $c$  e al  $\sigma$ .

Il modello di Waldron fu ripreso da Gray e Leiser nel 1982, per dimostrare come la deformazione della radice nella zona di taglio mobilita una resistenza a trazione nella fibre, che si traduce in un incremento della resistenza al taglio del terreno dato da:

$$[3] \quad \Delta S = t_R [\cos\theta \tan\theta + \sin\theta]$$

in cui:

$\theta$  = rappresenta l'angolo di distorsione delle radici nella zona di taglio;

$t_R$  = indica la resistenza media a trazione delle radici per unità di area del terreno.

Ovvero:

$$[4] \quad t_R = T_R (A_R/A)$$

in cui:

$T_R$  = resistenza unitaria media a trazione delle radici;

$A_R/A$  = rapporto tra l'area della sezione trasversale delle radici e l'area della sezione di terreno interessata dalle radici.

Da osservazioni sperimentali è stato osservato che i valori nell'espressione entro parentesi della [3] possono assumere con buona approssimazione un valore medio pari a 1,2 (Puglisi, 2000). Per valutare la pseudo-coesione da introdurre nella equazione [2] allorché si vogliono eseguire verifiche di stabilità di scarpate tenendo conto del contributo di resistenza al taglio offerto dalle radici, occorre conoscere il valore di  $T_R$  della formula [4] per le radici delle specie arboree o arbustive esistenti o da impiegare in un determinato sito (Puglisi, 2000).

Si consiglia, per ulteriori approfondimenti sull'argomento, di consultare i paragrafi relativi agli effetti della vegetazione sull'erodibilità del materiale, sulle forze di taglio, sulle pressioni interstiziali, sui parametri di resistenza al taglio e gli effetti sulla stabilità dei singoli alberi, validi, quindi, non solo in ambito idraulico, ma anche in caso di versanti in erosione.

#### 10.8.4 Dimensionamento delle opere di Ingegneria Naturalistica: sollecitazione e tensione

Per poter introdurre in maniera semplice i concetti di sollecitazione e di tensione, si può prendere in esame una trave soggetta ad un sistema di forze equilibrato, ovvero verificante le equazioni cardinali della Statica.

Si immagina di separare la trave in due parti  $V_1$  e  $V_2$  mediante un piano  $\Pi$  (fig. 10.12), e di con-



siderarne una (ad esempio, la  $V_2$ ). Questa porzione isolata ed esaminata non risulterà più in equilibrio: per ripristinarlo, secondo il cosiddetto *principio di Cauchy*, basterà applicare nel baricentro della sezione  $S$  le *azioni risultanti* che, prima di effettuare la sconnessione, la parte  $V_1$  esercitava sulla  $V_2$ . È bene evidenziare che tali azioni dipendono dalla giacitura del piano  $\Pi$  scelto per realizzare il taglio della trave.

Facendo riferimento alla **figura 10.13** (sezione  $S$  ortogonale all'asse  $X_3$  della trave, le azioni risultanti possono essere scomposte in:

- *forza normale*  $\underline{N}$ , diretta lungo l'asse  $X_3$  e perpendicolare alla sezione  $S$ ;
- *forza di taglio*  $\underline{T}$ , agente nel piano contenente la sezione  $S$ ;
- *momento flettente*  $\underline{M}_f$ , ortogonale all'asse  $X_3$  (dunque la coppia flettente è contenuta in un piano passante per l'asse della trave);

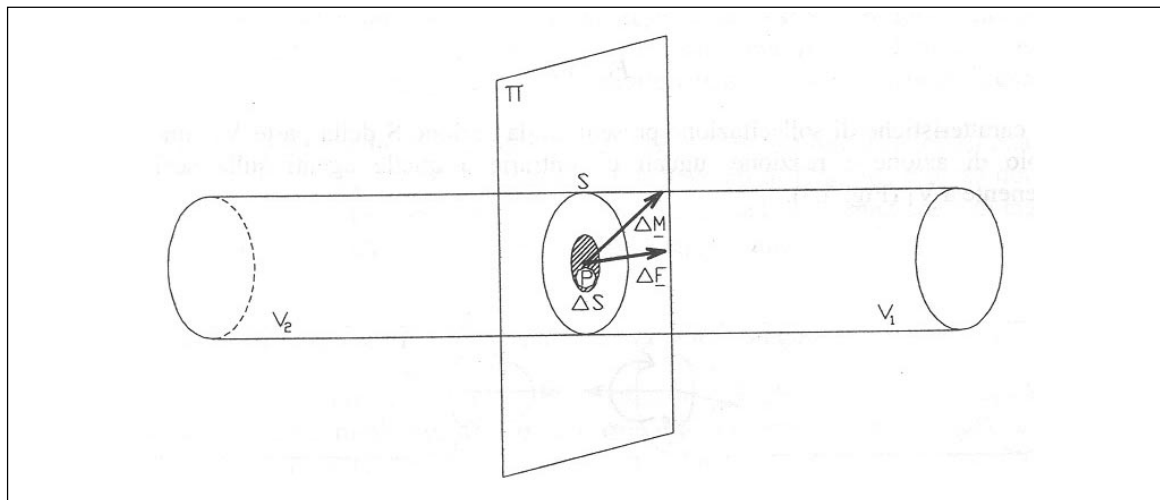
- *momento torcente*  $\underline{M}_t$ , diretto lungo l'asse  $X_3$  (la coppia torcente agisce nel piano contenente la sezione  $S$ ).

Le forze appena elencate sono intese come sollecitazioni che danno conto degli sforzi risultanti sopportati localmente, sezione per sezione, dalla trave (Sacchetti, Ghinelli, 2000 in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000).

Le sollecitazioni presenti sulla sezione  $S$  della porzione  $V_2$  sono uguali e contrarie a quelle agenti sulla sezione  $S'$  appartenente a  $V_1$  (**fig. 10.14**), per il principio di azione e reazione.

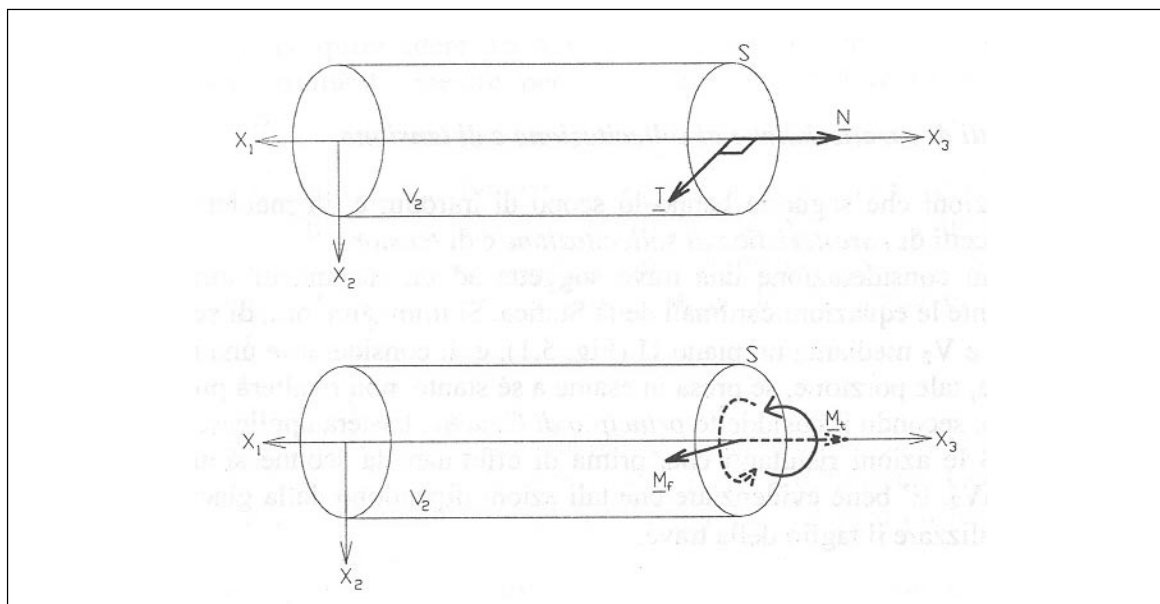
Riprendiamo in esame la trave  $V_2$  e concentriamo l'attenzione sull'areola elementare  $\Delta S$ , centrata nel punto  $P$  della sezione  $S$  (**fig. 10.12**). Siano  $\Delta F$  e  $\Delta M$  rispettivamente la forza e la coppia risultanti agenti su  $\Delta S$ , che venivano esercitate su tale areola da  $V_1$  prima di dare

**Fig. 10.12** - Sezione di una trave



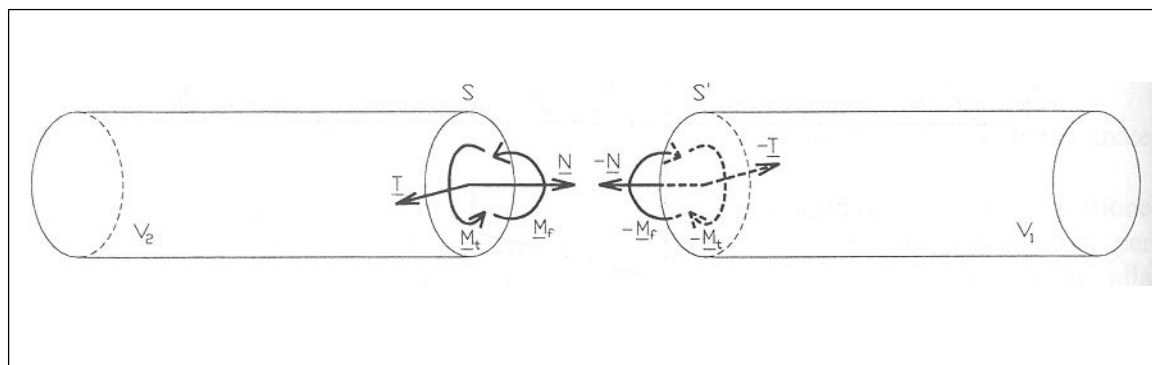
Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*. Vol. 1, 2000.

**Fig. 10.13** - Azioni risultanti dalla sezione ortogonale all'asse della trave



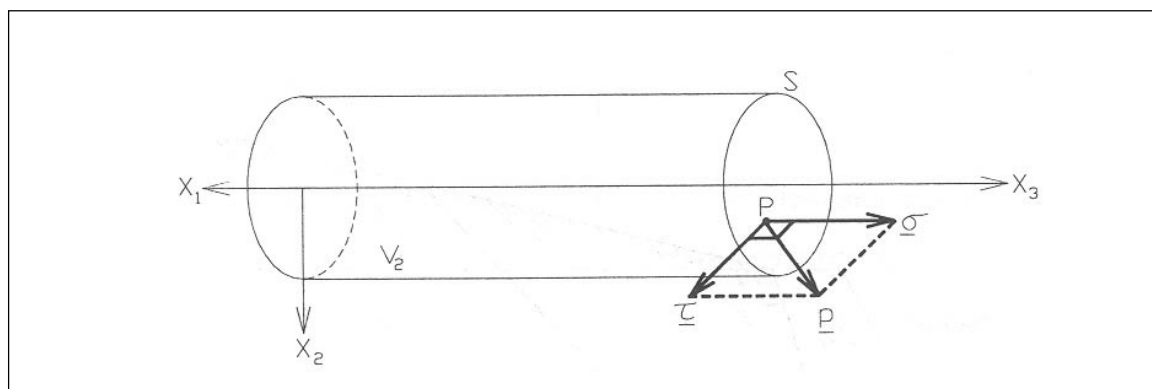
Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*. Vol. 1, 2000.

Fig. 10.14 - Azioni risultanti dalla sezione ortogonale all'asse della trave



Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*. Vol. 1, 2000.

Fig. 10.15 - Tensione agente in un punto di una trave



Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*. Vol. 1, 2000.

luogo alla scissione. Ammettiamo che al tendere a zero dell'areola  $\Delta S$ , tendano a zero anche  $\Delta F$  e  $\Delta M$  e che esistano determinati e finiti i seguenti limiti:

$$\lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} = p \quad \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta M}{\Delta S} = 0$$

Il vettore  $p$  prende il nome di *tensione* nel punto  $P$  sul piano  $\Pi$  ed ha le dimensioni di una pressione ( $N/m^2$ ). Questa tensione dipende sia dal punto  $P$  sia dalla giacitura del piano secante  $\Pi$ . L'esistenza dei limiti non può essere dimostrata, tuttavia la definizione di tensione ricavata costituisce un concetto la cui efficacia è avvalorata dai notevoli risultati raggiunti con i metodi che su di essa trovano fondamento (Sacchetti, Ghinelli, 2000 in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000).

La tensione  $p$ , agente nel generico punto  $P$ , può essere scomposta nella componente  $\sigma$ , ortogonale alla sezione  $S$ , e nella componente  $T$ , tangenziale alla stessa sezione (fig. 10.15).

Le tensioni agenti su tutti i punti della sezione  $S$ , esercitate dalla porzione asportata  $V_1$  ed indotte dalle forze agenti su  $V_1$  stessa, danno luogo alle forze e ai momenti risultanti che sono stati scomposti nelle sollecitazioni descritte in

precedenza. Si può affermare, infine, che quando la trave è sottoposta a sollecitazioni di flessione e forza normale la tensione ammette la sola componente normale  $\sigma$ , mentre se la sollecitazione è di taglio o di torsione, la tensione si riduce alla sola componente tangenziale  $T$ .

#### 10.8.4.1 Cenni sulla spinta delle terre contro le opere di sostegno

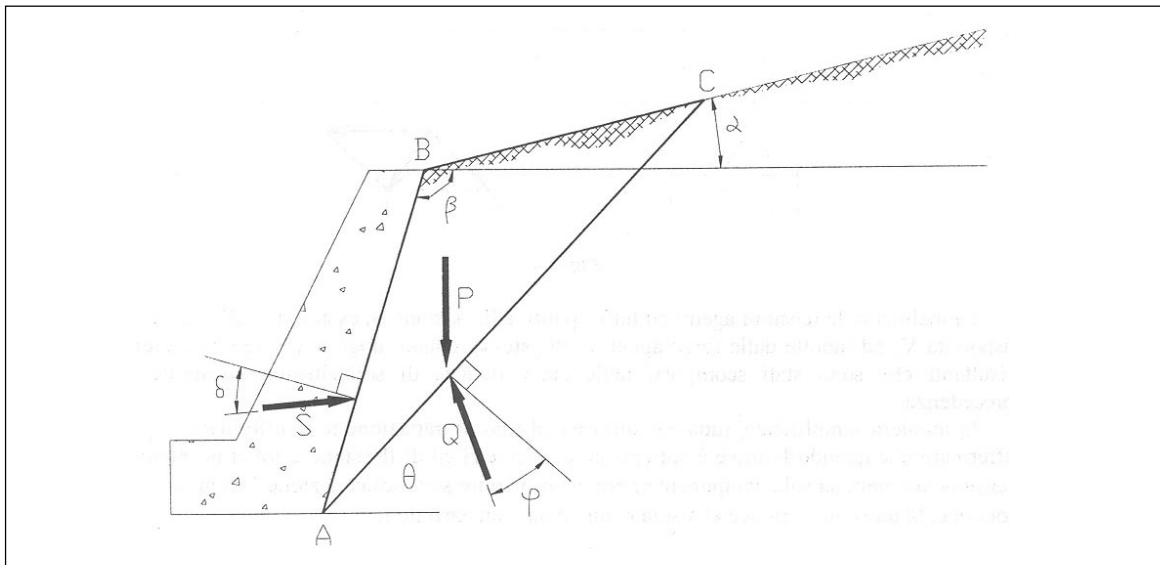
Vengono usualmente definite "spinte", le azioni che un terreno esercita su un ostacolo che gli impedisce di raggiungere la sua configurazione naturale.

Per determinare i coefficienti di sicurezza relativi alla stabilità di una costruzione, è importante stimare:

- la *spinta attiva*: è il valore all'estremo dell'equilibrio, ovvero quando risultino incipienti i movimenti che precedono il collasso dell'opera;
- la *spinta passiva*: con questo termine ci si riferisce all'estremo dei valori assunti dalla reazione del terreno, nel caso in cui sia la costruzione a premere contro quest'ultimo.

Il problema della determinazione della spinta di un terreno incoerente sulle opere di sostegno fu studiato da Coulomb (1776): questi prese in esame lo stato di equilibrio del cuneo rigido di terra  $ABC$  (fig. 10.16), che in seguito ad

**Fig. 10.16** - Descrizione delle forze che costituiscono la spinta passiva di un terreno incoerente su opere di sostegno



Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*. Vol. 1, 2000.

un cedimento in avanti del muro si stacca dalla restante massa del terrapieno scivolando lungo la superficie AC, supposta piana, e lungo lo stesso paramento AB.

Nelle condizioni di equilibrio limite, cioè di moto incipiente del cuneo di terreno, la reazione Q della superficie di scorrimento risulta inclinata, rispetto alla perpendicolare alla superficie, dell'angolo di attrito interno  $\varphi$ , mentre la reazione S offerta dal paramento, trascurando fenomeni di adesione, è inclinata rispetto alla normale al paramento stesso di un angolo  $\delta$  di attrito tra parete e terreno (fig. 10.16).

Per l'equilibrio del prisma, al variare dell'inclinazione  $\theta$  della sezione A - C di scivolamento, mutano la direzione ed il modulo della reazione Q ed il modulo (ma non la direzione) della spinta S. Indicato con  $S_a$  il massimo valore assunto da S (e con  $\theta_a$  l'inclinazione della corrispondente superficie di scorrimento), l'equilibrio è possibile se il muro può garantire almeno la spinta  $S_a$ .

Si è in condizioni di equilibrio limite per la sola superficie inclinata di  $\theta_a$ , nel caso in cui S sia pari a  $S_a$ , mentre per ogni altro angolo  $\theta$ , S risulta inferiore ad  $S_a$ . Dunque, l'inclinazione  $\theta_a$  individua la superficie di scorrimento, mentre  $S_a$  rappresenta, per quanto detto inizialmente, la spinta attiva.

Il problema in questione può essere risolto per via grafica utilizzando il poligono delle forze: si perviene alla soluzione per tentativi, variando successivamente l'inclinazione della superficie A - C, in modo da valutare, grazie ai vari poligoni di equilibrio ottenuti, la spinta massima  $S_a$ . H. Müller Breslau ha esteso in seguito (1924), per via analitica, il procedimento dell'equilibrio limite di Coulomb ricavando, per la spinta attiva  $S_a$ , la seguente espressione:

$$S_a = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 K_a$$

con  $K_a$  (coefficiente di spinta attiva) uguale a :

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\beta + \varphi)}{\text{sen}^2 \beta \cdot \text{sen}(\beta - \delta) \left[ 1 + 2 \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi - \alpha)}{\text{sen}(\beta - \delta) \cdot \text{sen}(\beta + \alpha)}} \right]^2}$$

dove:

H = altezza del paramento;

$\gamma_t$  = peso specifico naturale del terreno.

La spinta complessiva ad una certa profondità  $y$  può essere calcolata sostituendo ad H la quantità  $y$  nell'espressione di  $S_a$  sopra riportata. Tale spinta varia con legge parabolica al mutare di  $y$ , dunque il diagramma delle pressioni dovute al solo peso del terreno presenta un andamento lineare (fig. 10.17) e la pressione attiva alla generica profondità  $y$  può essere valutata mediante la seguente relazione:

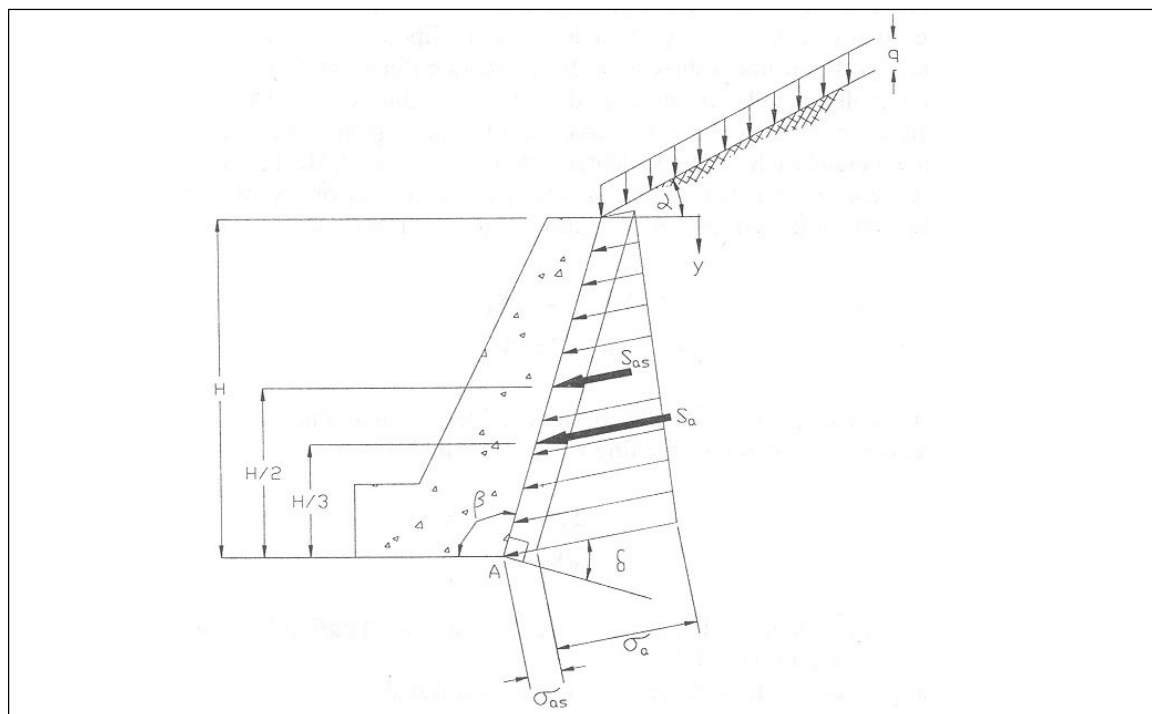
$$\sigma_a = \gamma_t y K_a \frac{\text{sen} \beta}{\cos \delta}$$

Se sul terrapieno è presente il sovraccarico  $q$  (fig. 10.17), caratterizzato da una distribuzione uniforme infinitamente estesa, occorre aggiungere all'espressione della  $S_a$ , il termine:

$$S_{as} = qh \frac{\text{sen} \beta}{\text{sen}(\alpha + \beta)} \cdot K_a$$

mentre a quella della pressione  $\delta_a$  si deve sommare la quantità:

**Fig. 10.17** - Descrizione delle forze che costituiscono la spinta passiva di un terreno incoerente su opere di sostegno dove è presente un sovraccarico "q"



Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*. Vol. 1, 2000.

$$\sigma_{as} = qK_a \frac{\text{sen}^2 \beta}{\cos \delta \cdot \text{sen}(\alpha + \beta)}$$

L'angolo di attrito  $\delta$  fra parete e terreno cambia segno, rispetto a quanto illustrato nella **figura 10.17**, nel caso in cui sia il muro, a causa di un eventuale ulteriore cedimento, a muoversi verso il basso rispetto al terrapieno, dunque occorre sempre tenere presenti i possibili reali spostamenti relativi fra terreno ed opera di sostegno. L'azione risultante dovuta al solo peso del terreno passa per il punto  $O$ , che è posto ad una distanza  $H/3$  dall'orizzontale per il punto  $A$ , mentre la risultante dovuta al sovraccarico  $q$  dista  $H/2$  da tale retta di riferimento.

Prendiamo in considerazione la *spinta passiva*, ovvero il valore massimo che può assumere l'azione laterale applicata al terreno: con riferimento alla **figura 10.16**, si ha che le componenti tangenziali alle superfici di scivolamento delle forze  $Q$  e  $S$  devono risultare in grado di contrastare il movimento verso l'alto (indotto dall'azione spingente della costruzione) del prisma di terreno; dunque il segno degli angoli  $\varphi$  e  $\delta$  deve risultare opposto a quello illustrato.

Per la spinta passiva  $S_p$  si possono ricavare espressioni analoghe a quelle relative alla  $S_a$ :

$$S_p = \frac{1}{2} \gamma_t H^2 K_p$$

$$K_p = \frac{\text{sen}^2(\beta + \varphi)}{\text{sen}^2 \beta \cdot \text{sen}(\beta - \alpha) \cdot \left[ 1 - \frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi - \alpha)}{\text{sen}(\beta - \delta) \cdot \text{sen}(\beta + \alpha)} \right]^2}$$

con:

$K_p$  = coefficiente di spinta passiva.

Per la valutazione di  $K_p$  si possono consultare particolari diagrammi o tabelle di valori ottenuti facendo riferimento a superfici di rottura curvilinee (ad esempio, a spirale logaritmica): infatti l'ipotesi di una superficie di scivolamento piana porta ad una valutazione di  $K_p$ , dunque della spinta passiva  $S_p$  che, specie per alti valori dell'angolo di attrito  $\delta$ , differisce sensibilmente dai risultati che si otterrebbero considerando superfici di scivolamento non piane: in particolare si valuterebbero per eccesso  $K_p$  e  $S_p$ , fatto evidentemente non a favore di sicurezza. In terreni coesivi, con piano di campagna orizzontale, parete di sostegno verticale e attrito fra terreno e muro nullo, valgono le seguenti relazioni per le tensioni  $\sigma_a$  e  $\sigma_p$ :

$$\sigma_a = \gamma_t y K_a - 2c \sqrt{K_a}$$

$$\sigma_p = \gamma_t y K_p - 2c \sqrt{K_p}$$

dove  $c$  rappresenta la resistenza dovuta alla coesione del terreno in esame. Dalla prima espressione si può notare che fino alla profondità:

$$y_o = \frac{2c}{\gamma_r \sqrt{K_a}}$$

la tensione  $\sigma_a$  risulta di trazione e, di conseguenza, per una altezza pari a  $2y_o$  il diagramma delle spinte risulta equilibrato (fig. 10.18). Nella teoria un fronte di terreno verticale di altezza  $2y_o$  potrebbe rimanere in equilibrio senza supporti esterni, ma nella realtà le sudette tensioni di trazione originano tutta una serie di fessure che riducono il valore di tale altezza critica.

In presenza di un'opera di sostegno, fino ad una profondità  $y_o$ , il terreno non comprime il muro ma tende al contrario a staccarsene, favorendo così potenziali infiltrazioni d'acqua che potrebbero indebolire la coesione stessa. Se l'opera di sostegno interagisce con la falda acquifera, occorre tenere presente, anche il valore della spinta idraulica, in relazione alle condizioni statiche o dinamiche (queste ultime legate a fenomeni filtrazione) che si possono instaurare nel terrapieno.

La procedura di calcolo, in questo caso, non si modifica rispetto a quanto riportato finora per la parte di terreno sopra la falda, mentre per la parte immersa occorre scindere il contributo dovuto all'acqua da quello dovuto al terreno (valutato facendo riferimento al peso di volume efficace  $\gamma'$ , dato dalla differenza del peso specifico del terreno a saturazione  $\gamma_{sat}$  con il peso specifico dell'acqua  $\gamma_w$ ).

Le verifiche di stabilità esterna a cui sottoporre sia i manufatti a gravità, sia opere impiegate nell'Ingegneria Naturalistica (palificate semplici e doppie di sostegno, briglie, gabbionate, ecc.), sono principalmente tre:

- verifica al ribaltamento;
- verifica allo slittamento;
- verifica della capacità portante.

Con particolare riferimento all'esempio illustrato nella figura 10.19 si ha che il momento stabilizzante totale (rispetto al punto  $R$  di eventuale rotazione per ribaltamento) è dato dalla somma dei momenti dovuti alla componente verticale della spinta  $S_v$  ed al peso dell'opera.

Il momento ribaltante (sempre rispetto al punto  $R$ ) è generato dalla componente orizzontale di  $S_a$ , e comprende, eventualmente, anche quello dovuto alla spinta idrostatica o ad altre forze che tendono a far ribaltare in avanti l'opera.

La verifica al ribaltamento consiste nell'assicurarsi che il rapporto fra *momento stabilizzante* e *momento ribaltante* totali risulti superiore al fattore di sicurezza  $F_r$ , generalmente assunto pari a 1,5:

$$\frac{S_v \cdot b + P \cdot a}{S_o \cdot c} \geq F_r$$

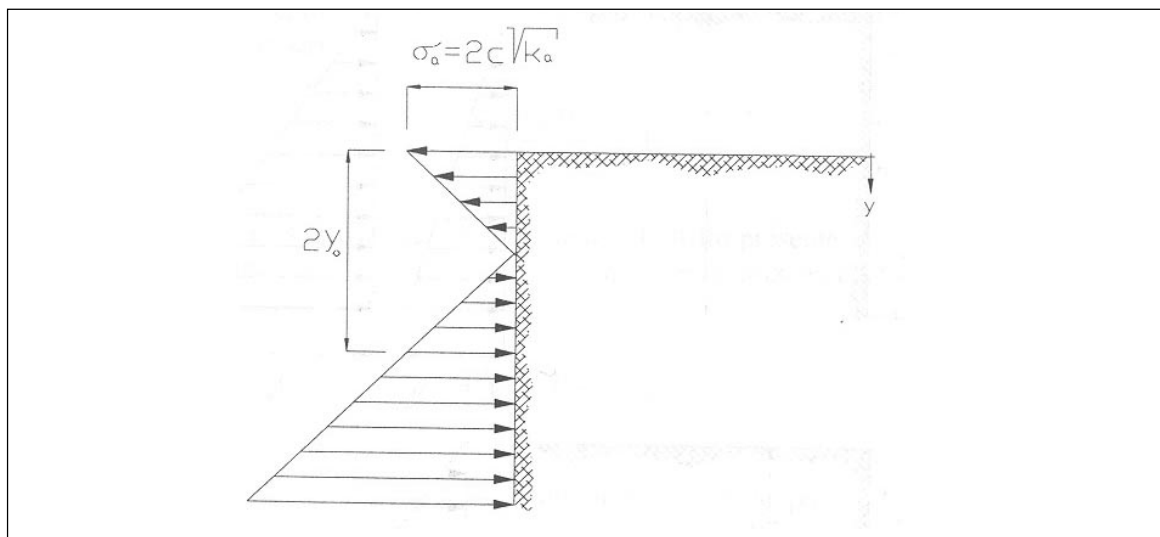
affinché l'opera risulti stabile allo slittamento, l'attrito presente al contatto fondazione terreno deve contrastare efficacemente la componente orizzontale della spinta  $S_a$ ; in particolare deve risultare che:

$$\frac{(P + S_v) \mu g \delta}{S_o} \geq F_s$$

con  $F_s$  coefficiente di sicurezza allo slittamento (assunto pari a 1,5) e  $\delta$  angolo d'attrito fra fondazione e terreno.

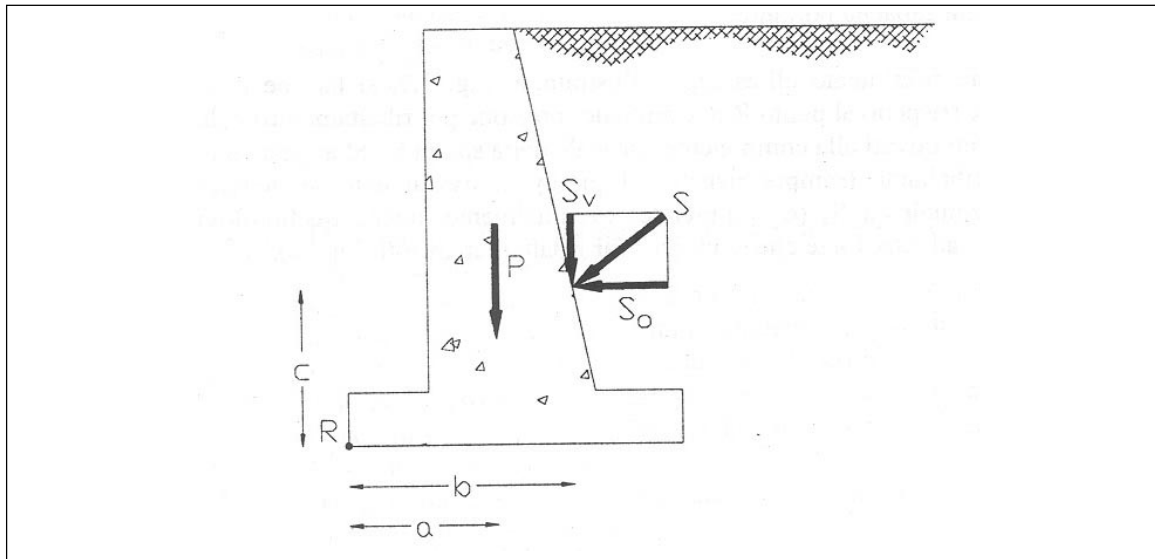
Occorre infine verificare che la fondazione abbia dimensioni adeguate, in modo tale da poter scaricare il peso dell'opera sul terreno con un coefficiente di sicurezza di 2,5 nei confronti della capacità portante limite.

Fig. 10.18 - Equilibrio tra le spinte del piano di campagna orizzontale, parete di sostegno verticale e attrito tra terreno e muro per una  $h = 2y_o$



Fonte: Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1, 2000.

**Fig. 10.19** - Descrizione delle forze rispetto al punto R, che identificano il momento stabilizzante e ribaltante



Fonte: *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1, 2000.*

## 10.9 Pedologia

Per “suolo” generalmente si intende lo strato superficiale della crosta terrestre, che è la risultante di processi di alterazione fisico-chimica di una roccia e di decomposizione di materiali organici (Dowgiallo, 1998).

La *pedogenesi* è funzione di una serie di processi espressi dall'*equazione di Jenny*.

$$S(\text{suolo}) = f(c, o, r, p, t)$$

in particolare:

- S = proprietà del suolo;
- cl = clima;
- o = organismi viventi, animali, vegetali, microorganismi, funghi;
- r = fattore topografico;
- p = roccia madre;
- t = tempo.

I fattori che intervengono nella pedogenesi sono diversi e dalle innumerevoli combinazioni che possono derivare si ottengono altrettante condizioni edafiche.

### 10.9.1 Elementi di pedogenesi

Il suolo è un sistema aperto in continuo scambio di energia e materia con i sistemi circostanti.

Nella formazione del suolo hanno grande importanza:

- i *guadagni*, che riguardano composti organici e inorganici e in cui la componente vegetale della biosfera interessa gli strati più superficiali e che va ad alimentare l'intensa attività di decompositori;
- le *trasformazioni* che riguardano il processo di alterazione della materia organica e dei minerali, la neoformazione di minerali e composti organici e le modificazioni fisiche delle

rocce dovute ai processi di dissoluzione e alterazione ;

- le *traslocazioni*, che coinvolgono i composti in soluzione e in sospensione.

Il risultato di questi processi elementari è la differenziazione di strati omogenei ad andamento quasi orizzontale, detti *orizzonti*, di spessore variabile.

### 10.9.2 Stratificazione del suolo

Effettuando una sezione verticale di un suolo si osserva che esso è costituito da più strati detti *orizzonti*. Maggiore è il grado di evoluzione altrettanto numerosi saranno gli orizzonti, per cui i suoli meno evoluti possono essere privi di qualche orizzonte. Osservando un profilo di un suolo dall'alto verso il basso si nota che è caratterizzato da:

- *orizzonte O*: si suddivide in due sub-orizzonti denominati *O1* e *O2*. Il sub-orizzonte *O1* è detto anche *lettiera* costituita da residui animali e/o vegetali indecomposti e facilmente riconoscibili, ove inizia la fase di degradazione della materia organica, per cui si avvia il processo di umificazione e di mineralizzazione. Se prevale il primo provoca la lisciviazione delle basi e l'acidificazione del suolo, soprattutto a carico del sottostante strato A. Se prevale la mineralizzazione si verifica una maggiore produttività della vegetazione. Il sub-orizzonte *O2* contiene materiale organico proveniente dal sub-orizzonte sovrastante, non è più riconoscibile la derivazione dei resti, la decomposizione è più avanzata;
- *orizzonte A*: detto anche *orizzonte umico*, in quanto è sede di intensa attività microbica grazie alla quale si completa la mineralizzazione, difatti la sostanza organica umificata si lega alla componente minerale del suolo;

dal punto di vista cromatico presenta colore scuro;

- *orizzonte E*: denominato *eluviale* subisce la lisciviazione degli idrossidi solubili di *Fe* e *Al*. Restano soltanto sostanze insolubili come *SiO<sub>2</sub>*. Dal punto di vista granulometrico restano solo particelle delle dimensioni delle sabbie e dei limi;
- *orizzonte B*: anch'esso è di tipo minerale, denominato *illuviale* poiché è sede di accumulo delle sostanze provenienti dagli orizzonti soprastanti. Esso si suddivide nei sub-orizzonti *B1*, *B2*, *B3*. I sub-orizzonti *B1* e *B3* hanno caratteri intermedi tra l'orizzonte a cui appartengono e quelli vicini, mentre *B2* contiene argille e materia organica proveniente dagli orizzonti soprastanti;
- *orizzonte C*: è costituito da frammenti di detrito provenienti dalla roccia in posto, l'alterazione subita dai frammenti è di tipo fisico;
- *orizzonte R*: la roccia in posto che non ha subito ancora alcuna alterazione.

Questa descrizione del suolo è riferibile ad un suolo evoluto, alcune volte può mancare uno strato a causa dell'erosione oppure della non completa evoluzione, come nei casi dei suoli con profilo *AC*, oppure dei suoli con profilo invertito come *BAC* in quanto soggetti alla risalita dell'acqua.

### 10.9.3 Le fasi del suolo

Esso è costituito da tre differenti fasi:

- *liquida*;
- *gassosa*;
- *solida*.

#### 10.9.3.1 Fase liquida

Vettore importante del suolo, veicola le differenti sostanze e soluti tra i vari orizzonti, oltre che rappresentare una fondamentale fonte di approvvigionamento per le piante. La componente liquida del terreno è rappresentata dall'acqua in esso contenuto, deriva dalle precipitazioni meteoriche, e da afflussi laterali, oppure dalla falda sottostante. A causa delle precipitazioni, l'acqua attraverso i pori raggiunge la falda sottostante, essa discende per gravità alimentandola.

L'acqua occupa gli spazi al di sotto degli 8  $\mu$ , mentre quelli di diametro maggiore sono occupati dall'aria; inoltre è presente sotto forma di acqua di cristallizzazione, all'interno delle strutture dei minerali. Quando l'acqua è legata ai sali è detta *acqua igroscopica*. Se occupa micropori con diametro inferiore a 2  $\mu$  non è disponibile per le piante. È disponibile invece quando è presente nei micropori maggiori di 2  $\mu$ ; o dalle falde sotterranee, dalle quali può risalire per ascensione capillare.

L'acqua che alimenta la falda è detta gravitativa, mentre quella trattenuta dai micropori è detta capillare. Il suolo contiene grandissime riserve di acqua: se si considera che i pori costituiscono circa il 44% ÷ 60% del suo volume, si può facilmente calcolare che, per 1 ha di superficie e 1 m di spessore, un ter-

reno trattiene ben 4.500 ÷ 6.000 m<sup>3</sup> di acqua (Dowgiallo, 1998).

#### 10.9.3.2 Fase gassosa

All'interno dei suoli è presente anche l'aria, che tende ad occupare gli spazi vuoti lasciati liberi dall'acqua. A livello di rizosfera si svolgono i cosiddetti scambi gassosi, difatti sono presenti animali, le radici delle piante, la materia organica in decomposizione.

La composizione dell'aria del suolo è la stessa di quella atmosferica; varia invece la quantità degli stessi componenti. Per quanto riguarda l'azoto è pressoché identica, l'ossigeno è di meno, mentre risulta maggiore l'anidride carbonica. Quest'ultima viene prodotta in eccesso in quanto prodotto della respirazione degli organismi del terreno e deriva anche dalla demolizione della sostanza organica. Il terreno non deve essere mai compatto, è fondamentale la sua aerazione, in modo tale da favorire l'evoluzione e la vita.

#### 10.9.3.3 Fase solida

La fase solida è rappresentata dalle argille, sabbie, limi; la fase liquida ha come solvente l'acqua, che contiene tutte le sostanze solubili, mentre la fase gassosa è principalmente rappresentata dal vapore acqueo, dalla *CO<sub>2</sub>* e da *O<sub>2</sub>*. La fase solida si compone di pietre, particelle con diametro di 2 mm, e tra fine con diametro minore di 2 mm, rappresentato dalla terra fine, costituita sua volta da sabbia, limo e argilla.

### 10.9.4 La componente organica del suolo

Particolare attenzione deve essere riferita ai procedimenti riguardanti la mineralizzazione e l'umificazione, in entrambe i casi il risultato è rappresentato da sostanze come *NH<sub>3</sub>*, *NO<sub>3</sub>*, *NO<sub>2</sub>*, *PO<sub>4</sub>*, *SO<sub>4</sub>*, sono macro- e microelementi fondamentali per lo sviluppo delle piante. La mineralizzazione è molto più veloce dell'umificazione, ed è accelerata dalle alte temperature. L'umificazione è più lenta, prevale uno stadio intermedio colloidale rappresentato da prodotti più o meno solubili come aminoacidi, proteine, ecc. che tendono a formare l'*humus*, più refrattario alla degradazione rispetto alla materia organica; la cui superficie degli aggregati umici è ricoperta da cariche negative, motivo per cui è in grado di unirsi a cationi come *Ca<sup>2+</sup>*, *K<sup>+</sup>*, *NH<sup>4+</sup>*, *Mg<sup>2+</sup>*; inoltre, le macromolecole umiche sono in grado di legare l'acqua facendo aumentare così il contenuto idrico del suolo.

L'*humus* è in grado anche di unirsi alle particelle di argilla, conferendo così maggiore stabilità a questi tipi di terreni suscettibili all'imbibizione. Successivamente l'*humus* viene sottoposto a lenta mineralizzazione i cui prodotti si legano alla componente minerale del suolo.

Un buon suolo per il 97% è costituito da sostanza inorganica e per il rimanente 3% da sostanza organica, in particolare i suoli con sostanza organica al di sotto dell'1% sono definiti *aridi*,

e la vegetazione incontra grosse difficoltà ad insediarsi. Queste informazioni di carattere generale fanno comprendere quanto sia fondamentale la protezione del suolo ad opera della vegetazione, forniscono anche valide indicazioni in fase di impianto della vegetazione. Molte volte viene utilizzato semplicemente il terreno di riporto, alcune volte viene utilizzato il cappellaccio se si tratta di recupero di cave. Senza tenere conto che questo materiale non presenta più caratteristiche umiche e chimico-fisiche idonee allo sviluppo della vegetazione, per cui si rende necessario l'utilizzo di ammendanti, concimi, ecc., per migliorarne anche la frazione umica. Dai monitoraggi effettuati su impianti di Ingegneria Naturalistica è stato osservato che la comparsa della pedofauna si verifica dopo circa 10 anni dall'impianto.

L'*humus* è di fondamentale importanza per la fertilità dei terreni, non solo di tipo agrario, ma anche di tipo forestale, ecc. La sua presenza incide notevolmente sulle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli, è presente sotto diverse forme e diversi stati di decomposizione.

I residui organici (parti di vegetali, animali, microorganismi) restano sul suolo ove cominciano ad essere decomposti, ad esempio le foglie, rami, radici delle piante vengono immediatamente colonizzati da funghi che avviano il complesso della degradazione. A questo complesso di azioni partecipa anche la pedofauna, con la funzione di sminuzzare i frammenti più grossolani, rendendoli più fini ed aumentando così la superficie utile per le continuazione della decomposizione. A distanza di poche settimane vengono allontanate dai residui organici sostanze come i carboidrati più semplici. Successivamente si verifica la decomposizione anche della lignina. Quindi si arrivano ad ottenere le biomolecole fondamentali per la costruzione delle cellule come amminoacidi, mono- e polisaccaridi, ecc.

A questo punto si è arrivati alla costituzione dell'*humus* con la mineralizzazione finale.

L'*humus* è costituito da acidi organici di diversa formula chimica, sono caratterizzati dalla presenza di gruppi funzionali -OH, -COOH che si legano con cationi come Ca, Mg; K, NH<sup>4+</sup>. Questi cationi legandosi all'*humus* sono disponibili per l'assorbimento radicale ad opera delle piante.

Le particelle hanno granulometria inferiore a 2 µ per cui concorrono a formare la componente dispersa della soluzione colloidale del terreno, aumentando la capacità di ritenzione idrica del terreno.

All'interno del terreno la componente umica è stratificata e partendo dalla superficie del terreno si hanno:

- *lettiera*, costituita da foglie ed altri parti delle piante che si depositano sul suolo, sono soggetti ad una lieve degradazione, i resti sono facilmente riconoscibili;
- *frammenti*, la degradazione è avanzata ed i residui non sono facilmente riconoscibili;

- *humus*, con struttura granulare fine, più del 70%, di colore scuro.

Vi sono differenti tipi di *humus* in rapporto alla degradazione che la materia organica subisce:

- *Mor*: è una forma di *humus* che occupa notevole spessore in superficie poiché la sostanza organica è soggetta a lenti processi di degradazione, per cui non riesce nemmeno a penetrare nel suolo;
- *Moder*: è una forma di *humus* intermedia, la sostanza organica è soggetta a processi degradativi mediamente veloci, per cui si verifica un certo accumulo sia in superficie che nel sottostante *orizzonte A*;
- *Mull*: in questo caso la degradazione della sostanza organica è abbastanza veloce, difatti i sub-orizzonti umici sono molto sottili per l'abbondante presenza dell'*humus* nell'*orizzonte A*.

La velocità di decomposizione della materia organica è influenzata dalla temperatura e dalla composizione dei residui organici. Aumentando le temperature vengono accelerati i processi di umificazione, difatti nei climi caldi i processi di umificazione durano poche settimane, mentre nei climi freddi si hanno dei forti rallentamenti. Nel primo caso la lettiera è sottile, mentre risulta essere più spessa nel secondo caso.

Se i residui organici sono costituiti da foglie di conifere, a causa dei rivestimenti cerosi, l'umificazione è notevolmente rallentata, mentre gli altri tipi di residui organici sono facilmente alterabili.

#### 10.9.5 Elementi di pedologia

Le indagini di base per l'applicazione delle tecniche dell'Ingegneria Naturalistica contemplano anche studi di tipo pedologico che rivestono notevole importanza sia per le caratteristiche meccaniche che per la messa a dimora delle piante.

Il rilievo pedologico è basato sull'esecuzione e la descrizione di profilo del terreno e su analisi fisico-chimiche.

Una volta inquadrato il contesto geologico e morfologico in cui si opera (può essere sufficiente analizzare la letteratura scientifica del settore a disposizione per quel territorio) si procede alla fotointerpretazione dell'area in modo da poter individuare preventivamente delle sub-aree omogenee dal punto di vista sia litologico che morfologico. Una volta individuate queste si passa all'effettuazione dei rilievi pedologici in campagna mediante l'esecuzione di alcuni sondaggi preliminari con l'ausilio di una trivella a mano di tipo "olandese" mentre il profilo vero e proprio, che consiste nell'escavazione di una trincea (operazione molto faticosa che spesso richiede l'utilizzo di macchinari e/o parecchia mano d'opera) viene effettuato per l'acquisizione di tutti quegli elementi necessari ad un'accurata classificazione. Ogni trivellata è caratterizzata dalla compilazione di un'apposita scheda di rilevamento sulla



quale vengono annotate localizzazione, caratteristiche stazionali e caratteristiche pedologiche.

- **Localizzazione:** consiste nell'individuazione del punto di trivellata su di un'adeguata carta topografica oppure nell'indicazione delle coordinate geografiche del punto (GPS), in modo tale da poter sempre ritrovare sul terreno il punto di campionamento. Possono essere riportate altre informazioni quali comune, provincia, regione della località in cui si effettuata la trivellata, oltre a riportare l'altitudine del luogo rispetto al livello del mare.
- **Caratteristiche stazionali:** consistono nell'annotazione delle caratteristiche morfo-logiche della stazione quali la *pendenza* (rilevata con la *livelletta di Abney*), l'*esposizione* (rilevata mediante la bussola). Uno dei principali fattori che influenza i fenomeni pedogenetici è rappresentato dal *litotipo presente*, per cui è bene annotare le caratteristiche della roccia presente in posto; devono essere anche rilevati inoltre eventuali *processi geomorfologici in atto*, ossia fenomeni come l'*erosione*, la *deposizione* o la *presenza di aree soggette a fenomeni di instabilità*. Un'altra caratteristica importante è rappresentata dalla *pietrosità superficiale* e della *rocciosità* parametri che influenzano notevolmente la velocità di infiltrazione delle acque. Il quadro del rilevamento delle caratteristiche stazionali è completato dall'*annotazione dell'uso del suolo*, del *tipo di vegetazione presente* (spontanea o coltivata) e della *presenza dell'eventuale drenaggio interno* e della *profondità della falda*.
- **Caratteristiche pedologiche:** è la parte più importante del rilievo, in quanto permette la classificazione del suolo e prevede:
  - descrizione dell'intero *profilo* e degli *strati* di cui è composto;
  - individuazione del *colore* (che avviene in maniera inequivocabile utilizzando una serie di cartelle colorate in maniera standard riunite in un libretto denominate *Munsell Soil Color Charts*; i caratteri da identificare sono 3: *Hue* o tinta, *Value* o luminosità e *Chroma* o intensità di colore sia con zolle di terreno secco che con zolle di terreno umidificato in modo tale che il colore non possa imbrunirsi ulteriormente);
  - individuazione all'interno dei singoli strati di possibile presenza di *screziature* rappresentate da striature o macchie di colorazione differente con spessore e lunghezza variabile (sono più frequenti negli strati profondi del suolo con colorazione variabile dal rosso fino al blu);
  - proprietà come la ritenzione idrica, il drenaggio e l'areazione del terreno sono principalmente influenzati dalla *quantità di scheletro* altro parametro che viene monitorato e che rappresenta la quantità di particelle presenti nel profilo con dimensioni maggiori di 2 mm, inoltre riveste importanza anche la rilevazione della loro forma;

- *tessitura*, che è un altro parametro determinato dalla dimensione delle particelle (< 2 mm), ossia sabbia, limo ed argilla (la tessitura si riferisce, in particolare, alla porzione in peso delle particelle al di sotto dei 2 mm e può essere determinata mediante l'utilizzo del cosiddetto *triangolo di Miller*, che permette di risalire alle percentuali che individuano le varie classi).

Anche i processi chimici rivestono rilevante importanza nella pedogenesi, difatti durante la trivellata vengono rilevate forma, dimensione, profondità e composizione chimica di concrezioni all'interno del profilo.

Le forme più comuni che si rinvencono sono concrezioni vere e proprie, noduli, cristalli, concentrazioni soffici, che sono principalmente costituite da carbonato di calcio, gesso, ferromanganese e cloruro di sodio.

#### 10.9.6 Caratteristiche chimiche dei suoli

- **Capacità di scambio cationico (o anionico):** la nutrizione delle piante è di tipo minerale, e avviene mediante l'assorbimento in una soluzione acquosa di anioni e cationi disciolti quali  $PO_4$ ,  $SO_4$ ,  $HCO_3$ , Ca, Mg, Na, K, H, che, all'interno del suolo, sono legati per lo più alle particelle di argille e ai colloidi costituiti dalle sostanze umiche, tale unione-legame limita la perdita di queste sostanze per dilavamento impedendo così un veloce impoverimento del suolo. Nel momento in cui le piante assorbono queste sostanze ioniche vengono sostituite dallo ione  $H^+$  disponibile nel terreno. Affinché questo avvenga nel suolo lo ione H deve essere disponibile, e la sua disponibilità influenza così il pH.
- **pH:** parametro di fondamentale importanza per la componente biotica del suolo e per la disponibilità di alcune sostanze nel terreno. Normalmente la il pH del suolo si aggira tra 6,5 e 7,5 intervallo in cui vivono contemporaneamente funghi e batteri, le variazioni di pH rendono il suolo un ambiente selettivo, difatti nei casi in cui si sposta verso l'acidità diventa selettivo in quanto riescono a sopravvivere soltanto i funghi. Inoltre, questo parametro è in grado di influenzare la solubilità di molti sali e quindi può limitare o meno la loro disponibilità nel terreno.

#### 10.9.7 Caratteristiche fisiche dei suoli

- **Granulometria:** è il rapporto percentuale (generalmente in peso) tra le classi dimensionali delle particelle solide minerali del suolo (Sanesi, 1993). Il suolo è costituito da particelle di dimensioni o granulometria differenti, l'insieme delle particelle con diametro >2 mm viene definito *scheletro* mentre l'insieme delle particelle con diametro <2 mm viene definito *terra fine*. La terra fine è oggetto di ulteriore indagine che permette di risalire alla cosiddetta *tessitura* del terreno che rappre-

sentata la percentuale della granulometria delle particelle fini.

- **Stato di aggregazione del suolo:** le particelle sia organiche che inorganiche del terreno possono riunirsi tra loro in maniere differenti, originando così diverse forme di aggregazione, con altrettanti gradi di stabilità. Ad esempio la struttura può essere: *lamellare*, quando gli aggregati sono piatti con andamento parallelo rispetto alla superficie del terreno, *prismatica* con aggregati di forma allungata o prismatica originatisi per fratturazioni di strati argillosi del terreno, *poliedrica* con aggregati aventi forma di poliedri ed infine *granulare* o *grumosa* con aggregati di forma sferoidale. In natura esistono dei suoli privi di struttura in quanto possono essere sciolti o molto compatti.
- **Porosità:** è la percentuale degli spazi vuoti presenti nel terreno per un determinato volume. Il substrato pedogenetico è attraversato da una rete di canali, lasciati da radici morte o scavati da animali, che viene occupata dall'aria, fondamentale per la respirazione della pedofauna, e dall'acqua in cui sono sciolte differenti sostanze. I pori si suddividono in *macropori* (con diametro  $> 8 \mu$ ) e *micropori* (con diametro  $< 8 \mu$ ); normalmente nei primi è presente aria mentre nei secondi è presente acqua. In particolare, i micropori con diametro  $> 2 \mu$  contengono acqua disponibile per le piante; mentre i micropori con diametro  $< 2 \mu$  contengono acqua non utilizzabile dalle piante poiché l'assorbimento ad opera delle radici non supera la pressione con cui l'acqua è trattenuta nei pori detti anche *capillari*. In concomitanza con le precipitazioni, l'acqua occupa la maggior parte dei pori vuoti, successivamente a causa dell'evapotraspirazione i macropori vengono rioccupati dall'aria circolante nel terreno favorendone così l'aerazione.
- **Temperatura:** condiziona i processi biologici che si svolgono nel terreno, ed il calore posseduto dal terreno deriva dall'irraggiamento solare. Al suo interno le variazioni di temperatura sia giornaliere che annuali sono molto attenuate. La temperatura di un terreno è funzione della sua capacità calorifica o *calore specifico* e dalla sua *conducibilità termica*, il calore specifico è a sua volta influenzato dal contenuto d'acqua, dal colore, dalla struttura, mentre la conducibilità termica è influenzata dalla composizione del terreno. Inoltre, la temperatura del terreno può anche essere influenzata dall'esposizione e dalla copertura vegetale.

#### 10.9.8 Caratteristiche biotiche

Il suolo viene definito come "corpo naturale" quando comincia ad essere colonizzato dagli organismi viventi, i primi colonizzatori sono gli *organismi fotosintetici* come i licheni, che necessitano soltanto di qualche minerale ot-

tenuto dall'alterazione delle rocce, poi man mano lasciano il posto a piante più esigenti dal punto di vista trofico. Successivamente compaiono gli *organismi eterotrofi*, *saprofiti* e *parassiti*, dal punto di vista sistematico questi organismi appartengono sia ai Vertebrati che agli Invertebrati, fino ad arrivare ad alghe, funghi e batteri, ognuno dei quali ha un ruolo ecologico ben definito ed importante per la vita e lo sviluppo del terreno. Globalmente la loro funzione consiste nel riciclo della materia organica principalmente prodotta dalle piante in grado di trasformare le sostanze inorganiche presenti nel suolo in organiche; a chiudere il ciclo delle sostanze a base di N, P, S, ecc. ci sono gli organismi in grado di decomporre la sostanza organica e farla passare nella forma inorganica, nei singoli passaggi della materia organica verso la materia inorganica i differenti organismi ricavano energia per il loro sostentamento; una volta che la sostanza organica è stata trasformata nella forma inorganica viene riutilizzata dalle piante.

Man mano che il suolo comincia ad acquisire i propri caratteri diventa selettivo nei confronti di alcuni *taxon* di organismi a favore di altri. Per ogni gruppo di organismi presenti nel suolo sono importanti i resti degli organismi insieme ai loro residui metabolici, a partire dalle piante. In particolare, la vita dei microorganismi è influenzata da caratteristiche come la qualità della materia organica, la tessitura, la struttura, il pH, l'umidità, temperatura, ecc. All'interno del suolo i microorganismi si concentrano negli strati superficiali e principalmente nella cosiddetta *rizosfera* ove sono notevoli le quantità di residui vegetali. In media la biomassa degli esseri viventi del suolo si aggira intorno ai 660 kg/ha.

#### 10.9.9 Classificazione dei suoli

Per motivi pratici è importante utilizzare un sistema di classificazione dei suoli che permetta di individuarne le caratteristiche fondamentali. Numerosi sono i sistemi di classificazione del suolo, il sistema di classificazione più usato è quello dell'United States Department of Agriculture (USDA) basato sui caratteri del suolo osservabili e rilevabili in campagna che rappresentano la cosiddetta *Soil Taxonomy*. La classificazione consiste in un sistema gerarchico in cui si parte da categorie di ordine superiore più generiche, fino ad arrivare a categorie inferiori più specifiche e numerose rispetto alle precedenti, considerando però man mano più caratteri dei suoli.

Alla fine del procedimento di classificazione (o determinazione) un suolo viene identificato con un binomio che comprende informazioni sufficienti per risalire al processo pedogenetico che lo ha originato, viene poi inquadrato nel corrispondente regime climatico.

Questo sistema è basato sul riconoscimento di orizzonti diagnostici.

Tab. 10.7 - Alcuni esempi di integrazioni fra dati fitosociologici e pedologici

Serie di vegetazione	Substrato geologico	Suoli	Note
<i>Erico arboreae-Querceto cerridis</i> sigmetum	mgM (Arenarie del Macigno)	Xerochrepts lithici, tipici e dystrici	Franchi o franco-sabbiosi, poco o non calcarei
	V1 (Depositi fluvio-lacustri del Villafranchiano)	Ustochrepts tipici e dystrici	Franchi, poco o non calcarei
		Haplustalfs tipici	Su ciottolami e sabbie in zone cacuminali
	Sabbie pleistoceniche	Ustochrepts tipici e calcixerollici	Franchi, profondi, poco o non calcarei
Xerochrepts tipici e calcixerollici		Nelle aree in erosione, più calcarei	
<i>Roso sempervirentis-Querceto pubescentis quercetosum cerridis</i> sigmetum	Argille plioceniche P3-2	Xerochrepts tipici	Argillosi e calcarei
		Xerorthents tipici	
	mam (marne della Marnoso-Arenacea)	Xerorthents tipici	Franco-limosi e franco-argillosi, ipercalcarei
mag (marne del Macigno)	Xerorthents tipici	Franco-limosi e franco-argillosi, ipercalcarei	
<i>Roso sempervirentis - Querceto pubescentis</i> sigmetum	Argille plioceniche P3-2	Xerochrepts tipici	Argillosi e calcarei
		Xerorthents tipici e lithici	Nelle aree in erosione, CALANCHI
	Alluvioni terrazzate	Xerochrepts tipici	Franco-argillosi, neutri, poco o non calcarei
	Depositi fluviali argillosi olocenici	Xerochrepts fluentici	Franchi, subalcalini, spesso ciottolosi e calcarei
<i>Scutellario-Ostryeto carpinifoliae</i> sigmetum	Cn (Calcari)	Xerorthents lithici	Limo-argillosi, ipercalcarei
	ME, MO (calcari marnosi)	Xerochrepts tipici	Franchi, equilibrati, poco o non calcarei, non acidi
<i>Coronillo emeri-Querceto cerridis</i> sigmetum	Apparato vulsino	Xerochrepts tipici e andici	Non calcarei, subacidi o neutri
		Ustochrepts tipici e andici	
		Haplustands tipici (10%)	

Fonte: Venanzoni, 2001.

#### 10.9.10 Indicazioni pratiche per la ricostituzione dei suoli

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica hanno la funzione di consolidamento e recupero, più raramente quello di ricostruire la naturale stratificazione di un suolo (*profilo*).

Negli interventi di consolidamento per fermare fenomeni di soliflusso o reptazione, oppure per stabilizzare una frana o interventi simili si ha già in loco materiale sufficiente a disposizione. Nel caso di recupero di cave, di discariche, di depositi di scorie e inerti vari o di ex cantieri edili, di solito non c'è sufficiente quantità di terreno in loco da poter utilizzare e quindi si rende necessario l'apporto massiccio di materiale alloctono che può differire rispetto alle caratteristiche fisiche e chimiche del suolo che era presente in precedenza nell'area in questione. È buona norma, nel caso di cave di inerti, conservare quanto più possibile il cosiddetto "cappellaccio" per le opere di recupero ambientale. Prima di tutto è consigliabile sempre riprodurre uno strato di suolo di qualche decina di centimetri più spesso di quanto riportato nel progetto, e di migliorare le condizioni

edafiche attraverso eventuali opere di fertilizzazione e/o ammendamento e/o correzione del terreno.

Va comunque ricordato che, ove necessarie, debbono essere progettate e realizzate opere di regolazione idrica riguardanti il drenaggio e l'irrigazione. Ad esempio, è utile eseguire delle scoline secondo l'andamento delle isoipse per attenuare il potere erosivo dell'acqua lungo pendii con elevata pendenza e/o lunghezza.

In casi particolari, come il recupero delle cave, sarebbe opportuno conservare il suolo asportato possibilmente in aree circostanti la cava, per un periodo non superiore ad un anno durante il quale periodicamente il terreno dovrebbe essere rivoltato per favorirne l'aerazione mantenendo così integra la componente biotica (tab.10.7).

#### 10.10 Scheda d'approfondimento

Nell'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica, una particolare attenzione viene dedicata allo studio delle condizioni geo-

**Tab. 10.8** - Elenco dei parametri e delle indagini per la sistemazione di versanti soggetti a fenomeni di erosione e/o movimento con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Aspetto	Indagine	Descrizione dell'intervento	Osservazioni
Tipografico - cartografico	Ubicare la zona d'intervento	-	
	Definire l'estensione della zona da investigare	-	L'area ed il perimetro della zona in frana
	Definire la profondità dell'area da investigare	-	
	Scegliere la scala adeguata per l'indagine	-	La scala d'indagine è tanto maggiore (ad esempio 1:10.000; 1:2.000) quanto più dettagliata è l'interazione del progetto con il territorio
Economico	Il tipo di intervento è in funzione della disponibilità economica necessaria per l'indagine in sito o per l'analisi in laboratorio	-	Importanza e costo dell'opera di ripristino in relazione al grado di sicurezza richiesto (e quindi anche al tipo di analisi da effettuarsi).
Geologico - stratigrafico	Rilevamento geologico	Individuare tutte le formazioni (affioramenti) presenti nella zona.	Riconoscere una formazione in campagna comporta la descrizione dei seguenti parametri: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Litologia:</b> definire il litotipo presente (marne, calcari, dolomie, arenarie, ecc.) in affioramento tramite l'analisi, quando possibile, di composizione (chimica, mineralogica), tessitura (granulometria, morfometria), struttura (disposizione spaziale degli elementi che compongono una roccia) e, riconoscere il nome della formazione (bibliografia).</li> <li>• <b>Stratificazione e tettonica:</b> forma, geometria, spessore e giacitura degli strati (qualora siano presenti) o delle lineazioni tettoniche (faglie, assi di pieghe, strie, ecc.).</li> <li>• <b>Discontinuità:</b> le superfici dei giunti e dei piani di strato possono presentarsi con diversa rugosità delle superfici, apertura, alterazione, presenza di acqua.</li> <li>• <b>Caratteri sedimentologici:</b> presenza di tracce fossili, grani scheletrici e detritici, ooliti, gradazione; distinzione di unità litostratigrafica e di facies.</li> </ul>

(segue)

logiche ed idrogeologiche del sito d'intervento, oltre naturalmente alla scelta e all'impiego delle specie vegetali vive.

Nella **tabella 10.8** si riporta un elenco dei parametri e delle indagini che si ritiene opportuno considerare nella sistemazione dei versanti soggetti a fenomeni d'erosione e/o movimento, con conseguente e preferibile impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica, per la messa in sicurezza dei versanti stessi (Balboni, Uffreduzzi, 2002).

### 10.11 Ambito d'intervento a scala provinciale nei versanti

La provincia di Terni è interessata, almeno in alcune sue porzioni di territorio, come precedentemente descritto, da un diffuso ed elevato grado di instabilità geomorfologica, relativamente agli ambiti di versante (*dinamica di versante*) e dei corsi d'acqua (*dinamica fluviale*).

Se differenti possono essere le tipologie del

**segue tab. 10.8** - Elenco dei parametri e delle indagini per la sistemazione di versanti soggetti a fenomeni di erosione e/o movimento con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Aspetto	Indagine	Descrizione dell'intervento	Osservazioni
Geologico - stratigrafico		Cartografare gli affioramenti	
		Definire i rapporti reciproci fra gli strati	<p>Dall'analisi in pianta e soprattutto in sezione dei rapporti tra i diversi strati si possono evidenziare casi distinti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>reggipoggio</b>: gli strati immergono nel verso opposto a quello in cui pende il versante; il pendio in questo caso è tendenzialmente stabile;</li> <li>• <b>franapoggio</b>: gli strati immergono nello stesso verso cui pende il versante; Si possono avere due casi: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) inclinazione degli strati superiore a quella del pendio;</li> <li>b) inclinazione degli strati inferiore a quella del pendio.</li> </ul> </li> </ul> <p>Soprattutto in quest'ultimo caso le giaciture degli strati favoriscono movimenti franosi lungo il versante.</p>
Idrogeologico	Analisi sugli acquiferi	Sono importanti per individuare l'andamento e le caratteristiche delle falde idriche sotterranee. È necessario svolgere una serie di analisi che ci permettono di conoscere il comportamento della porzione di terreno direttamente coinvolta nel dissesto e, quindi individuare le eventuali infiltrazioni di acque superficiali nel sottosuolo, responsabili del movimento	<p>Sui terreni e sulle rocce è necessario individuare dei parametri, che possono essere di seguito elencati:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>porosità (K)</b>: è la capacità di una roccia di immagazzinare ed eventualmente cedere acqua;</li> <li>• <b>permeabilità (Q)</b>: proprietà delle rocce di lasciarsi attraversare dall'acqua per effetto di un carico idraulico;</li> <li>• <b>velocità di filtrazione delle acque di falda (<math>v = Kj</math>)</b> è il prodotto tra il coefficiente di permeabilità e il gradiente idraulico;</li> <li>• <b>gradiente idraulico (i)</b>: perdita di carico per distanza unitaria del flusso;</li> <li>• <b>portata di una falda (<math>Q = Kai</math>)</b>: è il prodotto tra il coefficiente di permeabilità, la sezione filtrante ed il gradiente idraulico.</li> </ul>
	Captazione delle acque di una falda	La captazione delle acque può avvenire, tramite drenaggi orizzontali	<p><b>Trincee drenanti</b> (opere trasversali al versante):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• i materassi da emungere devono essere a quota superiore a quella del luogo d'uso delle acque estratte, per sfruttare l'allontanamento a gravità delle stesse.</li> </ul> <p><b>Gallerie drenanti</b> (opere parallele alla direzione di massima pendenza del pendio):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• drenano in genere le falde freatiche nei depositi ai piedi dei rilievi.</li> </ul> <p><b>Perfori orizzontali</b>: (opere poste in serie od a raggiera per permettere il drenaggio dei terreni).</p>

(segue)

**segue tab. 10.8** - Elenco dei parametri e delle indagini per la sistemazione di versanti soggetti a fenomeni di erosione e/o movimento con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Aspetto	Indagine	Descrizione dell'intervento	Osservazioni
Geotecnico	Sondaggi	Queste indagini si usano principalmente per riconoscere la successione e la natura dei terreni (stratigrafia), e per permettere il recupero delle carote di terreno e di campioni rimaneggiati o indisturbati. Nel corso dell'esecuzione del sondaggio in foro, possono essere eseguite <i>prove in situ</i> di vario tipo e possono (Spt in foro, ecc.) essere installate apparecchiature di misura quali piezometri, assestimetri, inclinometri, ecc.	
	Penetrometrie	Le indagini vengono eseguite con due tipi di penetrometri	<b>Prove penetrometriche dinamiche (SPT):</b> si registrano il numero di colpi per ottenere un avanzamento prefissato nel terreno con un utensile costituito da un campionatore standard. <b>Prove penetrometriche statiche (CPT):</b> si infigge nel terreno una punta con avanzamento controllato, misurando in superficie la pressione esercitata sulle aste dello strumento e sulla punta.
	Altre prove in sito		<b>Prove scissometriche (Field Vane test):</b> un utensile con quattro alette poste a croce viene infisso nel terreno e viene misurato il momento torcente corrispondente; è una prova generalmente impiegata in terreni argillosi a bassa consistenza ricavandone la resistenza al taglio senza drenaggio $c_u$ . <b>Prove dilatometriche (DTM):</b> l'utensile è dotato di una membrana che viene fatta dilatare, misurando la pressione corrispondente all'inizio del moto della membrana e quello corrispondente ad uno spostamento prefissato. <b>Prove pressiometriche:</b> viene inserita ad una certa profondità una sonda cilindrica che viene fatta dilatare gradualmente, misurando nel contempo le pressioni applicate e le deformazioni corrispondenti.

(segue)

**segue tab. 10.8** - Elenco dei parametri e delle indagini per la sistemazione di versanti soggetti a fenomeni di erosione e/o movimento con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Aspetto	Indagine	Descrizione dell'intervento	Osservazioni
Geotecnico	Analisi di laboratorio	Vengono eseguite sui campioni di terreno indisturbati, prelevati a varie profondità nel corso dei sondaggi	<p><b>Analisi granulometrica:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• serve per determinare la dimensione delle particelle che compongono un terreno e per stabilire le percentuali in peso delle varie frazioni entro limiti prefissati. L'analisi si esegue tramite setacciatura e/o aerometria.</li> </ul> <p><b>Limiti di Atterberg:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• è il valore del contenuto d'acqua corrispondente al passaggio da uno stato fisico ad un altro (solido, semisolido, plastico, liquido).</li> </ul> <p><b>Coesione:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• è quella forza capillare esistente tra i granuli in un terreno.</li> </ul> <p><b>Angolo d'attrito interno (<math>\phi</math>):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• angolo tra l'ascissa e la tangente alla curva rappresentante la relazione tra resistenza al taglio e sforzi normali agenti all'interno del terreno; e dovuta all'incastro e alla resistenza allo scivolamento tra i granuli.</li> </ul> <p><b>Resistenza al taglio delle terre:</b> la massima resistenza di un suolo a sforzi di taglio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• questo parametro viene misurato tramite la <b>prova triassiale</b>: si sottopone un provino cilindrico di terreno a rottura in diverse condizioni di drenaggio. Queste diverse condizioni di prova corrispondono a delle situazioni reali:</li> <li>• La <b>compressione per carico</b> che si ottiene dalla seconda fase di prova corrisponde allo stato di sollecitazione che si ha nel terreno di fondazione di un'opera.</li> <li>• La <b>compressione per scarico</b> corrisponde a quello che si ha nel terreno che spinge un muro di sostegno (spinta attiva).</li> </ul> <p>L'estensione per scarico corrisponde allo stato di sollecitazione nel terreno subito al di sotto del fondo di uno scavo.</p> <p>L'estensione in carico a quello che si ha nel terreno al piede di una paratia (spinta passiva).</p> <p><b>Prove di taglio diretto:</b> la rottura viene raggiunta nel provino provocando il taglio secondo un piano prestabilito, con l'apparecchio di Casagrande.</p>
Geofisico	Indagine geoelettrica		Ci permettono di ricavare la resistività delle rocce, in funzione della porosità, del contenuto d'acqua, della quantità di sali disciolti che ci consente di individuare in modo indiretto la litologia.
	Indagini sismiche		La velocità di propagazione delle onde sismiche dipende dalla natura mineralogica della roccia, il grado di cementazione e di fratturazione, la porosità, il contenuto in acqua.

(segue)

**segue tab. 10.8** - Elenco dei parametri e delle indagini per la sistemazione di versanti soggetti a fenomeni di erosione e/o movimento con tecniche di Ingegneria Naturalistica

Aspetto	Indagine	Descrizione dell'intervento	Osservazioni
Geomorfologico	Classificazione della frana o del movimento di versante	La classificazione può avvenire secondo il tipo di movimento e il tipo di materiale interessato (cl. Di Vernes o altri)	
	Dimensioni e caratteristiche geometriche del corpo di frana	Estensione areale del dissesto e dell'area potenzialmente coinvolta dalla sua evoluzione	
		Lunghezza della zona di distacco e della zona di accumulo (distanza dal coronamento al punto inferiore dell'unghia)	
		Larghezza intesa come l'andamento della distanza tra i due fianchi, per tutta la lunghezza.	
		Volumi di terreno franati	
		Profondità ed andamento della/e superficie/i di rottura	

Fonte: Balboni, Uffreduzzi, 2002.

dissesto e le conseguenze della sua presenza, alla naturale fragilità di un'area in relazione alle sue caratteristiche geologiche e geomorfologiche, si unisce sempre la presenza dell'attività umana che spesso non tenendo in giusta considerazione le dinamiche naturali del territorio, opera nella sua tendenza all'urbanizzazione in contrasto con esse costituendo l'elemento d'innescamento della condizione di dissesto idrogeologico.

Per *dissesto di versante* si intende generalmente il movimento, più o meno repentino, di masse di terreno di volume modesto od ingente, la cui superficie di movimento è localizzata in prossimità della superficie od in profondità.

Tali movimenti franosi che interessano i pendii non sono di facile schematizzazione in quanto la casistica è molto ampia, sia per quanto riguarda la loro genesi, sia per quanto concerne la loro evoluzione; esistono vari tipi di classificazione in funzione degli aspetti considerati quali le condizioni geologiche, la genesi, la dinamica evolutiva, ecc.

Inoltre, lo stato di attività (*attivo, quiescente o inattivo*) di un movimento franoso in relazione alla persistenza o meno dell'agente morfogenetico che lo ha determinato o alla

presenza di indizi di movimento è un ulteriore elemento di caratterizzazione del dissesto. Le condizioni geologiche rientrano in quelli che vengono chiamati correntemente *fattori passivi o predisponenti* e comprendono la composizione (tipo di materiale e coesione), la struttura (rocce massive o stratificate), il grado di fessurazione e di fratturazione, l'assetto strutturale-giaciturale del corpo geologico (legato agli *stress* tettonici regionali agenti nel territorio ed al tipo di sedimentazione).

Le condizioni morfo-climatiche rientrano, invece, all'interno di quelli che vengono chiamati *fattori attivi o scatenanti* poiché considerati come agenti innescanti il movimento, particolare incidenza rivestono la densità e la frequenza di piovosità elevata, se a queste si aggiunge la possibilità di sollecitazioni esterne come sovraccarichi legati alle attività antropiche od azioni sismiche, è facile intuire come condizioni potenzialmente sfavorevoli possano trasformarsi in dissesti di versanti.

Nel territorio provinciale è possibile, in base a quanto descritto nei paragrafi precedenti, definire alcune "situazioni geologiche e geomorfologiche tipo" relativamente all'am-



bito di versante, nelle quali l'utilizzo di tecniche di Ingegneria Naturalistica permette sia di modificare in senso favorevole alla stabilità di alcuni dei fattori predisponenti, sia di ridurre l'effetto dei fattori scatenanti, determinando in genere una maggiore stabilità dei versanti.

Tali situazioni-tipo, possono essere schematicamente riassunte nei punti che seguono.

- *Pendio ad acclività media o medio-alta, in litotipi granulari, più o meno fini, sciolti o scarsamente coesivi, su substrato competente.*

È la condizione in cui si trovano alcune aree collinari o basso montane; presentano spessori variabili entro i 5/6 metri di terreni granulari, più o meno fini, sciolti o scarsamente coesivi, poggianti su substrato competente (di natura litoide od argille fortemente consolidate), nei primi metri può essere presente anche uno spessore di terreno di alterazione o copertura (in prossimità di impluvi morfologici) con caratteristiche geomeccaniche peggiori, inoltre può essere presente una filtrazione idrica epidermica legata ad eventi piovosi.

I dissesti sono spesso dovuti a scivolamenti lenti della coltre di copertura o del terreno stesso, con una o più superfici di scollamento ubicate nei primi metri e subparallele al pendio, il movimento è testimoniato dalla presenza di fratture a trazione e scarpatine metriche di distacco nel lato di monte, avvallamenti e gibbosità più o meno pronunciate nel corpo di frana ed un accumulo nel lato di valle.

I fattori che determinano la rottura dell'equilibrio naturale e quindi il movimento, oltre alle condizioni geomorfologiche, possono essere ricercati generalmente nella non regimentazione delle acque superficiali che ruscellano in maniera diffusa o si canalizzano spontaneamente lungo la linea di massima pendenza, nell'abbattimento delle alberature, nelle arature selvagge e nella incauta realizzazione di movimento terre per la realizzazione di opere.

- *Pendio a varia acclività, in litotipi granulari, più o meno fini, sciolti e/o coesivi, di discreto spessore.*

È la condizione in cui si trovano vaste aree collinari; presentano spessori di qualche decina di metri in terreni granulari, più o meno fini, sciolti o coesivi, nei primi metri può essere presente anche uno spessore di terreno di alterazione o copertura (in prossimità di impluvi morfologici) con caratteristiche geomeccaniche peggiori.

Dal punto di vista idrogeologico possono essere presenti, oltre ad una filtrazione idrica epidermica legata ad eventi piovosi, più falde acquifere poste a varie profondità anche in condizioni di acquifero semilibero.

I dissesti sono dovuti a movimenti con cinematica complessa, più o meno lenti del terreno con una superficie di scivolamento

principale ad andamento circolare o cilindrico, ubicata in profondità e superfici di scivolamento secondarie più superficiali.

Il movimento, diverso per velocità e direzione, è testimoniato dalla netta presenza, di una zona di distacco posta nel lato di monte, caratterizzata da fratture a trazione e una o più nicchie di distacco, di una zona di accumulo posta nel lato centrale e di valle, con avvallamenti e gibbosità più o meno pronunciate, un corpo di frana ed un accumulo terminale ad unghia.

I fattori che determinano la rottura dell'equilibrio naturale, oltre a quelli secondari quali il ruscellamento diffuso delle acque, l'effetto conservativo delle alberature, sono da ricercarsi nelle caratteristiche geomeccaniche dei terreni in relazione alle condizioni geomorfologiche del pendio.

In particolare, l'esistenza nel pendio di una condizione di equilibrio precario nel rapporto *forza agente/forza resistente*, può determinare per il versante una condizione di instabilità incipiente che, turbata da un qualsiasi evento (pioggia e filtrazione, oscillazione della falda, azione sismica, movimenti antropici), determina la condizione di instabilità e l'innesco del movimento.

- *Pendio caratterizzato da tratti subverticali in litotipi competenti poggianti su litotipi granulari, più o meno fini, sciolti o scarsamente coesivi.*

È la condizione in cui si trovano alcune limitate aree caratterizzate in affioramento da piroclastiti, travertini o conglomerati cementati oppure arenarie o calcari (*litotipi competenti*), per spessori di qualche metro sino a decine di metri, poggianti su argille, sabbie o ghiaie (*litotipi granulari*).

Dal punto di vista idrogeologico possono essere presenti, oltre ad una filtrazione idrica epidermica legata ad eventi piovosi, anche una falda libera posta al contatto tra le due litologie.

I dissesti sono dovuti a movimenti con cinematica complessa di scorrimento, ribaltamento e crollo, più o meno rapidi, dei litotipi competenti con superfici di scivolamento basale posta al contatto e dovuta all'azione erosiva e di deformazione plastica del terreno granulare basale.

Il movimento diverso per rapidità e meccanismo è testimoniato dalla presenza di fratture di distacco che isolano porzioni di terreno competente che scivolano con movimento di ribaltamento o crollo; a valle sono presenti zone di accumulo del materiale crollato.

I fattori che determinano la rottura dell'equilibrio naturale sono legati prevalentemente all'azione erosiva sui terreni basali dovuti all'azione delle acque meteoriche e di ruscellamento, a fenomeni di rigonfiamento ed espansione degli stessi, oltre alla circolazione di acque ipodermiche.

**Bibliografia**

- AA.WV., 1993  
*Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Regione Emilia Romagna - Regione Veneto.
- AA.WV., 1994.  
*Corso di formazione professionale in Ingegneria Naturalistica*, atti, Regione Veneto - Dipartimento Foreste, Belluno.
- AA.WV., 2000a  
*Manuale di metodologie e tecniche a basso impatto in materia di difesa del suolo. Studio di nuove metodologie ambientali in materia di difesa del suolo e miglioramento ambientale*, Regione Marche - WWF, Edizioni Edicomp, allegato n. 10, settembre.
- AA.WV., 2000b  
*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1: Processi territoriali e criteri metodologici*, collana "Fiumi e Territorio", Regione Toscana, aprile.
- Carbonari A., Mezzanotte M., 1993  
*Tecniche naturalistiche nella sistemazione del territorio*, Provincia Autonoma di Trento - Servizio Ripristino e Valorizzazione Ambientale.
- Cornellini P., Zoccoli G., 1995  
*Interventi di Ingegneria Naturalistica nei lavori ferroviari*, in *Tecniche di rinaturazione e di Ingegneria Naturalistica*, a cura di G. Sauli e S. Siben, Patron Editore.
- De Colle C., Mocchiutti A., 2000  
*Opere di Ingegneria Naturalistica per prevenire le calamità naturali*, in "Rassegna tecnica", n. 3.
- Florineth F., 1995  
*Consolidamento di frane ed erosioni in zone montane*, in *Tecniche di rinaturazione e di Ingegneria Naturalistica*, a cura di G. Sauli e S. Siben, Patron Editore, Bologna.
- Galeotti L., 2000  
*L'Ingegneria Naturalistica nella sistemazione dei versanti*, in *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1: Processi territoriali e criteri metodologici*, collana "Fiumi e Territorio", Regione Toscana, aprile.
- Hofmann A., 1963  
*La sistemazione idraulico-forestale dei bacini montani*, UTET, Torino.
- Hoffmann J., 1992  
*Dimostrazioni sull'utilità pratica delle tecniche costruttive dell'Ingegneria Naturalistica*, in *Tecniche di rinaturazione e d'Ingegneria Naturalistica*, a cura di G. Sauli e S. Siben, Patron Editore, Bologna.
- Luchetta A., 1994  
*Ingegneria Naturalistica: origine, evoluzione e prospettive*, atti del "Corso di formazione professionale in Ingegneria Naturalistica", Sospirolo (BL), aprile.
- Ministero dell'Ambiente, 1997  
*Linee guida per capitolati speciali per interventi di Ingegneria Naturalistica e lavori di opere a verde*, Roma, settembre.
- Panizza M., 1992  
*Geomorfologia*, Pitagora Editrice, Bologna.
- Panizza M., 1987  
*Geomorphological hazard assessment and the analysis of Geomorphological risk*, in "Intern. Geomorph.", n. 1, Wiley & Sons, London.
- Puglisi S., 2000a  
*Il controllo dell'erosione di versante con le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica*, in "L'Acqua", numero speciale, n. 3.
- Puglisi S., 2000b  
*Recupero delle aree in frana e loro destinazione a verde*, in "Italus Hortus", vol. 7, numero speciale, aprile.
- Schiechl H.M., 1990  
*Esempi concreti di consolidamento di sponde e di scarpate fluviali*, in "Acer", 1990.
- Schiechl H.M., 1995  
*Esempi significativi di consolidamento di scarpate stradali mediante l'Ingegneria Naturalistica*, in *Tecniche di rinaturazione e di Ingegneria Naturalistica*, a cura di G. Sauli e S. Siben, Patron Editore, Bologna.

### 11.1 Il sistema fiume

L'insieme delle relazioni esistenti tra gli esseri viventi e dei loro rapporti con l'ambiente circostante forma un'unità funzionale chiamata *ecosistema*: la modifica di una delle componenti biotiche o abiotiche del sistema provoca inevitabilmente delle conseguenze sulle altre.

Dipendenti da dinamiche e peculiari condizioni climatiche, pedologiche e morfologiche, le diverse specie vegetali ed animali si sono evolute e sviluppate in comunità, la *biocenosi*, in stretta interdipendenza con il circostante ambiente fisico.

Il "sistema fiume" con l'acqua, l'alveo, le sponde e le rive costituisce un variegato insieme di *habitat* per un elevato numero di organismi viventi. Modellati dagli agenti atmosferici ed in base alle caratteristiche litologiche delle zone attraversate, i corsi d'acqua presentano una notevole diversità strutturale che conferisce a ciascun fiume una propria personalità.

L'aspetto di un corso d'acqua dipende anche dagli interventi operati dall'uomo. Nella maggior parte dei paesi industrializzati, i corsi d'acqua hanno subito pesanti interventi di

regimazione ed i tratti rimasti ancora naturaliformi sono diminuiti drasticamente negli ultimi decenni.

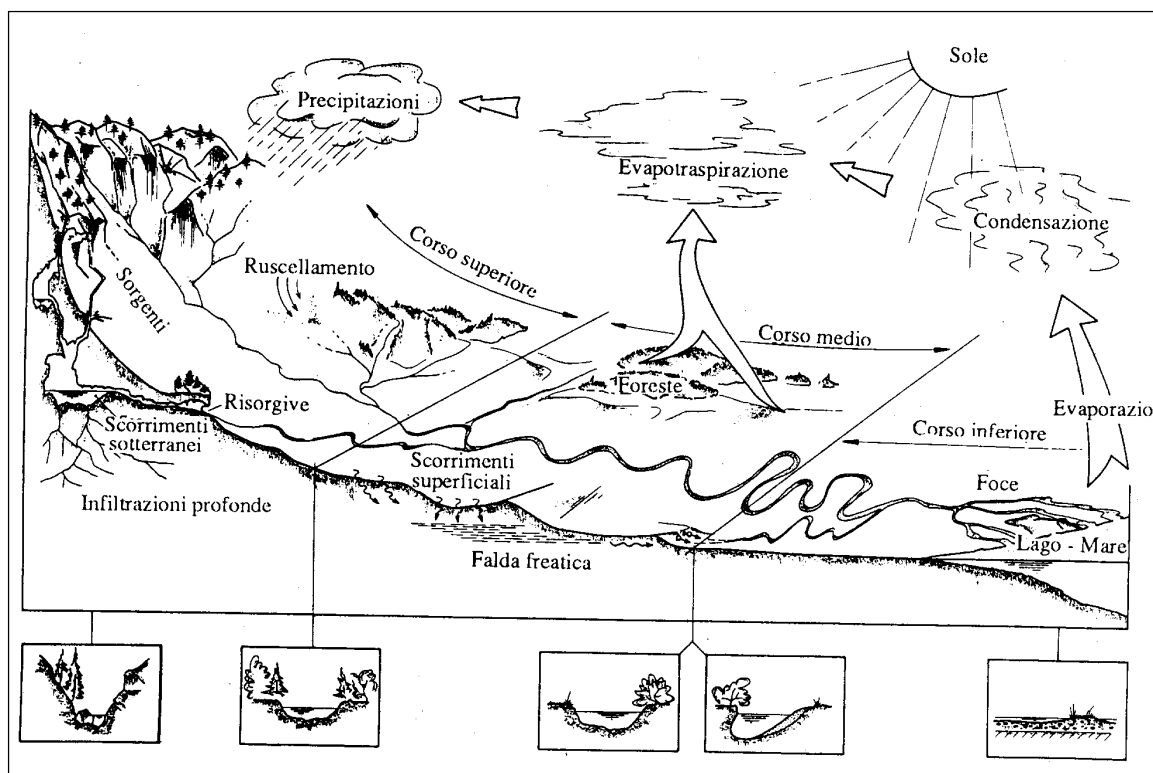
Interessi economici basati su logiche di breve periodo hanno spesso influito in maniera determinante sulla scelta degli interventi da attuare sul territorio. L'evoluzione dei modi di vivere e di pensare, così come i comportamenti sociali, hanno portato negli ultimi cinquant'anni ad un impoverimento di molti ambienti naturali, con una conseguente tendenza all'uniformità ed alla banalizzazione del territorio: i corsi d'acqua, purtroppo, non sono sfuggiti a questa regola.

Anche il modellamento del territorio dipende da diversi aspetti fisici: il principale, oltre al vento, che erode i suoli nudi e contribuisce attivamente a plasmare intere regioni, è indubbiamente l'acqua.

I fenomeni naturali legati all'acqua, come le precipitazioni, le infiltrazioni, le percolazioni ed i ruscellamenti, agiscono in modo complesso, sia a causa della variabilità dei fattori climatici che li regolano, sia per la natura dei suoli che li subiscono (fig. 11.1),

L'acqua forma dei deflussi che possono essere

Fig. 11.1 - Formazione ed evoluzione dei deflussi idrici



Fonte: Lachat, 1991, modificato.

permanenti o temporanei, superficiali o sotterranei, caratterizzati anche da fenomeni chimici di dissoluzione (carsismo).

Per comprendere le origini delle erosioni e delle inondazioni bisogna tenere presente che, da un punto di vista idraulico, l'acqua è un fluido e quando scorre dissipa una parte della propria energia per attrito; questa energia perduta si trasmette al materiale presente nell'alveo sotto forma di una forza che, in condizioni particolari, ne determina lo spostamento: la capacità dell'acqua di trasportare i materiali è direttamente proporzionale a tale energia.

Nel caso di un meandro, l'effetto frenante delle sponde provoca la formazione di vortici laterali, a volte molto forti, che risalgono verticalmente lungo la sponda; si produce in tal modo uno scavo abbastanza localizzato in funzione della portata del corso d'acqua e ciò conferisce ai meandri una forma piuttosto regolare (fig. 11.2).

L'erosione ed il conseguente trasporto di materiale, in sintesi, dipende principalmente dalle seguenti caratteristiche del fiume:

- portata idrica;
- pendenza delle sponde;
- altezza delle sponde;
- pendenza dell'alveo;
- larghezza dell'alveo;
- granulometria del materiale litoide del fondo.

In funzione dei sopracitati parametri si possono verificare, quindi, diverse forme di trasporto:

- *per trascinamento*: fenomeno che si verifica nel caso di piene eccezionali durante le quali i materiali inerti di una certa dimensione vengono spostati per brevi distanze, ma agendo

come una fresa, provocano notevoli erosioni al fondo;

- *per rotolio*: ciò accade soprattutto nei corsi d'acqua a regime torrentizio;
- *per saltazione*: i ciottoli ed i sassi compiono dei salti (da qualche centimetro a parecchi metri) in funzione delle loro dimensioni;
- *in sospensione*: i materiali di dimensioni molto piccole, come le argille, i limi e le sabbie, sono presenti nell'acqua senza esservi disciolti.

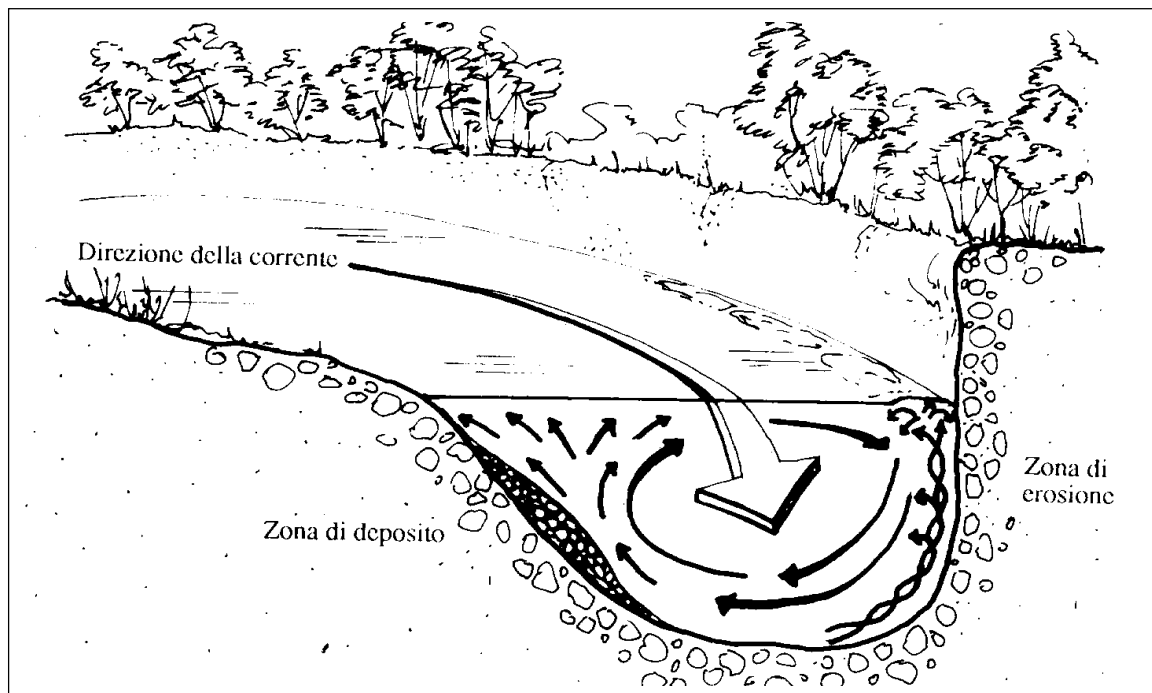
Non va infine dimenticato il trasporto in soluzione, nel quale gli elementi sono legati alle molecole d'acqua conferendone diverse e complesse proprietà fisico-chimiche.

## 11.2 Connessione tra il settore tecnico di progettazione idraulica e le opere di Ingegneria Naturalistica

### 11.2.1 Introduzione

Le più recenti impostazioni progettuali nel campo delle opere idrauliche hanno portato ad un ribaltamento nell'atteggiamento nei confronti dei corsi d'acqua, non più visti solo come entità dalle quali l'uomo si deve proteggere, ma come un patrimonio da valorizzare. Numerose sono ormai le azioni normative che recepiscono tale punto di vista, dalla legge n. 183, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo", del 18 maggio 1989 e successive modifiche ed integrazioni, sulla difesa del suolo che ben esprime l'esigenza di tale visione prevedendo varie fasi di conoscenza, di programmazione, di piani-

Fig. 11.2 - Dinamica della corrente idrica in un meandro



Fonte: Lachat, 1991, modificato.

ficazione e di attuazione degli interventi a livello di bacino idrografico, a quelle di varie Autorità di Bacino di carattere nazionale ed interregionale e del Ministero dell'Ambiente. La progettazione delle sistemazioni idrauliche va affrontata con una visione sistemica, che parte dalla constatazione che un corso d'acqua non è un canale ove far transitare il fluido il più rapidamente possibile, bensì un ecosistema complesso nel quale le varie componenti viventi e non viventi entrano in tipiche relazioni ed ove la recisione di un legame può mettere in crisi l'intero equilibrio.

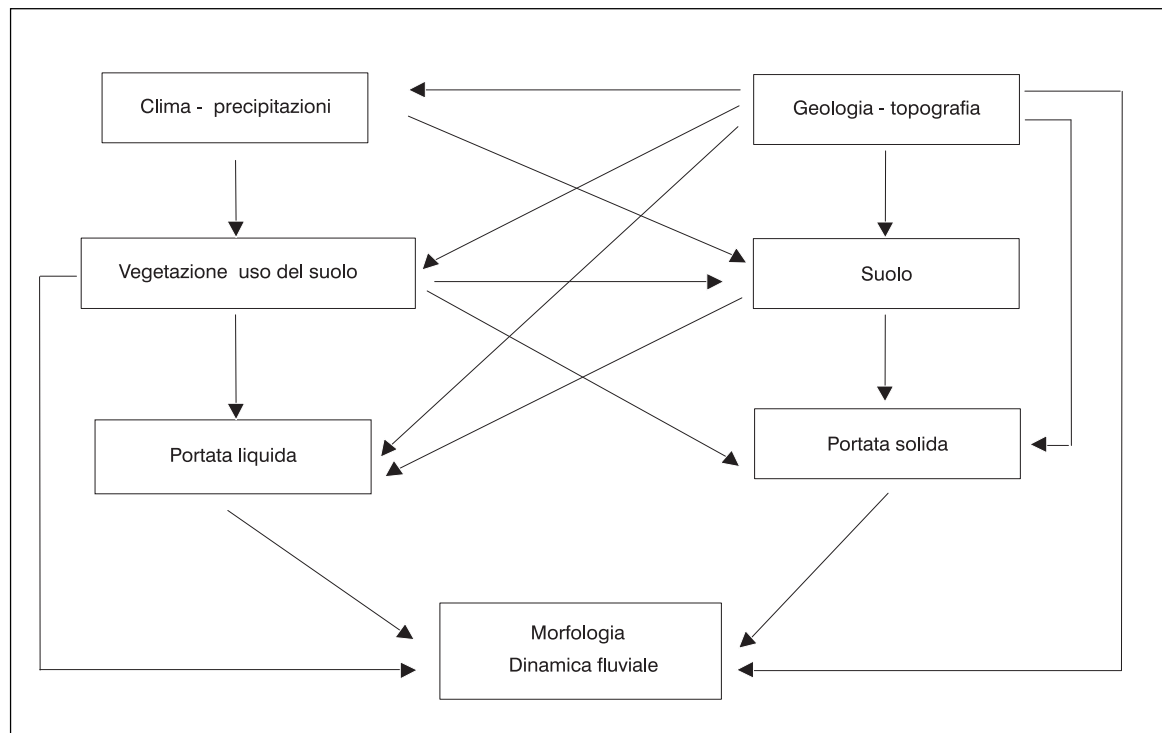
Le sistemazioni idrauliche vanno realizzate dopo uno studio a livello di bacino idrografico, iniziando a monte con interventi sui versanti in erosione e sull'alveo, per consentire l'aumento del tempo di corrivazione delle acque e la diminuzione del trasporto solido a valle e proseguendo nei tratti intermedi e di pianura con la realizzazione di casse d'espansione per abbassare i picchi delle piene, ottenendo aree da sistemare secondo principi naturalistici che aumentano la biodiversità, favorendo al massimo lo sviluppo della vegetazione ripariale.

Il progetto di Ingegneria Naturalistica nel settore delle sistemazioni idrauliche si propone quindi come un progetto multidisciplinare, dove l'ingegnere idraulico e l'esperto di Ingegneria Naturalistica lavorano insieme per individuare gli interventi di rinaturalizzazione e di Ingegneria Naturalistica, per le sistemazioni antierosive e di consolidamento, con l'obiettivo dell'aumento della biodiversità del territorio attraversato dall'alveo e del miglioramento della rete ecologica esistente.

### 11.3 Problematiche dei corsi d'acqua di fondovalle e montani

Il modellamento del territorio dipende da diversi fattori fisici: il principale, oltre al vento, è l'acqua, che modella le superfici e genera forme territoriali nuove dipendentemente dai substrati litologici e dagli ecosistemi che incontra. I fenomeni naturali legati all'acqua, come le precipitazioni, le infiltrazioni, le percolazioni ed i ruscellamenti modificano la situazione sia a causa della variabilità dei fattori climatici che li regolano, sia per la natura dei suoli che li subiscono, sia per il tipo di uso antropico che viene fatto dei suoli stessi. Lo schema che segue riporta i legami tra i fattori che determinano la morfologia del corso d'acqua (fig. 11.3). Le variazioni di modello fluviale che hanno luogo in un processo evolutivo continuo, non sono altro che l'espressione di equilibri instabili tra i fattori che determinano la morfologia di un sistema fluviale. Per comprendere le origini delle erosioni e delle inondazioni bisogna tenere presente che, da un punto di vista idraulico, l'acqua è un fluido che dissipa energia per attrito lungo le sponde e il fondo dell'alveo. L'energia si trasforma in forza che può determinare lo spostamento del materiale che costituisce l'alveo fluviale (fenomeni erosivi): la capacità dell'acqua di trasportare i materiali è direttamente proporzionale a tale energia (forza di trascinamento). L'erosione e il conseguente trasporto di materiale dipendono in primo luogo dalle caratteristiche del bacino idrografico (in particolare dalla dinamica dei versanti) e dalle seguenti caratteristiche morfologiche principali del corso d'acqua:

Fig. 11.3 - Fattori che determinano la morfologia di un corso d'acqua



- portata idrica;
- pendenza delle sponde;
- altezza delle sponde;
- pendenza dell'alveo;
- larghezza dell'alveo;
- granulometria del materiale litoide di fondo.

Il tipo e l'entità dell'erosione dipendono dai sopracitati parametri.

Generalmente, al diminuire delle pendenze la forza di trascinamento si smorza fino al punto da produrre accumuli di materiale (deposito e sedimentazione) anziché erosione.

Questi fenomeni di erosione e deposito determinano l'evoluzione continua della morfologia degli alvei fluviali, che si possono distinguere in tre tipologie differenti:

- *aste montane*: caratterizzate da forti pendenze, da substrato litoide da un'azione erosiva o di scavo e da un'elevata azione di trascinamento che mobilita periodicamente materiale detritico di varia pezzatura, dalla sabbia ai grossi blocchi. Se il bacino d'impluvio è situato al di sotto del limite dei boschi, l'alimentazione avviene da sorgenti perenni e il deflusso è più regolare; in queste zone possono essere utilmente previsti interventi mirati alla conservazione della copertura boschiva e al raggiungimento di una buona regimazione dei deflussi superficiali, limitando il trasporto solido a valle. I problemi maggiori si hanno per i tratti posti al di sopra del limite del bosco, dove non è possibile utilizzare la vegetazione per rallentare la velocità dell'acqua e diminuire il trasporto solido. In questi tratti possono rendersi necessarie opere di imbrigliamento;
- *aste intermedie*: caratterizzate da una forza erosiva inferiore, tratti di deposito di materiali grossolani (ciottoli, ghiaie), l'alveo è ampio, ramificato, intrecciato, a morfologia instabile. La pendenza dell'alveo diminuisce via via che si procede verso la confluenza di fondovalle dove, in conseguenza dello spagliamento della corrente, si determinano ampi depositi di materiale detritico (coni di deiezione). In queste zone, la presenza di insediamenti richiede spesso la regolarizzazione e regimazione dell'alveo.

Tali interventi riducono la scabrezza aumentando le velocità e la capacità di trasporto solido del torrente. Ciò causa la distruzione temporanea delle comunità vegetali e animali, oltre che aumentare le probabilità di esondazione a valle;

- *aste di pianura*: caratterizzate da alvei unici, sinuosi con anse e meandri. Le zone in erosione si alternano a quelle di deposito, formando appunto i meandri caratterizzati da erosione in sponda esterna alla curva e depositi in sponda interna. Gran parte dei corsi d'acqua di questo tipo sono caratterizzati da un sostanziale equilibrio tra erosione e sedimentazione, pur essendo talvolta notevole l'apporto solido proveniente dagli affluenti. In particolari tratti, tuttavia, l'azione di trascinamento delle acque è paragonabile a quella del corso inferiore dei torrenti montani e quindi è in grado di causare fenomeni d'escavazione intensi. Tali fenomeni possono poi essere esaltati dall'uomo, dal disboscamento e dalla messa a coltura del suolo forestale e dalla costruzione di edifici e sovrastrutture che, essendo spesso realizzate all'interno delle aree di pertinenza fluviale, causano ostacoli di deflusso, riduzione delle sezioni trasversali, aumento della velocità e dell'azione di trascinamento delle correnti idriche. Dal punto di vista ecologico le aste di fondovalle ricoprono oggi l'importantissimo ruolo di "corridoi ecologici", dato il drastico impoverimento ecosistemico delle aree coltivate e l'intensificazione dell'uso antropico dei suoli pianeggianti.

### 11.3.1 Processi di erosione e meccanismi di instabilità di sponde fluviali

L'arretramento di una sponda deriva raramente da un singolo processo, ma è piuttosto il risultato di una complessa interazione tra vari processi e meccanismi che spesso agiscono sulla sponda simultaneamente.

Questi sono raggruppati in due principali categorie:

- processi di erosione, attraverso i quali si ha

Tab. 11.1 - Principali processi di erosione agenti su sponde fluviali

Processo	Descrizione
Erosione fluviale per corrente parallela ( <i>fluvial entrainment by parallel flow</i> )	Particelle asportate da parte di corrente parallela alla sponda
Erosione fluviale per corrente incidente ( <i>fluvial entrainment by impinging flow</i> )	Particelle asportate da parte di corrente ortogonale alla sponda
Erosione per rigagnoli e per fossi ( <i>rills and gullies</i> )	Erosione da parte di acque di ruscellamento concentrato
Sifonamento ( <i>piping/sapping</i> )	Rimozione di particelle ad opera della filtrazione all'interno della sponda
Gelo/disgelo ( <i>freeze/thaw</i> )	Particelle (o aggregati) rimosse dall'azione del gelo
Onde generate dal vento ( <i>wind waves</i> )	Particelle (o aggregati) distaccate dall'azione di onde generate dal vento
Onde generate artificialmente (solo in canali e superfici navigabili)	Particelle (o aggregati) distaccate dall'azione di onde generate artificialmente

**Tab. 11.2 - Principali movimenti di massa agenti su sponde fluviali**

Meccanismo di rottura	Descrizione
Scivolamento rotazionale ( <i>rotational slip</i> )	Scivolamento lungo una superficie di rottura curva o concava verso l'alto
Scivolamento traslativo superficiale ( <i>shallow slide</i> )	Scivolamento lungo una superficie di rottura superficiale parallela al pendio
Scivolamento planare ( <i>planar failure</i> )	Scivolamento lungo una superficie di rottura piana, in genere con frattura di trazione
Ribaltamento ( <i>slab - type failure</i> )	Ribaltamento di blocchi o colonne di terra
Crollo di masse aggettanti ( <i>cantilever failure</i> )	Crollo di blocchi di materiale in aggetto
Crollo di terra ( <i>soil fall</i> )	Crollo di particelle individuali (o aggregati) di terra da sponde sub-verticali
Colata granulare secca ( <i>dry granular flow</i> )	Colamento di materiale granulare secco
Colata di terra bagnata ( <i>wet earth flow</i> )	Colamento con possibile liquefazione di materiale saturo
Sifonamento ( <i>pop-out</i> )	Movimento di massa della porzione inferiore di una sponda in seguito a forti pressioni interstiziali

**Tab. 11.3 - Schema riepilogativo dei principali fattori e cause dei processi di erosione e dei meccanismi di instabilità agenti su sponde fluviali**

<b>Erosione fluviale corrente parallela o incidente</b>	Aumento azioni tangenziali della corrente $\tau$ : per aumento delle altezze idrometriche durante piene; incremento azioni tangenziali su sponda esterna di meandri per distribuzione asimmetrica velocità e correnti secondarie.
	Riduzione sforzo di taglio critico materiale $\tau_c$ : per processi di degradazione meteorica, filtrazione o circolazione di fluidi interstiziali con passaggio da materiale addensato a sciolto.
<b>Rigagnoli e fossi</b>	Erosività dell'evento piovoso, erodibilità del terreno, morfologia della sponda (altezza e pendenza), copertura vegetale.
<b>Sifonamento</b>	Velocità del flusso di filtrazione superiore alla velocità critica particelle (superamento del gradiente idraulico critico), soprattutto in seguito a precipitazioni e durante svasso di una piena.
<b>Vento, gelo/disgelo</b>	Caratteristiche climatiche dell'area; escursioni termiche; esposizione della sponda; caratteristiche del materiale.
<b>Movimenti di massa</b>	<i>Aumento delle forze di taglio:</i> aumento di altezza e pendenza della sponda per erosione fluviale al piede o abbassamento del fondo; aumento peso di volume materiale per infiltrazione; sovraccarichi sulla sommità della sponda; sollecitazioni transitorie. <i>Riduzione resistenza al taglio:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Bassi valori iniziali di resistenza al taglio:</i> composizione e tessitura del materiale; alternanza di livelli a diversa permeabilità;</li> <li>• <i>Riduzione del termine resistenza legato alla suzione:</i> infiltrazione verticale (acque di precipitazione e/o laterale (acqua del fiume durante piene));</li> <li>• <i>Riduzione degli sforzi efficaci:</i> aumento delle pressioni interstiziali per innalzamento superficie freatica; fenomeni di filtrazione; liquefazione; carico non drenato;</li> <li>• <i>Riduzione dei parametri di resistenza al taglio:</i> per processi di degradazione fessurazione, idratazione argille, crio- e termoclastismo, ecc.); possibile calpestio ad opera di animali, persone o mezzi.</li> </ul>

rimozione e trasporto di particelle individuali o aggregati di particelle dalla superficie esterna della sponda in arretramento;  
- movimenti di massa, caratterizzati da movimenti di masse di materiale costituente la sponda in seguito all'azione della gravità.  
Una sintetica descrizione dei principali processi

e meccanismi di instabilità responsabili dell'arretramento di sponde fluviali è riportata nelle **tabelle 11.1-11.3**.

L'inesco del processo di erosione fluviale può essere schematicamente ricondotto alla condizione in cui le azioni tangenziali esercitate dalla corrente (T) superano lo sforzo di taglio

critico di inizio del moto per un dato materiale costituente la sponda ( $T_c$ ). Per quanto riguarda le cause d'innescio di movimenti di massa è utile fare invece riferimento, come tipicamente avviene nell'analisi di stabilità dei pendii, al rapporto forze destabilizzanti e stabilizzanti, le prime legate alle sollecitazioni di taglio agenti su una potenziale superficie di scivolamento all'interno del pendio, quelle stabilizzanti legate invece alla resistenza al taglio del materiale.

Per quanto riguarda quest'ultima occorre notare che il materiale che costituisce le sponde fluviali è, almeno per gran parte dell'anno, non saturo. All'interno della sponda (in particolare di quelle costituite da materiale fine) è comunemente presente, al di sopra della falda, una frangia di risalita capillare seguita verso l'alto da una zona di parziale saturazione, con filetti d'acqua continui o con fenomeni di capillarità locali, che si può estendere fino al piano di campagna. Le condizioni di pressioni interstiziali nella zona non satura hanno importanti effetti in termini di stabilità della sponda (Rinaldi, Casagli, 1999). È pertanto utile in questi casi, per meglio inquadrare fattori che possono determinare la stabilità o l'innescio di movimenti di massa, far riferimento ad un criterio di rottura più generale di quello normalmente adottato per condizioni sature, che tenga conto anche del possibile sviluppo di pressioni negative.

Il criterio normalmente utilizzato in tali casi è quello proposto da Fredlund *et al.* (1978) che assume la forma seguente:

$$\tau = c' + (u_a - u_w) \tan \Phi^b + (s - u_a) \tan \Phi'$$

dove:

- $c'$  = coesione efficace;
- $(u_a - u_w)$  = suzione;
- $\Phi^b$  = angolo di attrito in termini di suzione;
- $\Phi'$  = angolo di attrito in termini di sforzi efficaci.

Il termine addizionale di resistenza dovuto alla suzione tende a ridursi o a scomparire del tutto (da cui il termine di coesione apparente) a seguito di eventi meteorici (infiltrazione verticale dell'acqua di precipitazione, infiltrazione laterale dell'acqua del fiume durante la piena), quando il terreno si avvicina o raggiunge condizioni di saturazione, nel qual caso la resistenza al taglio è esprimibile tramite il criterio di Mohr-Coulomb.

Facendo riferimento quindi al criterio di rottura generale per terreni insaturi, la condizione in cui le forze resistenti siano inferiori alle forze destabilizzanti è pertanto riconducibile ad uno dei seguenti quattro casi:

- condizioni iniziali che determinano bassi valori di resistenza al taglio;
- riduzione del termine di resistenza legato alla suzione;
- riduzione degli sforzi efficaci;
- riduzione dei parametri di resistenza al taglio ( $c'$ ,  $\Phi'$ ,  $\Phi^b$ ).

### 11.3.2 Processi di sedimentazione

Si possono schematicamente distinguere i processi di: *sedimentazione laterale* e di *sedimentazione verticale*, anche se essi in genere agiscono in combinazione.

La *sedimentazione laterale* è quella legata alla migrazione delle barre nei canali attivi, nei sistemi a canali intrecciati, o al tipico processo d'accrescimento della barra di meandro nei sistemi meandriiformi.

La *sedimentazione verticale* è quella dovuta a tracimazione (*overbank*), la quale determina una progressiva accrezione verticale del prisma alluvionale, il cui tasso dipende da numerosi fattori quali la produzione di sedimenti nel bacino, il tasso di subsidenza, le variazioni climatiche e del livello marino.

Alla base di sponde fluviali in arretramento, il materiale derivante dai vari meccanismi di rottura che non viene trasportato direttamente dalla corrente, unitamente a quello prodotto dai vari processi di degradazione, tende a depositarsi almeno per un certo tempo alla base della sponda. La rimozione o la stabilizzazione di tale materiale dipendono principalmente dal bilancio tra tasso di alimentazione da parte dei processi che agiscono sulla sponda e tasso di asportazione ad opera della corrente, secondo un meccanismo noto come "controllo del punto basale" (*basal endpoint control*: Thorne, 1982). In base a tale concetto, si possono schematicamente distinguere tre situazioni (Lawler *et al.*, 1997):

- *condizioni di accumulo*, quando i movimenti di massa apportano materiale alla base della sponda con una velocità maggiore rispetto al tasso di rimozione; si forma, pertanto, un accumulo di materiale alla base che riduce l'altezza e la pendenza della sponda e, di conseguenza, comporta una progressiva stabilizzazione della stessa;
- *condizioni d'equilibrio*, se i processi di apporto e rimozione si bilanciano tra loro, la sponda è in equilibrio dinamico ed evolve per arretramento parallelo;
- *condizioni di erosione*, quando l'erosione è tale da comportare una rimozione completa del detrito alla base della sponda ed è inoltre in grado di produrre un abbassamento del fondo, aumentando ulteriormente l'instabilità della sponda.

### 11.3.3 Il ruolo della vegetazione

Lo sviluppo e l'utilizzazione di tecniche di Ingegneria Naturalistica pone il problema di valutare gli effetti che possono aversi in seguito all'impianto di nuova vegetazione su una sponda fluviale. Viceversa, la parziale o totale asportazione di vegetazione da un tratto di sponda, che ha spesso costituito durante gli ultimi decenni una pratica estremamente comune da parte degli Enti preposti all'intervento sui corsi d'acqua, pone un problema di tipo opposto e solo recentemente si è messa in discus-



sione l'opportunità e la convenienza di tale tipo di intervento, anche in conseguenza della contemporanea affermazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica.

Risulta pertanto evidente la necessità di considerare attentamente tutti i possibili effetti che la vegetazione può avere nei confronti dei processi fluviali, in modo da poter valutare, a seconda della situazione, l'opportunità o meno di impiantare nuova vegetazione o, viceversa, di asportare quella esistente.

La vegetazione ha, infatti, molteplici effetti, sia nei confronti dei fenomeni di esondazione che dei processi responsabili dell'arretramento di una sponda, così come dei fenomeni di sedimentazione e di trasporto solido. Alcuni di tali effetti possono essere considerati positivi o stabilizzanti altri, viceversa, negativi o destabilizzanti. La valutazione degli effetti della vegetazione ed il bilancio tra quelli stabilizzanti e quelli destabilizzanti dovrebbero costituire il punto di partenza sul quale basare qualsiasi criterio di gestione e strategia di intervento.

Per inquadrare correttamente gli effetti della vegetazione, vengono di seguito dapprima descritti sinteticamente i principali processi, soprattutto quelli responsabili dell'arretramento di sponde fluviali, la cui mitigazione è in genere un obiettivo primario agli interventi di Ingegneria Naturalistica. Per quanto riguarda i processi di erosione, vengono descritti gli effetti:

- nei confronti delle azioni tangenziali della corrente;
- dell'erodibilità del materiale costituente la sponda;
- nei confronti dei processi di erosione superficiale e dilavamento.

Per quanto riguarda invece i movimenti di massa, si trattano separatamente gli effetti della vegetazione che vanno ad influire:

- sulle azioni tangenziali;
- sulle pressioni interstiziali;
- sulla resistenza al taglio del materiale.

Viene infine accennata:

- il ruolo della vegetazione nei confronti dei processi di sedimentazione, in particolare di quelli che controllano la stabilizzazione di una sponda precedentemente instabile;
- i fenomeni di trasporto e sedimentazione di materiale detritico vegetazionale.

#### 11.3.4 Effetti della vegetazione sulle azioni tangenziali della corrente

La valutazione degli effetti della vegetazione riparia sulla distribuzione delle azioni tangenziali della corrente è molto complessa ed ancora non ben conosciuta in tutti i suoi aspetti.

La complessità del problema è duplice: oltre allo studio della distribuzione delle azioni tangenziali lungo il perimetro di una sezione trasversale, problema già molto articolato che necessita di una serie di schematizzazioni ed approssimazioni, nel caso di alvei con sponde vegetate è necessario comprendere come la vegetazione influisce su tale distribuzione ed an-

che come tale influenza vari nel tempo, dal momento che la scabrezza dovuta alle piante cambia su scala stagionale e con la crescita della vegetazione stessa.

Si deve, inoltre, considerare che la vegetazione, almeno quella flessibile, tende a piegarsi quando sottoposta all'azione della corrente e pertanto i suoi effetti variano anche sulla base del singolo evento di piena in funzione dei livelli idrometrici raggiunti dal fiume.

In generale, si può comunque dire che l'effetto principale della vegetazione nei confronti dei processi di erosione fluviale è quello di:

- un *aumento della scabrezza* nella zona prossima alla sponda;
- una conseguente *riduzione della velocità e delle azioni tangenziali della corrente*;
- una *deviazione della corrente dal perimetro bagnato*, impedendo un impatto diretto nei confronti del materiale della sponda, soprattutto nel caso di corrente incidente;
- un'*azione di protezione indiretta* nei riguardi della sponda stessa.

In entrambi i casi è molto importante sia il tipo di vegetazione presente, sia la sua distribuzione spaziale (Thorne, 1990).

Nel caso di vegetazione erbacea ed arbustiva, l'effetto è significativo soprattutto per basse velocità della corrente, mentre si riduce significativamente all'aumentare della velocità e si annulla completamente quando gli steli delle piante risultano completamente piegati nel senso della corrente non offrendo più una significativa resistenza al moto.

Nel caso di vegetazione arborea, i tronchi delle specie legnose continuano a ritardare il deflusso anche per velocità della corrente molto elevate. Tali tipi di piante possono tuttavia provocare erosioni localizzate a causa dello sviluppo di turbolenza e dell'accelerazione locale della corrente. A questo proposito diventa molto importante la densità della vegetazione arborea presente. La distanza tra gli alberi può infatti determinare situazioni notevolmente differenti: singoli alberi o piccoli gruppi possono costituire un ostacolo al deflusso creando macroturbolenze; in tal caso la corrente può agire direttamente sul tratto di sponda compreso tra due piante o gruppi di alberi successivi. Affinché la presenza degli alberi sia realmente efficace nella mitigazione dell'azione erosiva della corrente, essi devono essere disposti abbastanza vicini, in modo che la zona di scia dovuta a ciascuno di essi si estenda fino al successivo e non abbia un impatto diretto sulla sponda nello spazio interposto.

In questo senso l'effetto degli alberi continua anche dopo la morte delle piante. Un albero isolato, una volta caduto, può generare erosione localizzata e, se non viene rimosso, può costituire un punto di grave instabilità. Un denso accumulo di tronchi caduti sulla sponda può invece rappresentare un'efficace protezione dall'erosione, generando però un aumento del rischio idraulico durante le piene quando la vegetazione morta, trascinata dalla corrente, può

ostruire parzialmente o totalmente le sezioni ristrette del fiume.

Per la valutazione degli effetti della vegetazione si deve inoltre tener conto delle dimensioni del fiume: in un corso d'acqua di piccole dimensioni, ad esempio, la presenza di un tronco caduto implica la deviazione della corrente e genera facilmente erosione sulla sponda opposta, effetto chiaramente trascurabile nel caso di fiumi sufficientemente larghi.

### 11.3.5 Effetti della vegetazione sull'erodibilità del materiale

Nei confronti dell'erosione fluviale, la presenza di vegetazione tende a limitare fortemente il distacco di granuli individuali o aggregati del materiale di sponda.

In confronto a sponde non vegetate, su sponde vegetate con una buona copertura si riscontra una riduzione di erosione dovuta all'azione diretta della corrente tra uno e due ordini di grandezza.

Le radici della vegetazione presente sulla superficie della sponda hanno l'effetto di favorire, in particolare nel caso di materiale coesivo, il legame tra le singole particelle e di conferire al terreno una coesione aggiuntiva.

Ciò previene quindi che l'erosione fluviale avvenga attraverso la rimozione dei singoli granuli.

La condizione critica di innesco dell'erosione fluviale, pertanto, non è tanto associata alle dimensioni dei singoli granuli costituenti la sponda, quanto piuttosto alla condizione di rottura o di sradicamento delle piante presenti, condizione che in genere può essere raggiunta per azioni tangenziali della corrente notevolmente più elevate di quelle corrispondenti allo sforzo di taglio critico per i granuli costituenti la sponda. La presenza di vegetazione ha pertanto l'effetto di aumentare notevolmente la resistenza all'erosione dovuta alla corrente fluviale.

Nei riguardi di materiale granulare, come ad esempio nel caso sia presente un livello di ghiaia embriciata ed addensata nella porzione basale della sponda, la presenza di radici può talora avere un effetto contrario di riduzione dell'addensamento del materiale e renderlo più facilmente asportabile da parte della corrente. Anche nei riguardi di tali effetti la maggiore o minore efficacia della presenza di vegetazione è legata a fattori quali:

- il tipo di vegetazione;
- l'età;
- la spaziatatura;
- la densità;
- la posizione della vegetazione stessa sulla sponda.

Affinché la presenza di vegetazione sia efficace contro l'erosione essa deve estendersi fino al livello di magra, altrimenti la corrente può facilmente esercitare un'azione di erosione alla base della sponda destabilizzandone anche la porzione superiore.

### 11.3.6 Effetti della vegetazione sull'erosione superficiale e sul sifonamento

La vegetazione svolge un ruolo sicuramente positivo riguardo alla mitigazione dei processi di erosione superficiale, seppure questa sia raramente osservabile ed efficace su sponde fluviali e difficilmente costituisca una causa primaria di arretramento.

L'azione di intercettazione delle gocce di pioggia da parte delle foglie e la traspirazione riduce l'entità di ruscellamento superficiale, al quale principalmente i processi di erosione superficiale sono legati.

La presenza, inoltre, di vegetazione sulla superficie della sponda esercita anche in questo caso, come per la corrente fluviale, un'azione di protezione diretta, ostacolando il distacco di singole particelle e al tempo stesso rallentando la velocità delle acque di ruscellamento superficiale e quindi riducendone la capacità erosiva.

Un ruolo positivo è svolto, inoltre, dalla sostanza organica che si concentra in superficie, derivando dalla decomposizione di resti di fibre vegetali, che favorisce l'aggregazione di particelle del terreno e facilita l'infiltrazione riducendo quindi il ruscellamento superficiale e aumentando l'acqua disponibile per la crescita di nuove piante.

Nei confronti del sifonamento, se da un lato le piante tendono a ridurre il contenuto d'acqua nel terreno per la loro azione di drenaggio, riducendo di conseguenza l'entità delle forze di filtrazione, dall'altro lato la presenza di radici all'interno della sponda può favorire la formazione di vie preferenziali per la filtrazione stessa. Tale effetto vale soprattutto nel caso di vegetazione morta: le radici lasciate all'interno della sponda perdono con il tempo il loro effetto in termini di incremento di coesione e, al contrario, in seguito alla decomposizione delle stesse, lasciano dei vuoti e delle cavità che riducono la resistenza del materiale ed inoltre favoriscono la circolazione di acqua interstiziale e la possibilità di sviluppo di sifonamento.

### 11.3.7 Effetti della vegetazione sulla stabilità di sponde fluviali

Per quanto riguarda gli effetti sulle variazioni di resistenza al taglio del materiale, ai fini della valutazione degli effetti della vegetazione, vengono di seguito considerate due principali categorie:

- effetti sui parametri di resistenza al taglio;
- effetti della vegetazione sulle pressioni interstiziali, inglobando cioè insieme gli effetti sulla suzione (*porzione insatura della sponda*) e sulle tensioni efficaci (*porzione satura*).

### 11.3.8 Effetti sulle forze di taglio

Il primo effetto da considerare è quello del sovraccarico dovuto alla vegetazione, soprattutto a quella arborea. Seppure esso sia molto

spesso ritenuto un effetto destabilizzante, può in molti casi invece svolgere un ruolo stabilizzante nei confronti della sponda. Il peso della vegetazione, infatti, può essere scomposto in una componente normale ed una parallela al pendio e ad una potenziale superficie di scivolamento. La prima ha un effetto stabilizzante in quanto aumenta gli sforzi efficaci, e quindi la resistenza al taglio per attrito, mentre la seconda ha un effetto destabilizzante dal momento che aumenta le sollecitazioni di taglio lungo la potenziale superficie di scivolamento.

Pertanto, il prevalere degli uni o degli altri effetti dipende principalmente dall'inclinazione della sponda: su sponde con pendenze relativamente basse, il contributo del sovraccarico in direzione del pendio è piccolo rispetto alla componente normale e, di conseguenza, l'effetto netto del sovraccarico è quello di incrementare la stabilità, mentre su sponde molto ripide il sovraccarico riduce la stabilità. In termini molto generali si può dire che, facendo riferimento per semplicità ad uno scivolamento traslativo con superficie di rottura parallela al pendio, il sovraccarico ha effetto stabilizzante quando l'angolo di inclinazione del pendio è inferiore all'angolo di resistenza al taglio del terreno (Greenway, 1987).

Per tale meccanismo di instabilità, Gray e Megahan (1981) hanno in particolare mostrato che il sovraccarico favorisce la stabilità nei casi in cui:

$$c < \gamma_w \cdot H_w \cdot \tan \Phi \cdot \cos^2 \alpha$$

dove:

- $c$  = coesione;
- $\gamma_w$  = peso di volume dell'acqua;
- $H_w$  = altezza della superficie piezometrica al di sopra della superficie di scivolamento;
- $\Phi$  = angolo di attrito del materiale;
- $\alpha$  = inclinazione della sponda.

L'effetto della vegetazione nei confronti delle forze di taglio dipende anche, a parità di geometria della sponda, dalla posizione in cui le piante si trovano: la vegetazione arborea presente sulla sommità di una sponda a forte inclinazione ha un effetto destabilizzante, mentre ha l'effetto contrario se è posta alla base della stessa. In quest'ultimo caso essa svolge, infatti, un'azione di appesantimento al piede, un'azione di contrasto al movimento tramite l'apparato radicale ed, inoltre, favorisce la sedimentazione ed il conseguente sviluppo di una superficie alla base della sponda che ha effetti stabilizzanti anche nei confronti dei processi fluviali.

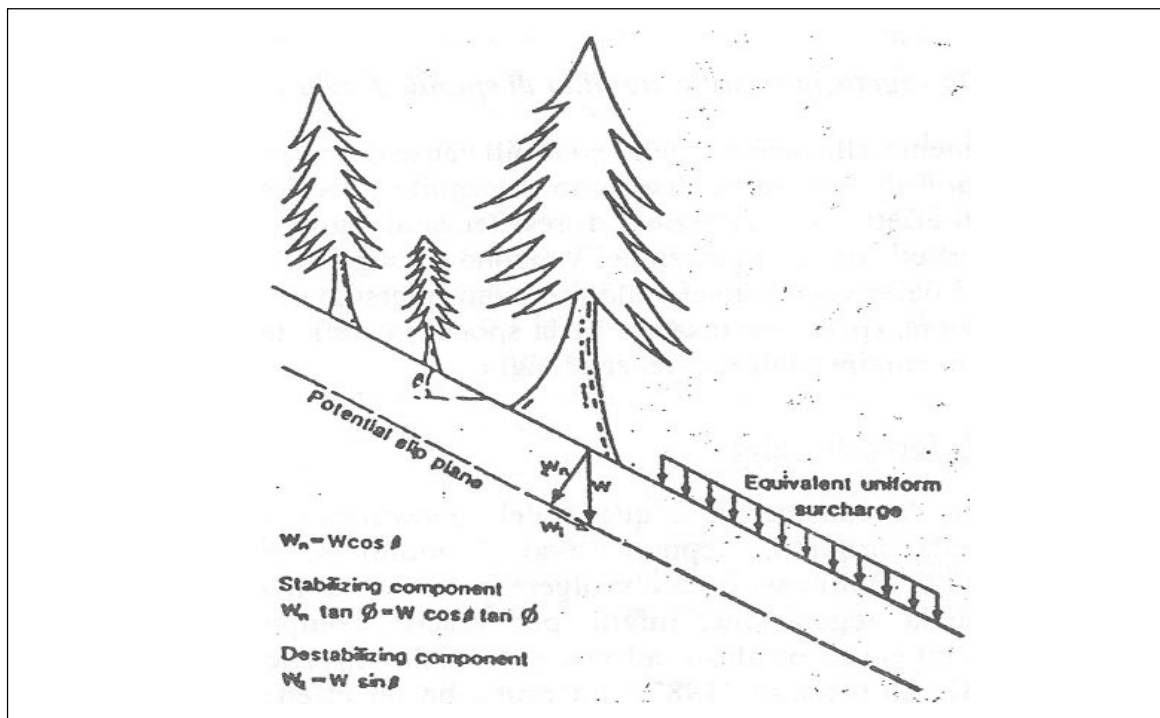
Un secondo effetto della vegetazione nei confronti delle forze di taglio è quello della trasmissione di sollecitazioni dovute al vento. Hsi e Nath (1970), attraverso una simulazione degli effetti del vento su di un versante coperto da bosco, hanno concluso che la tensione di taglio generata dal vento può essere espressa come:

$$\tau_w = C^{1/2} \cdot \rho \cdot V_a^2$$

dove:

$C$  = coefficiente di trascinamento (*drag coefficient*);

Fig. 11.4 - Sovraccarico dovuto al peso della vegetazione



Fonte: Greenway, 1987.

$\rho$  = densità dell'aria;  
 $V_a$  = velocità del vento.

Il coefficiente di resistenza risulta massimo ai margini del bosco, dove un vento di circa 90 km/h può produrre una tensione dell'ordine di 1 kPa.

Se le tensioni generate dal vento agissero simultaneamente su una vasta porzione di copertura arborea posta su di un pendio, ciò potrebbe avere significativi effetti destabilizzanti (Greenway, 1987) (fig. 11.4).

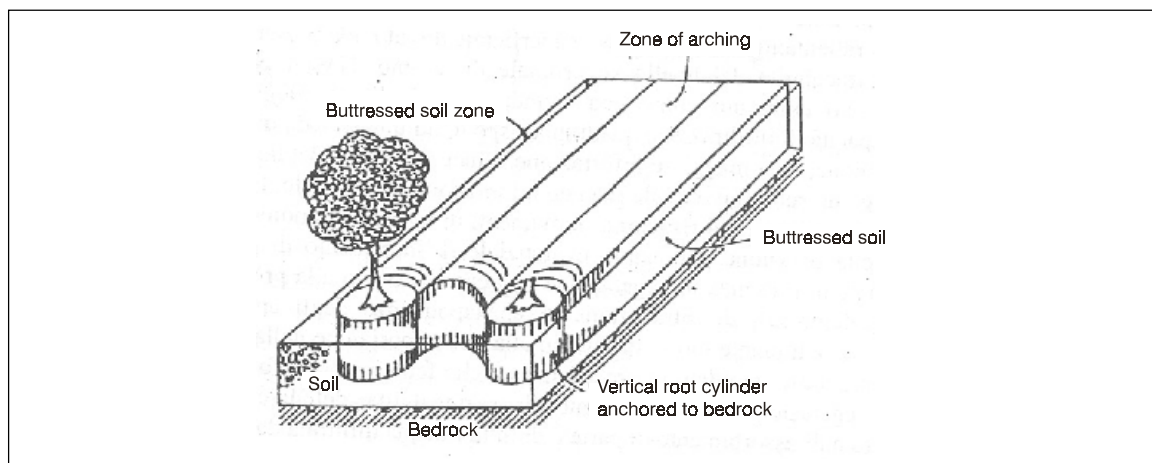
In realtà tale situazione si verifica raramente, soprattutto nel caso di sponde fluviali, dove l'effetto del vento può essere piuttosto risentito dalle singole piante tendendo talora a favorirne lo sradicamento, specie nel caso di alberi con apparati radicali deboli e superficiali. Tuttavia, poco ancora è noto sull'effetto leva prodotto dall'azione del vento sul singolo al-

bero, nonostante alcuni studi teorici condotti su tale aspetto (Brown, Sheu, 1975).

Un ultimo gruppo di possibili effetti della vegetazione nei confronti delle forze di taglio agenti su di una sponda fluviale, o su di un pendio in generale, comprende ancoraggio (*anchoring*), sostegno (*buttressing*) ed "effetto arco" (*arching*) (Gray, 1978; Greenway, 1987). Gli alberi agiscono a favore della stabilità del pendio attraverso la formazione di blocchi distanziati di terreno rinforzato ed ancorato in profondità, cui si appoggia, direttamente o per effetto arco, il terreno retrostante (fig. 11.5).

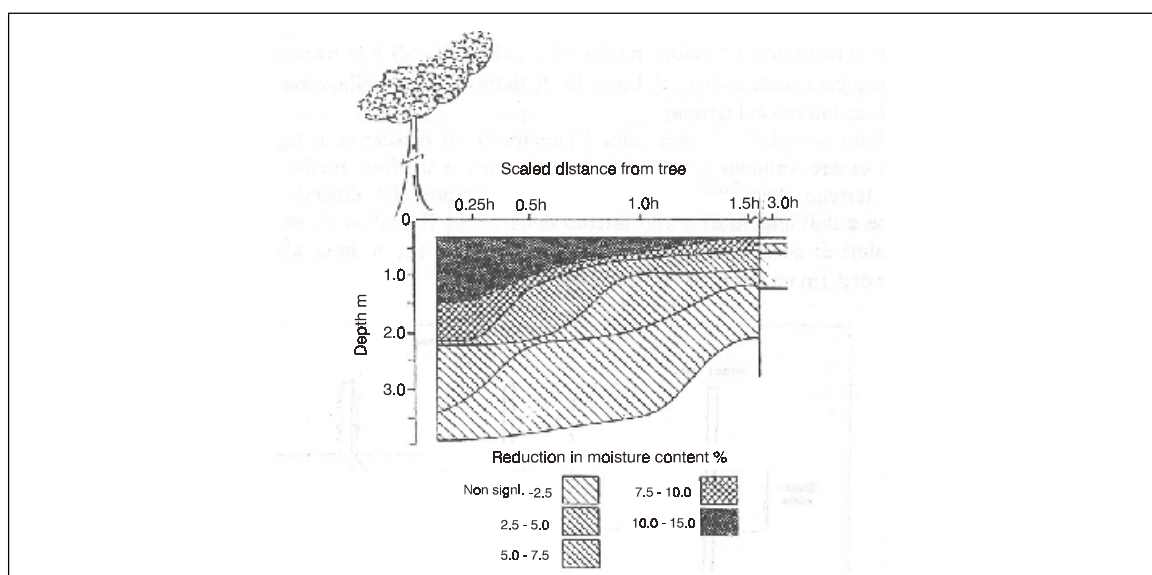
Gray (1978), in particolare, ha rappresentato graficamente la spaziatura critica (minima) teorica tra i singoli alberi richiesta affinché si abbia l'effetto arco su un pendio di una certa inclinazione e per determinate caratteristiche geotecniche del terreno.

**Fig. 11.5 - Schematica rappresentazione degli effetti di ancoraggio, sostegno ed "effetto arco" legati alla presenza di alberi**



Fonte: Greenway, 1987.

**Fig. 11.6 - Riduzione del contenuto d'acqua nel terreno in prossimità di un pioppo**



Fonte: Bible, 1983, in Greenway, 1987.

### 11.3.9 Effetti sulle pressioni interstiziali

La presenza di vegetazione comporta, in terreni coesivi o granulari parzialmente saturi, a capacità di drenaggio superiore a quella dello stesso terreno privo di vegetazione, per la concomitanza di vari meccanismi quali, in particolare, l'intercettazione delle gocce di pioggia da parte della pianta, la traspirazione ad opera dell'apparato radicale ed il seguente incremento di suzione nella porzione non satura della sponda.

Le perdite per intercettazione che si verificano su sponde vegetate dipendono da molti fattori, tra i quali:

- il tipo e le specie vegetali presenti;
- la percentuale di area coperta da vegetazione;
- l'intensità e la durata delle precipitazioni.

Una copertura vegetale intercetta dal 10% al 25% delle precipitazioni, percentuale che può raggiungere il 100% nel caso precipitazioni di breve durata. L'intercettazione, come descritto in precedenza, ha anche capacità di ridurre l'erosione superficiale dovuta all'impatto delle gocce sul terreno e quella legata al ruscellamento superficiale.

Le piante assorbono acqua dal terreno e la disperdono nell'atmosfera tramite la traspirazione, riducendo il contenuto d'acqua e tendendo ad abbassare il livello della falda nella zona satura. Anche in questo caso il tasso di traspirazione dipende da numerosi fattori quali in particolare:

- il tipo e la dimensione della pianta;
- i fattori climatici;
- le caratteristiche del terreno.

L'assorbimento di acqua da parte delle piante per traspirazione ha quindi l'effetto, riducendo il contenuto d'acqua nel terreno, di ridurre anche le pressioni interstiziali e di alterarne la distribuzione anche ben al di sotto della zona interessata dalle radici (fig. 11.6). Nella zona insatura anche al di sotto delle radici l'effetto della traspirazione viene risentito attraverso un aumento di suzione. Le radici, infatti, aspirano acqua dal terreno aumentando l'altezza della frangia capillare, favorendo il flusso non saturo di acqua interstiziale verso la superficie ed infine inducendo maggiore perdita per evaporazione superficiale. Richards *et al.* (1983) riportano ad esempio un notevole incremento di suzione in prossimità di alberi rispetto ai valori misurati nell'adiacente pianura soggetta a pascolo.

Un fenomeno indotto dalla presenza di vegetazione, sulla superficie di un pendio che agisce invece in senso opposto è l'aumento della capacità di infiltrazione che si può verificare per il rallentamento del deflusso superficiale dovuto alla presenza di piante e per la maggiore permeabilità del livello superficiale di terreno. Nassif e Wilson (1975) hanno ad esempio osservato come una sponda poco inclinata (9°), ricoperta d'erba presenti una capacità di infiltrazione quadrupla rispetto ad una sponda di uguale geometria priva di vegetazione.

Una maggiore infiltrazione riduce il volume del deflusso superficiale e pertanto svolge un ruolo favorevole rispetto all'erosione superficiale; lo stesso fenomeno può però avere effetti negativi rispetto ai movimenti di massa, dal momento che comporta un aumento della pressione dell'acqua interstiziale. L'incremento di permeabilità dello strato superficiale in presenza di vegetazione può essere dovuto alla presenza di maggiori vuoti e vie preferenziali di infiltrazione in corrispondenza degli apparati radicali, in particolare nel caso di piante morte in seguito alla decomposizione della radice, fattori che possono causare, come ricordato in precedenza, anche fenomeni di sifonamento. Tuttavia nel caso di vegetazione viva l'aumento di permeabilità del livello superficiale è controbilanciato dall'assorbimento di parte o di tutta l'acqua infiltrata da parte delle piante.

#### 11.3.9.1 Effetti della vegetazione sui parametri di resistenza al taglio

Uno degli effetti principali della presenza di vegetazione su una sponda fluviale, soprattutto nel caso di vegetazione arborea, è quello di produrre un miglioramento delle caratteristiche geotecniche del terreno attraverso l'azione delle radici. Le radici delle piante presentano in genere un'elevata resistenza a trazione, pertanto la combinazione terreno-radici produce un sensibile rinforzo del terreno stesso paragonabile come effetti a ciò che viene ottenuto attraverso l'impiego di geotessili nella realizzazione di terre rinforzate. Le radici sono efficaci sia nell'aumentare la resistenza a rottura, sia nel distribuire, mediante la loro elasticità, le tensioni nel terreno, in modo da evitare stress locali e fessure.

Gli effetti di un sistema di radici sulla resistenza del terreno sono stati oggetto di numerosi studi. Vari autori riportano come la presenza di una copertura di varie specie arboree produca un incremento di oltre il 100% di resistenza al taglio del terreno (Waldron, 1977; Gray, 1978). Analogamente Endo e Tsuruta (1969) riportano i risultati ricavati da prove di taglio condotte su campioni contenenti radici osservando forti incrementi percentuali di resistenza al taglio per bassi valori di tensione normale (Giasi, 1994). Altri studi condotti su versanti ricoperti da vegetazione (O'Loughlin, 1974) indicano come siano le radici più fini (1-20 mm di diametro) che contribuiscono maggiormente al rinforzo del terreno, mentre le radici di dimensioni superiori non sembrano avere un ruolo significativo.

La presenza di radici aumenta la resistenza al taglio del terreno essenzialmente andando ad incrementare la coesione efficace e, indirettamente, il termine di resistenza legato alla suzione per la capacità traspirativa dell'apparato radicale stesso. Nel caso di terreno non coesivo, quando sono raggiunte condizioni di completa saturazione, l'unico contributo in terreni di coesione è legato proprio alla presenza di radici.

Un semplice modello teorico per stimare l'incremento di resistenza al taglio dovuto alla presenza di radici è stato sviluppato originariamente da Wu (1976) e riportato anche in Wu *et al.* (1979) e Greenway (1987).

Tale modello (fig. 11.7) considera una radice verticale flessibile ed elastica disposta perpendicolarmente alla zona di taglio, assumendo inoltre che la radice sia ancorata al terreno su entrambi i lati della zona di taglio, che la resistenza a trazione di tutte le radici sia completamente mobilitata e che le radici non alterino l'angolo di attrito interno del materiale.

Sotto tali ipotesi è possibile dimostrare che l'incremento di resistenza al taglio del terreno risulta pari a:

$$\Delta S = T_r (A_r/A) \cdot [\sin\theta + \cos\theta \cdot \tan\phi]$$

dove:

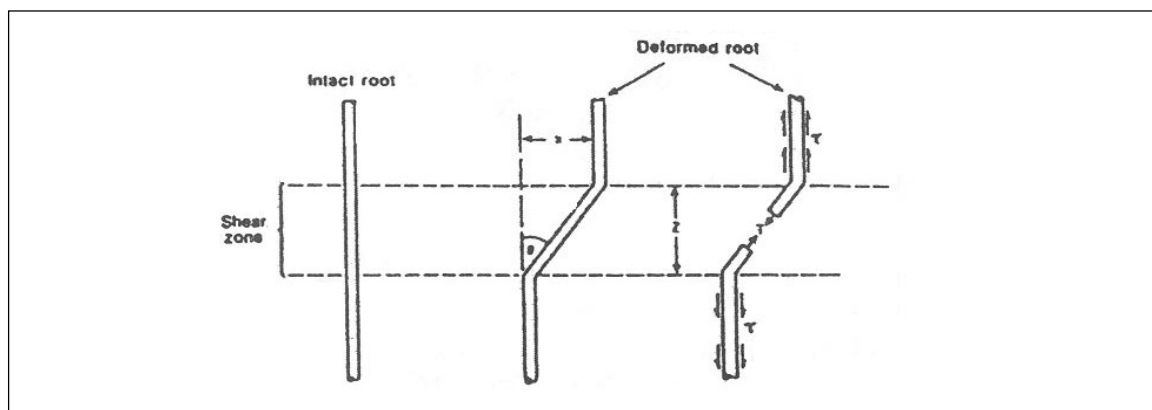
$T_r$  = resistenza a trazione media delle radici;

$(A_r/A)$  = frazione della sezione di terreno occupata dalle radici;  
 $\theta$  = angolo di deformazione nella zona di taglio;  
 $\phi$  = angolo di attrito interno del terreno.

L'equazione precedente mostra come l'incremento di resistenza al taglio dovuto alle radici possa essere valutato conoscendo la resistenza a trazione media delle radici, la frazione di terreno occupata dalle radici ed un fattore che dipende dall'angolo di deformazione e dall'angolo di attrito interno del terreno. Il grafico riportato nella figura 11.8 fornisce i valori di quest'ultimo termine in funzione di  $\theta$  (in un intervallo compreso fra 40° e 90°), e di  $\phi$  (in un intervallo tra 25° e 40°).

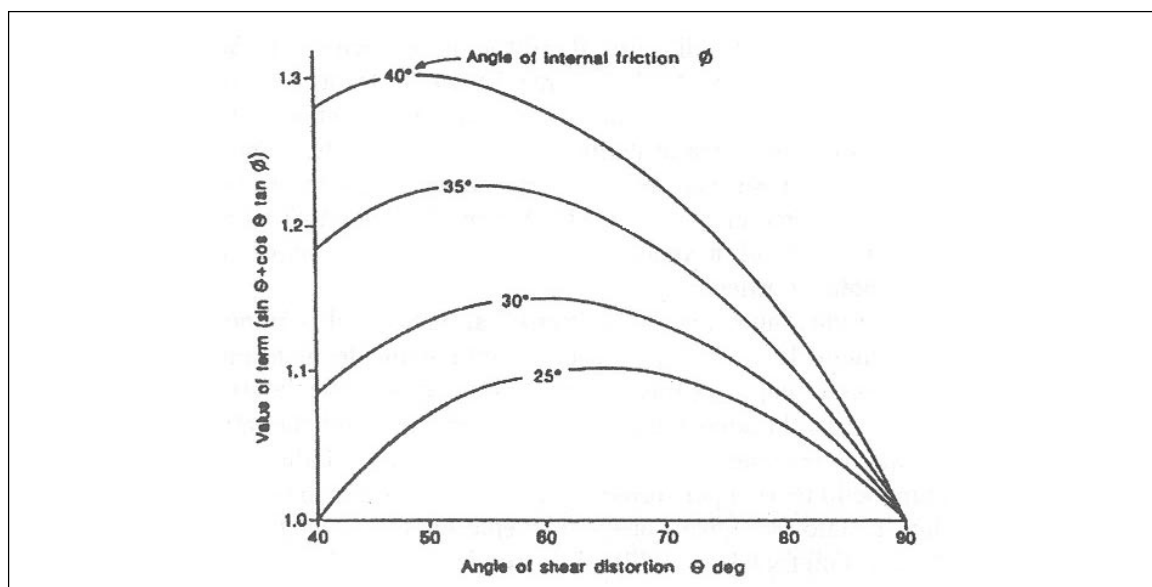
Osservazioni di campagna e di laboratorio, indicano che il termine tra parentesi riportato in equazione è relativamente insensibile alle normali variazioni degli angoli  $\theta$  e  $\phi$ , pertanto Wu *et al.* (1979) hanno proposto di utilizzare un valore medio pari a 1,2.

Fig. 11.7 - Modello di rinforzo di radici perpendicolari alla superficie di taglio



Fonte: Greenway, 1987.

Fig. 11.8 - Valori del termine fra parentesi dell'equazione



Fonte: Greenway, 1987.

Adottando tale valore, l'equazione si semplifica in:

$$\Delta S = 1,2 \cdot T_r (A_r/A)$$

In questo modo l'incremento di resistenza al taglio dipende interamente dalla resistenza a trazione media delle radici e dalla superficie occupata dalle stesse.

#### 11.3.10 Stabilità dei singoli alberi

Oltre ai meccanismi responsabili dell'instabilità dell'intera sponda in presenza di vegetazione, è necessario considerare che anche l'instabilità delle singole piante può rappresentare un importante meccanismo che può avere significativi effetti sui fenomeni di trasporto e sedimentazione. Un singolo albero presente su di una barra o su altre superfici all'interno dell'alveo di piena o su di una sponda, in occasione di una piena, è soggetto a notevoli sollecitazioni da parte della corrente in grado a volte di sradicare la pianta; l'azione di trascinamento della corrente si unisce, infatti, al fenomeno di erosione localizzata alla base del tronco, rendendo, in alcuni casi, instabile l'albero. I meccanismi di instabilità legati all'azione della corrente che possono interessare un singolo albero sono essenzialmente due:

- instabilità per scivolamento;
- instabilità per ribaltamento.

Per la schematizzazione e l'analisi di tali meccanismi occorrono tuttavia molte ipotesi semplificative ed in letteratura esistono pochi studi al riguardo. Espressioni semplificate per la verifica di stabilità allo scivolamento ed al ribaltamento ed una loro applicazione sono riportate in Pirrone (1998).

#### 11.3.11 Effetti della vegetazione sui processi di sedimentazione

La vegetazione svolge un ruolo dominante nei confronti dei processi di sedimentazione e numerosi studi di letteratura hanno messo in evidenza come esistano strette interazioni tra tipi di vegetazione, processi e forme fluviali (si veda, ad esempio, Hupp, 1990; Hupp, Osterkamp, 1996). La colonizzazione da parte di vegetazione favorisce la stabilizzazione di una superficie fluviale sia per l'azione di riduzione di velocità della corrente, a causa dell'aumento di scabrezza, sia per costituire una trappola per i sedimenti trasportati dal corso d'acqua.

La migrazione di una barra di meandro (*point bar*), la successiva colonizzazione da parte di vegetazione della porzione meno attiva della stessa e la deposizione di materiale fine per prevalenti processi di tracimazione sono i principali meccanismi responsabili della morfogenesi della pianura inondabile (*floodplain*) in fiumi di tipo sinuoso-meandriforme.

Nei riguardi dell'evoluzione di una sponda fluviale, la vegetazione svolge un ruolo fondamentale nel favorire la sedimentazione alla sua base

e la progressiva stabilizzazione, come messo in evidenza sia in studi sperimentali, sia in base ad osservazioni di campagna (Tolener *et al.*, 1982; Simon, Hupp, 1987). La vegetazione tende a colonizzare rapidamente la porzione inferiore della sponda e a favorire la formazione di una superficie basale, derivante dalla condizione di un apporto di materiale superiore rispetto al tasso di rimozione. La presenza di specie pioniere alla base della sponda quali, ad esempio, il salice, può pertanto essere considerata spesso il primo indicatore del fatto che le sponde sono in via di stabilizzazione.

#### 11.3.12 Trasporto e deposizione di detriti vegetazionali

Un altro aspetto di estrema importanza legato alla presenza di vegetazione all'interno di un alveo fluviale, verso il quale si stanno rivolgendo recentemente studi sempre più numerosi nel campo della geomorfologia fluviale, è quello legato al trasporto per flottazione di piante, soprattutto alberi, presi in carico dalla corrente in seguito a movimenti di massa di sponde ricoperte da vegetazione o per asportazione diretta di singoli alberi e, successivamente, depositati sotto forma di accumuli di tronchi e di altri detriti vegetazionali. Recentemente, numerosi studi hanno preso in esame gli aspetti legati ai detriti vegetazionali (Large Woody Debris - LWD) relativamente ai meccanismi che ne determinano la formazione, alla loro distribuzione spaziale all'interno dell'alveo ed agli effetti sull'evoluzione morfologica di un alveo e sui processi in atto (si veda, ad esempio, Gregory *et al.*, 1993; Abbe, Montgomery, 1996; Piegay *et al.*, 1999).

I principali effetti di accumuli di detriti vegetazionali all'interno dell'alveo possono essere così sintetizzati:

- formazione di ostruzioni parziali o totali delle luci dei ponti o di altri manufatti, con un innalzamento del pelo libero a monte dell'ostruzione per effetto di rigurgito che può determinare esondazioni delle portate di piena;
- deviazione della corrente fluviale sulla sponda opposta, con frequente innesco di intensi fenomeni di erosione per corrente incidente;
- viceversa, talora, quando accumulati su di una sponda, tali detriti possono esercitare un effetto di protezione dall'erosione o di stabilizzazione rispetto ai movimenti di massa.

#### 11.3.13 Interferenze della vegetazione in alveo e limiti biotecnici di impiego

Le sistemazioni idrauliche pongono alcuni problemi classici di potenziale interferenza tra la presenza di vegetazione sulle sponde ed il deflusso delle acque.

Tenere conto dei fattori biotici complica ulteriormente le già complesse interpretazioni del fenomeno idraulico localizzato, notoriamente collegato con i dinamismi a monte e a valle del corso d'acqua stesso.

Tab. 11.4 - Indicazioni di massima per le scelte tipologiche degli interventi di Ingegneria Naturalistica nelle sistemazioni idrauliche

Velocità della corrente (v)	Diametro medio del trasporto solido ( $D_s$ )	Natura del fondo	Stabilizzazione dei versanti	Rivestimento/consolidamento delle sponde	Modifiche morfologiche del corso d'acqua	Rinaturalizzazione/ricostruzione dei biotopi umidi	Provvedimenti uso faunistico	
$v > 6$ m/s	Tutti i diametri	Ghiaia, ciottoli, massi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Semine, semine potenziate;</li> <li>Messa a dimora di talee;</li> <li>Messa a dimora di arbusti;</li> <li>Stuoie su versante;</li> <li>Geocelle a nido d'ape;</li> <li>Rivestimento in reti metalliche e stuoie;</li> <li>Viminata;</li> <li>Fascinata;</li> <li>Gradonata;</li> <li>Cordonata;</li> <li>Palizzata;</li> <li>Cuneo filtrante;</li> <li>Grata viva su scarpata;</li> <li>Palificata viva;</li> <li>Gabbionata;</li> <li>Materasso verde;</li> <li>Muro cellulare rinverdito</li> </ul>	Opere rigide in calcestruzzo; gabbionata spondale rinverdita; muro a secco rinverdito; muro cellulare rinverdito; blocchi incatenati.			Rampa a blocchi	
$3 < v < 6$ m/s	$D_s > 20$ cm	Ghiaia e ciottoli		<ul style="list-style-type: none"> <li>Semine, semine potenziate;</li> <li>Messa a dimora di talee;</li> <li>Messa a dimora di arbusti;</li> <li>Stuoie su versante;</li> <li>Geocelle a nido d'ape;</li> <li>Rivestimento in reti metalliche e stuoie;</li> <li>Viminata;</li> <li>Fascinata;</li> <li>Gradonata;</li> <li>Cordonata;</li> <li>Palizzata;</li> <li>Cuneo filtrante;</li> <li>Grata viva su scarpata;</li> <li>Palificata viva;</li> <li>Gabbionata;</li> <li>Materasso verde;</li> <li>Muro cellulare rinverdito</li> </ul>	Opere rigide in cls; gabbionata spondale rinverdita; muro a secco rinverdito; muro cellulare rinverdito; blocchi incatenati; rampa a blocchi.	Ampliamento sezione/casse di espansione		Rampa a blocchi
$v < 3$ m/s	$5 < D_s < 20$ cm	Ghiaia, (ciottoli)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Semine, semine potenziate;</li> <li>Messa a dimora di talee;</li> <li>Messa a dimora di arbusti;</li> <li>Stuoie su versante;</li> <li>Geocelle a nido d'ape;</li> <li>Rivestimento in reti metalliche e stuoie;</li> <li>Viminata;</li> <li>Fascinata;</li> <li>Gradonata;</li> <li>Cordonata;</li> <li>Palizzata;</li> <li>Cuneo filtrante;</li> <li>Grata viva su scarpata;</li> <li>Palificata viva;</li> <li>Gabbionata;</li> <li>Materasso verde;</li> <li>Muro cellulare rinverdito</li> </ul>	Palificate vive spondali; pennello vivo; gabbionata spondale; materasso rinverdito; muro cellulare rinverdito; blocchi incatenati.	Ampliamento sezione/casse di espansione	Parziale	Rampa a blocchi/ di scale risalita
$v < 3$ m/s	$1 < D_s < 5$ cm	Sabbia, ghiaia		<ul style="list-style-type: none"> <li>Semine, semine potenziate;</li> <li>Messa a dimora di talee;</li> <li>Messa a dimora di arbusti;</li> <li>Stuoie su versante;</li> <li>Geocelle a nido d'ape;</li> <li>Rivestimento in reti metalliche e stuoie;</li> <li>Viminata;</li> <li>Fascinata;</li> <li>Gradonata;</li> <li>Cordonata;</li> <li>Palizzata;</li> <li>Cuneo filtrante;</li> <li>Grata viva su scarpata;</li> <li>Palificata viva;</li> <li>Gabbionata;</li> <li>Materasso verde;</li> <li>Muro cellulare rinverdito</li> </ul>	Semine, idrosemine, semine a spessore; biostuoie, biofeltri; geostuoie tridimensionali sintetiche bituminatate; geocomposito in rete metalliche e geostuoia tridimensionale; messa a dimora di talee legnose; piantagione di arbusti; trapianto di cespi e rizomi; copertura diffusa con ramaglia viva; viminata viva; fascinata viva; gradonata viva; graticciata di ramaglia; ribalta viva; grata viva; palificate vive, pennello vivo; traversa viva; rulli spondali, gabbionata rinverdita; materasso rinverdito; terre rinforzate verdi; muro a secco rinverdito; muro cellulare rinverdito; rampa a blocchi; blocchi incatenati	Ampliamento sezione/casse di espansione/ recupero vecchi meandri	Buona	Rampa a blocchi/ scale di risalita
	$D_s < 1$ cm	Limo, sabbia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Semine, semine potenziate;</li> <li>Messa a dimora di talee;</li> <li>Messa a dimora di arbusti;</li> <li>Stuoie su versante;</li> <li>Geocelle a nido d'ape;</li> <li>Rivestimento in reti metalliche e stuoie;</li> <li>Viminata;</li> <li>Fascinata;</li> <li>Gradonata;</li> <li>Cordonata;</li> <li>Palizzata;</li> <li>Cuneo filtrante;</li> <li>Grata viva su scarpata;</li> <li>Palificata viva;</li> <li>Gabbionata;</li> <li>Materasso verde;</li> <li>Muro cellulare rinverdito</li> </ul>	Ampliamento sezione/casse di espansione/ recupero vecchi meandri/impaludimenti aree foce		Ottimale		

Fonte: Chieu, Sauli, Piano stralcio per il bacino del fiume Toce, 1993, modificato.



Da una parte la vegetazione migliora i parametri geomeccanici delle sponde nei confronti delle sollecitazioni idrauliche; dall'altra la vegetazione stessa riduce la sezione di deflusso con possibile interferenza negativa, specie nelle sezioni ristrette.

Va detto che esistono dei limiti d'impiego dell'Ingegneria Naturalistica e che la scelta e la collocazione degli interventi è funzione di vari parametri tra cui i principali sono:

- la velocità di deflusso (correlata soprattutto con la pendenza del fondo);
- il diametro del trasporto solido.

Nella **tabella 11.4** viene formulata (*Manuale di Ingegneria Naturalistica per la Regione Lazio*, 2002) una proposta di massima per la scelta delle tipologie di intervento con tecniche d'Ingegneria Naturalistica basata appunto sulla velocità e sul diametro del trasporto solido.

Al di sopra di una certa velocità (6 m/s) e diametro del trasporto solido (> 20 cm) in zone montane sono possibili interventi solo con opere rigide o con massi (in alcuni casi gabbionate). Sono invece sempre validi gli interventi di stabilizzazione dei versanti franosi in quanto l'applicazione sistematica su vasta scala di opere vive stabilizzanti (gradonate vive, fascinate vive) o di opere combinate (palificate vive di sostegno, grate vive) produce benefici effetti a valle, diminuendo i tempi di corrivazione ed il trasporto solido.

Con la diminuzione dei due parametri *velocità* e *trasporto solido*, aumenta progressivamente la gamma delle tecniche naturalistiche che sono comunque adottate solo nelle zone in erosione con problemi di rischio idraulico. Vale inoltre il principio della tecnica a minor impegno tecnico e pari efficienza ("legge del minimo"). In ogni caso l'abbinamento con le piante vive, con prevalente uso di piante pioniere va considerato il miglior mezzo per l'innescio di ecosistemi, in linea con le finalità dell'Ingegneria Naturalistica.

#### 11.3.14 Criteri progettuali

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica vanno visti nel quadro della rinaturazione dei corsi d'acqua che devono comprendere non solo interventi antierosivi con le specie vegetali vive, ma anche azioni volte al massimo della diversità morfologica nel tracciato o nella sezione dell'alveo, per offrire nicchie specializzate alle comunità ittiche e bentoniche.

Va quindi valutata la possibilità di realizzare:

- modifiche morfologiche al corso d'acqua, diminuendo la monotonia dei tratti canalizzati recuperando, ove possibile, vecchi meandri, ampliando le sezioni in area golenale o creando delle casse di espansione arginate, con evidente beneficio idraulico complessivo;
- interventi di sola rinaturalizzazione a lato dei corsi d'acqua (creazione di biotopi umidi) anche in tratti senza necessità di interventi idraulici;
- provvedimenti di uso faunistico quali: rampe

a blocchi, scale di risalita per pesci, tane, stagni per riproduzione degli anfibi.

In linea generale, durante la fase di pianificazione e progettazione di lavori di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua, è consigliabile seguire i seguenti criteri:

- si darà priorità ad allargamenti o creazione di nuove aree golenali, con il mantenimento di un alveo di magra di dimensioni limitate ad andamento meandrico;
- si consiglia, ove possibile, di evitare il rialzamento degli argini, la scolmatura, l'ampliamento dell'alveo di magra.

Seguendo questi criteri si potranno ottenere diversi benefici, in quanto con tali soluzioni si possono:

- migliorare le condizioni di deflusso, diminuendo la velocità;
- aumentare, conseguentemente, il tempo di corrivazione a beneficio dei tratti a valle;
- ridurre i livelli idrici a beneficio della sicurezza del corso d'acqua sia nei tratti a monte, sia in quelli a valle;
- mantenere le pendenze d'equilibrio e la dinamica naturale del corso d'acqua;
- mantenere le condizioni ecologiche ottimali sia nelle aree golenali (per la presenza di vegetazione fluviale) sia nell'alveo di magra.

Gli interventi sull'asta fluviale vanno concepiti secondo il principio che la diversità morfologica si traduce in biodiversità: è necessario, pertanto, invertire la tendenza alla riduzione delle aree di pertinenza del corso d'acqua, alla loro rettificazione e alla cementazione dell'alveo, non considerando che la vegetazione igrofila sia un ostacolo al rapido deflusso delle acque; quest'ultima deve essere considerata una risorsa non solo naturalistica, ma anche di interesse idraulico per la protezione flessibile dall'erosione.

L'analisi delle varie componenti ambientali e delle loro interazioni con le caratteristiche idrauliche dovrà quindi valutare, iniziando da monte, ove porre in atto, impiegando i criteri e le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, i seguenti interventi:

- interventi di rinverdimento per la protezione antierosiva dei versanti in erosione per consentire l'aumento del tempo di corrivazione delle acque e la diminuzione del trasporto solido a valle;
- interventi sul corso d'acqua tesi a diminuire l'energia cinetica tramite la riduzione della pendenza; ove sia necessario ridurre la pendenza longitudinale dell'alveo al posto delle briglie in calcestruzzo, in molti casi si possono impiegare le briglie in legname e pietrame eventualmente combinate con elementi vivi quali le talee di salice; per garantire poi la continuità biologica all'ittiofauna, ove le caratteristiche morfologiche dell'alveo lo consentano, è possibile realizzare, al posto delle briglie, le rampe in pietrame per la risalita dei pesci;
- realizzazione di casse d'espansione, anche di piccole dimensioni, per abbassare i picchi delle piene, ottenendo aree da sistemare secon-

- do principi naturalistici che aumentano la biodiversità;
- realizzazione di aree inondabili in corrispondenza dell'alveo, ampliando le sezioni idrauliche con la creazione di un alveo di magra ed uno di piena ad uso periodico;
  - realizzazione di interventi nei tratti a rischio e nei tratti di maggior pendenza e, quindi, aumento costante della biodiversità;
  - realizzazione, ove possibile, di aree umide in corrispondenza delle immissioni dei canali di drenaggio o dei fossi affluenti;
  - interventi antierosivi e di consolidamento sull'asta fluviale concepiti anche invertendo la tendenza alla riduzione delle aree di pertinenza del corso d'acqua;
  - interventi tesi ad eliminare i tratti rettificati dell'alveo che possono comportare un aumento dell'erosione a monte e del deposito a valle, con conseguente pericolo di esondazione e che comportano la perdita di habitat e la riduzione della biodiversità; favorire la meandricazione del corso d'acqua nei tratti compatibili, con conseguente asimmetria della sezione idraulica significa ricomporre la morfologia naturale ed aumentare le capacità depurative del corso d'acqua;
  - eliminazioni dei tratti cementificati per spezzare l'isolamento tra l'acqua ed il substrato, ricostruendo il rapporto con la falda ed il corso d'acqua e rendendo possibile la rivitalizzazione del corso d'acqua;
  - realizzazione (soprattutto nelle aree di pianura ad agricoltura intensiva) di fasce tampone di larghezza adeguata (minimo 10 m) a lato delle rive per intercettare i nutrienti percolanti dalle aree agricole;
  - pianificare gli interventi di manutenzione non considerando, ove possibile, la vegetazione igrofila un ostacolo al rapido deflusso delle acque, bensì una risorsa non solo naturalistica, ma anche di interesse idraulico per la protezione flessibile dall'erosione (cfr. DPR "Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni recante criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica e forestale" del 14 aprile 1993);
  - realizzazione, anche al di fuori dell'alveo di piena, di boschetti e cespuglieti, per una riqualificazione naturalistica e paesaggistica del corso d'acqua.

I progetti d'intervento devono, per esempio, secondo l'Autorità di Bacino interregionale del Fiume Magra (2001):

- contenere una valutazione sull'effettiva necessità della sistemazione idraulica, indicando gli elementi di esposizione (beni e persone) nel caso di mancato intervento;
- esprimere considerazioni e stime sul rapporto costo dell'intervento - beneficio atteso (in termini economici, ambientali e sociali);
- presentare un'attenta analisi volta all'individuazione delle cause che generano il rischio;
- indicare in quale misura l'intervento sia direttamente finalizzato all'eliminazione delle cause, tenendo conto che interventi tesi alla tem-

- poranea rimozione degli effetti sono ammissibili solo qualora la rimozione totale e permanente delle cause fosse impraticabile; in tal caso occorre darne espressa motivazione;
- esporre le alternative progettuali prese in considerazione, con i relativi vantaggi e svantaggi in termini economici, idraulici e naturalistici;
- analizzare le possibili ripercussioni idrauliche e naturalistiche dell'intervento, sia locali sia sull'evoluzione dei tratti a monte e a valle e dell'intero corso d'acqua;
- precisare gli accorgimenti di miglioramento dell'habitat acquatico, spondale e terrestre adottati o i motivi che ne impediscono l'adozione.

Si possono dare, di seguito, indicazioni progettuali specifiche, relative alle seguenti protezioni:

- difese spondali;
- arginature;
- briglie;
- taglio della vegetazione;
- risagomature dell'alveo;
- ponti.

#### 11.3.14.1 Difese spondali

Le difese spondali possono essere realizzate in presenza di rischio idraulico, qualora sia minacciata la sicurezza dei centri urbani e la stabilità di infrastrutture o importanti manufatti, mentre questo tipo di protezione spondale non è ammissibile in caso di semplici terreni in erosione, incolti o terreni agricoli.

Nelle scelte costruttive è necessario adottare accorgimenti che garantiscano la diversità ambientale, evitando una pendenza costante delle sponde, il loro allineamento a linee geometriche regolari ed ogni uniformità.

Una difesa spondale che può garantire queste condizioni è quella della costruzione di uno o più pennelli obliqui che, svolgendo un'efficace azione antierosiva, inducano la formazione di barre falciformi sulle sponde e di buche, raschi, barre in alveo.

Qualora si intenda ricorrere ad un intervento classico, si può intervenire con massi ciclopici, evitando naturalmente e per i motivi precedentemente descritti, superfici regolari, lisce. A tal fine, oltre a provvedere alla rivegetazione inserendo robuste talee di salice tra i massi, è opportuno introdurre altri elementi di scabrezza, come massi sporgenti o brevi pennelli al piede. In caso di forti sollecitazioni meccaniche, le opere di difesa spondale più adatte sono le palificate vive spondali semplici o doppie o anche i rivestimenti con astoni di salice, talee di ontano, pioppo o altra specie (copertura diffusa); in questo modo si accresce la scabrezza dell'alveo, si riduce la velocità della corrente sulla scarpata spondale e si favorisce la cattura di sedimenti.

#### 11.3.14.2 Arginature

Le principali differenze fra argini e difese spondali sono da ricercare nella forma

(sopraelevazione rispetto al piano campagna) e nelle finalità (gli argini non solo contengono l'erosione delle sponde, ma anche le acque in caso di piena).

Uno degli aspetti non positivi delle arginature è, paradossalmente, quest'ultimo: gli argini, infatti, se localmente impediscono le esondazioni, trasferiscono il rischio idraulico a valle, dove risulta così più accentuato. Questo fatto comporta una serie di riflessioni circa la loro realizzazione: in linea di massima le arginature sono giustificate solo in casi particolari come, ad esempio, negli attraversamenti di centri abitati a rischio idraulico elevato. Nella progettazione di nuovi argini si terrà quindi conto della dimensione che questi dovranno avere: i corpi arginali devono essere più larghi di quanto necessario ai soli fini idraulici; lo scheletro portante di ogni opera dovrà essere dimensionato per assolvere alle funzioni di contenimento delle acque di piena, sia staticamente che idraulicamente.

L'argine finito dovrà necessariamente avere una forma irregolare, planimetricamente non rettilineo con larghezza maggiore rispetto alla larghezza dello scheletro e con scarpate a bassa pendenza e di forme irregolari.

#### 11.3.143 Briglie

Per la costruzione di nuove briglie è consigliabile (se non necessario) tenere in considerazione due principi fondamentali:

- ridurre l'altezza del salto;
- sostituire, eventualmente, il salto verticale con una rampa inclinata.

Costruendo più briglie basse anziché una sola briglia alta, si favorirà lo spostamento dell'ittiofauna che, frammentata in tanti popolamenti riproduttivamente isolati, potrà superare gli ostacoli ( $h < 30-40$  cm) e muoversi senza difficoltà tra la struttura reticolare. I piccoli bacini che si formeranno consentiranno ai pesci di riposarsi e recuperare energia tra un salto ed il successivo. Queste altezze di briglia, tuttavia, impediscono il passaggio di macroinvertebrati e, pertanto, risolvono solo in parte il problema.

Il dislivello tra la corona e il piede della briglia può essere superato gradualmente, su una distanza maggiore, con la costruzione di una rampa inclinata che permetta ai pesci di suddividere lo sforzo di risalita in una serie di brevi salti, intervallati da soste. Ciò consente anche il passaggio di macroinvertebrati che migrano sfruttando i margini a ridosso delle sponde della rampa a blocchi, ove è presente acqua con minore forza di trazione.

#### 11.3.144 Taglio della vegetazione

La vegetazione fluviale offre resistenza alla corrente, ritarda, con ciò, la corrivazione delle acque, attenua i picchi di piena e consolida le sponde.

L'azione delle piante, estesa a tutto il reticolo idrografico, attenua il rischio idraulico, anche se in molte situazioni la vegetazione arborea, a

causa di una cattiva manutenzione, di costrizione dei fiumi in alvei ristretti, della presenza di ponti con luci inadeguate, della localizzazione imprudente degli insediamenti, ecc. rappresenta un effettivo pericolo e vi sono, quindi, situazioni locali in cui occorre procedere al taglio della vegetazione.

Devono essere individuate le singole piante che possono rappresentare un potenziale pericolo; queste devono essere potate o abbattute; gli alberi tagliati, non vanno allontanati completamente, ma depezzati; i tronchi e la ramaglia vanno, ove possibile, in parte abbandonati in piccoli cumuli nei terreni ripari (forniscono habitat, rifugio e sostengono nuove reti alimentari) ed in parte disseminati in pieno alveo o incastrati nel substrato ciottoloso.

#### 11.3.145 Risagomature dell'alveo

Nel caso di dragaggi, risagomature e ricalibrature dell'alveo, è preferibile, ove possibile, lasciare indisturbato l'alveo di magra e quello di morbida, effettuando gli scavi in quello di piena; si dovrà rifuggire ogni forma geometrica e non spianare l'alveo in modo tale da ridurre la rugosità, che, invece, favorisce la scomparsa di *habitat* vitali, aree di sosta, ripari dalla corrente, ecc.

Attenzione anche all'ampiezza della risagomatura, in quanto se le acque sono costrette a disperdersi su una superficie molto ampia, ciò può determinare una profondità e una velocità molto ridotte, tali da compromettere le normali attività della fauna ittica.

#### 11.3.146 Ponti

Tutti i manufatti come ponti, attraversamenti ed altre opere non devono interferire con il deflusso delle acque, per non favorire le esondazioni.

Per opere temporanee (guadi, rampe, piste di cantiere) dovrà essere predisposto ogni accorgimento atto a ridurre l'effetto sulla dinamica del corso d'acqua, valutando gli effetti di rigurgito in riferimento ad eventuali incrementi del rischio e/o riduzioni del franco di sicurezza nei tratti a valle e/o a monte dell'area d'intervento.

Per ogni nuovo ponte è consigliabile considerare la soluzione progettuale della campata unica o comunque un dimensionamento "a misura d'albero", tale, cioè da non comportare pericolo d'ostruzione da parte di alberi trascinati dalle piene.

### 11.4 **Parametri idraulici necessari per la realizzazione di opere di Ingegneria Naturalistica in ambito idraulico**

#### 11.4.1 Regimazioni idrauliche e gestione delle risorse idriche

L'uomo ha sempre cercato di sottrarre spazio ai fiumi per ottenere terre coltivabili o edificabili, attraverso la realizzazione di opere

idrauliche con un conseguente impatto ambientale sempre più elevato.

Le motivazioni che stanno alla base della maggior parte degli interventi di regimazione idraulica poggiano principalmente su due ordini di problemi:

- la riduzione dei rischi d'inondazione;
- la riduzione dell'erosione dell'alveo e delle sponde.

Le cause che determinano le piene e le erosioni, devono essere attentamente analizzate al fine di potere adottare un'efficace strategia di azione con misure attive, passive o miste.

Studiati da molto tempo, i corsi d'acqua sono sempre stati assimilati a canali nei quali scorre un liquido, mentre i parametri biologici sono stati indagati assai raramente, anche in relazione al fatto che sono difficilmente trasferibili e riconducibili a modelli ed a formule matematiche.

Una delle classiche equazioni di deflusso utilizzate per dimensionare un corso d'acqua e la seguente:

$$Q = KSR^aI^b$$

dove  $Q$  rappresenta la portata che scorre attraverso una sezione ( $S$ ) la quale dipende, come il raggio idraulico ( $R$ ), dai seguenti parametri:

- profondità dell'acqua;
- pendenza delle sponde;
- larghezza dell'alveo.

$K$  rappresenta invece un empirico coefficiente di scabrezza che esprime la natura dell'alveo, delle sponde e degli eventuali ostacoli presenti, mentre  $I$  rappresenta la pendenza del corso d'acqua.

Da ciò deriva che, più elevati sono questi parametri, maggiore è la portata che può transitare e, quindi, diventano rilevanti le seguenti caratteristiche morfologiche:

- le superfici lisce che aumentano il valore di  $K$ ;
- il profilo trapezoidale, che conferisce a  $S$  ed a  $R$  valori ideali, in quanto si ottiene così una sezione che consente il passaggio della portata massima;
- la riduzione della lunghezza del corso d'acqua, mediante tratti rettilinei, che aumentano il valore della pendenza ( $I$ ).

Per ottenere le tre condizioni precedenti, bisogna operare interventi di elevato costo e di notevole impatto ambientale. Nonostante il nuovo dimensionamento del corso d'acqua in esso possono formarsi, però, accumuli di materiale alluvionale e la vegetazione può insediarsi all'interno dell'alveo, riducendo così i parametri determinati in fase progettuale, infatti:

- il coefficiente di scabrezza ( $K$ ) diminuisce per la presenza di ostacoli quali la vegetazione o altro, con conseguente rallentamento del deflusso idrico;
- la sezione ( $S$ ) diminuisce allo stesso modo, a causa dell'ingombro da parte della vegetazione, dei manufatti o dei materiali ghiaiosi depositatisi.

I corsi d'acqua così regimati sono in uno stato

di costante e forzata instabilità che può richiedere l'ulteriore costruzione di opere di difesa longitudinali e trasversali.

Talvolta si è cercato di modificare il tracciato originario dei fiumi, rettificandoli ed eliminando il più possibile i meandri e le lanche: è stato dimostrato che in tali situazioni il corso d'acqua tende a ricercare un nuovo equilibrio e, pertanto, è in base alla natura dell'alveo, al nuovo profilo, alle rettifiche ed regimazioni idrauliche, che in alcuni casi si sono verificati i seguenti fenomeni:

- l'aumento artificiale delle pendenze determina una maggiore capacità di trasporto di materiale, rispetto al tratto superiore non rettificato. Questo squilibrio è compensato da una progressiva erosione del letto, proprio a monte della correzione ( $A'$ ). A valle del tratto in esame ( $A-B$ ), quindi si verifica un maggior apporto di materiale, ma la minore pendenza non ne consente l'ulteriore trasporto ( $B'$ ). In conclusione, la rettifica può causare a monte una destabilizzazione dell'alveo e delle sponde, legata all'approfondimento del fondo, mentre a valle si può registrare un eccessivo accumulo di materiale ed un conseguente aumento del rischio d'inondazione;
- il profilo trapezoidale troppo regolare non soddisfa le esigenze ecologiche, in quanto in fase di magra, il livello dell'acqua è spesso insufficiente per la fauna ittica presente;
- sul tratto rettificato la velocità è superiore e può limitare la possibilità di vita della fauna e della vegetazione acquatica; la forza di trascinamento dei materiali, inoltre, è più elevata e la velocità dell'acqua in movimento può provocare danni a valle, obbligando a realizzare ulteriori opere di difesa spondale;
- il corso d'acqua ha una tendenza naturale a ritrovare la sua antica pendenza, attraverso l'erosione e la ricostituzione di nuovi meandri;
- un abbassamento del letto nella costituzione di un nuovo profilo o nella rettificazione può provocare fenomeni d'erosione, che modificano l'ambiente naturale circostante e possono abbassare i livelli della falda freatica.

Il primo problema che un progettista deve risolvere è quello di garantire il passaggio della portata di progetto  $Q_p$ , nelle sezioni sottoposte ad intervento di sistemazione idraulica.

La portata di progetto è in genere valutata sulla base di studi idrologici oppure a partire da livelli storici di piena. In genere, il valore di portata di progetto per tale verifica è quello corrispondente ad un tempo di ritorno di 100 anni. Se però i terreni prossimi al corso d'acqua possono tollerare l'inondazione, possono essere scelte delle portate di progetto con tempo di ritorno minore, accettando cioè una maggiore frequenza delle inondazioni. A partire da questi dati, in accordo con gli Enti e le Autorità competenti, si calcola la sezione del corso d'acqua o l'altezza d'acqua corrispondente, a seconda dei casi.

Dovrà quindi essere garantito che la portata di progetto possa transitare nella sezione proget-

tata, il che equivale a dire che dovrà essere verificata la condizione:

$$Q = A^{5/3} B^{-2/3} n^{-1} i_f^{1/2} \geq Q_p$$

che semplificata è pari a:

$$Q = \frac{1}{n} * W * R^{2/3} * if^{1/2}$$

dove:

- 1/n = coefficiente di Manning;
- W = area bagnata;
- R = raggio idraulico;
- if = inclinazione del fondo o pendenza idraulica = inclinazione del pelo libero dell'acqua).

Opportuno a tal fine sarebbe anche il calcolo della scala di deflusso per passi successivi, dividendo l'altezza totale a disposizione tra fondo alveo e piano di campagna ( $f_p$ ) in 20 parti uguali; quindi, partendo con un tirante iniziale pari a  $f_p/20$  si calcola la portata defluente per ogni tratto, e la portata complessiva  $Q_k$  come somma dei singoli contributi di ognuno di essi. Prima di passare al livello successivo (incrementando il tirante di  $f_p/20$ ) si verifica che  $Q_k$  sia minore di  $Q_p$ ; non appena questa condizione non è più soddisfatta, si ricerca il tirante d'acqua  $Y_{max}$  corrispondente a  $Q_p$  per iterazioni successive.

Qualora risulti che alla portata di progetto corrisponde una quota d'acqua superiore al piano di campagna si segnala che la sezione scelta non è in grado di smaltire la portata di progetto.

Per ogni tratto viene inoltre calcolata la velocità media  $V_{mi}$  come:

$$V_{mi} = \frac{Q_p}{A_i}$$

e il numero di Froude  $F_i$ :

$$F_i = \frac{V_{mi}}{\sqrt{g \frac{A_i}{b_i}}}$$

con i valori di  $A_i$  (sezione bagnata) e  $b_i$  (larghezza del pelo libero) corrispondenti ad  $Y_{max}$ .

Per numero di Froude  $< 1$ , il flusso è considerato lento, con energia potenziale che domina su quella cinetica.

Con numero di Froude  $> 1$ , il flusso è considerato rapido e, in questo caso, l'energia cinetica domina su quella potenziale.

Nella situazione di instabilità, in regime critico, il numero di Froude è pari a 1.

Un aspetto che non deve essere trascurato nel calcolo della portata di un corso d'acqua è quello relativo alle precipitazioni meteoriche, le quali causano portate diverse in base al periodo in cui si verificano, al diverso grado di saturazio-

ne dei terreni e dello stato dell'alveo. Per questo motivo si cercano di stimare le portate di massima piena elaborando i dati pluviometrici, considerando gli elementi di rilevamento e, in particolar modo, i livelli raggiunti dai fenomeni alluvionali nelle varie località.

Partendo dai dati pluviometrici reperibili sugli *Annali idrologici* forniti dalla stazione pluviografica più vicina, si eseguono le elaborazioni necessarie per ottenere le curve segnalatrici di possibilità climatica o pluviometrica indicative dell'altezza delle precipitazioni in funzione della loro durata.

Gli annali idrologici forniscono, in forma tabellare, le massime precipitazioni orarie registrate anno per anno, per le durate di riferimento  $t$  di 1, 3, 6, 12 e 24 ore; le precipitazioni  $h$  di massima intensità compaiono in altezze pluviometriche espresse in mm. Per bacini con limitata estensione si presuppone una certa uniformità degli eventi pluviometrici, considerati proporzionali alle effettive altezze di precipitazione.

La stima della curva segnalatrice di possibilità climatica è tanto più attendibile, quanto più il periodo delle registrazioni copre un intervallo di tempo ampio ( $> 30-35$  anni).

L'equazione che collega altezze pluviometriche  $h$  alle durate di riferimento  $t$  è:

$$h(mm) = a * t^n$$

dove:

- a = variabile in funzione del tempo di ritorno;
- n = costante per un dato valore di t.

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica si utilizza la *distribuzione asintotica del massimo valore* ("distribuzione di Gumbel") che vede la sua migliore applicazione nei casi in cui si elaborano dati relativi ad eventi eccezionali (piene, piogge intense, ecc.), in cui è interesse conoscere la legge di distribuzione di probabilità dei valori massimi che le grandezze idrologiche assumono in campioni di assegnate dimensioni.

Le portate dei corsi d'acqua variano con il passare del tempo.

Il cambiamento delle tecnologie colturali e delle caratteristiche di copertura e permeabilità dei diversi territori hanno condotto variazioni dell'assetto idraulico del territorio. Le relazioni fra pioggia e portata sono perciò spesso condizionate da fattori ambientali; quindi una stessa pioggia può causare portate ben diverse al variare delle condizioni.

Per stimare i valori di portata massima si può ricorrere alla formula di Giandotti. Questa relazione è adatta per piccoli bacini con area  $< 300$  km<sup>2</sup>, ed è ricavata da quella di Turazza:

$$Q_{max} = C * h_c * \frac{A}{3,6} * t_c$$

dove:

Q = portata di massima piena (m<sup>3</sup>/s);  
 C = coefficiente di proporzionalità;  
 h<sub>c</sub> = altezza della pioggia critica (mm);  
 A = area del bacino idrografico;  
 t<sub>c</sub> = tempo di corrivazione.

in cui si definisce quest'ultimo come:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L}{0.8 * \sqrt{H}}$$

con:

A = superficie del bacino in km<sup>2</sup>;  
 L = lunghezza del percorso idraulicamente più lungo del bacino in km;  
 H = altezza media (m) del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

In natura, la sezione trasversale di un corso d'acqua è una figura assai piatta, ossia con un elevato valore del rapporto larghezza/profondità, assai più di quanto si tenda a rappresentare disegnando. Tale aspetto è importante allorché si tratta di valutare l'influenza della vegetazione di sponda sulla scabrezza. Recenti esperienze hanno mostrato come l'influenza della vegetazione si riduca sensibilmente per rapporti larghezza/profondità della sezione superiori a 10. Questa considerazione dovrebbe ridimensionare la preoccupazione che la realizzazione di tipologie di difesa spondale con l'inserimento di talee possa peggiorare il comportamento idraulico della sezione, soprattutto se si tratta dei corsi d'acqua maggiori in ambiente mediterraneo (larghezza >20 m).

La corrente subisce invece un forte rallentamento incontrando la vegetazione che, in genere, occupa le zone golenali, saltuariamente percorse dalle piene maggiori, oppure colonizza, nell'intervallo di tempo compreso fra due eventi di piena, le isole e le barre ghiaiose formatesi entro l'alveo. Il problema della manutenzione degli alvei, soprattutto nei tratti che interessano i fondovalle urbanizzati, ha sollevato il dibattito circa l'opportunità e le modalità dell'intervento. A proposito di tali interventi, diventa prioritario il riconoscimento del modello di alveo, che, a seconda delle caratteristiche idrologiche e geologiche del bacino idrografico interessato, può presentare andamenti con un solo canale (alvei mono-cursali) curvilineo e/o a meandri, oppure andamenti a canali multipli. Questo ultimo caso caratterizza gli alvei alimentati da tributari con forte trasporto solido e portate fortemente variabili, mentre il primo caso è tipico dei corsi d'acqua nelle valli strette ed incise oppure, nel caso dei meandri, dei corsi d'acqua con trasporto di materiali molto fini tipici delle grandi pianure. Molti alvei incisi nei fondovalle a forte pendenza tendono ad approfondire l'alveo, spesso con danni alle sponde; nei tratti a bassa pendenza, in presenza di trasporto solido, sviluppano diversi rami di cui solo alcuni sono attivi, ma di-

ventano rapidamente variabili durante le piene maggiori.

Un corso d'acqua naturale è soggetto al fenomeno dell'automodellamento dal quale si originano ed evolvono le sue caratteristiche morfologiche, sedimentologiche e idrauliche in funzione dei fattori ambientali (clima, geologia, tettonica) e antropici (uso del suolo, stabilizzazione dei versanti).

Attraverso il processo di automodellamento il corso d'acqua tende verso una configurazione plano-altimetrica di equilibrio in funzione del regime delle portate liquide e solide imposte dal bacino di appartenenza.

Occorre osservare che il processo evolutivo verso la configurazione d'equilibrio, o di regime, può essere perturbato dalla sovrapposizione o la modifica dei fattori, naturali e/o antropici, rispetto alle condizioni attuali, che inducono il corso d'acqua verso un nuovo assetto. Nei vari studi afferenti la "teoria del regime" vengono generalmente considerate come variabili dipendenti:

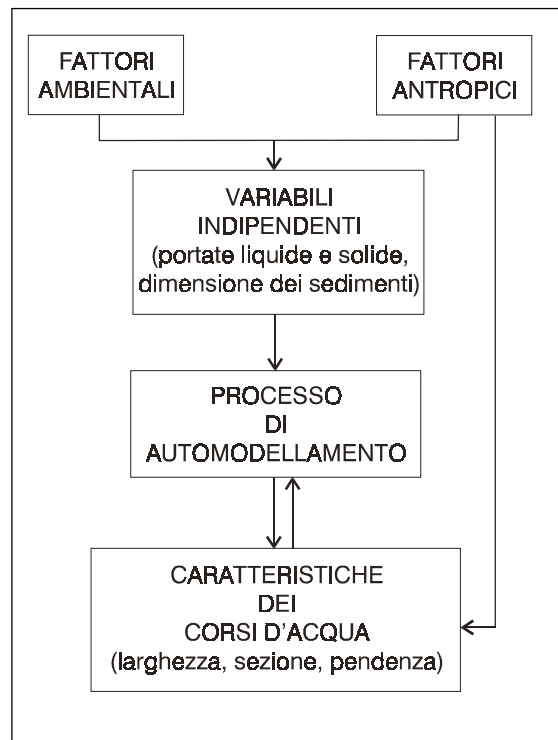
- la larghezza dell'alveo;
- l'altezza dell'alveo;
- la pendenza dell'alveo.

Vengono assunte come variabili indipendenti:

- la portata liquida;
- la portata solida;
- la dimensione dei sedimenti (fig. 11.9):

L'approccio fisico tenta di ricavare le relazioni di regime basandosi esclusivamente sulla descrizione dei principali processi fisici caratterizzanti il fenomeno dell'automodellamento dei

Fig. 11.9 - Rappresentazione schematica della dinamica morfologica dei corsi d'acqua



Fonte: *Manuale di Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000.

corsi d'acqua. In generale la determinazione del problema viene ottenuta mediante criteri di ottimizzazione.

Yang (1976) e Chang (1980) ipotizzano che il processo di adattamento di un alveo naturale sia tale da minimizzare l'energia dissipata dalla corrente. White *et al.* (1981) hanno mostrato che tale ipotesi equivale a rendere massima la concentrazione del materiale solido trasportato. In sostanza, tali criteri utilizzano le equazioni del trasporto solido e del moto dell'acqua (analogamente all'approccio semi-empirico) associate ad una condizione di minimo (o di massimo). I risultati ottenuti da White *et al.* (1982) indicano un notevole accordo tra le relazioni ricavate per via empirica e quelle ottenibili con l'approccio di tipo fisico. Da queste relazioni si può ricavare una scarsa influenza del trasporto solido nella relazione tra larghezza e portata e analogamente tra profondità e portata. Viceversa il legame tra la pendenza e la portata appare dipendente dal trasporto solido.

Quanto abbiamo detto si riferisce alla configurazione trasversale e altimetrica del corso d'acqua. Per quanto riguarda l'assetto planimetrico, si possono presentare varie configurazioni che qualitativamente possono essere schematizzabili come nella **figura 11.10**. In particolare, si osserva che per alte pendenze e forte trasporto solido il tracciato del corso d'acqua tende ad

essere rettilineo o di tipo *braided*, mentre per basse pendenze e basso trasporto solido si manifestano configurazioni di tipo meandriforme o, più raramente, del tipo multicanale (anastomizzato). Vari contributi sono stati proposti per caratterizzare l'assetto planimetrico dei corsi d'acqua. Leopold e Wolman (1957) sulla base di un'analisi dei dati sperimentali hanno proposto un criterio rappresentato graficamente, ove in ordinata è riportata la pendenza e in ascissa la portata. La retta di equazione:

$$S = 0.0116Q^{-0.44}$$

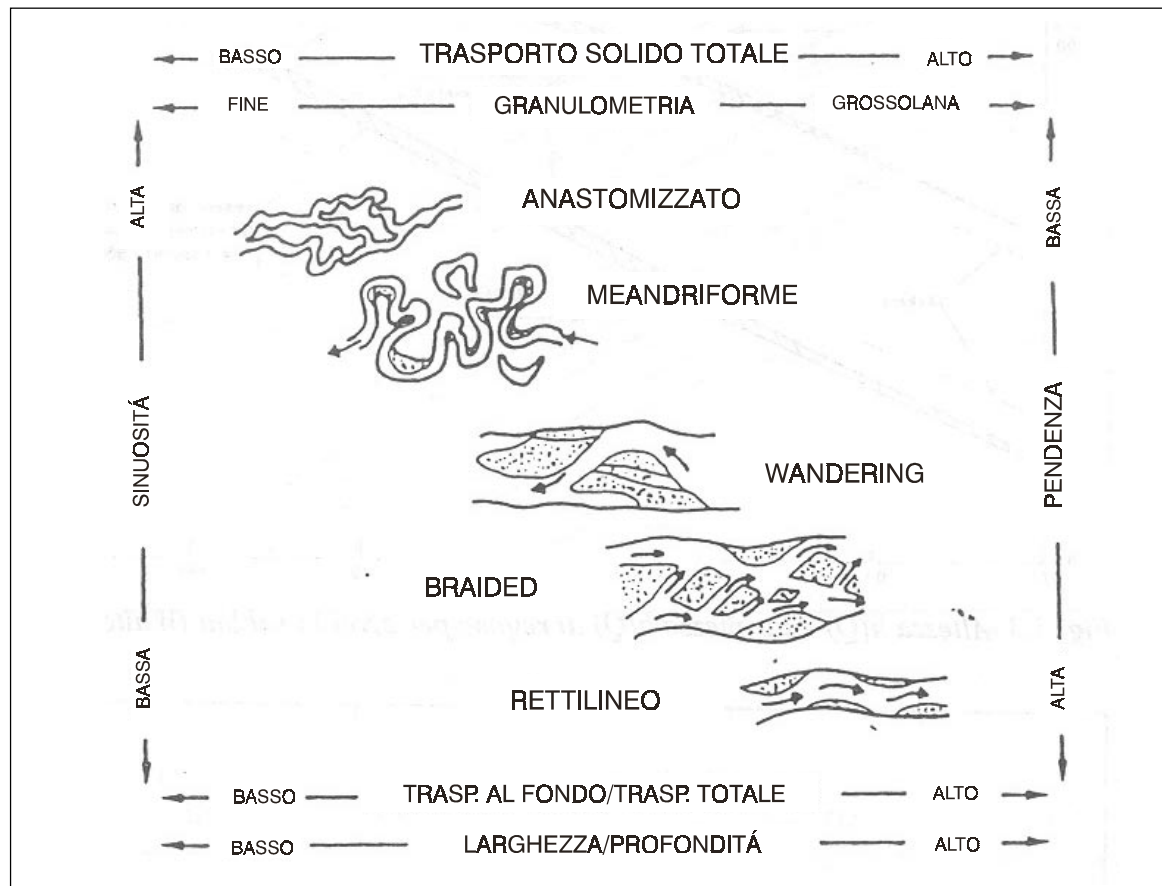
con Q misurato in m<sup>3</sup>/s, divide il piano in due regioni, quella superiore con assetto rettilineo o *braided* e quella inferiore con assetto di tipo meandriforme. Parker (1976) ha introdotto il parametro:

$$E = \frac{S}{\left(\frac{\pi F_r Y}{B}\right)}$$

dove:

- F<sub>r</sub> = numero di Froude;
- S = pendenza dell'alveo;
- Y = altezza dell'acqua;
- B = larghezza dell'alveo.

**Fig. 11.10** - Configurazione planimetrica dei corsi d'acqua naturali



Fonte: *Manuale d'Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000.



L'alveo tende ad essere il tipo *braided* per valori di  $E > 1$  e di tipo meandriforme per  $E < 1$ . Sempre sulla base di dati sperimentali Argwal (1983) ha dedotto un altro criterio rappresentabile graficamente ed esprimibile nella relazione adimensionale:

$$\tau_* = 0.13 \cdot \left( \frac{BS}{Y} \right)^{0.56}$$

dove  $\tau^*$  può essere espresso come *parametro di Shields*:

$$\tau_* = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) D}$$

in cui:

- $\tau$  = tensione tangenziale media al fondo;
- $\gamma_s$  = peso specifico dei sedimenti;
- $\gamma$  = peso specifico dell'acqua;
- D = diametro medio dei sedimenti.

Questi brevi cenni sulle caratteristiche di regime dei corsi d'acqua possono fornire un'idea sulla molteplicità di studi, di approcci e di criteri disponibili in letteratura.

Gli interventi su un corso d'acqua dal punto idraulico possono essere suddivisi in interventi di *regimazione* e di *sistemazione*.

Gli *interventi di regimazione* tendono a modificare il regime delle portate del corso d'acqua e comprendono le arginature, le dighe, le casse d'espansione, i diversivi e gli scolmatori.

Gli *interventi di sistemazione* tendono invece a modificare e/o consolidare l'alveo per il raggiungimento di uno stabile assetto planimetrico mediante le opere di difesa delle sponde e di stabilizzazione dell'alveo, la risagomatura delle sezioni, la riprofilatura del tracciato planimetrico.

Le opere di difesa di sponda si suddividono in:

- *opere di difesa longitudinale* (o *radenti*), disposte nella direzione della corrente con trascurabile interferenza sulle condizioni di deflusso;
- *opere di difesa trasversali* (o *repellenti*) che, viceversa, possono modificare sostanzialmente le condizioni di deflusso. In tal senso si rimanda al capitolo relativo alle rampe a blocchi.

Le considerazioni che seguono saranno limitate alla stabilizzazione delle sponde di tipo longitudinale.

Da un punto di vista strutturale tali opere sono raggruppabili in cinque categorie:

- rigide;
- semirigide;
- flessibili;
- in materiale sciolto;
- di Ingegneria Naturalistica.

Le *strutture rigide* comprendono le murature di pietrame con malta e calcestruzzo, impiegate come muri di contenimento e/o di rivestimento spondale. Tali strutture, pur essendo molto resistenti alle sollecitazioni idrodinamiche, hanno lo svantaggio di essere sensibili ai cedimenti e agli assestamenti indotti dalla di-

namica dell'alveo e del terreno (erosioni, movimenti franosi) e di offrire scarsa permeabilità agli scambi idrici falda-fiume.

Le *strutture semirigide e flessibili* non presentano tali svantaggi. Le prime fanno uso di elementi rigidi ai quali viene conferito un certo grado di deformabilità mediante connessioni di vario tipo quali giunti, perni o funi metalliche. Le seconde comprendono le strutture a gabbioni, i materassi, i buzzoni, le burghe, ecc.

I criteri di progettazione delle opere in strutture rigide e semirigide seguono le usuali procedure di calcolo, assumendo in generale lo schema di muro a gravità. Lo stesso, dicasi per le strutture a gabbioni quando funzionano come opere di contenimento.

Particolare attenzione deve essere posta nella determinazione della quota di fondazione, tenendo conto dei fenomeni di dinamica d'alveo. Le opere in materiale sciolto sono realizzate mediante massi naturali o artificiali di adeguate dimensioni disposti alla rinfusa oppure sistemati. Tali opere presentano una completa adattabilità alle deformazioni del terreno, ma possono presentare inconvenienti legati alla instabilità degli elementi.

Le opere di Ingegneria Naturalistica utilizzano materiale vegetale vivo (alberi, arbusti, piante erbacee) in associazione a materiale morto (vegetale o artificiale) per ottenere strutture funzionali dal punto di vista idraulico e nei riguardi del ripristino, della valorizzazione e della conservazione ambientale.

La progettazione delle opere in materiale sciolto consiste nel corretto dimensionamento della pezzatura media dell'ammasso, da posizionare sulla sponda in modo da garantirne la stabilità. In tal caso occorre mettere in conto, oltre agli effetti della gravità, le azioni idrodinamiche prodotte dalla corrente quali le azioni di trascinamento, i moti secondari, il moto ondoso. Considerando nel seguito la sola azione di trascinamento, espressa dalla tensione tangenziale, questa risulta diretta nel senso della corrente e di intensità variabile lungo il contorno bagnato. Alcuni studi su sezioni regolari trapezie e rettangolari, indicano che il valore massimo della tensione media sulla sponda è pari a circa il 75% del valore massimo del fondo. Si osserva la notevole influenza della granulometria sui valori della tensione tangenziale:

- per alvei con sedimenti fini, tipicamente alvei di pianura, la coesistenza di basse pendenze e velocità, assieme a bassi valori del rapporto di forma B/Y (larghezza dell'alveo/altezza dell'acqua in metri), appaiono limitare l'incremento della tensione al crescere della portata;
- per alvei in materiale grossolano, caratterizzati da pendenze e velocità maggiori, l'azione tangenziale appare considerevolmente più elevata e crescente con il valore della portata dominante.

All'azione tangenziale indotta dalla corrente si contrappone la resistenza al trascinamento dell'opera di difesa, che può variare anche notevolmente in funzione della tipologia, dei criteri



costruttivi, delle condizioni generali di stabilità delle sponde.

Per quanto riguarda le strutture flessibili, relativamente ad opere realizzate in "materassi Reno" di vario spessore, pur essendo riportati, in generale, valori espressi in termini di velocità della corrente, questi possono essere ricondotti in termini di tensione assumendo valori medi del coefficiente di resistenza. Il campo delle tensioni oscilla tra 50 e 250 N/m<sup>2</sup>, in funzione dello spessore di rivestimento adottato (tra 15 e 50 cm) oltre ovviamente alle caratteristiche di stabilità della sponda.

Per le opere i materiali sciolti, la tensione sviluppabile dipende essenzialmente dalla pezzatura del materiale, oltre che dall'angolo d'attrito e dall'inclinazione della sponda.

Per quanto riguarda gli interventi di Ingegneria Naturalistica, alcuni dati sono riportati da Di Fidio (1995).

Ad esempio, nel grafico della **figura 11.11** è riportato l'andamento nel tempo della tensione tangenziale sviluppata su opere di protezione in concomitanza di eventi di piena dove la curva *a* indica la resistenza al trascinarsi di una mantellata vivente in verghe di salice di 2 anni con densità di 20 pezzi al metro, mentre la curva *b* di un pettine vivente di talee di salice con spessore di 3 cm, lunghezza 60 cm e densità 7 pezzi al m<sup>2</sup>; infine, la curva *c* di una piantagione di cespugli di ontano nero, frassino e viburno in associazione 1x1 m.

Da notare che la resistenza asintotica delle varie tipologie di copertura può raggiungere valori anche considerevoli, dell'ordine di 200 ÷ 300 N/m<sup>2</sup>, in tempi dell'ordine dei 10 anni.

Durante tale periodo può rendersi necessario un intervento complementare (ad esempio, scogliera, materassi, graticciate) che garantisca la resistenza di sponda e lo stesso sviluppo della copertura (Paris, 2000).

A titolo esemplificativo utilizzando il criterio di Shields per le condizioni di stabilità del materiale, si perviene al calcolo della tensione massima sostenibile, mediante l'espressione:

$$\tau_w = \frac{D(\gamma_s - \gamma)\cos\theta\sqrt{1 - \text{tg}\theta^2 / \text{tg}\varphi^2}}{25}$$

dove:

- D = diametro medio dei sedimenti in mm;
- γ = peso specifico dell'acqua;
- γ<sub>s</sub> = peso specifico dei sedimenti;
- θ = inclinazione della sponda rispetto all'orizzontale;
- φ = angolo d'attrito del materiale.

Gli effetti delle modifiche della morfologia dell'alveo sulla biocenosi ed in particolare sulla fauna ittica si possono sintetizzare in:

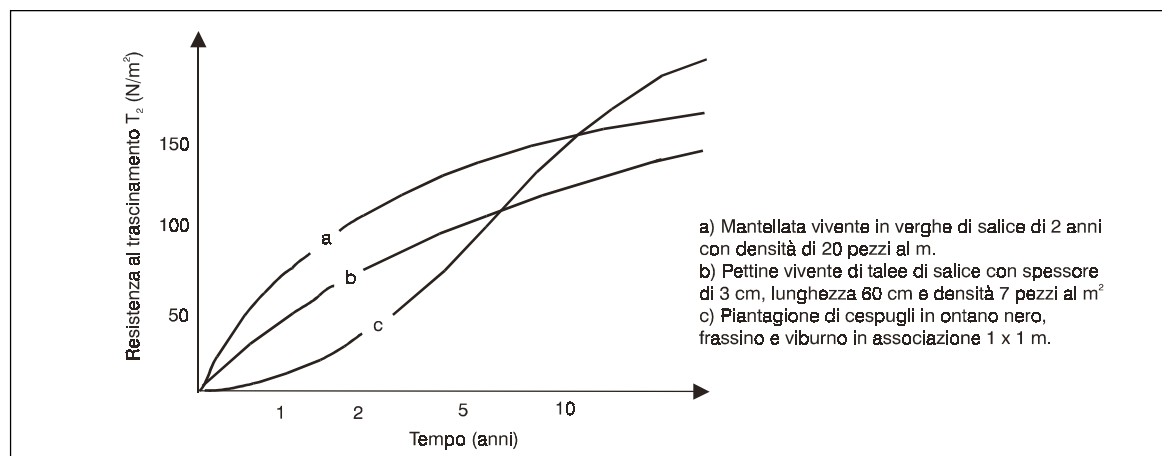
- perdita di *habitat*;
- aumento della torbidità e temperatura dell'acqua;
- diminuzione della capacità trofica e della biomassa;
- riduzione della biodiversità.

Altro fattore da considerare per certi tipi di copertura è la durata della sollecitazione idrodinamica. Il manto erboso, per esempio, non sembra essere in grado di resistere per tempi superiori a 10 ÷ 15 ore con velocità media della corrente dell'ordine dei 3 m/s.

Gli interventi di sistemazione dell'alveo tendono in generale a ridurre la capacità erosiva del corso d'acqua che, attraverso l'abbassamento del fondo porterebbe indurre stabilità delle sponde, dei versanti e delle strutture connesse (ponti, argini).

Si intuisce che lo stesso processo erosivo fa parte del fenomeno di automodellamento che tenderebbe a portare il corso d'acqua verso una configurazione di equilibrio tra capacità di trasporto e materiale solido in arrivo dai tronchi di monte. Tuttavia tale processo può estendersi su periodi anche molto lunghi (diverse decine d'anni). Una corretta sistemazione del corso d'acqua ha quindi lo scopo di accelerare tale dinamica evolutiva per il raggiungimento della condizione finale di equilibrio in tempi più brevi.

**Fig. 11.11 - Diagramma Tempo/Resistenza al trascinarsi**



Fonte: Di Fidio, 1995.

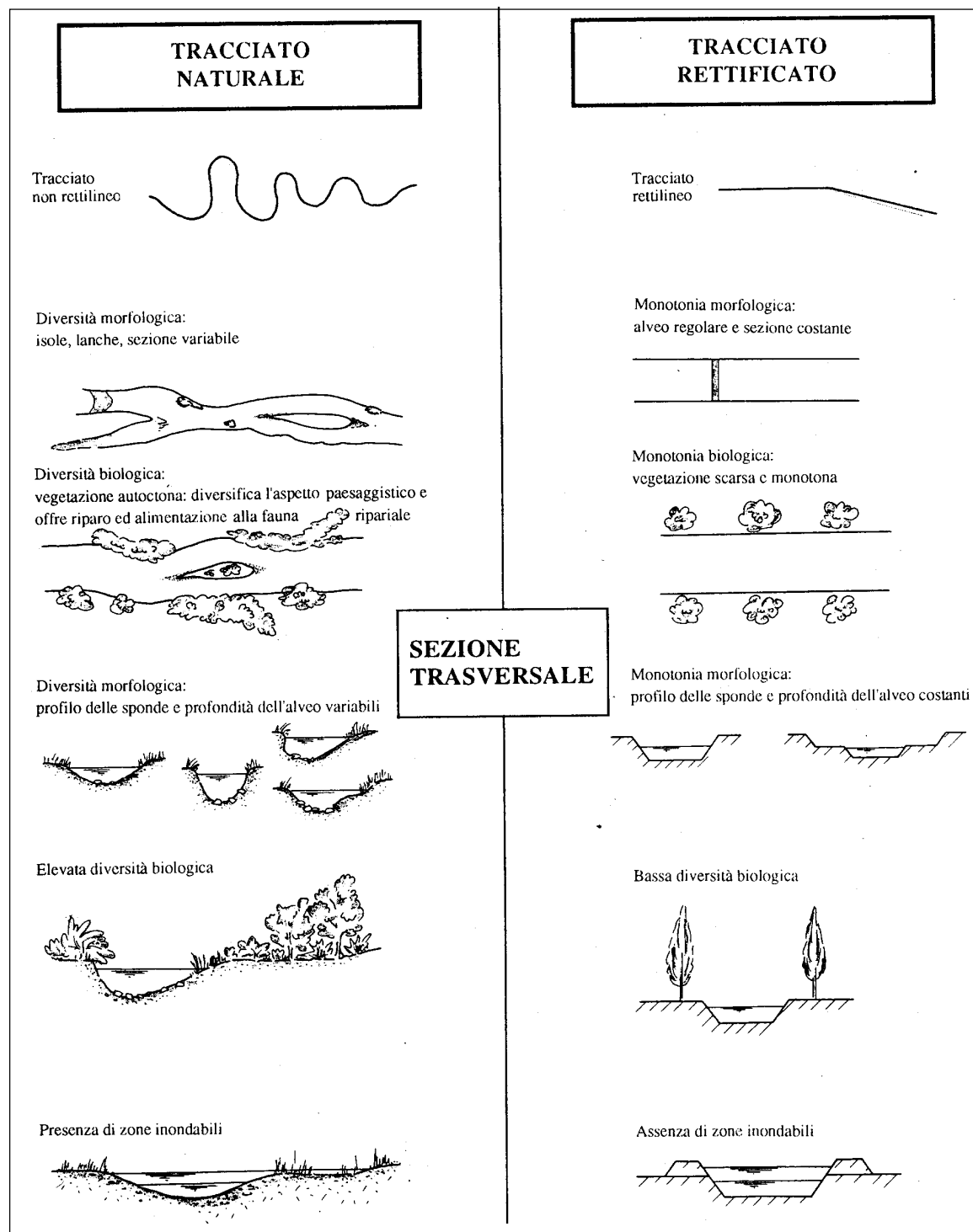
La sistemazione almetrica del corso d'acqua si basa pertanto su:

- una corretta identificazione dell'attuale dinamica evolutiva del corso d'acqua;
- la valutazione della condizione di equilibrio alla quale tende il corso d'acqua;
- la progettazione di interventi finalizzati al raggiungimento della condizione di equilibrio;
- la verifica degli altri effetti indotti dagli interventi previsti.

Da quanto sopra, occorre tenere presente che

gli interventi di difesa spondale possono indurre modifiche anche rilevanti sul preesistente assetto dei corsi d'acqua. La previsione e la quantificazione di tali effetti deve essere adeguatamente valutata nella fase progettuale dell'intervento, tenendo conto che la complessità dei fenomeni coinvolti e le loro mutue interazioni impongono spesso il ricorso ad approcci di tipo multidisciplinare finalizzati ad una corretta interpretazione della realtà fisica in esame.

Fig. 11.12 - Differenze morfologiche tra corsi d'acqua naturali e regimati artificialmente



Fonte: Lachat, 1991, modificato.

La qualità dei risultati è comunque subordinata al livello di conoscenza dei parametri fisici di base e quindi alla disponibilità dei dati e delle misure per il corso d'acqua considerato.

Di particolare importanza, soprattutto negli interventi di Ingegneria Naturalistica, appare la quantificazione delle sollecitazioni indotte dalla corrente da porre a confronto con la resistenza offerta dal tipo di copertura prevista. Dai dati disponibili si deduce che gli interventi di protezione spondale attuati con le tecniche di Ingegneria Naturalistica risultano applicabili in un ampio campo delle correnti lente, anche se ulteriori verifiche sperimentali sarebbero auspicabili soprattutto in relazione all'entità e al tempo di permanenza della sollecitazione idrodinamica.

La diversificazione ambientale è il presupposto fondamentale per una ricca presenza di specie animali e vegetali in qualsiasi ambiente: acque più o meno profonde, rami e ceppaie affioranti o sommersi, vegetazione acquatica, fondo a diversa granulometria creano le condizioni ottimali per l'alimentazione, il rifugio e la riproduzione delle diverse specie (figg. 11.12-11.13).

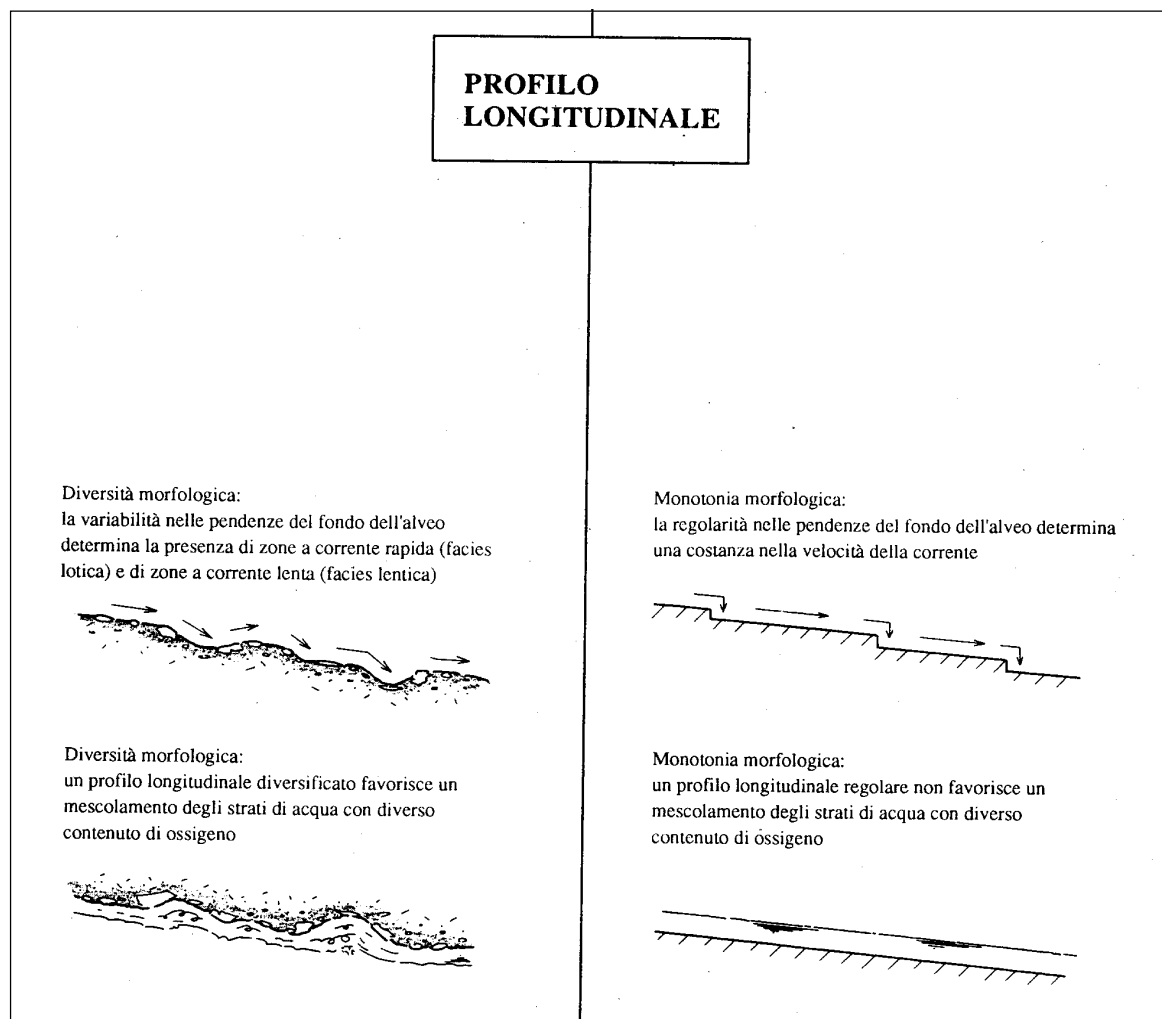
Alcuni studi hanno anche quantificato le conseguenze della riduzione dei microambienti fluviali: nei corsi d'acqua con sponde ricche di vegetazione è stata censita una fauna ittica anche dieci volte superiore a quella presente in tratti con sponde in calcestruzzo.

Lo stesso dicasi per i canali d'irrigazione che, pur essendo di origine artificiale, hanno discrete potenzialità di miglioramento in termini di qualità ambientale sia per la vegetazione che per la fauna; ciò è possibile, ad esempio, realizzando nuovi meandri, creando piccole anse, diversificando le pendenze delle sponde e dell'alveo, variando la profondità del fondo.

Un impatto ancora più pesante si è registrato laddove, al fine di acquisire nuovi spazi per l'agricoltura o per l'urbanizzazione, si è proceduto ad intubare piccoli e grandi ruscelli con la conseguente drastica riduzione di micro- e macroambienti naturali (*tombamento*).

Va ricordato, infine, che le opere di sistemazione idraulica, le derivazioni e le dighe costituiscono spesso un ostacolo insormontabile per la fauna ittica in quanto suddividono il corso d'acqua in tratti isolati fra loro; ove possibile andrebbe prevista, pertanto, la realizzazione

Fig. 11.13 - Differenze morfologiche tra corsi d'acqua naturali e regimati artificialmente



Fonte: Lachat, 1991, modificato.

d'idonee rampe di risalita per i pesci (si veda il paragrafo 11.8, *Le rampe a blocchi e rampe di risalita per pesci*).

Per quanto riguarda l'utilizzo delle risorse idriche ciò che crea le problematiche per serie sono gli eccessivi prelievi di ingenti quantità d'acqua resi possibili dai grandi sbarramenti o dalle derivazioni idriche, per svariati usi (agricoli, artigianali, industriali o domestici), in quanto le *portate di restituzione*, chiamate anche *residuali*, non consentono il mantenimento di un sufficiente equilibrio ecologico del corso d'acqua.

Una gestione delle risorse idriche più attenta agli effetti sull'ambiente può evitare impatti troppo negativi attraverso l'adozione di alcuni accorgimenti e precauzioni:

- una variazione dei prelievi a seconda delle stagioni;
- una politica delle concessioni che tenga conto della loro compatibilità ambientale;
- una "gestione" delle piene;
- il rilascio di una portata minima vitale per l'intero ecosistema;
- l'esecuzione dei lavori idraulici in periodi idonei in funzione delle esigenze trofiche e riproduttive dell'ittiofauna.

Tali misure contribuirebbero senz'altro ad una migliore conservazione e ad una maggiore protezione dei corsi d'acqua.

La determinazione del deflusso minimo vitale da rilasciare in un fiume per consentire il mantenimento di un certo equilibrio ambientale è un problema di notevole importanza e, a tal fine, sono stati elaborati diversi metodi per una sua quantificazione: tra questi si ricorda quello elaborato in Austria che si basa, in particolare, sull'analisi del *benthos* presente nel corso d'acqua, ma anche su altri parametri fisico-chimici quali la morfologia dell'alveo o la granulometria dei sedimenti.

Nei corsi d'acqua, le problematiche legate alla definizione del *Deflusso Minimo Vitale* (DMV) nascono dall'esigenza di garantirne la funzionalità biologica a lungo termine, in presenza di un non equilibrato utilizzo della risorsa idrica da parte dell'uomo.

Le derivazioni idriche, infatti, vengono spesso realizzate senza un'adeguata conoscenza dell'ecosistema fluviale e con scarsa considerazione dei potenziali impatti di origine antropica. Il governo della risorsa idrica dovrebbe avvenire, quindi, a diversi livelli:

- assicurando il rispetto di obiettivi generali di politica delle acque e specificando tali obiettivi generali in sede di pianificazione;
- valutando la disponibilità della risorsa idrica e fissando obiettivi di qualità nei diversi tratti fluviali;
- determinando per ciascun tratto fluviale l'ammontare complessivo dei prelievi e di scarichi ammissibili e compatibili con le disponibilità e con gli obiettivi di qualità delle risorse;
- disponendo la risorsa complessiva tra i diversi utilizzatori e destinandone una parte agli usi ambientali.

Al fine di rendere possibili le azioni precedentemente descritte, risulta pertanto indispensabile:

- la caratterizzazione dello stato attuale del corso d'acqua e la ricostruzione, per quanto possibile, del suo regime naturale al fine di individuare gli squilibri tra risorse disponibili e domande idriche per usi civili e produttivi da una parte e fabbisogni ambientali dall'altra;
- la valutazione di tali fabbisogni nei termini di riproducibilità della risorsa: mantenimento della vita acquatica, delle aree protette e di interesse naturalistico e ricreativo, della capacità di autodepurazione;
- la definizione di criteri di regolamentazione ambientale volti a ridurre gli squilibri, in particolare rispetto ai fabbisogni idrici di cui al punto precedente.

La riduzione della portata idraulica nel tratto a valle delle derivazioni comporta soprattutto:

- presenza di tratti compresi tra il punto di prelievo e quello di restituzione con scarsa presenza di acqua (se non assenza), specialmente nella stagione estiva;
- variazione del regime idrologico con alterazione dei rapporti ecologici tra gli ambienti di transizione acquatico e terrestre, incidendo negativamente su flora e fauna dell'alveo e delle rive (in particolare, l'alterazione dei cicli di sviluppo dei macroinvertebrati acquatici);
- riduzione della capacità di diluizione e di depurazione delle sostanze inquinanti che raggiungono il corso d'acqua con conseguente riduzione della naturale resistenza dei popolamenti ittici alle malattie batteriche, virali, parassitarie e all'inquinamento in generale;
- frammentazione dell'ittiofauna in popolamenti geneticamente isolati a causa degli sbarramenti delle opere di presa, che costituiscono un ostacolo insormontabile agli scambi tra le varie parti del corso d'acqua;
- riduzione della velocità della corrente, con sedimentazione dei materiali fini trasportati in sospensione e conseguente distruzione di numerosi *microhabitat* per l'occlusione degli interstizi tra i ciottoli e per il loro ricoprimento con uno strato fangoso.

Risulta pertanto di fondamentale importanza per i corsi d'acqua garantire una portata idrica che salvaguardi la struttura e la funzionalità degli ecosistemi fluviali senza alterare le condizioni ecologiche naturali.

Vanno segnalate, infine, anche le conseguenze provocate dallo svuotamento dei bacini idroelctrici in quanto con tali operazioni si determina per diversi km dell'asta fluviale, la scomparsa di vari organismi viventi.

Oltre ai sopracitati problemi di utilizzo e prelievo di ingenti quantità di acqua dai fiumi, vanno sottolineati anche quelli connessi alla qualità della medesima: molti corsi ricevono troppi rifiuti solidi e liquidi di vario genere e di varia origine (industriale, agricola, urbana). La raccolta delle acque inquinate in bacini di

decantazione o in canali filtranti può, ad esempio, aiutare i tratti urbani e periurbani dei fiumi a ritrovare una soddisfacente qualità biologica.

Sono stati sperimentati, infatti, diversi sistemi di depurazione delle acque inquinate con metodi biologici, utilizzando determinate specie vegetali (fitobiodepurazione).

Ulteriore tema interessante risulta essere, infatti, la fitobiodepurazione, che può essere definita come “la coltivazione delle piante acquatiche sulle acque di scarico”. Questo tipo di soluzione rappresenta un sistema naturale di depurazione, che si basa sui processi di funzionamento degli ambienti acquatici e delle zone umide.

La fitobiodepurazione presenta le seguenti caratteristiche:

- *funziona a bassi costi energetici* (energia solare), in alcuni casi si utilizzano elettropompe per sollevare i liquami, alimentate con pannelli fotovoltaici;
- *utilizza piante acquatiche e non* (macrofite e microfite) per abbattimento nutrienti, associata alla mineralizzazione (batteri, fase anaerobica o aerobica);
- *garantisce una qualità ambientale ed una integrazione fra costruito e paesaggio*, senza grosso impatto visivo tipico degli impianti tradizionali;
- *utilizza il liquame* come risorsa;
- *elimina eventuali patologie* derivanti da aerosol, rumori molesti, odori, ecc.;
- *serve ad una visione integrata del territorio*: con il frazionamento e decentramento della depurazione, infatti, si può aderire per settori territoriali alle varie parti della città;
- *serve al risanamento dei depuratori tradizionali*, come integrazione per il fissaggio finale (assorbimento di azoto e fosforo) prima dell'arrivo ai corpi recettori (fiumi, mari);
- *può creare una occupazione diretta* di tipo nuovo legata alla possibilità di nuove colture idroponiche, anche se non riduce la necessità d'impiego per la fase di manutenzione e di manodopera.

Si possono, inoltre distinguere tre tipologie d'impianti:

- sistemi di flusso superficiale (FWS);
- sistemi a flusso sub-superficiale orizzontale (FS - o);
- sistemi a flusso sub-superficiale verticale (FS - v).

Con tali sistemi si è riusciti a ridurre sia il carico inquinante di natura organica, sia quello chimico, in quanto alcune specie vegetali acquatiche (giacinto d'acqua, tifa, lenticchia d'acqua, ecc.) sono particolarmente attive nell'assimilare la sostanza organica presente in eccesso o nell'accumulare i metalli pesanti nei propri tessuti.

Anche le piante acquatiche o di ripa presenti lungo i corsi d'acqua svolgono un'importante funzione di filtraggio e di assorbimento delle sostanze inquinanti trasportate: si è potuto notare, infatti, che nei tratti di fiume o di canale

ricchi di vegetazione si verifica un maggiore abbattimento del carico inquinante. In definitiva si può ritenere che le opere idrauliche siano spesso necessarie per motivi di sicurezza, ma devono essere rese il più possibile compatibili con le esigenze di salvaguardia ambientale.

#### 11.4.2 Caratteristiche delle grandezze idrauliche

Il moto dell'acqua avviene di solito entro un alveo delimitato dal fondo e dalle sponde caratterizzati da materiali e coperture diversi. La sezione trasversale (traccia dell'alveo su un piano ortogonale alla direzione prevalente della corrente) risulta caratterizzata da due grandezze, di significato intuitivo:

- l'area bagnata ( $A$  = porzione di sezione occupata dalla corrente);
- il contorno bagnato ( $C$  = lunghezza della linea di contatto acqua-alveo).

Il rapporto fra le due grandezze:

$$R = \frac{A}{C}$$

fornisce il raggio idraulico, che sintetizza la forma geometrica dell'area bagnata. La velocità media ( $V$ ) della corrente in un tronco d'alveo a sezione costante può essere ricavata, con l'ipotesi che il movimento sia costante nel tempo, dalla relazione dovuta ad Antoine Chezy (1765):

$$V = C \cdot \sqrt{gRS}$$

dove:

- R = raggio idraulico;
- S = pendenza dell'alveo;
- g = accelerazione di gravità.

La valutazione della scabrezza è operazione delicata:

la *formula di Manning - Strickler* è molto diffusa nelle applicazioni ai corsi d'acqua naturali e mette in evidenza il coefficiente di scabrezza ( $n$  nella formulazione di Manning,  $k$  in quella di Strickler con  $k = 1/n$ ), secondo la relazione:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

La scabrezza dipende essenzialmente:

- dalla natura del fondo;
- dalla presenza di irregolarità o di ostacoli al deflusso nella sezione;
- dal tipo e dal grado di sviluppo della vegetazione sulle sponde e sul fondo.

L'aumento del coefficiente di scabrezza ( $n$ ) comporta una riduzione della velocità media della corrente e, pertanto, della portata convogliabile, data dalla relazione  $Q = V/A$ .

La capacità di convogliamento di un tronco d'alveo è il parametro determinante nel dimensionamento delle opere idrauliche (**tab. 11.5a - 11.5b**).

La tensione tangenziale sviluppata dai diversi

Tab. 11.5a - Valori del coefficiente di Gaukler - Strickler, utilizzabili nei corsi d'acqua artificiali

	Coefficiente di Strickler $m^{1/3} \cdot s^{-1} = \frac{1}{n}$ (n = Coeff. Manning)	Massimo	Normale	Minimo
<b>a) Canali in terra lisciata e uniforme</b>				
	Pulita e scavata di recente	62	56	50
	Pulita dopo prolungata esposizione	56	45	40
	Ghiaia, sezione uniforme e pulita	45	40	33
	Erba corta e pochi cespugli	45	37	30
<b>b) Canali in terra, con ondulazioni o irregolari</b>				
	Senza vegetazione	43	40	33
	Con erba e pochi cespugli	40	33	30
	Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	33	39	25
	Fondo in terra e sponde in pietrisco	36	33	29
	Fondo in pietrame e sponde in cespugli	40	29	25
	Fondo in ciottoli e sponde pulite	33	25	20
<b>c) Canali scavati o dragati</b>				
	Senza vegetazione	40	36	30
	Cespugli sparsi sulle sponde	29	20	17
<b>d) Canali in roccia</b>				
	Lisci ed uniformi	40	29	25
	Fraggiati ed irregolari	29	25	20
<b>e) Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli</b>				
	Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	20	12	8
	Fondo pulito, cespugli sulle sponde	25	20	12
	Fondo pulito, cespugli sulle sponde in piena	22	14	9
	Cespugli densi e acque profonde	12	10	7

tipi di copertura spondale, può tradursi in un aumento significativo della scabrezza complessiva dell'alveo e quindi indurre indesiderati effetti di innalzamento dei livelli idrici, soprattutto in concomitanza degli eventi di piena. Tali effetti devono essere valutati per alvei stretti, cioè quando il rapporto di forma larghezza-altezza B/Y è inferiore a 15. In tal caso l'influenza delle sponde sulla resistenza al moto diventa via via più sensibile al diminuire del rapporto di forma.

Per il calcolo del *numero di Manning*, si deve fare riferimento alla seguente formula:

$$n = (n1 + n2 + n3 + n4) * m$$

In accordo con i valori riportati nella **tabella 11.6**.

In generale si può dire che il rapporto tra velocità media della corrente (V) e velocità al fondo (V\*) è costante e pari ad un *coefficiente adimensionale di resistenza* (o di Chezy):

$$\frac{V}{V_*} = C$$

Considerando il caso di moto uniforme, la velocità media della corrente può essere espressa tramite l'*equazione di Chezy*:

$$V = C \sqrt{gRS}$$

con:

R = raggio idraulico [m];  
S = pendenza dell'alveo in %;  
g = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>].

La velocità al fondo può essere, infatti, espressa come:

$$V_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

con la tensione di taglio media sul contorno ( $\tau$ ) pari a:

$$\tau = \gamma RS$$

$\rho$  = densità dell'acqua [kg/m<sup>3</sup>];  
 $\gamma$  = peso specifico dell'acqua [N/m<sup>3</sup>].

Mediante la *formula di Manning* che viene usata correntemente come equazione del moto uniforme, la stessa si può rendere:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Tab. 11.5b - Valori del coefficiente di Gaukler - Strickler, utilizzabili nei corsi d'acqua naturali

CORSI D'ACQUA MINORI (LARGHEZZA DEL PELO LIBERO IN PIENA <30 m)		Massimo	Normale	Minimo
<b>a) Corsi d'acqua di pianura</b>				
	Pulito diritto, con la massima portata e senza divisioni o bacini profondi	33	30	25
	Pulito diritto, con la massima portata e senza divisioni o bacini profondi, ma con una maggiore presenza di pietre ed erba	40	35	30
	Pulito, meandriforme, alcuni bacini e zone di profondità ridotta	45	40	33
	Pulito, meandriforme, alcuni bacini e zone di profondità ridotta, ma con erba e pietre	50	45	35
	Pulito, meandriforme, alcuni bacini e zone di profondità ridotta, ma con portate minori e pendenze e sezioni irrilevanti	55	48	40
	Pulito, meandriforme, alcuni bacini e zone di profondità ridotta, ma con una maggiore presenza di pietre	60	50	40
	Tratti stagnanti con erba e bacini profondi	80	70	45
	Tratti con elevata presenza di erba, con bacini profondi o scolmatori ricoperti di ceppi d'albero ed arbusti	150	100	75
<b>b) Torrenti in montagna senza vegetazione in alveo, sponde generalmente ripide, alberi ed arbusti sulle sponde sommersi durante le piene</b>				
	Fondo: ghiaia, ciottoli e grosse pietre	50	40	30
	Fondo: ghiaia e grosse pietre	70	50	40
	<b>Zone pianeggianti allagabili</b>			
<b>c) Pascolo senza cespugli</b>				
	Erba rasa	35	30	25
	Erba alta	50	35	30
<b>d) Zone coltivate</b>				
	Terreno incolto	40	30	20
	Coltivazioni a file	45	35	25
	Coltivazioni cerealicole a maturità	50	40	30
<b>e) Cespugli</b>				
	Cespugli sparsi	70	50	35
	Cespugli ad alberi radi in inverno	60	50	35
	Cespugli ed alberi sparsi in estate	80	60	40
	Cespugli a densità medio-alta in inverno	110	70	70
	Cespugli a densità medio-alta in estate	160	100	70
<b>f) Alberi</b>				
	Salici con elevata ramificazione, in estate	200	150	110
	Zone aperte con ceppi d'albero senza germogli	50	40	30
	Zone aperte con ceppi d'albero, ma con molti germogli in crescita	80	60	50
	Zona altamente boscosa, con piccoli alberi, un po' di cespugli e rami sommersi in periodi di piena crescita	120	100	80
	Zona altamente boscosa, con piccoli alberi, un po' di cespugli e rami sommersi, ma con un livello di piena che non supera i rami	160	120	100
<b>CORSI D'ACQUA MAGGIORI (LARGHEZZA PELO LIBERO IN PIENA &gt;30 m)</b>				
	Sezione regolare senza grosse pietre nè cespugli	60	-	25
	Sezione irregolare e scabra	100	-	35

dove:

 $n =$  coefficiente di Manning [ $s/m^{1/3}$ ].

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Dal confronto delle formule:

$$V = C \sqrt{gRS}$$

appare come il coefficiente adimensionale di resistenza  $C$  in realtà rappresenti una conduttanza essendo legato al coefficiente di attrito di Darcy-Weisbach, mediante la relazione:

**Tab. 11.6 - Valori per il calcolo del coefficiente di rugosità**

Condizioni in cui si trova il corso d'acqua		Valori
Materiale considerato	Terra	0,020
	Sabbia grossolana	0,025
	Ghiaia fine	0,024
	Ghiaia grossolana	0,028
Grado di irregolarità	Assente	0,000
	Basso	0,005
	Moderato	0,010
	Intenso	0,020
Variazioni della sezione trasversale del canale	Graduali	0,000
	Occasionali	0,005
	Frequenti	0,010 ÷ 0,015
Relativi effetti di ostruzioni	Insignificanti	0,000
	Minori	0,010 ÷ 0,015
	Apprezzabili	0,020 ÷ 0,030
	Intensi	0,040 ÷ 0,050
Vegetazione	Bassa	0,005 ÷ 0,010
	Media	0,010 ÷ 0,025
	Alta	0,025 ÷ 0,050
	Molto alta	0,050 ÷ 0,100
Numero di meandri	Minori	1,000
	Apprezzabili	1,150
	Intensi	1,300

Fonte: Manning.

$$C = \sqrt{\frac{8}{\lambda}}$$

Il rapporto tra il *coefficiente adimensionale di resistenza* e il *coefficiente di Manning* risulta:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n\sqrt{g}}$$

La resistenza al flusso può essere espressa indifferentemente mediante il *coefficiente di Manning* (o *coefficiente di ritardo* o *di resistenza*):

$$n = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{V}$$

o con il *coefficiente di attrito*:

$$\lambda = \frac{8gRS}{V^2}$$

Il *coefficiente di attrito* e quello *di ritardo* risultano legati dall'equazione:

$$n = \sqrt{\lambda} \cdot \left[ \sqrt{\frac{R^{1/3}}{8g}} \right]$$

L'equazione precedente può essere usata per convertire il coefficiente di scabrezza espresso con il corrispondente valore *n*.

Un'analisi teorica del moto turbolento in canale aperto dà, inoltre, il *coefficiente di attrito* in funzione del diametro rappresentativo del materiale che costituisce il letto:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = a + c \cdot \log\left(\frac{y}{k}\right)$$

dove:

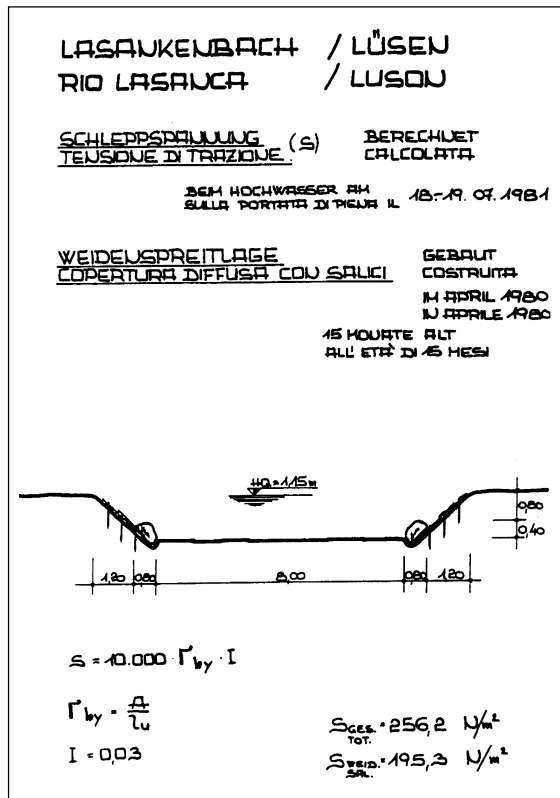
- k* = scabrezza idraulica;
- c* = coefficiente derivato dalla *costante di Von Karman*, solitamente posto uguale a 0,4;
- a* = coefficiente determinato dalla forma della sezione trasversale del canale.

Nel caso di canali naturali è necessario considerare una scabrezza composita, cioè suddividere la sezione in un numero *N* di sottosezioni con scabrezza omogenea pari a *n<sub>i</sub>*.

In questo caso il *coefficiente di resistenza* dell'intera sezione (*n<sub>c</sub>*) può essere valutato secondo alcuni metodi, fra cui quello di Lotter (con riferimento alla *formula di Manning*) che assume la portata totale pari alla somma delle portate nelle subsezioni:



**Fig. 11.14 - Calcolo della tensione di trazione, sulla portata di piena di un corso d'acqua**



Fonte: Florineth, 1981.

$$n_c = \frac{PR^{5/3}}{\sum_{i=L}^N \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i}}$$

con:

P = perimetro bagnato dell'intera sezione (m).

Assumendo per una distribuzione di velocità logaritmica, tipica del moto turbolento nella zona di parete, la relazione tra la velocità  $u_y$  ad una distanza  $y$  dal fondo e la scabrezza idraulica  $K$  in ciascuna sottosezione  $i$ , è data dalla (che vale per alveo fisso, quindi esente da fenomeni di trasporto solido):

$$\left(\frac{u_y}{u_*}\right) = 8.48 + 2.5 \ln\left(\frac{y}{k}\right)_i$$

Se ora si considera per semplicità un alveo rettangolare abbastanza largo da poter confondere il raggio idraulico con l'altezza dell'acqua, si ottiene un'equazione che esprime la portata in funzione del livello idrometrico (scala di deflusso):

$$Q = \left(\frac{B \times S^{1/2}}{n}\right) \times y^{5/3}$$

con:

B = larghezza dell'alveo (m);  
y = livello idrometrico (m);  
A = By = sezione bagnata (m<sup>2</sup>),  
con la condizione B >> y.

Per una portata si può calcolare che raddoppiando la scabrezza si ha un incremento di altezza idrica del 50% ed una riduzione della velocità del 34%.

Da notare che la resistenza asintotica delle varie tipologie di copertura può raggiungere valori anche considerevoli, dell'ordine dei 200 ÷ 300 N/m<sup>2</sup> in tempi anche brevi e molto variabili. Il riferimento rimane in genere il terzo periodo vegetativo, anche se si sono ottenuti ottimi risultati anche dopo soli 6-8 mesi (fig. 11.14).

Durante il primo periodo può rendersi necessario un intervento complementare (ad esempio, scogliera, materassi o graticciate) che garantisca la resistenza di sponda e lo stesso sviluppo della copertura. Altro fattore da considerare per certi tipi di copertura è la durata della sollecitazione idrodinamica. Il manto erboso, per esempio, non sembra essere in grado di resistere a tempi superiori a 10 ÷ 15 ore con velocità media della corrente di 3 m/s.

#### 11.4.3 Interventi sui corsi d'acqua: le sistemazioni d'alveo

Gli interventi di sistemazione dell'alveo tendono in generale a ridurre la capacità erosiva del corso d'acqua che, attraverso l'abbassamento del fondo, potrebbe indurre instabilità delle sponde, dei versanti e delle strutture connesse (strade, ponti, argini).

Si intuisce che lo stesso processo erosivo fa parte del fenomeno di automodellamento che tenderebbe a portare il corso d'acqua verso una configurazione di equilibrio tra capacità di trasporto e materiale solido in arrivo dai tronchi di monte. Tuttavia tale processo può estendersi su periodi anche molto lunghi (diverse decine d'anni). Una corretta sistemazione del corso d'acqua ha quindi lo scopo di accelerare tale dinamica evolutiva per il raggiungimento della condizione finale di equilibrio in tempi molto più brevi.

Gli alvei dei corsi d'acqua naturali sono soggetti a evoluzioni plano-altimetriche indotte dai fenomeni d'erosione o deposito di tipo esteso, coinvolgenti cioè lunghi tratti del corso d'acqua. Come è noto tali processi possono essere originati da variazioni lungo l'alveo della capacità di trasporto solido e/o del trasporto solido e tendono ad esaurirsi via via che le modificate condizioni dell'alveo ristabiliscono una condizione d'equilibrio. Trattando il problema del regime del corso d'acqua, si osserva che nessun corso d'acqua naturale può considerarsi, a rigore, in condizioni di equilibrio (né erosione, né deposito), ma per gli scopi pratici si può individuare un assetto più o meno stabile se, in un opportuno intervallo temporale (50-100 anni), le varie grandezze fisiche possono ritenersi mediamente costanti.

Nella realtà gli andamenti risultano molto più irregolari e discontinui per effetto di vari fattori:

- le portate subiscono, ad esempio, delle discontinuità in corrispondenza delle confluenze;
- il profilo altimetrico risente delle varie vicende geologiche e tettoniche del bacino.

La dimensione dei sedimenti è la grandezza a comportamento più irregolare, in quanto dipende sia dalle caratteristiche generali del bacino, sia da quelle locali del tratto.

La sistemazione altimetrica del corso d'acqua si basa pertanto su:

- una corretta identificazione dell'attuale dinamica evolutiva del corso d'acqua;
- la valutazione delle condizioni di equilibrio alla quale tende il corso d'acqua;
- la progettazione di interventi finalizzati al raggiungimento della condizione di equilibrio;
- la verifica degli altri effetti indotti dagli interventi previsti.

In questo ambito si propone un inquadramento di sintesi sui criteri di progettazione degli interventi di sistemazione, tenendo presente che, in generale, tali interventi sono essenzialmente finalizzati alla sistemazione altimetrica.

#### 11.4.4 Interventi di stabilizzazione dell'alveo

Nelle zone soggette ad erosione si interviene mediante opere di stabilizzazione dell'alveo atte a contrastarne l'abbassamento. Tali interventi consistono nella realizzazione di strutture trasversali all'alveo, costituite da *briglie* o *soglie di fondo* (fig. 11.15), in grado di fissare una determinata quota altimetrica del letto nella sezione; ciò favorisce il raggiungimento di una pendenza di equilibrio  $S_e$  in tempi molto più rapidi rispetto a quelli impiegati naturalmente dal corso d'acqua e soprattutto blocca l'abbassamento in atto.

Nel caso delle *briglie* la nuova pendenza viene raggiunta mediamente il progressivo riempi-

mento della zona a monte di ciascuna struttura, secondo quanto indicato nella parte superiore della **figura 11.15**, mentre nel caso di *soglie di fondo*, l'alveo tende ad erodersi tra una struttura e l'altra, come indicato nella parte inferiore **figura 11.15**.

L'intervento con *briglie* induce un innalzamento della quota media del fondo con i seguenti effetti:

- *aumento della larghezza dell'alveo* e, a parità di portata liquida, riduzione delle altezze d'acqua; la riduzione della tensione di fondo e, quindi, della capacità di trasporto solido è provocata non solamente dalla progressiva riduzione di pendenza, ma anche dalla diminuzione del tirante idrico; in tal senso, le briglie risultano più efficienti delle soglie nel raggiungere la configurazione di equilibrio;
- *aumento dei livelli idrici*, con conseguente aumento del rischio di esondazione e incremento dei livelli di falda nei terreni adiacenti; tali effetti possono spesso risultare non accettabili.

L'intervento con le *soglie di fondo* comporta a sua volta:

- una *minore efficienza dal punto di vista idraulico*, in quanto raggiunge la pendenza d'equilibrio e conseguentemente la riduzione del trasporto solido, attraverso un processo di approfondimento che comporta tiranti d'acqua maggiori (a parità di portata) e quindi tensioni al fondo che diminuiscono solo in virtù della diminuzione di pendenza;
- un *abbassamento delle quote d'alveo*, che può compromettere la stabilità delle sponde e degli eventuali manufatti presenti sul corso d'acqua;
- *volumi di scavo* in generale *superiori* a quelli richiesti per le briglie.

In prima approssimazione avremo:

$$A_b = (S_2 - S_1) * L$$

dove:

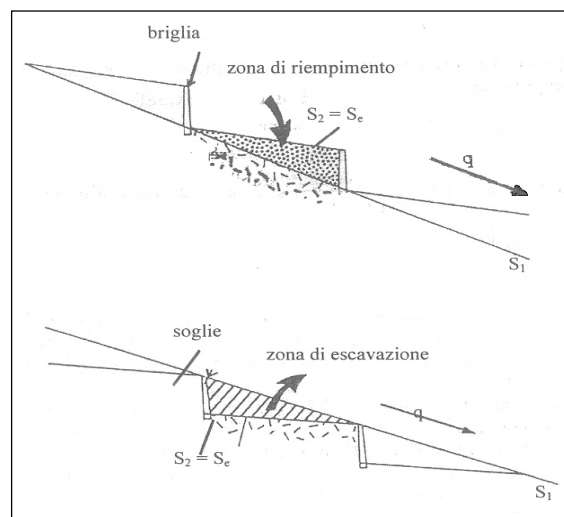
- $A_b$  = altezza delle soglie;
- $L$  = distanza fra loro.

Non risulta attendibile il semplice confronto tra la pendenza di equilibrio,  $S_e$  e quella attuale  $S_1$ , per stabilire se un determinato tronco si trova in condizione di erosione ( $S_1 > S_e$ ) o di deposito; occorre a questo scopo effettuare un bilancio sedimentologico mediante la stima degli apporti solidi di ciascun tronco e/o affluente del corso d'acqua in studio.

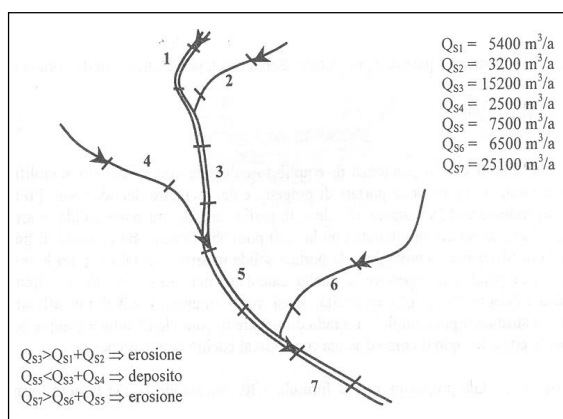
Con riferimento alla **figura 11.16** ove è schematizzata una rete idrografica, occorre prima di tutto individuare i tratti significativi sui quali effettuare le stime del trasporto solido; questi devono essere piuttosto regolari, privi di discontinuità geometriche (brusche variazioni di pendenza), idrauliche e sedimentologiche, al fine di calcolare il trasporto solido mediante una delle formule più appropriate per il caso in esame.

Con riferimento ai modelli semplificati, sulla

**Fig. 11.15** - Stabilizzazione dell'alveo mediante briglie e soglie di fondo



**Fig. 11.16** - Esempio di bilancio sedimentologico di una rete idrografica



base dei dati raccolti e delle elaborazioni, si fissa il *valore della portata di progetto*  $Q_p$  e il *diametro dei sedimenti*  $D_{s4}$ . Si ammette che la larghezza del corso d'acqua sia mediamente stabile e pari a  $B$ . Si ricavano poi i valori delle pendenze d'equilibrio o della sistemazione  $S_e = S_2$  e dell'altezza  $A_b$  delle briglie (o delle soglie); da tenere presente che comunemente  $A_b < 6 \text{ m}$ . Si adotta la soluzione a briglie o a soglie di fondo (o una soluzione intermedia) in funzione delle considerazioni svolte in precedenza.

Le *briglie di consolidamento* hanno la funzione primaria di contrastare l'erosione del letto riducendo la pendenza e contribuendo alla stabilizzazione delle sponde.

All'atto della loro costruzione tendono ad accumulare materiale solido a monte fino al loro riempimento, impiegando tempi più o meno lunghi in funzione del volume invasabile a disposizione e del regime idraulico e sedimentologico cui sono sottoposte. È possibile che, durante tale fase il ridotto apporto solido ai tronchi di valle induca fenomeni erosivi sul letto e sulle sponde da non sottovalutare. È bene quindi, in sede di progetto, stimare seppur approssimativamente il tempo di riempimento delle briglie e valutare l'entità dei possibili effetti a valle, per decidere poi eventuali modifiche.

Le *briglie di trattenuta* o *filtranti* hanno in genere dimensioni maggiori delle briglie di consolidamento e si trovano spesso isolate; hanno lo scopo di trattenere non solo i massi di grandi dimensioni, ma soprattutto i materiali ingombranti come ceppaie e interi alberi, che ostruendo i punti più stretti dell'alveo possono formare sbarramenti con conseguenti straripamenti e accumuli di acqua in grado di generare ulteriori picchi di piena. Le briglie di trattenuta sono dotate di ampie finestre di forme varie che, in occasione delle forti piene, sono comunque insufficienti a convogliare tutta la portata; si crea, a monte della struttura, un profilo di corrente ritardata che permette a monte il deposito dei materiali di dimensioni maggiori. Allo scopo di prolungare l'efficacia di tali briglie, ove possibile si realizza a monte della struttura un bacino di deposito per il contenimento di maggiori volumi di materiale.

In ogni caso per le briglie di trattenuta (o *briglie selettive*) è necessario prevedere un'adeguata manutenzione sia della struttura, sia del volume disponibile al deposito, rimuovendo periodicamente il materiale sedimentato.

Le briglie presentano, infine, una zona centrale ribassata rispetto alla quota di sommità a scopo di favorire il deflusso della corrente lontano dalle sponde e ridurre così i rischi di aggiramento della struttura.

La realizzazione di interventi di stabilizzazione dell'alveo induce come primo effetto una diminuzione degli apporti solidi verso valle; altri effetti indotti possono essere rappresentati dalla variazione della quota media di falda in comunicazione con il corso d'acqua di cui occorre stimarne l'entità e le conseguenze su attingimenti da pozzi, sulle colture in atto, sulla stabilità dei manufatti. In ogni caso è sempre consigliabile prevedere successivamente alla realizzazione dell'intervento un'adeguata attività di controllo dell'evoluzione dell'alveo mediante periodici rilievi geometrici e sedimentologici volti a evidenziare gli eventuali scostamenti dalla situazione di progetto o altri effetti non previsti.

#### 11.4.5 Effetti della vegetazione sulla scabrezza idraulica

In generale si può dire che la presenza di qualsiasi tipo di vegetazione in alveo e sulle sponde comporta un aumento della scabrezza effettiva del contorno, aumentando di conseguenza la resistenza al flusso e riducendone la velocità. Si deve tenere conto, inoltre, che l'aumento della scabrezza implica un innalzamento del livello dell'acqua, dunque un maggiore rischio di esondazione.

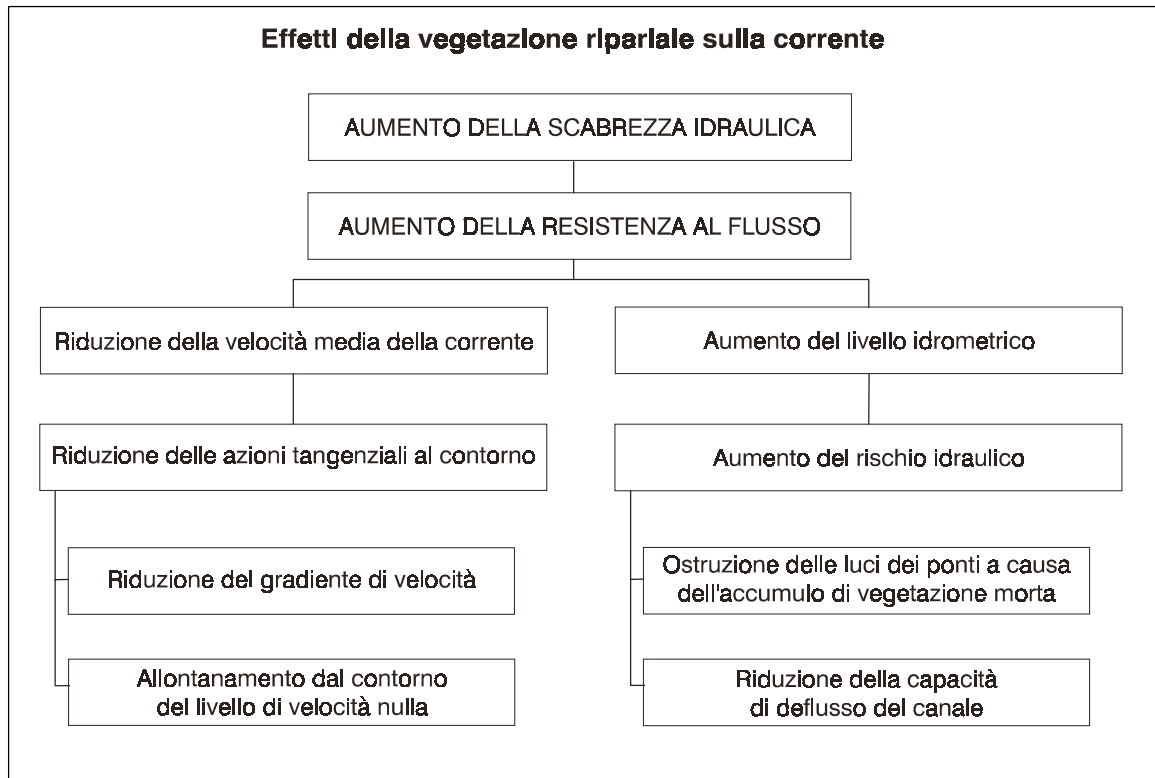
La scabrezza dovuta alla vegetazione, a differenza di quella relativa al materiale d'alveo, cambia nel tempo, sia in relazione ai periodi vegetativi, sia per effetto della corrente. La vegetazione, soggetta alla forza di trascinamento della corrente, tende a piegarsi: l'entità della flessione dipende dalla resistenza a flessione dello stelo o del fusto e dalla forza esercitata dalla corrente stessa, ma la forza di trascinamento dipende dalla velocità del flusso che, a sua volta, dipende in parte dal grado di flessione delle piante.

La distribuzione della velocità della corrente è approssimativamente logaritmica, in quanto la flessione dei fusti delle piante ha come principale effetto quello di traslare il livello di velocità nulla progressivamente verso il contorno, man mano che l'abbassamento delle piante aumenta.

Come si può osservare dalla **figura 11.17**, vi sono diversi effetti che la riduzione della velocità della corrente e l'aumento del livello idrometrico, comportano.

Lo studio della resistenza al flusso deve essere affrontato separatamente nel caso di *vegetazione sommersa* (canali ricoperti d'erba e livelli d'acqua superiori all'altezza della vegetazione eretta) e di *vegetazione non sommersa* (vegetazione in alveo con flussi bassi e vegetazione di sponda o delle aree golenali).

Fig. 11.17 - Livelli di scabrezza



#### 11.4.5.1 Vegetazione totalmente sommersa

Quando l'acqua o l'aria scorrono attraverso la vegetazione flessibile, questa si piega sotto determinate condizioni e perciò si riduce la sua altezza. Nel momento in cui la vegetazione si piega, la scabrezza al contorno si riduce sensibilmente. Nei flussi in canale aperto vegetato, il grado di resistenza al piegamento della vegetazione dipende dalla rigidità e dalla densità della vegetazione stessa, mentre la forza di trascinamento dovuta all'acqua che scorre determina il momento flettente imposto alla vegetazione.

È possibile ricavare il coefficiente di attrito e dunque il *coefficiente di Manning*, una volta nota l'altezza della vegetazione flessa ( $k$ ). Questo parametro dipende dalle caratteristiche biomeccaniche della vegetazione.

Tale valore può essere valutato conoscendo la resistenza a flessione MEI (in Newton) data dal prodotto fra:

$$MEI = M * E * I$$

con:

- $E$  = modulo di elasticità lineare in Pascal;
- $I$  = momento secondo di inerzia dell'area della sezione degli steli [m<sup>4</sup>];
- $M$  = densità relativa, definita come il rapporto tra numero di steli ed un numero di riferimento di steli per unità d'area (generalmente m<sup>-2</sup>).

La relazione che lega  $k$  alla resistenza a flessione è la seguente:

$$k = 0.14h \left[ \frac{\left( \frac{MEI}{\gamma S} \right)^{0.25}}{h} \right]^{1.59}$$

con:

- $h$  = altezza della vegetazione eretta [m];
- $y$  = altezza d'acqua [m];
- $S$  = pendenza del canale;
- $\gamma$  = peso specifico dell'acqua [N/m<sup>3</sup>].

Nonostante la complessità dell'interazione tra vegetazione erbosa e caratteristiche idrauliche, è stato sperimentato che per un particolare tipo di vegetazione il *coefficiente di scabrezza di Manning* è unicamente correlato al prodotto tra la velocità media  $V$  (influenzata dalla presenza della vegetazione) e il raggio idraulico  $R$ , indipendentemente dai valori relativi assunti da  $V$  ed  $R$ . Per cui avremo:

$$n = V * R$$

per erbe da 50 a 900 mm.

Per alvei erbosi e abbastanza larghi da poter trascurare l'effetto delle sponde sulla scabrezza ( $B \gg y$ ), il legame tra il *numero di Manning* e il prodotto  $VR$  è stato calcolato, per diverse altezze dell'erba. Le prove riguardano tutte le lunghezze dell'erba che si trovano con più frequenza nella pratica: da 50 mm a 900 mm.

Bisogna tenere conto che la correlazione tra  $n$  e  $VR$  è stata ottenuta con approccio empirico e

non è perciò estendibile con semplicità a situazioni diverse da quelle sperimentali.

Il livello di scabrezza (**tab. 11.7**) dipende dalla morfologia della pianta e dalla densità di crescita.

Per flussi bassi la vegetazione rimane abbastanza rigida e i valori di scabrezza sono intorno a 0,25 - 0,30, associati alla distorsione delle linee di flusso intorno agli steli delle singole piante; all'aumentare dell'altezza d'acqua gli steli cominciano ad oscillare, disturbando maggiormente il flusso e la scabrezza aumenta fino a circa 0,40. Quando la corrente comincia a sommergere le piante, il coefficiente di ritardo diminuisce rapidamente all'aumentare della profondità dell'acqua, perché le piante tendono a piegarsi e la scabrezza risulta legata soprattutto al contorno.

In presenza di flussi alti il coefficiente di ritardo tende ad assumere valore costante piuttosto basso; in queste condizioni l'erba è distesa e offre al flusso una superficie relativamente liscia, aumentando di conseguenza le velocità.

#### 11.4.5.2 Vegetazione parzialmente sommersa

I risultati sperimentali visti riguardano essenzialmente gli effetti dell'erba sommersa sulla corrente, e la correlazione tra  $n$  e  $VR$  mostra che la scabrezza diminuisce all'aumentare del prodotto tra raggio idraulico e velocità media. La diminuzione di  $n$  è dovuta al piegamento delle piante e all'aumento del livello di sommersione della vegetazione all'aumentare di  $VR$ .

Le correlazioni viste non sono più valide nel caso in cui la vegetazione sia più alta del livello d'acqua, caso che può verificarsi in alveo nei periodi di magra o nelle aree golenali durante le piene.

Nel caso in cui la pianta venga investita fino al tronco si può assumere che essa abbia comportamento rigido, altrimenti si dovrà tenere conto della flessione della chioma e delle proprietà meccaniche dei rami e delle foglie.

**Tab. 11.7** - *Categorie di scabrezza (o di resistenza al flusso)*

Densità	Altezza media (cm)	Categoria
Buona	>76	A
	28-61	B
	15-25	C
	5-15	D
	<5	E
Scarsa	>76	B
	28-61	C
	15-25	D
	5-15	D
	<5	E

Fonte: *Manuale di Ingegneria Naturalistica*, Regione Toscana, 2000.

La resistenza al flusso attraverso una data area vegetata è funzione di molte variabili tra le quali:

- la velocità del flusso;
- la distribuzione della vegetazione in direzione longitudinale e trasversale rispetto alla corrente;
- la scabrezza del contorno;
- le proprietà strutturali e idrodinamiche associate agli steli e alle foglie delle piante.

L'assunzione di scabrezza rigida in presenza di vegetazione può portare a grossi errori nelle relazioni tra velocità e forza di trascinamento. In realtà la vegetazione produce una scabrezza flessibile e non sommersa che influenza poco i flussi bassi, ma può dare un contributo significativo durante gli eventi di piena. In questo caso il valore di  $n$  diminuisce all'aumentare della velocità per una data condizione della vegetazione e un dato livello idrometrico, a differenza della scabrezza flessibile dovuta ad erba che dipende esclusivamente dal prodotto  $VR$ .

Un recente studio (1997) di Fathi-Maghadam e Kouwen dà un notevole contributo in questa direzione. Lo studio riguarda gli effetti sulla resistenza al flusso dovuti alla presenza di singoli alberi di pino e cedro, che possono poi essere estesi ad una comunità di piante assumendo che tutti gli alberi, di uguale forma e ugualmente distanziati, occupino lo stesso volume nella copertura vegetale. Si assume, inoltre, che:

- $a$  sia l'area orizzontale coperta da un singolo albero;
- $h$  sia l'altezza della copertura.

Dall'analisi dei risultati sperimentali, si nota che il coefficiente di attrito è maggiormente legato al rapporto tra  $A$  (area di assorbimento della quantità di moto, strettamente correlata alla superficie delle foglie e dei tronchi investita dall'acqua) e l'unità di volume del flusso attraverso la copertura, piuttosto che al rapporto tra  $A$  e l'unità di area orizzontale ( $A/a$ ). Perciò, si può assumere un incremento lineare di  $A$  all'aumentare dell'altezza d'acqua.

Per la *scabrezza flessibile*, come quella costituita dagli alberi, la resistenza appare correlata linearmente alla velocità, a causa della flessione delle piante (riduzione di 2) e della diminuzione del coefficiente di resistenza all'aumentare della velocità. Non potendosi misurare o calcolare direttamente la flessione di  $A$  o la riduzione del coefficiente di resistenza, in generale si calcola il parametro combinato adimensionale  $C_d (A/a)$  in funzione del quadrato della velocità media del flusso.

Questo conferma che l'ipotesi di vegetazione rigida porta a grossi errori nella stima della scabrezza. Si nota inoltre l'importanza del livello di sommersione  $y/h$  per la valutazione della resistenza.

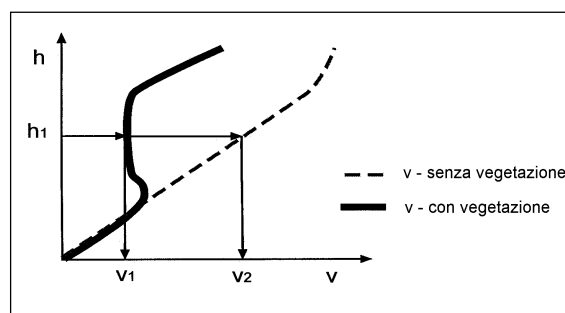
Si può, infine, studiare l'andamento di  $n$  in funzione della profondità relativa di sommersione e della velocità media del flusso. A parità di velocità, si ha un incremento massimo di  $n$  del doppio nel passaggio da flusso basso ( $y/h = 0,25$ ) alla condizione di quasi sommersione. Si-

**Tab. 11.8 - Coefficiente di scabrezza**

Casi	Coefficienza di scabrezza di Manning (n)	
Alveo inciso	0,030 ÷ 0,035	-
Alveo torrentizio	0,040	-
Presenza di vegetazione di alto fusto	0,060	Solo tronchi intercettati
	0,070	Alcuni rami parzialmente intercettati
	0,080	Rami sensibilmente intercettati
Arbusti non completamente sommersi	0,080 ÷ 0,110	Radi
	0,20 ÷ 0,40	Fitti
Arbusti completamente sommersi	0,070 ÷ 0,10	Radi
	0,150 ÷ 0,20	Fitti

Fonte: Manning, modificata.

**Fig. 11.18 - Schema della distribuzione della velocità dell'acqua (v) in prossimità del fondo del fiume nel caso di sponde con e senza vegetazione in funzione del livello dell'acqua (h)**



milmente, si ha una riduzione massima di  $n$  della metà quando la velocità aumenta da 0,1 a 0,8 m/s. a parità di altezza d'acqua. Dai calcoli deduttivi su casi reali (Calò e Palmeri, 1996) si sono dedotti i valori indicativi e conservativi riportati nella **tabella 11.8**.

**11.4.6 Effetti della vegetazione sulla velocità del flusso**

In modo molto schematico, l'andamento della velocità nel caso di sezioni con o senza vegetazione, è rappresentato dal diagramma riportato nella **figura 11.18**.

Nel 1960, Felkel eseguì delle esperienze confrontando le curve isostatiche di piccoli corsi d'acqua in assenza ed in presenza di vegetazione, arrivando a calcolare la riduzione percentuale del deflusso legata alla presenza vegetativa (**fig. 11.19**).

Nel 1982, Haber evidenziò sperimentalmente la variazione della velocità in presenza di vegetazione sommergibile di modesta altezza riportando: in ascisse, la velocità in funzione tirante liquido e in ordinate la profondità (**fig. 11.20**). Interessante è descrivere l'esperienza condotta da Bertram e Garbrecht, al fine di valutare la diminuzione della capacità di deflusso in presenza di ostacoli regolarmente disposti in sponda di sezione trapezia; nella **figura 11.21** si può osservare il confronto delle curve isostatiche senza e con ostacoli.

**11.4.6.1 Vegetazione totalmente sommersa**

Gli effetti della vegetazione in alveo sulla velocità del flusso nel caso di canali abbastanza larghi da potere trascurare gli effetti delle sponde e con sponde protette da erba con altezza di circa 0,2 m, sono tali per cui risulta evidente che per altezze d'acqua non superio-

**Fig. 11.19 - Esempio di distribuzioni di isostatiche**

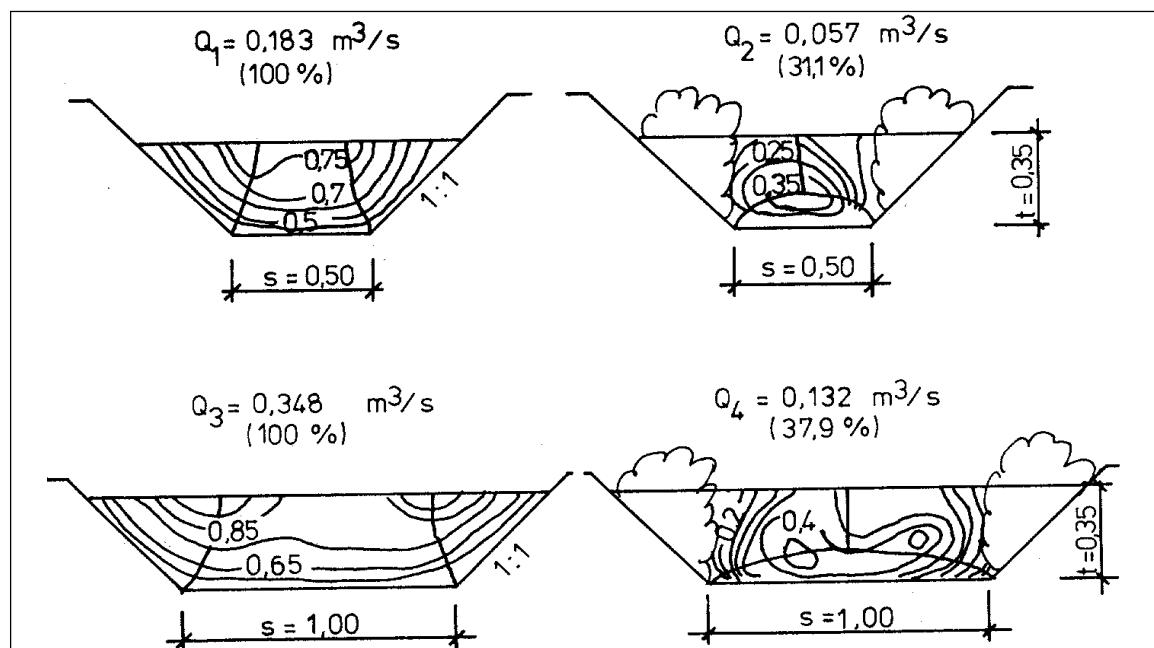
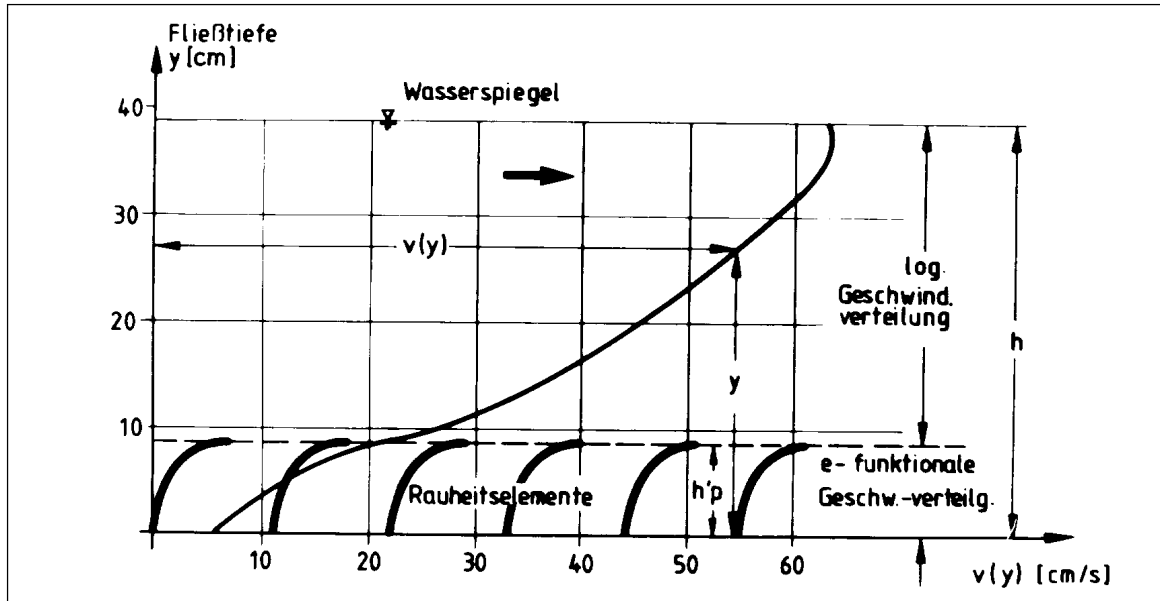
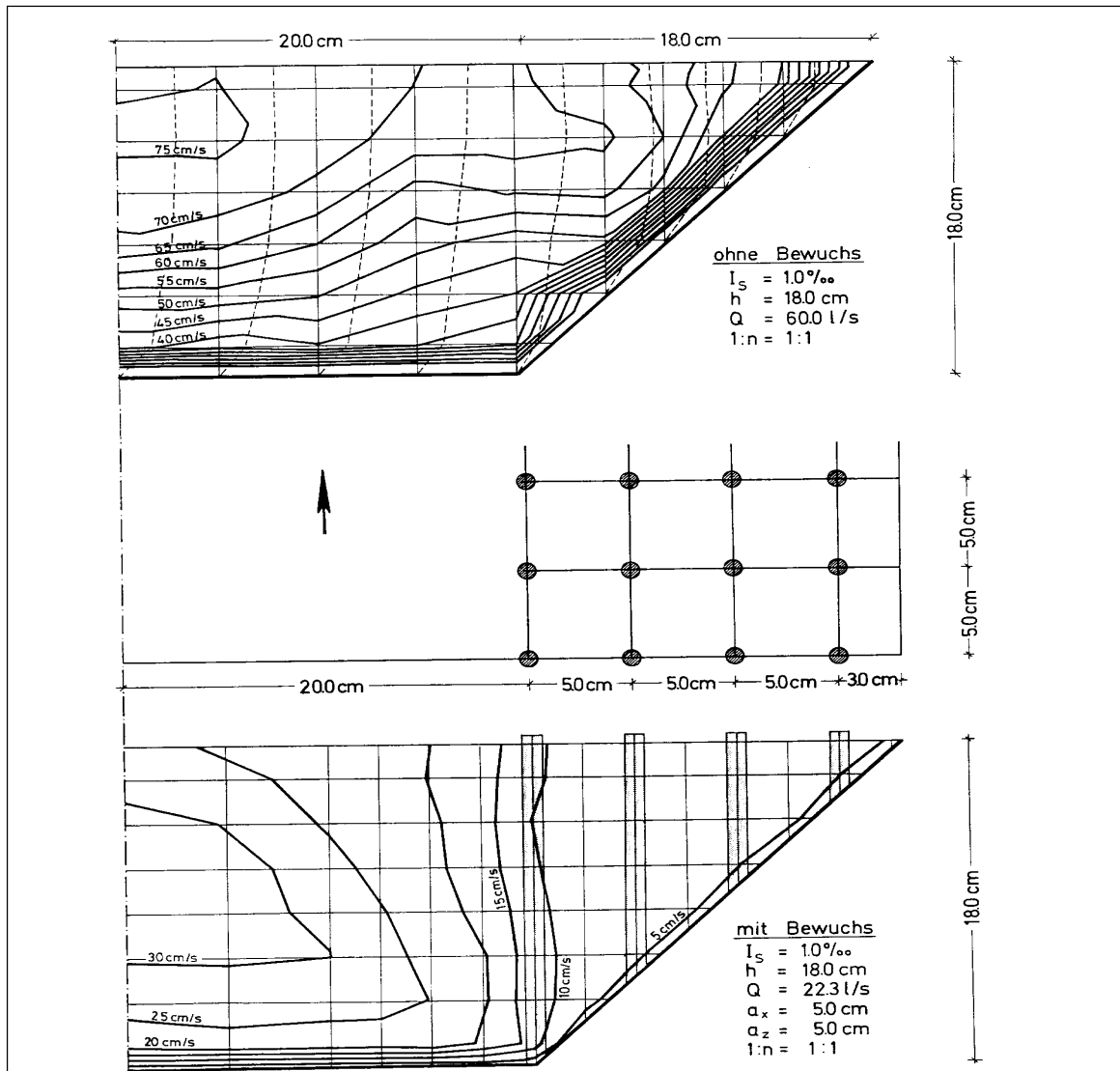


Fig. 11.20 - Variazione della velocità in presenza di vegetazione sommersibile di modesta altezza



Fonte: Haber, 1982.

Fig. 11.21 - Confronto isostatiche senza e con ostacoli



ri a 3 ÷ 4 volte l'altezza dell'erba, la velocità media del flusso è molto minore per fondo ricoperto da vegetazione rispetto a quella che si osserva sul letto spoglio.

Risultano, inoltre, minori anche i gradienti verticali di velocità e, conseguentemente, le tensioni tangenziali. La riduzione delle azioni tangenziali implica una minore erosione in alveo e alla base delle sponde, aumentando di conseguenza la stabilità di sponda.

#### 11.4.6.2 Vegetazione parzialmente sommersa rigida

Per ciò che riguarda la *vegetazione alta* (dell'ordine della profondità del flusso) e *rigida* (ignorando il contributo dei rami e delle foglie), posta in alveo, recentemente si sono ottenuti importanti risultati sperimentali circa l'effetto della vegetazione sulle caratteristiche di deflusso (altezza d'acqua e velocità) e sugli sforzi di taglio esercitati dalla corrente sul contorno.

Dalle **tabelle 11.9-11.10**, si può vedere l'effetto di diverse densità e disposizioni di vegetazione sull'altezza d'acqua, velocità di deflusso e tensione di taglio media al contorno: all'aumentare della densità di vegetazione aumenta il livello idrometrico, diminuisce la velocità media del flusso e diminuisce lo sforzo di taglio medio sul con-

torno. Nel caso di piante concentrate lungo una striscia longitudinale, a parità di numero di piante, la riduzione di velocità e tensione di taglio al contorno è minima (casi A-V e B-V). La distribuzione più efficace per la riduzione di velocità media e tensione al contorno è quella con piante distribuite in direzione trasversale e longitudinale rispetto alla corrente (casi A-VI e B-VI).

L'effetto negativo della vegetazione sui livelli d'acqua diventa particolarmente significativo nel caso di corsi d'acqua stretti; in questo caso la vegetazione sulle sponde influisce sulla distribuzione della velocità non solo vicino alla sponda, ma anche nella zona centrale dell'alveo. Per la valutazione dell'influenza della vegetazione sulla sponda sulla capacità di deflusso si può fare riferimento allo schema proposto da Hey (1979) che divide una sezione trapezoidale in tre aree che contribuiscono al convogliamento della portata totale.

Applicando questo schema a canali trapezoidali con sponde vegetate Masterman e Thorne (1992) hanno costruito un grafico in cui si osserva come il contributo delle portate laterali rispetto alla portata totale diminuisca all'aumentare del rapporto  $B/h$  (larghezza/profondità), risultando rilevante l'influenza della vegetazione sulla capacità di deflusso:

**Tab. 11.9 - Risultati del modello in accordo con i risultati sperimentali**

Caso	Numero di piante (n)	Profondità del flusso D [m]	Velocità media V [m/s]	Tensione di taglio media al contorno $\tau$ [N/m <sup>2</sup> ]
A-I	64	0,64	0,752	1,125
A-II	0	0,30	1,587	5,975
A-III	32	0,50	0,968	1,977
A-IV	32	0,52	0,934	1,824
A-V	32	0,47	1,031	2,274
AVI	32	0,52	0,928	1,800
A-VII	32	0,50	0,974	2,001
A-VIII	32	0,51	0,939	1,848

**Legenda:** diametro della vegetazione  $d = 0.1524$  m; pendenza del fondo  $S = 0.002$ ; grandezza media dei grani  $d_{65} = 0.9144$  mm; portata  $Q = 5.89$  m<sup>3</sup>/s; peso specifico dei sedimenti  $\gamma_s = 26$  kN/m<sup>3</sup>.

**Tab. 11.10 - Risultati del modello in accordo con i risultati sperimentali**

Caso	Numero di piante (n)	Profondità del flusso D [m]	Velocità media V [m/s]	Tensione di taglio media al contorno $\tau$ [N/m <sup>2</sup> ]
B-I	48	0,72	0,673	0,881
B-II	0	0,30	1,587	5,975
B-III	24	0,54	0,897	1,666
B-IV	24	0,55	0,882	1,604
B-V	24	0,51	0,939	1,848
B-VI	24	0,55	0,877	1,585
B-VII	24	0,54	0,902	1,690
B-VIII	24	0,55	0,882	1,604

**Legenda:** diametro della vegetazione  $d = 0.1524$  m; pendenza del fondo  $S = 0.002$ ; grandezza media dei grani  $d_{65} = 0.9144$  mm; portata  $Q = 4.786$  m<sup>3</sup>/s; peso specifico dei sedimenti  $\gamma_s = 26$  kN/m<sup>3</sup>.



$$\frac{(q_s + q_d)}{Q_t} > 5\%$$

solo per alvei con rapporto  $B/h < 9$ .

Quando invece  $B/h > 10 \div 15$  la resistenza dipende soprattutto dalla scabrezza del letto ed il contributo della vegetazione di sponda alla resistenza totale trascurabile, dal momento che la somma delle portate laterali risulta inferiore al 5% della portata totale.

#### 11.4.6.3 Vegetazione parzialmente sommersa flessibile

Pasche e Rouvé hanno studiato l'effetto della vegetazione di sponda sulle caratteristiche del deflusso con un modello unidimensionale basato sull'assunzione di turbolenza semplice. In questo modello, la cui validità è stata confermata da risultati sperimentali, la resistenza dovuta allo scambio di quantità di moto viene considerata dividendo il canale in diverse sezioni e considerando le tensioni di taglio dovute alla turbolenza come tensioni dovute ad una parete immaginaria.

La velocità media è espressa dall'equazione di Darcy-Weisbach, considerando il perimetro bagnato diviso in zone di diversa scabrezza:

$$v = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\sum \frac{\lambda_i \cdot P_i}{P}}} \cdot \sqrt{R \cdot S}$$

- Nella zona alluvionabile, non influenzata dal flusso del canale principale, il flusso è dominato dagli elementi di scabrezza non sommersi. La velocità media in quest'area è data da:

$$v_{f1} = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{\lambda_{l,f1} + \lambda_v}} \cdot \sqrt{h_{f1} \cdot S}$$

dove:

- $\lambda_{l,fi}$  = coefficiente di attrito del letto nell'area considerata;
- $\lambda_v$  = coefficiente di attrito dovuto alla vegetazione;
- $h_{f1}$  = altezza d'acqua nell'area considerata.

Come vedremo, sono stati proposti molti modi di esprimere la scabrezza dovuta a vegetazione; Pasche e Rouvé propongono:

$$\lambda_v = \frac{4 \cdot h_{f1} \cdot d_p}{a_x \cdot a_z} C_{dT}$$

con:

- $d_p$  = diametro della pianta;
- $a_x, a_z$  = distanza delle piante nelle direzioni  $x$  e  $z$ ;
- $C_{dT}$  = coefficiente di resistenza per tronchi cilindrici.

- Nella zona del canale principale influenza-

ta dalla scabrezza delle sponde il flusso è condizionato contemporaneamente dalla vegetazione di sponda e dalla scabrezza del letto del canale principale. Il problema più grosso è la valutazione dell'attrito che si sviluppa nell'interfaccia tra aree golenali e canale principale; se la densità di vegetazione è alta il piano di interfaccia può essere interpretato in senso idrodinamico come una parete. Considerando l'effetto dominante degli sforzi di taglio immaginari sull'interfaccia, il flusso nel canale principale può essere considerato approssimativamente bidimensionale. Applicando la legge logaritmica si ottiene una distribuzione trasversale di velocità pari a:

$$\frac{v(z)}{v_*} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{z}{k_Y}\right) + c_T$$

dove:

- $k$  = costante di Von Karman;
- $k_T$  = altezza di scabrezza immaginaria;
- $c_T$  =  $v_T/v_*$  è la velocità adimensionale di scorrimento sulla parete immaginaria.

Dai risultati sperimentali si è visto che il coefficiente di attrito finale dipende dalla densità della vegetazione e da una larghezza  $b_m$ , detta "di interazione", che rappresenta la larghezza della zona inondabile che influisce con la sua scabrezza sul flusso nel canale principale; il coefficiente di attrito può essere espresso dalla formula:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_T}} = -2.03 \cdot \log\left[c_1 \cdot \left(\frac{b_m}{b_c}\right)^\gamma \cdot \Omega\right]$$

con:

- $\Omega$  = funzione della distanza tra le piante;
- $b_c$  = larghezza del canale principale.

- Nella zona inondabile influenzata dal flusso nel canale principale, gli sforzi apparenti che agiscono sulla parete immaginaria dipendono soprattutto dalla resistenza degli elementi di scabrezza non sommersi. Questa resistenza può essere approssimata con una funzione parabolica dando una distribuzione della velocità nella sezione pari a:

$$v(z) = \Delta v_{f1} \cdot \left(1 - \frac{z}{b_m}\right)^3 + v_{f1}$$

### 11.5 Valutazione della scabrezza in presenza della vegetazione

Il problema pratico che si presenta nella valutazione della resistenza al moto in presenza della vegetazione è quello di calcolare l'effetto in una sezione di deflusso avente contorno costituito da materiali a scabrezza diversa.

Frequentemente negli alvei dei corsi d'acqua sono presenti situazioni di scabrezza molto eterogenee, caratterizzate dalla presenza di associazioni vegetali arbustive o arboree riparie, naturali o piantumate e di materiale ghiaioso nella zona centrale di alveo (Preti, 1998; Armanini, 1999).

Tali metodi si differenziano tra loro dall'esponente con cui pesare, nell'operazione di media, il coefficiente di scabrezza tramite una suddivisione della sezione trasversale in sub-aree e ad un'operazione di media pesata, con opportune potenze del perimetro bagnato, delle scabrezze caratteristiche di ciascuna sub-area (Armanini, 1994).

Tali metodi si differenziano tra loro per i valori dell'esponente con cui pesare, nell'operazione di media, il coefficiente di scabrezza di ciascuna area; i valori dichiarati dai vari autori dipendono dalla legge di resistenza al moto considerata e dal criterio utilizzato nella procedura di suddivisione in sub-aree.

Altri metodi diffusamente applicati sono il *metodo di Einstein-Horton* ed il *metodo di Lotter* (Chow, 1959).

Il *metodo Einstein-Horton* si basa sulle ipotesi di suddivisione della sezione idrica in sub-aree compatte a medesima velocità media, attraverso le cui superfici di separazione non si esplicano sforzi tangenziali; tali ipotesi sono tuttavia confutate da numerosi dati sperimentali. Si citano, a titolo d'esempio, i dati di Bertram (1985) riguardanti la distribuzione delle linee isotachie in una sezione trasversale di un canale a sezione trapezia, con vegetazione arborea spondale; essi evidenziano una forte disomogeneità della distribuzione di velocità tra zone riparie e alveo centrale, incompatibile con le succitate ipotesi.

Il metodo di Lotter consiste nella suddivisione della sezione trasversale in  $N$  subaree, secondo ideali linee di separazione verticali, attraverso le quali non si esplicano sforzi di attrito dove, per ogni subarea, si considera uno specifico coefficiente di scabrezza  $n$ .

Il *coefficiente di Manning* dell'intera sezione ( $n_c$ ) può essere valutato secondo la formula di Lotter che assume la portata totale pari alla somma delle portate delle sub-sezioni.

Le misure condotte da Tsujimoto (1996) sulla distribuzione degli sforzi tangenziali trasversali in alvei parzialmente vegetati, evidenziano invece che l'effetto di resistenza offerto dalle zone laterali alla vena centrale non è trascurabile e che il suo massimo si esplica in una zona molto prossima alla ideale linea verticale di separazione tra zona vegetata ed alveo centrale.

Sviluppando il *metodo di Petyk e Bosmanjian* (1975), Armanini (1999) propone un criterio alternativo, per il quale nella suddivisione della zona trasversale in sub-aree, l'effetto di resistenza al moto esercitato dalla porzione laterale, vegetata, sulla zona centrale, viene quantificato come frazione non trascurabile (pari a circa 1/3) del coefficiente di scabrezza caratteristico della vegetazione.

## 11.6 Verifica della protezione spondale con tecniche di Ingegneria Naturalistica rispetto alle caratteristiche della corrente

Per tale verifica la situazione più critica è quella a crescita vegetazionale avvenuta; in quanto a parità di caratteristiche geometriche è quella con le scabrezze di Manning più grandi. Il calcolo della *scala di deflusso* (e contemporaneamente la verifica della protezione) dovrà essere quindi fatto due volte per verificare la sezione delle differenti condizioni:

- *a fine lavori*, utilizzando le scabrezze minime (**tab. 11.11**);
- *a regime*, inserendo le scabrezze relative alle sponde vegetate considerate dopo il terzo periodo vegetativo.

Si riportano nelle prossime tabelle, a titolo d'esempio, ulteriori valori di  $\tau$  (*tensione tangenziale ammissibile*), in quanto si vuole mettere in evidenza come, a seconda degli autori e delle loro particolari indagini, il valore di tale parametro, sia variabile. Nella **tabella 11.12** si fa riferimento al progetto inserito nel *Piano degli interventi di ripristino e prevenzione dei danni alluvionali* di cui alla LR 471/94 della Regione Lazio, il quale individua gli interventi di sistemazione idraulica del Rio Inferno con particolare attenzione all'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica.

Per la verifica delle capacità di resistenza delle opere di Ingegneria Naturalistica, si sono effettuati calcoli di resistenza idraulica secondo il metodo delle tensioni tangenziali ( $\tau = \gamma * R * i$ ). In relazione ai livelli di piena raggiunti durante le piene si sono ottenuti i valori riportati in **tabella 11.12**. Per quanto riguarda la resistenza durante le piene, tutte le opere hanno superato quelle primaverili nonostante il limitato sviluppo vegetativo; le talee, le palificate doppie e le scogliere rinverdite hanno resistito alle piene autunnali in concomitanza con gli eventi alluvionali di Soverato e del Po; le fascinate vive sono state asportate quasi completamente, un po' alla volta dalle ripetute piene verificatesi tra settembre e novembre 2000 (Cornelini e Menegazzi in *Interventi di Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio*, 2001). Si può riportare anche un'ulteriore tabella (**tab. 11.13**) in cui i valori di resistività sono messi in relazione alla profondità raggiunta dalla particolare tecnica di Ingegneria Naturalistica (Florineth, 1982, modificata). Nel calcolo (progettazione o verifica) di una protezione spondale, si fa riferimento a due metodi generali basati sull'ammissibilità per un materiale di velocità e tensioni di trascinamento. Il secondo metodo è più corretto dal punto di vista scientifico, anche se quello basato sulle velocità è spesso più facile da applicare in quanto è più semplice misurare o calcolare una velocità media in una sezione piuttosto che le tensioni tangenziali. Ai fini della valutazione dell'efficacia antiersiva di una protezione è necessario considerare tutti i parametri idraulici e geometrici: altezza d'acqua della

**Tab. 11.11** - Tabella riassuntiva dei diversi valori di scabrezza, per le principali tecniche di Ingegneria Naturalistica e per i materiali impiegati

N.	Tipologie	Autore	$\tau$ (N/m <sup>2</sup> )	v (m/s)	Fine lavori	I° p.	II° p.	III° p.
1	Sabbia fine ( $\leq 0,2$ mm)	Maccaferri (1996)	2		2			2
2	Ghiaietto (<2mm)	Maccaferri (1996)	15		2			2
3	Sabbia e ciottoli	Maccaferri (1996)	30		3			3
4	Ciottoli e ghiaia	Maccaferri (1996)	50		3.5			3.5
5	Gettata di pietrame rinverdita	Di Fidio (1956)			50	-	100	250
6	Prato rado su ghiaia	LfU (1996)	30	1,5				
	Erba < 5 cm	Calò - Palmeri (1996)			20			
	Erba > 5 cm	Calò - Palmeri (1996)				25		30
	Cotico erboso	Maccaferri (Macra) (1996)	10-30		4			5
7	Prato seminato	Folrineth (1982)	10			30	30	30
7	Prato seminato	LfU (1996)	40	1,3				
8	Prato naturale	Witzig (1970)	50-(100)					
9	Piote erbose	LfU (1996)	>60	>3,5				
10	Piantagione	Florineth (1982)	0			10	30	>30
11	Talee	Calò - Palmeri (1996)			10	20	60	60
	Talee - arbusti	Maccaferri (1996)	10-60		10			7-40
	Talee di salice	Witzig (1970)	165					
12	Talee di salice	LfU (1996)	100-150	3,0-3,5				
		Di Fidio (1995)			10	30	30	30
13	Massi con talee	Maccaferri (1996)	20-350		4-7			7-40
14	Fascinata morta	LfU (1996)	70-100	2,5-3,0				
15	Fascinata viva	LfU (1996)	100-150	3,0-3,5				
		Calò - Palmeri (1996)			20	50	60	60
16	Rulli di canne	Calò - Palmeri (1996)			10	20	30	50
17	Viminata	Steiger (1918)	50					
	Viminata in ghiaia	Calò - Palmeri (1996)			10	10	15	20
	Viminata in sabbia	Calò - Palmeri (1996)			0	10	10	10
18	Copertura diffusa	Florineth (1995)	309					
19	Copertura diffusa di salici	Witzig (1970)	100					
	Copertura diffusa	Maccaferri (1996)	50-300		10			7-40
	Copertura diffusa	Di Fidio (1956)			50	150	300	300
	Copertura diffusa di salici con armatura al piede	Calò - Palmeri (1996)			150	200	300	450
20	Copertura diffusa con ramaglie vive di salice	Florineth (1982)	195-218					
21	Ribalta viva	Calò - Palmeri (1996)			20	60	80	100
	Ribalta viva	Maccaferri (1996)	20-100		10			7-40
22	Graticciata semplice	Calò - Palmeri			10	20	30	5.300
	Graticciata spondale a repellente (pali e ghiaia)	Calò - Palmeri (1996)			100	200	300	
	Graticciate spondali	Maccaferri	10		10			7-40
	Graticciata viva	Di Fidio (1956)			100	200	-	>300
23	Gradonata viva	Calò - Palmeri (1996)			20	100	120	140
24	Gettata di massi rinverdita	Calò - Palmeri (1996)			100	150	300	350
25	Scogliera di massi rinverdita	Di Fidio (1956)			75	100	300	>350
		Florineth (1982)	75			100	300	>350
26	Palificata viva spondale	Calò - Palmeri (1996)			500	600	600	600
27	Materassi rinverditi	Folorineth (1982)	32			40	100	300
28	Repellenti vivi	Folorineth (1982)	100			200		>300

**Tab. 11.12** - Primi risultati del monitoraggio sulla resistenza delle tensioni tangenziali degli interventi di Ingegneria Naturalistica sul Rio Inferno

Tipologia d'intervento	Periodo di realizzazione	Rinverdimento	Resistenza all'erosione	$\tau_{\max}$ sopportate (N/m <sup>2</sup> )
Fascinate vive	Febbraio 2000	Getti di 30 ÷ 40 cm a fine aprile 2000 e di oltre 1 m a settembre	Resistito al 100% alla piena di fine aprile 2000	8
			Resistito all'80% alla piena di settembre 2000	18
			Resistito al 30% alla piena di novembre 2000	18
			Resistito al 5% alla piena di dicembre 2000	20
Scogliera rinverdita con talee di salice	Febbraio 2000	Getti di 30 ÷ 40 cm a fine aprile 2000 e di oltre 1 m a settembre	Resistito a tutte le piene	15
Palificata doppia con altezza di 2 m	Marzo 2000	Getti di 30 ÷ 40 cm a fine aprile 2000 e di oltre 1 m a settembre	Resistito a tutte le piene	15
Palificata doppia con altezza di 1 m	Marzo, metà aprile 2000	Getti di 30 ÷ 40 cm a fine maggio 2000 e di oltre 1 m a settembre	Resistito a tutte le piene	15
Talee in alveo	Febbraio, marzo 2000	Getti di 30 ÷ 40 cm a fine maggio 2000 e di oltre 1 m a settembre	Resistito a tutte le piene	15

Fonte: Cornellini, Menegazzi, 2001.

**Tab. 11.13** - Valori di resistività secondo la profondità raggiunta con l'utilizzo di diverse tecniche di Ingegneria Naturalistica

Tecnica d'intervento	$\tau$ (N/m <sup>2</sup> )	Profondità efficace
Radici in acqua	20	0,40
Alberi grezzi	40	0,80
Fascinate	60	0,60
Burga in rete zincata	80	0,80
Balze in geotessuto	80	1,00
Rullo in canne	50	0,60
Scogliere elastiche	> 300	2,50

corrente, pendenza della sponda, andamento planimetrico del corso d'acqua, durata dell'evento di piena. Ciò significa, in altri termini, che occorre esprimere risultati di prove sperimentali e le conseguenti indicazioni progettuali in termini di tensioni tangenziali ammissibili, tecnicamente più significative del parametro idraulico *velocità della corrente*. Di estrema importanza per alcuni materiali o tecniche è infine anche il riferimento alla durata della sollecitazione stessa: in ambito fluviale oltre al picco di piena è di fondamentale importanza considerare la durata complessiva dell'evento stesso ed occorre rifarsi a *durate caratteristiche degli*

*eventi di progetto* escludendo frazioni di ora, in quanto generalmente non significative. Tale fattore non riguarda le protezioni spondali in cui la resistenza al trascinarsi è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per una scogliera non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni; per materassi e gabbioni l'azione di contenimento della rete incrementa tale resistenza, permettendo che avvenga un movimento parziale all'interno delle tasche senza crisi della protezione.

Le informazioni sulla resistenza di un rivestimento (non in pietrame) in funzione della durata di un evento di piena sono però ridotte a pochi materiali per i quali sono state condotte opportune prove sperimentali.

### 11.7 Calcolo delle tensioni di trascinamento

Questo procedimento si basa sul confronto tra le tensioni tangenziali massime che nascono nel punto di verifica prescelto e quelle massime ammissibili per il materiale ivi presente.

#### 11.7.1 Tensioni agenti

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo ( $\tau_b$ ) fa riferimento al raggio idraulico  $R$ :

$$\tau_b = \gamma_w R i_f \text{ (al fondo)}$$

dove:

- $\gamma_w$  = peso di volume dell'acqua;
- $R$  = raggio idraulico;
- $I_f$  = pendenza dell'alveo.

Per i corsi d'acqua naturali ed i canali sufficientemente larghi il raggio idraulico  $R$  risulta pressoché coincidente con il tirante d'acqua; la formula quindi diviene, per un punto posizionato sul fondo (si fa notare che tale semplificazione è a favore di sicurezza):

$$\tau_b = \gamma_w (Y_{\max} - z_i) * i_f \text{ (al fondo)}$$

dove:

- $z_i$  = quota del punto da verificare.

Se il punto è situato su una sponda lungo un'asta fluviale planimetricamente rettilinea, la tensione tangenziale massima  $\tau_m$  è ridotta e vale:

$$\tau_m = 0.75 \gamma (Y_{\max} - z_i) * i_f$$

(sulla sponda rettilinea)

Diversamente, se l'asta è in curva si ha un aumento della tensione tangenziale sulla sponda concava (esterna), di cui si tiene conto attraverso il coefficiente  $K$ , funzione del rapporto tra il raggio di curvatura e la larghezza del pelo libero dell'acqua (fig. 11.22).

Ne consegue che  $\tau_m$  assume la seguente espressione:

$$\tau_m = K 0.75 \gamma_w (Y_{\max} - z_i) * i_f$$

(sulla sponda in curva)

#### 11.7.2 Tensioni resistenti e loro verifica

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento  $\tau_c$  la massima forza a partire dalla quale il materiale al fondo comincia a muoversi. Per i materiali non coesivi la formula generalmente utilizzata è la seguente:

$$\tau_c = 80 d_{75}$$

dove:

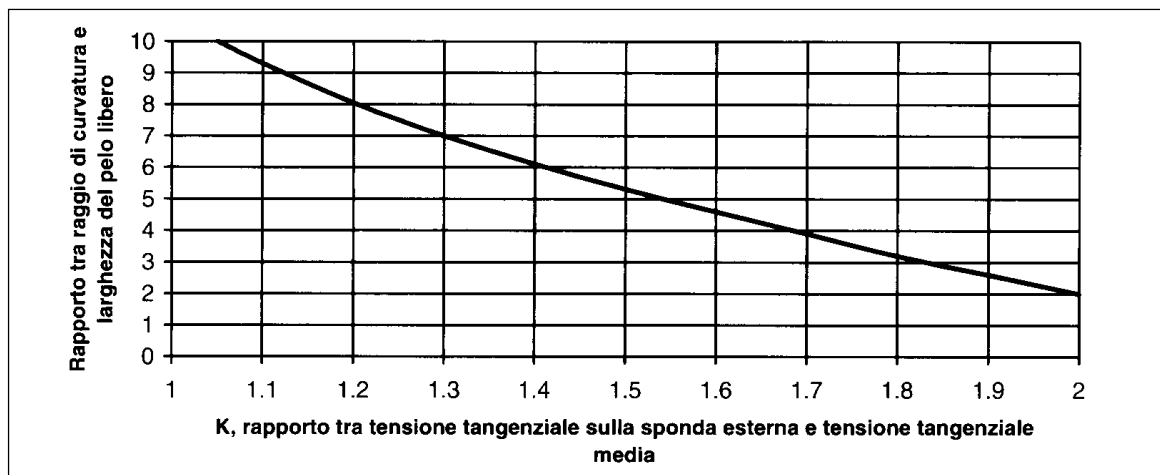
- $\tau_c$  = tensione massima di trascinamento ( $\text{kg/m}^2$ );
- $d_{75}$  = diametro del vaglio che consente il passaggio del 75% del materiale d'alveo (cm).

Affinché la verifica sia soddisfatta deve risultare, per un punto sul fondo:

$$\tau_b \leq \tau_c \text{ (al fondo)}$$

A sua volta per il materiale non coesivo non situato su un fondo orizzontale, occorre tenere conto della riduzione della tensione massima di trascinamento  $\tau_s$ , dovuta all'effetto della pendenza della sponda, mediante un coefficiente correttivo e la tensione così modificata va confrontata con la massima tensione agente  $\tau_m$ :

Fig. 11.22 - Effetto della curvatura del corso d'acqua sulla tensione tangenziale agente sulla sponda esterna



$$\tau_m \leq \tau_s \text{ (sulla sponda)}$$

e dove:

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \varphi}}$$

in cui:

- $\varphi$  = angolo di attrito interno del materiale (non coesivo) che costituisce la sponda;  
 $\theta$  = angolo di inclinazione della sponda sull'orizzontale.

Per evitare che il termine sotto radice diventi negativo, occorre che il materiale che costituisce la sponda abbia un angolo di attrito interno superiore all'inclinazione della sponda. In caso contrario il calcolo della  $\tau_s$  può essere comunque svolto, assumendo che per inclinazione delle sponde  $\theta > (\varphi - 2^\circ)$  il coefficiente riduttivo sia costante e pari al valore:

$$\tau_s = \tau_c \sqrt{1 - \frac{\sin^2(\vartheta - 2)}{\sin^2 \varphi}}$$

assegnando quindi al materiale una resistenza residua assimilabile al fatto che in genere è presente una coesione.

## 11.8 Le rampe a blocchi e rampe di risalita per pesci

### 11.8.1 Premessa

L'interposizione di opere idrauliche trasversali in un corso d'acqua costituisce sovente un ostacolo insormontabile per la fauna ittica.

Ciò crea notevoli danni all'ecosistema andando ad interrompere i flussi trofici ed energetici: la presenza, infatti, di opere insormontabili impedisce di raggiungere le aree di frega e riproduzione ed ostacola lo scambio genetico all'interno di popolazioni altrimenti isolate.

Da qui l'esigenza di coniugare, nella progettazione di opere idrauliche di siffatta natura, le esigenze idrauliche con quelle ecologiche.

Il problema degli sbarramenti potrebbe essere positivamente risolto, inoltre, affrontandolo zona per zona, valutando la situazione di fatto ed i risultati che diversamente si potrebbero ottenere.

Le rampe di risalita in pietrame per pesci, se correttamente concepite, rappresentano un'ideale soluzione.

La funzionalità di tali strutture è legata al rispetto di alcuni parametri di natura idraulica e biologica, per cui una loro accurata progettazione presuppone un'attenta analisi di diversi fattori quali il regime idraulico, la morfologia dell'alveo, la composizione specifica della fauna ittica, le caratteristiche biologiche del corso d'acqua, ecc.

Negli ultimi decenni si sono dovute affrontare situazioni ed esigenze complesse nella progetta-

zione dei passaggi, mettendo a punto dispositivi di risalita idraulicamente e tecnologicamente perfezionati.

Le tecnologie alle quali possono essere ricondotti i passaggi attualmente applicati, sono:

- passaggi rustici;
- rampe grezze o rapide artificiali;
- chiuse per pesci;
- passaggi a bacini successivi;
- passaggi a rallentatori (tipo *Denil*);
- ascensori.

Nella pratica bisogna tenere considerare che ogni realizzazione costituisce una risposta a misura delle esigenze locali, definite dalla quantità dei dati forniti:

- numero di specie che si vuol far risalire;
- taglie;
- periodo di risalita;
- livelli d'acqua e portate durante la risalita in relazione ai dati minimi e massimi, annuali e mensili.

Naturalmente maggiori e note sono le informazioni iniziali, migliore è il risultato ottenibile, anche se quest'ultimo può dipendere da variabili che devono essere valutate durante successive modifiche.

La manutenzione delle opere è fondamentale e deve ovviare i periodici danni causati dal trasporto solido e dall'evoluzione della situazione ambientale.

Una manutenzione ordinaria e la possibilità di modificare i passaggi sono parte integrante della gestione delle opere stesse, in quanto gli eventi idraulici periodici o straordinari causano fatti nuovi che possono modificare la percorrenza dei passaggi per pesci: solo la costante presenza di un "gestore" può produrre elementi di valutazione sullo stato di efficienza dell'opera.

I metodi di valutazione dell'efficacia delle opere realizzate sono in rapida evoluzione e, in caso di necessità, si sostituisce il classico trappolaggio con impianti di cattura automatici, *radio-tracking*, *fish-counters* elettronici, ecc. (Ferri, 1988).

Ai fini idraulici, la presenza di una briglia determina una dissipazione dell'energia cinetica della corrente attraverso il risalto idraulico che si forma a valle dell'opera stessa in maniera proporzionale alla sua altezza.

Con le rampe in pietrame, invece, il processo dissipativo va correlato alla loro irregolarità e scabrosità.

Nel caso delle briglie il processo dissipativo è facilmente correlabile al numero di Froude (*Fr* ottimale se compreso tra 4,5 e 9), mentre nel caso delle rampe ciò si lega alla turbolenza dell'acqua e, perciò, esso si verifica in presenza di deflussi scarsi o con elevate scabrezze relative (AA.VV., 1993):

$$\frac{k}{y}$$

dove:

- $k$  = altezza della scabrezza;  
 $y$  = altezza del livello d'acqua.

Il valore di  $Fr$  al piede della rampa è, infatti, di  $1 \div 1,5$ , per cui a valle si viene a formare un risalto idraulico.

È quindi evidente che il dimensionamento della rampa va eseguito in funzione della portata per la quale si verifica una dissipazione ottimale dell'energia cinetica posseduta dalla corrente.

Detto ciò va posta attenzione alla considerazione che, lasciando solo come parametro progettuale quello dell'energia da dissipare, si potrebbero configurare dimensionamenti esagerati delle rampe stesse; va peraltro evidenziato che il vantaggio idraulico costituito dalle rampe è, in realtà, quello di modificare la pendenza dell'alveo, concentrando il dislivello in un'area ristretta, consentendo così un efficace consolidamento delle sponde situate a monte dell'opera. In questo modo, pur realizzando strutture di modesta altezza, si è in grado di mitigare in modo adeguato la forza erosiva della corrente, senza creare ostacoli insormontabili alla fauna ittica.

### 11.8.2 Tecniche costruttive

Occorre fissare il concetto che ogni passaggio per i pesci deve necessariamente rispondere ad un'attenta valutazione territoriale per l'acquisizione di dati (dislivelli d'acqua), portate, conformazione del terreno, qualità e quantità dell'ittiofauna locale, periodi ed identità delle "migrazioni", senza i quali non è possibile entrare nel merito di una progettazione ed una realizzazione efficace.

La progettazione richiede, inoltre, anche il contributo di capacità creative per l'adattamento di una tipologia che, una volta sviluppata, si concretizzerà in un'opera idonea a risolvere le necessità locali e "personalizzata" a tal punto da essere considerata un vero prototipo. Le opere maggiori necessitano spesso anche di una fase di laboratorio per la preliminare verifica di modelli in scala ridotta.

Occorre anche prevedere la possibilità di dover riesaminare le scelte già effettuate per perfezionare il progetto anche in corso o a fine d'opera, risolvendo i problemi della manutenzione periodica (Martino, 1991).

L'esperienza ha dimostrato l'efficacia di rampe di modesta altezza ( $h < 2$  m), di limitata pendenza ( $i < 1:8$ ), con altezze medie di scabrosità pari a  $0,3 \div 0,5 d_s$  ( $d_s$  = diametro della sfera equivalente di pietrame) e strutturalmente eterogenee.

L'irregolarità delle rampe, creando spazi vuoti, consente di avere un'alternanza tra zone a corrente rapida e zone a corrente lenta, favorendo la risalita della fauna ittica, così come la diversificazione dei microambiti fluviali.

Sconsigliato è annegare il pietrame nel calcestruzzo così come è opportuno favorire la possibilità di concentrare la portata di magra lungo l'asse centrale dell'alveo.

Ribadendo la necessità di risolvere il problema della continuità morfologica ed ecologica dei corsi d'acqua si possono, infine, configurare due principali tecniche costruttive:

- posa in opera di massi in modo irregolare;
- posa in opera di massi in modo regolare.

### 11.8.3 Cenni sul dimensionamento e sulla progettazione delle rampe in pietrame

Fra i vari metodi conosciuti si evidenziano quello di Whittaker-Jäggi, l'equazione di Gauckler-Manning-Strickler-Gleichung e l'equazione di Scheuerlein.

#### a) Whittaker-Jäggi

Nel caso di strutture realizzate con massi posti in maniera irregolare, il valore limite di stabilità della rampa, oltre il quale si verifica il danneggiamento della struttura stessa, diviene:

$$qc = 0,257 \left( \frac{P_s - P_w}{P_w} \right)^{\frac{1}{2}} g^{1/2} i^{-7/6} d_{65}^{-3/2}$$

con:

- $qc$  = portata specifica critica ( $m^3/s$ );
- $P_s$  = peso specifico del pietrame ( $kg/m^3$ );
- $P_w$  = peso specifico dell'acqua ( $kg/m^3$ );
- $g$  = accelerazione di gravità ( $m/s^2$ );
- $i$  = pendenza della rampa;
- $d_{65}$  = diametro del pietrame con passaggio del 65% al vaglio  $d_{65} = \frac{d_s}{1,06}$  (m);
- $d_s$  = diametro della sfera equivalente di pietrame (m).

È bene osservare che il dimensionamento derivante dal calcolo di cui sopra è più idoneo per rampe di altezze considerevoli ( $h > 2$  m), altrimenti determina un effettivo sovradimensionamento.

In questi casi ( $h < 2$  m) pare più opportuno applicare le formule esplicitate dalle equazioni di Gauckler-Manning-Strickler-Gleichung e di Scheuerlein.

#### b) Equazione di Gauckler-Manning-Strickler-Gleichung

$$q = k_{st} y^{5/3} i^{1/2}$$

con:

- $q$  = portata specifica ( $m^3/m s$ );
- $d_{65}$  = diametro del pietrame con passaggio del 65% al vaglio  $d_{65} = \frac{d_s}{1,06}$  (m);
- $k_{st}$  = coefficiente  $\frac{21}{d_s^{1/6}}$  (m);
- $y$  = profondità dell'acqua (m);
- $i$  = pendenza della rampa.

#### c) Equazione di Scheuerlein

$$q = y v$$

$$= y (8 g y i)^{1/2} \log \left[ \frac{12}{(1,7 + 4,05 * i)} * \frac{y}{d_s} \right]^{\frac{3}{2}}$$

con:

- $q$  = portata specifica ( $m^3/m \text{ s}$ );  
 $y$  = profondità dell'acqua (m);  
 $v$  = velocità dell'acqua (m/s);  
 $g$  = accelerazione di gravità ( $m/s^2$ );  
 $i$  = pendenza della rampa;  
 $d_s$  = diametro della sfera equivalente di pietrame (m).

Di fondamentale importanza risulta essere la conoscenza della portata che determina il cambiamento del deflusso (passaggio dallo stramazzo a lama aderente allo stramazzo rigurgitato). Si verifica quando il battente a valle è uguale a quello sul limite della rampa e cioè quando abbiamo:

$$y_u = h + y_r$$

con:

- $y_u$  = profondità dell'acqua a valle (m);  
 $h$  = altezza della rampa (m);  
 $y_r$  = profondità dell'acqua sul limite della rampa (m).

In base alla scala di deflusso della sezione a valle si può determinare la portata con la quale avviene il suddetto cambiamento di deflusso, applicando detta portata ( $q_c$ ) alla relazione  $a$ ) di Whittaker-Jäggi si ottiene il dimensionamento del pietrame.

Particolare attenzione va posta poi per le sponde dell'alveo situate ai lati delle rampe che devono essere consolidate per evitare il fenomeno dell'erosione laterale; così come è stata dimostrata l'opportunità di posizionare pietrame sufficientemente eterogeneo (ovviamente interponendo alcuni massi di dimensioni maggiori di quelli emersi dal calcolo).

Un ulteriore accorgimento di cui tenere conto è quello che riguarda il passaggio tra l'opera in pietrame ed il fondo in presenza di rampe di notevoli dimensioni.

Al fine di evitare lo scalzamento dell'opera si può dimensionare il pietrame da collocare sul fondo alla base della rampa, con la seguente relazione (*formula di Knaus*):

$$d_m = 0,04 v_m^2$$

con:

- $d_m$  = diametro medio del pietrame (m; cfr. la definizione di  $d_{95}$  usata per la relazione  $a$ ) di Whittaker-Jäggi);  
 $v_m$  = velocità media dell'acqua a valle (m/s).

#### 11.8.4 Inserimento delle rampe in presenza di opere idrauliche esistenti

Le problematiche connesse alla risalita delle specie ittiche non si limitano solamente con la possibilità di costruire rampe in pietrame in luogo delle tradizionali briglie.

Spesso, infatti, ci si trova di fronte un alveo già radicalmente regimato su cui necessita intervenire.

In questo caso non ci sono regole ferree, si tratta di contemperare le tecnologie conosciute con

le caratteristiche morfologiche complessive badando, in ogni caso, a rispettare un criterio di sostanziale economicità.

Si tratta infatti di trasformare, ove possibile, vecchie briglie in rampe, andandosi a raccordare gradualmente con il profilo della gaveta, badando, ovviamente, a mantenere un opportuno franco laterale di sicurezza, rispetto al conseguente innalzamento del pelo libero. Si può pure collocare la rampa lateralmente alla briglia, in particolare in alvei caratterizzati da periodi prolungati di scarso deflusso.

Altra interessante soluzione è quella di creare, nelle zone limitrofe l'alveo, veri e propri ruscelli in pietrame (cunette eterogenee) capaci di aggirare l'ostacolo rappresentato dall'opera trasversale. Si può giungere a realizzare delle vere e proprie scale di risalita (a scivoli, a vasche successive, ecc.).

#### 11.8.5 Caratteristiche di dinamicità della fauna ittica

Nei paragrafi precedenti la problematica è stata trattata da un punto di vista squisitamente idraulico. È però evidente che una corretta progettazione non può prescindere da una completa conoscenza delle caratteristiche e dei comportamenti dell'ittiofauna.

Si è dimostrata una correlazione tra la resistenza dei pesci alla velocità dell'acqua in funzione della temperatura e delle dimensioni del pesce stesso (**figg. 11.23-11.24**).

Altrettanto importante è conoscere il comportamento dei pesci in presenza di ostacoli artificiali al variare del flusso idrico (**fig. 11.25**).

I valori di riferimento per quanto concerne la velocità massima della corrente d'acqua superabile dalle diverse specie sono indicativamente riportate nella **tabella 11.14** (Stahlberg, Peckmann, 1986).

Si è compreso come sia necessario predisporre zone di calma per consentire ai pesci di riposarsi potendo gli stessi resistere a forti correnti solo per brevi tratti.

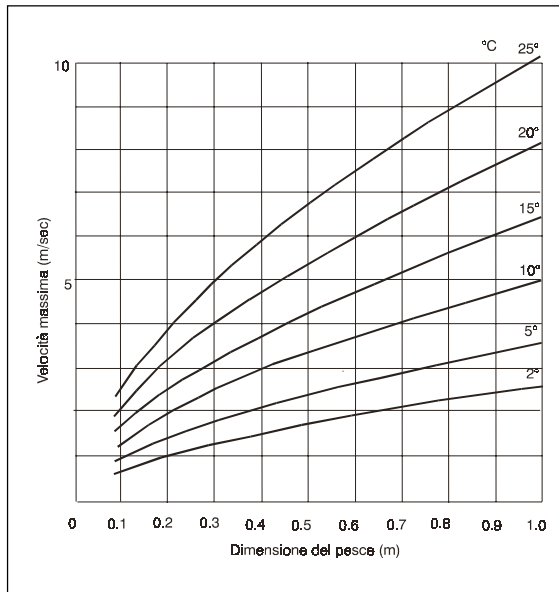
La combinazione degli aspetti idraulici con quelli tipici della fauna ittica consente, quindi, di giungere ad una razionale progettazione, suffragata dall'esperienza e dal buon senso, di questi elementi strutturali capaci di mitigare profondamente gli effetti negativi delle opere trasversali poste a salvaguardia idraulica dei corsi d'acqua così come di sbarramenti artificiali posti all'interno degli alvei fluviali o torrentizi.

**Tab. 11.14** - Velocità massima di corrente d'acqua superficiale delle diverse specie

Tipo di ittiofauna	Velocità massima (m/sec)
Trote e salmonidi	2,0
Ciprinidi	1,5
Pesci di dimensioni minori o in stadio giovanile	1,0

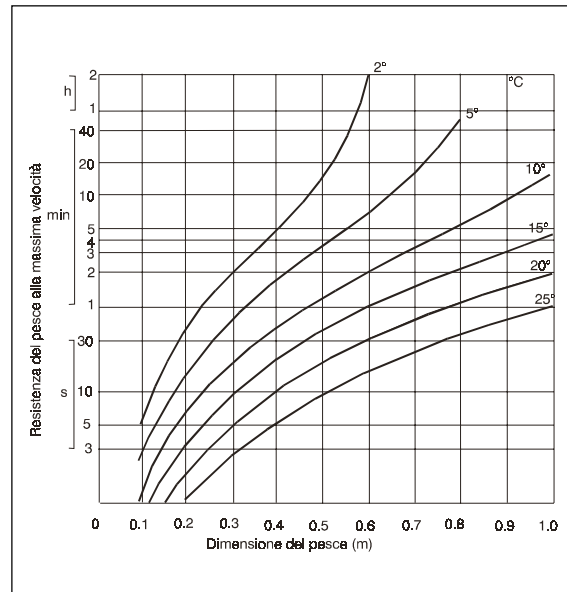


**Fig. 11.23** - Velocità massime dei pesci in funzione delle loro dimensioni e della temperatura dell'acqua



Fonte: Beach, 1984.

**Fig. 11.24** - Rapporto tra la resistenza dei pesci alla velocità dell'acqua in funzione anche della temperatura



Fonte: Beach, 1984.

### 11.9 Classificazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica impiegabili in ambito idraulico

In linea di massima tutte le modalità e tipologie costruttive delle opere impiegate su versante possono essere impiegate anche per tutti i campi dell'idraulica.

Oltre gli effetti di staticità delle terre e pedo-meccanici, in ambito idraulico devono essere però prese in considerazione le forze supplementari che derivano dalla velocità di scorrimento e dalla forza di trascinamento dell'acqua corrente. Nel caso di interventi stabilizzanti e combinati viene quindi ampliata l'offerta di alcune tipologie sviluppate specificatamente per l'idraulica.

L'Ingegneria Naturalistica, in ambito idraulico, afferma il suo ruolo sia come tecnica solitaria, sia come elemento di combinazione e complemento degli interventi tecnici idraulici. Nella sistemazione introdotta da Schiechl (1973) suddividiamo i metodi costruttivi in:

- interventi di rivestimento;
- interventi stabilizzanti;
- interventi combinati;
- interventi complementari.

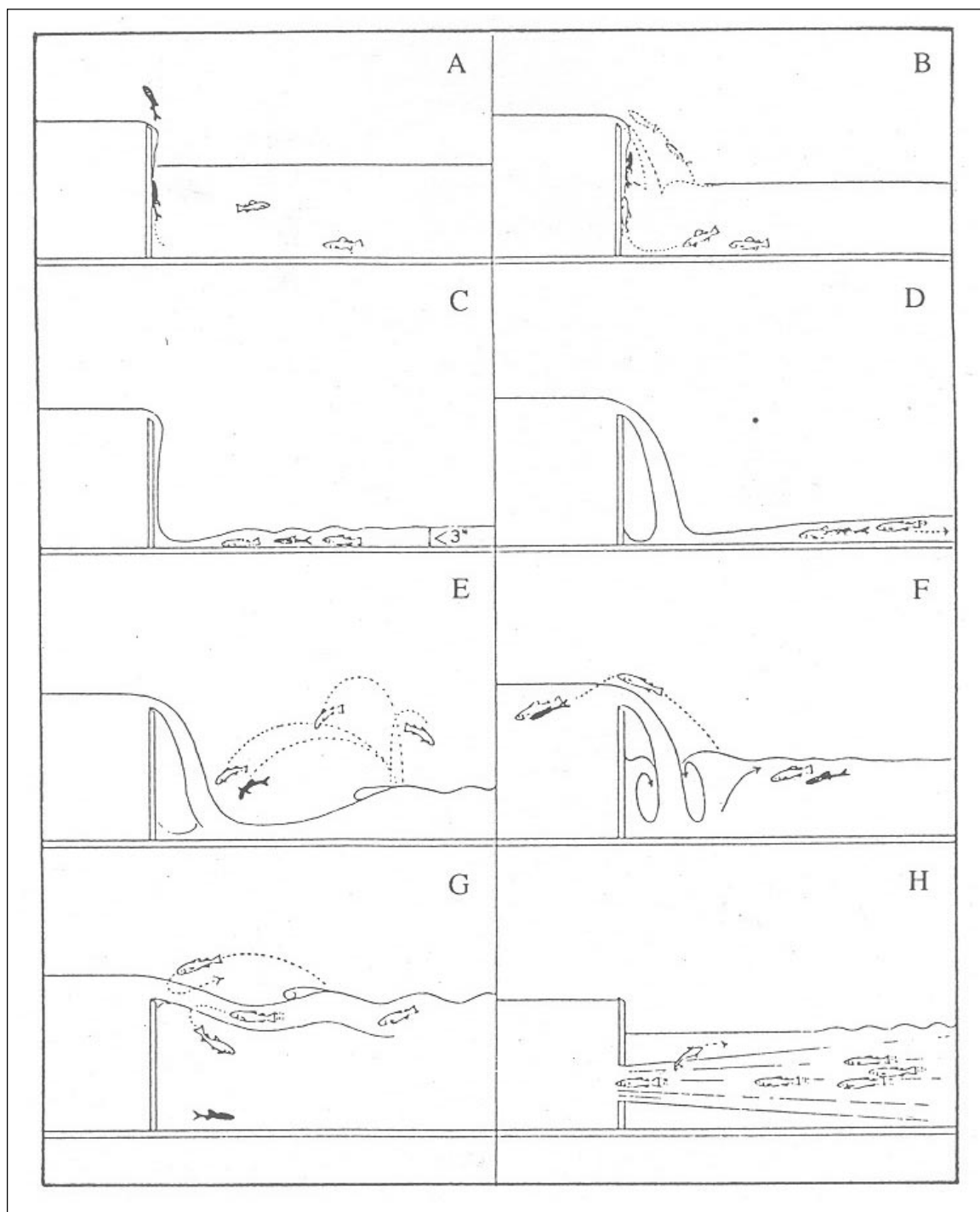
Ognuno di questi modi costruttivi e le relative tipologie assolvono funzioni ben precise e colmano specifici ambiti applicativi:

- gli *interventi di rivestimento* proteggono rapidamente il terreno dall'erosione superficiale e dall'irraggiamento con la loro azione di copertura esercitata sull'intera superficie. Essi migliorano il bilancio termico e idrico e promuovono così l'attivazione biologica del terreno. Gli strati con copertura di paglia offrono già prima dell'attecchimento della ve-

getazione (graminacee e erbe non graminoidi, piante legnose) una protezione contro le precipitazioni;

- gli *interventi stabilizzanti* servono per diminuire, fino ad escludere, le forze meccaniche. Essi stabilizzano e consolidano le sponde e le loro scarpate, come pure i versanti instabili, mediante la compenetrazione delle radici ed il consumo idrico. Trattasi di sistemi disposti linearmente o in maniera puntiforme, costituiti da arbusti e alberi, ovvero dalla relativa ramaglia con capacità di propagazione vegetativa. Le sistemazioni stabilizzanti vengono di norma integrate, a difesa dall'erosione, con interventi di rivestimento;
- gli *interventi combinati* sostengono e consolidano scarpate e sponde instabili, combinando i materiali da costruzione vivi (piante e parti di piante) con quelli inerti (sassi, calcestruzzo, legno, acciaio, materiale sintetico). Si consegue così un costante miglioramento del grado di efficienza ed una maggiore durata delle opere di sostegno;
- gli *interventi complementari* comprendono le semine e le piantagioni nell'accezione più ampia e servono a fornire una prova sicura che le sistemazioni sono giunte allo stadio finale della progettazione.

L'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica nelle sistemazioni idrauliche trova alcuni limiti che vanno ben evidenziati per non commettere gravi errori: prima di adottare qualsiasi soluzione è quindi opportuno valutare tra le diverse alternative l'efficacia, l'impatto ambientale e la convenienza economico-sociale. Si potrà quindi spaziare dal non-intervento negli ambienti più naturali e delicati, fino all'esclu-

**Fig.11.23** - Comportamenti dell'ittiofauna in presenza di un ostacolo artificiale al variare del deflusso idrico

Fonte: Stuart, 1962.

siva considerazione delle esigenze di massima sicurezza negli ambienti antropizzati.

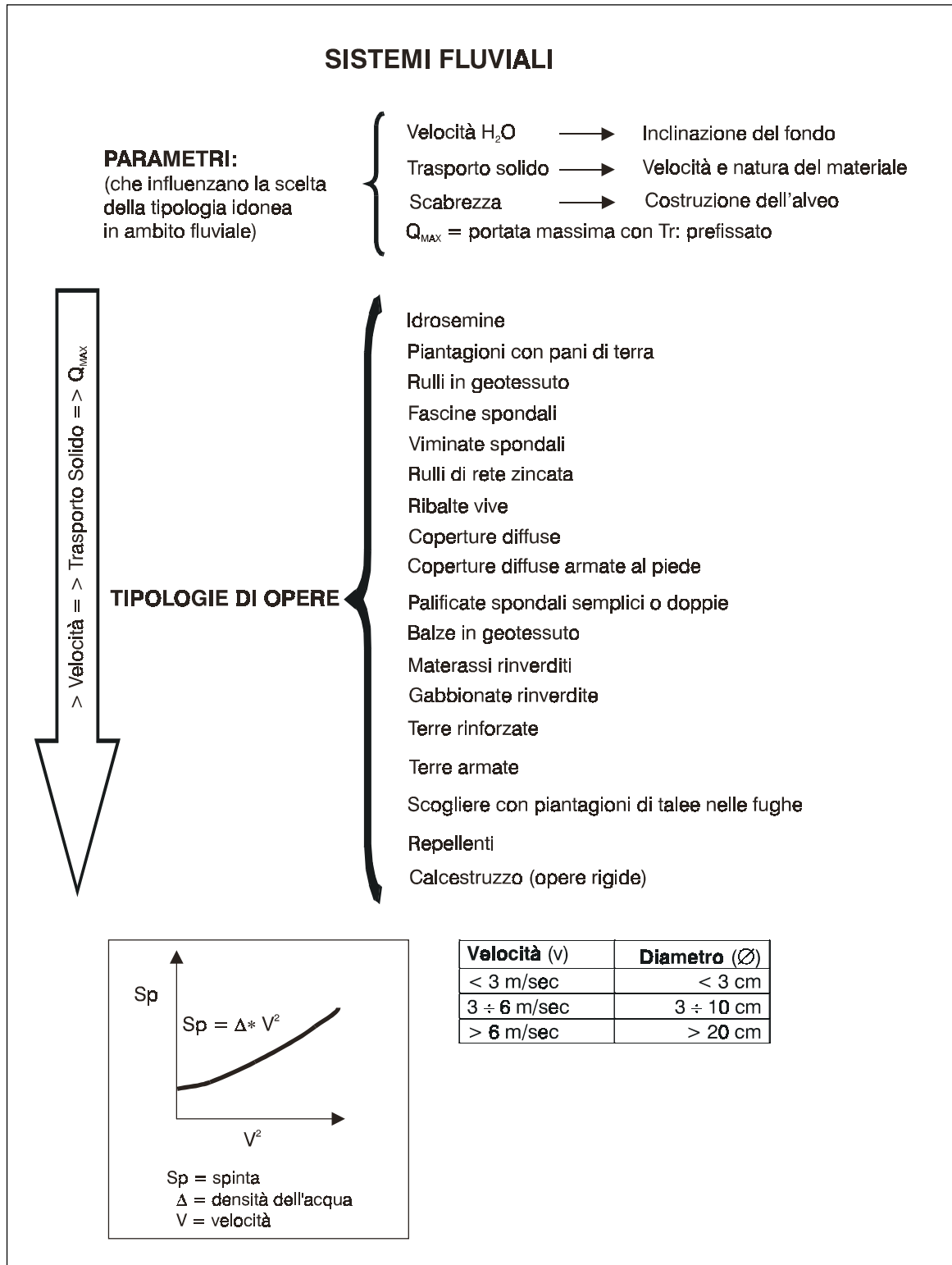
Valutata l'opportunità di intervenire con tecniche più o meno biologiche, andranno presi in considerazione una serie di fattori biotici, abiotici e antropici, alcuni dei quali possano assumere, a seconda della situazione, una valenza prevalente nell'indirizzare la scelta.

Tra i fattori abiotici l'*orografia* e, in particolare, la *pendenza* costituiscono un limite molto netto per poter applicare alcune tecniche: la

maggior parte degli interventi trova normalmente impiego solo per aste fluviali con pendenza massima del 5%, meglio se tra 3 e 4%. Risulta quindi immediatamente evidente che queste condizioni si verificano nei corsi d'acqua montani e collinari solo per brevi e limitati tratti anche se, con opportune verifiche, tali limiti possano venire superati.

Sempre tra i fattori abiotici particolare importanza riveste il regime idraulico, soprattutto in riferimento al trasporto solido: il rotolìo di ma-

**Fig. 11.26 - Classificazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica in ambito idraulico**

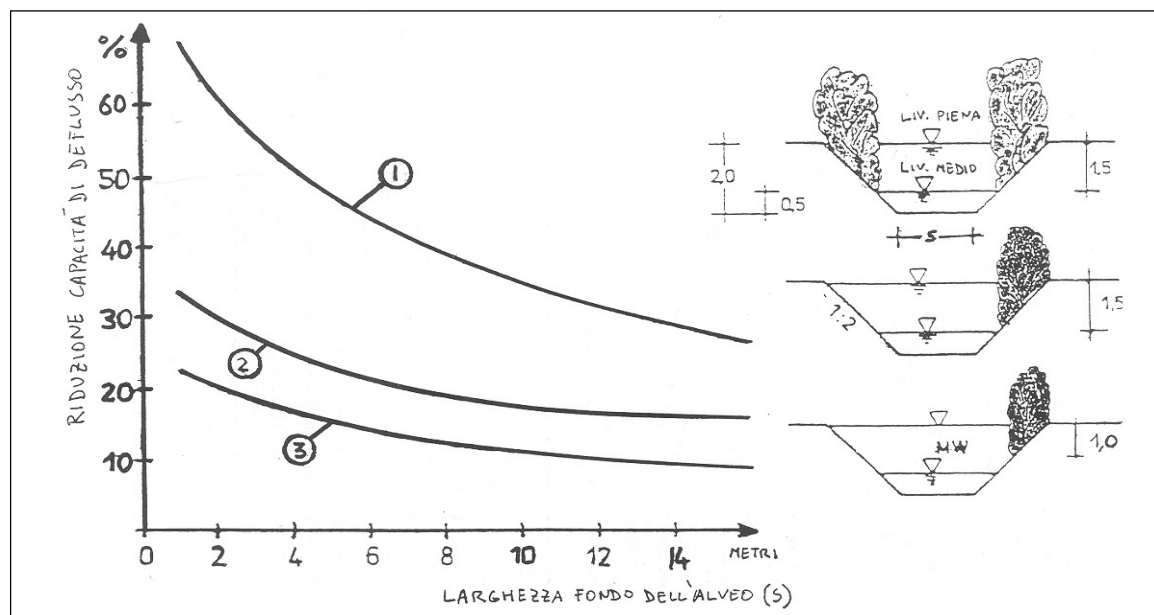


teriale lapideo di medie e grosse dimensioni può danneggiare in maniera anche molto grave le opere con materiale vegetale vivente. Per quanto riguarda infine i fattori antropici un limite è costituito dalla possibilità di lavorare per periodi relativamente ristretti, ed è quindi necessaria una accurata organizzazione del lavoro (fig. 11.26).

**11.10 Dimensionamento minimo efficace e statica delle tecniche di Ingegneria Naturalistica in ambito idraulico**

Già si è detto del fatto che, nel caso d'impiego di tecniche di Ingegneria Naturalistica all'effetto tecnico si aggiungono contemporaneamente

Fig. 11.27 - Diagramma larghezza fondo dell'alveo/ riduzione capacità di deflusso



Fonte: Stern, 1994, modificato da Calò, Palmeri, 1996.

Tab. 11.15 - Deflusso di un corso di acqua con copertura legnosa sulle sponde

**Esempio di calcolo per corso d'acqua con copertura legnosa sulle sponde**  
 $Q_m = F_m \cdot V_m = F_m \cdot K_{GMS} \cdot (Lo/U)_m \cdot R^{2/3} \cdot I_w^{1/3} \text{ [m}^3/\text{s]}$

Progressiva in km	Sezione	Distanze parziali	Quota del fondo	Quota del pelo dell'acqua	Profondità dell'acqua $\tau$	Differenza fra i peli liberi	Area della sezione liquida F	Area media della sezione liquida $F_m$	Contorno bagnato U	Contorno bagnato medio $U_m$
Km	-	m	NN+..m	NN+..m	m	m	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m	m
0+00	I		52,00	54,06	2,06		20,07		17,44	
		50				0,10		20,07		17,44
0+050	I		52,10	54,16	2,06		20,07		17,44	
		60				0,13		17,94		15,10
0+110	II		52,22	54,29	2,07		15,81		12,76	
		50				0,12		15,93		12,81
0+160	II		52,32	54,41	2,09		16,05		12,85	

Fonte: Schiechl, Stern, 1994.

te un effetto ecologico, economico ed estetico. Errori grossolani nella progettazione o gravi carenze nella esecuzione delle opere di ingegneria classica, possono essere rimediati solo raramente con l'aiuto dell'Ingegneria Naturalistica. I metodi dell'Ingegneria Naturalistica devono quindi integrare fin dall'inizio le tipologie tracciate nel modo classico.

In casi particolari è persino possibile sostituire completamente gli interventi costruttivi eseguiti con materiali inerti mediante interventi di Ingegneria Naturalistica, specie quando si può contare su un miglior effetto globale.

Le formazioni di piante legnose, che non sono

state progettate e curate adeguatamente possono avere effetti negativi sul deflusso della piena. Una densa copertura legnosa sulle scarpate spondali diminuisce non solo la velocità della corrente, ma modifica anche la ripartizione della velocità nel profilo trasversale e cioè in modo tale che, le velocità relativamente più alte calano nella zona inferiore della sezione.

A causa della modificata distribuzione della velocità della corrente, la riduzione della portata risulta più evidente nei corsi d'acqua più stretti che in quelli più larghi (fig. 11.27). Felkel ha introdotto il coefficiente di riduzione  $Lo/U$  ( $Lo$  = la parte non coperta da vegetazione del peri-

metro bagnato;  $U$  = perimetro bagnato in m), modificando la formula di Manning-Strickler per velocità di deflusso medie nei profili con vegetazione legnosa. Un esempio di calcolo con l'adozione di questo coefficiente è riportato nella **tabella 11.15** (Dwk, 1984).

In riferimento a questo fatto sono sorte varie raccomandazioni, di piantare le scarpate con salici arbustivi su stretti corsi d'acqua, solo a partire da una larghezza dell'alveo di 5 m, e cioè da un solo lato (Eidgen. Ba. Wasserwirtschaft, 1982).

### 11.11 Progettazione con criteri ecologici in ambito fluviale

La necessità di controllare le acque correnti in funzione della difesa della viabilità e delle attività economiche che si svolgono lungo un corso d'acqua è stato un elemento costante nelle interazioni tra uomo e ambiente fluviale.

La preminenza di questo controllo ha determinato sino ad epoche recenti un tipo di approccio teorico e applicativo basato essenzialmente su un concetto idraulico del fiume, visto quindi essenzialmente come un collettore di acque superficiali, con la principale funzione di drenaggio del territorio dalle acque in eccesso, in modo da trasferirle al collettore finale, eventualmente "arricchite" da scarichi civili ed industriali.

Sia a causa del forte impatto ambientale determinato da questo tipo di approccio, sia a causa del deterioramento generalizzato del territorio, si è cominciato a riattribuire ai corsi d'acqua una valenza paesaggistica ed ecologica. Alle necessità produttive e idrauliche ne sono state quindi affiancate altre, poste sulla bilancia di un'ipotetica analisi costi-benefici che, ad una lettura semplicistica, poteva sembrare una sorta di contrapposizione tra interessi dell'uomo e della natura.

È solo negli ultimi decenni che, grazie soprattutto alle ricerche derivanti da teorie e modelli per un'interpretazione sistemica dell'ambiente, si è sanata questa apparente contraddizione, dimostrando come sotto tutti i profili (idraulico, paesaggistico, naturalistico, ecologico, sanitario, economico, ecc.) sia conveniente una gestione dei corsi d'acqua a livello di bacino idrografico che abbia tra le principali finalità quella di far riacquisire ai fiumi, attraverso il recupero dei loro caratteri naturali, anche le capacità omeostatiche (cioè di mantenere o tornare all'equilibrio in conseguenza di un disturbo) strettamente correlate alla diversità ambientale e biologica.

È in quest'ottica che si deve inserire lo sviluppo di nuove tecniche di intervento in ambito fluviale, come l'Ingegneria Naturalistica. Non tanto quindi come una nuova tecnica al servizio di teorie superate (compresa quella di una visione prevalentemente estetica del paesaggio), bensì come mezzo utile per riconferire naturalità al corso d'acqua, nonché per limita-

re l'impatto di interventi resi indispensabili in situazioni specifiche (Sansoni, 1999).

L'Ingegneria Idraulica può affrontare, nella maggior parte dei casi, soltanto differenti aspetti parziali delle costruzioni idrauliche naturaliformi.

Nelle costruzioni fluviali, come già discusso, un importante compito consiste nello smaltimento della piena di dimensionamento. Per questo scopo sono necessarie costruzioni che resistano alle sollecitazioni in gioco.

Le costruzioni idrauliche naturaliformi hanno tuttavia bisogno di spazio. È illusorio pensare di poter realizzare costruzioni idrauliche naturaliformi senza un'adeguata disponibilità di spazio.

L'impiego dei diversi metodi costruttivi di Ingegneria Naturalistica, dipende direttamente dal concepire i corsi d'acqua in una visione ambientale. Se le premesse tecniche delle costruzioni idrauliche naturaliformi non corrispondono in modo adeguato ai principi ecologici, l'Ingegneria Naturalistica viene degradata al ruolo di un sussidio estetizzante.

Non è obiettivo del presente manuale trasmettere i principi fondamentali delle costruzioni idrauliche in campo ambientale: tentiamo unicamente di esporre in modo conciso i più importanti criteri di base riguardo alle costruzioni idrauliche naturaliformi, secondo Kauch (1992) e secondo le direttive BMLF/OWWW (1992) (Ministero Federale per l'Agricoltura e Foreste/Associazione idraulica austriaca).

Ogni ambiente è caratterizzato da una rete di corsi d'acqua tipica, disegnata dalla geomorfologia. In un paesaggio fortemente antropizzato, corsi d'acqua primordiali quasi non esistono o non esistono per niente. Nella migliore delle ipotesi solo tratti parziali dei nostri corsi d'acqua, per non parlare affatto delle acque ferme, coincidono con il termine di *Naturnahe* (vicino alla natura), termine di scelta non molto felice che però è stato introdotto e al quale si dovrebbe preferire il termine "naturaliforme".

Esistono da molto tempo principi informativi generali per le costruzioni idrauliche su base biologica o, anche, ecologica quali:

- conservazione della morfologia dei corsi d'acqua, tipica del paesaggio su cui si opera;
- conservazione della dinamica delle acque;
- conservazione dei gorghi, dei guadi e dei banchi di ghiaia;
- conservazione del fondo del corso d'acqua;
- conservazione delle sponde pianeggianti e di quelle ripide, di quelle in erosione e di quelle di scorrimento;
- conservazione della larghezza di alvei fluviali variabili;
- conservazione dei diversi tipi di corrente;
- ritenzione della corrente nell'alveo;
- conservazione della possibilità di migrazione degli organismi acquatici;
- creazione, sviluppo e cura di una vegetazione adatta alle caratteristiche stazionali;
- gestione orientata alla cura dei lembi spondali

e dei boschi ripari secondo i principi dell'ecologia forestale;

- progettazione che tenga conto della sicurezza, ai fini di danni potenziali, a causa del cattivo funzionamento dell'opera;
- messa in conto della multifunzionalità delle acque correnti nelle zone residenziali;
- messa in conto della grande convenienza dei consolidamenti spondali, eseguiti con l'Ingegneria Naturalistica, incluse anche le riparazioni dopo le piene.

Alcune importanti regole da seguire per la realizzazione di opere di Ingegneria Naturalistica in ambito idraulico sono le seguenti (tratto da Schiechl, Stern, 1994):

- scelta ed impiego di macchine operatrici ed attrezzi, che devono essere appropriati dal punto di vista tecnico ad adattarsi alle condizioni del terreno;
- conformazione della scarpata che salvaguardi l'aspetto naturale e quindi sia stabile, cosa che viene raggiunta evitando pendenze troppo forti, arrotondando i bordi e gli spigoli della scarpata;
- impiego di materiali da costruzione adatti al paesaggio ed al luogo, ad esempio sassi, ghiaia, ciottoli, terreni e terre a granulometria da fine a finissima, legno;
- evitare l'impiego di materiali da costruzione naturali che non si trovano nella zona interessata dal progetto; ad esempio nessun impiego di pietrame in torrenti costituiti da sedimenti alluvionali fini;
- evitare l'impiego, fin quando possibile, di materiali da costruzione estranei al paesaggio quali acciaio, calcestruzzo, materie sintetiche; ad esempio per il rivestimento o l'impermeabilizzazione del fondo del corso d'acqua, privilegiando l'impiego di materiale da costruzione vivo;
- provvista di piante legnose a propagazione vegetativa provenienti dalla zona del cantiere o da soprassuoli naturali equivalenti, quanto più vicini possibile;
- conservazione di canneti e di piante acquatiche nella zona della sistemazione;
- conservazione della vegetazione che cresce nelle immediate vicinanze del cantiere, al di fuori dell'area della sistemazione, che rimane anche dopo la fine dell'intervento, mediante un avveduto impiego delle attrezzature;
- trasferimento, immagazzinamento transitorio e nuova messa a dimora (traslazione) della vegetazione;
- ridurre al minimo, o meglio ancora evitare, il taglio parziale, lo spezzettamento o la diciocatura dei boschi ripari.

Le costruzioni idrauliche, in particolare le sue varianti naturaliformi, costituiscono elementi di modellazione del paesaggio. Prima di progettare gli interventi di Ingegneria Naturalistica, i corpi idrici dovrebbero essere delimitati in base al loro tracciato o alla posizione delle sponde. Il *tracciato*, il *profilo longitudinale* e il *modellamento delle sezioni trasversali* ne sono il risultato.

Per quanto riguarda il tracciato adattato al paesaggio :

- nei tratti inferiori delle depressioni vallive, presenta una successione regolare di curve a destra ed a sinistra con diversi raggi;
- la larghezza del fiume dovrebbe aumentare dal punto d'inizio della curvatura dell'arco verso la parte centrale dell'arco stesso.

Per principio il tracciato è naturaliforme, quando esso si avvicina il più possibile al tipo del corpo idrico.

Nei corsi d'acqua lasciati allo stato naturale sono presenti:

- diverse *pendenze del fondo*;
- diverse *profondità dell'acqua*;
- diverse *correnti*.

Le *buche* o *fosse* esplicano in questo caso molteplici compiti. Esse sono spazi vitali preziosi che servono allo smorzamento dell'energia dell'acqua corrente, per cui la protezione spondale viene meno sollecitata. Le buche sono anche dei regolatori del trasporto solido. Nei corsi d'acqua lasciati allo stato naturale, le buche coincidono in larga misura con la zona di curvatura più forte. Per questa ragione la corrente rallenta, in corrispondenza di quei punti, la propria velocità di scorrimento.

I *guadi* (vale a dire, tratti ripidi) o *raschi*, coincidono con i punti del paesaggio fra due curvature di senso contrario. Nel caso di nuovi tracciamenti (regolazioni) va tenuto conto di questo dato di fatto, al fine di evitare di uniformare le condizioni della corrente. Da ciò risulta pure che l'ubicazione di una rampa di fondo, adattata alle condizioni naturali, che riproduce il tratto ripido fra due buche, andrebbe inserita nel punto di inversione fra i due archi di opposta curvatura.

Le differenti larghezze e profondità, in particolare la loro varianza, sono molto significative per i corsi d'acqua come *habitat* per animali. Ugualmente determinante diventa un modellamento molteplice e vario delle sezioni, ai fini di un impiego, quanto più efficiente possibile, delle tipologie di Ingegneria Naturalistica, non solo dal punto di vista del consolidamento tecnico, ma specialmente da quello ecologico.

La scelta di materiali da costruzione inerti e vivi è legata allo stesso tempo alla scelta del tipo di sezione. Nella maggior parte dei casi, gli interventi costruttivi sui corsi d'acqua si sviluppano come combinazione fra lavori di terra e costruzioni idrauliche nel senso più stretto del termine.

L'erosione, la spinta attiva delle terre, la sovrappressione idrica dei pori, la forza di trascinamento, la corrente idrica, la spinta di galleggiamento e la pressione idrica artesiana si sovrappongono in modo particolarmente sfavorevole nell'ambito della linea di passaggio fra il piede e la scarpata del corso d'acqua.

Il piede della scarpata può venire scalzato nel caso di carente consolidamento di quest'area (la scarpata viene in un primo momento scalzata fino al livello di portata media, fino a che l'intera sponda può crollare). Il modellamento

corretto ed il consolidamento sicuro delle zone inferiori della scarpata è perciò una premessa essenziale per ulteriori e ben riusciti interventi di Ingegneria Naturalistica nella zona superiore della sezione. I consolidamenti con materiali da costruzione inerti, devono essere limitati a quei siti o sezioni nei corpi idrici dove l'erosione non può più essere evitata esclusivamente mediante opere biologiche, e cioè quando:

- la spinta e la velocità della corrente idrica superano la resistenza del materiale presente nell'alveo;
- la sollecitazione sulle sponde in erosione diventa eccessiva;
- parti della scarpata devono essere consolidate fino al completo attecchimento delle piante;
- i materiali costruttivi vivi deperiscono a seguito di un forte inquinamento delle acque o per scarsità di precipitazioni;
- in presenza di suoli finemente sabbiosi, limosi, con afflusso di acqua di falda si verifica un innalzamento dell'alveo;
- non si disponga di altro spazio per le sistemazioni con tecniche di Ingegneria Naturalistica.

### 11.12 Pianificazione dei lavori di Ingegneria Naturalistica

Accade di frequente che le tecniche di Ingegneria Naturalistica non vengano previste come primo intervento, ma che si fa ricorso ad essi, solo quando le abituali costruzioni rigide hanno fallito. L'impiego dell'Ingegneria Naturalistica avviene allora in tempi brevi e non è possibile, quindi, procedere metodicamente in modo ben organizzato.

È quindi opportuno interessare già nelle discussioni preliminari, relative a progetti di costruzione che riguardano l'ambiente, degli esperti

di Ingegneria Naturalistica, per chiarire in che modo gli interventi relativi alle costruzioni ingegneristiche classiche possano raccordarsi con quelli dell'ingegneria naturalistica.

La decisione circa la scelta di singoli metodi costruttivi e del materiale da costruzione vivo, necessario allo scopo, può, essere presa solo dopo un'esatta conoscenza delle condizioni locali ed aver completamente chiarito i concetti o i desideri dei committenti relativi al risultato finale.

La *check-list* riportata nella **tabella 11.16** può essere impiegata per decidere quali siano i punti assolutamente necessari nella progettazione e quali possano essere omessi.

Si tratta dunque soprattutto di effettuare il consolidamento superficiale e profondo ed il reinserimento naturalistico di scarpate e superfici devastate nella realizzazione e gestione di infrastrutture (strade, ferrovie, cave, opere idrauliche, ecc.), in base ad un'esigenza di riqualificazione dell'ambiente ormai universalmente riconosciuta. Sia l'inserimento di materiali costruttivi inerti che vivi, avverrà in primo luogo secondo l'area della sezione e del profilo bagnato che deve essere consolidato. In relazione alla durata della piena ed al superamento o meno di determinati livelli d'acqua, si può dividere la sezione del corpo idrico in zone con differenti profili bagnati. Nel confronto con i rilievi vegetazionali si possono in questo modo stabilire limiti di vegetazione delle scarpate spondali, tipici dei corpi idrici.

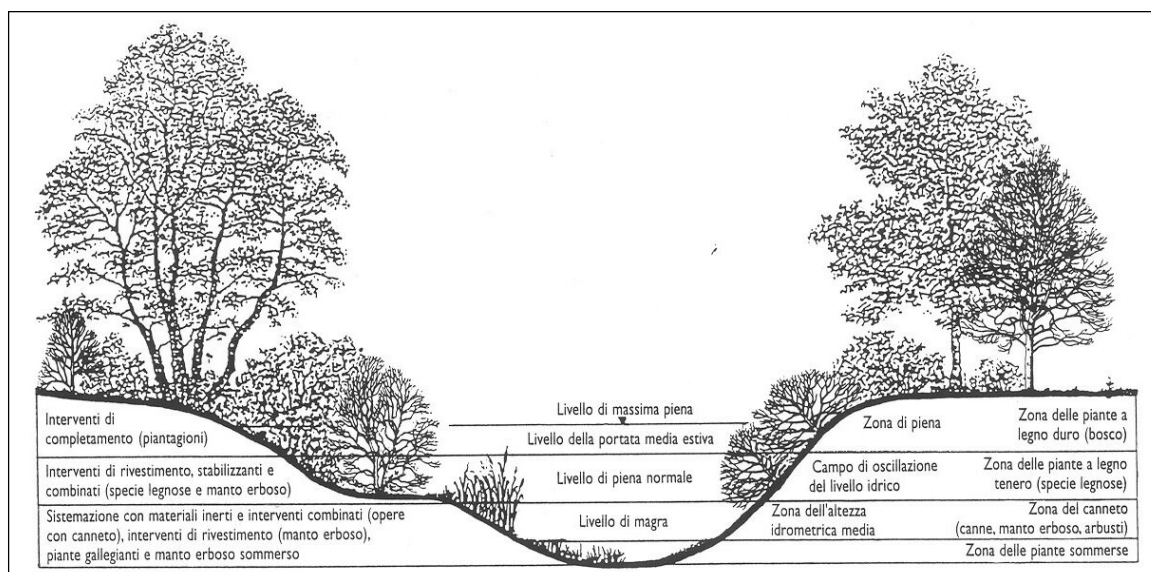
Poiché in natura non esistono confini rigidi e regolari, occorre evitare una schematizzazione troppo rigida. Questi limiti vegetativi non sono confini precisi ed essi si presentano con tutti i possibili passaggi e mescolanze e, addirittura, possono essere assenti ove esiste un'unica associazione vegetale che si sviluppa su tutte le zone.

**Tab. 11.16** - Lista delle fasi di progettazione di interventi di Ingegneria Naturalistica

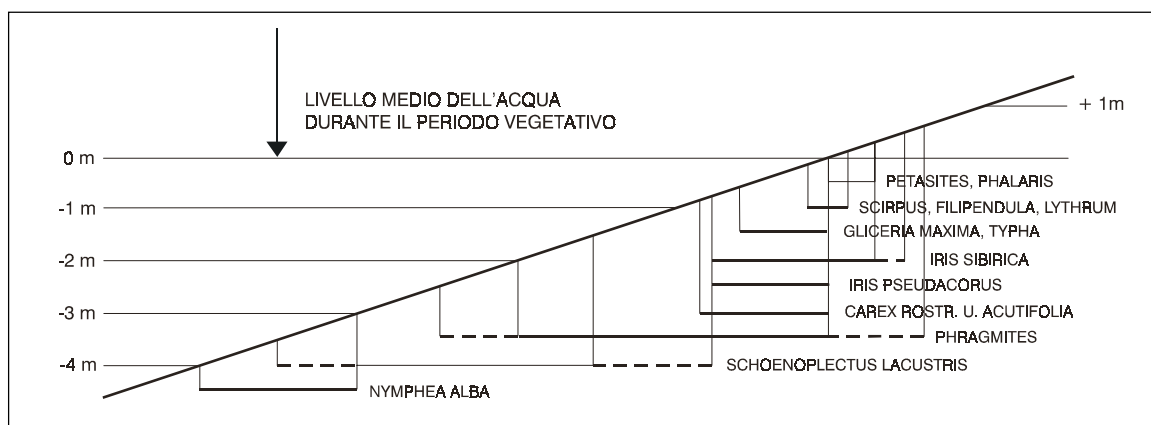
Tipo di indagine
Provvista di carte topografiche, foto aeree, ortofotografie dei progetti.
Esame del progetto generale relativamente al tracciato, alla sezione longitudinale, alla conformazione delle sezioni trasversali e dei dati idraulici.
Studio dei rilievi geologici ed idrologici.
Studio dei rilievi pedologici relativi al substrato dell'alveo e della stabilità della scarpata.
Studio dei dati idrologici.
Studio dei rilievi vegetazionali o cartografici esistenti o loro esecuzione nell'ambito del futuro tratto da sistemare.
Studio dei lavori preliminari relativi all'ecologia dei corpi idrici.
Analisi della causa del danno, nel caso di lavori di risanamento.
Determinazione dell'obiettivo e dello stato finale degli interventi d'Ingegneria Naturalistica.
Scelta dei materiali da costruzione vivi (scelta delle specie) e di quelli inerti.
Scelta delle tipologie costruttive.
Esame degli obblighi legali (proprietà, utilizzo, responsabilità).
Studio del progetto idraulico particolareggiato.
Coordinamento definitivo degli interventi di Ingegneria Naturalistica.



**Fig. 11.28** - Schema per la strutturazione del profilo di un corso d'acqua in zone idrauliche e in zone di vegetazione ed il possibile coordinamento delle tipologie dettata dall'Ingegneria Naturalistica



**Fig. 11.29** - Stazioni adatte per le piante del canneto. Compatibilità con il livello dell'acqua



Fonte: Schiechl, Stern, 1994.

Se confrontiamo le zone interessate dall'oscillazione del livello delle acque con i corrispondenti tipi di vegetazione, otteniamo lo schema illustrato nella figura 11.28. Non può esistere un profilo regolare per la distribuzione della vegetazione, poiché il tipo di vegetazione può essere molto diverso, sia in ambito regionale che nelle diverse sezioni dei corpi idrici.

Il coordinamento delle possibili tipologie costruttive di Ingegneria Naturalistica viene quindi esemplificato in questo schema d'orientamento.

Nella zona di magra, quella dei potamogeti, il popolamento con piante adattate alla stazione come, ad esempio, il Potamogeton, il Miriofillo ed il Ranuncolo d'acqua, presenta tuttora grosse difficoltà in quanto non si sono finora potuti risolvere in modo soddisfacente i problemi tecnici e biologici legati alla provvista, all'allevamento, al trasporto ed alla messa a dimora di piante, oltretutto molto sensibili.

Nella zona situata fra il livello di magra e quello medio, quella inferiore di alternanza del livello idrico, l'acqua agisce già in maniera intensa. Poiché qui si può operare con i canneti, tenendo conto delle corrispondenti stazioni, questa zona viene chiamata anche zona del canneto. I getti e le foglie del canneto dividono la corrente, nell'ambito compreso fra la superficie libera dell'acqua ed il terreno spondale e ne smorzano l'energia; la sedimentazione e l'interrimento vengono favoriti dalla corrente rallentata.

Le radici ed i rizomi delle piante del canneto consolidano il terreno. I canneti prediligono stazioni soleggiate e tale fatto può essere considerato già nella progettazione generale, coordinando in tal senso la collocazione delle piantagioni legnose ombreggianti.

La canna palustre (*Phragmites australis*) è la più nota pianta di protezione spondale e, fra quelle del gruppo che compongono il canneto,



anche la migliore sui corsi d'acqua, soprattutto però sui laghi. La canna sopporta notevoli correnti e resiste, come unica specie del canneto, all'urto e al risucchio dell'onda da parte di imbarcazioni (moto ondoso), in quanto è ancorata sopra e sotto l'acqua e nel terreno spondale con un fitto intreccio di rizomi radicati.

In funzione delle condizioni locali legate al livello idrico, della possibilità di procurarsi il materiale vegetale adatto, del periodo di piantagione, del consolidamento spondale, viene impiegata fra l'altro, nel caso di nuovi impianti, la piantagione con pane di terra, con rizomi, con germogli o con culmi; in tal caso la piantagione con culmi risulta essere il metodo più rapido ed economico, ma ha lo svantaggio di un periodo di piantagione relativamente breve (da 4 ÷ 6 settimane da maggio a giugno). Essa può infatti colonizzare aree spondali sott'acqua solo se i culmi non subiscono danni, giacché le radici ricevono sufficiente aria per la respirazione solo attraverso le parti aeree.

Laddove i culmi della canna vengono danneggiati per effetti meccanici, le parti sotterranee soffocano e le giovani piante non sopravvivono.

Si possono usare anche, con diverse caratteristiche (fig. 11.29):

- *Phalaris arundinacea*;
- *Schoenoplectus lacustris*;
- *Typha latifolia*;
- *Cyperaceae* (*Carex*).

Nell'area superiore della zona di alternanza del livello dell'acqua sopra la linea della portata media estiva vengono impiegati, come protezione spondale viva, il manto erboso e gli arbusti, per lo più salici.

Il manto erboso deve la sua importanza, come elemento di protezione spondale, ai seguenti vantaggi:

- il manto erboso non influisce che in misura minima sul deflusso della piena;
- la creazione di un manto erboso chiuso è relativamente semplice quando si osservano le condizioni di crescita e quelle stagionali;
- il manto erboso ha un lungo periodo di vita;
- le spese per creare scarpate ricoperte con manto erboso sono inferiori rispetto ad altri metodi di protezione spondale;
- il manto erboso è di facile manutenzione (lavori colturali);
- le sedimentazioni di materiale galleggiante sono minori rispetto alle sistemazioni eseguite con arbusti e di più facile rimozione.

A questi vantaggi si contrappongono però anche alcuni svantaggi:

- la manutenzione semplice, ma frequente, produce costi elevati;
- l'ambiente fluviale e perifluviale si impoverisce e viene banalizzato;
- la crescita delle piante acquatiche (generalmente eliofile) viene favorita dalla eliminazione dell'ombreggiamento.

Nonostante queste limitazioni il manto erboso

spondale conserverà però la sua posizione dominante nell'area di deflusso della piena, come materiale di protezione per le zone spondali al di sopra della portata media, come anche per i gradoni, le golene e gli argini. La stabilità delle superfici erbose chiuse è straordinariamente elevata. Il manto erboso sopporta per prolungati periodi velocità della corrente di 1,8 m/s, che per brevi periodi possono venir aumentati a 4,5 m/s.

La forza di trascinamento ammissibile è pari a 105 N/m<sup>2</sup> (Linke, 1964).

L'erosione del cotico inizia sempre in corrispondenza dei punti danneggiati del manto erboso, come, per esempio, i cretti di aridità, il passaggio di animali, i franamenti ed il calpestio del bestiame. Con un manto erboso chiuso si forma, al di sotto dei culmi che si rovesciano per le forti velocità della corrente, uno strato di debole corrente che protegge efficacemente il terreno anche nel caso di una modesta altezza dei culmi.

Nella zona di alternanza del livello dell'acqua vengono impiegati di preferenza, nel quadro delle sistemazioni di Ingegneria Naturalistica eseguite con tipologie costruttive stabili e combinate, materiali da costruzione vivi con capacità di ricaccio come, per esempio, i salici arbustivi.

L'effetto del soprassuolo legnoso al di sopra della linea di portata media, si basa sulla riduzione della velocità della corrente in vicinanza della scarpata e sul consolidamento del terreno della zona spondale, attuato dal fitto apparato radicale degli arbusti che arrivano a diverse profondità.

I getti epigei devono rompere come una parete flessibile la forza erosiva dell'acqua e trasformare la parte dannosa dell'energia cinetica dell'acqua, mediante la produzione di turbolenze, in attrito, calore, oscillazione e risonanza. All'atto del passaggio del materiale galleggiante, le piante legnose evitano l'attacco alla scarpata spondale.

Le piante legnose che sporgono oltre il coronamento spondale diminuiscono, all'uscita dell'acqua del profilo nella zona di inondazione, la velocità della corrente proteggendo così il margine superiore della scarpata minacciato. Per giunta, il deposito del materiale galleggiante, del fango e dei rifiuti rimane limitato all'area della fascia dei cespugli e le aree circostanti non vengono deturpate.

Nella zona di alternanza del livello d'acqua dovrebbero venir piantate come piante legnose solo cespugli flessibili, perché le piante legnose rigide e non elastiche ostacolano il deflusso della piena, causano vortici e spostamenti del filone della corrente e sono di frequente la causa di franamenti spondali.

La copertura vegetale di questa zona deve quindi essere oggetto di manutenzione ogni 5-8 anni, mentre il taglio di sgombero andrebbe eseguito a settori, affinché siano sempre presenti sufficienti getti protettivi ed elastici e la forma a cespuglio venga mantenuta.

Per la sistemazione di quest'area spondale sono perciò adatti solo salici a forma di cespuglio. I limiti d'impiego degli arbusti possono essere così schematizzati:

- il corso d'acqua deve essere stabilizzato nel suo alveo, poiché la pianta non può impedire né l'erosione in profondità, né quella laterale al piede della scarpata;
- il tratto di fiume da sistemare deve trovarsi nell'areale delle specie tipiche delle zone spondali adatte per la sistemazione in vivo;
- la sponda non dovrebbe superare la pendenza di 1:3 e solo in casi eccezionali avere una scarpata di 2:3;
- per natura le piante tipiche delle zone spondali scendono fino al livello della portata media estive. Poiché queste hanno bisogno di almeno un periodo di vegetazione, ed anche oltre, per radicare in modo efficace nel terreno, per motivi di sicurezza è opportuno non occupare la scarpata ad una profondità maggiore di quella corrispondente al livello della portata media estiva;
- la forza di trascinarsi deve essere compresa fra i 100 ed i 400 N/m<sup>2</sup> (valori di prima approssimazione).

Le piante spondali sono particolarmente adatte ad essere impiegate nei progetti di sistemazione che si basano sui dettami dell'ingegneria naturalistica per i seguenti motivi:

- fra tutte le piante legnose, sono quelle che crescono più in profondità verso il fondo del letto;
- in particolare, i salici hanno la facoltà di originare radici secondarie, le cosiddette *radici avventizie*, dalla corteccia dei rametti, dei rami o dei fusti recisi, di propagarsi cioè per talee;
- molte di queste specie, ed in particolare i salici, possono essere mantenuti in forma arbustiva mediante un taglio periodico (governo a ceduo) e con ciò rinnovati;
- grazie all'elevata elasticità dei rami e dei fusticini essi stessi sono in grado di resistere a sollecitazioni estreme;
- queste specie possiedono un'elevata vitalità, che si traduce fra l'altro nella loro energia di accrescimento, l'insensibilità ai danni ed il loro potere di rigenerazione.

In particolare per i salici, per un loro proficuo impiego non si possono però trascurare le seguenti proprietà di queste specie legnose (si confronti, al riguardo, il capitolo sulle caratteristiche biotecniche):

- come specie eliofile essi sopportano poco l'aduggiamento. In mescolanza con altre piante legnose esse perdono quindi presto in vitalità. Nelle cure colturali da eseguire alle ripe dei salici piantati sulla sponda, devono essere perciò allontanate le specie legnose concorrenziali, in particolare l'ontano in forma arborea ed altre specie;
- l'apparato radicale dei salici è molto esteso, va però in profondità solo sui terreni sciolti. Essi non sopportano una copertura del ter-

reno da parte dell'erba, in quanto essi hanno molta necessità di ossigeno. La resistenza di un'area inerbita non può quindi venire aumentata successivamente contro l'attacco dell'acqua corrente mediante l'inserimento di talee di salice. L'accrescimento radicale dei salici viene invece favorito dal loro taglio periodico;

- i salici richiedono per il loro attecchimento calore e acqua a sufficienza in aprile e maggio. Le precipitazioni superiori alla media, che in estate possono essere distribuite entro pochi giorni, oppure le piene di breve durata, hanno effetti positivi sul loro sviluppo;
- essi possono rimanere per 8 giorni circa completamente sott'acqua, senza subire dei danni. Essi sopportano una parziale sommersione per alcune settimane, quando cioè alcuni rami o ramoscelli fuoriescono ancora dall'acqua;
- la loro durata di vita arriva a 40 anni circa con uno sviluppo normale del soprassuolo, a oltre 100 anni se manca la concorrenza o se il popolamento viene sempre ceduto;
- le specie di salice si distinguono una dall'altra per la forma di sviluppo, le esigenze stagionali, la loro attitudine per le sistemazioni a verde. L'osservanza della differente attitudine è quindi molto importante ai fini di un attecchimento sicuro, di uno sviluppo futuro e dell'adempimento delle funzioni tecniche ed ecologiche loro assegnate;
- il vantaggio dei salici sta nella loro elevata capacità di resistenza che può essere conservata, impedendo la successione naturale.

Per questa ragione una protezione spondale biologica dovrebbe iniziare per principio quanto più in basso possibile, sotto la linea di portata media, poiché solo in questo modo può essere evitata l'erosione (scalzamento) che innesca i franamenti delle scarpate nell'area del piede della scarpata.

Una protezione spondale, predisposta solo per il consolidamento degli ambiti posti al di sopra della linea di portata media, perde il suo effetto.

Nelle **tabelle 11.17-11.21** sono elencate le specie vegetali utilizzate per la sistemazione delle rive dei corsi d'acqua.

### 11.13 Corsi d'acqua in ambito provinciale

Per "corso d'acqua caratterizzato da dissesto" si intende generalmente l'azione di erosione lineare, spondale e/o di fondo determinata dalla dinamica fluviale, che può determinare il movimento, più o meno repentino, di porzioni, più o meno grandi, dell'argine o pendio prossimale alla sponda; il vertice di valle della superficie su cui si verifica il movimento è localizzata in prossimità dell'alveo.

I movimenti franosi che interessano il pendio a monte della sponda possono essere ricondotti alle casistiche di cui al paragrafo precedente, soprattutto per i fattori predisponenti mentre

Tab. 11.17 - Simboli delle tabelle

Simbolo	Significato	Simbolo	Significato
<b>Possibilità di riproduzione vegetativa</b>		<b>Contenuto dei nutrienti e carbonati</b>	
f	Forte	nu'	Povero di nutrimenti
m	Media	nu	Ricco di nutrimenti
-	Nulla	b'	Povero di basi
<b>Tipo di suolo</b>		b	Ricco di basi
P	Pietre, detriti rocciosi	c'	Povero di carbonati
G	Ghiaia, ciottoli	c	Con carbonati
S	Sabbia	c	Ricco di carbonati
L	Limo	<b>Movimenti delle acque</b>	
F	Fango	st	Acque stagnanti
A	Argilla	lf	Acque lentamente fluenti
T	Torba	fl	Acque fluenti
p	Pietroso sempre in associazione con	<b>Modalità di utilizzazione dei vegetali</b>	
h	Umoso S,L,F o A	Se	Semi
<b>Grado di umidità ecologico</b>		Fr	Frutti
I	Per lo più acque aperte	Ri	Rizomi e stoloni
II	Bagnato	Ge	Germogli verticali
III	Umido	Ca	Canne
IV	Moderatamente secco e alternativamente umido	Pi	Piante senza zolla

Tab. 11.18 - Canne e piante erbacee per la sistemazione delle rive di corpi d'acqua nella zona interessata dal livello medio delle acque (DIN 19657)

	Altezza di crescita (m)	Ambito di applicazione		Grado di umidità ecologico e contenuto di nutrienti	Movimenti delle acque	Modalità di utilizzazione	Osservazioni
		Profondità max acqua (m)	Tipo di suolo				
<i>Fragmites communis</i>	3	1,5	da hS a hA, T	I, li, anche ts, nu, b	st, lf	P, R,, Ge, Ca	Piantagione Ca particolarmente conveniente
<i>Phalaris arundinacea</i>	1,5	0,3	da G ad A	I, II, anche ts, nu', b	fl	P, P, R,, Ze, Se	Acque ricche di ossigeno
<i>Glyceria maxima</i>	1,5	0,3	da hS a hA	I-III, anche ts, nu, b	st, lf	P, R,	Sopporta oscillazioni di livello
<i>Aroca calamus</i>	1,2	0,3	da hS a hA	I, II, anche ts, nu	st, lf	R,	Sopporta acque inquinate
<i>Carex gracilis</i>	1,2	0,3	da L ad A	I, II, anche ts, nu, b	st, lf	P,, Pz	Località in parte paludose
<i>Schoenoplectus (Scirpus) lacustris</i>	3	0,5-2	da hS a hA	I, anche ts, nu	st, lf	R,, Pz	Sopporta anche acque fenoliche
<i>Filipendula ulmaria</i>	1,5	0,2	da L ad A, T	11-1V, raro ts, nu	st, fl	P,, Pz	--
<i>Iris pseudacorus</i>	1	0,3	da S a A	I-III, anche ts, nu	st, lf	P,, R,	Necessari suoli umosi
<i>Typha laifolia e Typha angustifolia</i>	2,5	1	hS	I, li, nu'	st, lf	Pz, R,	In prevalenza zone di sedimentazione aperte
<i>Carex riparia e Carex acutiformis</i>	1,5	0,5	hA, T	I, II, anche ts, nu, b	st, lf	P,, Pz	-
<i>Petasites hybridus</i>	1	0,2	pA, A	I II, anche ts, nu	fl	P, R,	Corpi d'acqua freschi
<i>Bolboschoenus (Scirpus) maritimus</i>	1,2	0,5-1,5	A	I, anche ts, n, b	st, lf	R,, P,	-
<i>Schoenoplectus (Scirpus) tabernaemontani</i>	1,5	0,5-1,5	A	I, anche ts, nu, b	st, lf	R,, P,	-

Nota: per il significato dei simboli si veda la tabella 11.17.

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

Tab. 11.19 - Piante erbacee per la sistemazione a prato delle rive di corsi d'acqua (DIN 19657)

Ambito d'applicazione	Specie erbacee																Quantità totale di semi per miscela (kg/ha)					
	Agrostis stolonifera (17.000)	Poa trivialis (5.500)	Poa palustris (5.500)	Phleum pratense (2.000)	Agrostis gigantea (11.000)	Agrostis canina (20.000)	Poa pratensis (3.300)	Festuca rubra commutata (1.000)	Festuca rubra eurubra (1.000)	Agrostis tenuis (16.000)	Festuca pallens (1.700)	Festuca trachylla (2.000)	Festuca tenuifolia (2.500)	Corynephorus canescens (10.000)	Brachypodium pinnatum (220)	Bromus erectus (220)		Lotus uliginosus (1.400)	Lotus corniculatus (970)	Antyllis vulneraria (400)	Medicago lupulina (560)	
Nella zona delle escursioni medio-bassa; su suoli sabbio-limo-argillosi da freschi ad umidi	10	20	20	10	10																	70
Nella zona delle escursioni medio-alta; su suoli limo-argillosi asciutti di media profondità						20	15	25	10									10				80
Nella zona delle escursioni medio-alta; su suoli sabbiosi da freschi ad umidi					2	10	10	20	8													60
Sopra la zona delle escursioni per scarpe, su suoli sabbiosi e petrosi acidi asciutti e freschi							10	5	15	5	30	20										85
Sopra la zona delle escursioni per scarpe, su suoli petrosi calcarei, asciutti con profondità da piccola a media																						230
Sopra la zona delle escursioni per scarpe, su suoli sabbiosi molto leggeri, asciutti poveri di humus											50	40		20	60	100		5	15	15		110

Nota: per il significato dei simboli si veda la tabella 11.17

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

Tab. 11.20 - Talee utilizzate per la sistemazione delle rive dei corsi d'acqua (DIN 19657)

Specie	Altezza di crescita (m)	Ambito di applicazione			Osservazioni
		Tipi di suolo	Grado di umidità	Nutrienti e carbonati	
<i>Salix purpurea</i>	2-3, rar. fino a 10	da G ad A	da II a VII, anche ts	da nu a nu', da c ad a'	Resistente alla siccità, anche su suoli grezzi, consolidante
<i>Salix triandra</i>	2-4, rar. fino a 10	da S ad A	II, III, anche ts	nu, b, da c ad a	Consolidante
<i>Salix viminalis</i>	3-5	G, S, L	II, III, anche ts	nu, b, da c ad a'	Anche su suoli grezzi
<i>Salix fragilis</i>	8-20	da G ad F, anche h	da III a V, anche ts	nu, b, da c' ad a'	Anche su suoli con cattiva areazione e su suoli grezzi
<i>Salix alba</i>	10-30	da G ad A	da III a V, anche ts	nu, b, da c ad a'	Su suoli grezzi ben aerati e su suoli grezzi
<i>Salix elaeagnos</i>	2-6	da G ad A	da V a VII, anche ts	nu', b, c	Colonizzatore, anche su pendii marnosi instabili, consolidante
<i>Salix nigricans</i>	fino a 4	da G ad A, anche h	da II a IV anche ts	nu, b, c	Soprattutto per suoli calcarei freschi e umidi
<i>Salix pentandra</i>	2-5, rar. fino a 15	A, T, anche h	II, III	nu, b, da c' ad a'	-
<i>Salix daphnoides</i>	5-10	da G ad A	da II a V, anche ts	da nu' a nu, b, c, n	Su suoli grezzi, consolidante
<i>Salix appendiculata</i>	1-3, rar. fino a 8	pL, L, pA, A	da III a V	nu, b, c, n	In gole e solchi di slavine
<i>Salix hastata</i>	fino a 1,5	hP, hL	da III a V	nu, b, c'	-
<i>Salix glabra</i>	fino a 2	P, L	III	da nu' a nu, c	Anche su detriti dolomitici
<i>Salix waldsteiniana</i>	fino a 1	hL, hA	II, V	da nu' a nu, b, da c a c'	Su suoli ben aerati
<i>Populus spec.</i>	-	-	-	-	Si veda tabella 11.21

Nota: per il significato dei simboli si veda la tabella 11.17

Tab. 11.21 - Specie arboree utilizzate per la sistemazione delle rive dei corsi d'acqua (DIN 19657)

Specie arboree	Quota* (m)	Ambito di applicazione			Possibilità di riproduzione vegetativa	Osservazioni
		Tipi di suolo	Grado di umidità	Nutrienti e carbonati		
<i>Alnus glutinosa</i>	0,3	da hG a hA, T	da II a IV, in parte ts	nu, da c' ad a	f	Con radici profonde e superficiali, consolidate
<i>Betula pubescens</i>	0,3	hS, T	II, III	b', a', a	-	-
<i>Alnus incana</i>	0,5	G, S, A	V, ts	da nu, a nu', b, c	f	Con stoloni, consolidante
<i>Salix Spec.</i>	-	-	-	-	-	Si veda tabella 11.20
<i>Prunus padus</i>	0,5	da hG a hA	da III a V, anche ts	nu', da c a c'	m	-
<i>Fraxinus excelsior</i>	0,5	pL, L, pA, A	da II a IV	nu, b, da c a c'	m	Diverse sottospecie locali
<i>Populus nigra</i>	0,7	S, L	da III a V, anche ts	nu, b	f	Con radici superficiali
<i>Populus euramericana</i>	0,7	S, L	da III a V, anche ts	nu, c	f	Non adatto per stazioni con umidità stagnante
<i>Populus alba e P. canescens</i>	0,8	da G ad A	IV, V	nu, b, c	f	Con radici superficiali
<i>Quercus robur</i>	1,0	pL o hL, pA o hA	da IV a VI	b, b', c	m	Con radici profonde, tollera la sommersione per parecchi giorni

(segue)

segue tab. 11.21 - Specie arboree utilizzate per la sistemazione delle rive dei corsi d'acqua (DIN 19657)

Specie arboree	Quota* (m)	Ambito di applicazione			Possibilità di riproduzione vegetativa	Osservazioni
		Tipi di suolo	Grado di umidità	Nutrienti e carbonati		
<i>Ulmus minor</i>	1,0	da S a A, anche p o h	da III a V, anche ts	nu, b, c	m	Con radici profonde e superficiali, amante del calore
<i>Carpinus betulus</i>	1,0	hS, hL	da V a VII	nu, da c' a c	f	Con radici profonde
<i>Acer pseudo-platanus</i>	1,5	P, pL	V, VI	nu, b, da c' a c	m	Consolidante
<i>Tilia cordata</i>	1,5	pL, L, A	IV, V	b, c'	m	Con radici profonde e superficiali, consolidante
<i>Prunus avium</i>	1,5	pL, L	IV, V	nu, b	m	-
<i>Sorbus aucuparia</i>	1,5	P, pL, L, T	da III a VI	nu', b', da c ad a	m	Adatto per suoli grezzi, sopporta la neve
<i>Ulmus glabra</i>	1,5	pL, pA	IV, V	nu, da c a c'	m	Con radici profonde, tollera anche stazioni fresche
<i>Betula pendula</i>	1,5	p, S, L	da III a VII	nu', a', n	m	Consolidante
<i>Populus tremula</i>	-	da P a A	V, VI	nu, b, c, c'	f	Consolidante, anche per suoli grezzi
<i>Pinus sylvestris</i>	-	S, pL, T	VI, VII	da c ad a	-	-

Nota: per il significato dei simboli si veda la tabella 11.17.

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

per quelli scatenanti è da notare come l'erosione al piede e lo scalzamento siano, in questo caso, l'elemento principale.

Va precisato che i fenomeni erosivi e quelli di depositi sono parte della dinamica fluviale e determinano, giorno per giorno e localmente, il rimodellamento del *talweg* del corso d'acqua in relazione al modificarsi dell'assetto energetico di quel tratto di corso d'acqua.

Nella casistica dei dissesti che possono interessare i corsi d'acqua, oltre alle erosioni di fondo e di sponda, va tenuto conto che tali fenomeni possono determinare il dissesto degli argini e/o delle eventuali opere idrauliche in alveo; inoltre, la dinamica fluviale può causare l'innalzamento del fondo dell'alveo e/o il restringimento della sezione trasversale determinando le condizioni per l'esondazione dall'alveo e l'inondazione delle aree limitrofe.

Oltre ai dissesti di cui sopra, va considerato che il corso d'acqua è inteso come un sistema fluviale che costituisce con l'acqua, le sponde e le rive un variegato insieme di *habitat* per l'elevato numero di organismi viventi pertanto la distruzione delle sponde o l'alterazione dell'alveo naturale, sia a causa del fiume stesso che dell'azione dell'uomo, determina un impoverimento dell'ambiente naturale fluviale, con la conseguente tendenza all'uniformità ed alla banalizzazione del territorio.

La diversificazione dei microambienti è infatti il presupposto fondamentale per una ricca presenza di specie animali e vegetali, acque più o meno profonde, rami e ceppaie affioranti o som-

mersi, vegetazione acquatica, fondo a diversa granulometria, creano le condizioni ottimali per l'alimentazione, il rifugio e la riproduzione delle diverse specie.

I fenomeni naturali legati all'acqua, come le precipitazioni, le infiltrazioni, le percolazioni ed il ruscellamento, agiscono in modo complesso, sia a causa della variabilità dei fattori climatici che li regolano, sia per la natura dei terreni; inoltre, la dinamica fluviale con i suoi meccanismi di erosione e deposito è un equilibrio continuo, tra energia di cui è dotata l'acqua ed il materiale trasportato. L'erosione ed il trasporto di materiale, dipende principalmente dalle caratteristiche del corso d'acqua quali la portata idrologica, la geometria (distanza, pendenza ed altezza) delle sponde, la pendenza longitudinale dell'alveo e le caratteristiche geomeccaniche e granulometria del materiale di fondo e laterale dell'alveo. Al contrario, si possono verificare anche perdite di energia cinetica, che corrispondono a relativi processi di sedimentazione del materiale nell'alveo; le perdite lineari di energia sono, infatti, quelle che si producono per attrito lungo il contorno del corso d'acqua e, si possono indicare con la seguente espressione:

$$L * \frac{(J_1 + J_2)}{2}$$

con:

L = lunghezza del tratto esaminato;  
J = pendenza idraulica.

In relazione a rapporti complessi tra i sopracitati parametri si possono verificare, quindi, le diverse forme di trasporto:

- *solido (trascinamento, rotolìo e salto o reptazione)*, caratterizzato da movimento di particelle solide (blocchi o ciottoli di varia dimensione) a seguito di piene eccezionali o di variazioni di portata repentine (regime torrentizio) con spostamento sul fondo per brevi distanze e talora (reptazione) a balzi successivi (da qualche centimetro a parecchi metri) in funzione della dimensione;
- *in sospensione*, caratterizzato da movimento di particelle fini originate dalla disgregazione di argille, limi e sabbie, trasportate dall'acqua in sospensione;
- *in soluzione*, caratterizzato da "sali" risultato della dissoluzione chimica dei materiali litoidi con cui l'acqua è venuta a contatto.

Tutti i corsi d'acqua assolvono alla funzione di trasporto dei materiali provenienti dal bacino imbrifero e, di conseguenza, ogni intervento eseguito nel loro alveo avrà un'influenza sia sul deflusso idrico sia sul trasporto solido a valle. Nel territorio provinciale è possibile, in base a quanto descritto nei paragrafi precedenti, definire alcune situazioni geologiche e geomorfologiche "tipo" relativamente all'ambito di corso d'acqua, nelle quali l'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica permette di:

- ottenere una forte riduzione dell'azione erosiva spondale favorendo la stabilità del pendio a monte;
- difendere o ripristinare la sponda favorendo il corretto deflusso delle acque e nel contempo la ricostituzione della vegetazione ripariale e dell'*habitat* naturale del corso d'acqua;
- intervenire con modificazioni della dinamica fluviale di limitato impatto ambientale, atte ad evitare problematiche locali di erosione o deposito che alterino l'alveo naturale;
- ripristinare le opere idrauliche esistenti o realizzarne di nuove di limitato impatto ambientale;

Alcune situazioni-tipo, possono essere schematicamente riassunte nei casi di seguito descritti.

- *Corso d'acqua caratterizzato da erosioni di fondo o di sponda che può comportare dissesto degli argini o del pendio.*

È una condizione in cui possono venirsi a trovare molti corsi d'acqua, di varia importanza e regime, per quanto riguarda l'erosione di fondo e spondale può interessare i tratti di alveo compresi nelle parti medio-alte del bacino dove le pendenze medie longitudinali e quindi le velocità di deflusso sono elevate, l'erosione spondale può anche interessare gli argini di corsi d'acqua di una certa portata nel loro tratto compreso nella parte medio-bassa del bacino in aree pianeggianti soprattutto se presenta un andamento curvo o meandriforme.

I terreni costituenti il *talweg* del corso d'acqua possono essere di qualsiasi natura e

granulometria, anche se nelle aree pianeggianti prevalgono i depositi clastici più o meno grossolani rappresentanti depositi alluvionali relativi a eventi precedenti del corso d'acqua stesso; le caratteristiche geomecchaniche dei litotipi presenti ovviamente influenzano in maniera determinante il comportamento del fondo e della sponda all'azione erosiva. Il dissesto è spesso dovuto ad uno scivolamento dei terreni costituenti la sponda con l'asportazione del materiale franato da parte del fiume e quindi un arretramento progressivo dell'argine; ove la morfologia lo permetta, l'elisione dell'argine può provocare, soprattutto in caso di piene, la fuoriuscita dall'alveo del corso d'acqua con conseguente allagamento delle aree limitrofe e talora la creazione di un nuovo alveo di scorrimento.

Il fenomeno erosivo nel caso di una sezione trasversale a "V" con un pendio incipiente sulla sponda può causare un'erosione al piede del versante ed un conseguente innesco di una situazione di instabilità del versante che nel caso di volumi rilevanti di materiale franato può determinare una parziale o totale occlusione del corso d'acqua con la deviazione del percorso o la formazione di bacini di accumulo.

I fattori che determinano il dissesto, possono essere ricercati, nella non regimentazione del corso d'acqua che può essere stato alterato nella sua dinamica da interventi di alterazione dell'alveo (cave, discariche, opere idrauliche non corrette, ecc.) nel suo tratto di monte, lo stato di degrado o di denudamento o riporto delle sponde, l'antropizzazione a ridosso dell'alveo.

- *Corso d'acqua caratterizzato da deposito che può comportare l'innalzamento del fondo dell'alveo ed il restringimento della sezione di deflusso.*

È una condizione in cui possono venirsi a trovare molti corsi d'acqua, di varia importanza, soprattutto nei tratti ubicati sia in aree pianeggianti di fondovalle che in prossimità di variazioni più o meno repentine della pendenza longitudinale del corso d'acqua; infatti riguarda condizioni idrauliche di perdita di velocità con conseguente deposizione del materiale solido, di varia natura e dimensione, trasportato dalle acque con le modalità già descritte.

Il deposito può interessare, in relazione alla dinamica fluviale locale, gli argini di corsi d'acqua di una certa portata nel loro tratto compreso in aree pianeggianti, soprattutto se presenta un andamento curvo o meandriforme, ma anche il fondo, soprattutto nei tratti medio-alti del bacino e nei tratti con cambi di pendenza.

I terreni depositati possono essere di qualsiasi natura e granulometria, anche se nelle aree pianeggianti di monte prevalgono i depositi clastici più o meno grossolani mentre nelle aree prossimali alla foce prevalgono sedimenti fini.

Il dissesto è spesso dovuto alla tendenza al colmamento dell'alveo che, determinando un abbassamento degli argini, può provocare una sempre maggiore tendenza all'esonazione con lo svilupparsi di tratti di alveo alternativi a quello originario o, in caso di parziale o totale occlusione del corso d'acqua, la formazione di bacini di accumulo; il restringimento della sezione di deflusso può inoltre provocare fenomeni di rigurgito delle acque a monte.

Va inoltre ricordato che in tali tratti è bene che il corso d'acqua mantenga il suo spazio golenale naturale che gli permette di spaziare lateralmente riducendo la pericolosità delle eventuali esondazioni e delle modificazioni di percorso. I fattori che determinano tale situazione, possono essere ricercati, nella non regimenziazione del corso d'acqua che può essere stato alterato nella sua dinamica da interventi di alterazione dell'alveo (cave, discariche, opere idrauliche non corrette, ecc.) nel suo tratto di monte, lo stato di degrado o di denudamento o riporto delle sponde.

- *Corso d'acqua caratterizzato da dissesto delle opere idrauliche in alveo e non.*

È la condizione in cui possono venirsi a trovare molti corsi d'acqua, di varia importanza e regime, in particolare nei tratti montani dove sono elevate la pendenza longitudinale e l'energia in gioco e spesso sono state realizzate opere idrauliche, soprattutto trasversali quali briglie, traverse e soglie, al fine di attenuare le azioni erosive. Talora la scarsa manutenzione effettuata a distanza di anni su tali opere ha avuto come effetto il malfunzionamento e, quindi, l'annullamento dell'effetto benefico, oppure l'energia del corso d'acqua, in un momento di piena ne ha determinato lo scalcamento e danneggiamento dell'opera od il suo bypassamento. È bene ricordare che le opere idrauliche trasversali tradizionali costituiscono spesso un ostacolo insormontabile per la fauna ittica e pertanto suddividono il corso d'acqua in tratti ecosistemicamente isolati tra loro; può essere utile ricercare soluzioni compatibili quali, ad esempio, le rampe di risalita o progettare gli interventi tenendo conto delle esigenze di salvaguardia ambientale. La condizione di dissesto delle opere in alveo si verifica inoltre, molto frequentemente, nei tratti medio-bassi del corso d'acqua (aree a bassa acclività o pianeggianti) con una elevata urbanizzazione anche a ridosso dell'alveo, dove spesso le opere sono state realizzate non assecondando la dinamica fluviale ma costringendo il corso d'acqua in un alveo spesso insufficiente che in condizioni di piena può dissestare gli argini ed i rivestimenti spondali o rigurgitare in corrispondenza di tombamenti od attraversamenti insufficienti. Va inoltre ricordato che l'uso indiscriminato di cementificazione delle sponde con la distruzione della vegetazione ripariale determina una distruzione dell'*habitat* naturale della sponda fluviale con un impoverimento

vegetazionale e della fauna ittica, favorendo nel contempo l'aumento della velocità di deflusso delle acque a scapito delle zone di valle.

## Bibliografia



- AA.VV., 1993  
*Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Regione Emilia Romagna - Assessorato all'ambiente, Regione Veneto - Assessorato Agricoltura e Foreste, Bologna.
- AA.VV., 1994  
*Corso di formazione professionale in Ingegneria Naturalistica*, atti, Regione Veneto, Belluno.
- AA.VV., 2000a  
*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1: Processi territoriali e criteri metodologici*, Collana "Fiumi e Territorio".
- AA.VV., 2000b  
*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 1: Processi territoriali e criteri metodologici*, Regione Toscana - Giunta regionale, Dipartimento Politiche Territoriali e Ambientali, Firenze.
- Abbe T.B., Montgomery D.R., 1996  
*Large woody debris, channel hydraulics and habitat formation in large rivers*, Regulated Rivers: Research & Management.
- Agarwal V.C., 1983  
*Studies on the characteristics of meandering streams*, Ph. D. thesis, UOR.
- Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Magra, 2001  
*Indicazioni per la progettazione ambientale dei lavori fluviali. Piano Assetto Idrogeologico. Allegato 3.*
- Biddle P.G., 1983  
*Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees on clay soils*, Geotechnique.
- Brown C.B., Sheu M.S., 1975  
*Effects of deforestation on slopes*, in "J. Geotech. Eng. Div.", ASCE, 101 (GT2).
- Calò P., 2001  
*Le rampe a blocchi e le rampe di risalita per i pesci*, inedito.
- Calò P., Palmeri F., 1996  
*Influenza della vegetazione sul deflusso: analisi comparata di diverse esperienze, coefficiente di scabrezza, manutenzioni*, in *Sistemazioni idrauliche con metodi naturalistici: un programma di calcolo*, a cura di AIPIN Nazionale, atti del convegno, Bologna.
- Carson M.A., Kirby M.J., 1972  
*Hillslope form and process*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Chang H.H., 1980  
*Stable alluvial canal design*, in ASCE, JHD, 106, HY5.



- Endo T., Suruta T., 1969  
*On the effect of tree's roots, upon the shearing strenght of soil*, annual report of the Hokkaido Branch Forest Experiment Station, Sapporo.
- Ferri M., 1988  
*Passaggi per pesci negli sbarramenti fluviali: aspetti tecnici e politici del grave ritardo accumulato in Italia*, in "Bollettino del Museo di Storia Naturale della Lunigiana", Aulla.
- Fredlund D.G., Morgenstern N.R., Widger R.A., 1978  
*The shear strength of unsaturated soils*, in "Can.Geotech. J.", 1978.
- Gray D.H., Ohashi H., 1983  
*Mechanics of fiber reinforcement in sand*, in "J.Geotech. Eng.Div.", ASCE.
- Gray D.H., Leiser A.J., 1982  
*Biotechnical slope protection and erosion control*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Gray D.H., Megahan W.F., 1981  
*Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho Batholith*, Research Paper INT-271, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah.
- Gray D.H., 1978  
*Role of woody vegetation in reinforcing soils and stabilising slopes*, in "Proc.Symp.Soil Reinforcing and Stabilising Techniques", Sydney.
- Greenway D.R., 1987  
*Vegetation and slope, stability*, in M.G. Anderson, K.S.Richards (eds.), *Slope Stability*, John Wiley & Sons.
- Gregory K.J., Davis R.J., Tooth S., 1993  
*Spatial distribution of coarse woody debris dams in the Lymington basin*, Hampshire, U.K. Geomorphology.
- Hsi G., Nath J.H., 1970  
*Win drag within a simulated forest*, in "J.Appl.Meteorol".
- Hupp C.R., 1990  
*Vegetation patterns in relation to basin hydrogeomorphology*, in J.B. Thorne (ed.), *Vegetation and Erosion*, John Wiley & Sons.
- Hupp C.R., Osterkamp W.R., 1996  
*Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes*, in "Geomorphology".
- Kirby M.J., Morgan R.P.C., 1980  
*Soil Erosion*, Wiley-Interscience, London - New York.
- Lawler D.M., Thorne C.R., Hooke J.M., 1997  
*Bank erosion and instability*, in C.R Thorne, R.D. Hey, M.D. Newson (eds.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*.
- Leopold L.B., Wolman M.G., 1957  
*River channel pattern: braided, meandering and straight*, in "US Geol. Surv.", professional paper.
- Linke H., 1964  
*Rasenmatten - ein Baustoff zur Ufersicherung*, in "Wasserwirtschaft - Wassertechnik", 9, Berlino.
- Nassif S.H., Wilson E.M., 1975  
*The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration*, in "Hydrol. Sci. Bull.", 20(4).
- Martino N., 1991  
*Tutela e gestione degli ambienti fluviali*, serie "Atti e Studi", n. 8, WWF Italia.
- O'Loughlin C.L., 1974  
*A study of tree root strength deterioration following clear felling*, in "Can. J. Forest Res.".
- Piegay H., Thévenet A., Citterio A., 1999  
*Input, storage and distribution of large woody debris along a mountain river continuum*, The Drome River.
- Pirrone G., 1998  
*Effetti della vegetazione in alveo e applicazione per lo studio della stabilità delle sponde*, tesi di laurea inedita in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, Università degli Studi di Firenze.
- Richards B.G., Peter B., Emerson W.W., 1983  
*The effects of vegetation on the swelling and shriking of soils in Australia*, in "Geotechnique".
- Rinaldi M., 1998  
*Instabilità di alvei e di sponde fluviali*, in *Sperimentazione di interventi di Ingegneria Naturalistica per sistemazioni idraulico-forestali e monitoraggio a scala di bacino*, Progetto IFNAT (responsabile I.Becchi), CIR Ambiente - Regione Toscana - PIN Centro Studi Ingegneria.
- Rinaldi M. Casagli N., 1999  
*Stability of streambanks formed in partially salurated soils and effects of negative pore water pressures: the Sieve River (Italy)*.
- Sauli G., Cornelini P., Preti F., 2002  
*Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico nella Regione Lazio*, Regione Lazio, Roma.
- Schiechl H.M., 1973  
*Sicherungsarbeiten im Landschaftsbau*, Verlag G.D.W., Callwey, Munchen.
- Schiechl H.M., Stern R., 1994  
*Ingegneria Naturalistica. Manuale delle costruzioni idrauliche*, Edizioni Arca.
- Selby M.J., 1982  
*Hillslope materials and processes*, Oxford University Press, Oxford.
- Simon A., Hupp C.R., 1987  
*Geomorphic and vegetative recovery processes along modified Tennessee streams: an interdisciplinary approach to disturbed fluvial systems*, International Association of Scientific Hydrology, special publication n.167.

- Sansoni G., 1999  
*Ingegneria Naturalistica fluviale: strumento per la gestione idraulico-naturalistica del territorio o cosmesi ambientale?*, in atti seminario di studio "I biologi e l'ambiente, oltre il 2000", Venezia.
- Thorne C.R., 1982  
*Processes and mechanisms of river bank erosion*, in R.D. Hey, J.C. Bathurst, C.R. Thorne (eds.), *Gravel-bed Rivers*, Wiley, Chichester.
- Thorne C.R., 1990  
*Effects of vegetation on riverbank erosion and stability*, in J.B. Thornes (ed.), *Vegetation and Erosion*, Wiley.
- Thorne C.R., 1998  
*Stream reconnaissance handbook. Geomorphological investigation and analysis of river channels*, Wiley, Chichester.
- Thorne C.R., Reed S., Doornkamp J.C., 1996  
*A procedure for assessing river bank erosion problems and solutions*, National Rivers Authority, R&D report 28.
- Virgilio A., s.d.  
*Il rispetto delle caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua*, in Regione Liguria - Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo, *Opere d'Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale*, Genova.
- Waldron L.J., 1997  
*The shear resistance of root permeated homogeneous and stratified soil*, in "Soil Sci. Soc. Am. J.", n. 41.
- White W.R., Bettess R., Paris E., 1981  
*Tables for design stable channels*, report n. IT 201, Hydraulics Research Station, Wallingford.
- White W.R., Bettess R., Paris E., 1982  
*Analytical approach to river regime*, in "ASCE, JHD".
- Woolhiser D.A., Lenz T., 1965  
*Channel gradient above gully-control structures*, in "Journal of the Hydraulics Division - Proceeding of A.S.C.E.", n. 3.
- Wu T.H., 1976  
*Investigation of landslides on Prince of Wales Island*, Geotechnical Engineering Report 5, Ohio State University - Civil Engineering Department, Columbus, Ohio.
- Wu T.H., Mckinnel W.P., Swanston D.N., 1979  
*Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska*, in "Can. Geotech. J."
- Yang C.T., 1976  
*Minimum unit stream power and fluvial hydraulics*, "ASCE JHD", n. 102, HY7.
-

Gli interventi di Ingegneria Naturalistica sono considerati, nell'ambito dell'attività estrattiva, opere di mitigazione e, quindi, possono trovare una giusta collocazione nelle aree soggette a ripristino ambientale. In particolare, nei settori infrastrutturali e produttivi (cave, discariche, strade, ferrovie) l'applicazione delle varie tecniche di Ingegneria Naturalistica fornisce molteplici possibilità di abbinamento tra la funzione tecnica (consolidamento di scarpate, antirumore) e quella ecologica (per esempio, ricostruzione degli ecosistemi).

Tra le conoscenze necessarie per ottenere questo risultato bisogna considerare:

- ubicazione della zona d'estrazione;
- clima della regione e microclima dell'area;
- pedologia;
- geomorfologia, litologia del substrato e geomeccanica;
- idrogeologia;
- aspetti legati alla vegetazione e alla fauna della zona;
- fitosociologia;
- forma e dimensione della cava.

Il criterio che è necessario seguire per qualsiasi tipo di recupero ambientale – e quindi anche in ambito estrattivo – è legato all'ottenimento della massima diversità biologica e morfologica possibile, al fine di ottimizzarne l'inserimento nel contesto ambientale.

Si consiglia pertanto di diversificare il più possibile i fronti di scavo e seguire, per quanto possibile, le forme naturali del terreno, evitando così le forme geometriche della parete antropizzata, al fine di ottenere un ripristino sia sotto il profilo naturalistico che estetico.

L'applicazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica è riconducibile a due settori principali:

- *infrastrutture*: strade, ferrovie, cave, miniere, discariche, centrali idroelettriche, insediamenti industriali;
- *territorio*: frane, erosioni e sistemazioni idrauliche in zone montane, corsi d'acqua e zone costiere.

Tra i due settori vi è una differenza sia tecnica che amministrativa, in quanto il primo settore è riconducibile alle procedure degli appalti delle opere pubbliche di nuova realizzazione con partecipazione di imprese private, liberi professionisti e fornitori di materiali.

Il secondo ambito è spesso gestito direttamente da Enti competenti (Corpo Forestale, Genio civile, consorzi di bonifica, ecc.) che operano con loro personale o ricorrono a ditte private locali per interventi considerati di manutenzione.

In generale, si può affermare che le tecniche di

Ingegneria Naturalistica applicabili nell'ambito delle cave sono condizionate sia dai fattori morfologici e microambientali, che da fattori economici di attività in gran parte privata.

### 12.1 L'Ingegneria Naturalistica e le cave

Nel settore estrattivo una delle principali problematiche è il rinverdimento di scarpate in rilevato o in scavo. Per la natura geomorfologica del territorio in Italia, è molto frequente la tipologia delle scarpate in roccia con notevoli problemi di rinverdimento, appunto, legati al substrato, alla pendenza e all'esposizione.

Le cave in roccia, ad esempio, costituiscono una delle grosse problematiche d'impatto paesaggistico con oltre 15.000 cave distribuite su tutto il territorio nazionale.

Le tecniche d'intervento sono molteplici e diversificate in funzione dei parametri precedentemente elencati; per tale motivo è consigliabile effettuare delle prove in aree d'estensione limitata e testare così la buona riuscita dell'intervento.

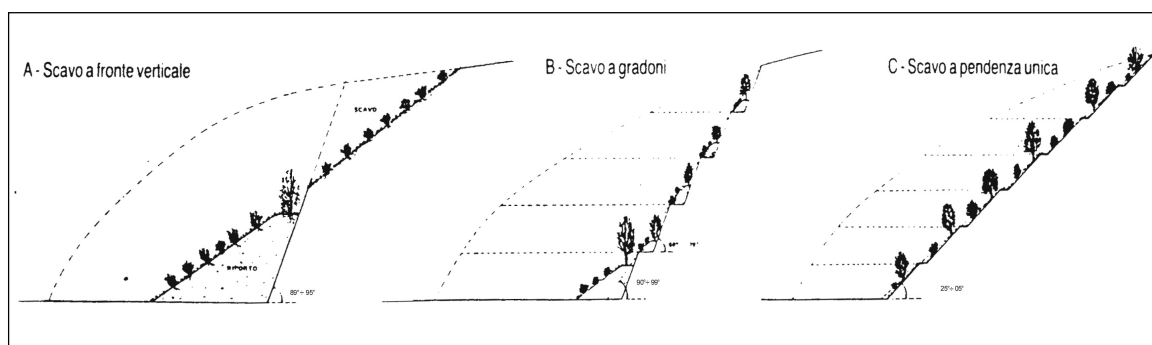
Una delle migliori strategie d'intervento per ricostruire il manto vegetale su una scarpata in roccia (Sauli, 1990) è quella di abbattere la pendenza del versante fino a 35° ÷ 40° sull'orizzontale, in modo da poter intervenire con riporti di terreno, semine e messa a dimora di arbusti. Questa tecnica è possibile sia per scarpate stradali sia per cave in roccia, impiegando come tecnica di scavo quella a pendenza unica e portando i piazzali dall'alto verso il basso, intercalando le berme di un metro (Sauli, 1990) come illustrato nella **figura 12.1**.

Queste soluzioni presentano i seguenti vantaggi:

- riutilizzo immediato dell'*humus* di scotico senza fenomeni di degrado organico e fisico dello stesso;
- economicità e semplificazione della tecnica di semina;
- la possibilità di trapianto dal selvatico di cespi di vegetazione (*ecocelle*) che innescano la successione della vegetazione verso le associazioni naturali;
- la possibilità d'intervento di copertura quasi totale con superfici in roccia nuda esposte, ridotte al minimo.

Si possono adottare anche provvedimenti di rivestimento vegetativo mediante tecniche combinate elencate di seguito:

- *riporto di terreno vegetale*: il terreno vegetale di riporto deve essere movimentato e messo in posto con particolare attenzione per non al-

**Fig. 12.1** - Metodi di costruzione del manto vegetale in cava di roccia a seconda della tipologia di scavo adottata

Fonte: Sauli, 1990.

- terarne le sue proprietà fisico-idrologiche ed organiche, additivandolo anche con ammendanti e concimanti organici;
- *idrosemina* e *nero-verde*: le idrosemine vanno eseguite con collanti sintetici od organici o ancora, con semine a paglia e bitume (nero-verde), avendo cura di scegliere la specie più adatta e fresca;
  - *messa a dimora di talee*: si sfrutta la capacità di alcune specie di produrre radici e polloni per semplice inffissione di talee, ossia di rami freschi prelevati dal selvatico;
  - *rivestimento vegetativo a stuoia*: questa tecnica sfrutta l'abbinamento tra la rete zincata a doppia torsione possibilmente plasticata e la georete plasticata tridimensionale. Questa struttura viene impiegata su pendenze comprese tra i 45° ed i 55°. Prima o dopo tale operazione si effettua idrosemina con eventuale riporto di terreno vegetale. Questa struttura consente di trattenere il terreno in condizioni di potenziale dilavamento, consentendo la crescita del cotico erboso e di arbusti pionieri;
  - *rivestimento vegetativo a materasso*: si utilizzano gli stessi materiali del rivestimento vegetativo a stuoia, ma su spessori che variano dai 50 ai 100 cm con riempimento di materiale terroso additivato;
  - *rivestimento vegetativo a tasca*: la struttura è analoga alla precedente; l'unica differenza consiste nella forma della tasca del supporto che viene chiodato alla roccia e legato alla rete principale di copertura della scarpata;
  - *terre armate* o *terre rinforzate verdi*: sono costituite da terrapieni con elementi di rinforzo orizzontali, collegati a griglie metalliche frontali o ripiegati a sacca e realizzati in modo tale da consentire la crescita della vegetazione sulla superficie frontale. Sono considerate strutture di sostegno al piede di scarpate ( $\geq 60^\circ$ ) in riporto o d'interi rilevati di mascheramento o, ancora, per rampe d'accesso molto visibili;
  - *muri cellurari* e *muri verdi*: è una tecnica che combina i muri cellurari (o alveolari), prefabbricati in calcestruzzo, entro i quali vengono inseriti arbusti. I limiti d'applicabilità sono dovuti alla possibile filtrazione dell'acqua per altezze o inclinazioni troppo elevate;
  - *gabbionate*: si usano le gabbionate come sostegno al piede delle scarpate di riporto, con possibilità di rivestimento vegetativo frontale mediante impiego di geotessuti e georeti plastiche.
- Dato che le possibilità di recupero ambientale in un'area estrattiva dipendono soprattutto dalla morfologia di coltivazione e dallo stato d'abbandono delle scarpate, si possono distinguere i seguenti casi:
- *coltivazioni dall'alto verso il basso a piazzale discendente con scarpate di 35° ÷ 37°*: in questo caso il recupero può essere effettuato con semplice riporto di terra vegetale e la messa a dimora di arbusti preferibilmente autoctoni; questa è una modalità di gestione delle cave in roccia abbastanza recente;
  - *coltivazioni a gradoni*: sono le più frequenti e permettono diverse forme di recupero a seconda dei casi seguenti:
    - nel caso in cui il rapporto tra altezza e pedata (dei gradoni) è tale da non superare la pendenza media complessiva di 45°, è possibile:
      - § riportare su gradoni materiali inerti di scavo e, ricostruire nuove superfici di scarpata;
      - § abbattere in fase di abbandono finale, le teste di scarpa dei gradoni per riempire la parte sottostante ed ottenere l'effetto sopra citato.
    - nel caso in cui la pendenza complessiva supera i 50° ÷ 55°, gli interventi di recupero possibili sono dati da semplici riporti di terreno vegetale e messa a dimora di arbusti; si ottiene però un frammentario strato di copertura influenzato dalla morfologia e dalla pendenza dei gradoni;
    - nei casi estremi di pareti subverticali, spesso inaccessibili dall'alto le possibilità di intervento a verde sono quasi nulle; recenti interventi sperimentali come materassi vegetati hanno dato risultati circoscritti a fronte di notevoli costi di messa in opera;
  - *coltivazioni a microgradoni*: questo tipo di coltivazione si può effettuare secondo le seguenti modalità (Piselli, 2001):
    - il fronte di cava sarà delimitato in alto da un piazzale, dal quale si procederà all'estra-

zione del materiale verso valle, secondo un piano suborizzontale, fino a raggiungere la quota del gradone intermedio. L'estrazione procederà per lotti successivi e comporterà la formazione, a monte, di un fronte di scavo continuo ed uniforme con pendenze comprese tra  $25^\circ$  ÷  $45^\circ$ , verificate le condizioni di sicurezza del fronte di scavo sia in fase d'escavazione sia di superfici finale;

- con il progredire dell'escavazione verso il basso, il fronte di scavo verrà microgradonato con pendenza dell'alzata del gradone pari a  $70^\circ$  (valore fisso al fine di garantire la massima uniformità nella coltivazione);
- contropendenza della pedata del gradone variabile tra  $5^\circ$  ÷  $10^\circ$  (in relazione all'inclinazione del versante: nel tratto più acclive ( $45^\circ$ ) la contropendenza sarà di  $10^\circ$ , mentre in corrispondenza della parte basale del fronte di cava ( $25^\circ$ ), sarà di  $5^\circ$ ;
- la larghezza della pedata varierà in relazione all'altezza imposta del gradone e delle diverse parti dell'area di cava.

Risultano proponibili interventi *antierosivi* e *stabilizzanti*:

- riporto di terra vegetale;
- idrosemina;
- messa a dimora di arbusti e alberi;
- viminate e fascinate;
- biostuoie;
- rivestimenti in reti zincate abbinati a stuoie sintetiche o in fibra vegetale.

Oppure opere combinate di consolidamento, d'impiego localizzato:

- gabbionate;
- materassi verdi;
- terre rinforzate;
- palificate vive.

Secondo Ginevra e Saralli durante la fase di progettazione, viene attualmente considerato non solo l'aspetto puramente legato all'attività estrattiva, ma soprattutto vengono presi in considerazione gli aspetti attinenti alla ricomposizione ambientale; con il passare del tempo si è verificata infatti un'inversione di tendenza, ovvero tramite le analisi agronomiche, forestali ed ambientali in genere, si esaminano precedentemente le caratteristiche del sito prima dell'intervento, per poi formulare proposte di ricomposizione ambientale in stretta sintonia con le esigenze di compatibilità dell'ambiente.

## 12.2 Il recupero ambientale in cave di versante

Il concetto generale che sta alla base del recupero ambientale, in qualsiasi condizione morfologica è quello di operare affinché si ottengano quelle condizioni di vita sufficienti per l'insediamento delle componenti vegetali ed animali tipiche della zona.

Uno dei primi ostacoli risulta essere la pendenza del fronte di cava, il quale deve essere mo-

dellato affinché sia possibile accumulare sulla superficie un minimo di sostanza organica, per la formazione di un substrato idoneo alla crescita e allo sviluppo delle specie vegetali "pioniere".

Per ottenere, quindi, nicchie, piazzole o gradoni, si procederà, ad esempio:

- all'impiego di materiale esplosivo in punti ben definiti;
- all'uso di escavatori;
- all'inserimento di reti metalliche o di materiale sintetico.

Aspetto importantissimo è quello relativo al drenaggio delle acque superficiali, tramite apposita rete scolante, che eviti fenomeni di ruscellamento e di erosione, responsabili di asportare terreno fertile e di provocare continui e pericolosi dissesti.

Dopo aver preparato il substrato, si procederà con il riporto in loco di uno strato di terreno vegetale (20 ÷ 30 cm di spessore) e poi si potrà effettuare un primo inerbimento che, se le condizioni stagionali lo permettono, sarà seguito dalla messa a dimora di specie arbustive "pioniere".

Non va dimenticata per gli anni successivi all'intervento, la fase di manutenzione delle specie vegetali, con:

- concimazioni;
- irrigazioni (nei periodi più caldi);
- semina di specie erbacee;
- risarcimento delle fallanze;
- inserimento di nuove e più esigenti specie arbustive.

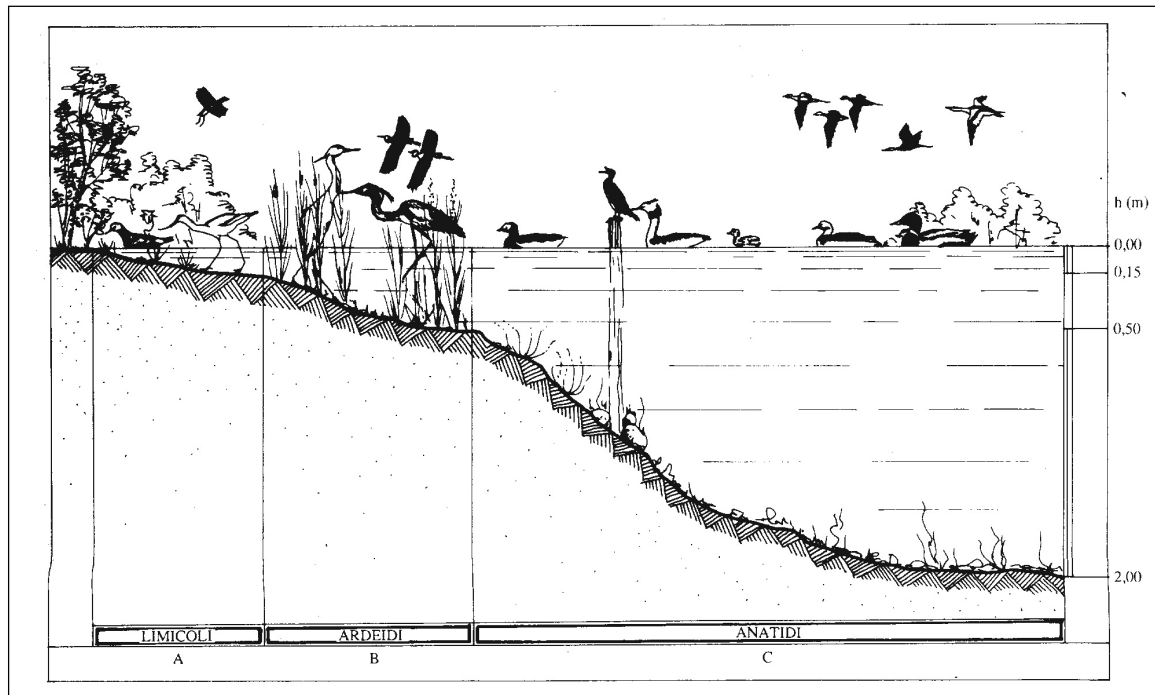
Secondo Baracco (1998) la risistemazione ambientale deve essere integrata con l'attività di escavazione e deve avvenire per fasi, al termine dell'escavazione dei lotti di intervento, dimensionati in funzione degli interventi ambientali. Operando in questo modo il terreno vegetale (*cappellaccio*) asportato dall'azione antropica, può essere riutilizzato nel lotto appena dismesso e, costituire così un prezioso substrato per l'inerbimento e la messa a dimora degli arbusti. Il terreno, se non viene subito utilizzato, deve essere stoccato in cumuli non troppo alti (< 2 m) al fine di evitare l'insorgere di alterazioni fisico-chimiche dovute alla naturale compattazione ed agli agenti naturali esterni.

Nelle cave di montagna il materiale di scarto, viene integralmente utilizzato per la ricomposizione ambientale e considerato nel ciclo di coltivazione a pari dignità del prodotto commerciale, anche se utilizzato per scopi diversi.

## 12.3 Il recupero ambientale in cave di pianura

Generalmente in ex cave di pianura è maggiore la potenzialità di un recupero ambientale, rispetto a quella in cave di versante, per la morfologia stessa del territorio e la conseguente facilità di raggiungere le zone di sistemazione a verde.

Fig. 12.2 Correlazione tra il livello dell'acqua e la presenza di avifauna



Una delle tipologie di recupero più frequente in zone pianeggianti sotto falda è quella della creazione di un'area umida, con sponde diversamente modellate, con pareti da verticali ad argini dolcemente degradanti verso lo specchio d'acqua. Infatti, una differenza di profondità del livello d'acqua consente o limita la presenza di certe specie di avifauna (fig. 12.2). Inoltre, le sponde ripide possono essere utilizzate da alcune specie di uccelli (martin pescatore, gruccione, topino), come siti di riproduzione. Analoghe considerazioni possono essere fatte anche per la vegetazione: questa sarà più ricca e variegata se la morfologia del terreno non è uniforme. Ad esempio:

- le ninfee gradiscono acque profonde (2 ÷ 3 m);
- i canneti crescono in condizioni di acque più basse (30 ÷ 80 cm);
- sulle sponde si sviluppano bene le siepi ed i boschetti ripariali che costituiscono un elemento fondamentale per ricreare una zona non solo a scopo naturalistico, ma anche ricreativo.

Anche la forma del bacino che si ottiene dalla ex cava è fondamentale per la buona riuscita del recupero. Si eviteranno così forme troppo rigide e geometriche, privilegiando irregolarità e sinuosità del perimetro di bacino stesso.

Un altro fattore da considerare è la dimensione della zona umida, in quanto al di sotto di una determinata estensione, le diverse specie non possono colonizzare; ad esempio:

- limicoli, trampolieri, anatidi: necessitano di almeno 1 ÷ 2 ha di superficie naturale indisturbata da centri ricreativi, turistici o sportivi;
  - ittiofauna: necessitano di almeno 0,2 ÷ 0,3 ha.
- Un ultimo - ma non meno importante - aspet-

to riguarda il giusto bilancio idrico all'interno dell'ecosistema, che consente di ridurre al minimo i fenomeni d'interramento, di prosciugamento e di eutrofizzazione.

Per le cave di ghiaia sopra falda in pianura, in genere, data la notevole quantità di materiale estratto, rispetto alla limitata quantità di materiale di scarto, il sito viene ripristinato generalmente all'uso precedente alla coltivazione e, a volte, con il riempimento di rifiuti (RSU, inerti, ecc.) ed utilizzato come discarica, che in un secondo tempo può essere soggetto a ricomposizione ambientale (aree sportive, zone ricreative, agricole, ecc.).

#### 12.4 Siti degradati in ambito provinciale

Per quanto riguarda i siti degradati si può dire che essi sono legati a diverse attività antropiche ad elevato impatto ambientale tali da determinare un'"alterazione" dell'assetto territoriale od a causa di modificazioni morfologiche (scavi, sbancamenti o riporti) od a causa del rischio di inquinamento del suolo o del sottosuolo.

Tra queste attività si possono annoverare principalmente quelle legate all'attività estrattiva e quelle legate allo smaltimento dei prodotti dell'attività antropica.

Per quanto riguarda l'estrazione di materiali (argilla, sabbia, ghiaia, calcare, ecc.) si può differenziare, per le diverse condizioni geomorfologiche del sito ma anche per le diverse problematiche di coltivazione e quindi di riambientamento, l'attività estrattiva in siti posti all'interno delle aree vallive (in prossimità o direttamente nell'alveo dei corsi d'acqua op-

pure nella piana circostante) dall'attività estrattiva che interessa aree di versante (nei settori montani o collinari).

La morfologia originaria del sito estrattivo condiziona la metodologia di coltivazione e quindi la morfologia che il sito viene ad assumere durante le varie fasi della coltivazione o che ha assunto a fine coltivazione se l'estrazione non ha previsto interventi specifici volti alla riambientazione.

Si possono così individuare, cave caratterizzate da un profilo a gradoni, di varia altezza e pedata, anche in funzione dei parametri geomeccanici del litotipo estratto, cave a fossa con profilo vario che possono essere anche sede di bacini lacustri, a causa della intercettazione di falde acquifere o di limitata infiltrazione delle acque meteoriche, cave in alveo che, essendo ubicate all'interno dell'alveo attuale o comunque del *talweg* del corso d'acqua per permettere l'asportazione dei depositi fluviali, determinano modificazioni dell'alveo stesso e cambiamenti rilevanti della dinamica fluviale del corso d'acqua.

Per quanto riguarda gli smaltimenti legati ai prodotti dell'attività antropica, si possono differenziare alcune situazioni tra le quali smaltimenti di acque reflue (depurazione, fitodepurazione, evapotraspirazione), lo stoccaggio dei rifiuti solidi urbani (discariche di RSU), lo stoccaggio di inerti (discariche di inerti), anche in questo caso la morfologia del sito e la tipologia di smaltimento-stoccaggio determinano un diverso impatto sul territorio circostante e differenti problematiche di bonifica-riambientazione dell'area.

Con riferimento all'ambito provinciale possiamo definire alcune "situazioni geologiche e geomorfologiche tipo", nelle quali l'utilizzo di tecniche di Ingegneria Naturalistica può contribuire sia alla stabilizzazione dei siti che alla mitigazione dell'impatto delle opere.

Tali situazioni-tipo possono essere schematicamente così riassunte:

- *Cava di versante in litotipi competenti.*

La condizione si ritrova nelle aree in cui sono presenti in affioramento litotipi quali calcari e calcari marnosi, marne, piroclastiti, travertini o conglomerati cementati, variamente utilizzati nell'edilizia.

Dal punto di vista geologico, se le modalità di coltivazione non hanno rispettato le caratteristiche geomeccaniche dei terreni, possono essere presenti fenomeni di instabilità di parti del fronte, aree caratterizzate da erosione accelerata concentrata, un'elevata infiltrazione delle acque meteoriche, con la possibilità quindi di innesco di eventi di crollo di porzioni rocciose nonché della potenzialità di infiltrazione di sostanze inquinanti sino alla falda acquifera.

Tali siti sono generalmente vistosi tagli lungo i versanti spesso boscati delle aree collinari o montane, costituendo, dal punto di vista paesaggistico, una profonda "ferita" difficilmente sanabile; inoltre, durante la fase di col-

tivazione e di trasporto del materiale cavato esistono problematiche ambientali legate al rumore ed alla creazione di polveri.

Questa situazione di sito degradato, diventa un problema ambientale se le sua riambientazione viene prevista a ciclo di coltivazione ultimato (cava dismessa) in quanto l'assetto finale potrebbe avere precluso la possibilità di un recupero efficace, oltre a determinare costi elevati per la collettività; si ritiene invece che un piano di coltivazione che preveda anche fasi di riambientamento, permetta di raggiungere un risultato più efficace.

In tali casi è opportuno prevedere dei ripristini in modo da "movimentare" i fronti di cava, tendendo ad ottenere dei pendii il più possibile naturali, con la ricostituzione di aree vegetate che consentano la formazione del suolo e lo proteggano dal dilavamento.

- *Cava di versante in litotipi granulari, più o meno fini, sciolti o scarsamente coesivi.*

La condizione si ritrova nelle aree in cui sono presenti in affioramento litotipi quali sabbie, argille, limi e ghiaie, materiali variamente utilizzati nell'edilizia.

Dal punto di vista geologico, se le modalità di coltivazione non hanno rispettato le caratteristiche geomeccaniche dei terreni, sono maggiormente frequenti i fenomeni di instabilità e di dissesto di porzioni del versante, localmente si possono determinare fenomeni di erosione accelerata diffusa o concentrata.

Le problematiche ambientali sono analoghe al caso precedente, anche se la maggiore trasformabilità dei fronti di cava dovuta alla natura granulare non litoide dei terreni può facilitare il rimodellamento e favorire anche uno spontaneo attecchimento delle specie vegetali.

In tale situazione è bene prevedere dei ripristini in modo da "armonizzare" i fronti di cava, tendendo ad ottenere delle pendenze compatibili con quelle dei pendii naturali, la costituzione di diffuse aree vegetate, arboree, erbacee ed arbustive, che proteggano il terreno dal dilavamento ed una regimentazione delle acque di scorrimento superficiale.

- *Cava di pianura in litotipi granulari, più o meno fini, sciolti o scarsamente coesivi, a fossa od in alveo.*

La condizione si ritrova nelle aree in cui sono presenti in affioramento litotipi quali sabbie, argille, limi e ghiaie, variamente utilizzati nell'edilizia.

Dal punto di vista geologico, se le modalità di coltivazione non hanno rispettato le caratteristiche geomeccaniche dei terreni, possono essere presenti fenomeni di instabilità di parti del fronte, aree caratterizzate da erosione accelerata sia concentrata che areale, lungo i fianchi di coltivazione.

Questa tipologia di cava, per la sua ubicazione in aree pianeggianti di fondovalle, ha una maggiore probabilità di trovarsi in prossimità della superficie piezometrica di falde libere, situazione che può determinare un'elevata

potenzialità di infiltrazione di sostanze inquinanti che potrebbero contaminare la falda acquifera.

Inoltre, l'uso della tecnica del tombamento a fine coltivazione, effettuato con materiale di diversa granulometria (generalmente più fine) provoca una modificazione della circolazione idrica sotterranea.

Nel caso di escavazioni in alveo, l'asportazione di materiale deposto, può determinare un aumento dell'erosione di fondo o di sponda, variazioni di modalità e velocità di deflusso e principalmente un aumento della capacità erosiva del corso d'acqua, tratto di a monte delle zone di escavazione.

Dal punto di vista paesistico-ambientale, la coltivazione in alveo determina la formazione di anse ed allargamenti degli alvei con la creazione di aree depresse che alterano il naturale assetto paesistico delle aree golenali, non ultima la distruzione della vegetazione ripariale; così come la coltivazione di cave a fossa, con l'eventuale formazione di bacini lacustri nel caso di intercettazione di falde acquifere può creare microclimi umidi ed evidenziare problematiche legate alle sponde.

In queste situazioni vi è la possibilità di utilizzare tecniche di rinaturalizzazione, che consentano al termine dell'attività estrattiva, di recuperare l'area come una interessante zona umida ricca di specie vegetali ed animali.

- *Discariche con geometria a rilevato.*

Nello stoccaggio dei materiali inerti di risulta (lavorazioni varie, scavi, demolizioni di manufatti, ecc.) o dei RSU, l'accumulo del materiale è realizzato, tendenzialmente a strati, sovrapposti od affiancati, con forma di rilevato, isolato od appoggiato ad una superficie inclinata preesistente (pendio naturale o piano coltivazione di cava) la cui scarpa presenta pendenze generalmente medio-alte.

Dal punto di vista geologico, se le modalità di messa in posto, rullaggio e compattazione del materiale non rispetta le caratteristiche geomeccaniche del materiale, possono essere presenti fenomeni di instabilità di parti del rilevato nonché aree caratterizzate da erosione accelerata, sia concentrata che areale, aggravati dalla presenza del percolato di dilavamento dei materiali stoccati.

Da un punto di vista paesistico, si ha la creazione di piccole brulle colline difformi rispetto al resto del paesaggio, generalmente agrario.

In queste situazioni vi è la possibilità mediante l'utilizzo di tecniche di Ingegneria Naturalistica di stabilizzare i fianchi dei depositi,

diminuire l'infiltrazione ed il ruscellamento delle acque meteoriche nonché, mediante lo sviluppo delle specie vegetali, favorire un migliore inserimento del deposito stesso nell'area circostante.

- *Bacini per la fitodepurazione di acque reflue o per la decantazione di acque ricche sospensioni.*

Tali impianti vengono spesso a trovarsi in prossimità degli abitati e delle zone produttive.

Per i bacini di fitodepurazione o di decantazione, si hanno sponde di altezza limitata e le problematiche idrogeologiche sono limitate alla stabilità delle sponde che può determinare fuoriuscite lente di acque, anche con in soluzione-sospensione vari tipi di sostanze, ed all'erosione delle sponde a causa della variazione di livello delle acque. Vi è la possibilità di utilizzare le tecniche di Ingegneria naturalistica per lo sviluppo delle specie vegetali, così da favorire un miglior inserimento del bacino stesso nell'area circostante.

## Bibliografia



AA.VV., 1993

*Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Regione Emilia Romagna - Regione Veneto, Tipografia Zanini, Bologna.

AA.VV., 1994.

*Tecniche di Ingegneria Naturalistica di uso frequente nelle sistemazioni di cave: progettazione ed esecuzione* in Regione Veneto - Dipartimento Foreste, *Corso di formazione professionale in Ingegneria Naturalistica*, atti, Tipografia Piave, Belluno.

Baracco R., 1998

*Le attività di recupero ambientale nel Piano Regionale delle attività estrattive della Regione Toscana*, Regione Toscana, Ferrara, 6 aprile.

Ginevra M., Saralli M., s.d.

*Esempi di recupero ambientale in aree di cava nella Regione Veneto*, Regione Veneto.

Sauli G., 1990

*Costruzioni a verde verticale*, atti del convegno d'Ingegneria Naturalistica, in "Acer" n. 6.

Schiechl H.M., Sauli G., 1989

*Nuove tecniche di bioingegneria nei ripristini di cave e miniere*, in "Suolosottosuolo", Congresso internazionale di Geingegneria, Torino.



### 13.1 Strade, autostrade, ferrovie, canali: alterazione e distruzione degli ambienti presenti

La costruzione di una strada, di una ferrovia, o comunque, di un'infrastruttura lineare generalmente produce una "ferita" sulla vegetazione e sulla fauna del luogo, con la perdita dell'*habitat*. Questo processo è irreversibile e non può essere mitigato, ma soltanto compensato tramite il ripristino di un'area naturale, che a lungo termine possa sviluppare le stesse caratteristiche che aveva l'area coinvolta prima dei lavori (Dinetti, 2000). Le modifiche che si producono sono di carattere ecologico (luce, vento, temperatura, umidità, suolo) che comportano ulteriori cambiamenti nella quantità e composizione delle specie che formano le comunità animali e vegetali (Box, Forbes, 1992).

Non sempre però interventi di questo tipo sul territorio producono aspetti negativi; nel caso in cui la strada attraversi una zona di scarso valore ambientale, ad esempio, gli impatti di questo tipo saranno limitati e tramite un'opportuna gestione dei margini con funzioni di "corridoio faunistico" si potrà addirittura migliorare la rete ecologica locale (Dinetti, 2000). Il contrario, ovviamente, si verifica se la strada attraversa o costeggia un sito di elevato valore naturalistico.

In queste circostanze, oltre alla perdita netta di *habitat*, occorre considerare la riduzione dell'omogeneità e della compattezza dell'ecosistema, nonché l'incremento dell'"effetto margine", ovvero della particolare situazione che si verifica nella fascia di transizione tra due ambienti diversi, zona in cui si innescano particolari condizioni ecologiche (ombreggiamento, umidità, temperature, predazione, disturbo) (Dinetti, 2000).

In questo particolare contesto, l'impiego delle tecniche di Ingegneria Naturalistica è riconducibile alla realizzazione di elementi vegetali lineari da affiancare a infrastrutture stradali o non caratterizzate da un'elevata impermeabilità ecologica. Si tratta di realizzare sistemazioni con specie arboree e/o arbustive con lo scopo di costituire corridoi ecologici per la fauna, ma anche per un miglioramento estetico del paesaggio: l'impermeabilità delle infrastrutture lineari (strade, ferrovie, ecc.) può essere ridotta con particolari accorgimenti quali sottopassi per la microfauna. A tali infrastrutture lineari possono essere associati anche ecosistemi filtro (aree umide) in cui convogliare le acque di ruscellamento superficiale. Tali elementi lineari artificiali spesso delimitano del-

le aree contenute interessate da vegetazione infestante che possono essere oggetto anch'esse di interventi di riqualificazione naturalistica. Tali elementi vegetali svolgerebbero non solo una funzione ecologica e paesaggistica ma anche un'importante funzione di igiene pubblica con il loro effetto schermante su rumore e polveri (Lombardi, 2000).

#### 13.1.1 Soluzioni progettuali

La pianificazione della rete viaria dovrebbe evitare i siti di importanza speciale per la biodiversità affinché aree di interesse, anche generico, siano distrutte o danneggiate. È necessario prevedere durante la fase di progettazione l'impermeabilizzazione del suolo possibilmente non usando esclusivamente cemento o asfalto, particolarmente dannosi per gli assetti idrogeologici e gli equilibri ecologici del sito in questione. Occorre quindi considerare, ove possibile, l'uso di autobloccanti a griglia, soprattutto nei parcheggi e lungo i viali alberati. Per diminuire gli effetti sulle falde da parte delle strade costruite in trincea, è possibile utilizzare materiali idonei per mantenere i flussi di falda inalterati (*geoliner*).

Dove vengono intersecate faglie geologiche può essere deposto uno strato di bentonite al fine di controbilanciare la fuoriuscita d'acqua. La bentonite è un materiale argilloso naturale che limita la permeabilità del terreno argilloso vero e proprio (Dinetti, 2000).

Per diminuire il disturbo da rumore, inevitabile in questi cantieri, è opportuno usare asfalto fonoassorbente (*Sound Suppressing Asphaltic Concrete - SSAC*), che riduce l'ampiezza della zona disturbata dell'80%.

Strade costruite completamente o parzialmente in trincea (circa 3 m sotto il piano campagna) riducono sia l'impatto visivo sia il disturbo (per le persone e per la fauna).

Un problema che coinvolge la fauna è il superamento di queste infrastrutture per le loro primarie esigenze. È quindi preferibile costruire strade che corrono su viadotto, sfruttando tutte quelle situazioni orografiche (canali, piccole valli) che consentono, almeno a tratti, la libera circolazione degli animali inferiormente. Consigliabili sono le barriere spartitraffico in siepi, che consentono alla fauna di attraversare la strada ed è in più una soluzione valida esteticamente, rispetto al tradizionale ed asettico *new jersey* che costituisce una barriera insormontabile per la fauna finita accidentalmente sulla strada.

A titolo d'esempio si riporta da M. Dinetti (2000)

**Tab. 13.1** - Principali movimenti effettuati dagli animali

<p><b>I principali movimenti degli animali possono essere classificati come:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>movimenti giornalieri</u> tra zona di riposo e area di alimentazione;</li> <li>• <u>migrazioni stagionali</u> tra quartieri di riproduzione e di svernamento;</li> <li>• <u>movimenti irregolari</u> ricerca di nuovo territorio, erratismo giovanile, animali attratti nei pressi delle strade dallo sviluppo di vegetazione lungo i bordi, dalla presenza di cibo o dallo scioglimento della neve in inverno, spostamenti causati dal disturbo derivante da attività antropiche;</li> <li>• <u>immigrazione</u> alla ricerca di nuove aree dove insediarsi.</li> </ul>
<p><b>Sulla base delle caratteristiche delle diverse specie, gli animali tentano di superare un ostacolo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• passandoci attraverso;</li> <li>• passandoci al di sotto;</li> <li>• passandoci sopra (anche in volo);</li> <li>• aggirandolo.</li> </ul>

una tabella in cui sono raggruppati i principali movimenti effettuati dagli animali (tab. 13.1). I metodi per limitare i problemi con la fauna derivanti dal traffico delle strade possono essere risolti:

- aumentando la consapevolezza in chi guida (segnali stradali, campagne educative);
- riducendo l'attività di attraversamento dell'animale o cambiandone le modalità (recinzioni, riflettori, repellenti, sagome anticollisione volatili);
- con strade "impermeabili", assicurate da una recinzione efficiente.

I problemi che si incontrano con la costruzione di ferrovie sono analoghi a quelli delle strade, con qualche differenza:

- le ferrovie sono in genere più strette delle strade e questo facilita il dimensionamento degli attraversamenti e, di conseguenza, ne favorisce l'uso da parte degli animali;
- i tratti di ferrovia più a rischio sono i passaggi sui corsi d'acqua, gli accessi delle gallerie, le zone di ingresso e di uscita dalle aree boscate ed i passaggi lungo strette strisce di bosco.

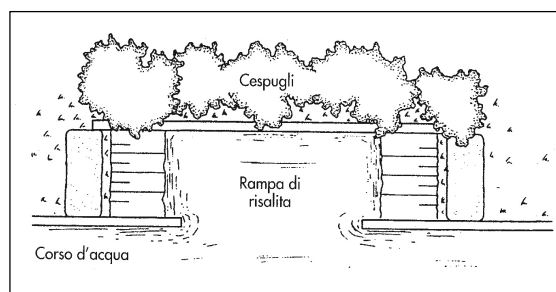
Per scegliere la specie-*target* su cui basare gli interventi, si può seguire uno dei seguenti criteri (Dinetti, 2000):

- realizzare le misure per il gruppo di animali che fa riferimento alla specie-*target* rappresentante o per quelle di cui si dispongono informazioni o, ancora, per quelle che riscuotono un interesse pubblico;
  - costruire, ove possibile, i passaggi più ampi e ripristinare l'*habitat* a somiglianza di quello circostante;
  - focalizzare l'attenzione sulle specie in pericolo.
- Anche i canali sono considerati delle opere infrastrutturali di tipo lineare e, come nel caso di strade e ferrovie, possono essere d'impedimento per gli animali terrestri, o nuotatori poco esperti, ed addirittura causa d'annegamento per quelli che finiscono in acqua.

L'"attraversabilità" di un corso d'acqua da parte degli animali dipende dai seguenti fattori:

- profondità del canale;
- ampiezza;
- velocità della corrente d'acqua;
- tipo di argini e pendenza delle sponde.

**Fig. 13.1** - Rampa di risalita vista dall'alto: la vegetazione facilita l'individuazione del punto di risalita e nasconde gli animali



Fonte: Dinetti, *Infrastrutture Ecologiche*, 2000, modificato.

Un corso d'acqua "ideale" al facile attraversamento degli animali dovrebbe possedere le seguenti caratteristiche:

- sponde naturali (non in cemento o in pietra) poco ripide, che degradino dolcemente verso l'acqua;
- presenza di apposite recinzioni o risalite verso la terraferma, per quegli animali finiti accidentalmente in acqua.

Una delle opere che può evitare l'annegamento degli animali è la *rampa di risalita*.

Questo tipo di strutture sono disposte lungo il canale ad intervalli regolari, alternate su entrambe le rive. Le rampe hanno generalmente una lunghezza compresa tra 300 ÷ 600 m e 50 ÷ 100 m a seconda della taglia degli animali.

Il materiale più idoneo per evitare lo scivolamento degli animali è il metallo trattato antiruggine.

Nella **figura 13.1** se ne riporta un esempio.

## 13.2 Ecosistemi filtro

Nelle zone in cui si prevede una sistemazione ambientale, è di estrema importanza considerare, unitamente alle caratteristiche biotecniche delle specie impiegate e alla loro capacità di propagazione (cfr. cap. 10), anche le caratteristiche ecologiche dell'area d'intervento

e delle specie da utilizzare. È per questo motivo che gli interventi di Ingegneria Naturalistica, quando utilizzati, permettono di risolvere problemi di dissesto idrogeologico a basso impatto ambientale e di riqualificazione dell'ambiente. Gli interventi di Ingegneria Naturalistica potrebbero quindi essere positivamente preceduti da analisi propedeutiche sulla vegetazione e la flora dell'area di intervento, e di un'"area vasta" circostante in grado di ben rappresentare la variabilità dei locali ecosistemi (Chiti-Batelli, Lombardi, Sposimo, 2000). Tutto ciò per aver chiaro il quadro dinamico locale, attraverso la realizzazione di cartografie della vegetazione su base fitosociologica ove le diverse formazioni sono riunite nelle serie di appartenenza (serie ipsofile, serie del faggio, ecc.).

In particolare, risultano di estremo interesse applicativo la conoscenza, per una data stazione, delle "associazioni pioniere su suoli grezzi e della loro successione attraverso le associazioni seguenti fino all'associazione finale" (Schiechl, 1991).

Si riportano di seguito alcune delle analisi propedeutiche consigliate in ambito naturalistico, in considerazione delle caratteristiche dell'area di intervento.

- **Flora e vegetazione:** l'indagine della flora e della vegetazione è finalizzata all'analisi e alla comprensione del locale dinamismo ecosistemico. Queste componenti rappresentano, infatti, degli indicatori della qualità di un ecosistema, evidenziando con la loro variabilità l'andamento (influyente) dell'attività antropica (Greco, Petriccione, 1991). La vegetazione può essere studiata sotto diversi aspetti relativi ai caratteri fisionomici, alla composizione floristica, al tipo di utilizzazione antropica, ecc. Tutte le informazioni che ne derivano sono per questo interessanti in ambito di progettazione ambientale (Lebrun, 1977; Krzaklewski, 1995; Paiero *et al.*, 1996).
- **Fauna:** nelle tipologie d'intervento che hanno come fine il ripristino ambientale, è fondamentale effettuare anche un'indagine che renda note le principali presenze faunistiche nella stazione d'intervento, in modo da evitare che l'intervento pregiudichi la sopravvivenza di specie di interesse ecologico o naturalistico, favorendo, invece, un ottimale sviluppo faunistico dell'area. Va ricordato infatti che la fauna ricopre un ruolo non secondario nella buona riuscita dell'intervento di Ingegneria Naturalistica, essenzialmente per due aspetti principali:
  - **diffusione della vegetazione:** molti gruppi animali contribuiscono alla disseminazione di specie erbacee, arbustive ed arboree negli anni successivi all'intervento, grazie ai loro spostamenti e alle loro primarie attività vitali;
  - **stabilità della vegetazione:** con il progredire della successione ecologica, il loro ingresso contribuisce a dare stabilità alle comunità floro-faunistiche originatesi a segui-

to dell'intervento (Neugebauer, Scozzafava, 1995) e quindi, in ultima analisi, al successo dell'intervento stesso.

- **Avifauna:** la classe degli Uccelli rappresenta uno dei *taxa* animali maggiormente utilizzati nelle analisi per la definizione dei livelli di qualità ambientale (ad es. Blana 1980; Fuller, Langslow, 1986). Da numerosi lavori su questo argomento sono stati messi a punto indici che determinano il "valore ornitologico" di un'area, utili, durante la fase di pianificazione territoriale, per l'identificazione delle aree di maggiore interesse conservazionistico. Vi sono anche altri indici che consentono uno studio più approfondito dell'ambiente, con la valutazione, ad esempio, della qualità dell'acqua in base ai popolamenti di macroinvertebrati (cfr. Ghetti, 1995). Negli interventi con tecniche di Ingegneria Naturalistica, bisogna tenere presenti i diversi ambiti in cui operare:
  - **ambito fluviale e ripariale:** è importante lo studio dell'avifauna nidificante e migratoria;
  - **ambiente montano e collinare:** è sufficiente la conoscenza dell'avifauna nidificante;
  - **ambiente costiero e siti degradati:** sarebbe opportuno risalire alle conoscenze su tutti gli aspetti fenologici locali dell'avifauna. Negli interventi di ripristino di aree estrattive particolare attenzione andrà posta nell'accertarsi che le pareti non siano utilizzate come sito di nidificazione di particolari specie a distribuzione localizzata (falco pellegrino, gruccione, topino, ecc.).
- **Fauna acquatica:** altrettanto utile ed importante, per lo studio degli ecosistemi, risulta l'analisi della qualità delle acque esaminando il popolamento di macroinvertebrati acquatici con il metodo EBI (Ghetti, 1986; Id., 1995), già accennato nel punto precedente. L'Indice Biotico Estesio, è stato messo a punto da Ghetti e si basa sull'analisi della comunità di macroinvertebrati che popolano un corso d'acqua. Questa comunità riflette nelle sue caratteristiche quali-quantitative lo stato di salute dell'ambiente acquatico. Il popolamento di macroinvertebrati è costituito da animali bentonici, superiori a 1 mm di lunghezza, che comprendono gli stadi di sviluppo di vari gruppi di insetti, oltre a crostacei, anellidi, turbellari e molluschi; questi occupano vari livelli della rete trofica e comprendono vari tipi di erbivori, detritivori e carnivori. La sensibilità di alcuni di questi organismi rispetto alle condizioni chimiche e fisiche delle acque e dei substrati in cui vivono, e la loro permanenza nell'ambiente, sono caratteristiche che li rendono capaci di registrare le eventuali alterazioni in maniera globale ed integrata nel tempo (Chiti-Batelli, Lombardi, Sposimo, 2000).
- **Valutazione dell'ecosistema fluviale:** nel caso d'interventi di Ingegneria Naturalistica da effettuare nei corsi d'acqua, informazioni utili potrebbero derivare anche da un'analisi propedeutica dello stato complessivo dell'eco-

sistema fluviale da realizzare utilizzando la metodologia RCE-2 (Siligardi, Maiolini, 1993), che considera lo stato di conservazione dell'alveo e della fascia ripariale. È un indice di tipo fisionomico finalizzato alla valutazione della qualità globale dell'ecosistema fluviale, tramite la stima del grado di naturalità, funzionalità e dinamica delle sue componenti. La realizzazione di queste analisi (EBI, fauna ittica, RCE-2), eventualmente affiancate da altre analisi chimico-fisiche, in un tempo successivo all'intervento di sistemazione, potrebbe fornire utili indicazioni sull'evoluzione complessiva dell'ecosistema acquatico (monitoraggio) e suggerire eventuali interventi correttivi.

### 13.2.1 L'Ingegneria Naturalistica quale strumento di riqualificazione e rinaturalizzazione di habitat ed ecosistemi

Le tecniche di Ingegneria Naturalistica possono qualificarsi come uno strumento idoneo per interventi destinati alla creazione (neo-ecosistemi) o all'ampliamento di *habitat* rari, o in ogni caso di notevole interesse floristico e/o faunistico. La realizzazione di neo-ecosistemi ha oggi un ruolo fondamentale legato non solo ad aspetti di conservazione naturalistica (*habitat* di specie rare o minacciate, unità di flusso per materia ed energia, corridoi ecologici, ecc.) ma anche al loro potenziale valore economico-sociale (sorgenti di prodotti rinnovabili, "effetto tampone" rispetto a inquinamenti e dissesti idrogeologici, valore turistico-ricreativo, ecc.) (Malcevski *et al.*, 1999).

I principali interventi di recupero ambientale con tecniche di Ingegneria Naturalistica, prevedono applicazioni meno complesse di quelle impiegate per i dissesti idrogeologici (grate, palificate, ecc.) e sono costituiti prevalentemente da:

- semine (a spaglio, idrosemina o con coltre protettiva);
- collocazione di talee;
- piante radicate (semenzali e trapianti di specie arbustive o arboree);
- piote o zolle erbose;
- rizomi (prevalentemente utilizzate per la creazione di canneti).

Può risultare comunque indispensabile l'uso di pietrame, legname, reti metalliche, sintetiche o in fibra naturale, qualora debbano essere risolti problemi di instabilità e debba essere realizzato un propedeutico recupero morfologico dell'area di intervento (ad esempio, nel caso del recupero di discariche di cava).

Gli interventi di riqualificazione di aree degradate, mediante l'utilizzo delle tecniche di Ingegneria Naturalistica, possono quindi raggiungere l'obiettivo di ricostituire *habitat* e di creare o ampliare i corridoi ecologici, unendo quindi l'Ingegneria Naturalistica all'Ecologia del Paesaggio (Ingengoli, 1990; Wood, 1990), ad esempio:

- da una cava abbandonata in area golenale si può ricreare un'area umida;
- far nascere un prato arbustato su una discarica;
- si può riqualificare ed ampliare la vegetazione ripariale lungo un corso d'acqua;
- progettare un canneto in una cassa d'espansione.

Gli interventi di recupero e consolidamento delle sponde fluviali costituiscono uno dei casi più frequenti di applicazione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica e al tempo stesso tali ambienti costituiscono gli ecosistemi oggi più alterati e spesso fortemente condizionati da numerosi interventi di "regimazione".

È importante in questo contesto conoscere la zonizzazione ecologica della vegetazione ripariale, le specie erbacee annuali dei greti fluviali:

- fascia a salici (*Salix purpurea*, *Salix eleagnos*, ecc.) tipica delle sponde frequentemente sommerse;
- fascia delle specie arboree igrofile (*Salix alba*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Alnus glutinosa*);
- fascia delle specie arboree mesoigrofile su suoli più evoluti (*Quercus robur*, *Fraxinus oxycarpa*, *Ulmus minor*, ecc.).

La presenza d'anse con minore velocità della corrente può consentire inoltre la presenza di canneti (spesso a dominanza di *Phragmites australis*) o di prati allagati (Lombardi, 2000). Questa zonizzazione, con le corrispondenti associazioni vegetali, deve naturalmente variare in relazione alla diversa collocazione geografica ed alle caratteristiche dell'area d'intervento; inoltre, ha un ruolo fondamentale nella scelta delle specie utilizzate negli interventi di Ingegneria Naturalistica.

Le condizioni stazionali potranno variare tra corsi d'acqua montani di alta quota ed elevate pendenze d'alveo, dove la fascia ripariale è spesso esigua, a zone di medio e basso corso d'acqua, con ampi greti fluviali e aree golenali spesso interessate da associazioni ripariali di interesse naturalistico.

### 13.2.2 Depurazione naturale delle acque

I trattamenti di fitobiodepurazione delle acque reflue tramite bacini collocati a valle dei sistemi tradizionali di depurazione permettono la rimozione di materiali ossidati o stabilizzati nei trattamenti precedenti, mediante la funzione di assimilazione degli elementi vegetali di alcuni prodotti finali (composti dell'azoto, del fosforo, del magnesio). Queste sostanze sotto forma di nutrienti, se non fossero "rimosse" provocherebbero uno stato generale di atrofia nei corpi d'acqua riceventi, causando alterazioni fisico-chimiche che comprometterebbero la vita degli organismi acquatici, l'igiene e la salute pubblica. I valori di BOD (domanda biochimica d'ossigeno) e di COD (domanda chimica di ossigeno), vengono anch'essi diminuiti.

L'interesse per la coltivazione di Macrofite e

Microfite in acque di scarico risale a circa 50 anni fa (Bold, 1942; Dymond, 1948; Thomas, Kraus, 1954; Oswald, Golueke, 1968; Boyd, 1970) ed ebbe come scopo iniziale lo sfruttamento dei processi naturali della bioconversione fotosintetica e dell'assimilazione dei nutrienti.

Vediamo più in dettaglio che cosa è e come si realizza il processo di fitobiodepurazione.

Innanzitutto la fitobiodepurazione è definita come la depurazione naturale delle acque ricche di sostanze organiche, realizzata tramite l'azione di vegetali, in bacini o vasche, che per potersi sviluppare ed accrescersi utilizzano i nutrienti in accesso presenti nelle acque e li assimilano allo scopo.

I vegetali impiegati in un bacino di fitobiodepurazione sono generalmente:

- piante vascolari acquatiche (Macrofite);
- alghe microscopiche unicellulari o filamentose (Microfite); queste, insieme ai batteri, assimilano le sostanze organiche, semplici e complesse, disciolte in acqua.

Il processo si attua in più fasi (Morgana, Corazzi; Lestini, Naviglio, 1997):

- i nutrienti, presenti nell'acqua sotto forma di sali, vengono assimilati dalle piante vascolari acquatiche radicate e flottanti e dalle alghe fitoplanctoniche e bentoniche per la propria crescita;
- le sostanze organiche disciolte nelle acque sono invece utilizzate dai batteri aerobi presenti nel sedimento e nelle radici della Macrofite;
- gli elementi solidi in sospensione nei reflui sono in parte utilizzati dagli organismi zooplanctonici e in parte subiscono il processo di sedimentazione insieme agli organismi morti, con formazione di fanghi sul fondo dei bacini.

Il sistema di trattamento delle acque reflue tramite la fitobiodepurazione, presenta dei vantaggi rispetto a quello tradizionale, quali:

- minori costi;
- bassa richiesta energetica;
- facile manutenzione;
- possibilità di applicazione in piccoli centri, come piccole industrie, campeggi, fattorie, ecc. Gli svantaggi del sistema di fitobiodepurazione sono abbastanza ridotti, in quanto facilmente superabili, ad esempio, uno dei problemi che si presentano riguarda la diminuzione di efficienza del sistema durante il periodo invernale, a causa dell'abbassamento della temperatura, con conseguente diminuzione della produttività vegetale; si ovvierà, se possibile, a questa situazione utilizzando piante adatte a zone temperate che riescano a tollerare le basse temperature invernali.

I fattori che influenzano la depurazione naturale delle acque sono molteplici:

- la fisiologia e l'ecologia delle piante filtro (tasso di crescita, attività fotosintetica, densità, produttività, ecc.);
- le condizioni climatiche della zona;
- la geometria del bacino;
- il tipo di substrato;

- i tempi di residenza delle acque reflue e le caratteristiche fisico-chimiche delle stesse;
- la sedimentazione dei solidi sospesi (Brueske, Barrett, 1994);
- il tipo di flusso (Cronk, Mitsch, 1994);
- la manutenzione degli impianti.

Al variare di questi fattori varia, naturalmente, l'efficienza d'abbattimento dei nutrienti; possiamo in generale ricondurre questi valori alle seguenti percentuali:

- 50% ÷ 75%, per i composti d'azoto;
- 60% ÷ 90% per i composti del fosforo (Gale, 1993; Hey, 1994; Phipps, Crumpton, 1994).

Raccogliendo periodicamente la biomassa vegetale dal bacino di fitobiodepurazione, si ottiene un ulteriore vantaggio, ovvero riciclare queste sostanze per usi diversi:

- la biomassa essiccata e ridotta in farina consente di ottenere un alimento ricco di proteine per il bestiame e per le specie ittiche;
- può essere usata per la produzione di biogas mediante fermentazione anaerobica;
- può essere trasformata in fertilizzanti utili in agricoltura, quando si usano i residui di suddetta fermentazione, a condizione che le acque di scarico siano prive di metalli pesanti (inquinanti).

La scelta delle specie da impiegare per il sistema di fitobiodepurazione si basa sull'individuazione della forma biologica, e di conseguenza sulla determinazione del ciclo biologico della pianta (Morgana, Corazzi, Lestini, Naviglio, 1997); secondo il sistema di classificazione di Raunkiaer, abbiamo:

- *Terofite*: piante annuali che superano la stagione avversa, allo stato di seme;
- *Geofite*: piante perenni con gemme sotterranee, contenute entro organi specializzati, quali bulbi, rizomi o tuberi;
- *Igrofite*: piante perenni con gemme sommerse;
- *Micriptofite*: piante perenni con gemme a livello del suolo;
- *Camefite*: piante perenni alla base legnose, con gemme a meno di 20 ÷ 30 cm di altezza dal suolo; possono essere reptanti, succulente, a cuscinetto, ecc.;
- *Fanerofite*: piante perenni legnose con gemme a più di 3 m d'altezza dal suolo; tipicamente alberi e grossi cespugli.

Bisogna inoltre considerare i seguenti criteri di selezione:

- la resistenza della pianta al tipo di reflujo ed alla sua portata;
- il potenziale fitobiodepurativo della specie;
- il suo tasso di crescita e la sua produttività, per la possibilità di riutilizzo di biomassa vegetale, mediante svariati processi di riciclaggio;
- la disponibilità di superfici sufficientemente ampie da adibire a bacini, per la coltivazione di specie acquatiche galleggianti su vasta scala;
- le condizioni climatiche della zona;
- la resistenza della pianta alle malattie.

A conclusione riportiamo nella **figura 13.2** la relazione tra le piante impiegate per la fitobiodepurazione e un ambiente umido.

## 13.2.3 Ingegneria Naturalistica ed ecosistemi

La necessità di salvaguardare il patrimonio genetico del pianeta è stata ribadita nella Conferenza di Rio de Janeiro del 1993 le cui direttrici sono state riprese nelle *Linee strategiche per l'attuazione della convenzione della biodiversità* dal Ministero dell'Ambiente nel 1994 che, tra l'altro, si occupano della protezione degli ecosistemi dei corsi d'acqua considerati a forte pressione antropica. Anche il *Piano nazionale delle zone umide* del Ministero dell'Ambiente del 1996 considera la "conservazione e la riqualificazione ambientale delle zone umide degradate attraverso un programma di recupero con interventi di fitodepurazione, rinaturalizzazione delle sponde ed ambienti circostanti, ecc.". Tale attenzione alla riqualificazione dei corsi d'acqua è ribadita anche in numerosi documenti delle Autorità di Bacino interessanti il territorio laziale. Le tecniche di Ingegneria Naturalistica rappresentano lo strumento operativo per il raggiungimento dell'obiettivo di una gestione del territorio a compatibilità ambientale nell'ottica della salvaguardia degli ecosistemi e dell'aumento della biodiversità. Tali tecniche, infatti, risultano in molti casi un'alternativa possibile alle "opere in grigio", che distruggono unità ecosistemiche e ne impediscono qualunque possibile ricostruzione, in quanto creano una barriera impermeabile alla vita e recidono alla radice i legami tra le componenti viventi (piante, animali, suolo) e non viventi (substrato geologico, falda idrica, ecc.) dell'ecosistema stesso. Le opere di Ingegneria Naturalistica negli interventi idraulici consentono, invece, di raggiungere l'obiettivo progettuale, ad esempio di consolidamento delle sponde, con le piante vive in abbinamento a materiali morti quali il legno, la pietra, le reti in acciaio, le biostuoie, ecc., che vengono comunque utilizzati in maniera da mantenere la permeabilità della struttura agli scambi di materia ed ener-

gia tra la sponda ed il corso d'acqua. Ciò consente lo sviluppo di nuove unità ecosistemiche la cui realizzazione rappresenta uno a delle finalità degli interventi di Ingegneria Naturalistica. La realizzazione di una palificata viva spondale o di una copertura diffusa di salici comporta, nel tempo, non solo il consolidamento del piede della sponda o la sua stabilizzazione antierosiva, ma la realizzazione di un cespuglieto igrofilo di salici e di nicchie ecologiche per gli animali terrestri ed acquatici. Si opera quindi per la ricreazione di unità ecosistemiche rare in Italia come quelle igrofile; le principali unità che è possibile favorire con gli interventi di Ingegneria Naturalistica nel Lazio sono:

- le fitocenosi acquatiche delle correnti rapide che si riferiscono all'alleanza *Ranunculion fluitans* e sono caratterizzate dalla presenza di specie del genere *Ranunculus*, sottogenere *Batrachium*;
- le fitocenosi acquatiche delle correnti lente dei corsi d'acqua minori o dei canali d'irrigazione. Nella classe *Potametea pectinati* si raggruppano le comunità vegetali a rizofite (radicate sul fondo) e pleustofite del tipo idrocaridi (che galleggiano liberamente sulla superficie dell'acqua e con foglie galleggianti specializzate).

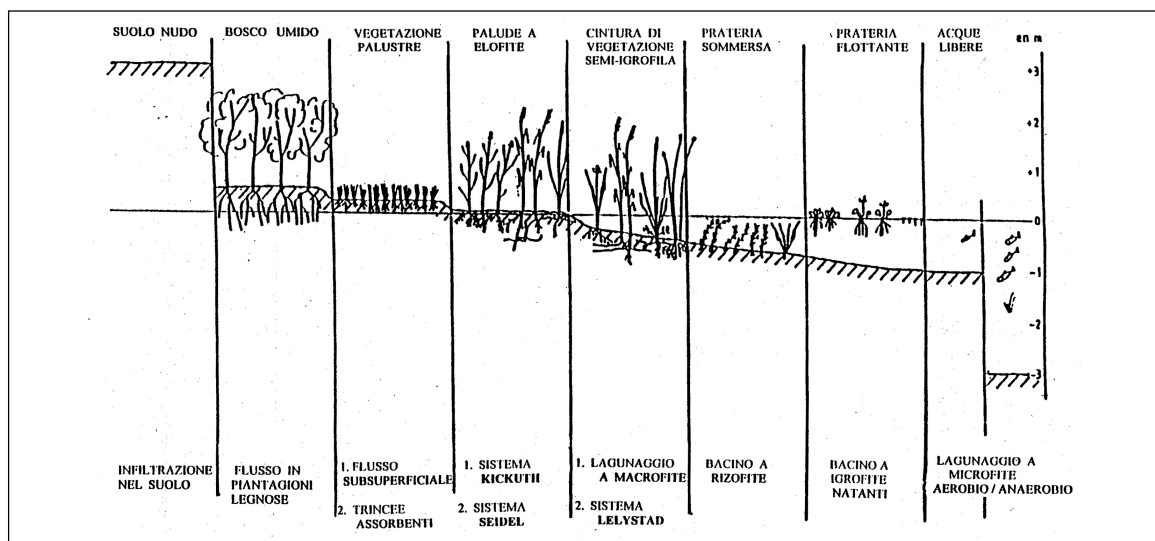
*La vegetazione delle acque stagnanti:*

- fitocenosi flottanti o affioranti di acque stagnanti o debolmente fluenti ascrivibili all'alleanza *Nymphaeion albae*, caratterizzate dalle "ninfeidi" (con fusti ancorati al fondo e foglie galleggianti);
- vegetazione dell'ambiente palustre caratterizzata da consorzi a *Phragmites australis*, *Typha* sp. pl. e *Schoenoplectus lacustris*, che rientrano nell'alleanza *Phragmition australis*.

*Formazioni erbacee umide:*

- fitocenosi a grandi carici appartenenti all'alleanza *Magnocaricion* che si sviluppano verso l'entroterra a ridosso delle comunità dell'alleanza *Phragmition*.

Fig. 13.2 - Rapporto tra le piante e l'ambiente umido in un bacino



Fonte: Enea, 1997.

Le associazioni pioniere arbustive ed arboree delle rive soggette a frequenti e prolungate piene (*Salicetalia purpureae*) che si distinguono in:

- arbusteti pionieri su alluvioni grossolane caratterizzati da salici arbustivi (*Salicion eleagni*);
- boscaglie su alluvioni fini caratterizzate da salici (*Salicion albae*).

Le associazioni a pioppi, frassini ed ontani che si insediano su:

- terrazzi fluviali nelle zone meno frequentemente raggiunte dalle piene;
- su suoli alluvionali evoluti;
- su suoli zonali con varianti determinate da processi di gleyficazione (*Populetalia albae*).

Tali unità ecosistemiche lungo i corsi d'acqua, che rappresentano elementi lineari, consento-

no, oltre ad un incremento della biodiversità nelle aree antropizzate quali quelle delle pianure ove le attività umane hanno distrutto le antiche comunità vegetali, anche la possibilità di realizzare dei corridoi ecologici di collegamento dell'ecomosaico territoriale. Una fascia vegetata a lato dei corsi d'acqua permette il contatto per uno scambio biologico alle comunità biotiche di boschi distanti tra loro, dando la possibilità alle popolazioni faunistiche di non subire gli effetti dell'isolamento genetico.

Analogamente, la realizzazione di aree umide di espansione all'interno o al di fuori del corso d'acqua rappresenta degli *stepping stones* (aree naturali minori costituenti punti di appoggio per gli scambi biologici tra gli *habitat* maggiori). Anche interventi di Ingegneria

**Tab. 13.2 - Benefici in termini di biodiversità derivanti da una gestione dei corsi d'acqua con l'Ingegneria Naturalistica**

Tipo interventi	Azioni	Benefici ecologici in termini di biodiversità e nuove unità ecosistemiche
Modifiche morfologiche in alveo	Demolizione tratti cementificati	Rivitalizzazione alveo con potenzialità per corridoi ecologici ed habitat acquatici e terrestri
	Realizzazione sinuosità con meandri	Habitat per macrobenthos, ittiofauna avifauna e fitocenosi igrofile
	Realizzazione Isole	Stadi vegetazione igrofila e terrestre, avifauna
	Allargamento sezione con realizzazione di golene e tratti a minor battente idrico	Popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione alveo di magra per il deflusso minimo	Ittiofauna e macrobenthos
	Realizzazione sezioni asimmetriche	Stadi vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione aree di espansione	Stadi vegetazione igrofila, popolamenti elofitici, habitat per anfibi ed avifauna
	Realizzazione sponde a varie pendenze	Stadi vegetazione igrofila e terrestre
	Realizzazione sponde ripide	Habitat per avifauna
	Realizzazione di rampe di risalita in pietrame o soglie basse in legname e pietrame	Continuità biologica per ittiofauna
Modifiche morfologiche fuori alveo	Realizzazione aree di espansione o laminazione	Stepping stones, stadi vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
	Realizzazione piccole aree umide	Stepping stones, stadi vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
	Realizzazione di ecosistemi filtro per la fitodepurazione	Stepping stones, stadi vegetazione igrofila e terrestre, popolamenti elofitici, habitat per ittiofauna, anfibi ed avifauna
Tecniche antierosive e di consolidamento delle sponde	Impiego di tecniche di ingegneria naturalistica	Corridoi ecologici, boscaglia ripariale igrofila, cespuglieti igrofili, cespuglieti termomesofili, prati umidi Habitat per avifauna e micromammiferi
Riqualificazione ambiente fluviale fuori alveo	Realizzazione di fasce boscate sul ciglio delle sponde anche con espropri	Corridoi ecologici, boscaglia ripariale igrofila, cespuglieti igrofili, cespuglieti termomesofili, prati umidi Habitat per avifauna e micromammiferi

Naturalistica con materiali morti, ma con la finalità di favorire gli spostamenti faunistici, quali le rampe di risalita per i pesci o i collegamenti per gli anfibi, vanno nella direzione di mantenere i collegamenti biologici tra gli *habitat*, necessari al completamento del ciclo riproduttivo delle specie animali. Gli interventi di Ingegneria Naturalistica vanno quindi visti nel quadro della rinaturazione dei corsi d'acqua che deve comprendere non solo interventi antierosivi con le specie vegetali vive, ma anche azioni volte al massimo della diversità morfologica nel tracciato o nella sezione dell'alveo, per offrire nicchie specializzate alle comunità ittiche e bentoniche. Nella **tabella 13.2** vengono riportati i benefici in termini di biodiversità derivanti da una gestione dei corsi d'acqua con l'approccio progettuale dell'Ingegneria Naturalistica.

#### 13.2.4 Le problematiche ecologiche per la scelta delle specie

In un intervento di Ingegneria Naturalistica la capacità antierosiva e di consolidamento viene affidata, in ultima analisi, alle piante vive, delle quali è quindi essenziale conoscere la capacità e modalità di colonizzazione degli ambienti degradati. Nel caso della palificata spondale, ad esempio, l'opera ha lo scopo di garantire il consolidamento del piede di una sponda in alternativa ad un muro di sostegno; a causa dei parametri morfologici ed ecologici, in tale situazione, le piante vive non sono in grado, da subito, di garantire tale consolidamento, per cui, unitamente ad esse, vengono utilizzati tronchi in legno chiodati tra loro. Con il tempo il legno si decomporrà e le talee e gli arbusti cresciuti sia nella parte aerea che nell'apparato radicale realizzeranno un cespuglieto con il raggiungimento dell'obiettivo progettuale del consolidamento unitamente alle altre finalità ecologiche e paesaggistiche tipiche della tecnica di Ingegneria Naturalistica.

La scelta delle specie floristiche e delle tipologie vegetazionali:

- risulta quindi essenziale per il successo dell'intervento di Ingegneria Naturalistica;
- Dipende dagli obiettivi progettuali che possono prevedere varie tipologie vegetazionali quali il prato, il cespuglieto, il bosco o ad una loro combinazione;
- richiede un accurato studio ecologico della stazione di intervento.

Tale studio ha il compito di individuare a livello microstazionale (ad esempio, in quella particolare sponda in erosione) i parametri ecologici per la definizione delle specie e delle tipologie vegetazionali di progetto unitamente all'individuazione della serie dinamica evolutiva della vegetazione, con l'obiettivo dell'aumento della biodiversità.

La scelta delle specie va quindi fatta tra quelle:

- coerenti con la flora e la vegetazione autoctona a livello regionale;
- ecologicamente compatibili con i caratteri

microstazionali (microclima, substrato, morfologia, energia idraulica, tempo di sommersione) dell'area d'intervento;

- appartenenti allo stadio dinamico della serie della vegetazione potenziale più evoluto possibile in funzione delle caratteristiche ecologiche della stazione realizzate dell'intervento;
- aventi le necessarie caratteristiche biotecniche.

La conoscenza della serie dinamica della vegetazione costituisce un elemento fondamentale nella scelta delle tipologie progettuali, dal momento che la vegetazione non è un sistema statico, ma un sistema vivente variabile con il tempo; tale evoluzione, osservabile, ad esempio, nella capacità di un bosco di riconquistare un campo abbandonato dalle coltivazioni, procede dalle forme più semplici (erbacee) verso quelle strutturalmente più complesse (legnose); la conoscenza dei contatti seriali e catenali tra le varie tipologie vegetazionali presenti consente l'individuazione dello stadio dinamico di riferimento per il progetto e la previsione della sua evoluzione nel tempo tramite i necessari interventi di manutenzione; infatti, solo molto raramente è possibile prevedere nelle tipologie progettuali la vegetazione più evoluta (il bosco) per le limitazioni delle condizioni ecologiche (suoli primitivi, pendenza eccessiva, aridità, energia idraulica, ecc.) o per vincoli tecnici (distanze di sicurezza, ecc.). I passaggi dinamici, a partire dagli stadi pionieri erbacei fino a quelli arborei, non sempre si verificano nello stesso modo nelle varie situazioni ambientali ed è quindi essenziale per il successo degli interventi di sistemazione delle aree degradate mediterranee, la ricostruzione, con idonee indagini di campagna, delle serie dinamiche reali della vegetazione nelle varie situazioni ecologiche e geomorfologiche dell'area di progetto piuttosto che il riferimento a schemi generali. Le piante (i materiali da costruzione delle tecniche di Ingegneria Naturalistica) possono essere impiegate in varie forme quali semi, piante radicate, zolle, rizomi o talee, sfruttando, nell'ultimo caso, la capacità di alcune specie, quali, ad esempio, i salici o le tamerici, di conservare entro i tessuti specializzati alcune cellule meristematiche in grado di attivare i processi biologici di ricostruzione dell'intero individuo. Nella scelta delle specie da utilizzare, tra quelle autoctone coerenti con l'ambiente ecologico circostante e appartenenti alla serie della vegetazione potenziale, vanno selezionate quelle con le migliori caratteristiche biotecniche, cioè con un apparato radicale profondo ed esteso e con una crescita rapida nella parte aerea, per garantire nel tempo la protezione ed il consolidamento della sponda. Le specie legnose (le sole idonee per gli interventi di stabilizzazione o consolidamento) più adatte ad operare in stazioni con caratteristiche ecologiche difficili, quali una sponda instabile, su suoli poco evoluti o assenti e, quindi, in genere poco idonee all'impianto degli alberi, che richiedono condizioni più favorevoli, sono arbusti pionieri autoctoni che possiedono apparati



radicali in grado di consolidare, in media, fino ad uno spessore di circa 1,5 m ÷ 2 m di substrato; questo comporta un reale miglioramento dei parametri geotecnici quali l'*angolo di attrito* e la *coesione*; a tale azione puntuale o lineare di consolidamento va unita un'azione di protezione antierosiva areale del pendio ad opera delle specie che agiscono tipicamente nei primi decimetri di suolo. L'effetto combinato del prato e del cespugliamento pioniere, realizzati con le tecniche di Ingegneria Naturalistica, comporta anche il miglioramento del bilancio idrico del suolo, garantendo con interventi semplici, ma estesi a livello territoriale nelle aree instabili e con un'azione soprattutto preventiva, una significativa riduzione percentuale dei fenomeni erosivi e franosi. Le maggiori esperienze di utilizzo delle tecniche di Ingegneria Naturalistica sono state fatte nelle regioni dell'arco alpino caratterizzate da un clima più mesofilo (più fresco, più umido e con estati senza grossi stress idrici) di quello mediterraneo, con situazioni ecologiche più favorevoli all'attecchimento delle piante.

I problemi legati all'utilizzo delle piante vive in ambito mediterraneo sono quindi:

- la presenza di un periodo estivo xerico con *stress* idrico, che determina nelle piante una serie di adattamenti biologici (sclerofillia, tomentosità, spinosità, ecc.);
- la presenza di un periodo di riposo vegetativo più breve di quello delle regioni alpine, con conseguente periodo più breve per l'utilizzo delle specie con capacità di riproduzione vegetativa, quali i salici o le tamerici, il cui utilizzo ottimale è legato a tale periodo;
- la difficile reperibilità delle talee e del materiale vivaistico autoctono, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo.

Ne deriva la necessità di maggiori accorgimenti, tramite idonee analisi floristiche e vegetazionali, nella scelta delle specie vegetali per gli interventi di Ingegneria Naturalistica in ambito mediterraneo, in quanto le specie autoctone di comune impiego e maggiormente reperibili nei vivai non sempre garantiscono l'attecchimento nelle condizioni ecologiche difficili dell'ambiente mediterraneo. I salici sono molto utilizzati nelle sistemazioni idrauliche ove rappresentano la tipologia vegetazionale finale, ma anche, in genere, in molte sistemazioni terrestri ove si

impiegano come elemento transitorio, verso le tipologie vegetazionali di progetto, in quanto, con idonei interventi di manutenzione, saranno poi favoriti gli arbusti autoctoni originariamente messi a dimora insieme ad essi. L'utilizzo massiccio di salici, specie in genere mesoigrofile, pur compatibile, dal punto di vista ecologico, con le caratteristiche delle stazioni umide mediterranee, quali quelle dei corsi d'acqua o di montagna, va ben valutato nelle altre situazioni ambientali ove spesso non è proponibile per limiti ecologici e climatici, per assenza di coerenza floristico-vegetazionale e per le difficoltà di reperimento. Emerge quindi la esigenza del reperimento di specie xerofile mediterranee erbacee, arbustive ed arboree, che non sempre il mercato vivaistico pubblico o privato è in grado di soddisfare. Tale esigenza vale ancora più per le aree protette ove è garantita la provenienza del materiale vivaistico, per il pericolo dell'inquinamento genetico dovuto a razze, varietà o *cultivar* di altre regioni o addirittura nazioni. Esiste poi un filone di ricerca sull'impiego delle piante radicate mediterranee negli interventi di Ingegneria Naturalistica, basato sull'osservazione del comportamento in natura di alcuni arbusti radicati che reagiscono alla messa a dimora suborizzontale e conseguente interrimento con una radicazione estesa a tutto il fusto, in maniera quindi assimilabile a quella delle talee.

#### 13.2.4.1 Indagini botaniche per la scelta delle specie e delle tipologie vegetazionali di progetto

Nella **tabella 13.3** viene dettagliata la metodologia per l'individuazione ed il reperimento delle specie per l'inerbimento.

- *Analisi floristica*: tale analisi più speditiva di quella fitosociologica, è da impiegarsi nelle situazioni più semplici, ove la limitata estensione dell'intervento, unito all'omogeneità delle caratteristiche ecologiche della stazione possono rendere non necessarie ai fini progettuali le più dettagliate informazioni provenienti da un'analisi di tipo vegetazionale. L'analisi floristica si basa sulla determinazione delle entità floristiche presenti, con il riconoscimento della loro autoecologia (ad esempio, le specie igrofile o xeriche) unitamente alle forme biologiche ed ai tipi corologici. Dalla lista del-

**Tab. 13.3** - Metodologia per l'individuazione ed il reperimento delle specie per l'inerbimento

1	Analisi floristica e vegetazionale con ricostruzione della serie dinamica della vegetazione.
2	Individuazione dello stadio di progetto compatibile con le caratteristiche ecologiche della stazione.
3	Selezione delle specie in base a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• forme biologiche;</li> <li>• tipi corologici;</li> <li>• caratteristiche biotecniche.</li> </ul>
4	Confronto con le specie disponibili sul mercato.
5	Reperimento delle specie nuove mediante: <ul style="list-style-type: none"> <li>• prelievo del selvatico (talee, cespi, rizomi, semi, fiorume);</li> <li>• produzione vivaistica ex novo.</li> </ul>

le specie autoctone riscontrate, strutturata secondo le forme biologiche, vanno selezionate le specie di progetto.

- *Le forme biologiche*: le forme biologiche o di crescita delle piante rappresentano la possibilità di descrivere la struttura della vegetazione tramite i differenti adattamenti all'ambiente esterno (esempi intuitivi di forme biologiche sono l'albero, l'arbusto o la specie erbacea). Il sistema utilizzato per classificare le forme biologiche è quello del botanico danese Raunkiaer (1902), che si basa sulla strategia assunta dalle piante per proteggere le gemme durante la stagione avversa (il freddo invernale o l'aridità estiva, a seconda del clima). Le piante vascolari sono suddivise in sei classi principali:
  - *terofite* (T): piante annuali che superano la stagione avversa sotto forma di semi (ad esempio, il papavero);
  - *idrofite* (I): piante perenni acquatiche con gemme sommerse durante la stagione sfavorevole (ad esempio i patamogeni);
  - *geofite* (G): piante perenni con organi ipogei (bulbi o rizomi) sui quali si trovano le gemme (ad esempio, la cannuccia di palude);
  - *emicriptofite* (H): piante perenni con le gemme a livello del suolo (ad esempio, la margherita);
  - *camefite* (CH): piante perenni, alla base legnose, con le gemme a livello fino a 30 cm da terra (ad esempio, l'elicriso);
  - *fanerofite* (P): piante perenni legnose con le gemme a più di 30 cm dal suolo (alberi ed arbusti).

Lo spettro biologico rappresenta la ripartizione percentuale delle varie forme biologiche della flora di un territorio ed evidenzia le relazioni tra clima e flora. La conoscenza delle forme biologiche è di grande interesse applicativo nella progettazione degli interventi di Ingegneria Naturalistica, in particolare nella scelta delle sementi per gli inerbimenti.

- *Tipi corologici*: le specie floristiche non si distribuiscono nel territorio in modo uniforme; alcune occupano un'area molto ristretta, altre regioni estese, fino a quasi tutta la superficie terrestre.

I tipi corologici della flora italiana, cioè i gruppi che rappresentano la distribuzione geografica delle specie, sono essenzialmente (Pignatti, 1982):

- *endemiche*: specie ad areale ristretto, sono l'elemento più caratteristico di una flora;
- *mediterranee*: si dividono in *stenomediterranee*, con areale lungo le coste del bacino mediterraneo come *Arbutus unedo* (corbezzolo) ed *eurimediterranee*, che si estendono fino all'Europa come *Fraxinus ornus* (orniello);
- *orofite sudeuropee*: specie differenziate sulle montagne dell'Europa meridionale dopo l'orogenesi terziaria come *Abies alba* (abete bianco);
- *euroasiatiche*: diffuse nelle zone temperate dell'Europa e dell'Asia, in Italia predo-

minano nella pianura Padana e nella fascia di bassa montagna (*Corylus avellana*, nocciolo);

- *atlantiche*: specie con areale che gravita sulle coste atlantiche dell'Europa, legate ad un clima oceanico, con precipitazioni distribuite durante l'anno e inverni non troppo freddi, ad esempio *Helleborus foetidus* (elleboro puzzolente);
  - *settentrionali*: distribuite nelle zone più fredde del globo, in Italia si rinvencono soprattutto nelle zone montane come, ad esempio, *Vaccinium myrtillus* (mirtillo);
  - *cosmopolite*: specie ad ampia distribuzione diffuse in tutti i continenti, si ritrovano soprattutto negli ambienti antropizzati, come *Amaranthus retroflexus* (amaranto comune).
- L'analisi dei tipi corologici consente di individuare le specie autoctone per gli interventi progettuali.
- *Analisi fitosociologica*: tale analisi, da impiegarsi unitamente a quella floristica nelle situazioni più estese ed articolate dal punto di vista ecologico, è quella che fornisce le informazioni più complete nella decodifica del messaggio che la copertura vegetale fornisce al progettista.

La fitosociologia è la branca della botanica che studia le comunità vegetali. La sua caratteristica consiste nell'uscire da un ambito qualitativo per approdare ad un'analisi quali-quantitativa che consente un confronto oggettivo tra situazioni fisionomicamente simili o diverse. L'elemento operativo fondamentale nell'indagine fitosociologica è il rilievo, consistente nel censimento delle specie vegetali di una stazione opportunamente scelta all'interno di una zona fisionomicamente omogenea, accompagnato da una valutazione quantitativa sull'abbondanza di ogni specie, nonché delle principali caratteristiche ecologiche e strutturali della stazione stessa (altitudine, inclinazione, esposizione, stratificazione). I rilievi possono poi essere elaborati con metodi statistici di analisi multivariata (classificazione e ordinamento) allo scopo di ottenere una tabella strutturata. Tramite l'analisi fitosociologica viene individuato lo stadio dinamico evolutivo o degenerativo di una comunità vegetale, ottenendo elementi di previsione del suo sviluppo nel tempo.

### 13.3 Coperture verdi

Negli ultimi anni si è sentita sempre più l'esigenza di mitigare gli impatti ambientali derivanti dall'edificazione di opere, quali grandi manufatti, parcheggi, pavimentazioni per aree di sosta, rivestimenti in genere. In particolare, possiamo individuare i seguenti campi d'applicazione:

- coperture verdi orizzontali ed inclinate;
- coperture di *garage* interrati;
- manufatti industriali;
- capannoni;

- ospedali;
- terrazze;
- opere di protezione (portali di galleria, scatolatori, gallerie artificiali, ecc.).

Nasce così un nuovo strumento per ridurre l'impatto ambientale e per il ripristino del verde, prescritto particolarmente per zone industriali e suburbane: il "verde pensile" (o "copertura a verde") quella disciplina tecnica che applica materiali e tecnologie atte a portare e mantenere stabilmente del verde su superfici, sia orizzontali che verticali, sia in interno che in esterno, prive di contatto con il terreno, dato che normalmente si interviene su superfici realizzate con materiale inerte, spesso impermeabilizzate (P. Abram).

Gli interventi di inverdimento pensile hanno le seguenti finalità:

- **ecologiche:**
  - miglioramento del microclima esterno ed influenza positiva sul clima degli ambienti interni grazie all'effetto di evapotraspirazione delle piante, che permettono di contenere l'aumento delle temperature estive;
  - creazione di nuovi ambienti di vita per gli esseri viventi contribuendo alla necessaria diversità ecologica negli ambienti urbani;
- **tecniche:**
  - trattenimento delle acque meteoriche con conseguente alleggerimento sulla rete di canalizzazione delle acque bianche; questo comporta parallelamente anche un vantaggio economico per il contenimento dei costi per i sistemi di smaltimento;
  - riduzione della diffusione sonora all'interno degli edifici e della riflessione all'esterno

no soprattutto in quei luoghi che ospitano attività rumorose (officine, discoteche, industrie, ecc.);

- Filtraggio delle polveri e fissaggio delle sostanze nutritive dall'aria e dalle piogge. È stato studiato che il verde pensile trattiene le polveri e le sostanze nocive fino al 10% ÷ 20% (Zanarotti, 2001);
- **estetico-paesaggistiche:**
  - miglioramento della percezione visiva, inserimento e compensazione con l'ambiente naturale circostante;
- **economiche:**
  - durata maggiore dell'impermeabilizzazione tramite la protezione meccanica e il contenimento degli sbalzi termici, con ammortizzazione dei costi nel tempo;
  - maggiore isolamento termico con conseguente risparmio energetico nella climatizzazione e riscaldamento degli edifici;
  - aumento di valore degli immobili con il recupero di situazioni degradate e miglioramento radicale dell'immobile e del contesto in cui è inserito.

Come accennato precedentemente, il verde pensile può essere utilizzato per diversi tipi di coperture delle quali si potrà esaminare qualche esempio nei paragrafi seguenti.

### 13.3.1 Coperture per parcheggi e magazzini

È necessario impermeabilizzare la zona interessata da copertura con elementi idonei, quali (dal basso verso l'alto):

- soletta in c.a. con eventuali pendenze;
- strato di regolazione in geotessile di feltro non tessuto da 500 gr;

Fig. 13.3 - Inverdimento pensile a più strati

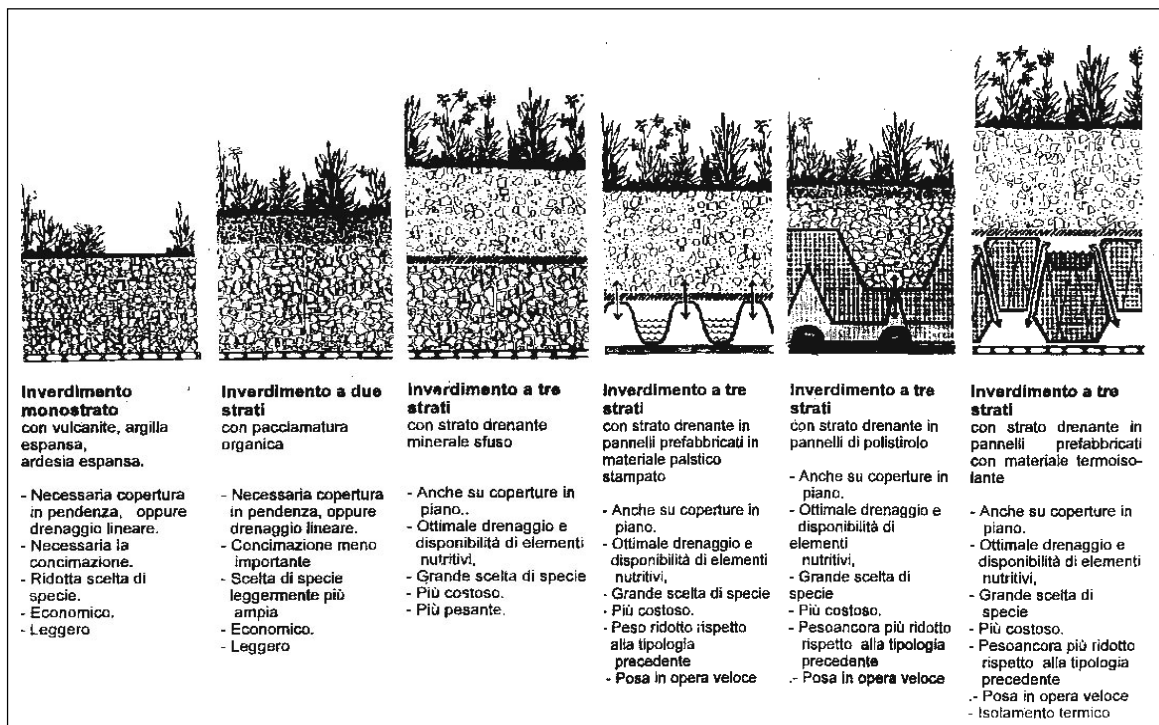
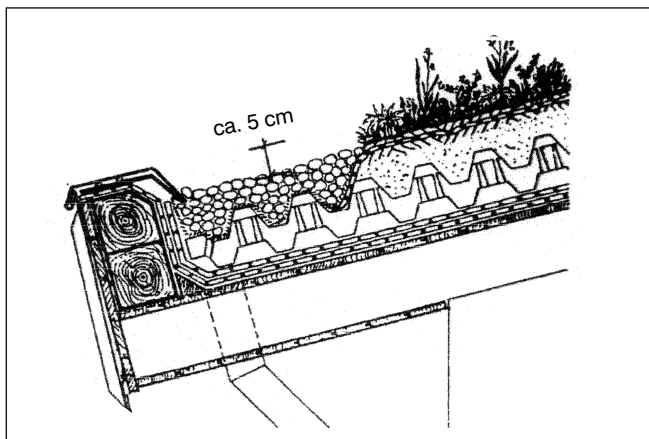


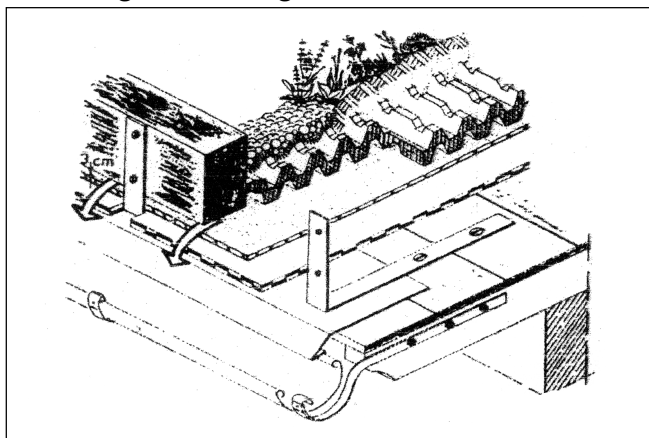
Fig. 13.4 - Tetto inclinato rinverdito - conformazione della gronda

Conformazione della gronda con scarico delle acque interno



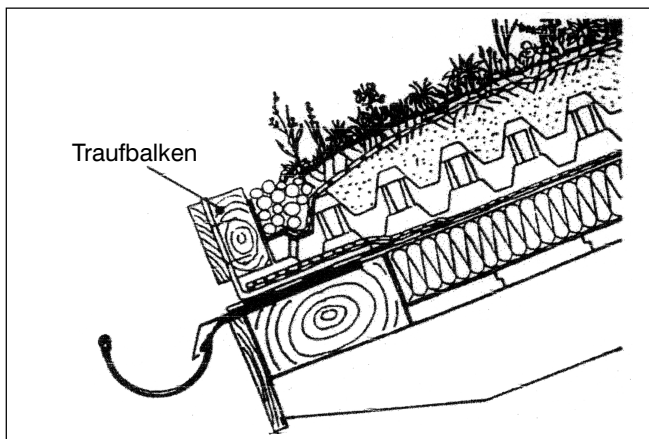
Un tetto in pendenza, di principio, viene inverdito come un tetto piano che venga poi "inclinato". I contenimenti nella zona della gronda devono essere realizzati sufficientemente alti e stabili affinché le forze di spinta generate dall'inverdimento vengano sopportate. La canalizzazione inferiore dell'elemento FLORATEC garantisce il deflusso trasversale dell'acqua nella zona della gronda rendendo possibile lo smaltimento in scarichi o doccioni.

Trave di gronda con grondaia esterna



Spesso negli inverdimenti di un tetto inclinato si preferisce realizzare lo sgrondo delle acque di una grondaia esterna. In questo caso la spinta generata dall'inverdimento deve essere indirizzata verso la struttura del tetto attraverso travi di gronda fissate con elementi angolari metallici. La trave di gronda viene montata a ca. 3 cm di distanza dall'impermeabilizzazione per cui l'acqua piovana in eccesso può liberamente defluire. In caso di terreni particolarmente drenanti si può eventualmente anche evitare l'installazione della grondaia.

Gli angolari metallici vanno avvitati sotto all'impermeabilizzazione oppure vanno accuratamente isolati.

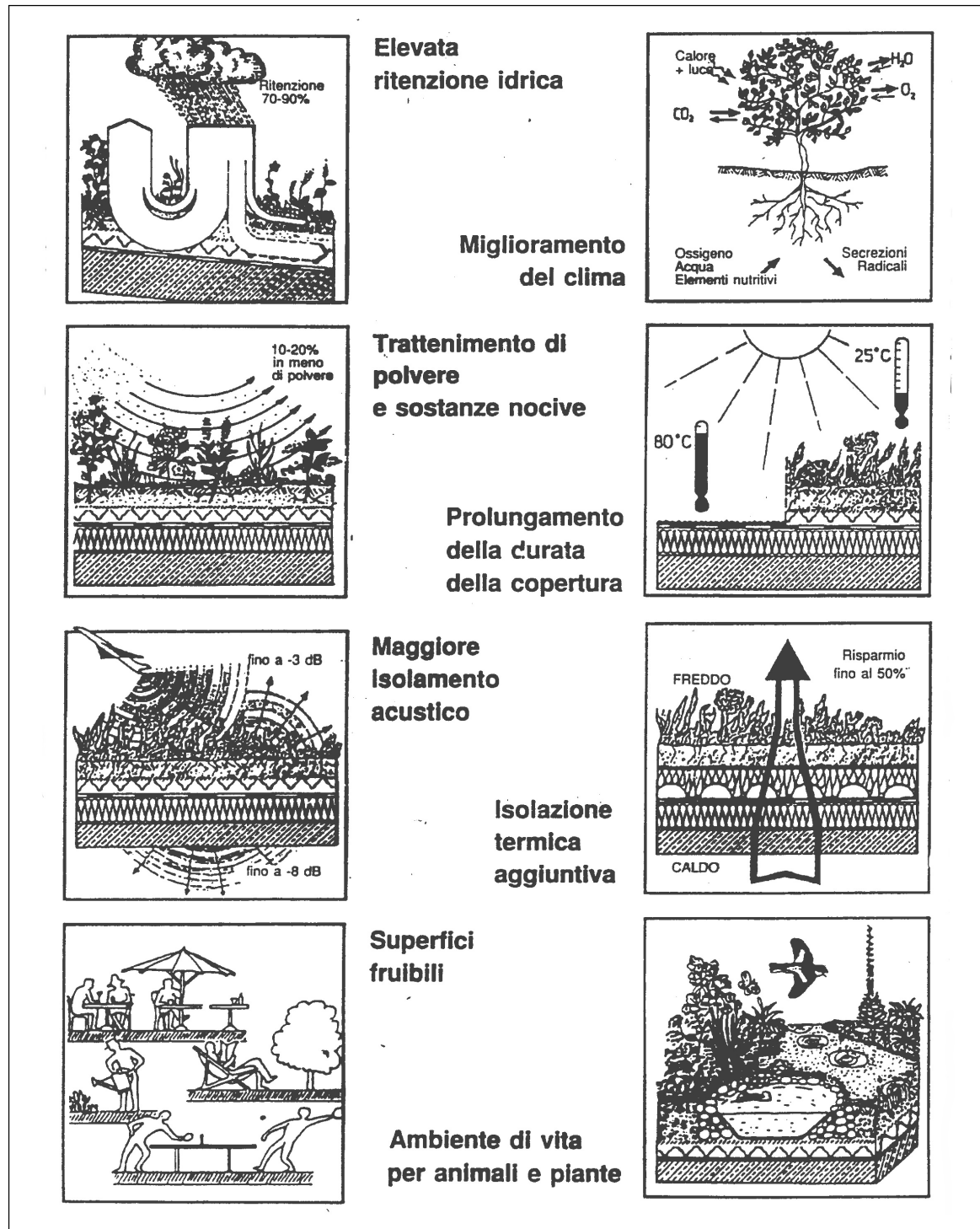


È importante che sui tetti inclinati da inverdire vengano poste in opera guaine impermeabili antiradice in quanto la posa libera di fogli antiradice su tetti in pendenza non è praticabile. Si raccomanda la copertura dell'impermeabilizzazione con un feltro protettivo isolante resistente alla trazione che serve anche per accumulo idrico e di elementi nutritivi.

- manto impermeabile sintetico da 2 mm resistente all'attacco di microrganismi, alle sollecitazioni meccaniche, al punzonamento e alle correnti parassite;
- strato di separazione in geotessile da 500 gr. Si sceglierà, poi una protezione antiradice (per impedire alle radici di penetrare attraverso l'isolazione del tetto) degli strati impermeabili di cui sopra, applicando un manto impermeabile

munito di apposita certificazione secondo il sistema FLL. Oltre alla protezione dagli attacchi dei parassiti, si dovrà provvedere ad una difesa meccanica degli strati impermeabili, con l'utilizzo di uno speciale feltro protettivo in tessuto immarcescibile. Uno strato drenante sarà il nucleo del sistema in quanto dovrà garantire il deflusso delle acque provenienti dalla sovrastante stratificazione a verde e contempo-

Fig.13.5 - I vantaggi di un tetto verde



ranamente provvedere alla protezione meccanica degli strati di impermeabilizzazione e all'aerazione degli apparati radicali della vegetazione. Lo strato drenante può essere costituito in pannelli di caucciù stampati a pressione dello spessore di 2,5 cm con capacità drenante a normativa DIN 4095 e protezione a normativa DIN 18195. Lo strato filtrante provvederà ad evitare lo scivolamento delle particelle fini di substrato nello strato drenante, garan-

tendo un idoneo movimento verticale dell'acqua di drenaggio ed una sufficiente resistenza meccanica. Lo strato filtrante sarà costituito da un telo in polipropilene/polietilene da 190 gr/m<sup>2</sup>.

Si riportano nelle figure 13.3-13.4 esempi di stratificazioni per coperture verdi. I vantaggi che si ottengono utilizzando una copertura a verde su una struttura possono essere rappresentati nella figura 13.5.

**Bibliografia**

AA.VV., 1997

*Rassegna di tecniche relative alla depurazione naturale delle acque. Utilizzo di macrofite e microfite nei sistemi di depurazione*, ENEA - Dipartimento Ambiente Centro Ricerche Casaccia, Roma.

AA.VV., 2001

*Manuale di Ingegneria Naturalistica applicabile al settore idraulico nella regione Lazio*, a cura di Regione Lazio - Dipartimento Opere Pubbliche e Servizi per il Territorio, dicembre (inedito).

Abram P., s.d.

*Il Verde pensile*, a cura di Associazione Italiana per il Verde Pensile - AIVEP.

Blana H., 1980

*Rasterkartierung und Bestandsdichteerfassung von Brutvögel als Grundlage für die Landschaftsplanung. Ein Vergleich beider Methoden im Selben Untersuchungsgebiet*.

Box J.D., J.E. Forbes, 1992.

*Ecological considerations in the environmental assessment of road proposals*, in "Highways and Transportation".

Bruske C., Barrett G., 1994

*Effect of vegetation and hydrological load on sedimentation patterns in experimental wetland ecosystems*.

Cronk J. K., Mitsch W., 1994

*Acquatic metabolism in four newly constructed freshwater wetlands with different hydrologic inputs*.

Dinetti M., 2000

*Infrastrutture ecologiche. Manuale pratico per progettare e costruire le opere urbane ed extraurbane nel rispetto della conservazione della biodiversità*, Il Verde Editoriale.

Fennesey M.S., Brueske C. C., Barrett G., 1994

*Sediment deposition patterns in restored freshwater wetland using sediment traps*.

Fuller J.R., Langslow D.R., 1986

*Ornithological evaluation for wildlife conservation*, in "USHER M.B."

Gale P.M., 1993

*Nitrogen removal from reclaimed water applied to constructed and natural wetland microcosm*.

Ghetti P.F., 1995

*Manuale di applicazione: Indice biotico esteso. macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti*, Provincia Autonoma di Trento - Servizio Protezione Ambiente.

Greco S., Petriccione B., 1991

*Environmental quality evaluation in a disturbed ecosystem, on the basis of floristic and vegetational data*, in *Terrestrial and aquatic ecosystems. Perturbation and recovery*, a cura di Ravera o, Ellis Horwood series in environmental management, science and technology.

Ingegnoli V., 1990

*Criteri di recupero ambientale: rapporti tra bioingegneria naturalistica ed ecologia del paesaggio*, in "Acer", 6, atti del Convegno di Ingegneria Naturalistica.

Malcevski S., Ceppi S., 1999

*Al via la deframmentazione*, in "Acer".

Neugebauer N., Scozzafava T., 1992

*Relazioni tra fauna ed Ingegneria Naturalistica*, in *Tecniche di rinaturazione e di Ingegneria Naturalistica. Esperienze europee*, atti del Congresso Internazionale AIPIN, a cura di G. Sauli e S. Simonetta, Udine, maggio.

Schiechl H.M., 1991

*Bioingegneria forestale. Biotecnica naturalistica*, Ed. Castaldi, Feltre.

Siligardi M., Maiolini B., 1993

*L'inventario delle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua alpini: guida all'uso della scheda RCE-2*, in "Biologia Ambientale".

Wood J.R., 1990

*Landscape ecology and bio-engineering*, V Annual Landscape Ecology Symposium, Oxford, Ohio.

Zanarotti C., 2001

*Il verde sui tetti per salvare la città*, in "Coltura del Verde. Notiziario della scuola agraria del Parco di Monza", n. 20, giugno-agosto.

## **PARTE TERZA**

---





## 14.1 Interventi antierosivi

### 14.1.1 Semina a spaglio

*Funzioni:* copertura e completamento su versanti soggetti ad erosione e su sponde.

*Descrizione:* consiste nella semina manuale di un miscuglio di sementi di specie selezionate e, se necessario, di fertilizzanti. Spesso si usa a completamento di altri tipi di opere di stabilizzazione.

*Descrizione da voce di capitolato:* rivestimento di superfici di scarpata mediante spargimento manuale a spaglio di idonea miscela di sementi e di eventuali concimanti organici e/o inorganici in quantità e qualità opportunamente individuate.

La composizione della miscela e la quantità di sementi per metro quadro sono stabilite in funzione del contesto ambientale ovvero delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche, pedologiche, microclimatiche floristiche e vegetazionali della stazione (in genere valgono quantità da 30 a 60 g/m<sup>2</sup>). La provenienza delle sementi e germinabilità dovranno essere certificate.

*Effetto:* l'inerbimento è veloce e permette di ottenere rapidamente la protezione delle superfici dai fenomeni di erosione superficiale.

*Campi d'applicazione:* aree sulle quali è necessaria una rapida protezione del terreno da fenomeni erosivi superficiali, o un'integrazione di precedenti operazioni di semina e versanti poco inclinati caratterizzati da fenomeni erosivi poco incisivi in ambiente con microclima fresco.

La presenza di una copertura erbacea continua sul versante in frana può contribuire a limitare l'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno dei corpi di frana e quindi a ridurre un possibile incremento delle pressioni neutre.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata;

- la tecnica non è idonea su versanti o sponde con pendenze >20° o su terreni poveri di suolo e soggetti a dilavamento.

*Materiali impiegati:*

- sementi di specie autoctone. I miscugli di sementi saranno scelti in base alle caratteristiche stagionali della località dell'intervento, si utilizzeranno specie capaci di produrre velocemente il manto protettivo, alcune formando un reticolo superficiale di rizomi, altre spingendo le radici in profondità. La provenienza delle sementi e la percentuale di germinabilità devono essere certificate. Distribuzione delle sementi: 10 ÷ 100 g/m<sup>2</sup>;
- concimi e fertilizzanti: si possono aggiungere, secondo i casi, torba, sabbia o ammendanti di vario tipo e, se necessario dopo la semina, fertilizzanti organici (30 ÷ 100 g/m<sup>2</sup>).

*Modalità di esecuzione:* la prima fase consiste nella preparazione del terreno che deve essere ben drenato. È utile disporre di uno strato superficiale di terreno soffice e ricco di humus e perciò, quando è necessario, se ne migliorano le caratteristiche chimiche e fisiche con ammendanti e concimi.

Il terreno deve essere lavorato manualmente o meccanicamente; quindi si rastrella e si rimuovono sassi e radici. Si compatta poi il terreno con un rullo, scegliendo un momento in cui è asciutto.

A questo punto si procede alla semina a spaglio. Per evitare di seminare due volte la stessa superficie o di lasciare spazi non seminati, è opportuno delimitare strisce larghe 1 m circa con dei picchetti e procede su queste con il lavoro. Infine si rastrella la superficie seminata e, se si ritiene opportuno, si distribuisce del fertilizzante organico.

*Accorgimenti:* con substrati argillosi o comunque poco permeabili è opportuno, nella fase di preparazione del terreno, realizzare fossi di scolo e drenaggi.

*Vantaggi:* l'esecuzione è semplice e conveniente anche per piccole superfici. Permette di ottenere rapidamente il rivestimento, contribuendo in modo efficace ad evitare l'erosione superficiale. Particolarmente indicata per interventi integrativi.

*Svantaggi:* la funzione di protezione del suolo esercitata dal manto erboso è superficiale. L'azione più profonda è esercitata da arbusti ed alberi.

**Periodo di intervento:** all'inizio del periodo vegetativo. Su molti interventi di ingegneria naturalistica la semina costituisce l'operazione finale.

**Manutenzione:** annaffiatura, concimazione e taglio quando si ritenga necessario.

**Analisi prezzi:** cfr. **tabella 14.1**.

**Ambito di applicazione dei processi di semina per opere di consolidamento:** i singoli processi di semina possono essere applicati solo in am-

biti specifici, di ampiezza diversa, indicati nella **tabella 14.2**. La quantità di sementi, concimi, ammendanti, pacciamanti e collanti applicate per m<sup>2</sup> di superficie, devono essere comprese nei limiti indicati nella **tabella 14.3**.

#### 14.1.2 Semina con fiorume

**Funzioni:** copertura e completamento su versanti soggetti ad erosione e su sponde.

**Descrizione:** consiste nel disporre sulla super-

**Tab. 14.1 - Semina a spaglio: analisi dei prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<b>a) Manodopera:</b>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,00		
Operaio comune	Ora	0,02		
<b>b) Noli:</b>				
<b>c) Materiali:</b>				
Miscela per sementi 50 g/m <sup>2</sup>	Kg	0,05		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>0,41 ÷ 0,77</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>800 ÷ 1.500</b>

**Tab. 14.2 - Semina a spaglio: ambiti specifici**

	Processo	Stato del suolo vegetale					Clima					Pericolo di erosione e/o frane				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	U/sc	■	■	■			■	■				■	■	■		
2	U/sck	■	■	■			■	■	■			■	■	■	■	
3	U/sca	■	■	■	■		■	■	■	■		■	■	■	■	■
4	U/scp	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	U/scka	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	U/scap	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	U/sckp o S/sckp	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	U/sckap o S/sckap	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Legenda:

U = processi a umido;  
S = processi a secco;  
s = semente;  
c = concime;  
k = collante;  
a = ammendante;  
p = pacciamante.

■ Spesa minima  
■ Spesa media  
■ Spesa massima

▶ } I processi indicati sono ancora limitatamente validi

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

**Tab. 14.3** - *Semina a spaglio: quantità di concimi, ammendanti pacciamanti e collanti per m<sup>2</sup> di semina*

N.	Sostanze	Quantità			Unità di misura
1	Sementi (essiccate ad aria):				
	a) più di 800 semi per g, come media della miscela;	10	15	20	g
	b) 100-800 semi per g;	15	20	30	g
	c) meno di 100 semi per g.	20	40	60	g
2	Concimi:				
	a) concimi minerali (secchi) (ad es. N.P.K.=12.12.17);	30	50	70	g
	b) concimi organici (da umidi a secchi) (ad es. N.P.K.=7.2.2).	50	100	150	g
3	Ammendanti:				
	a) argilla e limo (da umidi a secchi);	125	250	375	g
	b) lava spugnosa, pomice, silicati trattati ecc. (da umidi a secchi);	500	1.000	1.500	g
	c) sostanze organiche: torba, cellulosa;	20	40	8	l
	d) terriccio a terra (umidi);	100	150	200	g
	e) idrosilicati (secchi);	1.000	3.000	5.000	g
	f) materiali espansi sintetici (secchi).	80	150	200	g
		15	25	40	l
4	Pacciamante (paglia, fieno ecc. - secchi):				
	a) con semina ad umido;	250	350	450	g
	b) con semina a secco.	300	450	600	g
5	Collanti:				
	a) bitumi per semine ad umido (25%-30% in peso di emulsioni in acqua);	150	250	300	g
	b) bitumi per semine a secco 25%-30% in peso di emulsioni in acqua);	250	500	750	g
	c) dispersioni di sostanze plastiche (liquide);	20	40	60	g
	d) emulsioni di sostanze plastiche (liquide);	10	30	50	g
	e) concentrati di sostanze plastiche (liquidi);	50	10	15	g
	f) colle organiche (secche);	100	150	250	g
g) metilcellulosa(secca).	20	40	60	g	

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

ficie da inerbire lo sfalcio, che porta il fiorume con i semi, prelevato da formazioni erbacee in zone con caratteristiche stazionali analoghe a quelle dell'area di intervento.

*Descrizione da voce di capitolato:* rivestimen-

to di superfici di scarpata mediante lo spargimento manuale a spaglio di fiorume (ovvero miscuglio naturale di sementi derivato da fienagione su prati stabiliti naturali dell'area d'intervento) e di eventuali concimanti organici e/o inorganici in quantità e qualità oppor-

tunamente individuate. La quantità di fiorume per m<sup>2</sup> è stabilita in funzione del contesto ambientale ovvero delle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento, delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche, pedologiche, microclimatiche floristiche e vegetazionali della stazione ed è in genere tra 30 e 60 g/m<sup>2</sup>.

**Effetto:** protezione del suolo dall'erosione superficiale.

**Campi di applicazione:** dove sia necessaria l'utilizzazione di sementi non reperibili in commercio e si voglia intervenire con specie autoctone, per esempio in aree di pregio o soggette a tutela particolare quali parchi e aree protette. Gli interventi d'inerbimento forniscono una protezione del suolo nei confronti dell'erosione superficiale. Inoltre, sui versanti in frana possono contribuire a limitare l'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno del corpo di frana e quindi a ridurre un possibile incremento delle pressioni neutre.

**Modalità di dimensionamento e limiti d'applicabilità:** si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- **verifica idraulica** (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata;
- la tecnica non è idonea su versanti o sponde con pendenze >20° o su terreni poveri di suolo e soggetti a dilavamento, in questi casi la semina con sfalcio richiede l'impiego di supporti antierosivi.

**Materiali impiegati:**

- sfalcio in quantità sufficiente a coprire completamente la superficie da inerbire;

- teloni per raccogliere il materiale prelevato;
- attrezzi per il taglio dell'erba;
- strutture idonee alla conservazione del materiale;
- supporto antierosivo di copertura, se necessario;
- fertilizzanti organici: 50 ÷ 100 g/m<sup>2</sup>.

**Modalità di esecuzione:** per prelevare il materiale vegetale tramite sfalcio si individuano zone con caratteristiche stazionali paragonabili a quella su cui sarà eseguito l'intervento, quindi si verifica che non vi siano state effettuate semine negli ultimi 3 ÷ 4 anni prima di procedere al prelievo. Si esegue lo sfalcio a mano o con falciatrici meccaniche e si depone il materiale prelevato su teli, avendo cura di non disperdere i semi durante le operazioni di prelievo e di trasporto. All'inizio della stagione vegetativa si procede alla semina della superficie da inerbire con lo sfalcio fino a ricoprimento completo di essa e, se si ritiene necessario, si aggiungono fertilizzanti.

**Accorgimenti:** l'area da cui prelevare il materiale deve essere scelta accuratamente. Il materiale sfalcio deve essere conservato in ambiente asciutto con le dovute precauzioni, tenendo presente che può essere attaccato da animali granivori.

**Vantaggi:** questa tecnica rende possibile la ricostituzione di un manto erboso che tenda verso dinamiche paranaturali.

**Svantaggi:** la tecnica richiede molta mano d'opera ed una struttura idonea per la conservazione dello sfalcio dal momento della raccolta a quello della posa in opera.

**Periodo di intervento:** per assicurare le sementi sia delle fioriture primaverili sia di quelle più tarde si eseguono sfalci alla fine della primavera e alla fine dell'estate o anche più tardi se lo studio della vegetazione indica la presenza di specie che lo richiedono. Si procede alla semina all'inizio della stagione vegetativa.

**Tab. 14.4 - Semina con fiorume: analisi dei prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,00		
Operaio comune	Ora	0,05		
<i>b) Noli:</i>				
<i>c) Materiali:</i>				
(*)Miscela per sementi 50 g/m <sup>2</sup>	Kg	0,05		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>0,7 ÷ 1,39</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>1.350 ÷ 2.700(**)</b>

(\*) Il fiorume viene appositamente raccolto *in situ* nel corso dell'anno da personale specializzato.

(\*\*) Non comprensivo del materiale.

**Manutenzione:** annaffiatura, concimazione e taglio quando si ritenga necessario.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.4**.

#### 14.1.3 Semina a paglia e bitume (sistema Schiechteln®)

**Descrizione sintetica:** realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito, su di un letto di paglia distribuita uniformemente ed espersione di un emulsione bituminosa instabile con funzione protettiva, mediante l'uso di pompe irroratrici a zaino, esclusa la preparazione del piano di semina.

**Voce di capitolato:** rivestimento di superfici povere di sostanza organica mediante:

- spargimento manuale di paglia a fibra lunga a formare uno strato continuo di 2 ÷ 4 cm di spessore;
- semina a spaglio con miscela di specie idonea alle condizioni locali;
- spargimento di concimanti organici ed inorganici;
- bitumatura a freddo mediante soluzione idrobituminosa spruzzata a pressione atta a formare una pellicola protettiva e di fissaggio della paglia e dei semi.

La composizione della miscela e la qualità di sementi per m<sup>2</sup> sono stabilite in funzione del contesto ambientale ovvero delle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento (in genere si prevedono 30 ÷ 40 g/m<sup>2</sup>). La provenienza e germinabilità delle sementi dovranno essere certificate.

**Modalità di esecuzione:**

- preparazione del terreno con eventuale riparto di terreno vegetale (spessore di 3 ÷ 4 cm);
- eventuale messa a dimora di talee:
  - preparazione delle buche per mezzo di stanghe di ferro;
  - posa in opera delle talee (6 talee per metro quadro).

Nel caso si dovesse intervenire in periodi diversi da quello primaverile le talee portebbero essere sostituite da paletti di legno di qualsiasi specie o da picchetti di ferro.

- spargimento di uno strato continuo di paglia di segale o di altri cereali o di fieno (0.3 ÷ 1 kg/m<sup>2</sup>). Il materiale a culmo lungo è idoneo per una più rapida ed economica distribuzione e per una migliore e duratura protezione del terreno in quanto interviene una possibile asportazione a causa di eventi naturali;
- collegamenti delle talee con filo di ferro (Ø 6 mm) o con corda, fissato a picchetti e steso in diagonale dall'alto verso il basso;
- semina di un apposito miscuglio di sementi foraggere e di piante rustiche (10 ÷ 50 gr/m<sup>2</sup>) eseguita a spaglio sopra lo strato di paglia;

- distribuzione di concime organico (50 ÷ 150 gr/m<sup>2</sup>);
- aspersione di un'emulsione bituminosa stabile tramite motopompa (700 gr/m<sup>2</sup>) già diluita in acqua per stabilizzare fisicamente lo strato di paglia ed evitare erosioni da parte del vento o dell'acqua.

**Note:** la paglia viene trasportata sul posto in balle pressate e con paglia asciutta, onde evitare che, all'atto della semina il seme rimanga attaccato allo strato più superficiale del manto vegetale distribuito. La sfogliatura delle balle di paglia va eseguita a mano per evitare che si formino ammassi eterogenei. Al fine di favorire la degradazione della paglia si può arricchirla con enzimi.

**Vantaggi:** il metodo sopra descritto assolve a diverse funzioni:

- riduzione dell'effetto erosivo delle precipitazioni atmosferiche e del vento;
- riduzione delle perdite di seme per dilavamento a causa della predazione degli animali (uccelli, roditori, insetti);
- realizzazione di un particolare microclima in prossimità del terreno sia in relazione alla temperatura (minori sbalzi termici) che all'umidità (riduzione dell'evaporazione): "effetto serra".

**Accorgimenti:** sui terreni con pendenza elevata, il suolo potrà eventualmente essere consolidato mediante la posa di reti o griglie metalliche, sintetiche o in fibra naturale a maglia stretta fissate al suolo con graffe e successivamente inerbite. È un metodo idoneo anche per inerbire superfici caratterizzate da suoli poco profondi e aridi o situate a quote elevate (piste da sci).

Il miscuglio di sementi deve essere distribuito in maniera omogenea e, perciò, nel caso in cui le sementi siano di dimensioni e pesi diversi è consigliato effettuare la semina in più fasi. L'aspetto economico è legato all'eventuale messa dimora delle talee e alla posa di reti o di griglie.

**Periodo di intervento:** il periodo più adatto è quello primaverile.

**Analisi prezzi:** cfr. **tabella 14.5**.

#### 14.1.4 Semina con matrice a fibre legate

**Descrizione sintetica:** è un prodotto naturale, derivato dalla lavorazione del legno, che viene spruzzato assieme ad altri prootti nella idrosemnatrice e sostituisce le tradizionali georeti (juta, cocco, paglia).

**Voce di capitolato:** rivestimento di superficie con una matrice antierosiva mediante spargimento meccanico in un unico passaggio a mezzo di idrosemnatrice a pressione con ugelli spe-

Tab. 14.5 - Semina a paglia e bitume: analisi dei prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,02		
Operaio comune	Ora	0,04		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
Pompa irroratrice	Ora	0,02		
<i>c) Materiali:</i>				
Paglia	Kg	1		
Bitume	Kg	0,7		
Ammendanti	Kg	0.1		
Miscela per sementi 50 g/m <sup>2</sup>	Kg	0,05		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>1,81 ÷ 2,69</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>3.500 ÷ 5.200</b>

ciali per garantire l'applicazione a distanza e lo spargimento omogeneo del prodotto.

*Materiali impiegati:* l'idrosemina sarà composta da matrice fibre legate ovvero:

- 88% fibre vergini di ontano prodotte termomeccanicamente e per questo esenti datannino con lunghezza di 10 mm per oltre 50%;
- 10 %di collante premiscelato polisaccaride estratto dal egume di Guar con capacità di creare legami stabili tra le fibre ed il terreno. Le caratteristiche del collante Full Tack sono l'alta viscosità (oltre 14.000 cps) e di non dilavare se ribagnato; questo rende le fibre legate resistenti alla trazione;
- 2% di attivatori organici e minerali atti a stimolare la germinazione. Alla matrice di fibre legate si dovranno aggiungere le altre componenti (le quantità potranno variare in funzione del contesto ambientale);
- miscela di sementi idonea alle condizioni locali in quantità minima di 35 gr/m<sup>2</sup>;
- concime organico minerale bilanciato in quantità di circa 120 gr/m<sup>2</sup>;
- acqua in quantità di circa 7 lt/m<sup>2</sup>.

*Ambiti di applicazione:* la matrice a fibre legate è adatta per le applicazioni che richiedono un controllo temporaneo dell'erosione fino allo stabilirsi della vegetazione; in particolare per il controllo dell'erosione superficiale causata dal vento o dalle piogge su aree trattate. La matrice a fibre legate può essere applicata anche su scarpate non regolarizzate.

*Vantaggi:*

- aderenza perfetta alla superficie del terreno, che consente di evitare rigonfiamenti e ruscellamenti sotterranei;
- l'applicazione in un solo passaggio non necessita della stesura della rete e del fissaggio

dei chiodi riducendo notevolmente i tempi e i costi di manodopera;

- la matrice a fibre legate lega il seme e il fertilizzante al suolo, ma permette all'umidità, alla luce del sole e alle piante di penetrarla. Crea perciò un microclima per la germinazione e la crescita della vegetazione. Inoltre non sottrae al suolo azoto e non impedisce alla vegetazione già esistente di crescere;
- una volta asciutta, la matrice a fibre legate diventa un tappeto flessibile che minimizza anche l'impatto della pioggia pesante ed agendo da idroretentore, rilascia poi lentamente l'umidità al terreno. Anche quando è completamente satura, la matrice resta aderente al terreno. Il risultato è una notevole riduzione della perdita d'acqua e di terreno uguale o addirittura superiore delle tradizionali coperture di stuoie;
- poichè la matrice a fibre legate richiede meno manodopera e molto meno tempo per l'applicazione, il costo totale di un'applicazione è significativamente minore dei tradizionali sistemi di controllo per l'erosione;
- il prodotto è atossico e completamente biodegradabile ed è formato da una miscela di fibre di legno, un agente collante naturale e una miscela di attivatori organici e minerali;
- la matrice a fibre legate viene legata naturalmente, non con reti plastiche, per cui non è dannosa all'ambiente e non lascia residui inquinanti;
- è un sistema facile da applicare e non richiede manutenzione, è facile da trasportare e da immagazzinare.

*Svantaggi:*

- non è adatta per la prevenzione di fenomeni franosi, su terreni che manifestano profonde instabilità o sono soggetti a distacchi della superficie;

- non adatta a controllare l'erosione dove non è prevista la rivegetazione;
- non è adatta al rinverdimento di alvei fluviali o in aree soggette a frequenti innondazioni.

*Note:* la quantità di “matrice a fibre legate” applicata non dovrà mai essere inferiore a 370 gr/m<sup>2</sup> per ottenere una copertura perfetta del suolo e svolgere la funzione di idroretenzione (oltre 900 volte il proprio peso), creando un microclima ideale alla germinazione.

La copertura non dovrà presentare interstizi superiori a 1 mm. Tutte le componenti della matrice di fibre legate sono 100% naturali e contenute in un'unica confezione da 23 kg adatta per la copertura di circa 60 m<sup>2</sup>.

L'applicazione della miscela deve avvenire con idonea idroseminatrice che garantisca l'omogeneità del prodotto e con un tipo di pompa (volumetrica) che mantenga l'integrità della semente.

#### 14.1.5 Idrosemina

*Funzioni:* copertura e completamento su versante.

*Descrizione:* consiste nello spargimento meccanico di una miscela di sementi, fertilizzanti, ammendanti, leganti ed eventualmente fitoregolatori in acqua, effettuato con un dispositivo, idroseminatrice, costituito da una cisterna, una pompa e delle manichette.

I componenti della miscela creano un substrato ottimale per la germinazione dei semi e per le prime fasi di sviluppo delle plantule.

Il collante ha la funzione di legare assieme sementi, concimi ed ammendanti e di aderire bene al terreno, impedendo l'asportazione delle sementi nella fase germinativa, fino alla sua degradazione. L'acqua, oltre a veicolare la miscela, favorisce l'imbibizione delle sementi accelerandone la germinazione ed il primo stadio di sviluppo (fig. 14.1).

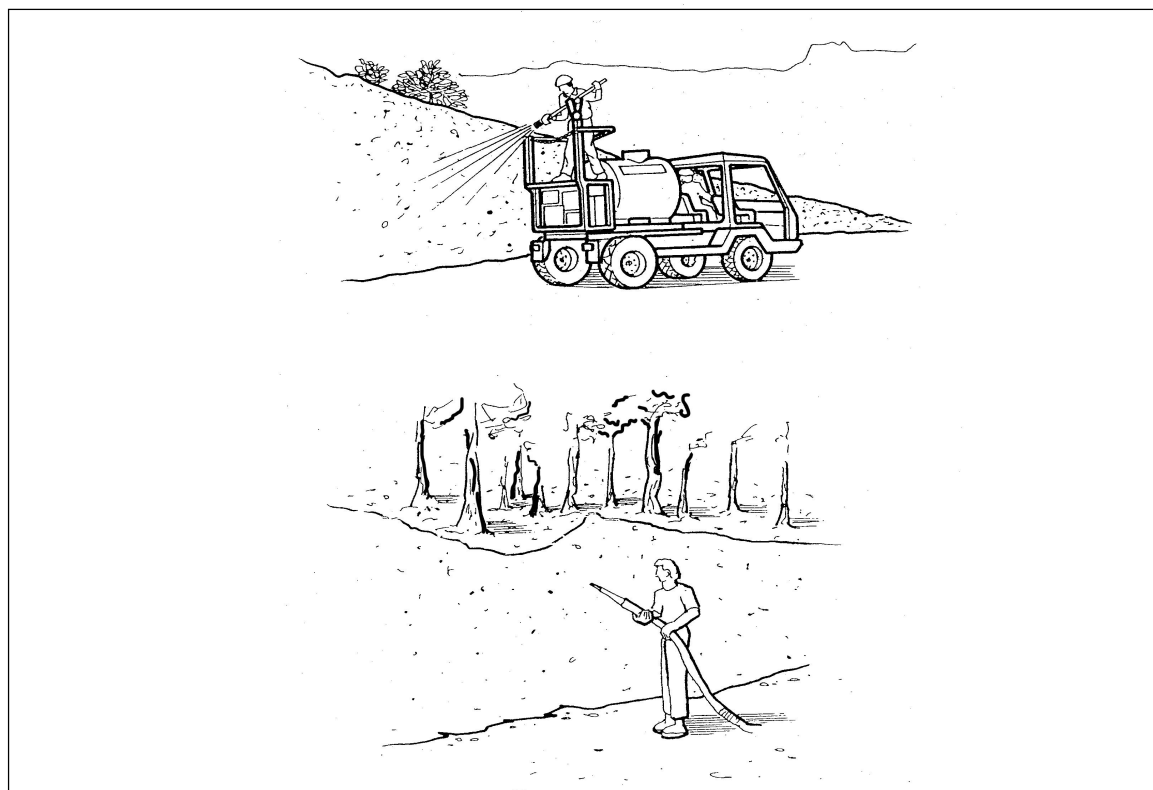
*Descrizione da voce di capitolato:* rivestimento di superfici mediante spargimento meccanico a mezzo di idroseminatrice a pressione atta a garantire l'irrorazione a distanza e con diametro degli ugelli e tipo di pompa tale da non lesionare i semi e consentire lo spargimento omogeneo dei materiali.

L'idrosemina contiene:

- miscela di sementi idonea alle condizioni locali;
- collante in quantità idonea al fissaggio dei semi e alla creazione di una pellicola antierosiva sulla superficie del terreno, senza inibire la crescita e favorendo il trattenimento dell'acqua nel terreno nelle fasi iniziali di sviluppo;
- concime organico e/o inorganico;
- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
- altri ammendanti e inoculi.

La composizione della miscela e la quantità di sementi per m<sup>2</sup> sono stabilite in funzione del

Fig. 14.1 - Idrosemina



Fonte: “Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia”, 9 maggio 2000.

contesto ambientale ovvero delle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento, delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche, pedologiche, microclimatiche floristiche e vegetazionali (in genere si prevedono  $30 \div 40 \text{ g/m}^2$ ). La provenienza e germinabilità delle sementi dovranno essere certificate e la loro miscelazione con le altre componenti dell'idrosemina dovrà avvenire in loco, onde evitare fenomeni di stratificazione gravitativa dei semi all'interno della cisterna.

**Effetto:** l'inerbimento è generalmente rapido e quindi si ottiene in maniera veloce la protezione del suolo dall'erosione superficiale operata dalle acque di dilavamento e dal vento.

**Campi di applicazione:** pendii ripidi fino a  $35^\circ$  e fino a  $40^\circ$  nel caso di idrosemine potenziate (fino a  $20^\circ$  idrosemina semplice; fino a  $35^\circ$  idrosemina con *mulch*, cioè con materiali come fibra di paglia, sfarinato di torba, ecc. che migliorano la resistenza meccanica e la capacità di ritenzione idrica; fino a  $50^\circ \div 60^\circ$  con *mulch* a fibre legate, scarpate, versanti rocciosi (particolarmente adatto per le piste da sci). Si tratta di un intervento ad alto gradimento e per questo viene utilizzato talvolta anche in superfici a ridotta inclinazione. Gli interventi di inerbimento, mediante l'impiego prevalente di specie erbacee, forniscono soprattutto una protezione del suolo nei confronti dell'erosione superficiale. Inoltre la presenza di una copertura erbacea continua su tutto il versante in frana può anche contribuire ad una limitazione dell'infiltrazione delle acque meteoriche all'interno del corpo di frana e quindi a ridurre un possibile incremento delle pressioni neutre.

**Modalità di dimensionamento e limiti d'applicabilità:** si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata.

Si utilizzano da  $1 \div 30 \text{ l/m}^2$  di miscela in funzione dello spessore al suolo che si vuole ottenere. Tale spessore varia di solito tra  $0,5 \div 2 \text{ cm}$  ed è funzione delle caratteristiche stazionali (inclinazione, periodo arido, rischio erosione, ecc.). La tecnica non è idonea su pareti rocciose compatte (pendenza  $> 35^\circ$ ) o particolari formazioni geologiche che vanno lasciate alla rivegetazione spontanea.

**Materiali impiegati:** esistono diversi procedimenti per l'esecuzione di idrosemine, alcuni dei quali sono stati brevettati. Ognuno di essi prevede l'utilizzo di specifici materiali, in dosi pre-

cise. I materiali più comuni sono:

- acqua:  $1 \div 30 \text{ l/m}^2$ ;
- concimi minerali (semplici, complessi, a lenta cessione di azoto) od organici (miscele, prodotti vegetali, stallatico) o ancora organo-minerali:  $50 \div 200 \text{ g/m}^2$ ;
- ammendanti (torba, paglia, cellulosa):  $60 \div 300 \text{ g/m}^2$ ;
- collanti (colloidi organici, colloidi argillo-umici, polimeri di sintesi):  $10 \div 100 \text{ g/m}^2$ ;
- semi di specie erbacee e legnose:  $20 \div 40 \text{ g/m}^2$ ;
- fitoregolatori (ormoni vegetali).

**Modalità di esecuzione:** si miscelano i componenti fino a formare un liquido denso che viene spruzzato con idonee pompe su superfici da rinverdire.

La miscela viene spruzzata fino al raggiungimento dello spessore necessario in base al tipo di superficie; per zone a forte pendenza o con elementi litologici affioranti si possono raggiungere spessori di  $2 \div 4 \text{ cm}$ . In genere lo spessore si aggira nell'ordine di  $0,5 \text{ cm}$ .

Qualora l'area non sia raggiungibile da un'autopompa l'operazione può essere effettuata con l'elicottero.

**Accorgimenti:** su pendii assai ripidi può essere fissata una rete di juta sulla quale spruzzare successivamente la miscela.

**Vantaggi:** tecnica che permette un rinverdimento veloce della superficie interessata. Anche in situazioni moderatamente difficili dal punto di vista pedologico e climatico si riesce ad innescare il processo di ricostituzione della copertura vegetale. Tecnica che consente elevate produttività.

**Svantaggi:** è necessario che il cantiere sia accessibile ai mezzi meccanici (autobotte con pompa); è possibile utilizzare tubi flessibili fino a  $150 \div 200 \text{ m}$  per aumentare il raggio d'azione della pompa.

Se la superficie da rinverdire è sufficientemente grande si sfrutta al meglio la capacità dell'autobotte e si riducono i costi. I costi aumentano se l'operazione deve essere effettuata con l'elicottero.

Non sempre dà buoni risultati in stazioni aride o con elevato rischio di dilavamento superficiale.

**Periodo di intervento:** il periodo di semina deve essere scelto nell'arco dell'anno in base alle caratteristiche della stazione, al grado di ombreggiamento ed al grado di umidità. Sono da evitare i periodi asciutti, in particolare tutto il periodo estivo per le zone costiere e le aree più siccitose. In generale si effettua la semina nel periodo vegetativo.

**Manutenzione:** annaffiatura, concimazione e taglio quando si ritenga necessario.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.6**.



Tab. 14.6 - Idrosemina: analisi dei prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,02		
Operaio comune	Ora	0,02		
<i>b) Noli:</i>				
Idrosemnatrice	Ora	0,020		
<i>c) Materiali:</i>				
Miscela per sementi	Kg	0,04		
Fertilizzanti organici	Kg	0,06		
Collante organico	Kg	0,07		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>1,11 ÷ 1,65</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>2.150 ÷ 3.200</b>

#### 14.1.6 Idrosemina a spessore

**Descrizione sintetica:** realizzazione di un inerbimento su di una superficie piana o inclinata mediante la semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate e idonee al sito e distribuzione di una miscela composta di fieno o paglia e concime, mediante l'uso di irroratrici, esclusa la preparazione del piano di semina.

**Voce di capitolato (da Ministero Ambiente, Linee guida per i capitolati speciali per interventi di Ingegneria Naturalistica e lavori di opere a verde, 1997):** rivestimento di superfici mediante spargimento meccanico di uno o due strati di idrosemina a spessore (*mulch*) da eseguire a mezzo di idrosemnatrice a pressione atta a garantire l'irrorazione a distanza e con diametro degli ugelli tali e tipo di pompa da non lesionare i semi e consentire lo spargimento omogeneo dei materiali.

L'idrosemina a spessore contiene:

- miscela di sementi idonea alle condizioni locali in quantità minima di 30 g/m<sup>2</sup>;
- *mulch*, ovvero fibra organica (paglia, torba bionda, torba scura, cellulosa, sfarinati, ecc.) in quantità opportune (in genere 200 ÷ 500 g/m<sup>2</sup>) da suddividersi in due o più passate;
- collante in qualità e quantità idonea al fissaggio dei semi e del *mulch*, senza inibire la crescita e favorendo il trattenimento dell'acqua nelle fasi iniziali di sviluppo;
- concime organico e/o inorganico;
- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
- altri ammendanti ed inoculi.

La composizione del *mulch* come quella della miscela e la quantità per m<sup>2</sup> sono stabilite in funzione del contesto ambientale ovvero delle condizioni edafiche, microclimatiche e dello stadio vegetazionale di riferimento (in genere si prevedono 30 ÷ 40 g/m<sup>2</sup>), delle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche, pedologi-

che, microclimatiche floristiche e vegetazionali. La provenienza e germinabilità delle sementi e la loro miscelazione con le altre componenti dovranno essere certificate; la miscelazione dovrà avvenire in loco onde evitare fenomeni di stratificazione gravitativa dei semi all'interno della cisterna.

**Campi di applicazione:** adatta per quasi tutte le situazioni. Potendo variare a piacere i componenti della miscela, questa tecnica è idonea a coprire grandi e medie superfici, anche a forte pendenza, terreni grezzi e scarpate con limitata copertura sciolta.

Le ripetute irrorazioni di miscela al fine di formare strati sovrapposti, permette di garantire un'omogenea copertura dell'area da rinverdire, in condizioni di forte pendenza (50° ÷ 60°).

**Modalità di esecuzione:**

- preparazione del letto di semina con eventuale eliminazione dei ciottoli presenti tramite rastrellatura;
- distribuzione del miscuglio di sementi (con idrosemina) di 10 ÷ 50 g/m<sup>2</sup>;
- distribuzione, mediante l'impiego di motopompe montate su di un mezzo mobile, di una miscela composta da più elementi (si veda la voce successiva), effettuata in due o più passate fino a realizzare un rivestimento a spessore pari a 3 ÷ 4 cm; prima di passare alle successive irrorazioni, sarà opportuno aspettare che lo strato sottostante sia asciutto;
- nella seconda passata si spruzzerà solo *mulch* e collante.

**Materiali impiegati:** la miscela è costituita dai seguenti elementi:

- elemento di base costituito da sostanze organiche naturali (torba bionda e torba scura), con aggiunta di *mulch* in fibre di legno in ragione di almeno 250 g/m<sup>2</sup>. Almeno il 20% delle fibre avrà lunghezza di 10 mm;

- stabilizzante per legare le sostanze di base al terreno stesso;
  - fertilizzante organico biologico ed ecologico a lenta cessione (150 g/m<sup>2</sup>);
  - concime minerale naturale a veloce e lenta cessione;
  - fibra biologica a base di pasta di cellulosa neutra atta a formare uno strato fibroso che trattiene il seme ed in grado di aumentare la capacità di assorbimento dell'acqua regolandone la termoevaporazione;
  - collante composto da colloidali argillosi di montmorillonite e poliuronidi derivanti da alghe marine in grado di sciogliersi in acqua e diventare, a contatto con il suolo, gel fisso e quindi resistente all'erosione superficiale; inoltre, aumenta l'attività biologica favorendo l'attecchimento delle piantine con anticipo formando un apparato radicale sano e robusto;
  - composto di fibre naturali di piantine frantumate con l'aggiunta di cascami di cotone finemente macinati formante una coltre organica protettiva.
- Questa funge da ammortizzatore termico in caso di forti escursioni di temperatura e crea un microclima particolarmente favorevole alla germinazione precoce delle piantine; favorisce inoltre lo sviluppo in terreni sterili in microorganismi e quindi la formazione di *humus*;
- acqua in quantità idonea alle diluizioni richieste;
  - altri ammendanti ed inoculi atti a stimolare la radicazione delle sementi e lo sviluppo della microflora del suolo.

**Fattibilità:** è un'idrosemina ricca di materiale organico e *mulch* di fibra di legno, per cui risulta adatta alle situazioni in cui il substrato è particolarmente povero di materiale organico, sassoso, roccioso o costituito da rocce tenere alterate.

In condizione di forte pendenza o sulle terre rinforzate, si miscela della paglia triturrata da aggiungere all'ultimo passaggio per la forma-

zione di una copertura che dovrà avere uno spessore variabile da 2 a 4 cm a seconda della quantità di materiale organico.

**Vantaggi:** questo sistema ha il vantaggio che può essere applicato durante l'intero periodo vegetativo, benché i migliori risultati si ottengono nelle stagioni umide. Inoltre, offre il vantaggio di poter distribuire contemporaneamente sul terreno numerose sostanze essenziali per il successo dell'intervento.

**Interventi collegati:** tutti gli interventi di Ingegneria Naturalistica, sia per il consolidamento dei versanti, che per le difese spondali, recupero di aree degradate e manufatti per infrastrutture, in particolare:

- protezione dall'erosione di sponda;
- protezioni di superfici soggette a movimenti di terra a causa di lavori per la costruzione di opere, di sistemazioni superficiali e riprofilature di scarpate in scavo e in rilevato;
- sistemazione di scarpate e di conoidi;
- recupero ambientale e ripristino naturale di cave e discariche;
- inerbimenti di piste da sci.

**Periodo di intervento:** si opera nel periodo vegetativo che varia in funzione delle caratteristiche climatiche locali.

**Manutenzione e durata dell'opera:** irrigazione, concimazione e sfalcio, se ritenuti essenziali.

**Note:** in terreni molto argillosi si potranno aggiungere 100 g/m<sup>2</sup> di compost.

In terreni molto sassosi si potrà arrivare a quantità di *mulch* di torba pari a 350 g/m<sup>2</sup>, rispettivamente. Nelle terre rinforzate o in condizioni particolarmente difficili a cause di pendenze elevate si aggiungerà un'ulteriore passata con 100 g/m<sup>2</sup> di *mulch* di fibra di legno e 100 g/m<sup>2</sup> di paglia tritata.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.7**.

**Tab. 14.7 - Idrosemina a spessore: analisi dei prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,015		
Operaio comune	Ora	0,015		
<i>b) Noli:</i>				
Idrosemnatrice	Ora	0,01		
<i>c) Materiali:</i>				
Miscela per sementi	Kg	0,04		
Fibra vegetale (paglia, cellulosa)	Kg	0,5		
Fertilizzanti organici	Kg	0,06		
Collante organico	Kg	0,07		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>5,16 ÷ 6,2</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>10.000 ÷ 12.000</b>

### 14.1.7 Supporti antierosivi di fibre naturali e sintetiche nelle semine

**Funzioni:** copertura e completamento su versante.

**Descrizione:** consiste nel rivestimento di versanti mediante reti, feltri, stuoie, griglie, tessuti, ecc. che possono essere di materiale naturale, sintetico e misto.

**Descrizione da voce di capitolato:** rivestimento di scarpate mediante stesura di un biofeltro biodegradabile in fibre miste di paglia, cocco e juta, sisal, cotone, ecc. in percentuali variabili a seconda del prodotto e di grammatura minima di 300 g/m<sup>2</sup>, eventualmente preseminate con minimo 40 g/m<sup>2</sup> di miscela di sementi e/o preconciato con ammendanti migliorativi delle caratteristiche fisico-idrologiche ed organiche; fissaggio dello stesso mediante interro in testa e al piede e picchettature con staffe o picchetti in ferro acciaioso o legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza del biofeltro sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso.

La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici.

Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm.

Tali rivestimenti, se non preseminati, devono essere abbinati ad una semina, con le modalità di cui ai punti precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine, previa opportuna esecuzione di tagli a croce nel rivestimento.

Nel caso di biofeltro preseminato dovrà essere certificata la miscela utilizzata e la provenienza e germinabilità delle sementi.

**Effetto:** rendono possibile e velocizzano l'inerbimento anche di superfici "difficili".

**Campi d'applicazione:** la semina con supporti antierosivi è consigliabile ai fini del rivestimento vegetale (soprattutto per il ripristino della vegetazione erbacea) in caso di pericolo di erosione diffusa, dovuto a condizioni stazionali estreme, per esempio scarpate molto acclivi esposte al vento o povere di suolo. Nel consolidamento di fenomeni franosi queste opere di protezione superficiale contribuiscono alla riduzione, se pur indiretta, delle pressioni neutre all'interno del corpo di frana non solo contenendo l'azione erosiva superficiale esercitata dalle acque meteoriche ma, soprattutto, limitando l'infiltrazione delle stesse all'interno del corpo di frana.

Per quello che riguarda gli interventi di regimazione fluviale se ne prevede l'applicazione su sponde di corsi d'acqua con velocità della corrente non eccessiva e trasporto solido non grossolano.

Pertanto, a meno di non dover contrastare esclusivamente fenomeni erosivi superficiali, sia in interventi su versante che su sponda fluviale, le opere di rivestimento vegetale con l'impiego dei supporti antierosivi devono essere sempre abbinati ad altre tipologie di opera.

Gli interventi di protezione superficiale possono ottenersi per mezzo dell'impiego di tecniche di Ingegneria Naturalistica utilizzando materiali naturali ovvero abbinando materiali naturali con materiali artificiali quali i geosintetici.

**Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:** si prevedono le seguenti verifiche principali basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
  - verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
  - stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio).
  - protezione dall'erosione diffusa e/o incanalata.
- Su pendii con materiale grossolano incoerente e roccia affiorante è necessario effettuare il disaggio del materiale lapideo instabile e, talvolta, ricorrere al l'accoppiamento con reti paramassi. Le resistenze a trazione dei supporti antierosivi variano in funzione del tipo utilizzato (vedere la voce "Materiali impiegati").

**Materiali impiegati:** a proposito dei supporti antierosivi occorre fare alcune precisazioni. In commercio ne esistono di vari tipi, distinguibili sulla base del materiale impiegato per la loro realizzazione, naturale o sintetico, e delle modalità costruttive. Le ditte produttrici ne immettono sul mercato ogni anno nuove varianti; perciò, essendo impossibile in questa sede elencarle tutte, ci limiteremo a menzionare quelle più diffuse.

I supporti a base naturale sono biodegradabili e la loro durata è conseguente alla natura del materiale che li costituisce, maggiore nel caso del legno o del cocco, minore nel caso della paglia. Quelli sintetici sono chiaramente più duraturi, ma non biodegradabili. Le caratteristiche fisiche e meccaniche di ciascun prodotto vengono fornite dalla ditta costruttrice.

In sintesi, si possono distinguere, tra i supporti a base naturale:

- **biostuoie:** materassini costituiti da paglia, cocco o trucioli di legno, contenuti in retine di plastica fotodegradabile oppure di juta; hanno in genere una buona capacità di assorbimento dell'acqua (più bassa per il cocco) e resistenze a trazione generalmente non superiori a 3 ÷ 4 kN/m;
- **biotessili tessuti:** veri e propri tessuti, con trama ed ordito, di fibre naturali come juta, cocco ed agave, le resistenze a trazione sono molto elevate (fino a 40 kN/m), secondo la fibra impiegata e la larghezza delle maglie; la capacità di assorbimento dell'acqua è discreta;

- *biofeltri*: biotessili non tessuti costituiti da fibre naturali anche di diversa natura, tenute insieme tramite agugliatura; assorbimento dell'acqua da medio ad alto, resistenza alla trazione di  $3 \div 4$  kN/m o maggiore qualora rinforzati da biotessili tessuti;
- *bioreti*: simili a tessuti a maglia larga, ma le corde vengono intrecciate ed annodate e quindi non si possono allargare; biodegradabili in tempi lunghi.

Tra i supporti antierosivi sintetici i più ricorrenti sul mercato sono:

- *geostuoie tridimensionali*: costituite da vari tipi di polimeri in filamenti aggrovigliati e termosaldati, che vanno poi saturati di terreno vegetale; non assorbono acqua, se non abbinata a geotessili a base naturale; le resistenze a trazione sono intorno a 5 kN/m;
- *rivestimenti vegetativi*: reti metalliche a doppia torsione o costituite da polimeri, abbinate con biostuoie o costituite tridimensionali; le reti assicurano resistenze alla trazione molto alte, anche superiori a 100 kN/m;
- *geocelle*: strutture alveolari realizzate con strisce di polietilene o geotessile non tessuto. Se costituite da materiale naturale (cocco in genere) prendono il nome di biocelle; la posa sul terreno è lievemente diversa da quella degli altri supporti, poiché vanno ancorate mediante chiodatura dei punti di giunzione dei vari alveoli e conseguentemente saturate di terreno naturale; la resistenza meccanica a trazione delle giunzioni varia da 0,35 ad 1 kN/m.

*Altri materiali necessari:*

- picchetti in legname (può essere utilizzato anche materiale vivo) da utilizzarsi soprattutto come rinforzi all'ancoraggio di monte e di valle; la loro lunghezza deve essere di almeno  $30 \div 40$  cm e  $\varnothing > 3$  cm oppure chiodi in ferro di lunghezza  $30 \div 40$  cm e  $\varnothing 12 \div 16$  mm;
- graffe in ferro acciaioso con forma ad "U" per il fissaggio delle giunzioni e dei bordi;
- terreno vegetale nel caso di geocelle e geostuoie tridimensionali;
- eventualmente piante.

*Modalità di esecuzione:* modellamento e preparazione della scarpata per la regolarizzazione delle asperità naturali del terreno ed eventuale eliminazione di pietre e ramaglia.

Scavo di un solco di  $20 \div 30$  cm di profondità in sommità ed al piede della scarpata da proteggere.

Semina delle specie scelte (è preferibile, per le reti, seminare dopo la posa, oppure sia prima che dopo).

Posa in opera del supporto antierosivo (fornito dalle ditte in rotoli di lunghezza ed altezza variabile) che deve essere inserito nel solco di monte ripiegandolo in doppio strato per almeno 20 cm, e ricoperto con il terreno proveniente dallo scavo. In alcuni casi potranno essere utilizzati dei picchetti in ferro oppure in legno per rinforzare l'ancoraggio.

Il supporto viene poi steso sul pendio lungo la massima pendenza, in maniera da aderire al suolo quanto più possibile, facendo attenzione a non tenderlo troppo ed a garantire una sovrapposizione tra i vari teli contigui minimo di  $10 \div 15$  cm.

Nel caso di protezione spondale le stuoie vanno sovrapposte procedendo controcorrente per evitare che l'acqua s'infiltri fra una stuoia e l'altra. Fissaggio del supporto con picchetti di legno in caso di substrato sciolto oppure ad "U" in ferro acciaioso nel caso di strato roccioso affiorante. I picchetti dovranno essere disposti ad una distanza di circa 1 m l'uno dall'altro, lungo le sovrapposizioni laterali dei teli, sui bordi esterni e nei punti dove cambia la pendenza della scarpata per mantenere l'aderenza del supporto al terreno. In caso di pendenze elevate, oppure di superfici con asperità, la densità dei picchetti viene aumentata ed estesa anche all'interno del singolo telo (pendenza "p" della scarpata  $p < 20 \div 30^\circ$  un picchetto per  $m^2$ ,  $p \geq 20 \div 30^\circ$  da  $2 \div 3$  picchetti per  $m^2$  anche in funzione della consistenza del substrato). Ancoraggio alla base del supporto mediante inserimento dello stesso nel solco precedentemente scavato a valle, con le stesse modalità dell'ancoraggio di monte. Eventuale semina sopra il supporto antierosivo. È anche possibile la messa a dimora di piantine su di un versante rivestito, dopo aver fatto dei tagli a croce nel telo ed avendo cura di fissare nuovamente i lembi residui.

*Accorgimenti:* particolare attenzione deve essere posta nelle seguenti operazioni: preparare la superficie, picchettare il supporto a monte ed a valle con formazione delle risvolte, sovrapporre lateralmente i teli, picchettandoli, e mantenere l'aderenza del supporto antierosivo al suolo. In commercio esistono anche vari supporti antierosivi preseminati. Il loro impiego non garantisce comunque sempre gli stessi risultati che si avrebbero con una semina "mirata" alle caratteristiche stagionali. In questi casi dovranno inoltre essere certificate le miscele utilizzate e la loro provenienza e germinabilità delle sementi, nonché la grammatura (rapporto peso/superficie) del supporto. Se la semina viene eseguita successivamente alla posa del supporto antierosivo, è necessario ricordarsi d'intervenire con supporto asciutto, affinché il seme possa penetrare sotto al supporto stesso.

*Vantaggi:*

- per tutte le tipologie di supporto: immediatamente dopo la posa in opera i supporti esercitano un'azione protettiva nei confronti della perdita di suolo e di semi dovuta all'azione della pioggia e del vento;
- nel caso di supporti a base naturale: sono biodegradabili (non inquinanti) e decomponendosi incrementano la fertilità del terreno; nel caso di scarpate assai soleggiate, dove possono essere raggiunte temperature molto ele-

vate, sono utili inoltre per l'azione ombreggiante e di ritenzione idrica;

- nel caso di supporti a base sintetica: hanno una durata molto elevata nel tempo, le reti metalliche a doppia torsione, in particolare, esercitano anche una certa funzione strutturale di contenimento, per esempio quando si deve riportare uno spessore di terreno sciolto su una superficie rocciosa.

#### *Svantaggi:*

- per tutte le tipologie di supporto: le variabili da considerare nella scelta di un supporto antierosivo sono molte e di diversa natura (climatica, pedologica, morfologica, economica), nonché legate alle sollecitazioni meccaniche delle forze esterne. Non esistono ancora studi approfonditi che possano fornire regole per la scelta da adottare e bisogna basarsi molto sull'esperienza. In tutti i casi gli interventi preparatori alla messa in opera del supporto sono piuttosto lunghi, e specialmente nel caso di opere di difesa spondale, i supporti devono essere fissati a regola d'arte, in modo da non essere asportati dalla piena insieme alla sistemazione viva;
- nel caso di supporti a base naturale: sono poco duraturi e le resistenze a trazione sono in genere molto basse, quindi sono anche più delicati nelle fasi di posa in opera;
- nel caso di supporti a base sintetica: non si decompongono e quindi costituiscono un elemento estraneo a rivestimento vegetale avvenuto. Alcuni tipi, in particolari situazioni, per il troppo ombreggiamento o, viceversa, per il troppo assorbimento della radiazione solare, possono "soffocare" la nascita delle piante.

*Periodo di intervento:* preferibilmente durante il periodo di ripresa della vegetazione (periodo idoneo per le semine). Per l'eventuale posa di piante è consigliabile operare durante il riposo vegetativo.

*Manutenzione:* concimazione e irrigazione soprattutto durante la prima estate dopo la semina.

*Analisi prezzi:* vediamo qualche esempio di analisi prezzi per alcune biostuoie in fibra vegetale, con voci di capitolato relative.

1) *Biostuoia in paglia:* rivestimento di scarpate mediante stesura di una biostuoia in paglia di grammatura minima 300 g/m<sup>2</sup>, montata su supporto in rete fotossidabile e biodegradabile di maglia minima 1x1 cm o su carta cucita con filo sintetico biodegradabile o in fibra vegetale, eventualmente preseminata con minimo 40 g/m<sup>2</sup> di miscela di sementi, e fissaggio dello stesso mediante interro in testa ed al piede e picchettatura con staffe o picchetti in ferro acciaio o legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della biostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Tali rivestimenti, se non preseminati, devono essere abbinati ad una semina, con le modalità di cui agli articoli precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine. Nel caso di biostuoia preseminata dovrà essere certificata la miscela utilizzata e la provenienza e germinabilità delle sementi (tab. 14.8).

2) *Biostuoia in cocco:* rivestimento di scarpate mediante stesura di una biostuoia biodegradabile in fibra di cocco, di grammatura minima 300 g/m<sup>2</sup>, montata su un supporto in rete sintetica fotossidabile e biodegradabile di maglia minima 1x1 cm o su carta cucita con filo sintetico biodegradabile o in fibra vegetale, eventualmente preseminato con mini-

**Tab. 14.8 - Biostuoia in paglia: analisi dei prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,1		
Operaio comune	Ora	0,1		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
<i>c) Materiali:</i>				
Biostuoia in cocco	m <sup>2</sup>	1		
Picchetti o staffe acciaio a.m. D14 mm, L 1,2m	Kg	1,4		
Semina	m <sup>2</sup>	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>5,16 ÷ 6,2</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>10.000 ÷ 12.000</b>

mo 40 g/m<sup>2</sup> di miscela di sementi, e fissaggio dello stesso mediante interro in testa ed al piede e picchettature con staffe o picchetti in ferro acciaioso o legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della biostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Tali rivestimenti, se non preseminati, devono essere abbinati ad una semina, con le modalità di cui agli articoli precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine. Nel caso di biostuoia preseminata dovrà essere certificata la miscela utilizzata e la provenienza e germinabilità delle sementi (tab. 14.9).

- 3) *Biostuoia in cocco e paglia*: rivestimento di scarpate mediante la stesura di una biostuoia biodegradabile in fibre miste di paglia e cocco, in percentuali variabili a seconda del prodotto con quantitativo in paglia non inferiore al 40% e di grammatura complessiva non in-

feriore a 300 g/m<sup>2</sup>, eventualmente preseminata con minimo 40 g/m<sup>2</sup> di miscela di sementi e/o preconcimata con ammendanti migliorativi delle caratteristiche fisico-idrologiche ed organiche; fissaggio della stessa mediante interro in testa e al piede e picchettature con staffe o picchetti in ferro acciaioso o legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della biostuoia sino ad accrescimento del cotico erboso (figg. 14.2-14.3). La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm.

Tali rivestimenti, se non preseminati, devono essere abbinati ad una semina, con le modalità di cui ai punti precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine, previa opportuna esecuzione di tagli a croce nel rivestimento. Nel caso di biostuoia preseminata dovrà essere certificata la miscela utilizzata e la provenienza e germinabilità delle sementi (tab. 14.10).

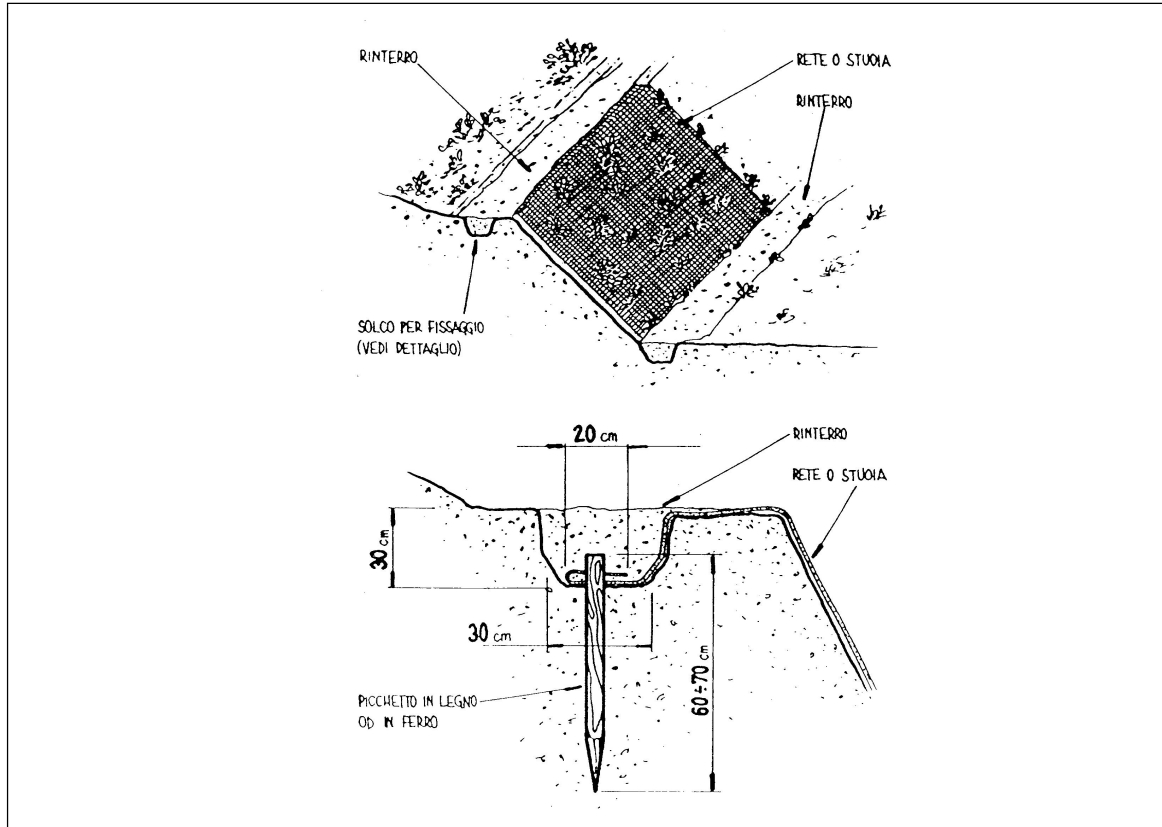
Tab. 14.9 - *Biostuoia in cocco: analisi dei prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,1		
Operaio comune	Ora	0,1		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
<i>c) Materiali:</i>				
Biostuoia in cocco	m <sup>2</sup>	1		
Picchetti o staffe acciaio a.m. D14 mm, L 1,2m	Kg	1,4		
Semina	m <sup>2</sup>	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	6,97 ÷ 7,75
			£/m <sup>2</sup>	13.500 ÷ 15.000

Tab. 14.10 - *Biostuoia in cocco e paglia: analisi dei prezzi*

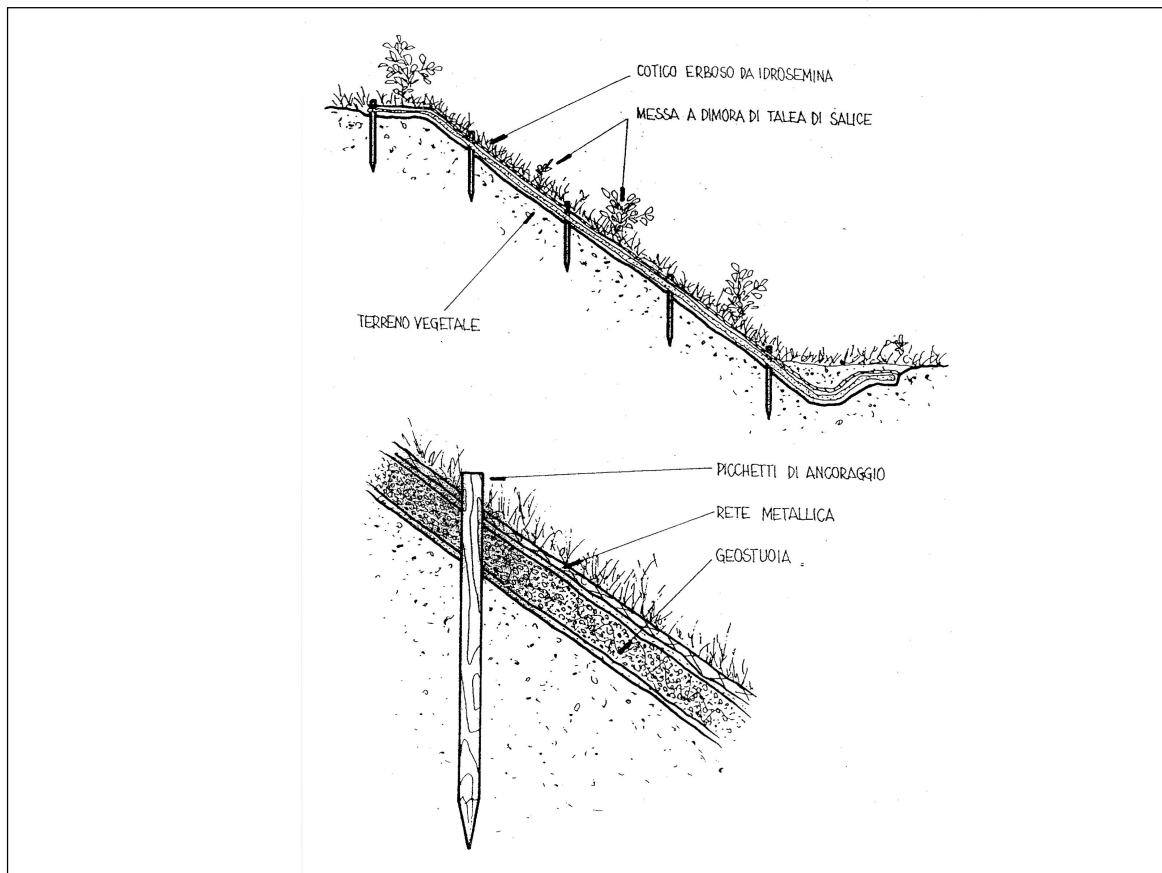
Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,08		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
<i>c) Materiali:</i>				
Rete in fibra naturale di juta	m <sup>2</sup>	1		
Picchetti acciaio e staffe	Kg	1,4		
Semina	m <sup>2</sup>	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	6,46 ÷ 7,75
			£/m <sup>2</sup>	12.500 ÷ 15.000

Fig. 14.2 - Biostuoia in cocco e paglia



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

Fig. 14.3 - Biostuoia in cocco e paglia



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

## 14.1.8 Biotessile in juta (geojuta)

**Descrizione sintetica:** posa in opera di rete in fibra naturale (juta) a funzione antierosiva, fissata al terreno con picchetti di legno recuperati sul posto, previa semina di un miscuglio di sementi di specie erbacee selezionate ed idonee al sito, con relativa concimazione (fig. 14.4).

**Voce di capitolato:** rivestimento di scarpate mediante stesura di un biotessile biodegradabile in juta, a maglia aperta di minimo 1 x 1 cm, peso non inferiore a 250 g/m<sup>2</sup> e fissaggio della stessa mediante interro in testa e al piede e picchettature con staffe o picchetti in ferro acciaioso o in legno, in quantità e di qualità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della stuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. La posa del rivestimento dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Tali rivestimenti devono essere sempre abbinati ad una semina, con le modalità di cui ai punti precedenti, e possono essere seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone, corredate da certificazione di origine, previa opportuna esecuzione di tagli a croce nel rivestimento.

**Campi di applicazione:** scarpate, sponde fluviali e lacustri, anche irregolari ma con substrato terroso in superficie.

Applicabilità della tecnica in funzione idraulica, statica, naturalistica:

- sponde di corsi d'acqua a bassa pendenza e velocità della corrente, su substrati denudati o di neoformazione.

**Materiali impiegati:**

- stuoie biodegradabili in juta, maglia 1 x 1 cm, peso non inferiore a 250 gr/m<sup>2</sup>;

- staffe o picchetti in ferro acciaioso piegati a U Ø 8 ÷ 12 mm, L = 20 ÷ 40 cm o in legno L = 50 ÷ 70 cm;
- miscela di sementi.

**Modalità di esecuzione:**

- regolarizzazione della scarpata mediante allontanamento di eventuali apparati radicali ed eliminazione di avvallamenti e piccoli dossi (irregolarità superficiali);
- semina;
- formazione di un solco di 20 ÷ 30 cm a monte della scarpata;
- posizionamento di un'estremità della stuoia all'interno del solco, fissaggio con staffe e copertura del solco con il terreno;
- stesura della stuoia lungo la scarpata e sovrapposizione dei teli contigui di almeno 10 cm;
- fissaggio della stuoia con staffe a "U" o picchetti o talee lungo le sovrapposizioni dei vari teli utilizzati e al centro della stessa. La densità dei picchetti aumenta all'aumentare della pendenza della scarpata:
  - < 20 ÷ 30°, 1 picchetto per m<sup>2</sup>;
  - ≥ 20 ÷ 30°, 2 ÷ 3 picchetti per m<sup>2</sup> ed è in funzione della consistenza del substrato;
- ricopertura dei bordi e fissaggio della stuoia al piede della scarpata;
- messa a dimora di arbusti mediante taglio a "L" della stuoia o allargamento delle maglie;
- eventuale semina di rincalzo, concime e irrigazione.

**Prescrizioni:** qualora si intenda abbinare la messa a dimora di arbusti autoctoni, è necessario intervenire sulla stuoia stesa con un taglio a croce o a "L" che consenta la formazione dello scavo per la messa a dimora della pianta. Le stuoie fino alla messa in opera devono essere conservate in ambiente idoneo, onde evitare l'umidità e l'imbibizione di acqua.

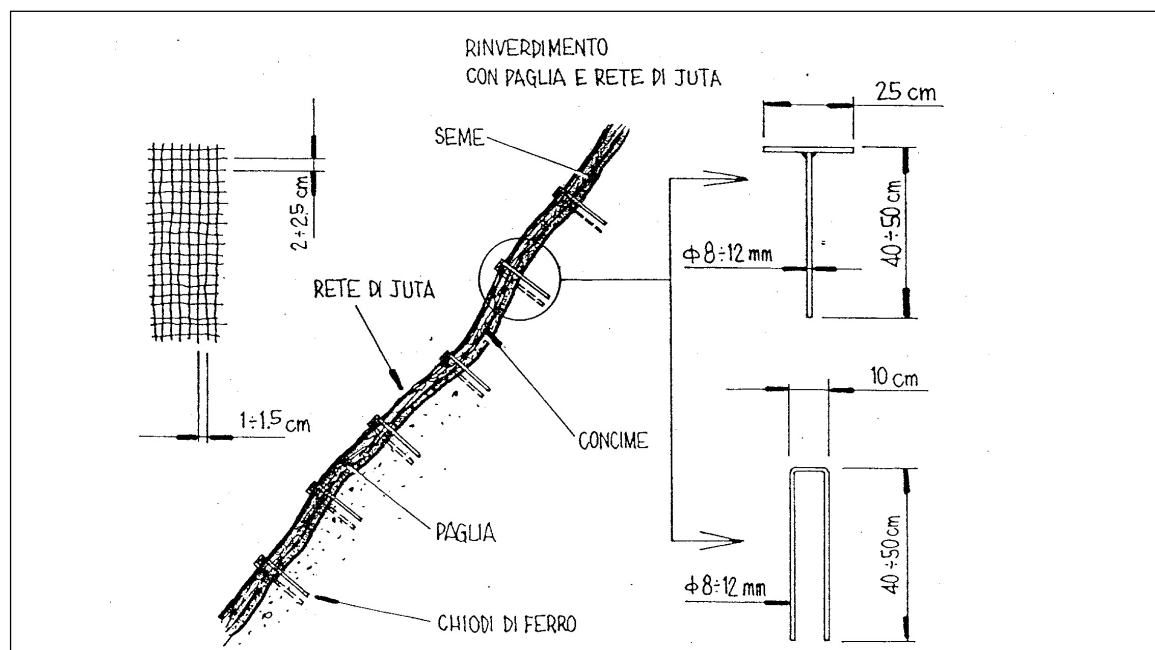
Qualora la stuoia venga impiegata lungo sponde di corsi d'acqua, è necessario che la posa in

**Tab. 14.11 - Biotessile in juta: analisi dei prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,08		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
<i>c) Materiali:</i>				
Rete in fibra naturale di juta	m <sup>2</sup>	1		
Picchetti acciaio e staffe	Kg	1,4		
Semina	m <sup>2</sup>	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>6,46 ÷ 7,75</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>12.500 ÷ 15.000</b>



Fig. 14.4 - Biotessile in juta



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

opera avvenga procedendo nel senso contrario alla corrente, per evitare infiltrazioni d'acqua tra una stuoia e l'altra.

**Limiti di applicabilità:** scarpate a forte pendenza, substrati aridi e a eccessivo drenaggio, scarpate in roccia, sponde con forti sollecitazioni della corrente.

**Vantaggi:** protezione immediata della superficie, facilità d'impiego e completa degradazione della stuoia. L'acqua s'infiltra, ma non ristagna.

**Svantaggi:** scarsa durata (1 o 2), scarsa resistenza a sollecitazioni (idraulica, caduta massi, debris flow).

**Effetto:** protezione immediata della superficie.

Le maglie della stuoia consentono alle piante di crescere, assicurando in tal modo la protezione della superficie anche una volta che la stuoia ha subito completa degradazione.

Il materiale sottostante la stuoia viene trattenuto, impedendone così il rotolamento verso valle.

**Periodo di intervento:** le stuoie non preseminate possono essere posizionate in qualsiasi periodo dell'anno.

Qualora vi siano abbinati semine e piantagioni i periodi di riferimento sono quelli primaverili-autunnali. Sono da evitare i periodi di gelo invernale e aridità estiva.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.11**.

#### 14.1.9 Geocelle a nido d'ape in materiale sintetico (tipo Armater)

**Descrizione sintetica:** Armater è una struttura tessile tridimensionale costituita da strisce di geotessile cucite tra di loro in modo tale da formare una serie di alveoli di forma esagonale (figg. 14.5-14.6).

**Voce di capitolato:** protezione di scarpate in terra mediante struttura sintetica a geocelle a nido d'ape costituita da strisce di altezza da 10 a 20 cm apribili a fisarmonica e collegate tra loro a formare una struttura tridimensionale a celle circa esagonali. La posa delle geocelle dovrà avvenire su scarpate stabili precedentemente regolarizzate e liberate da radici, pietre, ecc. I pannelli andranno fissati in trincea in sommità con picchetti di ferro acciaioso sagomati ad "U" e lunghezza 40 ÷ 50 cm in quantità minima di 1 ogni 2 celle. Ulteriori ancoraggi saranno effettuati lungo il pendio in ragione di almeno due ancoraggi/m<sup>2</sup>. Effettuate la posa si procederà al completo riempimento con terreno vegetale e quindi alla semina con le modalità di cui ai punti precedenti. Tale rivestimento va di regola abbinato con la messa a dimora di specie arbustive autoctone in zolla corredate da certificazione di origine o per talea con prelievo in loco dal selvatico.

**Campi di applicazione:** Armater viene utilizzato per pavimentazioni stradali bianche o in blocchi naturali o artificiali, in discariche con diverse funzioni di drenaggio, consolidamento delle fondazioni e protezione. È inoltre impiegato su scarpate a forte pendenza per il controllo dell'erosione.

**Materiali impiegati:**

- geotessile di base non tessuto in filamenti continui di poliestere parzialmente trattato con una resina;
- pannello a struttura alveolare, avente dimensioni di circa 150 m<sup>2</sup>;
- materiale sciolto di qualsiasi natura.

Le notevoli dimensioni di ogni pannello dopo la sua apertura sul terreno.

**Modalità di esecuzione:** il geotessile di base viene parzialmente trattato con una resina, in modo da ottenere una certa rigidità, e poi riempito con materiale sciolto di qualsiasi natura. Le fasi possono essere così sintetizzate:

- preparazione del piano di posa, su cui intervenire con il geotessile;
- apertura e stesura del singolo elemento alveolare;
- ancoraggio della struttura cellulare alla sommità del piano di posa;
- picchettamento intermedio: 1 picchetto ogni 2 ÷ 3 m<sup>2</sup>;
- collegamento tra gli elementi alveolari per fissare i diversi moduli;
- riempimento della struttura con terreno secondo un certo ordine (prima la sommità, poi la base e a procedere dal basso verso l'alto, fino a raggiungere la sommità del piano di posa).

**Vantaggi:** la posa in opera di Armater è poco onerosa, grazie alle notevoli dimensioni di ogni pannello, dopo la loro apertura sul terreno.

Sui versanti: diminuzione del ruscellamento superficiale del terreno e controllo dell'infiltrazione di acqua, grazie alla particolare struttura alveolare del geotessile.

Per le pavimentazioni stradali: riduzioni delle

deformazioni su fondazioni e pavimentazioni stradali, per opera di un'omogenea distribuzione interna degli sforzi nello strato di fondazione. Nelle discariche, Armater permette:

- **drenaggio:** la raccolta e l'evacuazione rapida di acqua e gas da decomposizione;
- **consolidamento:** l'azione di confinamento di uno strato del terreno di fondazione, cambiando la ripartizione interna degli sforzi e migliorando la stabilità della fondazione;
- **antipunzonamento:** si evita qualsiasi contatto con la geomembrana, escludendo quindi ogni pericolo di danneggiamento; inoltre, avendo una propria resistenza a trazione (che si può migliorare con un rinforzo di rete metallica) si diminuiscono enormemente gli sforzi di trazione che sono trasmessi dai rifiuti sulla geomembrana;
- **protezione da danneggiamento** da cause accidentali o vandalismo;
- **inerbimento del "capping":** la struttura Armater consente un facile inerbimento dello strato di terreno esterno evitando lo scivolamento. L'abbinamento con una rete metallica a doppia torsione di base, consente di aumentare la resistenza a trazione della struttura e di garantire l'immorsatura sulla sommità della discarica, escludendo qualsiasi ancoraggio iniziale o intermedio.

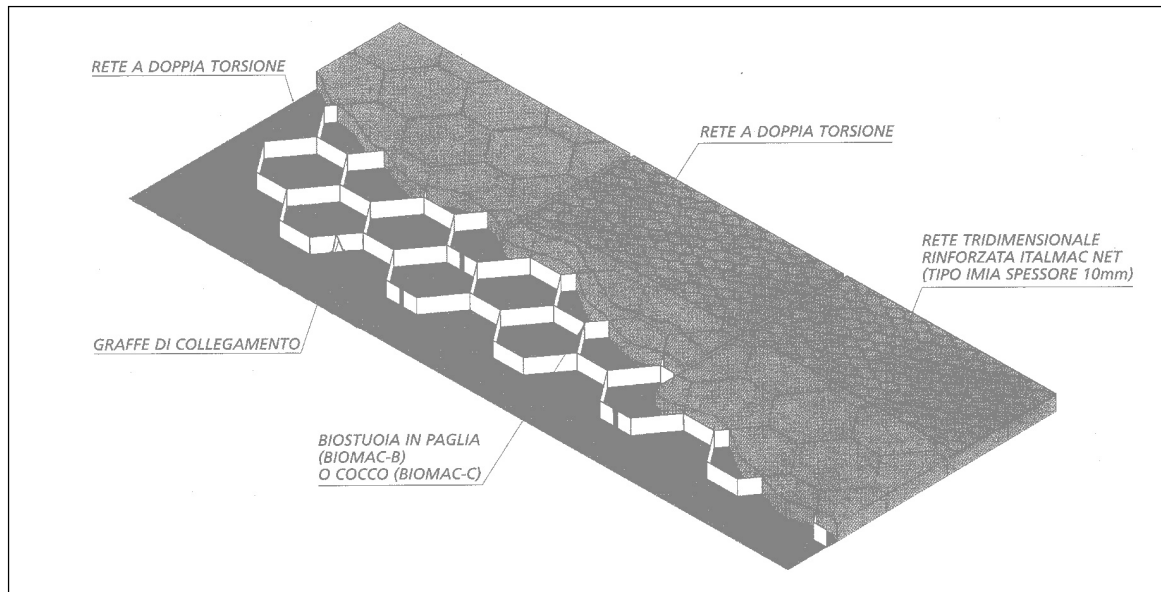
**Svantaggi:** il comportamento plastico della struttura richiede necessariamente l'abbinamento con un geotessile di base che ha funzione di separatore per possibile contaminazione dello strato di fondazione da parte del terreno in sito, qualora questo sia a matrice molto fine (terreni limoso-argillosi).

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.12**.

**Tab. 14.12 - Geocelle a nido d'ape in materiale sintetico (tipo Armater): analisi dei prezzi**

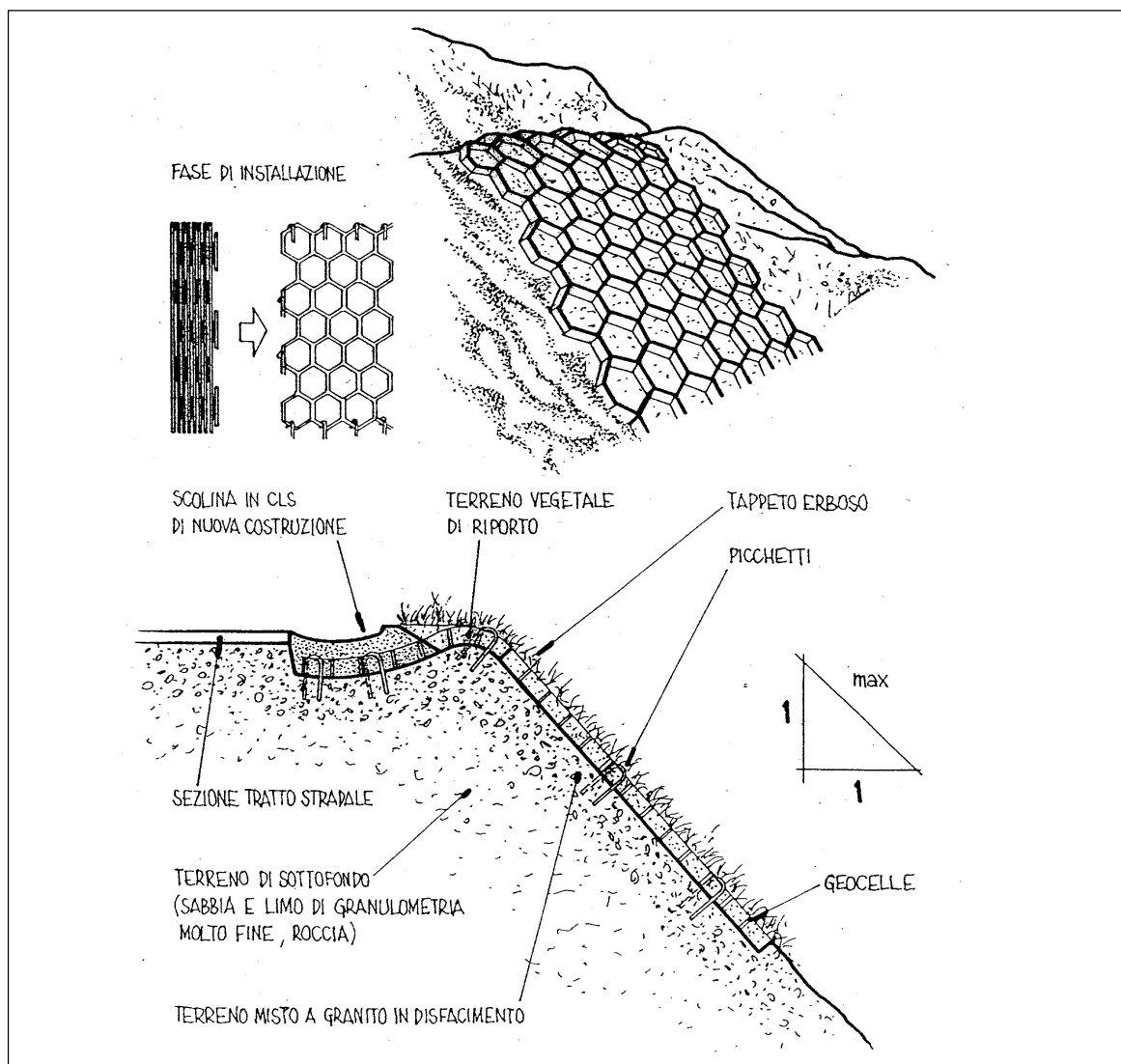
Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,10		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,01		
Escavatore	Ora	0,05		
<i>c) Materiali:</i>				
Geocelle a nido d'ape h 10 cm	m <sup>2</sup>	1		
Picchetti acciaio e staffe	Kg	1,4		
Terreno vegetale	m <sup>3</sup>	0,1		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
Arbusti	Unità	0,5		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>25,82 ÷ 28,41</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>50.000 ÷ 55.000</b>

Fig. 14.5 - Modulo di pannello tipo Armater



Fonte: Maccaferri spa, 1999.

Fig. 14.6 - Geocelle a nido d'ape (tipo Armater)



Fonte: Schede Armater in "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

### 14.1.10 Geostuoia tridimensionale materiale sintetico

**Descrizione sintetica:** stuoia tridimensionale costituita da filamenti sintetici aggrovigliati in modo da trattenere le particelle di materiale inerte terroso. Tale stuoia viene impiegata per il rivestimento di sponde e versanti soggetti ad erosione superficiale. La stuoia viene assicurata al terreno mediante l'infissione di picchetti ed interrata in solchi appositamente approntati sia a monte che a valle del versante. La stuoia deve essere abbinata ad un intasamento con materiale inerte terroso e a semina o idrosemina. Possono essere messe a dimora anche specie arbustive autoctone (fig. 14.7).

**Voce di capitolato:**

- nylon;
- polipropilene;
- polietilene;
- polietilene ad alta densità.

Rivestimento di scarpate mediante stesura di geostuoia tridimensionale in materiale sintetico (nylon, polipropilene, polietilene e polietilene ad alta densità a seconda del prodotto) di spessore minimo 8 mm e grado di vuoto non inferiore al 90%; fissaggio della stesura mediante interro alle estremità in apposito solco per almeno 50 cm e picchettature con staffe o picchetti in ferro o legno in quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della geostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. Nei casi di stesura per fasce parallele dovrà essere garantita la continuità mediante sormonti laterali di almeno 10 cm. Tali rivestimenti devono essere sempre abbinati ad un intasamento con uno strato di terreno vegetale e ad una semina, con le modalità di cui ai punti precedenti, e possono essere

seguiti dalla messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine, previa opportuna esecuzione di tagli a croce nel rivestimento.

**Campi di applicazione:** versanti soggetti ad erosione superficiale.

**Materiali impiegati:**

- geostuoia sintetica tridimensionale di nylon, polipropilene, polietilene e polietilene ad alta densità di spessore min 1 cm;
- picchetti in ferro o staffe metalliche Ø min 8 mm;
- inerte terroso;
- sementi;
- arbusti o talee di salice.

**Modalità di esecuzione:**

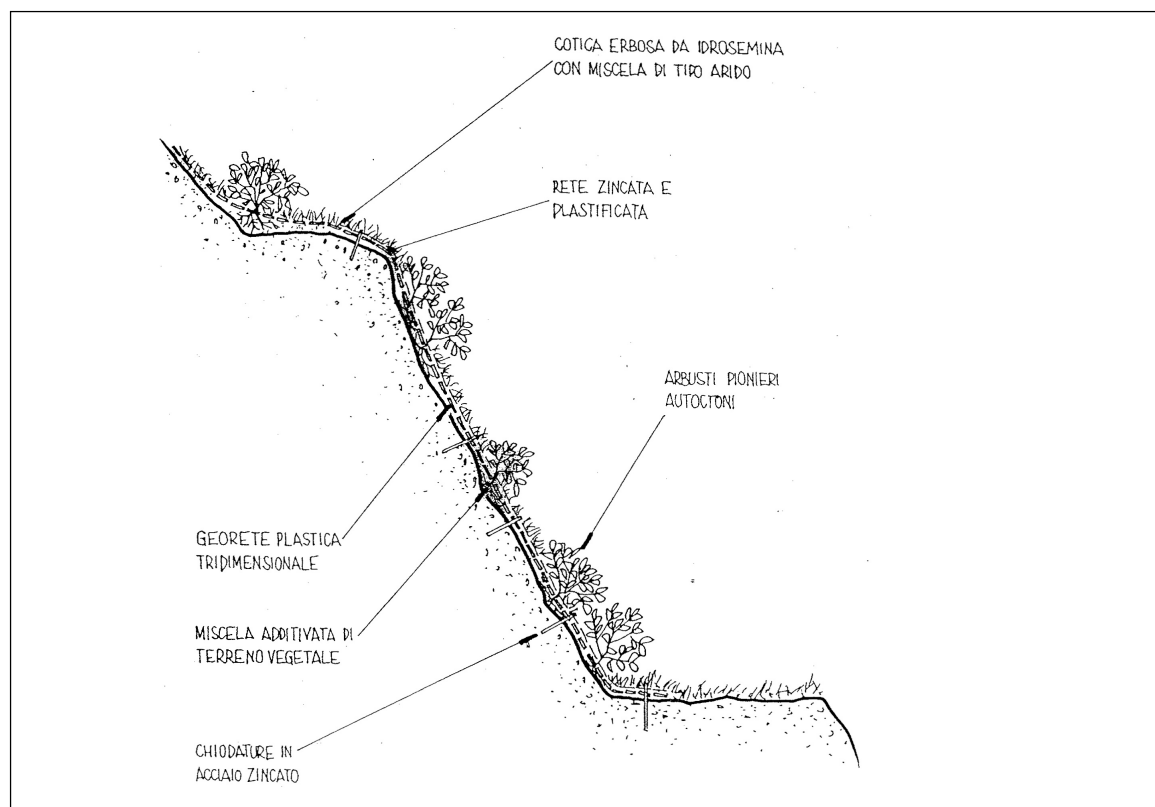
- preparazione del versante con allontanamento del materiale più grossolano, ramaglia e radici in modo da ottenere una superficie il più regolare possibile;
- formazione di un solco di almeno 30 cm di profondità nel quale porre il lembo ripiegato della geostuoia, assicurata con staffe metalliche e ricoprimento del solco stesso con il terreno proveniente dallo scavo;
- stesura della geostuoia lungo il versante, assicurandosi che la stessa sia a contatto con il terreno sottostante, senza essere troppo tesa;
- picchettatura della geostuoia al versante con picchetti in quantità dipendente dalla pendenza del versante (da 1 a 3 picchetti o staffe per m<sup>2</sup>);
- intasamento con inerte terroso;
- semina;
- messa a dimora di arbusti o talee di salice, previa formazione di taglio a croce sulla geostuoia.

**Analisi prezzi:** si veda la tabella 14.13.

**Tab. 14.13 - Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico: analisi dei prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,10		
Operaio comune	Ora	0,10		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
Escavatore	Ora			
<i>c) Materiali:</i>				
Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico	m <sup>2</sup>	1		
Terreno vegetale	m <sup>3</sup>	0,02		
Picchetti o staffe acciaio	Kg	1,4		
Semina	m <sup>2</sup>	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>12,92 ÷ 15,49</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>25.000 ÷ 30.000</b>

Fig. 14.7 - Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

#### 14.1.11 Geostuoia (o georete) tridimensionale in materiale sintetico bitumato in opera a freddo

**Descrizione sintetica:** materiale sintetico impiegato per il rivestimento di superfici a contatto con l'acqua.

La geostuoia è costituita da materiale sintetico tridimensionale, con spessore minimo di 18 mm e resistente alla trazione. Il fissaggio alla scarpata avviene mediante l'infissione di staffe o picchetti. Viene abbinato all'intasamento con ghiaio, alla bitumazione e alla semina (fig. 14.8).

**Voce di capitolato:**

- nylon;
- polipropilene;
- polietilene;
- polietilene ad alta densità.

Rivestimento di superfici generalmente a contatto con l'acqua (canalette, fossi di guardia, sponde di canali e corsi d'acqua, ecc.) mediante stesura di geostuoia tridimensionale in materiale sintetico (nylon, polipropilene, polietilene e polietilene ad alta densità a seconda del prodotto) di almeno 18 mm di spessore, resistenza a trazione non inferiore a 2,0 kN/m e grado di vuoto non inferiore al 90%; fissaggio della stessa mediante interro alle estremità in apposito solco per almeno 50 cm e picchettature con staffe metalliche di diametro minimo 8 mm, in quantità tali da garantire la stabi-

lità e l'aderenza della geostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. Dovrà essere accurato il fissaggio di eventuali fasce parallele di georete tenendo conto in particolare della direzione del flusso.

Tale rivestimento sarà intasato con uno spessore di ghiaio e bitumato a freddo in almeno due passate ghiaia/bitume alternate con peso complessivo non inferiore a 15 kg/m<sup>2</sup> e dovrà sempre essere abbinato ad una semina in doppia passata, che preceda e segua l'intasamento e la bitumazione, con le modalità di cui ai punti precedenti.

Possono essere eseguiti, a posteriori, dei tagli a croce per la messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine.

**Campi di applicazione:** superfici generalmente a contatto con l'acqua, quali canalette, fossi di guardia, sponde di canali e di corsi d'acqua.

**Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica:** corsi d'acqua a bassa pendenza, bassa velocità, basso trasporto solido e substrato a granulometria fine.

**Materiali impiegati:**

- geostuoia tridimensionale in materiale sintetico: nylon, polipropilene, polietilene ad alta densità. Spessore minimo 18 mm, resistente alla trazione non inferiore a 2 kN/m, grado di vuoto non inferiore al 90%;

- staffe metalliche Ø min 8 mm;
- ghiaio per intasamento;
- bitume;
- miscela di sementi.

**Modalità di esecuzione:**

- riprofilatura del terreno con asportazione di eventuali apparati radicali ed eliminazione delle irregolarità superficiali, in modo da assicurare l'aderenza della geostuoia;
- formazione di un solco di almeno 50 cm a monte della scarpata;
- semina a spaglio;
- stesura della geostuoia all'interno del solco e suo fissaggio con staffe metalliche;
- copertura del solco;
- stesura della geostuoia lungo la scarpata e fissaggio con staffe in quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della geostuoia;
- riempimento con ghiaio;
- bitumatura a freddo che legni i singoli elementi mantenendo una porosità sufficiente per permettere l'attecchimento e lo sviluppo delle specie vegetali;
- risemina a spaglio o idrosemina.

**Prescrizioni:**

- i sormonti laterali dovranno essere di almeno 10 cm;
- la stesura e il fissaggio della georete deve tenere conto della direzione del flusso dell'acqua, onde evitare lo scalzamento della georete per l'infiltrazione dell'acqua;
- qualora la stuoia venga impiegata lungo le

sponde dei corsi d'acqua è necessario che la posa in opera avvenga procedendo nel senso contrario alla corrente (in tal modo i sormonti sono automaticamente posizionati ad evitare infiltrazioni d'acqua tra una stuoia e l'altra).

**Vantaggi:** copertura immediata della superficie.

**Svantaggi:** costi elevati.

**Effetti:** effetto stabilizzante, funzionale e visivo immediati.

**Periodo di intervento:** stesura della georete e bitumatura possono essere eseguite in qualsiasi periodo dell'anno.

Le semine dovranno essere effettuate dalla primavera all'autunno con esclusione dei periodi di siccità; l'eventuale messa a dimora di specie arbustive dovrà avvenire durante il periodo di riposo vegetativo con esclusione dei periodi di gelo invernale.

**Possibili errori:**

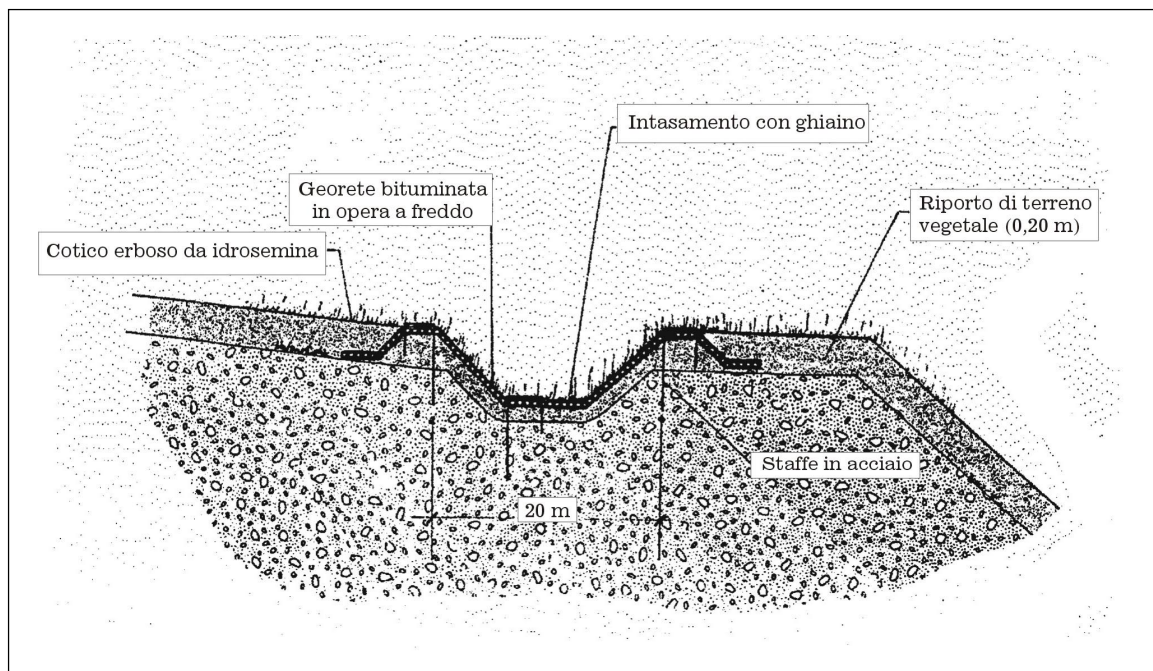
- insufficiente fissaggio con staffe della georete al substrato, evidente nei casi di eventi meteorici eccezionali;
- insufficiente o assente risvolto e fissaggio della georete nel solco a monte e avalle della scarpata;
- eccesso di bitumatura.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.14**.

**Tab. 14.14 - Geostuoia bitumata a freddo: analisi dei prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,25		
Operaio comune	Ora	0,50		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,02		
Escavatore	Ora	0,02		
Pompa irroratrice	Ora	0,01		
<i>c) Materiali:</i>				
Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico	m <sup>2</sup>	1		
Sfridi	%	55		
Ghiaio	Kg	20		
Bitume	Kg	1,5		
Picchetti o staffe acciaio	Kg	1,4		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>27,89 ÷ 33,57</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>54.000 ÷ 65.000</b>

Fig. 14.8 - Esempio di geostuoia bitumata a freddo, in sezione



#### 14.1.12 Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebitumata industrialmente a caldo

**Descrizione sintetica:** materiale sintetico impiegato per il rivestimento di superfici a contatto con l'acqua. La geostuoia è costituita di materiale sintetico tridimensionale, con spessore minimo di 18 mm e resistente alla trazione. La geostuoia viene bitumata industrialmente. Il fissaggio alla scarpata avviene mediante l'infissione di stave o picchetti. Vengono abbinate a semina e messa a dimora di arbusti (fig. 14.9).

**Voce di capitolato:** rivestimento di superfici spondali con lavorazione in presenza d'acqua (canalette, fossi di guardia, canali e corsi d'acqua) mediante stesura di geostuoia tridimensionale in materiale sintetico (nylon) di almeno 18 mm di spessore; la geostuoia avente resistenza a trazione non inferiore a 2,5 kN/m, temperatura di fusione non inferiore a 215 °C intasata industrialmente a caldo con una miscela permeabile pietrisco-bitume-additivi dovrà avere una permeabilità sotto battente idraulico di 10 cm non inferiore a  $10^{-2}$  m/s ed un peso complessivo non inferiore a 20 kg/m<sup>2</sup>; fissaggio della stessa mediante interro alle estremità in apposito solco per almeno 50 cm e picchettature con stave metalliche di diametro opportuno ed in quantità tali da garantire stabilità ed aderenza della geostuoia sino ad accrescimento avvenuto del cotico erboso. Tale rivestimento deve essere sempre abbinato ad una semina, che precede la stesura della geostuoia, di minimo 40 g/m<sup>2</sup> di semente con le modalità di cui ai punti precedenti. Una idrosemina a spessore di rincalzo dovrà essere eseguita an-

che sopra la georete ove la prima semina sia avvenuta in periodo stagionale sfavorevole. Possono inoltre essere eseguiti, a posteriori, dei tagli a croce per la messa a dimora di specie arbustive autoctone corredate da certificazione di origine. Dovrà essere accurato il fissaggio di eventuali fasce parallele di georete, in particolare tenendo conto della direzione del flusso.

**Campi di applicazione:** superfici generalmente a contatto con l'acqua, quali canalette, fossi di guardia, sponde di canali e di corsi d'acqua.

**Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica:** corsi d'acqua a bassa pendenza, bassa velocità, basso trasporto solido e substrato a granulometria fine.

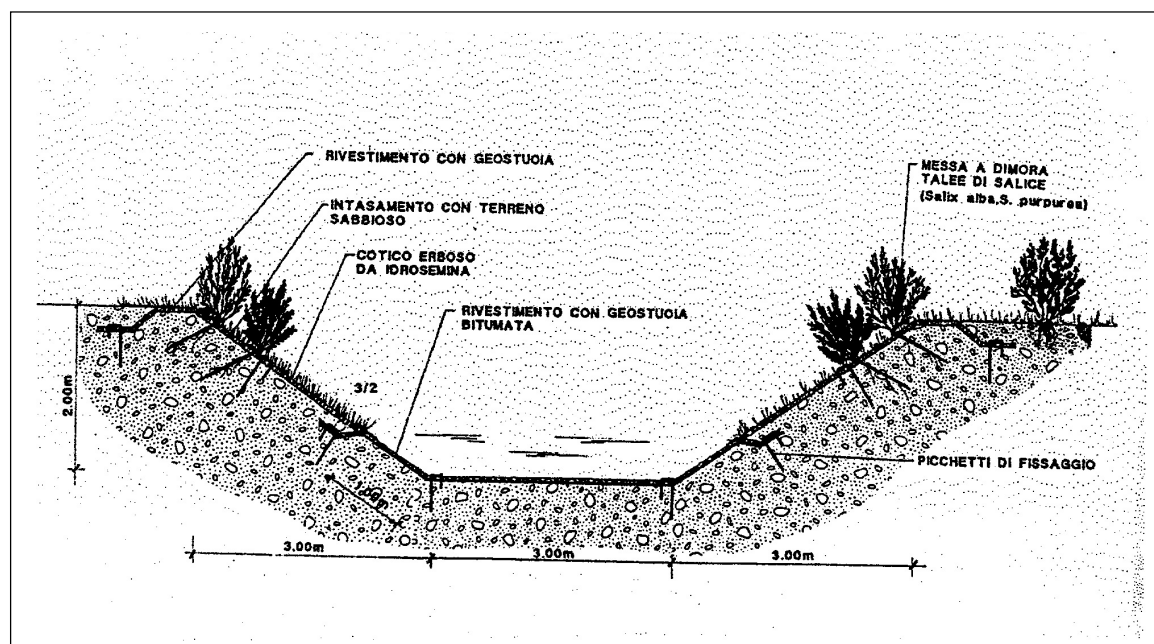
#### Materiali impiegati:

- geostuoia tridimensionale in materiale sintetico: nylon, polipropilene, polietilene ad alta densità. Spessore minimo di 18 mm, resistente alla trazione non inferiore a 2,5 kN/m, temperatura di fusione non inferiore a 215 °C, intasata industrialmente a caldo con una miscela permeabile pietrisco/bitume/additivi;
- stave metalliche Ø 8 mm minimo;
- miscela di sementi.

#### Modalità di esecuzione:

- riprofilatura del terreno con asportazione di eventuali apparati radicali ed eliminazione delle irregolarità superficiali, in modo da assicurare l'aderenza della geostuoia;
- formazione di un solco di almeno 50 cm a monte della scarpata;
- semina a spaglio;
- stesura della geostuoia all'interno del solco e suo fissaggio con stave metalliche;

Fig. 14.9 - Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebitumata industrialmente a caldo



Tab. 14.15 - Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebitumata industrialmente a caldo: analisi dei prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,10		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,05		
Escavatore	Ora	0,05		
<i>c) Materiali:</i>				
Geostuoia tridimensionale in materiale sintetico prebituminata a caldo	m <sup>2</sup>	1		
Picchetti o staffe acciaio	Kg	1,4		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
Talee di salice o tamerice	Unità	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>42,35 ÷ 49,06</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>82.000 ÷ 95.000</b>

- copertura del solco;
- stesura della geostuoia lungo la scarpata e fissaggio con staffe in quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della geostuoia;
- risemina a spaglio o idrosemina.

**Prescrizioni:**

- i sormonti laterali dovranno essere di almeno 10 cm;
- la stesura e il fissaggio della georete deve tenere conto della direzione del flusso dell'acqua, onde evitare lo scalzamento della georete per l'infiltrazione dell'acqua;
- qualora la stuoia venga impiegata lungo le sponde dei corsi d'acqua è necessario che la posa in opera avvenga procedendo nel senso

contrario alla corrente (in tal modo i sormonti sono automaticamente posizionati ad evitare infiltrazioni d'acqua tra una stuoia e l'altra).

*Vantaggi:* facilità d'impiego, copertura immediata della superficie.

*Svantaggi:* costo elevato.

*Effetto:* stabilizzante, funzionale e visivo immediato.

*Periodo di intervento:* stesura della georete e bitumatura possono essere eseguite in qualsiasi periodo dell'anno. Le semine dovranno essere effettuate dalla primavera all'autunno con



esclusione dei periodi di siccità; l'eventuale messa a dimora di specie arbustive dovrà avvenire durante il periodo di riposo vegetativo con esclusione dei periodi di gelo invernale.

*Possibili errori:*

- insufficiente fissaggio con staffe della georete al substrato, evidente nei casi di eventi meteorici eccezionali;
- insufficiente o assente risvolto e fissaggio della georete nel solco a monte e avalle della scarpata.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.15**.

**14.1.13 Rivestimento vegetativo in rete metallica a doppia torsione e geostuoia tridimensionale**

*Descrizione sintetica:* copertura di scarpate soggette ad erosione mediante la stesura di una rete sintetica tridimensionale, spessore minimo 10 mm, sormontata da una rete metallica a doppia torsione. Rete e geostuoia vengono fissati al terreno mediante picchetti, che vengono legati a monte e a valle con una fune di acciaio. Nel caso di versanti molto ripidi e particolarmente friabili, tutti i picchetti vengono collegati mediante la fune d'acciaio per migliorare l'aderenza al substrato. Il rivestimento viene abbinato a idrosemina a spessore e messa a dimora di arbusti autoctoni e di talee di specie con capacità di propagazione vegetativa.

*Voce da capitolato:*

- in rete zincata;
- in rete zincata e plastificata;
- in geocomposito.

Rivestimento di scarpate in terreno molto ripide soggette a fenomeni di erosione accelerata mediante stuoia tridimensionale di spessore minimo 10 mm, di massa areica minima pari a 300 g/m<sup>2</sup> ed una rete metallica a doppia zincatura e doppia torsione, Ø 2,7 mm maglia 6 x 8 cm. Le superfici da trattare per il rivestimento dovranno essere liberate da radici, pietre, ecc. ed eventuali vuoti andranno riempiti in modo da ottenere una superficie uniforme affinché la biostuoia e la rete metallica possano adagiarsi perfettamente al suolo. Prima si stenderà sulla pendice la rete tridimensionale che verrà picchettata a monte, mentre i teli verranno stesi verticalmente uno vicino all'altro con una sovrapposizione di circa 5-10 cm onde evitare l'erosione fra le fasce. La picchettatura in scarpata sarà in ragione di 1-2 picchetti per m<sup>2</sup>; gli stessi saranno metallici a forma di cambretta o a "T", formati con tondino d'acciaio di Ø 6 mm e lunghezza 20 cm. Successivamente verrà fissata al terreno la rete metallica: essa verrà picchettata a monte e lungo le fasce con picchetti d'acciaio a "T", della lunghezza di 50-100 cm dello spessore di 12-14 mm (in funzione della consistenza del terreno di posa); la picchettatura sulla rete metallica sarà in ragione di 1-2 pic-

chetti per m<sup>2</sup> a seconda della regolarità della superficie del terreno, inclusa eventuale perforazione e boiaccatura con miscela acqua e cemento e compreso il fissaggio in testa e al piede a mezzo fune d'acciaio; il tutto nelle quantità tali da garantire la stabilità e l'aderenza della rete. Nel caso di rocce particolarmente friabili verranno operate delle legature in fune d'acciaio anche tra i chiodi lungo la superficie a miglioramento dell'aderenza della rete al substrato. Tale rivestimento va in genere abbinato con un'idrosemina a *mulch* a forte spessore realizzata in maniera da intasare completamente lo spessore della rete tridimensionale.

*Campi di applicazione:* scarpate soggette ad erosione.

*Materiali impiegati:*

- geostuoia tridimensionale min. 10 mm di spessore e massa minima pari a 300 g/m<sup>2</sup>;
- rete metallica doppia torsione Ø 2,7 mm, maglia 6 x 8 cm;
- picchetti metallici a forma di cambretta o a "T", Ø 6 mm, L = 20 cm per la scarpata;
- picchetti d'acciaio a "T", Ø 12 ÷ 14 mm, L = 50 ÷ 100 cm a monte della scarpata;
- fune d'acciaio;
- idrosemina a *mulch*;
- talee e arbusti.

*Modalità di esecuzione:*

- regolarizzazione della scarpata con allontanamento di radici, massi, ecc.;
- stesura per file parallele dei teli di geostuoia tridimensionale, avendo cura di sovrapporre lateralmente i teli per almeno 10 cm;
- fissaggio della geostuoia a monte e lungo la scarpata mediante i picchetti in acciaio, secondo quantità variabili dipendenti dalla pendenza della scarpata stessa;
- stesura e fissaggio della rete metallica a doppia torsione al di sopra della geostuoia;
- qualora si renda necessario per motivi di ancoraggio dei tondini, gli stessi dovranno essere posti in opera previa perforazione e successiva boiaccatura con miscela di acqua e cemento;
- legatura dei tondini, dotati di anello, mediante fune di acciaio sia a monte che a valle della scarpata;
- idrosemina a *mulch* in quantità tale da garantire il riempimento degli spazi della geostuoia tridimensionale;
- messa a dimora di talee e arbusti, previa formazione nella geostuoia di un taglio a croce.

*Prescrizioni:*

- la sovrapposizione dei teli si rende necessaria per evitare l'erosione laterale delle fasce stese;
- la geostuoia e la rete dovranno essere perfettamente adagiate e a contatto con il suolo sottostante, avendo cura di evitare la formazione di spazi vuoti;
- la quantità di picchetti per m<sup>2</sup> dovrà essere

**Tab. 14.16** - Rivestimento vegetativo in rete metallica a doppia torsione e geostuoia tridimensionale

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,08		
Operaio comune	Ora	0,08		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,05		
Verricello	Ora	0,30		
Compressore con pistola perforatrice	Ora	0,20		
<i>c) Materiali:</i>				
Geostuoia tridimensionale abbinata a rete metallica	m <sup>2</sup>	1		
Picchetti	Kg	2,8		
Fune	m	0,2		
Morsetto serrafune d'acciaio	cad	2		
Malta antiritiro	Kg	0,2		
Idrosemina a spessore	m <sup>2</sup>	1		
Staffe in tondino di ferro	Kg	1,4		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>49,06 ÷ 54,23</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>95.000 ÷ 105.000</b>

valutata in base alla pendenza della scarpata, comunque in quantità non inferiori a 1 ÷ 2 picchetti per m<sup>2</sup>.

*Vantaggi:* metodo di rivestimento rapido e di facile realizzazione. Immediata funzione antierosiva.

*Svantaggi:* la presenza di reti metalliche sulla superficie spondale artificializza la struttura e può creare pericolo per la fauna se non resa accuratamente aderente al substrato.

*Effetto:* rapido arresto dell'erosione superficiale.

*Periodo di intervento:* la stesura delle reti e delle geostuoie può avvenire in qualsiasi periodo dell'anno, mentre le semine verranno eseguite da marzo a settembre e la messa a dimora di talee e arbusti nel periodo di riposo vegetativo.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.16**.

## 14.2 Interventi stabilizzanti

### 14.2.1 Messa a dimora di talee

*Descrizione sintetica:* infissione nel terreno o nelle fessure tra massi di pezzi di talee di specie vegetali con capacità di propagazione vegetativo (**fig. 14.10**).

*Descrizione voce da capitolato:*

- salici;

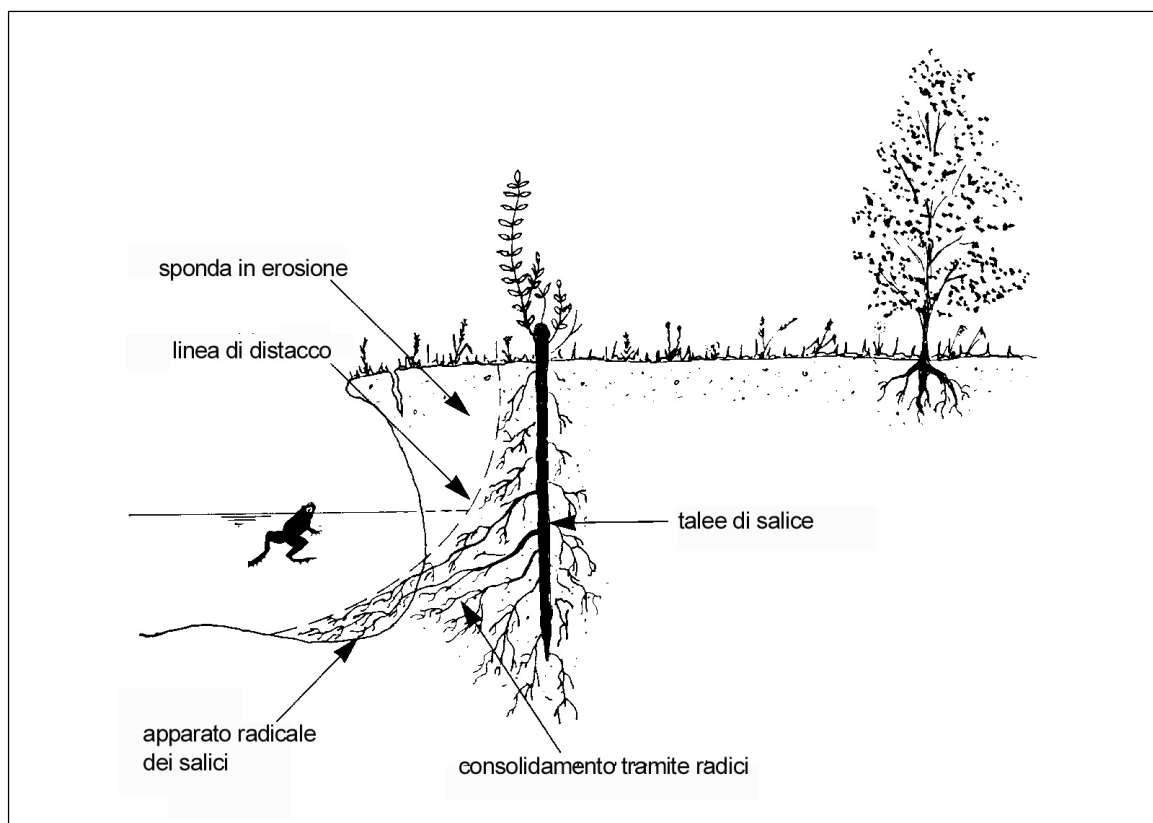
- tamerici;
- altre specie.

Fornitura e messa a dimora di talee legnose di specie arbustive idonee a questa modalità di trapianto vegetativo prelevate dal selvatico di due o più anni di età, di Ø 1 ÷ 5 cm e lunghezza minima di 50 cm, messe a dimora nel verso di crescita previo taglio a punta e con disposizione perpendicolare o leggermente inclinata rispetto al piano di scarpata. Le talee verranno infisse a mazza di legno o con copristesta in legno, previa eventuale apertura di un foro con punta di ferro, e dovranno sporgere al massimo per un quarto della loro lunghezza adottando, nel caso, un taglio netto di potatura dopo l'infissione. La densità di impianto dovrà essere di 2 ÷ 10 talee per m<sup>2</sup> a seconda delle necessità di consolidamento. Le talee dovranno essere prelevate, trasportate e stoccate in modo da conservare le proprietà vegetative adottando i provvedimenti cautelativi in funzione delle condizioni climatiche e dei tempi di cantiere. La messa a dimora dovrà essere effettuata di preferenza nel periodo invernale e a seconda delle condizioni stagionali anche in altri periodi con esclusione del periodo di fruttificazione.

*Materiali:*

- talee di salice: L = 80 cm; Ø = 5 ÷ 8 cm;
- getti non ramificati, di 2 o più anni (di specie con capacità di propagazione vegetativa: ad esempio, tamerici): Ø = 3 ÷ 5 cm, L = 0,60 ÷ 1,0 m.

Fig. 14.10 - Talee arbustive nelle difese spondali

**Modalità di esecuzione:**

- apertura di un foro, con una punta di ferro, nelle fessure delle difese spondali in pietrame o creazione di un foro nel terreno;
- introduzione delle talee: devono sporgere all'esterno al massimo per un quarto (10 cm circa) della loro lunghezza (pari alla presenza di 7 ÷ 8 gemme avventizie) e, nel caso di scogliere, devono essere poste a contatto con il terreno a tergo dei massi.

L'infissione delle talee nel terreno deve essere perpendicolare o leggermente inclinata, mediante mazza in legno e secondo il verso di crescita delle piante.

- riempimento degli spazi vuoti con terreno vegetale o con materiale fine e successivo costipamento.

**Campi di applicazione:** scarpate a pendenza limitata, sponde fluviali e lacustri; interstizi e fessure di scogliere, muri, gabbionate; come picchetti vivi nelle posa di reti, stuoie, fascinate, viminate.

**Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica:** applicabilità universale con esclusione di substrati litoidi e particolarmente xerici o, in ambito fluviale, di correnti e trasporto solido particolarmente elevati.

**Limiti di applicabilità:** altitudine e condizioni microclimatiche (relativamente alle specie impiegate); natura del substrato.

**Vantaggi:**

- sistemazione a basso prezzo e semplice reperibilità dei materiali;
- di semplice realizzazione;
- puntuale inizialmente, ma coprente dopo lo sviluppo;
- favorisce l'evoluzione degli ecosistemi, soprattutto in ambienti umidi (se si usano i culmi di canna).

**Svantaggi:**

- la stabilità della scarpata ed il consolidamento superficiale del terreno sono limitati sino allo sviluppo di un adeguato apparato radicale;
- l'attecchimento delle piante non è garantito, a meno che le condizioni della stazione siano particolarmente favorevoli.

**Effetto:** copertura delle scarpate con cespugli. Più lunghe sono le talee conficcate nel terreno, maggiore l'effetto stabilizzante/consolidante in profondità. Effetto di drenaggio dovuto ad assorbimento e traspirazione del materiale vivo impiegato.

**Periodo di intervento:** periodo di riposo vegetativo.

**Possibili errori:**

- talee troppo corte (lunghezza inferiore a 60 cm);
- diametro della talea eccessivamente piccolo;
- le talee non sono infisse nel terreno in contropendenza rispetto alla scarpata;

- le talee vengono infisse nel verso contrario a quello di crescita;
  - la parte che rimane fuori dal terreno, si secca perché troppo lunga e quindi eccessivamente esposta agli agenti atmosferici (gelo, vento, sole).
- Scelta del periodo di raccolta e messa a dimora inadeguato.

**Tab. 14.17** - Messa a dimora di talee: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,05		
Operaio comune	Ora	0,05		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,05		
Motosega	Ora	0,05		
<i>c) Materiali:</i>				
Talee	cad	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>1,03 ÷ 2,58</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>2.000 ÷ 5.000</b>

**Tab. 14.18a** - Talee utilizzate per la sistemazione delle rive dei corpi d'acqua (DIN 19657)

N.	Specie	Altezza come albero (A) o cespuglio (C) (m)	Gruppo di suoli ai sensi dell'art. 32 ed altre caratteristiche del suolo
1	<i>Salix appendiculata</i>	4C 8A	Da 3 a 10; marne e scisti particolarmente freschi, da neutri a leggermente alcalini
2	<i>Salix glabra</i>	2C	Da 3 a 10; umidi, filtranti, anche dolomitici, da alcalini a neutri
3	<i>Salix hastata</i>	1,5C	1,5; su calcari, freschi e filtranti fino a bagnati; da neutri a debolmente acidi
4	<i>Salix waldsteniana</i>	1,5C	1,5; su calcari, freschi e filtranti, da neutri a debolmente acidi
5	<i>Salix alba</i>	20A	Da 2 a 7; periodicamente inondati, neutri
6	<i>Salix daphnoides</i>	20A 10C	Da 2 a 9; solo su calcari, da debolmente alcalini a debolmente acidi
7	<i>Salix elaeagnos</i>	6C 16A	Da 2 a 7, 10; bagnati e filtranti, temporaneamente secchi, da alcalini a neutri
8	<i>Salix aurita</i>	2C	1, da 6 a 9; bagnati e filtranti o stagnanti, periodicamente inondati, acidi
9	<i>Salix cinerea</i>	Da 2 a 3 (6) C	1, da 6 a 9; bagnati e filtranti o stagnanti, periodicamente inondati, acidi
10	<i>Salix fragilis</i>	15A	1, da 6 a 8; periodicamente inondati, sopportano ristagni, acidi, per lo più poveri di calce
11	<i>Salix nigricans</i>	4C 6A	Da 4 a 7; bagnati e filtranti, temporaneamente anche inondati, sopportano ristagni, da neutri a debolmente acidi
12	<i>Sallix pentandra</i>	6C 15A	1, da 4 a 6; bagnati e filtranti o stagnanti, per lo più poveri di calce, da mediamente acidi a neutri
13	<i>Salix purpurea</i>	4(6)C	Da 2 a 7; per lo più ricchi di calce, anche dolomitici, temporaneamente secchi e periodicamente inondati, da neutri ad alcalini
14	<i>Salix triandra</i>	4C 7A	Da 2 a 7; da freschi a bagnati, periodicamente inondati, da neutri ad alcalini
15	<i>Salix viminalis</i>	5C 10A	Da 1 a 6; bagnati e filtranti, periodicamente inondati, neutri
16	<i>Populus nigra</i>	30A	Da 1 a 7; periodicamente inondati, neutri
17	<i>Ligustrum vulgare</i>	2C	Da 2 a 7, secchi, da neutri ad alcalini, anche dolomitici

Tab. 14.18b - Talee utilizzate per la sistemazione delle rive dei corpi d'acqua (DIN 19657)

Specie	Altezza di crescita (m)	Ambito di applicazione			Osservazioni
		Tipi di suolo	Grado di umidità	Nutrienti e carbonati	
<i>Salix purpurea</i>	2-3, rar. fino a 10	Da G ad A	Da II a VII, anche ts	Da nu a nu', da c ad a'	Resistenti alla siccità, anche su suoli grezzi, consolidante
<i>Salix triandra</i>	2-4, rar. fino a 10	Da S ad A	II, III, anche ts	nu, b, da c ad a	Consolidante
<i>Salix viminalis</i>	3-5	G, S, L	II, III, anche ts	nu, b, da c ad a'	Anche su suoli grezzi
<i>Salix fragilis</i>	8-20	Da G ad F, anche h	Da III a V, anche ts	nu, b, da c' ad a'	Anche su suoli con cattiva aerazione e su suoli grezzi
<i>Salix alba</i>	10-30	Da G ad A	Da III a V, anche ts	nu, b, da c ad a'	Su suoli ben aerati e su suoli grezzi
<i>Salix elaeagnos</i>	2-6	Da G ad A	Da V a VII, anche ts	nu', b, c	Colonizzatore, anche su pendii marnosi instabili, consolidante
<i>Salix nigricans</i>	Fino a 4	Da G ad A anche h	Da II a IV, anche ts	nu, b, c	Soprattutto per suoli calcarei freschi e umidi
<i>Salix pentandra</i>	2-5, rar. fino a 15	A, T anche h	II, III	nu, b, da c' ad a'	—
<i>Salix daphnoides</i>	5-10	Da G ad A	Da II a V anche ts	Da nu' a nu, b, c, n	Su suoli grezzi, consolidante
<i>Salix appendiculata</i>	1-3, rar. fino a 8	pL, L, pA, A	Da III a V	nu, b, c, n	In gole e solchi di slavine
<i>Salix hastata</i>	Fino a 1,5	hP, hL	Da III a V	nu, b, c'	—
<i>Salix glabra</i>	Fino a 2	P, L	III	Da nu' a nu, c	Anche su detriti dolomitici
<i>Salix waldesteiniana</i>	Fino a 1	hL, hA	II, V	Da nu' a nu, b, da c a c'	Su suoli ben aerati
<i>Populus spec.</i>					Vedi tabella 24

Fonte: M. Di Fidio, *Capitolato speciale d'appalto per opere di costruzione del Paesaggio*, 1970.

**Note:**

- la densità d'impianto è di 2 ÷ 10 talee per m<sup>2</sup> in relazione alle sollecitazioni cui sarà sottoposta la struttura ed alle sue caratteristiche costruttive (l'uso di massi di piccole dimensioni nelle difese spondali comporta l'impiego di un maggior numero di talee);
- la densità d'impianto aumenta all'aumentare della pendenza del terreno: da 2-5 talee/m<sup>2</sup> a 5-10 talee/m<sup>2</sup>;
- nel caso in cui le talee vengano raccolte molto tempo prima della messa a dimora, dovranno essere conservate a basse temperature (4 ÷ 5 °C) in celle frigorifere o in vasche di acqua fredda, ma comunque utilizzate nel periodo di ripresa vegetativa;
- è opportuno preventivare una fallanza del 30 ÷ 40% nell'attecchimento ed un relativo risarcimento dopo 1 ÷ 2 anni;
- per facilitare l'introduzione nel terreno delle talee la parte terminale va tagliata a punta; se viene utilizzata la mazza per battere le talee è preferibile che essa sia di legno o che venga usato un legno copritesta, al fine di evitare di danneggiare la talea;
- la disposizione delle talee deve essere casuale sia per motivi estetici, che funzionali;
- la piantagione di arbusti nelle fessure comporta, un miglioramento statico dell'opera, in quanto la crescita in profondità delle radici e l'aumento in spessore delle talee rende

più compatto e resistente l'insieme del pietrame;

- è consigliato non scendere sotto il livello medio della portata del corso d'acqua, perché i salici non sopporterebbero lunghi periodi di 6 ÷ 7 settimane di sommersione;
- trattasi di una sistemazione a verde estremamente conveniente dal punto di vista economico, sia per il materiale di propagazione impiegato, sia per la relativa semplicità d'esecuzione.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.17**.

*Specie legnose per l'estrazione di talee e relativi campi di applicazione:* le talee di piante legnose devono essere rigogliose, sane ed idonee a mettere radici.

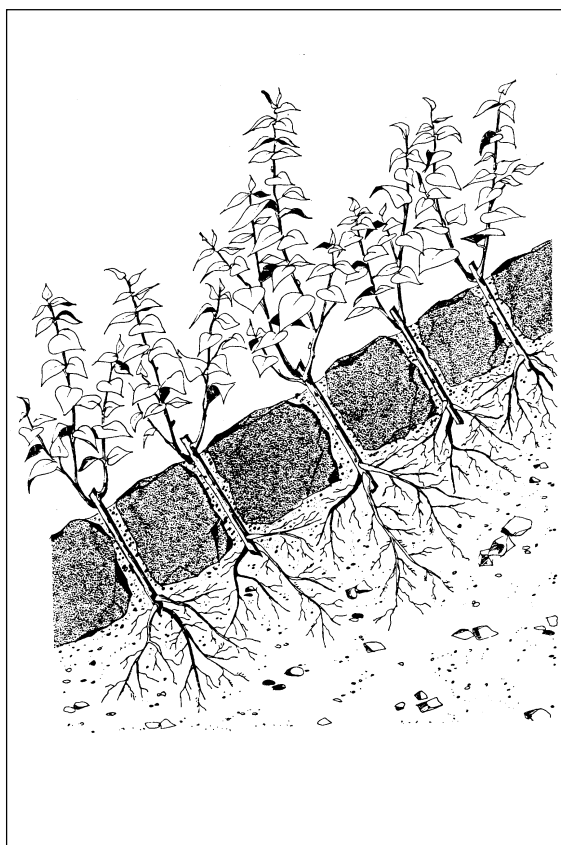
Generalmente le talee adottate per i tipi di suolo specificati, sono quelle specificate nelle **tabelle 14.18a-14.18b**.

#### 14.2.2 Messa a dimora di arbusti ed alberi

*Funzioni:* stabilizzazione e completamento su versanti e su sponde.

*Descrizione:* questa tecnica si usa per incrementare lo sviluppo della vegetazione in aree in erosione o prive di copertura arbustiva e

**Fig. 14.11** - Messa a dimora di talee arbustive nelle difese spondali



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 9 maggio 2000.

arborea e negli interventi di consolidamento del dissesto superficiale (figg. 14.11-14.12).

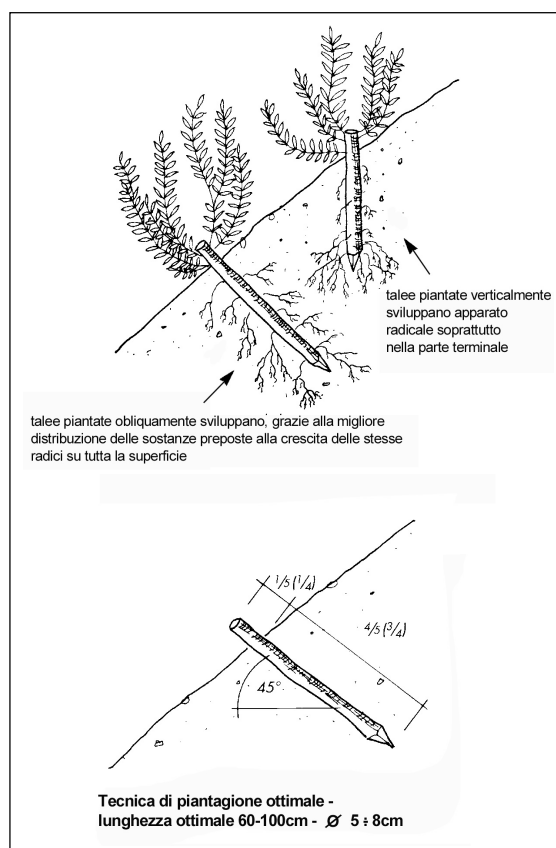
*Descrizione da voce di capitolato:* piantagione di arbusti:

- a radice nuda;
- in zolla;
- in contenitore;
- in fitocella.

Fornitura e messa a dimora di arbusti autoctoni da vivaio, con certificazione di origine del seme, in ragione di 1 esemplare ogni 3 ÷ 20 m<sup>2</sup> aventi altezza minima compresa tra 0,30 e 1,20 m, previa formazione di buca con mezzi manuali o meccanici di dimensioni prossime al volume radicale per la radice nuda o dimensioni doppie nel caso di fitocelle, vasetti o pani di terra. Si intendono inclusi:

- l'allontanamento dei materiali di risulta dello scavo se non idonei;
- il riporto di fibre organiche quali paglia, torba, cellulosa, ecc. nella parte superiore del ricoprimento, non a contatto con le radici della pianta;
- il rinalzo con terreno vegetale con eventuale invito per la raccolta d'acqua o l'opposto a seconda delle condizioni pedo-climatiche della stazione;
- la pacciamatura in genere con dischi o biofeltri ad elevata compattezza o strato di

**Fig. 14.12** - Talee arbustive nelle difese spondali



corteccia di resinose per evitare il soffocamento e la concorrenza derivanti dalle specie erbacee;

- 1 o più pali tutori.

Le piante a radice nuda potranno essere trapiantate solo durante il periodo di riposo vegetativo, mentre per quelle in zolla, contenitore o fitocella il trapianto potrà essere effettuato anche in altri periodi tenendo conto delle stagionalità locali e con esclusione dei periodi di estrema aridità estiva o gelo invernale.

*Effetto:* il ripristino della vegetazione costituisce un consolidamento del substrato e un miglioramento ambientale dal punto di vista ecosistemico; la vegetazione ripariale, inoltre, può rappresentare, specialmente in aree pianiziali, l'unico elemento boschivo più o meno continuo per facilitare la diffusione di specie animali, anche in considerazione della forma dendritica del reticolo idrografico che sul territorio svolge la funzione di rete ecologica.

*Campi di applicazione:* nelle opere dove si utilizzano talee, per incrementare la vegetazione; quando non è possibile utilizzare le talee; quando si vogliono consolidare zone e sponde con problemi di dissesto non troppo grave; nei dintorni di un'opera complessa per aumentare l'efficacia; nei corsi d'acqua dove è necessario ral-

lentare la velocità della corrente; nelle aree ad elevato valore vegetazionale per il ripristino di ecosistemi; nelle scarpate in scavo e in riporto e nella stabilizzazione superficiale di rilevati e accumuli di materiale sciolto.

*Modalità di dimensionamento e limiti d'applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata.

Gli alberi possono migliorare la resistenza del terreno fino ad una profondità di 3 m o più in funzione della morfologia dell'apparato radicale della specie, possono però provocare effetti negativi sull'opera a causa delle dimensioni, dei pesi e delle masse notevoli rispetto a quelle degli arbusti. Su sponde, arginature, briglie possono provocare delle infiltrazioni e rischi di sifonamento. Nel caso di vegetazione arbustiva l'azione di rinforzo si estende in genere a qualche decimetro fino ad una profondità di circa 1,5 m. Lo sviluppo di alberi su sponde, arginature, paramento a valle di briglie in terra possono provocare fenomeni di infiltrazione e riforamento. Impossibilità di applicare la tecnica in luoghi rocciosi o privi di suolo.

*Materiali impiegati:*

- materiali da vivaio:
  - *alberi:* in generale un esemplare di altezza fra 50 ÷ 150 cm ogni 5 ÷ 30 m<sup>2</sup> (secondo la specie e le condizioni stagionali del sito);
  - *arbusti:* in generale un esemplare di altezza compresa fra 30 ÷ 120 cm ogni 3 ÷ 20 m<sup>2</sup> (secondo la specie e le condizioni stagionali del sito);
- materiale reperito in loco con le dovute autorizzazioni:
  - trapianti di specie arboree e arbustive;
- ammendanti e fertilizzanti naturali.

*Modalità di esecuzione:* alberi e arbusti di specie autoctone possono essere utilizzati a radice nuda, in fitocella, in vaso o con pane di terra. Le piante a radice nuda sono più soggette a subire danni anche nel trasporto e non danno, in genere, buoni risultati perché le condizioni pedoclimatiche delle aree dove vengono eseguiti gli interventi di Ingegneria Naturalistica sono spesso critiche. Le piante in vaso, fitocella o con pane di terra, attecchiscono più facilmente e sono meno soggette ai danni da trasporto. Le piante a radice nuda si dispongono in buche grandi più o meno come il volume radicale e in buche di dimensioni circa il doppio negli altri casi (con pane di terra, ecc.). In seguito si riempie la buca col materiale preventivamente asportato, fino al colletto della pianta. Si compatta il terreno (la pianta deve opporre resistenza all'estrazione) formando una piccola concavità per una migliore captazione dell'acqua.

*Accorgimenti:* nel caso di terreni poveri si possono eseguire riporti di paglia, torba, cellulosa, mentre in zone soggette a siccità estiva prolungata si consiglia l'uso di ritentori idrici (di solito polimeri). Inoltre, per evitare il soffocamento dovuto a specie erbacee, si esegue una pacciamatura con biofeltri o strato di corteccia di resinose.

*Vantaggi:* applicabile in molte opere sia come supporto sia come completamento, inoltre è fondamentale per la rinaturalizzazione delle aree di sponda e su versante.

*Svantaggi:* interventi che richiedono molto materiale vegetale e molto lavoro per la realizzazione, sono quindi possibili in aree limitate. Difficoltà di reperimento delle specie scelte presso i vivai. Limiti dovuti alla stagionalità e alle esigenze fitoclimatiche delle specie.

*Periodo di intervento:* le piante a radice nuda devono essere trapiantate durante il riposo

Tab. 14.19 - Piantazione di arbusti: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,01		
Operaio qualificato	Ora	0,06		
Operaio comune	Ora	0,10		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,01		
Trattore con cisterna	Ora	0,04		
<i>c) Materiali:</i>				
Pianta in vasetto o zolla	cad	1		
Pacciamatura	cad	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>6,2 ÷ 8,78</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>12.000 ÷ 17.000</b>

Tab. 14.20 - Piantagione di alberi: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,01		
Operaio qualificato	Ora	0,06		
Operaio comune	Ora	0,15		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,01		
Trattore con cisterna	Ora	0,04		
<i>c) Materiali:</i>				
Pianta in vasetto o zolla	cad	1		
Palo tutore	cad	1		
Pacciamatura	cad	1		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	11,36 ÷ 14,46
			£/m <sup>2</sup>	22.000 ÷ 28.000

vegetativo, le altre anche in altri periodi secondo la situazione climatica del luogo escludendo sempre i periodi estivi aridi e invernali freddi.

*Manutenzione:* potature, risarcimenti e annaffiature, se necessario. Controllo fitosanitario. Sulle sponde interventi ordinari di potatura per mantenere flessibili i rami e non creare ingombro nell'alveo.

*Analisi prezzi per la piantagione di arbusti:* si veda la **tabella 14.19**.

*Analisi prezzi per la piantagione di alberi:* si veda la **tabella 14.20**.

#### 14.2.3 Trapianto di rizomi

*Descrizione sintetica:* tecnica utilizzata per la propagazione delle specie di difficile reperimento in commercio e di difficile propagazione per seme, come *Phragmites australis*. Dal selvatico vengono prelevati rizomi e cespi in pezzi di alcuni centimetri. Questi vengono posti a dimora sul terreno e poi ricoperti con uno strato leggero di terreno, onde evitarne il disseccamento (**figg. 14.13-14.14**).

*Descrizione da voce di capitolato:*

- divisi;
- sminuzzati.

Prelievo dal selvatico di rizomi, stoloni e cespi di graminacee ed altre specie idonee in pezzi di circa 10-15 cm e loro piantagione (per i rizomi fittonanti, ad esempio, *Phragmites*) per circa 4 cm o deposizione sul terreno sminuzzati od interi e ricopertura con un leggero strato di terreno vegetale per evitarne il disseccamento. Il trapianto va eseguito all'inizio o al termine del periodo di riposo vegetativo in ragione di 3-5 pezzi per m<sup>2</sup>. Tale tecnica va utilizzata per la riproduzione di specie non esistenti in commer-

cio e di difficile riproduzione per seme. La moltiplicazione può essere effettuata anche tramite vivaio e successivo trapianto, utilizzando contenitori a bivalve in cui vengono inseriti frammenti di cespi dalle graminacee selvatiche, che vengono ritrapiantati dopo un ciclo di sviluppo nelle aree da colonizzare.

*Materiali impiegati:*

- rizomi e pezzi di rizomi di lunghezza 10 ÷ 15 cm di specie vegetali adatte, prelevate dal selvatico (ad es. *Phalaris arundinacea*, *Festuca arundinacea*, *Achillea millefolium*);
- pani di terra di canneto di dimensioni 30 x 30 cm circa (*Phragmites australis*);
- cespi di erbe graminoidi e non, che sviluppano più cauli e quindi possono essere suddivise in più pezzi, in grado di riprodursi vegetativamente (*Festuca ovina*).

*Modalità di esecuzione:*

- si eseguono buche di circa 20 cm di diametro nelle quali si depongono i rizomi o loro parti;
- i rizomi o loro frammentazione sono deposti con una densità di impianto variabile, a seconda della specie impiegata (in genere 3 ÷ 5 pezzi per m<sup>2</sup>);
- ricoprimento con terreno al fine di evitare il disseccamento dei rizomi;
- può esserci la necessità d'irrigazione.

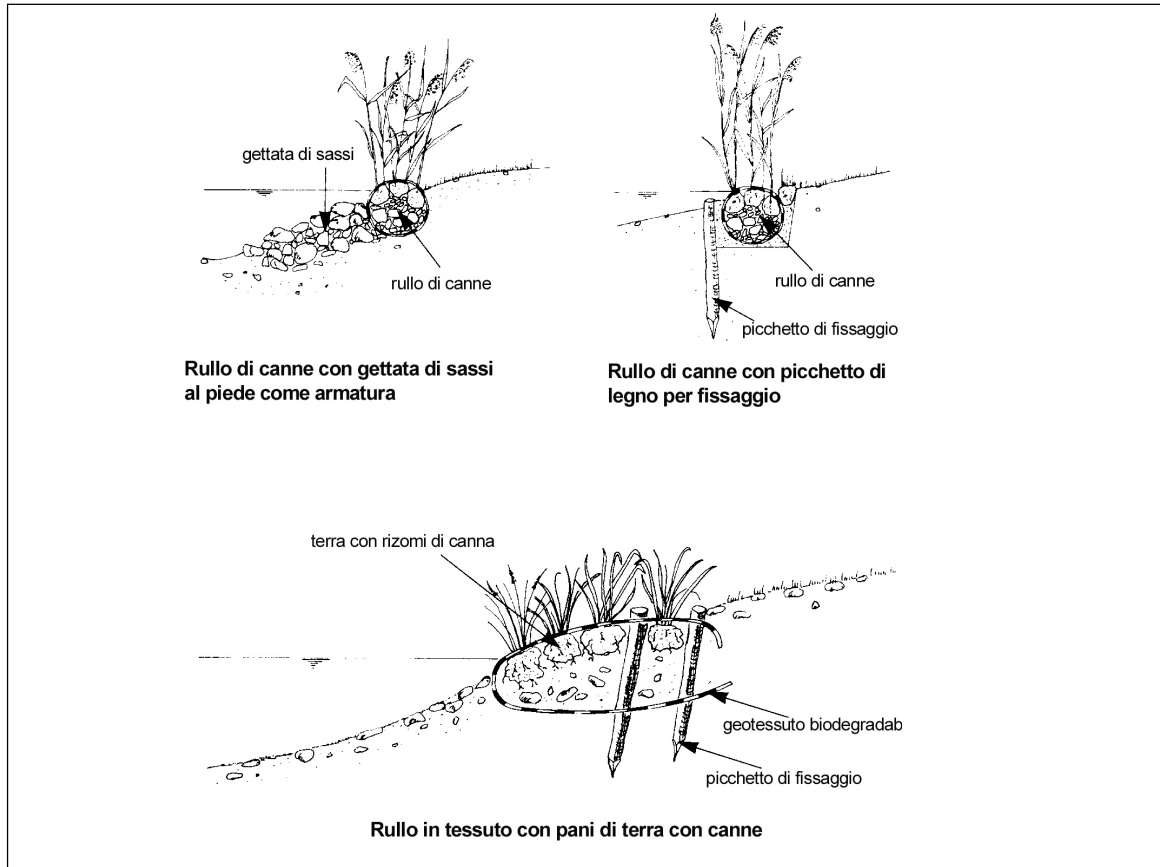
*Campi di applicazione:* stazioni estreme d'alta montagna dove il periodo vegetativo è più breve; sponde fluviali e barene; aree caratterizzate da scarsa vegetazione e le cui sementi non sono reperibili in commercio.

*Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica:* ambienti igrofilo e substrati non drenanti.

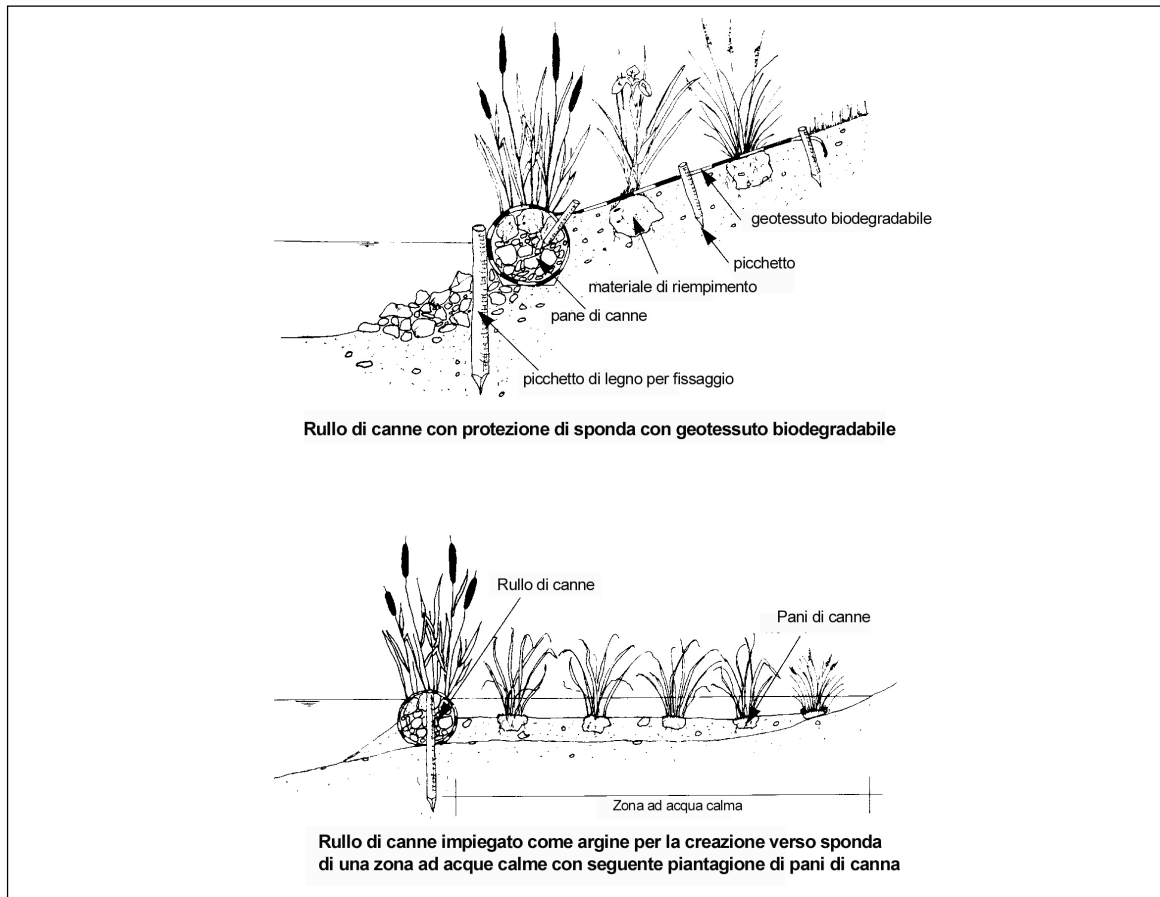
*Prescrizioni:* rizomi e cespi devono essere impiegati immediatamente dopo il prelievo. Possono



**Fig. 14.13 - Trapianto di rizomi**



**Fig. 14.14 - Trapianto di rizomi**



Tab. 14.21 - Trapianto di rizomi: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,05		
Operaio comune	Ora	0,10		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,005		
Escavatore	Ora	0,003		
<i>c) Materiali:</i>				
Rizomi e cespi	cad	5		
Terreno vegetale	m <sup>3</sup>	0,05		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>2,07 ÷ 3,1</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>4.000 ÷ 6.000</b>

essere immagazzinati per breve tempo in un luogo fresco (ad esempio, sotto uno strato di sabbia umida). Rispetto del periodo d'intervento.

*Limiti di applicabilità:* ambienti eccessivamente drenanti o viceversa con ristagni d'acqua per periodi eccessivamente lunghi.

*Vantaggi:*

- introduzione di specie rapidamente edificatrici e di difficile reperimento commerciale;
- possibilità di sfruttare materiale reperibile nei pressi del luogo d'intervento;
- viene evitata la fase critica della germinazione tipica nelle semine.

*Svantaggi:*

- la radicazione non è così profonda come avviene per le specie nate da seme;
- elevato consumo di materiale, lavoro lungo e impegnativo;
- necessità di vaste aree su cui effettuare i prelievi.

*Effetto:* rapida copertura del terreno e più efficace rispetto a quella ottenibile con la semplice semina.

*Periodo di intervento:* trapianto all'inizio o al termine del periodo di riposo vegetativo.

*Possibili errori:* scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

*Note:*

- il periodo più idoneo per questo tipo di piantagione è quello del riposo vegetativo;
- nel caso si intenda impiantare un canneto, le zolle contenenti i rizomi vanno poste ad una distanza di 0,5 ÷ 1 m; è opportuno mettere a dimora il canneto in terreni umidi, ma non costantemente allagati (profondità < 50 cm).

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.21**.

#### 14.2.4 Copertura diffusa

*Descrizione sintetica:* l'opera consiste nella realizzazione di un rivestimento di sponda, precedentemente rimodellata, mediante la messa a dimora di astoni, (ramaglia viva di salici, tamerici, ecc.) con capacità di propagazione vegetativa. La ramaglia ha disposizione perpendicolare alla direzione del flusso d'acqua ed è fissata al substrato mediante filo di ferro teso tra picchetti e paletti vivi o morti. La base della ramaglia viene conficcata nel terreno e qualora siano presenti più file, queste devono sormontarsi parzialmente. La ramaglia viene coperta con un sottile strato di terreno vegetale. Con tale intervento si protegge la superficie del terreno dall'azione delle forze meccaniche (piogge, erosione fluviale, ecc.). Viene inoltre migliorato il bilancio idrico e termico e viene favorito lo sviluppo della vita vegetale nel terreno e nello strato aereo vicino al terreno (**figg. 14.15-14.22**).

*Descrizione da capitolato:*

• *copertura diffusa con ramaglia viva:*

- normale;
- armata.

Rivestimento di sponda, precedentemente rimodellata mediante copertura con ramaglia viva con capacità di propagazione vegetativa (Salici, Tamerici, Myricaria, Ligustrum) con densità di 20 ÷ 50 verghe o rami per metro, di lunghezza minima di 150 cm, disposte perpendicolarmente alla corrente, previa posa di paletti di castagno o di larice infissi per almeno 60 cm e sporgenti per 20 cm a file distanti 1 m e con interasse da 1 a 3 m a seconda della pressione idraulica. La parte inferiore dei rami dovrà essere conficcata nel terreno o nel fondo e lo strato inferiore dovrà coprire lo strato superiore con sormonto di almeno 30 cm. La ramaglia verrà fissata ai paletti tramite filo di ferro, talee trasversali, fascine o graticciate e ricoperta con un sottile strato di terreno vegetale. La base della spon-

Tab. 14.22 - Trapianto di rizomi: materiali impiegati

<b>Semplice:</b>	
Paleria di larice o di castagno	l = 80 cm    Ø=8 ÷12 cm
Astoni di salice e/o altre specie con capacità di propagazione vegetativa	l= 300÷400 cm    Ø =5 ÷ 15 cm
Pietrame	Pezzatura >0,20 m
Ghiaia	Pezzatura = 30 ÷ 160 mm
Filo di ferro zincato	Ø = 3 mm
Terreno vegetale	7 ÷ 8 cm/m <sup>2</sup>
<b>Armata (in aggiunta):</b>	
Paleria di larice o di castagno	l = 150 ÷200 cm    Ø = 20 cm
Fune di acciaio	Ø = 16 mm
Tondini di ferro	l > 60 cm    Ø = 16÷22 mm
Morsetto serrafune	Ø = 16 ÷ 22 mm
Malta cementizia antiritiro	

da così ricoperta verrà consolidata con blocchi di pietrame eventualmente collocati in un fosso preventivamente realizzato. Tali blocchi (di dimensioni minime di 0,2 m<sup>3</sup>) potranno venir collegati con una fune di acciaio (variante "armata") fissata a pali di legno o di ferro, onde consentire una maggior protezione al piede, pur conservando una certa elasticità. Il periodo migliore di esecuzione è il tardo autunno.

- *copertura diffusa con culmi di canna*: rivestimento di sponda, precedentemente modellata, in condizioni di bassa pendenza e velocità dell'acqua, con culmi di canna (essenzialmente viene impiegata *Phragmites australis*) in numero di 30 ÷ 60 culmi per metro, di lunghezza da 80 a 170 cm, disposti perpendicolarmente alla corrente, con la parte inferiore a contatto con l'acqua (10 ÷ 15 cm sotto il livello medio). Il fissaggio avverrà mediante paletti e filo di ferro in analogia al punto precedente. Il periodo migliore per il rivestimento va da marzo a maggio quando i giovani culmi hanno raggiunto la grandezza indicata.

*Campi di applicazione*: è una protezione particolarmente efficace della superficie delle scarpate spondali minacciate dall'acqua corrente e dal moto ondoso. Si può intervenire sia nel caso di nuove costruzioni sia per risanamento di rotture spondali. Allo scopo di fornire maggiore protezione del piede della scarpata si può eventualmente realizzare una copertura diffusa con astoni del tipo "armata".

*Fattibilità*: intervento di tipo intensivo che richiede un notevole impiego di materiale vegetale. L'azione in profondità esercitata dall'apparato radicale fa sì che sin dalla prima stagione vegetativa si abbia un considerevole consolidamento del terreno. La grande proliferazione del materiale vegetale crea una densa fascia elastica durevole nel tempo. La protezione data dalla parte aerea può favorire il rapido insediarsi

di vegetazione ripariale integrativa in accordo con le caratteristiche della stazione. La radicazione degli astoni nel terreno tende a svilupparsi in profondità in caso di aridità del materiale.

*Materiali impiegati*: si veda la **tabella 14.22**.

*Modalità di esecuzione*:

- *copertura diffusa con astoni* di salice su sponda. Si deve procedere come di seguito descritto:
  - modellamento della sponda del fiume con l'ausilio di un escavatore fino ad ottenere una pendenza non superiore a 30 ÷ 35°;
  - eventuale realizzazione di un fosso al piede della sponda (larghezza = 40 cm, profondità = 30 cm);
  - messa in opera di 3 o più file di paletti di castagno o di larice, infissi nel terreno non riportato per 60 cm sporgenti per 30 cm; le file parallele di paletti vanno poste nel senso della corrente del fiume con un interasse di 1 m. La distanza fra i paletti può variare da 1 a 3 m max, a seconda della pressione idraulica;
  - posa di uno strato continuo di astoni di salice o di ramaglia e verghe, in senso trasversale alla direzione della corrente e con il diametro maggiore conficcato nel terreno o nel fosso a contatto con l'acqua. In caso di messa a dimora di due ordini di astoni, la parte superiore dell'ordine più basso dovrà sormontare di almeno 30 cm l'ordine più alto;
  - ancoraggio degli astoni ai paletti, correnti in legno, talee trasversali, fascine vive, mediante fissaggio con filo di ferro zincato e copertura degli astoni con terreno vegetale (spessore di 7 ÷ 8 cm); alla fine il 50% della superficie degli astoni deve emergere dal terreno per permettere la crescita della nuova gemma;
  - copertura della base del fosso con uno strato di ciottoli di piccola dimensione o ghia-

ia in modo da favorire l'afflusso di acqua agli astoni;

- per una protezione al piede della scarpata viene realizzata una difesa in pietrame (pezzatura > 0,2 m<sup>3</sup>) in uno o due ordini sopra i ciottoli. Per garantire una maggiore stabilità della difesa, è possibile procedere alla messa in opera di pali di larice o di castagno (scortecciati) infissi alla base del pietrame. Il pietrame può essere eventualmente sostituito con tronchi longitudinali scortecciati e trattenuti da piloti in ferro infissi in alveo;
- *copertura armata*: l'armatura consiste nel disporre il pietrame con una fune d'acciaio che collega i singoli elementi. Si procede come nel caso precedente e poi si provvede a:
  - forare i massi per consentire l'inserimento di una barra di acciaio ad aderenza migliorata (o con tassello ad espansione) munita di un'asola e fissare con malta cementizia antiritiro;
  - fissare la fune ai pali di legno, o in alternativa alle travi di acciaio infisse nell'alveo per 150 ÷ 200 cm e ad una distanza variabile da 2 a 5 m a seconda delle esigenze al fine di rendere più stabile la difesa spondale pur mantenendo una certa elasticità.

*Interventi collegati*: diverse opere di difesa spondale. La copertura diffusa con astoni può essere anche elemento integrativo di una scogliera in pietrame.

*Prescrizioni*: sono auspicabili operazioni di manutenzione mediante diradamento dal basso selettivo dei salici, nel tempo e nello spazio anche per favorire altre specie (ontano, frassino, ecc.).

*Limiti di applicabilità*: corsi d'acqua con elevata capacità e trasporto solido notevole.

*Vantaggi*:

- immediata protezione dall'erosione meccanica e successivo consolidamento in profondità mediante un fitto reticolo di radici con vegetazione cespugliosa rigogliosa elastica e duratura;
- materiale autoctono facilmente reperibile.

*Svantaggi*:

- il materiale da impiegare è molto e richiede tempi medi per la posa in opera;
- nel tempo è necessaria la manutenzione con tagli di potatura e diradamento per evitare una crescita irregolare e/o eccessiva delle piante;
- tendenza alla formazione di monoculture di salice.

*Effetto*: gli strati di ramaglia coprono la superficie della sponda proteggendola, fin da subito, dall'erosione esercitata dal movimento dell'acqua.

*Periodo di intervento*: questo tipo di intervento è da effettuarsi solo durante il periodo del riposo vegetativo. Il periodo migliore è il tardo autunno.

*Manutenzione e durata dell'opera*: la manutenzione dei rivestimenti con astoni si limita alla potatura o al diradamento selettivo per mantenere l'elasticità ed è finalizzata anche all'ottenimento di nuovo materiale di propagazione (astoni) da utilizzare per la realizzazione di altre opere.

*Modalità*:

- fra novembre e marzo si effettua un taglio degli astoni al di sopra del livello del suolo;
- si può fare un taglio dell'intero soprassuolo ogni 2 ÷ 4 anni oppure a strisce annuali (larghe 3 ÷ 5 metri) per ottenere una stratificazione;
- dove la crescita dei salici non impedisca il de-

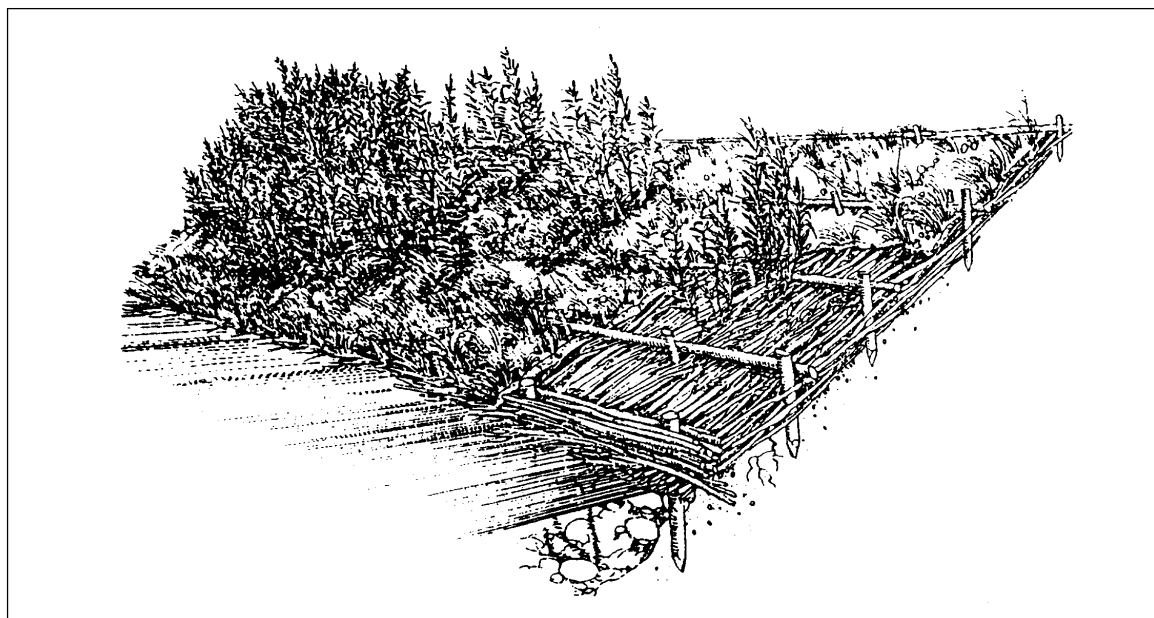
**Tab. 14.23** - Copertura diffusa aramaglia viva: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1,45		
Operaio comune	Ora	1,45		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,04		
Escavatore	Ora	0,05		
<i>c) Materiali:</i>				
Ramaglia	cad	20		
Terreno	m <sup>3</sup>	0,10		
Paletto	cad	2		
Filo di ferro	Kg	0,18		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>67,14 ÷ 77,47</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>130.000 ÷ 150.000</b>

Tab. 14.24 - Copertura diffusa con culmi di canna: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1		
Operaio comune	Ora	1		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,02		
<i>c) Materiali:</i>				
Culmi di canna	cad	60		
Paletto	cad	2		
Filo di ferro	Kg	0,18		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>33,05 ÷ 37,18</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>64.000 ÷ 72.000</b>

Fig. 14.15 - Copertura diffusa



flusso si può trattare a ceduo con tagli ogni 7 ÷ 10 anni.

• per copertura diffusa con culmi di canna: si veda la **tabella 14.24**.

*Possibili errori:*

- la ramaglia non viene ben assicurata al terreno con filo di ferro o paletti trasversali;
- la ramaglia viene ricoperta con poco terreno o affatto, restando eccessivamente esposta all'aria risultando in tal modo soggetta a disseccamento per vento e insolazione;
- la ramaglia viene coperta da uno strato eccessivo di terreno impedendone lo sviluppo iniziale;
- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

*Analisi prezzi:*

- per copertura diffusa a ramaglia viva: si veda la **tabella 14.23**;

**14.2.5 Viminata viva**

*Descrizione sintetica:* consiste nel fissare al terreno, tramite picchetti di legno o tondini di ferro, un intreccio di verghe di specie con capacità vegetativa. Possono essere disposte a file orizzontali o in diagonale (**figg. 14.23a-14.23b**).

*Voce di capitolato:*

- viminata viva;
- viminata viva con disposizione romboidale;
- viminata viva seminterrata.

Stabilizzazione di pendio o scarpata mediante viminata formata da paletti di legno (larice, castagno, ecc.) di  $\varnothing 3 \div 10$  cm o di ferro  $\varnothing 12 \div 14$

Fig. 14.16 - Copertura diffusa

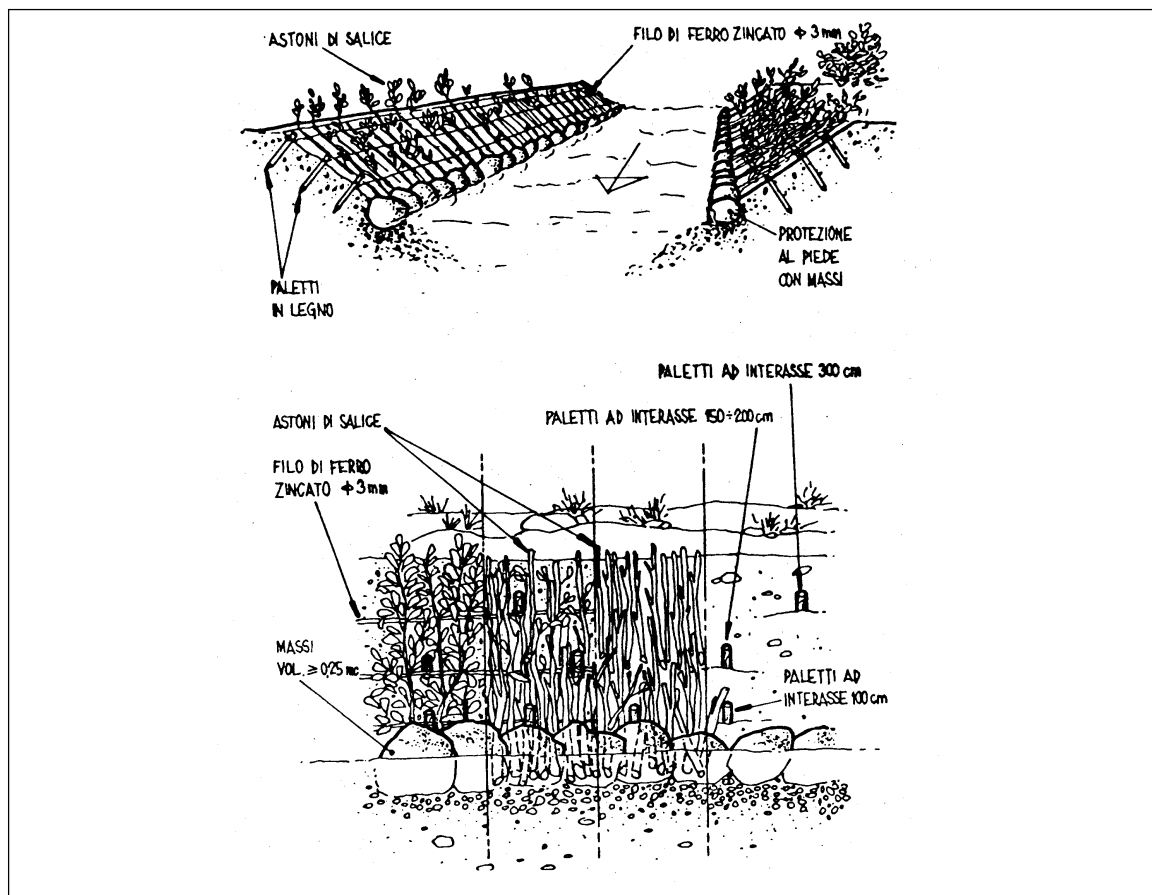


Fig. 14.17 - Copertura diffusa armata al piede con pali

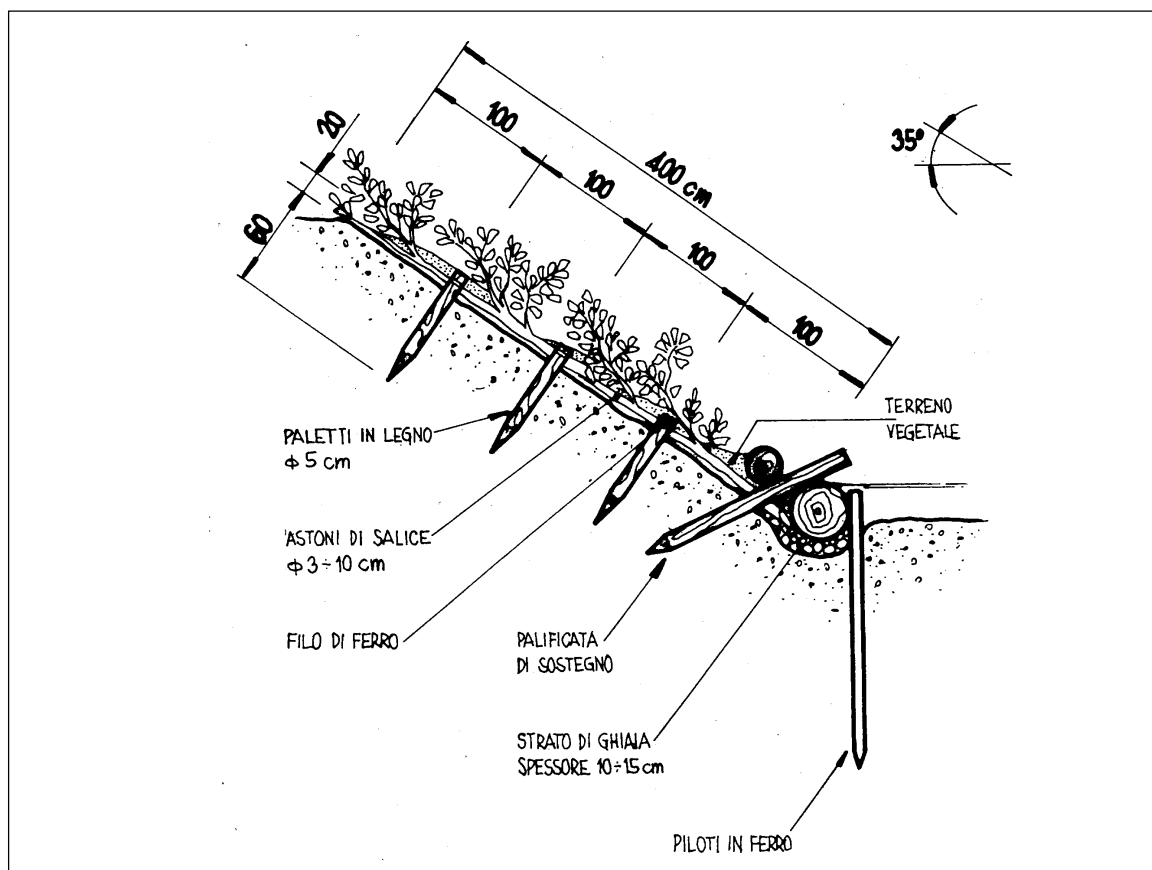


Fig. 14.18 - Copertura diffusa armata al piede con masso

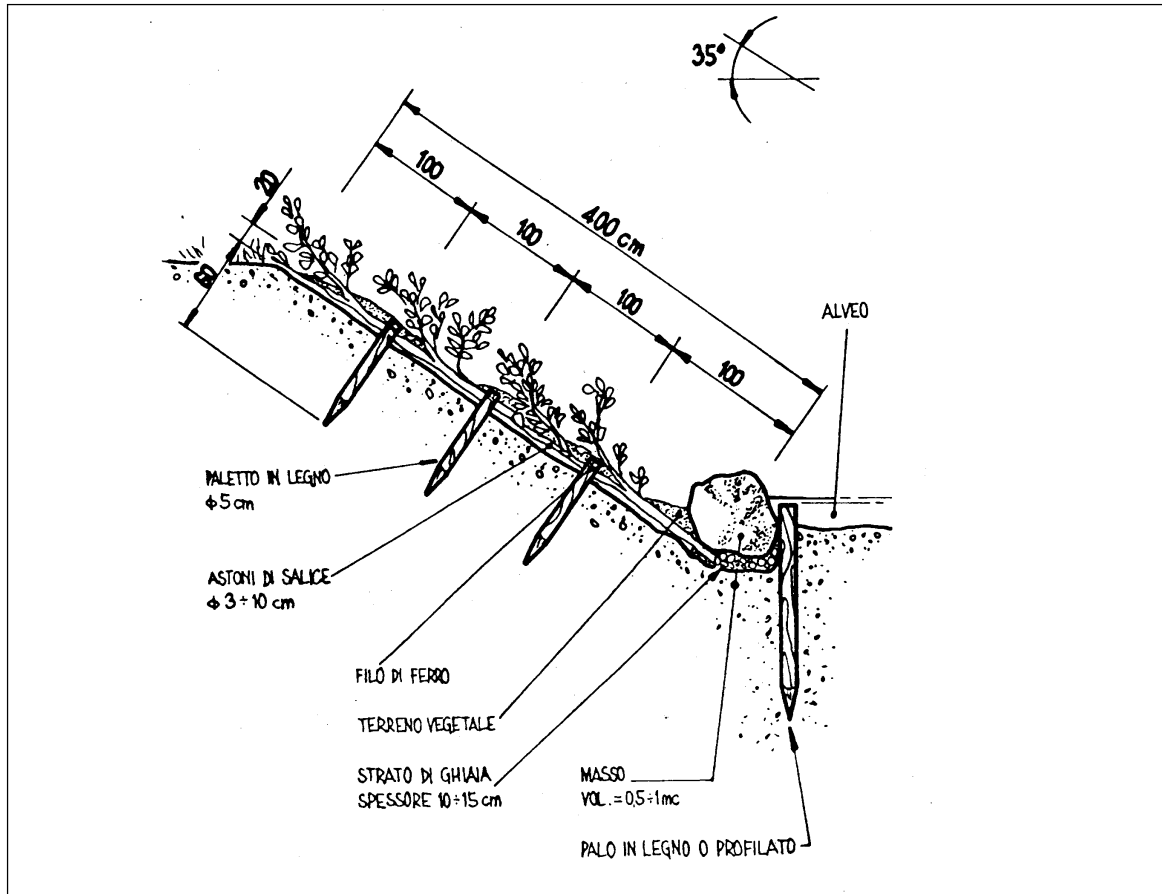


Fig. 14.19 - Copertura diffusa armata al piede con massi

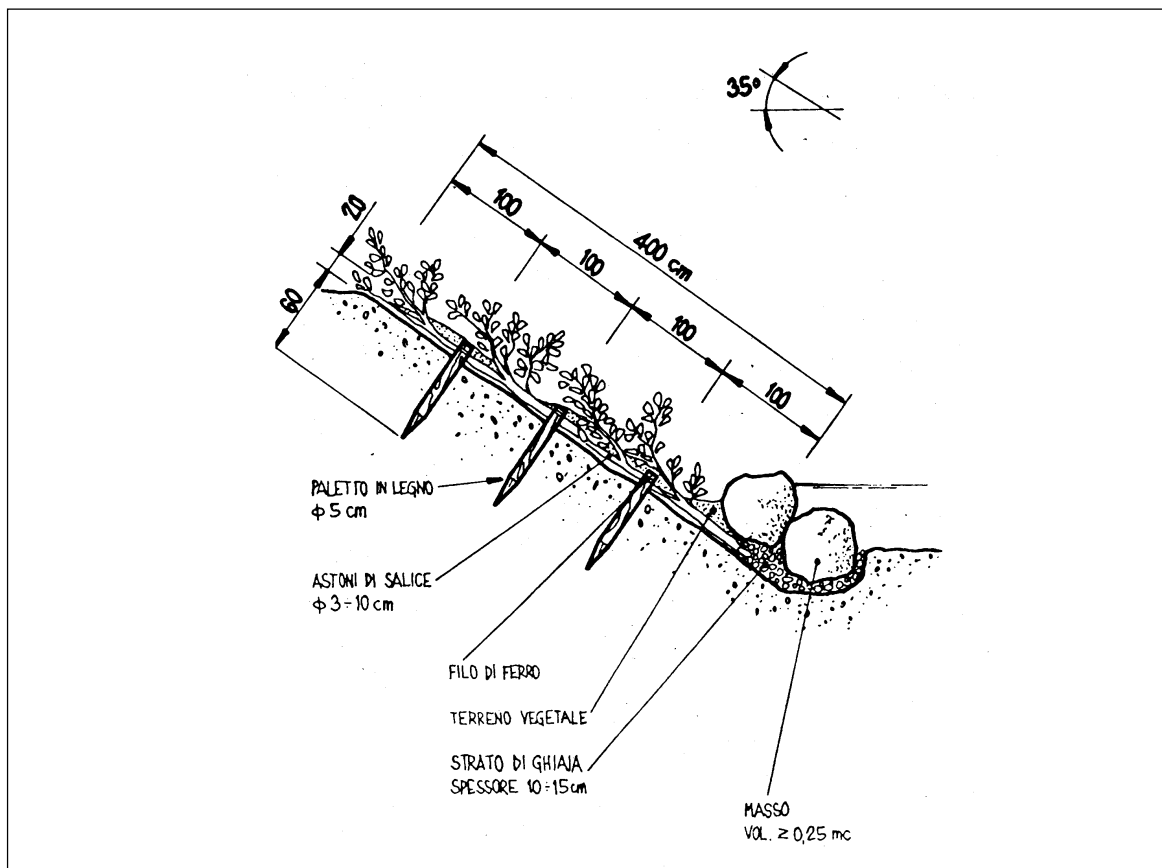


Fig. 14.20 - Copertura diffusa armata con massi e fune

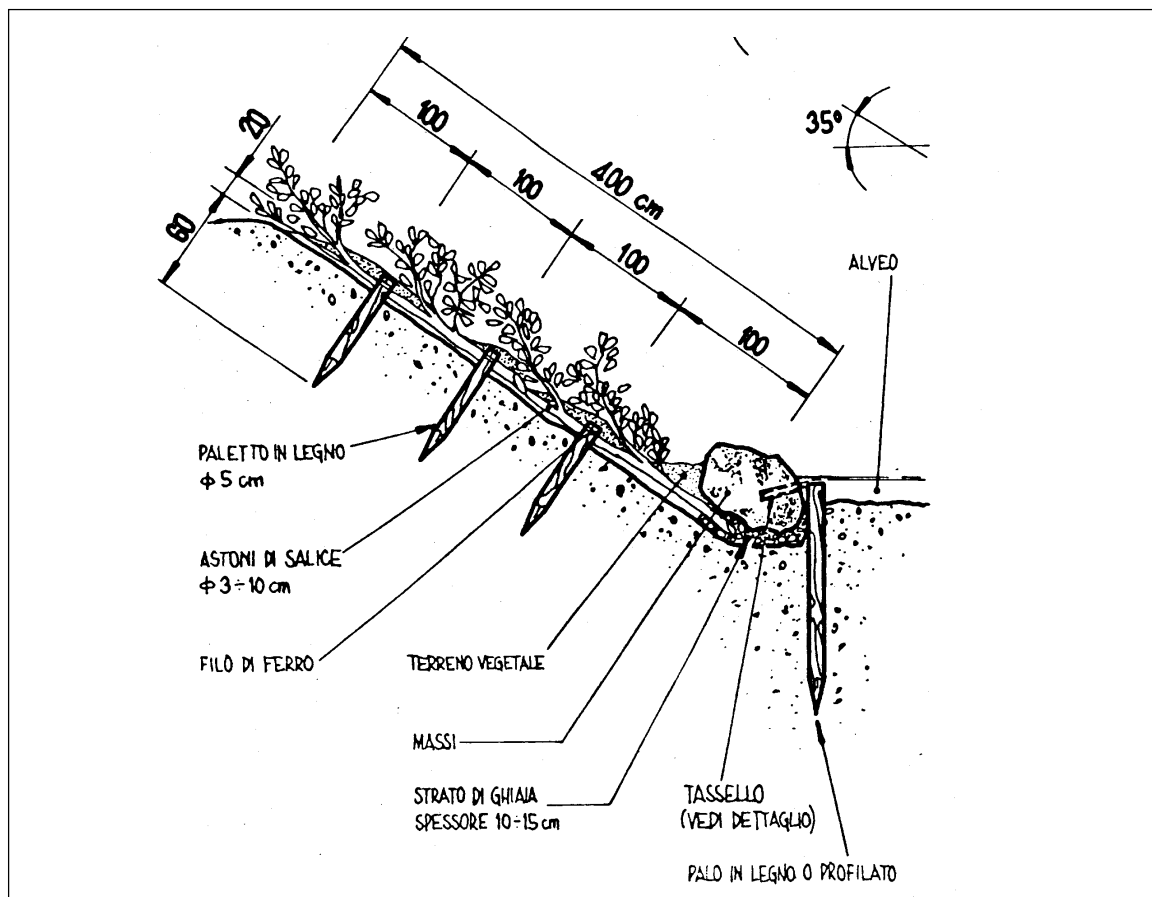


Fig. 14.21 - Copertura diffusa armata con massi e fune

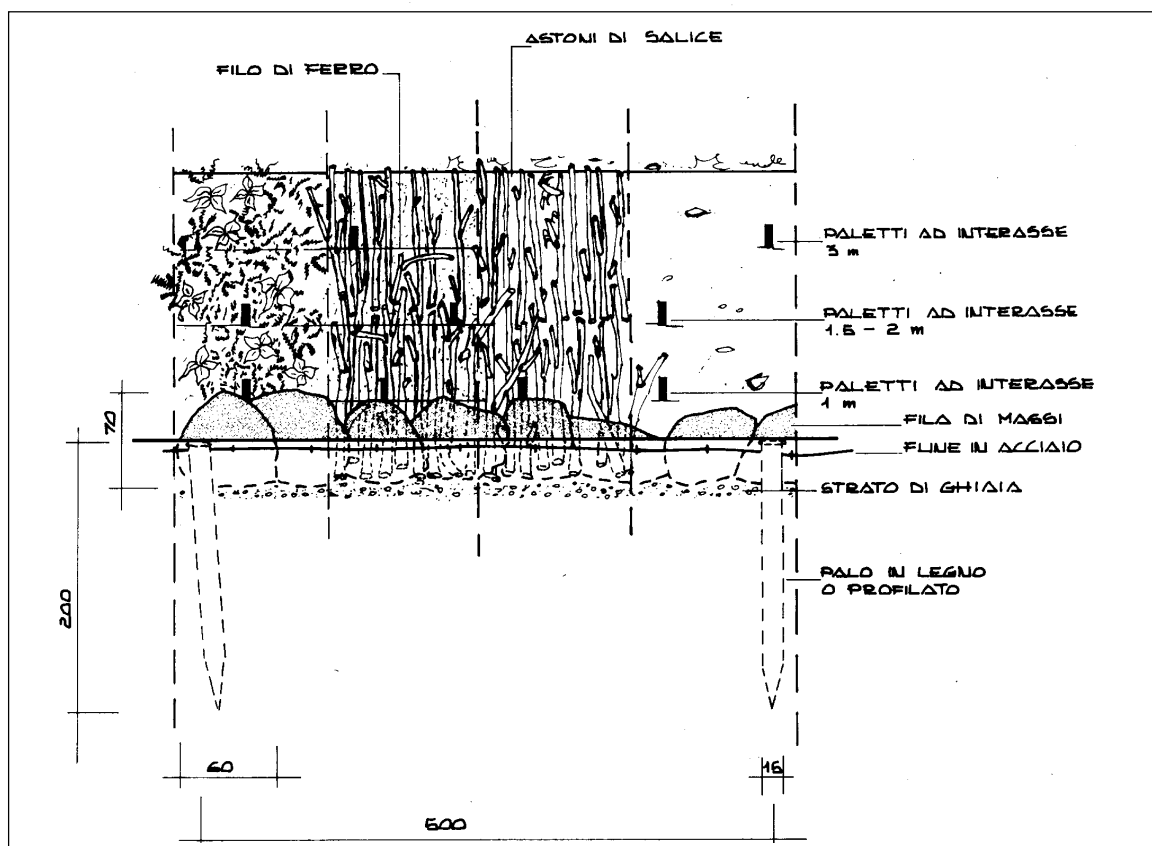
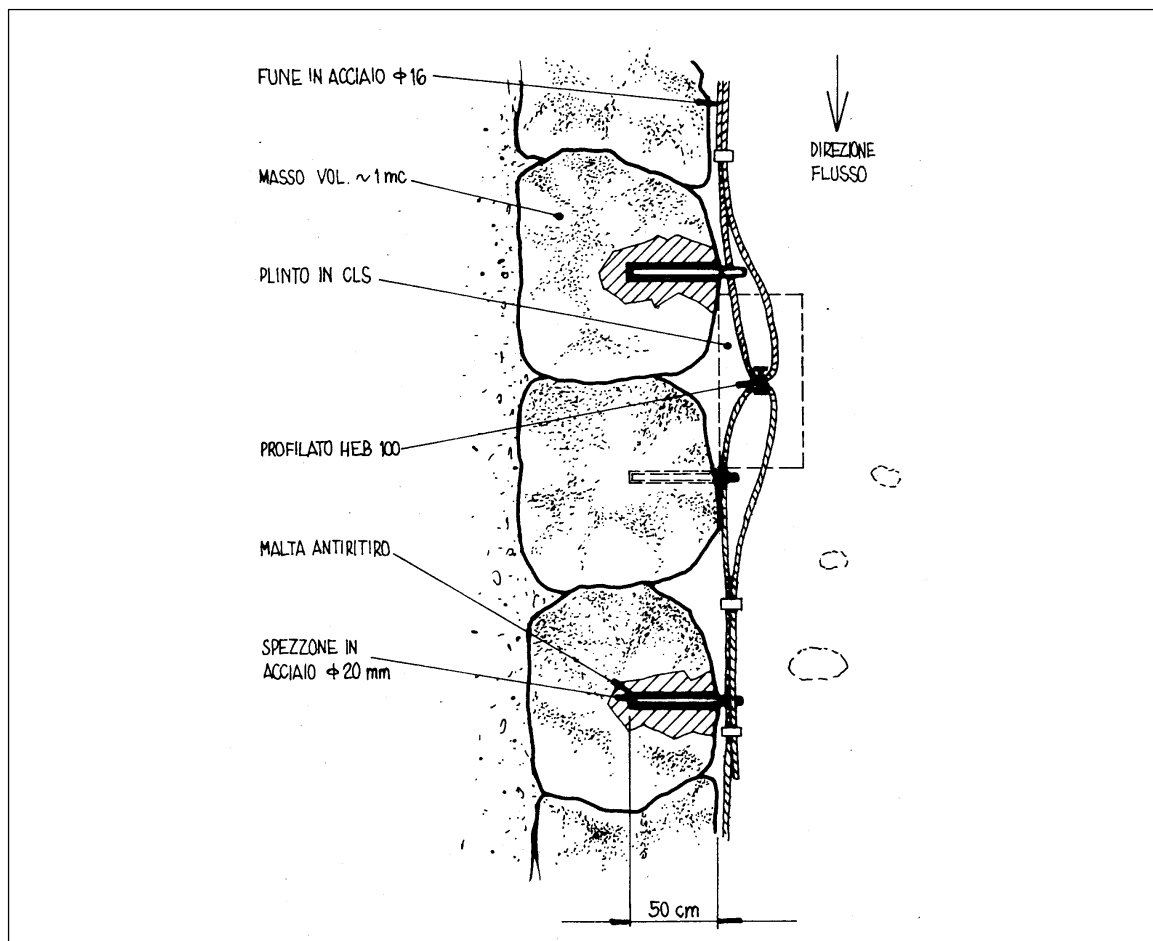




Fig. 14.22 - Copertura diffusa armata con massi e fune: particolare



mm, di lunghezza  $80 \div 100$  cm infissi nel terreno lasciando una altezza fuori terra di  $15 \div 30$  cm, alla distanza di  $1 \div 3$  m uno dall'altro, intervallati ogni 30 cm da paletti o talle vive di  $40 \div 50$  cm, collegati da verghe di salice vivo o altra specie legnosa con capacità di propagazione vegetativa, con l'estremità conficcata nel terreno, di almeno 150 cm di lunghezza, intrecciate sui paletti principali e secondari e legate con filo di ferro per un'altezza di  $15 \div 25$  cm fuori terra ed una parte interrata di almeno 10 cm (l'infossamento ed il contatto con il terreno consentono il migliore attecchimento e radicazione delle piante). Le viminate verranno disposte sui pendii a file parallele distanti da 1,2 m a 2 m. Delle varianti sono costituite da file diagonali a formare rombi o quadrati che aumentano la capacità antierosiva e dalla disposizione seminterrata in solchetti di 20 cm circa, onde aumentare la percentuale di attecchimento in substrati aridi e aumentare l'effetto antiruscigliamento. La messa in opera potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo.

*Campi di applicazione:* pendii e sponde di corsi d'acqua. Consolidamento al piede lungo corsi d'acqua minori, protezione al piede della sponda in combinazione con copertura diffusa. Per

interventi su opere in terra in combinazione con copertura diffusa o fascine drenanti.

*Modalità di esecuzione:* si realizza una fila di picchetti in legno ad una distanza di  $1 \div 3$  m, intervallata ogni 30 cm circa da paletti di legno o talle vive di dimensioni più piccole ( $40 \div 50$  cm). I picchetti più lunghi ( $80 \div 100$  cm) vengono infissi nel terreno (altezza fuori terra  $15 - 30$  cm) con direzione intermedia fra la verticale e la normale al pendio), poi vengono intrecciati con rami di salice, almeno 7-8, lunghi e flessibili che dovranno essere compressi l'uno sull'altro, fino a formare una parete. Nel caso che non sia possibile reperire materiale sufficiente si inserisce materiale morto opportunamente mescolato a quello vivo. È necessario che la viminata viva abbia una parte succientemente interrata per evitare fenomeni di scalzamento al piede e permettere alle verghe di vegetare a contatto con il terreno. Le viminate vive si eseguono in linea (distanza fra le file  $1,2 \div 2$  m) o a formare rombi ed altre figure geometriche e, nel secondo caso, svolgono meglio la funzione di trattenerne il terreno.

*Materiali impiegati:*

- picchetti di legno vivo o morto: lunghezza  $50 \div 100$  cm;  $\varnothing 3 \div 10$  cm;

- verghe elastiche di piante con alta capacità di propagazione vegetativa: lunghezza  $\geq 1,5$  m.

**Vantaggi:** effetto immediato di trattenuta del terreno su sponde fluviali e pendii in erosione di modeste dimensioni.

**Svantaggi:** tecnica che richiede verghe lunghe, di materiale vivo e molta manodopera.

Costi elevati rispetto ad altri interventi di stabilizzazione. Scarso attecchimento delle talee. Tecnica non utilizzabile su terreni argillosi, rocciosi o sassosi. Restringimento della sezione nei corsi d'acqua minori, con conseguente necessità di un'attenta manutenzione.

**Periodo di intervento:** durante il periodo di riposo vegetativo.

**Manutenzione:** controllo della radicazione delle talee. Interventi di riparazione di tratti spezzati; paletti scalzati al piede.

**Analisi prezzi:** si veda la tabella 14.25.

#### 14.2.6 Viminata viva spondale

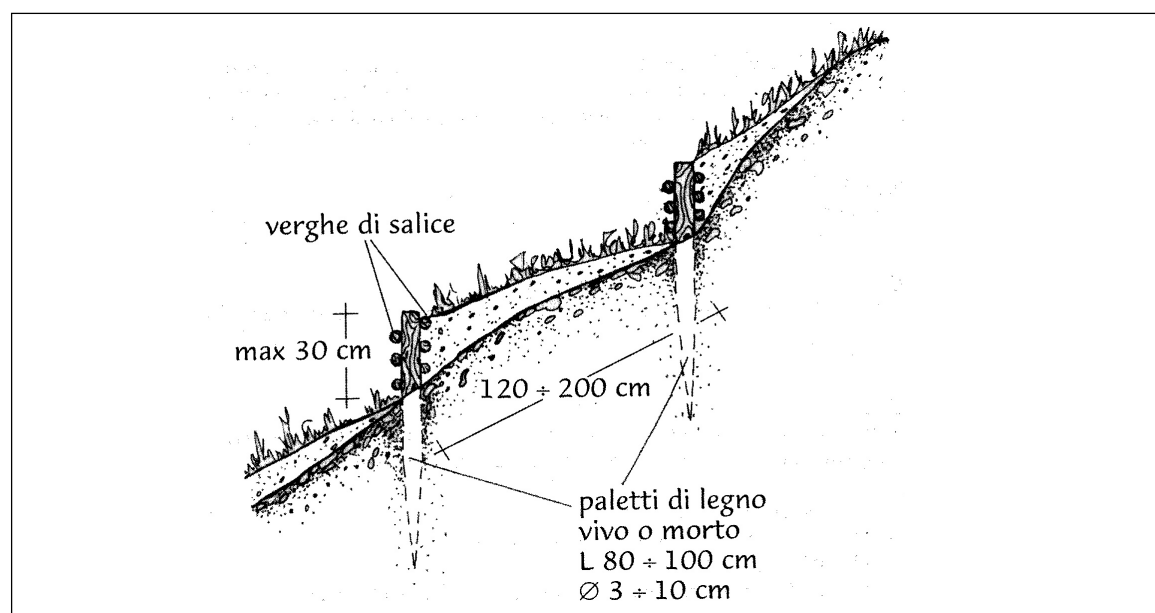
**Descrizione sintetica:** si tratta di una sistemazione stabilizzante lineare su sponda, composta da un intreccio di verghe, fissato al terreno tramite picchetti di legno o tondini di ferro e, successivamente, interrato.

La disposizione delle viminate può essere a file orizzontali o incrociate a formare una costruzione di rombi o di quadrati. Per essere efficace deve essere realizzata con materiale vivo con

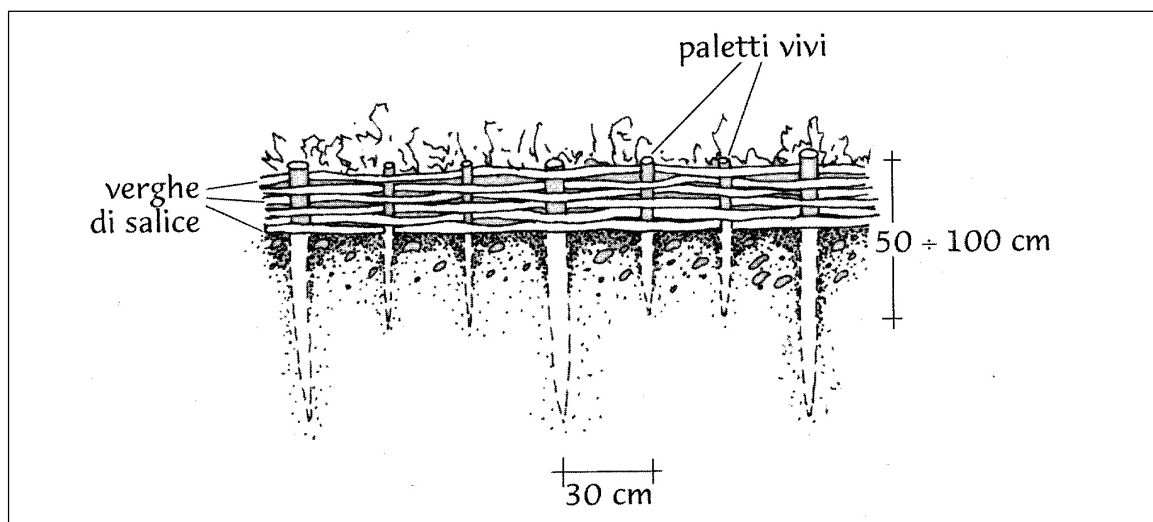
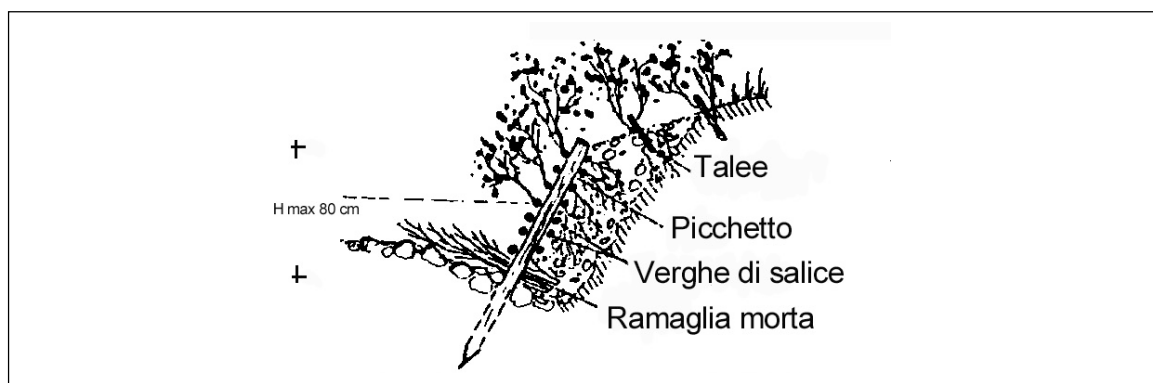
**Tab. 14.25 - Viminata viva: analisi prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,40		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,002		
<i>c) Materiali:</i>				
Verghe	cad	8		
Talee	cad	2		
Pali di legno	cad	1		
Filo di ferro	Kg	0,18		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>18,08 ÷ 30,99</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>35.000 ÷ 60.000</b>

**Fig. 14.23a - Viminata viva: sezione**



Fonte: AIPIN - Sezione Toscana.

Fig. 14.23b - *Viminata viva*: prospettoFig. 14.24 - *Viminata viva spondale*: sezione

capacità di emissione di radici avventizie (figg. 14.24-14.27).

**Descrizione da voce di capitolato:** stabilizzazione di sponda mediante viminata formata da paletti di legno (larice, castagno) di  $\varnothing 8 \div 15$  cm, di lunghezza  $100 \div 150$  cm infissi a reggere la sponda per una altezza fuori terra di  $50 \div 80$  cm, alla distanza di  $1 \div 3$  m uno dall'altro, collegati da verghe di salice vivo o altra specie legnosa con capacità di propagazione vegetativa, di almeno  $150$  cm di lunghezza, intrecciate sui paletti e legate con filo di ferro. Il contatto con il terreno spondale consente il migliore attecchimento e radicazione delle piante. Le viminata spondali verranno utilizzate su sponde di piccoli corsi d'acqua per creare dei piccoli terrazzamenti o sostegni spondali in genere ad una sola fila parallela alla direzione del flusso e con la parte interrata e più grossa delle verghe a monte e l'intreccio a valle. La messa in opera potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo.

**Campi di applicazione:** sulle sponde, con funzione di sostegno degli strati superficiali del terreno nel caso di decorticamenti o erosioni; adatto anche per controllo dell'erosione delle scar-

pate spondali. Le viminata hanno un ottimo effetto sulla regimazione delle acque superficiali. La radicazione delle talee ha un effetto stabilizzante, attraverso l'armatura del terreno. L'opera è tuttavia meno efficace di altre sistemazioni stabilizzanti. Le viminata romboidali o quadrate sono più efficaci per trattenere il terreno vegetale di copertura.

**Fattibilità:** possibilità di pronta ritenuta del materiale sul pendio e di formare con l'intreccio delle gradonature stabilizzanti nel pendio. In generale si ha un elevato consumo di materiale (quindi costi elevati) con effetto di radicazione relativamente modesto, in quanto superficiale.

**Materiali impiegati:**

- rami elastici, poco o non ramificati, di specie legnose dotate di buona capacità vegetativa, facilmente intrecciabili (salici o tamerici), della lunghezza minima di  $150$  cm. In alternativa, intrecci preconfezionati;
- picchetti in legno  $I = 100$  cm,  $\varnothing = 8 \div 12$  cm o aste in ferro  $\varnothing = 12 \div 14$  mm;
- paletti vivi in legno  $L < 100$  cm;
- filo di ferro e/o chiodi carpenteria.

Fig. 14.25 - *Viminata viva spondale*: prospetto

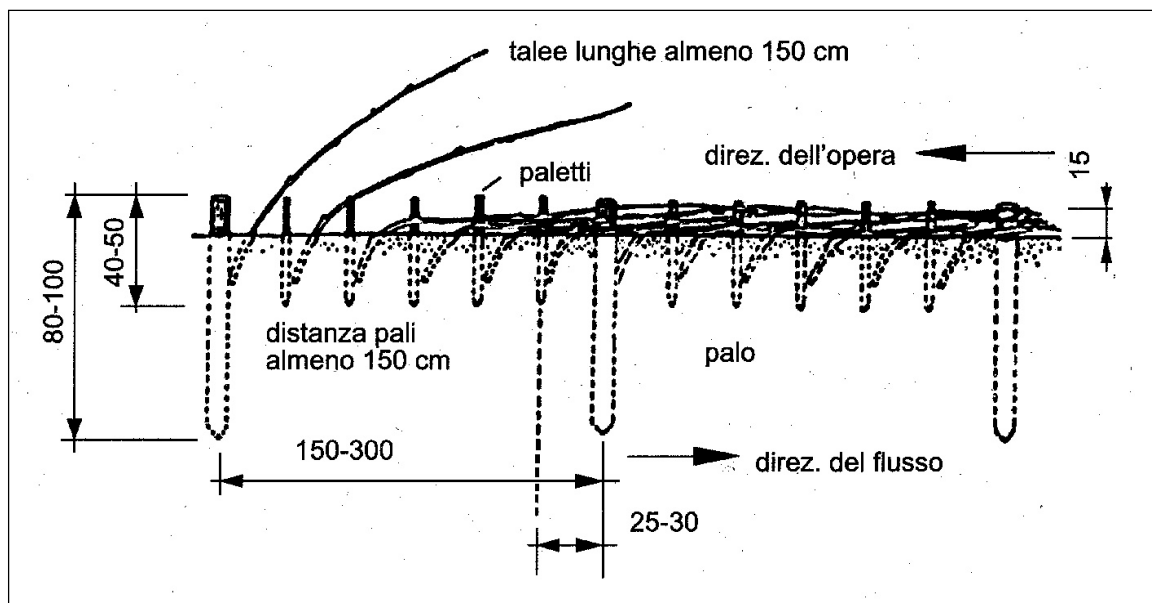


Fig. 14.26 - *Viminata viva spondale*

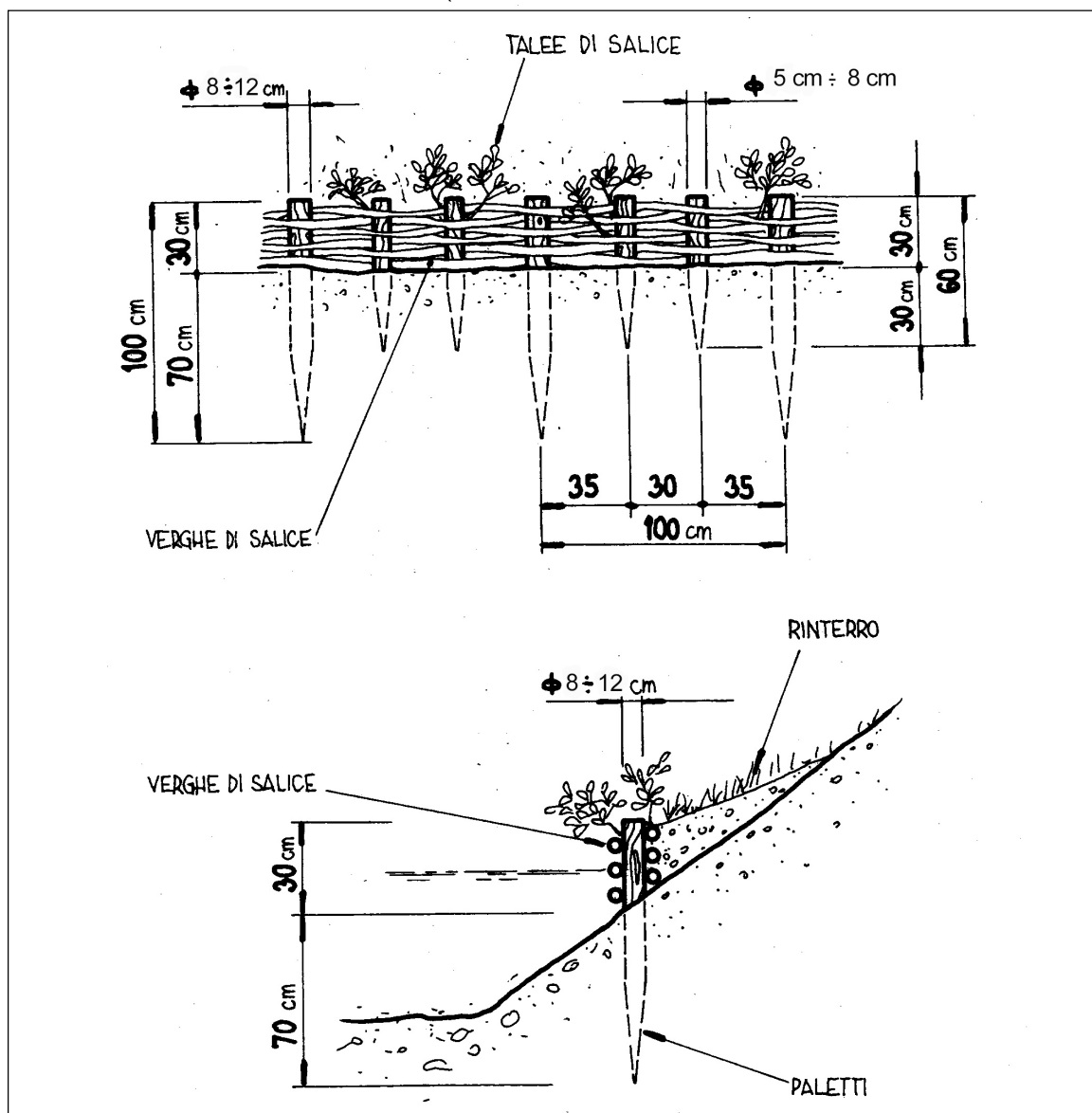
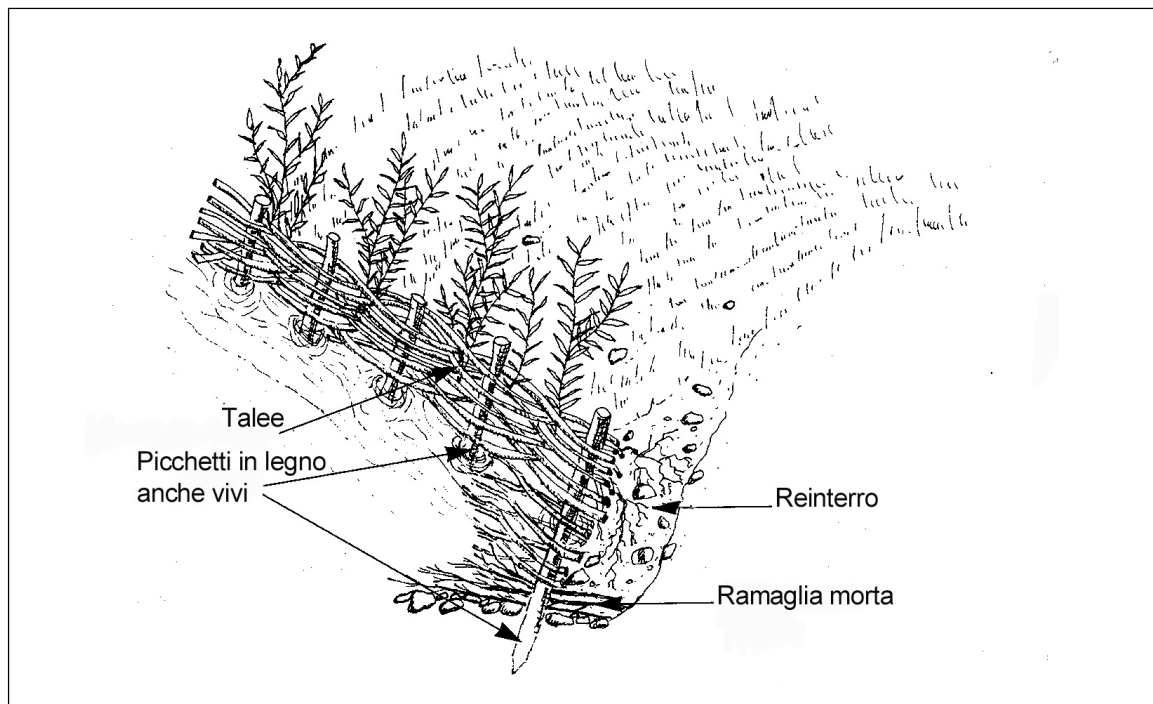


Fig. 14.27 - *Viminata viva spondale: prospettiva***Modalità di esecuzione:**

- i picchetti di legno (o le aste di ferro) vengono infissi nel terreno non rimaneggiato, per almeno due terzi della lunghezza (50 ÷ 80 cm, con interesse 1,0 ÷ 3,0 m). Fra questi picchetti (o aste) vengono infissi, ad intervalli di circa 30 cm i paletti vivi in legno;
- le verghe vengono intrecciate ai paletti. La verga più bassa deve essere posizionata in un piccolo solco scavato nel terreno. Le altre verghe saranno poste a dimora o fuori terra o in parte o totalmente interrate poiché possono meglio radicare. Devono essere collocate da 3 a 7 ÷ 8 verghe una sopra l'altra. I paletti non devono sporgere più di 5 cm al di sopra dell'intreccio;
- le vimate vengono generalmente disposte lungo file orizzontali, distanziate di 1,2 m ÷ 2 m, che attraversano l'intera sponda, oppure in file diagonali a forma di rombo o di quadrato che aumentano la capacità antierosiva. L'altezza della viminata fuori terra deve essere modesta (15 ÷ 30 cm) al fine di garantire una migliore stabilizzazione;
- rinalzo del terreno a monte della viminata per riempire eventuali vuoti.

**Interventi collegati:** inerbimenti, gradonate e sistemazioni di sponda.

**Prescrizioni:** le verghe avranno la base infissa nel terreno e orientata a monte. Le vimate hanno generalmente orientazione parallela a quella della direzione di flusso.

**Limiti di applicabilità:** corsi d'acqua ad elevata energia.

**Vantaggi:**

- immediato contenimento del materiale, sia su sponde, sia su versanti in erosione di modeste dimensioni;
- tecnica adattabile alla morfologia della scarpata.

**Svantaggi:**

- lavoro che richiede tempi lunghi e molta mano d'opera;
- non sempre sono reperibili verghe lunghe ed elastiche da intrecciare in quantità sufficiente;
- la radicazione è modesta rispetto alle quantità di materiale utilizzato;
- tecnica non utilizzabile su terreni argillosi o su terreni a granulometria grossolana;
- necessita di un'attenta manutenzione.

**Effetto:** consolidamento immediato degli strati superficiali di terreno, che migliora quando le verghe emettono radici. Il piede della sponda viene protetto da erosioni e scalzamenti.

**Periodo di intervento:** esclusivamente durante il periodo di riposo vegetativo (da tardo autunno a fine inverno).

**Manutenzione e durata dell'opera:** controllo pluriennale della radicazione delle verghe. Sostituzione immediata dei paletti spezzati e dei riquadri squarciati.

**Possibili errori:**

- riporto di quantità insufficiente di terreno a tergo della viminata;
- errore di valutazione del livello medio dell'ac-

Tab. 14.26 - *Viminata viva spondale: analisi prezzi*

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,40		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,02		
<i>c) Materiali:</i>				
Verghe	cad	8		
Pali di legno	cad	1		
Filo di ferro	Kg	0,30		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	20,66 ÷ 36,15
			£/m <sup>2</sup>	40.000 ÷ 70.000

qua che determina la morte del materiale vegetale impiegato se sommerso per periodi eccessivamente lunghi;

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.26**.

#### 14.2.7 Graticciata

*Funzioni:* stabilizzazione, copertura, regimazione idraulica su versante o su sponde.

*Descrizione:* consiste nella realizzazione di strutture in legname trasversali alla linea di massima pendenza, composte da picchetti infissi nel terreno, realizzazione di intreccio di rami e pertiche legnose e posa a dimora di materiale vegetale vivo nel gradone ottenuto (**fig. 14.28**).

*Descrizione da voce di capitolato:* stabilizzazione e ricostruzione di sponda in erosione mediante:

- infissione di una fila di piloti in legno (ogni 2 ÷ 3 m) lungo la linea di sponda che si intende ricostituire;
- deposizione a tergo dei piloti di ramaglia morta a strati (o interi alberi sino a 20 cm di diametro) a formare una graticciata con le cime dei rami sporgenti per 50 ÷ 80 cm nel fiume e per uno spessore sufficiente ad eguagliare il livello medio dell'acqua;
- infissione di rami vivi di salice attraverso la graticciata sul fondo;
- appesantimento con pietrame o massi o pezzi di calcestruzzo o legatura con filo di ferro di Ø 3 mm.

Durante le piene per la perdita di velocità dell'acqua verrà garantita la deposizione di materiale trasportato e l'intasamento graduale della graticciata. I salici garantiranno a loro volta il rinverdimento iniziale e verranno in seguito sostituiti da altri arbusti.

L'opera andrà eseguita e reintegrata durante il periodo di riposo vegetativo, compatibilmente con il livello dell'acqua.

*Effetto:* l'acqua, penetrando nella struttura, riduce la velocità e permette la sedimentazione del materiale trasportato che va gradualmente ad interrare l'area erosa.

*Campi d'applicazione:* pendii e sponde di corsi d'acqua. Su sponde di corsi d'acqua con elevato trasporto solido, erosioni fino a 3 m possono essere ripristinate sfruttando la stessa forza delle acque. Nel caso di erosioni di maggiori dimensioni la graticciata va realizzata all'inizio della zona erosa verso monte, mentre più a valle si devono realizzare delle briglie o dei pennelli vivi. Può essere utilizzata efficacemente in combinazione con altre tecniche.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione superficiale e/o incanalata;
- tecnica non idonea in corsi d'acqua con velocità della corrente molto elevata.

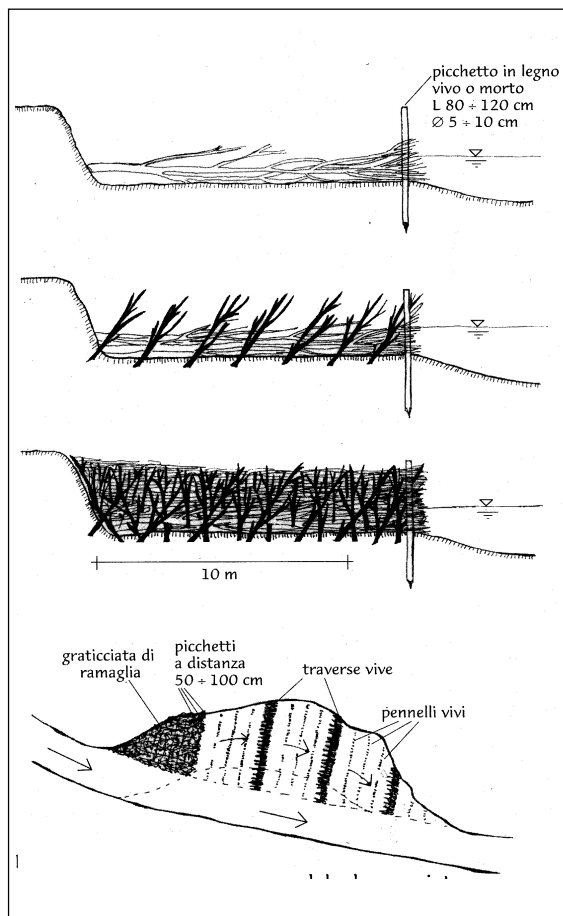
*Materiali impiegati:*

- picchetti in legno vivo o morto (di legname reperito in loco, meglio se caratterizzato da buona durabilità ad esempio, castagno, maggiociondolo, ecc.), Ø 5 ÷ 10 cm, lunghezza 0,80 ÷ 1,20 m;
- verghe di piante con alta capacità di propaga-

zione vegetativa e caratterizzate da buona flessibilità, con  $\varnothing 3 \div 8$  cm e lunghezza  $2 \div 3$  m;

- materiale vivo: talee, piantine a radice nuda o in fitocella. Nel caso che non sia possibile reperire materiale vivo sufficiente è possibile inserire anche materiale morto opportunamente mescolato a quello vivo.

**Fig. 14.28** - Esempio applicativo: sistemazione di un tratto spondale danneggiato



Fonte: Regione Toscana, *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica*, Vol. 2.

**Modalità di esecuzione:** la costruzione della graticciata è, di solito, simile a quella della viminata, ma, invece di realizzare strutture lineari, si fa in modo che gli intrecci si intersechino formando strutture a camera in modo da proteggere l'intera superficie su cui sono posti. Si posizionano i picchetti in legno ad una distanza di circa  $50 \div 100$  cm. I picchetti vengono infissi nel terreno, dopo di che vengono intrecciati con rami lunghi e flessibili di salice, che dovranno essere compressi l'uno sull'altro, fino a formare una parete. È necessario che una parte delle verghe sia interrata per evitare fenomeni di scalzamento al piede e permettere alle piante di vegetare. Può essere necessario ancorare la graticciata con filo di ferro.

**Accorgimenti:** particolare attenzione dovrà essere posta alla correttezza e completezza delle tecniche esecutive, altrimenti la graticciata ha una durata di pochissimi anni.

**Vantaggi:** effetto rapido su greti di fiume e pendii in erosione, si possono usare anche verghe di materiale morto. Tipo di intervento di semplice realizzazione, favorisce la creazione di habitat per l'ittiofauna.

**Svantaggi:** tecnica che richiede molto materiale vivo e molta mano d'opera per la sua realizzazione; modesta radicazione delle piante.

**Periodo di intervento:** durante il periodo di riposo vegetativo.

**Manutenzione:** controllo della radicazione delle talee. Interventi di riparazione di tratti spezzati e paletti scalzati al piede.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.27**.

#### 14.2.8 Fascinata drenante su pendio

**Descrizione sintetica:** consiste nella realizzazione di dreni superficiali o subsuperficiali, disposti lungo il percorso più breve che seguireb-

**Tab. 14.27** - Graticciata: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<b>a) Manodopera:</b>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,40		
<b>b) Noli:</b>				
Autocarro	Ora	0,02		
<b>c) Materiali:</b>				
Verghe	cad	8		
Picchetti in legno	cad	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>20,66 ÷ 36,15</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>40.000 ÷ 70.000</b>

be l'acqua lungo il pendio, con eventuali diramazioni laterali per il miglioramento del drenaggio su tutta la scarpata (fig. 14.29).

**Voce di capitolato:** costituzione di drenaggi con fascine disposti lungo il percorso più breve che seguirebbe l'acqua lungo il pendio con eventuali diramazioni laterali per un prosciugamento diffuso. Le fascine saranno formate da verghe o rami lunghi e dritti di piante legnose con capacità di propagazione vegetativa, anche in combinazione con ramaglia "morta" (ma non disseccata), che viene posta nella parte bassa a contatto con il terreno, disponendo le parti grosse sempre dalla stessa parte (in direzione opposta al deflusso). Il tutto a costituire fascine continue di  $\varnothing 0,20 \div 0,60$  m, legate ad intervalli di 50 cm con filo di ferro  $\varnothing 1,5 \div 3$  mm e fissate in solchi di drenaggio predisposti lungo il pendio mediante paletti di legno  $\varnothing 8 \div 12$  cm o di ferro  $\varnothing 8 \div 14$  mm, con eventuale rinforzo longitudinale con fili di ferro o corde di acciaio per evitare rotture dovute ad eccessive sollecitazioni da trazione nei tratti più ripidi. Per drenaggi di acque che si trovano ad una profondità maggiore di  $30 \div 40$  cm, verrà scavato un fosso ad opportuna profondità che verrà riempito con pietrisco drenante, eventualmente concomitante con un tubo di drenaggio, per uno spessore di  $20 \div 60$  cm, sormontato a sua volta da una fascinata viva che raggiunge la superficie. Altri abbinamenti possono essere effettuati tra diverse fascinate vive (superficiali) e fascinate morte (sotterrate). I fossi drenanti con fascinate andranno collegati ai collettori di sgrondo. La messa in opera potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo.

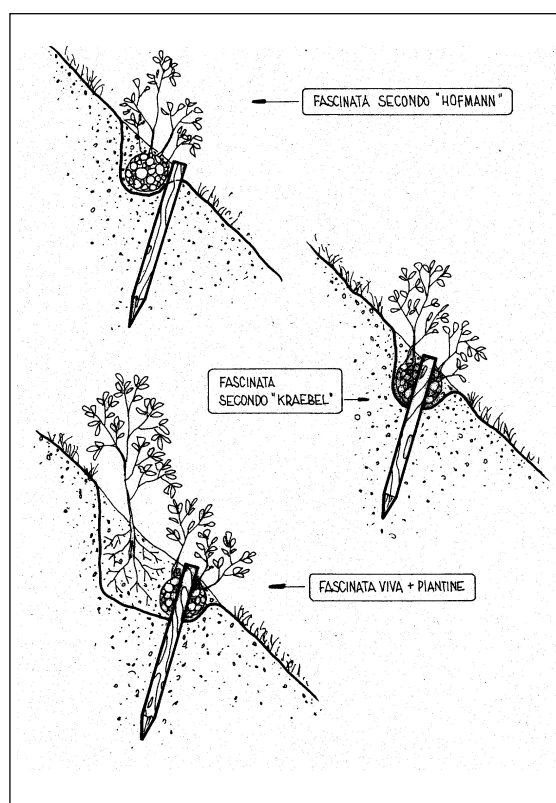
**Effetto:** il drenaggio e la capacità di traspirazione delle fascine vive aumentano la stabilità del terreno e la copertura della vegetazione impedisce l'erosione superficiale per ruscellamento.

**Campi di applicazione:** l'intervento si presta per la captazione delle acque sotterranee nel caso in cui esse possono essere intercettate a profondità ridotte rispetto alla quota di campagna.

**Materiali impiegati:**

- ramaglia viva ed astoni con  $\varnothing \geq 3$  cm di specie scelte in base alle caratteristiche stazionali, in gran parte con capacità di diffusione vegetativa;
- paletti in legname con  $\varnothing$  medio di  $8 \div 12$  cm; sono comunque preferibili picchetti in ferro

Fig. 14.29 - Fascinata drenante su pendio



Tab. 14.28 - Fascinata drenante su pendio: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,8		
Operaio comune	Ora	0,8		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
<i>c) Materiali:</i>				
Verghe	cad			
Picchetti	Kg	1,4		
Filo di ferro	Kg	0,50		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>32,02 ÷ 34,6</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>62.000 ÷ 67.000</b>



- (tondini ad aderenza migliorata) con  $\varnothing 8 \div 14$  mm e lunghezza di  $80 \div 150$  cm;
- filo di ferro per legature:  $\varnothing 2 \div 3$  mm;
- eventuale ghiaia e tubo drenante microforato.

**Modalità di esecuzione:** scavo di una fossa di larghezza pari al diametro di una o due fascine (40-80 cm) e di profondità non superiore ai 40 cm. La pendenza minima è intorno al 2%.

Collocazione di fascine all'interno del fosso in modo tale da garantirne il completo riempimento. Le fascine vengono successivamente ricoperte di un sottile strato di terreno e quindi fermate con paletti di legno vivi, oppure con aste di ferro che vengono spinte obliquamente ad intervalli di minimo 80 cm (in corrispondenza delle legature), attraverso le fascine nel terreno. Il numero dei picchetti è proporzionale alla pendenza del fosso. Se il pendio è molto ripido le fascine possono essere fermate da funi di acciaio legate a pali ben fissi nel terreno, al fine di contrastare le forze di trazione esercitate dall'acqua.

**Vantaggi:** materiali facilmente reperibili in zona; in un intervento complessivo che prevede la realizzazione di altre opere con tecniche di Ingegneria Naturalistica può essere utilizzato anche il materiale che deriva dagli scarti della preparazione delle talee. Immediata azione drenante "meccanica" migliorata in seguito all'azione evapotraspirante delle piante. Economicamente conveniente in aree argillose dove il reperimento di ciottoli e ghiaia è difficile ed oneroso. Esteticamente gradevole ed adatto anche per un prosciugamento diffuso delle acque sotterranee in zone d'emergenza, attraverso una disposizione dei solchi a "V" e successivo collettamento in un canale principale di allontanamento delle acque dall'area instabile.

**Svantaggi:** è necessaria una grande quantità di materiale vivo e molta manodopera. Non possono essere realizzati con questo schema drenaggi profondi (maggiori di 80 cm dal piano campagna).

**Manutenzione:** tagli frequenti della vegetazione arbustiva che si sviluppa dalle fascine al fine di mantenerla elastica, in modo da permettere il passaggio dell'acqua in superficie (qualora, come spesso succede, le linee di drenaggio con fascine siano anche via preferenziali per lo scorrimento delle acque meteoriche).

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.28**.

#### 14.2.9 Fascinata viva spondale

**Descrizione sintetica:** opera idraulica longitudinale per consolidamento al piede e rinaturalizzazione di sponde fluviali e lacustri mediante la posa di fascine viventi realizzate con specie in grado di riprodursi per via vegetativa. La base del solco che ospita la fa-

scina può essere rivestita da ramaglia che sporge nell'acqua al di sotto della fascina stessa. La fascina viene assicurata mediante l'infissione di picchetti in legno con orientazione alternata, per rendere così la struttura più elastica e solidale in caso di piena (**fig. 14.30**).

**Descrizione da capitolato:** protezione del piede di sponda con fascinata viva in corsi d'acqua con portata relativamente costante e il cui livello medio permetta che la fascina si trovi fuori dall'acqua per almeno tre mesi durante il periodo di vegetazione. Le fascine saranno costituite da rami vivi di specie legnose adatte alla riproduzione vegetativa (salici, tamerici, miricaria) mescolati ad altre specie, avranno  $\varnothing 0,20 \div 0,50$  cm legate con intervalli di 30 cm con filo di ferro di almeno 2 mm, e verranno poste in modo da sporgere per  $1/2 \div 1/3$ , in un fossatello predisposto al piede della sponda, su uno strato di rami che spoggeranno per almeno 50 cm da sotto la fascina fuori dall'acqua. Le fascine verranno fissate ogni  $0,8 \div 1$  m con pali di salice vivi o con barre in ferro e dovranno essere rincalzate con terreno per garantire la crescita delle piante. La messa in opera potrà avvenire soltanto durante il periodo di riposo vegetativo. Nella fascinata rinforzata sino all'altezza della portata di magra l'alveo viene rivestito con massi di varia dimensione a rinforzo basale della parte sommersa.

**Campi di applicazione:** corsi d'acqua con portate e livello medio relativamente costanti; generalmente in combinazione con altre opere di difesa spondale.

**Limiti di fattibilità:** l'applicazione delle fascinate spondali è limitata ai corsi d'acqua con velocità della corrente inferiore ai 3 m/s e con ristrette oscillazioni del livello medio dell'acqua; durante il periodo vegetativo la fascina si deve trovare almeno parzialmente fuori dall'acqua.

**Materiali impiegati:**

- ramaglia di specie riproducibili per via vegetativa: salici in varietà di cui i più usati sono il salice rosso ed il salice di ripa (*Salix purpurea* e *Salix eleagnos*); tamerice (*Tamarix spp.*); culmi di canna; eventualmente ramaglia di altre specie reperibili in loco;
- filo di ferro ( $\varnothing 2 \div 3$  mm);
- tondino di ferro ad aderenza migliorata ( $\varnothing 12 \div 16$  mm);
- picchetti in legno di castagno o di salice ( $\varnothing 8 \div 12$  cm);
- terreno di riporto.

**Grado di reperibilità dei materiali:** la reperibilità dei salici o delle altre specie necessarie, lungo le sponde di corsi d'acqua è generalmente buona; il taglio è subordinato a richiesta di autorizzazione. Per tutti gli altri materiali la reperibilità è buona.

**Modalità di esecuzione:**

- recupero di verghe di specie legnose con capacità di propagazione vegetativa (salici, tamerici) Ø minimo 3 cm e loro assemblaggio (preferibilmente su cavalletti); la posa delle verghe dovrà avvenire in modo tale da garantire una disposizione equamente alternata degli apici e delle basi fino a formare fascine di Ø 20 ÷ 50 cm e lunghezza 2 ÷ 3 m fino a 4 m; infine legatura con filo di ferro Ø 2 ÷ 3 mm ad intervalli di circa 50 cm;
- formazione di un solco poco profondo (20 ÷ 60 cm) e posa della fascina in modo tale che 1/2 ÷ 1/3 della stessa venga a trovarsi nel terreno o in acqua, all'altezza del livello di portata media e le stesse abbiano le estremità compenetranti;
- fissaggio della fascina con pali di salice vivi (o morti) o con barre di acciaio passanti attraverso la fascina stessa e posti ad una distanza l'uno dall'altro di 0,80 ÷ 1,00 m e saranno orientati alternativamente verso monte e verso valle rispetto alla fascina;
- ricoprimento delle fascine con uno strato di terreno tale da lasciare sporgere solo brevi segmenti di rami.

**Parametri e metodi di calcolo:** i parametri idraulici indicativi per l'applicazione sono la velocità della corrente ( $v$ ) < 3 m/s, pendenza dell'alveo ( $i$ ) < 5%, le oscillazioni del livello medio dell'acqua < 1 m. Limiti stagionali di impiego delle specie vegetali corrispondono generalmente ai limiti di fattibilità; per la costruzione delle fascine viventi è consigliabile l'impiego di specie arbustive autoctone a riproduzione vegetativa.

**Prescrizioni:**

- a protezione della fascina contro lo scalzamento in caso di piena, viene posta al di sotto della fascina ramaglia di salice a formare una gradonata, sporgente verso l'acqua di 20 ÷ 50 cm;
- le estremità delle fascine devono compenetrarsi l'una con l'altra.

**Limiti di applicabilità:** la realizzazione di fascine spondali determina un restringimento del-

l'alveo, è necessario quindi prevedere lo spazio necessario per il regolare deflusso delle acque.

**Vantaggi:**

- tecnica di realizzazione semplice e veloce;
- facile reperibilità dei materiali in loco.

**Svantaggi:**

- radicazione delle fascine abbastanza superficiale;
- fascinata sensibile ai movimenti delle masse terrose;
- in caso di totale attecchimento è necessario intervenire con manutenzioni di potatura periodiche;
- restringimento della sezione di un corso d'acqua.

**Effetto:** consolidamento immediato della sponda, effetto amplificato successivamente, non appena le piante hanno emesso le radici; riduzione dell'erosione di sponda.

**Periodo di intervento:** l'impiego dei materiali vivi dovrà avvenire nel periodo di riposo vegetativo.

**Possibili errori:**

- errato posizionamento rispetto al livello medio dell'acqua;
- eccessivo ricoprimento;
- insufficienti ancoraggi;
- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

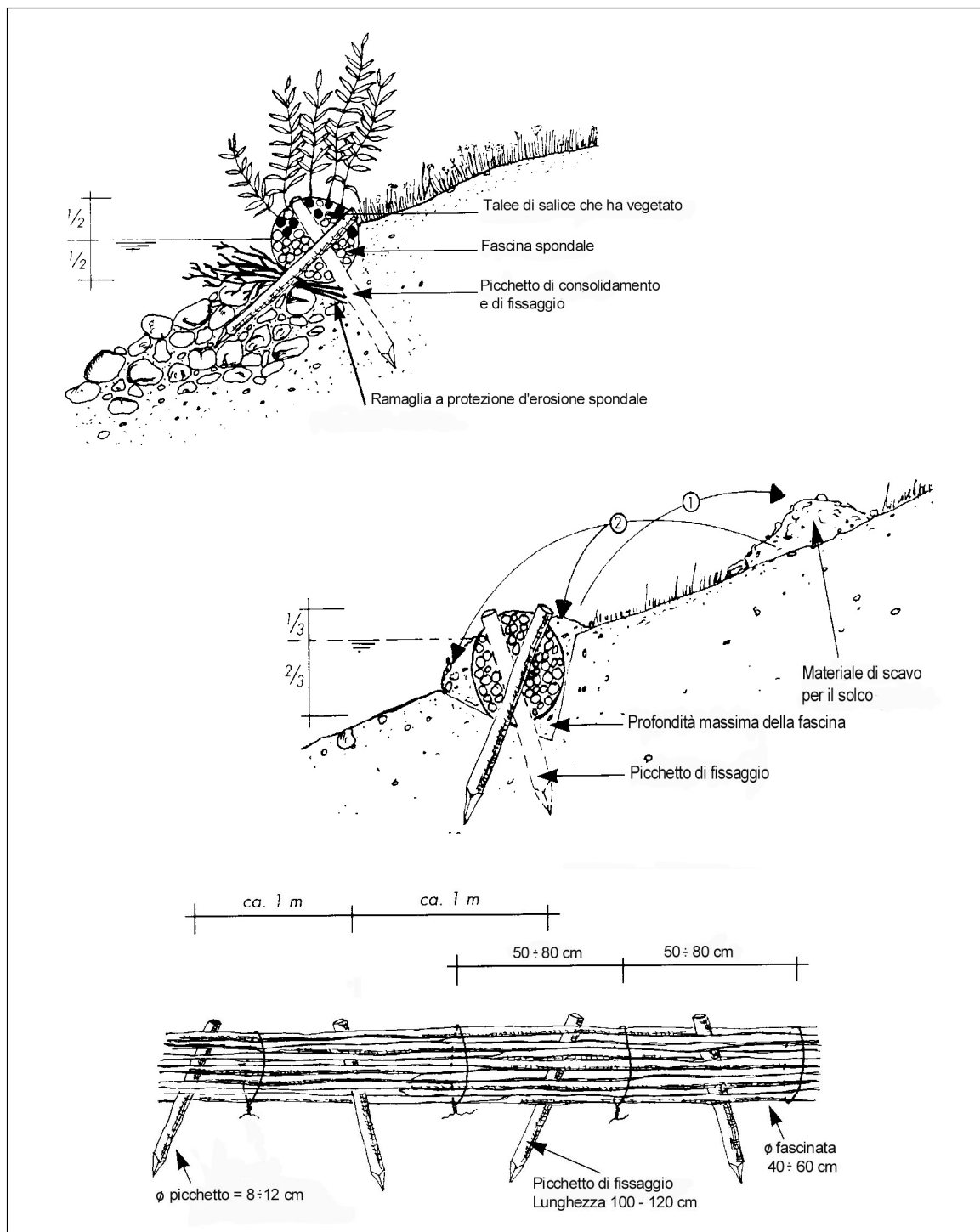
**Note:** qualora non fosse necessaria una elevata densità della vegetazione spondale da parte dei salici, al materiale vivente per la costruzione delle fascine potrà essere unita ramaglia morta di conifere o latifoglie non moltiplicabili per via vegetativa il cui scopo è, nelle prime fasi, puramente meccanico. Nella parte sommersa può essere necessaria la posa di fascine costruite interamente con materiale morto (ramaglia di specie arbustive o arboree). Una variante per aree lagunari o stagnanti è rappresentata dalla fascina con culmi di canna (*Phragmites communis*; *P. australis*).

**Analisi prezzi:** si veda la tabella 14.29.

**Tab. 14.29 - Fascinata viva spondale: analisi prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,25		
Operaio comune	Ora	0,25		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,02		
<i>c) Materiali:</i>				
Picchetti	Kg	1,4		
Filo di ferro	Kg	0,60		
Verghe	cad	20		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>76,00 ÷ 27,37</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>46.000-53.000</b>

Fig. 14.30 - Fascinata viva spondale



#### 14.2.10 Canaletta in legname

**Funzioni:** regimazione idraulica su versante.

**Descrizione:** opere di drenaggio in terreni incoerenti. Le canalette in legname si realizzano in terreni instabili che necessitano di un'apposita struttura in grado di mantenere nel tempo, fino a consolidamento avvenuto, il profilo del canale impostato (fig. 14.31).

**Effetto:** intercettazione ed allontanamento im-

mediato delle acque di scorrimento sub-superficiali.

**Campi di applicazione:** strutture realizzate per il contenimento e lo smaltimento delle acque meteoriche e di scorrimento sub-superficiale e per limitare i fenomeni di erosione e dilavamento dei versanti, principali cause di instabilità degli stessi.

**Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:** si prevedono le seguenti verifi-

che principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio).

Inadeguatezza della tecnica nel caso di eccessive portate del tratto su cui intervenire.

#### Materiali impiegati:

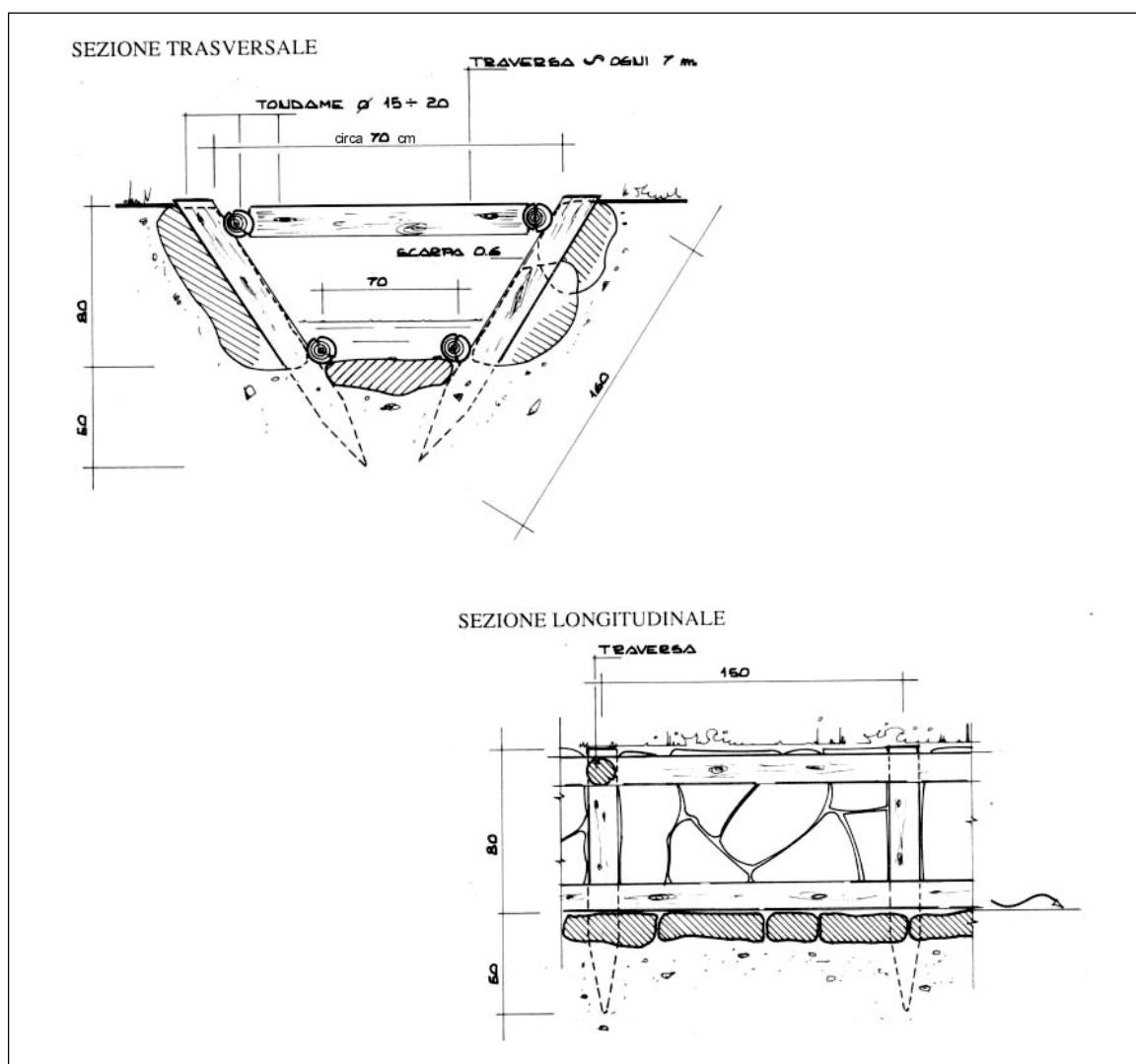
- pali di castagno per la realizzazione dei telai,  $\varnothing 8 \div 15$  cm e lunghezza  $2,5 \div 3$  m (anche cipresso o altre resinose);
- pali di castagno o cipresso od altre resinose per i rivestimenti interni  $\varnothing 8 \div 12$  cm, lunghezza variabile;
- tavolame in castagno spessore 2,5 cm, larghezza  $15 \div 25$  cm, lunghezza  $2,0 \div 2,5$  cm;
- chiodi da edilizia aventi lunghezza  $12 \div 15$  cm;

- filo di ferro cotto,  $\varnothing 1,5 \div 2,5$  mm;
- paleria di castagno e in ferro ad aderenza migliorata per gli ancoraggi;
- geocompositi impermeabili.

**Modalità di esecuzione:** generalmente presentano sezione ad "U", a "V" o trapezia.

Sono costruite con tavolame o pali di castagno di diversa larghezza, diametro e lunghezza eventualmente tagliati lungo l'asse longitudinale. S'impiegano, per la realizzazione, normali chiodi da edilizia aventi lunghezza in funzione degli spessori del materiale utilizzato, filo di ferro cotto e paletti in legname o in ferro per gli ancoraggi opportunamente dimensionati. Con l'ausilio di idoneo mezzo meccanico o manualmente si realizza lo scavo, e s'iniziano a posare i legnami preventivamente assemblati secondo il profilo prescelto che costituiscono l'ossatura della canaletta. Su questi telai verranno chiodati dall'interno i legnami che costituiranno la base e le pareti. In genere, nei versanti, la parete a monte dovrà avere un maggiore sviluppo in altezza in grado di contenere l'even-

Fig. 14.31 - Canaletta in legname e pietra



Fonte: Regione Emilia Romagna, *Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica* (modificato).

tuale franamento di materiale. Al contempo, nei casi in cui si voglia aumentare l'effetto drenante delle acque sub-superficiali, sarà opportuno distanziare gli ultimi ordini di legname in modo da realizzare una sorta di griglia filtrante. Una volta realizzata la struttura portante, si procederà, per impermeabilizzarla, all'intasamento delle fessure con ghiaio bitumato a freddo e quindi alla semina con idoneo miscuglio. A volte in presenza di portate ridotte ma costanti con scarso trasporto di materiale fine, oppure nei tratti in cui risulta oneroso questo procedimento, può essere conveniente posare internamente alla struttura un tessuto impermeabile del tipo di quelli comunemente impiegati nei drenaggi. Questi tessuti sintetici permettono di trattenere anche il particolato in sospensione. Successivamente il tutto può essere seminato con metodi tradizionali o con idrosemina. Qualora invece in zona sia presente del materiale litoide, quest'ultimo può essere proficuamente impiegato per la realizzazione delle canalette stesse. Questa tipologia di intervento risulta infatti di conveniente applicazione nei piccoli corsi d'acqua, dove l'impermeabilizzazione del fondo è data dal progressivo accumulo, negli interstizi delle pietre, di materiale più fine che satura le fughe tra le pietre stesse.

**Accorgimenti:** è opportuno procedere alla posa dei legnami longitudinali in modo e maniera tali che due pali affiancati non abbiano inizio e fine nello stesso punto, ma risultino sfalsati tra di loro e posizionare, in corrispondenza di ogni telaio, dei distanziatori in legname chiodandoli all'interno delle due pareti laterali. Nei casi in cui lo sviluppo della canaletta sia elevato e con forti pendenze, è consigliabile realizzare lungo

il percorso briglie, pozzetti di contenimento e opere trasversali costituite da legname chiodato in modo da trattenere il materiale più grossolano e far passare quello più fine.

**Vantaggi:** facilità di esecuzione, leggerezza e adattabilità del manufatto. Costi contenuti.

**Svantaggi:** rispetto ai drenaggi tradizionali la fase di posa e messa in opera richiede più tempo. I costi aumentano quanto più difficile risulta l'approvvigionamento del materiale sul cantiere.

**Periodo di intervento:** durante tutto l'arco dell'anno.

**Manutenzione:** ripristino funzionalità mediante sostituzioni di parti danneggiate; irrobustimento strutturale con chiodatura di nuovi trasversali; sostituzione tessuto danneggiato e ripristino impermeabilizzazione.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.30**.

#### 14.2.11 Ribalta viva

**Descrizione sintetica:** strati alterni di fascine vive (fascinate), disposte longitudinalmente alla sponda, e ramaglia viva di salici (gradonate), disposta trasversalmente alla sponda, sopra il livello medio dell'acqua. Tale modulo va ripetuto fino al riempimento dell'erosione e al raggiungimento dell'altezza desiderata. Si completa a tergo delle fascine con riempimento di inerte. Al di sotto del livello medio dell'acqua si pone materiale morto. Le fascine vengo-

**Tab. 14.30 - Canaletta in legname: analisi prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora			
Operaio comune	Ora			
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
Ragno meccanico	Ora			
Motosega a catena	Ora			
<i>c) Materiali:</i>				
Pali per la realizzazione dei telai	m <sup>3</sup>			
Tavolame in castagno	m <sup>3</sup>			
Chiodi da edilizia	cad			
Filo di ferro cotto	Kg			
Paleria di castagno e in ferro	m <sup>3</sup>			
Geocompositi impermeabili	m <sup>2</sup>			
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>76,00 ÷ 27,37</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>46.000-53.000</b>

no fissate con paletti di legno o ferro, disposti con orientazione alternata in funzione della pressione idraulica (fig. 14.32-14.35).

*Descrizione voce di capitolato:* ricostruzione e stabilizzazione di sponda mediante strati alterni di ramaglia viva di salici, tamerici o altra specie legnosa con capacità di riproduzione vegetativa, disposti perpendicolarmente alla linea di sponda e fascine di salici, disposte longitudinalmente alla sponda stessa. Il modulo andrà ripetuto sino a riempire l'erosione e raggiungere l'altezza desiderata, completando la costruzione con riempimento con inerte a tergo delle fascine e sopra la ramaglia. La parte ubicata sotto il livello medio dell'acqua andrà rivestita con massi da scogliera (se del caso basati su geotessuto) o con fascine morte. La ramaglia, eventualmente disposta in obliquo rispetto alla corrente, andrà legata con molti punti di legatura e fissata con piloti in funzione della pressione idraulica. La messa in opera potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo.

*Campi di applicazione:* sistemazione di sponde in erosione in corsi d'acqua con portate e livello medio relativamente costanti anche se con elevata profondità dell'acqua.

*Limiti di fattibilità:* l'applicazione della ribalta viva è possibile lungo i corsi d'acqua con velocità della corrente inferiore ai 3,5 m/s e con limitate oscillazioni del livello medio dell'acqua; la fascina di base si deve trovare fuori dall'acqua durante il periodo vegetativo. La ribalta viva possiede caratteristiche di resistenza alla corrente più elevate rispetto alla fascinata spondale semplice.

*Materiali impiegati:*

- per le fascine:
  - ramaglia di specie riproducibili per via vegetativa: salici in varietà di cui i più usati sono il salice rosso ed il salice di ripa (*Salix purpurea* e *S. eleagnos*); tamerice (*Tamarix*). Eventualmente ramaglia di altre specie reperibili in loco;
  - filo di ferro ( $\varnothing 2 \div 3$  mm);
  - tondino di ferro ad aderenza migliorata ( $\varnothing 12 \div 16$  mm);
  - picchetti in legno di castagno o di salice ( $\varnothing 8 \div 12$  cm);
- per le gradonate:
  - talee di salice o di altre specie a riproduzione vegetativa, piantine radicate di specie arbustive ripariali;
  - eventualmente pietrame da disporre sotto la linea di morbida del corso d'acqua.

*Grado di reperibilità:* buono per tutti i materiali.

*Modalità di esecuzione:*

- formazione di un solco alla base della sponda.
- posa in opera di fascina morta e suo fissag-

gio con 1 picchetto ogni 80 cm a disposizione alternata verso monte e verso valle rispetto alla fascina;

- posa in opera di ramaglia di salice, tamerici;
- posa in opera di fascine vive di salici e loro fissaggio con picchetti; le fascine andranno disposte in modo tale che la superiore non copra quella inferiore;
- ricopertura con terreno;
- completamento dell'opera con ripetizione dei moduli fino all'altezza progettata e riempimento a tergo con inerte;
- nel caso di erosione profonda, il piede viene consolidato con massi.

*Parametri e metodi di calcolo:* i parametri idraulici indicativi per l'applicazione sono la velocità della corrente ( $v$ ) < 3,5 m/s, pendenza dell'alveo ( $i$ ) < 5%, le oscillazioni del livello medio dell'acqua  $\leq 1$  m.

*Prescrizioni:*

- a protezione della fascina contro lo scalzamento in caso di piena, viene posta, al di sotto della fascina, della ramaglia di salice a formare una gradonata, sporgente verso l'acqua di  $20 \div 50$  cm;
- le estremità delle fascine devono compenetrarsi l'una con l'altra.

*Limiti di applicabilità:* la realizzazione di fascine spondali determina un restringimento dell'alveo, è necessario quindi prevedere lo spazio necessario per il regolare deflusso delle acque.

*Limiti stagionali di impiego delle specie vegetali:* risulta opportuno l'impiego di specie arbustive autoctone sia come talee che come piantine radicate. La ribalta richiede grandi quantità di salici o altri materiali vivi.

*Vantaggi:*

- immediatamente efficace e resistente alla pressione dell'acqua;
- i materiali impiegati sono facilmente reperibili in zona;
- ha una resistenza alla corrente di un corso d'acqua superiore a quella della fascinata spondale.

*Svantaggi:*

- richiede molto materiale vivo e tempi medi di realizzazione;
- lo sviluppo dei salici porta ad un restringimento dell'alveo.

*Effetto:* immediata protezione spondale, resiste alle inondazioni, la ramaglia agisce in modo tale da rallentare la corrente dell'acqua e quindi l'erosione spondale.

*Periodo di intervento:* riposo vegetativo.

*Possibili errori:*

- insufficiente ancoraggio;

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- impiego con eccessiva pendenza della sponda: si potrebbe ottenere un'eccessiva copertura tra le fascine (la superficie superiore copre quella inferiore) non permettendo adeguato sviluppo della vegetazione.

zioni rigide; ha il vantaggio di essere immediatamente efficiente e resistente nei confronti di elevate forze di trazione.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.31**.

#### 14.2.12 Cordonata

#### Note:

- la parte ubicata sotto il livello medio dell'acqua potrà essere rivestita con massi da scogliera o con fascine morte. La ramaglia andrà legata con molti punti di legatura e fissata con piloti in funzione della pressione idraulica;
- la ribalta è vantaggiosa rispetto a sistema-

*Descrizione sintetica:* è un'opera che prevede la realizzazione di banchine perpendicolari alla linea di massima pendenza, costituite da uno scavo a reggipoggio (10°), nel quale viene posto a dimora materiale vegetale vivo (**figg. 14.36a-14.36b**).

**Tab. 14.31 - Ribalta viva: analisi prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1		
Operaio comune	Ora	1		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora			
<i>c) Materiali:</i>				
Picchetti acciaio	Kg	1,8		
Picchetti legno	cad	2		
Filo di ferro	Kg	0,30		
Talee di salice	cad	30		
Verghe vive	cad	18		
Verghe morte	cad	24		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>46,48 ÷ 54,23</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>90.000 ÷ 105.000</b>

**Fig. 14.32 - Ribalta viva**

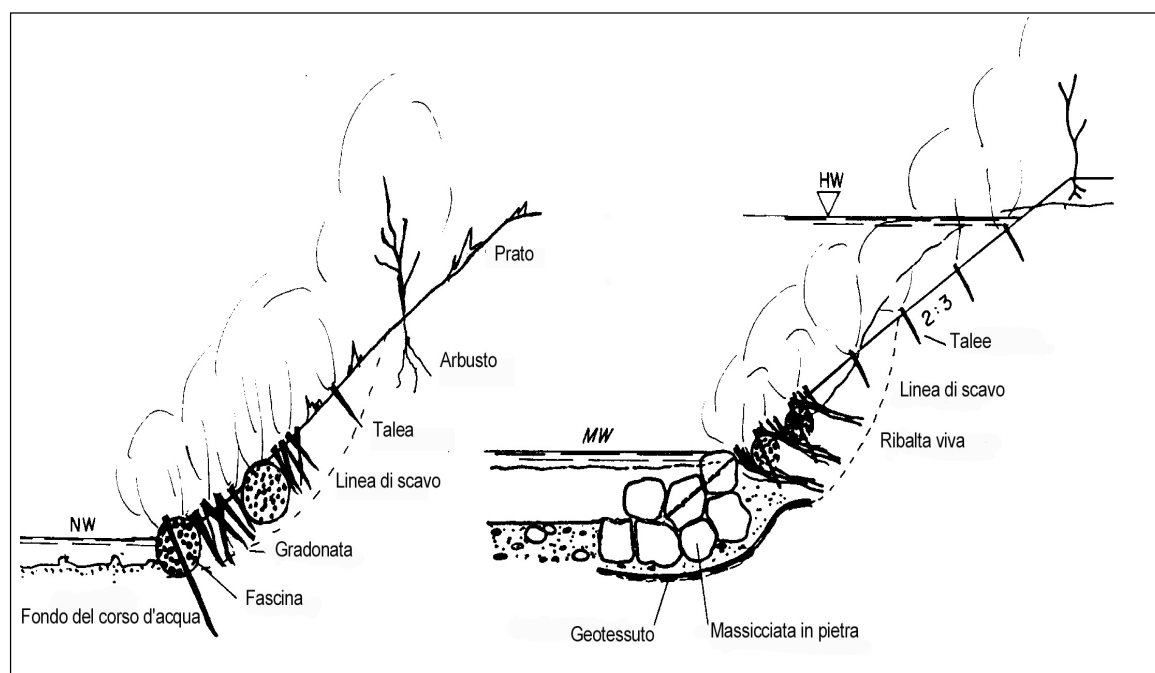


Fig. 14.33 - Ribalta viva

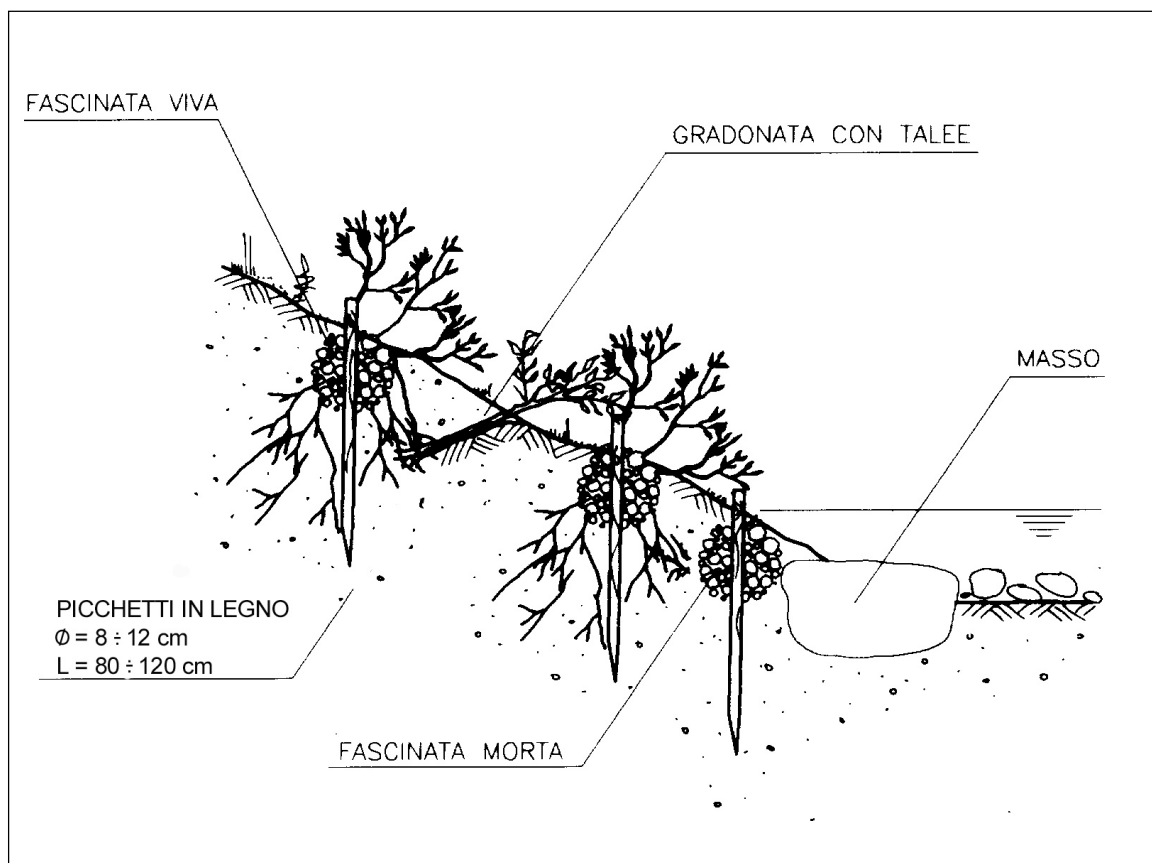


Fig. 14.34 - Ribalta viva

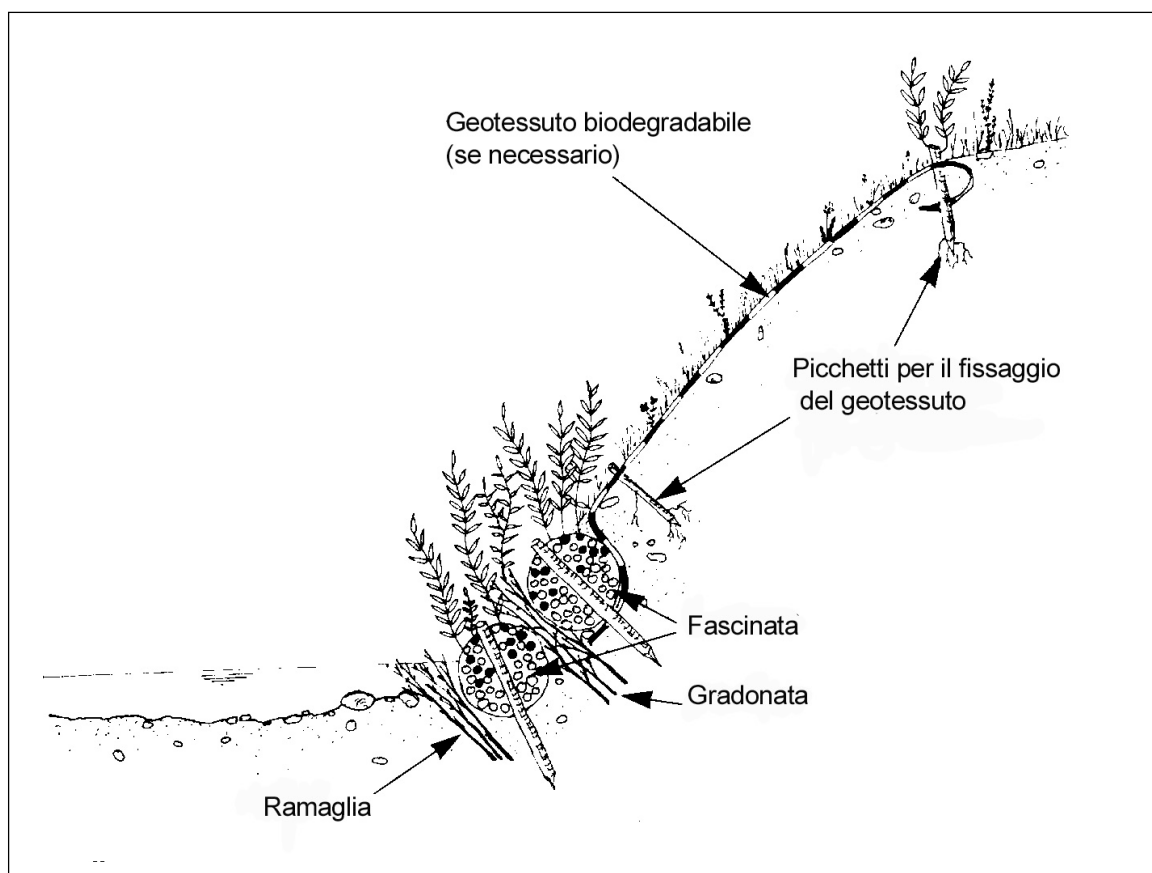
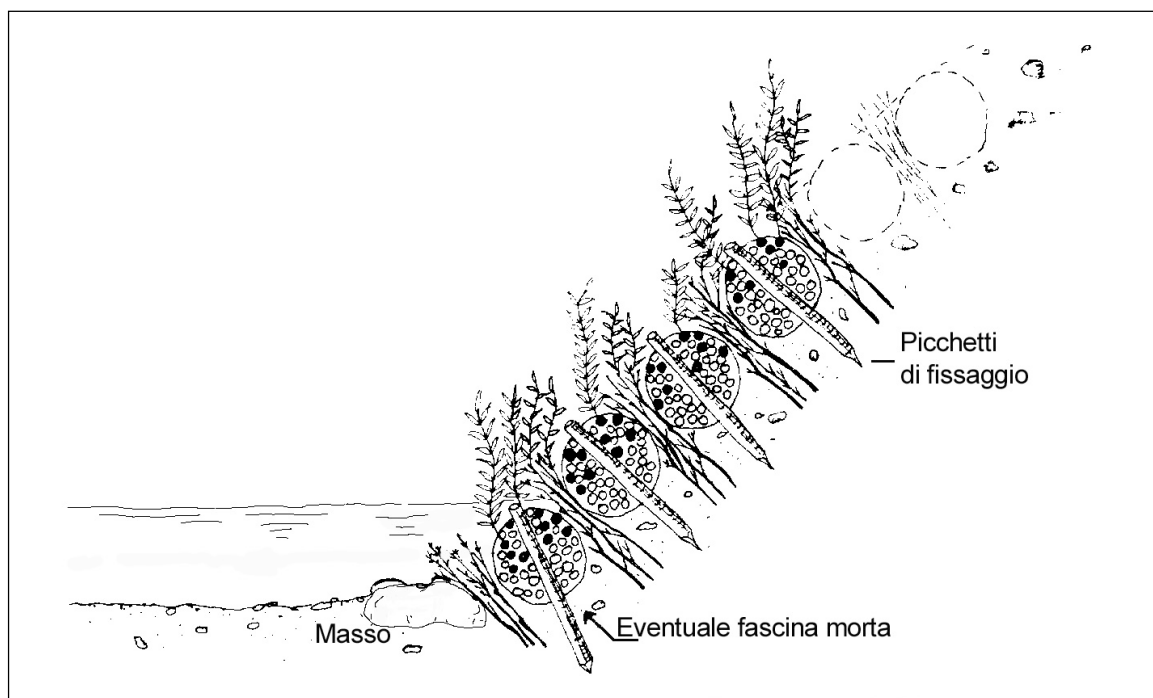




Fig. 14.35 - Ribalta viva



**Voce di capitolato:** stabilizzazione di pendii anche molto ripidi e su terreni instabili mediante le seguenti operazioni nell'ordine:

- formazione di banchine o terrazzamenti ad L orizzontali di larghezza minima di  $35 \div 50$  cm, con leggera contropendenza (minimo  $10^\circ$ ) distanti circa  $2 \div 3$  m l'uno dall'altro, su cui si dispone longitudinalmente dello stangame preferibilmente di resinosa o di castagno con corteccia di  $\varnothing 6 \div 12$  cm, su due file parallele, una verso l'esterno fissata con picchetti in legno o ferro e una verso l'interno dello scavo;
- stesura di un letto di ramaglia in preferenza di conifere sul fondo dello scavo;
- ricopertura con uno strato di terreno di circa 10 cm;
- collocazione a dimora di talee di salice (od altra specie legnosa con capacità di riproduzione vegetativa) in ragione di  $10 \div 25$  talee per metro, sporgenti verso l'esterno del pendio per almeno 10 - 20 cm;
- ricopertura del tutto con inerte proveniente dallo scavo superiore.

La messa in opera della cordonata potrà avvenire soltanto durante il periodo di riposo vegetativo.

**Campi di applicazione:** utili per la stabilizzazione superficiale di scarpate naturali e artificiali, di rilevati e accumuli di materiale sciolto, di zone d'erosione, di terreni con la marcata tendenza allo smottamento.

Adatta anche in condizioni pedologiche difficili, poiché migliora la struttura del suolo ed aumenta l'apporto di sostanza organica; migliora anche il drenaggio in terreni umili, argillosi o marnosi.

**Fattibilità:** non possono essere utilizzate per scarpate in roccia o con roccia subaffiorante. Si differenzia dalle gradonate per la maggior quantità di materiale.

Questo intervento consente però di migliorare efficacemente la stabilità superficiale del versante.

**Materiali impiegati:**

- piantine di due anni;
- stangame reperito in loco, preferibilmente di resinoso o castagno con corteccia, avente  $\varnothing = 6 \div 12$  cm e  $L > 2$  m;
- picchetti in legno  $\varnothing = 12 \div 15$  cm o piloti in ferro profilati a "T" idonei a sostenere la struttura;
- tondini in ferro;
- filo di ferro zincato;
- talee di salice o altra specie legnosa con capacità di riproduzione vegetativa, di lunghezza  $> 60$  cm e  $\varnothing 3 \div 10$  cm;
- piantine a radice nuda o in fitocella;
- abbondante ramaglia di conifere.

**Modalità di esecuzione:** per tutti i tipi di cordonate si realizzano dei gradoni, scavando delle banchine di profondità pari a  $50 \div 100$  cm, con contropendenza a monte di circa  $10^\circ$ , realizzando lo scavo lungo le isoipse senza destabilizzare il pendio. Tanto più ripido sarà il versante tanto meno profonda dovrà essere la banchina. L'opera procede dal basso verso l'alto, in modo che il materiale di scavo della banchina superiore serva come rinterro per quella sottostante. In questo modo quando si è arrivati alla sommità del pendio le parti inferiori sono rimboschite, ad eccezione dell'ultimo gradone per il riempimento del quale è neces-

sario eseguire un piccolo scavo a monte. I gradoni sono disposti di solito secondo le curve di livello, ma possono anche essere leggermente inclinati in modo da favorire il drenaggio. La distanza tra i gradoni è pari a circa 2 m ed è funzione della natura del terreno, soprattutto della sua tendenza allo scivolamento.

*Interventi collegati:* tecniche di stabilizzazione del pendio.

*Periodo di intervento:* esclusivamente durante il riposo vegetativo (novembre-marzo).

*Manutenzione:* sfalcio ed interventi sulle fallanze.

*Analisi prezzi:* si veda la tabella 14.32.

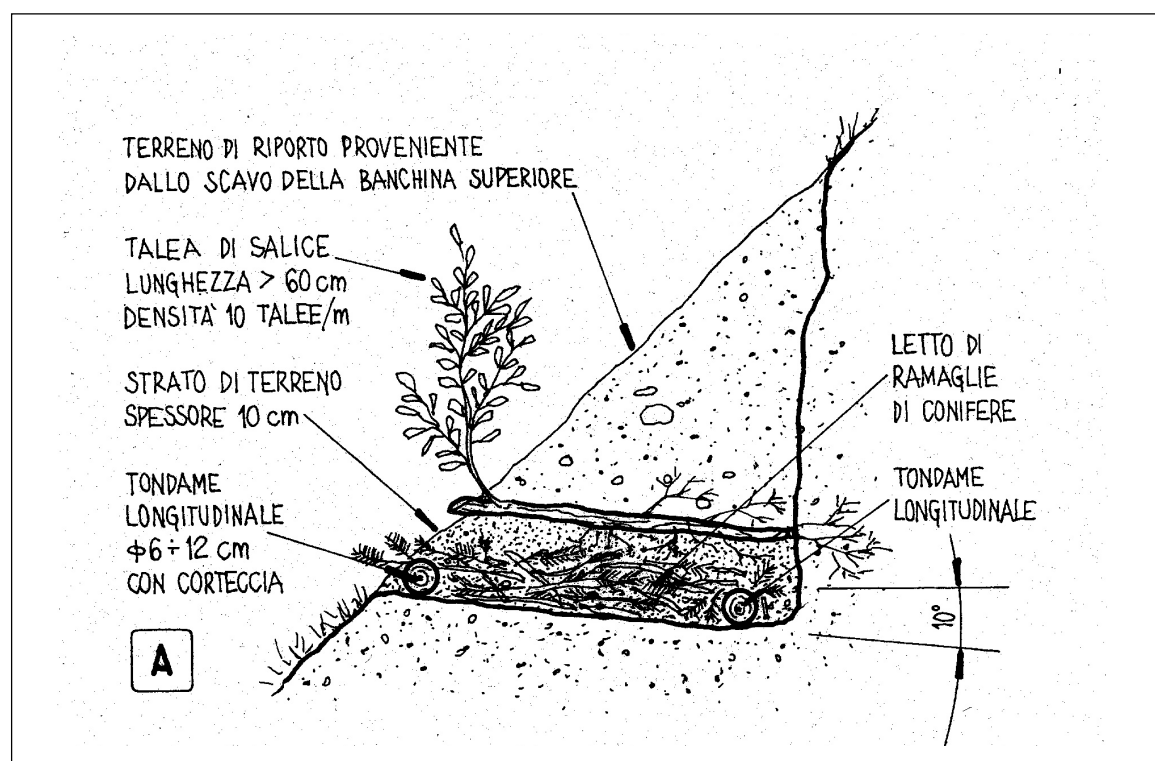
#### 14.2.13 Gradonata viva

*Descrizione dell'opera e funzioni principali:* è un'opera che prevede la realizzazione di banchine orizzontali o suborizzontali, costituite da uno scavo inclinato a reggipoggio di circa  $5^\circ \div 10^\circ$ , nel quale viene posto a dimora materiale

Tab. 14.32 - Cordonata: analisi prezzi

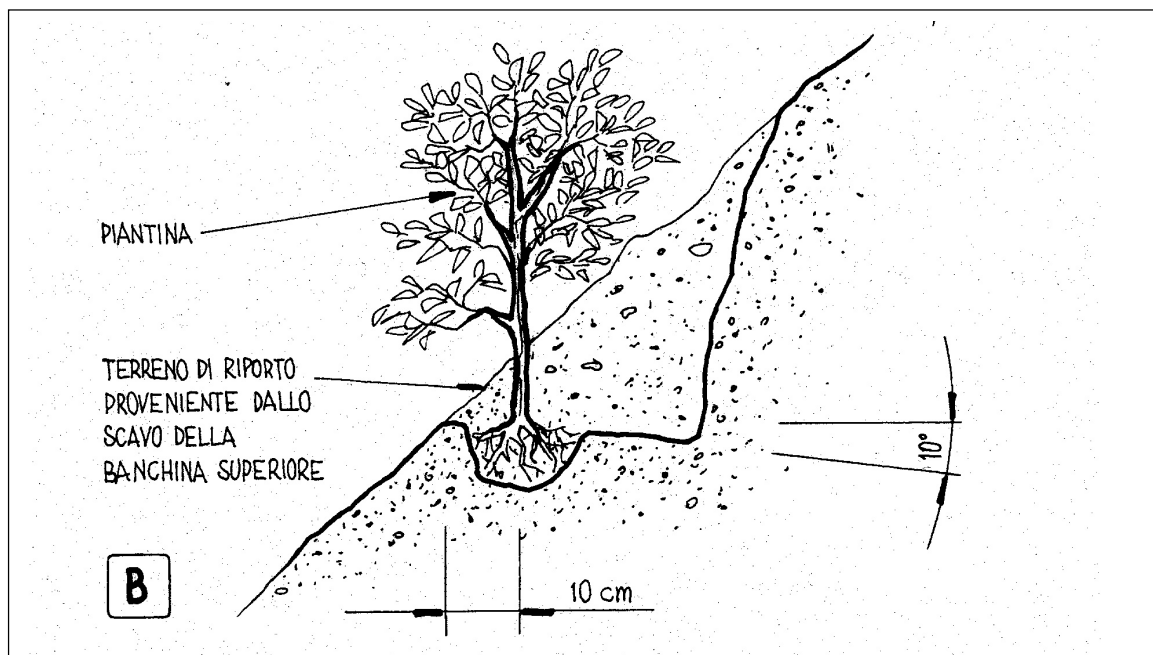
Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,25		
Operaio comune	Ora	0,25		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,002		
Ragno meccanico	Ora	0,30		
<i>c) Materiali:</i>				
Piloti	Kg	1,4		
Pertiche	Kg	20		
Filo di ferro	Kg	0,30		
Talee di salice	cad	10		
Ramagli di conifere	Kg	20		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>32,02 ÷ 36,15</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>62.000 ÷ 70.000</b>

Fig. 14.36a - Cordonata



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", supplemento n. 19, 2000.

Fig. 14.36b - Cordonata viva tipo



Fonte: "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", supplemento n. 19, 2000.

vegetale vivo. Ha una funzione di stabilizzazione di tipo meccanico del pendio ed inoltre interrompe il deflusso superficiale delle acque meteoriche. L'impiego di alcune specie vegetali (salici, frassini) favorisce la diminuzione del contenuto d'acqua nel terreno rendendolo più stabile (fig. 14.37). Normalmente vengono realizzate tre diverse tipologie di gradonate:

- la *gradonata con talee* (sistemazione a cespuglio secondo Schiechl);
- la *gradonata con piantine* (sistemazione a siepe secondo Schiechl);
- la *gradonata mista con talee e piantine* (sistemazione a siepe-cespuglio secondo Schiechl).

*Descrizione da voce di capitolato:*

- con ramaglia viva di salici, tamerici, ecc.;
- con latifoglie radicate;
- mista;
- su rilevato;
- rinforzata.

Stabilizzazione di pendii mediante scavo di gradoni o terrazzamenti con profondità in genere di 0,5 ÷ 1 m con pendenza verso l'interno di 5 ÷ 10° e del pari contropendenza trasversale di almeno 10° e realizzazione di file parallele dal basso verso l'alto con interasse 1,5 ÷ 3 m, riempiendo la gradonata inferiore con il materiale di scavo di quella superiore:

- a) con messa a dimora in appoggio al gradone di ramaglia con tutte le ramificazioni di piante legnose con capacità di riproduzione vegetativa (salici, tamerici, ecc.) disposta in modo incrociato alternando le diverse specie e i diversi diametri (età) dei rami. I rami devono sporgere per almeno 1/4 della loro lunghezza e gli interstizi tra i rami devono essere accu-

ratamente intasati di terreno per evitare eccessive circolazioni di aria e disseccamento;

b) con messa a dimora in appoggio al gradone di piante radicate di latifoglie resistenti all'inghiainamento e in grado di formare radici avventizie, di 2 ÷ 3 anni, in ragione di 5 ÷ 20 piante per 1 m, a seconda della specie, ed aggiunta di terreno vegetale o paglia o compost di corteccia per il miglioramento delle condizioni di crescita. Le piante dovranno sporgere per almeno 1/3 della loro lunghezza;

c) vengono formate file alterne di gradonate con ramaglia e gradonate con piantine radicate con le modalità di cui alle varianti a) e b);

- d) la messa a dimora della ramaglia viva avviene durante la costruzione a strati dei rilevati (ad esempio stradali, ferroviari o arginali). La ramaglia (10 ÷ 30 rami per 1 m) viene appoggiata sul ciglio del rilevato, può avere lunghezza di 2 m o più e viene ricoperta dallo strato successivo del rilevato. Indipendentemente dalla lunghezza i rami non dovranno sporgere più di 25 cm dal terreno. L'insieme funge anche da terra rinforzata aumentando la stabilità del rilevato;
- e) viene utilizzato un rinforzo con una striscia di carta catramata (od altro materiale sintetico) a rivestire orizzontalmente la parte esterna del gradone per circa 30 cm.

*Campi di applicazione:* utile per la stabilizzazione superficiale di scarpate naturali ed artificiali, di rilevati e accumuli di materiale sciolto, di zone in erosione e frane:

- *gradonate con talee:* sono la tipologia di gradonate più adatte a terreni ripidi, poveri e caratterizzati da movimenti superficiali, perchè consentono un rapido consolidamento del terreno;

- *gradonate con piantine*: generalmente utilizzate su terreni buoni, ricchi di sostanze nutritive, in località climatiche favorevoli. Sono inoltre utili su terreni dove non è necessaria una notevole stabilizzazione del pendio, quanto piuttosto la realizzazione di un soprassuolo arboreo definitivo, senza fasi intermedie con vegetazione pioniera;
- *gradonata mista con talee e piantine*: è la tipologia di gradonata più sicura per la sistemazione di modeste frane superficiali.

**Fattibilità:**

- *gradonate con talee*: è una sistemazione stabilizzante con un ottimo effetto in profondità; non è adatta a trattenere il terreno vegetale;
- *gradonate con piantine*: forniscono un consolidamento mediocre del terreno, efficace, però immediatamente dopo la messa a dimora; grazie alla radicazione lungo tutto il fusto interrato si ottiene una coesione del terreno più profonda ed estensiva. È fattibile solo su stazioni favorevoli; richiede una notevole quantità di materiale;
- *gradonata mista con talee e piantine*: ha costi più elevati rispetto agli altri tipi di gradonate, ma presenta il vantaggio di un rapido raggiungimento di un'associazione vegetale stabile, costituita sia da specie preparatrici (salici) che da specie definitive (ontani);
- non possono essere utilizzate per scarpate in roccia o con roccia subaffiorante.

**Materiali impiegati:** talee o ramaglia di salice con  $L > 100$  cm ( $10 \div 20$  cm > della profondità dello scavo) e  $\varnothing = 1 \div 7$  cm. Piantine radicate di latifoglie resistenti (spesso ontano) di  $h = 100$  cm ( $10 \div 20$  cm > della profondità dello scavo) e  $\varnothing = 1 \div 3$  cm.

**Modalità di esecuzione:**

- lungo le curve di livello vengono scavate delle

banchine di profondità compresa tra  $50 \div 100$  cm, con una contropendenza di circa  $10^\circ$ . Alla base della trincea viene disposto un letto di talee a pettine (gradonata con talee), che vengono interrate per  $3/4$  della loro lunghezza; in alternativa si possono mettere a dimora piantine di  $2 \div 3$  anni (gradonata con piantine) oppure talee e piantine contemporaneamente (*gradonata mista con talee e piantine*);

- i gradoni vengono scavati partendo dal basso in modo che lo scavo della banchina soprastante possa venire utilizzato come rinterro della precedente. Per inclinazioni del pendio di  $25^\circ \div 30^\circ$  si consiglia una distanza tra gradoni successivi compresa tra  $1 \div 1,5$  m. mentre per inclinazioni inferiori a  $20^\circ$  si consiglia una distanza tra gradoni successivi compresa tra  $2 \div 3$  m. La distanza reciproca tra i gradoni è inoltre funzione del grado di umidità del terreno: quanto maggiore è il tasso di umidità, tanto minore sarà l'interasse;
- i gradoni possono venire realizzati secondo le curve di livello o leggermente inclinati a valle in modo da favorire il drenaggio;
- è possibile utilizzare rinforzi longitudinali (carta catramata, biostuoie o materiale sintetico) come previsto dalla variante delle gradonate con talee secondo Rainer: la parte esterna di una trincea artificiale gradonata viene rivestita con carta catramata o altro al fine di ridurre l'erosione superficiale e favorire l'attecchimento delle specie vegetali grazie ad una maggiore ritenuta idrica.

**Interventi collegati:**

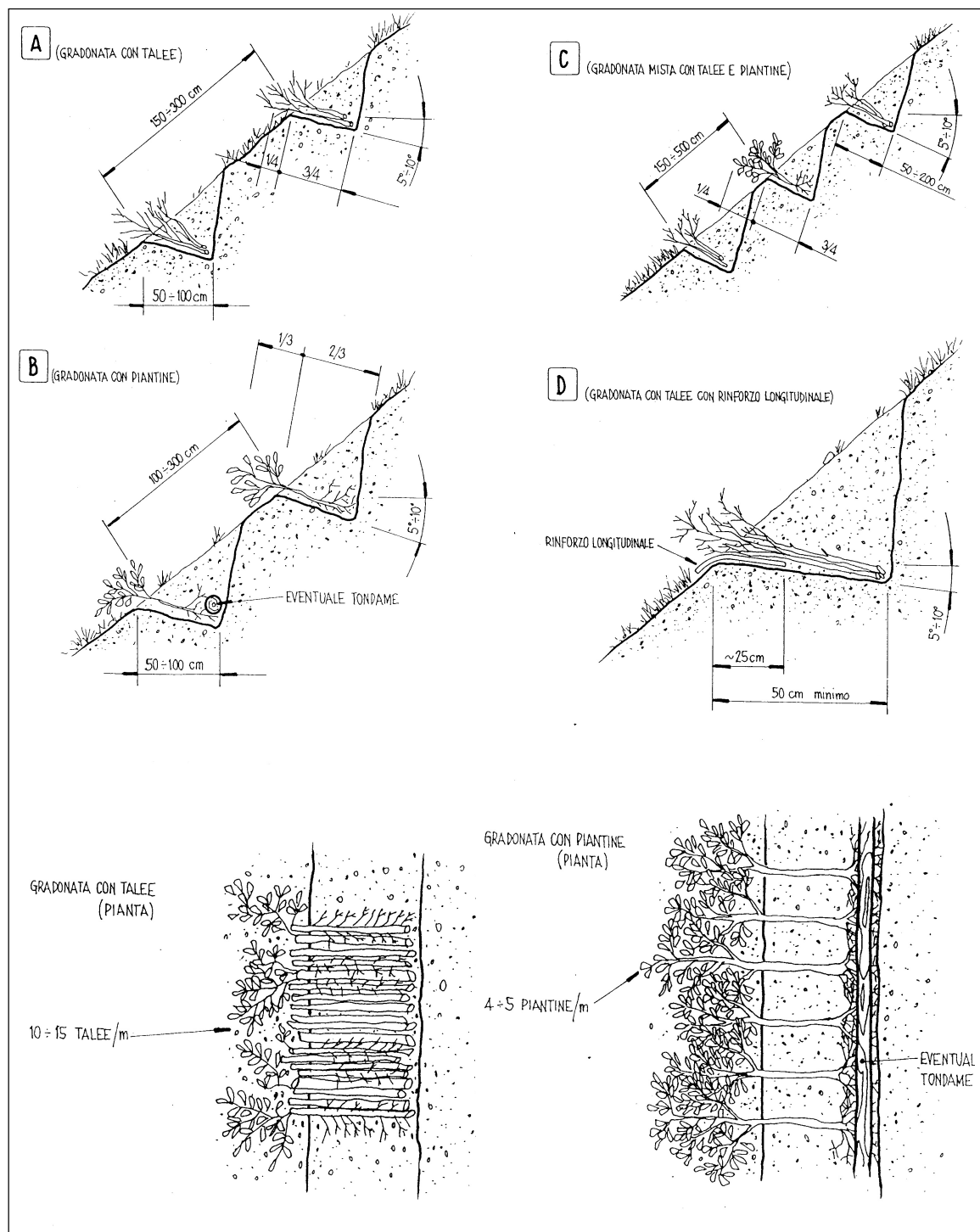
- rimodellamenti delle scarpate;
- controllo dell'erosione con biostuoie, bioreti o geostuoie o altre strutture.

**Periodo di intervento:** esclusivamente durante il periodo di riposo vegetativo (novembre-marzo).

**Tab. 14.33 - Gradonata viva: analisi prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,20		
Operaio comune	Ora	0,20		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,002		
Ragno meccanico	Ora	0,30		
<i>c) Materiali:</i>				
Talee di salice	cad	10		
Ramagli di conifere	cad	10		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>23,24 ÷ 26,34</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>45.000 ÷ 51.000</b>

Fig. 14.37 - Gradonata viva

**Vantaggi:**

- esecuzione semplice e rapida;
- consolidamento in profondità;
- diminuisce la velocità di deflusso delle acque di ruscellamento, riducendo i movimenti franosi.

**Svantaggi:**

- richiedono abbondante materiale vivo;
- se impiegate latifoglie, la crescita è lenta;
- se impiegata ramaglia, non è adatta a trattenerne il terreno vegetale.

**Manutenzione e durata dell'opera:**

- *gradonata con talee*: taglio dei cespi eseguito a livello del terreno ogni 3 ÷ 5;
- *gradonate con piantine*: sono utili sfollo e taglio;
- *gradonate miste con talee e piantine*: possono venire utilizzate per ricavare delle talee di salice per ulteriori interventi. Anche se i salici non vengono riutilizzati, è conveniente tagliarli fino a livello del terreno al fine di favorire la crescita delle essenze legnose più pregiate.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.33**.

### 14.3 Interventi combinati di consolidamento

#### 14.3.1 Grata viva

**Descrizione sintetica:** la grata viva è un'opera realizzata con pali in legname, disposti tra loro perpendicolarmente, e successiva messa a dimora di talee e/o piantine radicate. È utilizzata per il consolidamento di versanti o sponde acclivi con substrato compatto e per la stabilizzazione di pendii con fenomeni di erosione superficiale dove, per l'elevata acclività, non è possibile applicare altre tecniche d'ingegneria naturalistica.

La grata viva agisce quindi come sostegno del terreno fino a che non si sono sviluppati gli elementi costruttivi vivi che, con lo sviluppo degli apparati radicali producono un effetto consolidante (figg. 14.38a-14.40).

**Descrizione da voce di capitolato:**

- a) semplice;  
b) doppia.

Sostegno di scarpate e versanti in erosione molto ripidi con substrato compatto (che non deve essere smosso) con grata in tondame di larice, altra resinosa o castagno di  $\varnothing 20 \div 40$  cm e lunghezza  $2 \div 5$  m, fondata su un solco in terreno stabile o previa collocazione di un tronco longitudinale di base, con gli elementi verticali distanti  $1 \div 2$  m e quelli orizzontali, chiodati ai primi, distanti da 0,40 m a 1 m a seconda dell'inclinazione del pendio (in genere si lavora su pendenze di  $45^\circ \div 55^\circ$ ); fissaggio della grata al substrato mediante picchetti di legno di  $\varnothing 8 \div 10$  cm e lunghezza 1 m, o di ferro di dimensioni idonee per sostenere la struttura; riempimento con inerte terroso locale alternato a talee e ramaglia disposta a strati, in appoggio alle aste orizzontali con eventuale supporto di una griglia metallica per un miglior trattenimento del terreno. L'intera superficie verrà anche seminata e in genere piantata con arbusti autoctoni.

La grata può essere semplice (*variante a*) o doppia (*variante b*) a seconda della profondità e forma dello scoscendimento. La radicazione delle piante si sostituirà nel tempo alla funzione di consolidamento della struttura in legname. L'altezza massima possibile per le grate vive non supera in genere i  $15 \div 20$  m.

**Campi di applicazione:** può essere utilizzata su sponde e su versanti che presentano acclività anche superiori a  $45^\circ \div 50^\circ$  su nicchie di frana dove sono possibili solo modesti rimodellamenti e su scarpate stradali o ferroviarie molto ripide.

**Fattibilità:** l'altezza massima che si può raggiungere con questo tipo di intervento è di  $15 \div 20$  m. È possibile operare su fronti con altezza maggiore qualora sia realizzabile una gradonatura intermedia. In presenza di venu-

te d'acqua bisogna realizzare dei drenaggi con materiale granulare ed eventuali tubi fessurati per allontanare le acque captate.

**Materiali impiegati:** la grata viva viene realizzata mediante l'impiego di:

- tondame in legno scortecciato (castagno, robinia, larice o altro legname con buone caratteristiche di resistenza) con  $\varnothing = 15 \div 30$  cm e  $L = 2 \div 5$  m, per la realizzazione dell'impalcatura principale;
- picchetti in legno con  $\varnothing = 8 \div 12$  cm e  $L > 1$  m o tondini in ferro di dimensioni idonee a sostenere la struttura;
- chiodi (tondini di ferro acciaioso aderenza migliorata);
- talee, ramaglia e/o piantine di specie arbustive con buon radicamento;
- eventuale rete metallica per meglio trattenere il materiale di riempimento;
- palificata spondale in legno al piede.

**Modalità di esecuzione:**

- realizzazione del piano di appoggio che può essere costituito da un piano in leggera contropendenza dove viene realizzata una eventuale palificata in legname, quando esiste una reale possibilità di scalzamento al piede;
- sul tondame della palificata vengono fissati (con chiodi) perpendicolarmente elementi reticolari distanti  $80 \div 150$  cm che vengono resi solidali al terreno con picchetti in legno o ferro; successivamente, al tondame così ancorato, viene fissato trasversalmente altro tondame, in modo da formare delle maglie quadrate o rettangolari (a seconda degli interassi che si scelgono, indicativamente  $80 \div 150$  cm);
- riempimento della grata mediante materiale terroso e inerte alternato a talee e ramaglia disposta a strati, ed eventuali piantine, in corrispondenza del tondame trasversale;
- eventuale inerbimento dell'intera superficie;
- è opportuno posare una rete metallica, biostuoia o geojuta per trattenere il terreno riportato;
- per proteggere la testata della grata da eventuali fenomeni di erosione, si può rivestire la testa posando e ancorando una striscia di biostuoie o materiale sintetico, al di sopra della quale può essere inserita una fila di talee; in alternativa può essere realizzata una canaletta di sgrondo.

**Interventi collegati:** opere di consolidamento di versante.

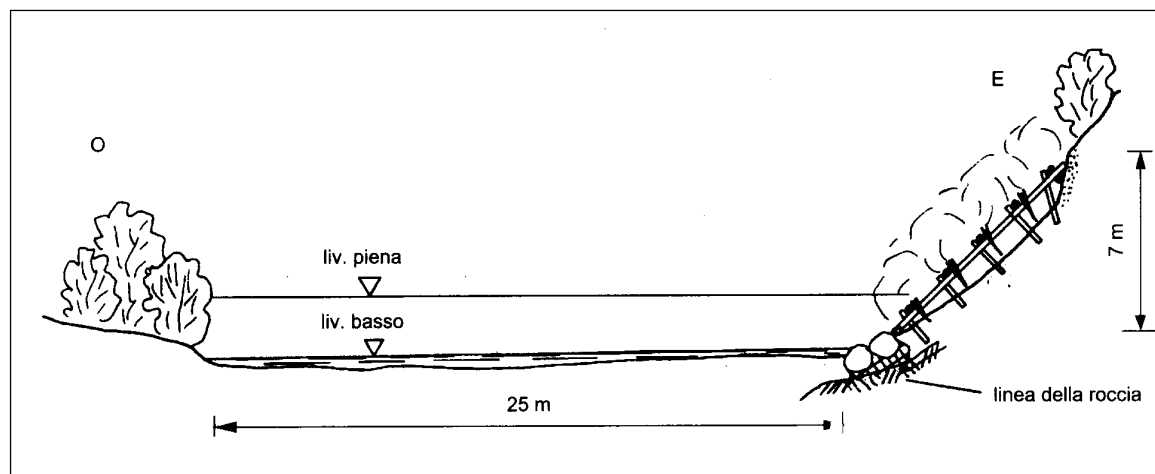
**Prescrizioni:**

- l'interasse degli elementi orizzontali varia a seconda della pendenza del versante;
- le altezze massime delle grate vive non superano i  $15 \div 20$  m;
- le talee dovranno avere una lunghezza tale da raggiungere il terreno retrostante la grata;
- a protezione dei fronti con pendenze elevate e come metodo di contenimento del mate-

Tab. 14.34 - Grata viva: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,50		
Operaio comune	Ora	0,80		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,10		
Pala meccanica	Ora	0,50		
Motosega a catena	Ora	0,08		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
<i>c) Materiali:</i>				
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,25		
Chiodi, spezzoni d'acciaio appuntiti	cad	3		
Rete elettrosaldata	Kg	1		
Talee di salice	cad	20		
Arbusti	cad	1		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>83,67 ÷ 88,83</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>162.000 ÷ 172.000</b>

Fig. 14.38a - Grata viva



riale può essere posta una griglia metallica o una rete metallica a doppia torsione;

- una grata di piccole dimensioni può essere eseguita anche con l'impiego di astoni vivi.

**Limiti di applicabilità:** dimensioni ed inclinazione della sponda in erosione.

**Vantaggi:**

- immediata stabilizzazione della sponda;
- l'effetto di stabilizzazione aumenta una volta che le specie vegetali inserite hanno cominciato a radicare;
- le specie vegetali svolgono anche un'azione drenante in quanto assorbono l'acqua necessaria al loro sviluppo;
- intervento efficace in luoghi ristretti, dove risulta difficile effettuare rimodellamenti.

**Svantaggi:**

- realizzazione lunga e costosa;
- con il tempo il legname marcisce;
- non è idonea su versanti con rocce affioranti.

**Periodo di intervento:** le talee e le piantine radicate vanno posate durante il riposo vegetativo, le semine vanno invece eseguite durante il periodo vegetativo.

**Manutenzione e durata dell'opera:** l'opera, se ben realizzata, non necessita di particolari manutenzioni, se non la sostituzione delle talee o delle piantine che non hanno attecchito.

**Possibili errori:** scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo.

**Analisi prezzi:** si veda la tabella 14.34.

Fig. 14.38b - Grata viva

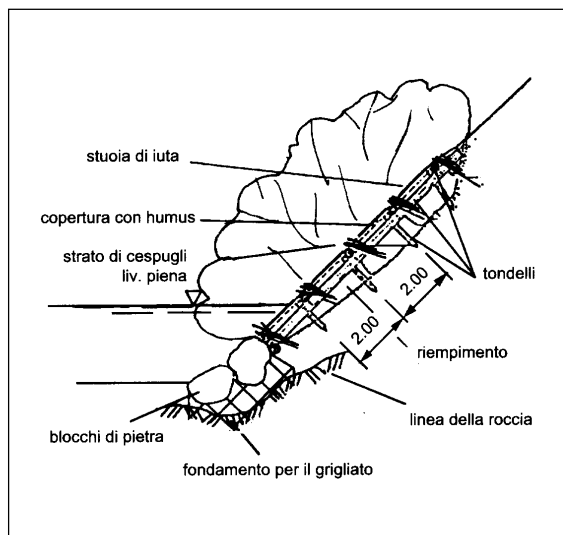


Fig. 14.39 - Grata viva

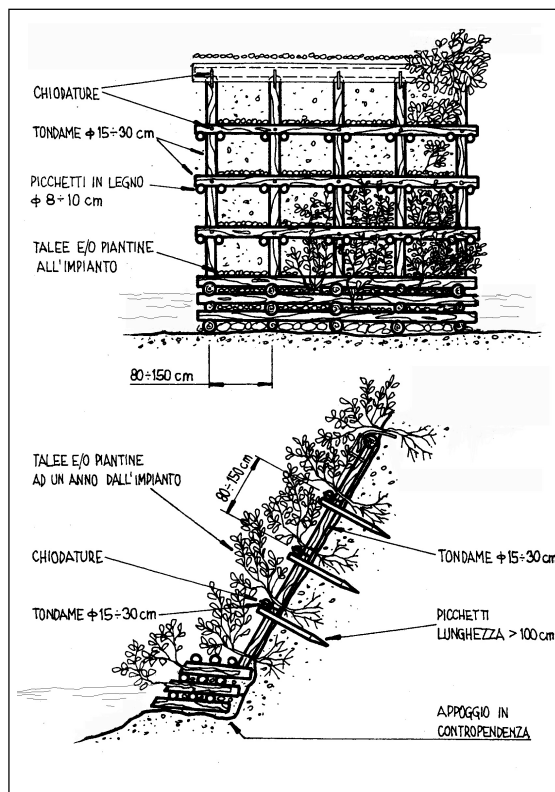
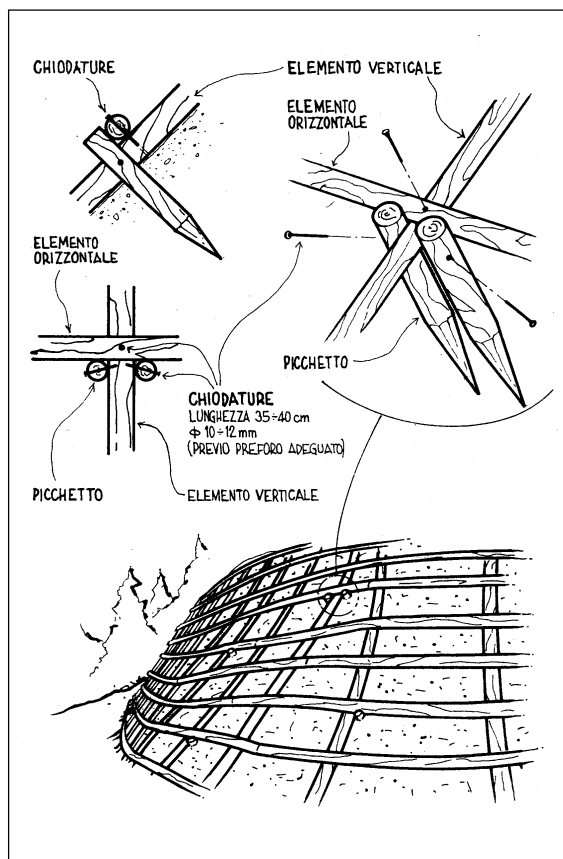


Fig. 14.40 - Grata viva



### 14.3.2 Palificata viva spondale con palo verticale frontale

**Descrizione:** struttura in legname tondo costituita da un'incastellatura di tronchi a formare camere frontali nelle quali vengono inserite fascine.

Frontalmente è presente un palo verticale sul quale sono chiodati i tronchi correnti e quelli trasversi.

L'opera, addossata alla sponda in erosione, è completata dal riempimento con materiale terroso inerte e pietrame nella parte sotto il livello medio dell'acqua (fig. 14.41).

**Campi di applicazione:** sponde fluviali soggette ad erosione.

**Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica:** corsi d'acqua ad alta energia con trasporto solido anche di grosse dimensioni.

#### Materiali impiegati:

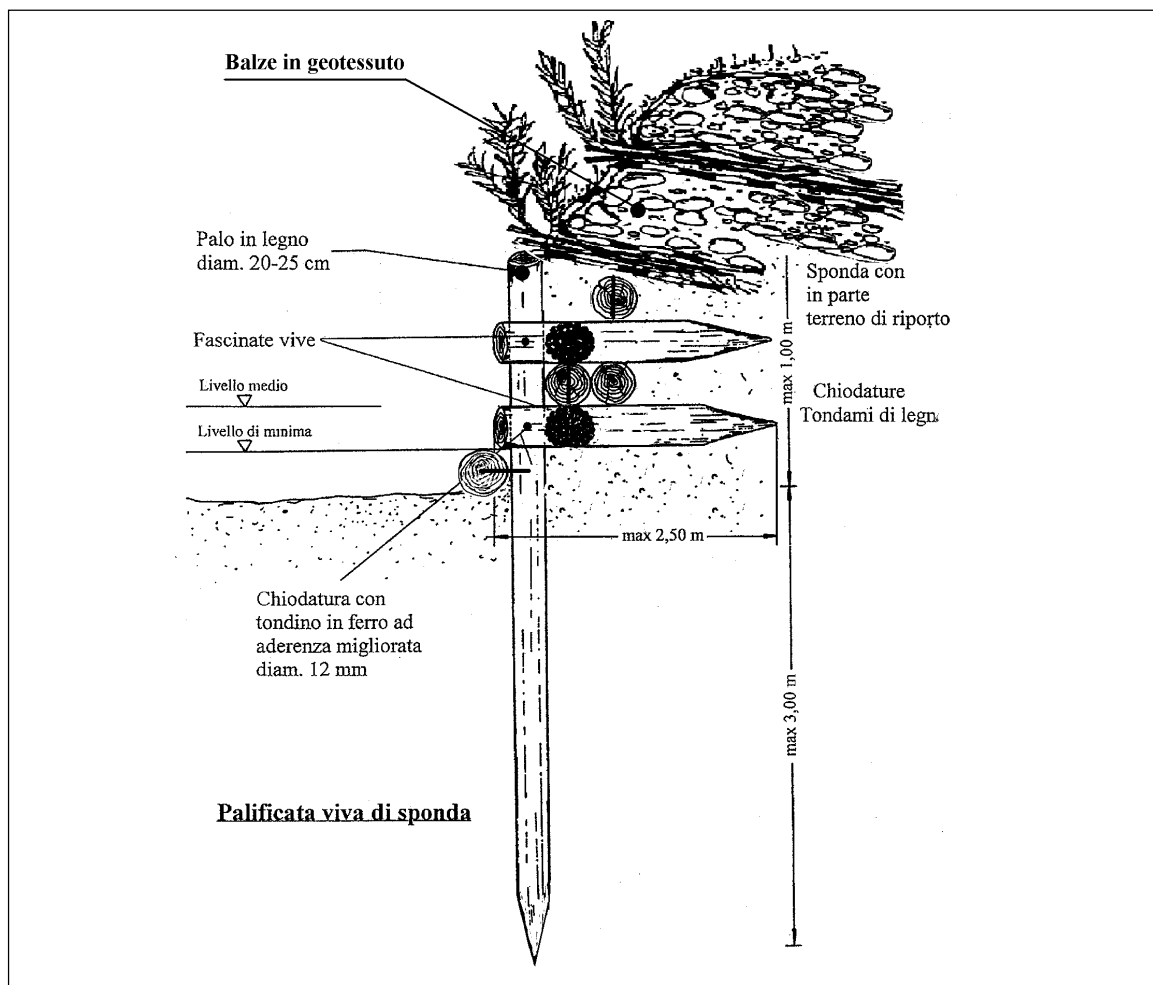
- tronchi e pali di resinosa o castagno scortecciati  $\phi 20 \div 30\text{ cm}$ ;
- chiodature metalliche e cambre  $\phi 12 \div 14\text{ mm}$ ;
- fascine vive di salice  $\phi 20 \div 30\text{ cm}$ ;
- fascine morte  $\phi 25 \div 30\text{ cm}$ ;
- terreno di riempimento;
- pietrame.

#### Modalità di esecuzione:

1. infissione verticale di pali con punta, per almeno  $2/3$  della loro lunghezza, in prossimità della sponda erosa con interasse di  $2\text{ m}$  seguendo lo sviluppo originario della linea di sponda;
2. posa della prima serie di tronchi orizzontali parallelamente alla linea di sponda, retrostanti la fila di pali verticali ed inchiodati ad essi;
3. posa e chiodatura della prima serie di pali con punta perpendicolarmente alla sponda al di sopra della serie di tronchi orizzontali;



Fig. 14.41 - Palificata viva spondale con balze in geotessuto



Tab. 14.35 - Palificata viva spondale con palo verticale frontale: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,7		
Operaio comune	Ora	1,4		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,30		
Ragno meccanico	Ora	0,80		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
Compressore con pistola	Ora	0,30		
<i>c) Materiali:</i>				
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,3		
Chiodi, spezzoni d'acciaio appuntiti	cad	4		
Puntale di ferro	cad	1		
Palo frontale	m <sup>3</sup>	0,09		
Talee di salice	cad	15		
Pietrame di riempimento	m <sup>3</sup>	1		
Fascine cieva di salice	cad	1		
Cambre	Kg	0,5		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>83,67 ÷ 88,83</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>162.000 ÷ 172.000</b>

4. inserimento di fascine morte nelle camere frontali al di sotto del livello medio dell'acqua e riempimento con pietrame;
5. inserimento di fascine vive di salice nelle camere frontali al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte terroso;
6. ripetizione delle operazioni 2, 3, 5 fino al raggiungimento dell'altezza di progetto;
7. riporto di materiale inerte fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpata di sponda.

*Prescrizioni:*

- la lunghezza dei pali verticali non deve essere inferiore ai 3 m;
- i pali disposti perpendicolarmente alla sponda devono attestarsi nella stessa;
- come rinforzo della punta in legno dei pali verticali è consigliabile il rivestimento con puntale in ferro.

*Vantaggi:* rapido consolidamento della sponda.

*Svantaggi:*

- altezza limitata;
- tempi di realizzazione lunghi.

*Effetto:* una volta cresciute, le piante esercitano un effetto drenante e di consolidamento della sponda attraverso il fitto intreccio di radici.

*Periodo di intervento:* periodo di riposo vegetativo.

*Possibili errori:*

- scelta errata per la posa di materiale vegetale vivo;
- insufficiente o inadeguato inserimento di fascine e conseguente svuotamento della struttura.

*Note:* la prima fila di pali può essere messa esterna per ridurre la pendenza finale del paramento esterno che, altrimenti, risulta praticamente verticale impedendo la crescita delle fascine delle ramerie inferiori, in quanto adombrate da quelle superiori.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.35**.

#### 14.3.3 Palificata viva spondale ad una ed a due pareti

*Descrizione dell'opera:* manufatto a gravità formato da una struttura cellulare in pali di legno abbinato alla posa di piante. Il deterioramento (marcescenza) del legname, in alcuni decenni, presuppone che i parametri di stabilità del manufatto vengano riferiti ad un paramento esterno assimilabile ad una pendice ben vegetata e ad un terreno con buone caratteristiche di attrito. In presenza di adeguata manutenzione (taglio periodico delle piante al fine di impedire l'appesantimento delle ceppaie) si possono raggiungere accettabili stabilità per pendenze

del paramento esterno dell'ordine di 60° (**fig. 14.42-14.45**).

*Descrizione da voce di capitolato:* consolidamento di sponde subverticali mediante tondami di resinosa o di castagno di  $\varnothing 20 \div 30$  cm e di almeno 3 m di lunghezza, infissi verticalmente per almeno 2/3 e addossati alla sponda stessa, dietro i quali vengono collocati tronchi orizzontali paralleli alla sponda alternati ad altri tronchi di minimo 1 m di lunghezza inseriti nella sponda in senso trasversale. I singoli tondami vengono fissati l'uno all'altro con chiodi in tondino  $\varnothing 14$  mm. Gli interstizi tra i tondami longitudinali vengono riempiti con massi sino al livello di magra dell'acqua. Negli interstizi sovrastanti, vengono inserite fascine di salice leggermente ricoperte di terreno per assicurare la radicazione dei rami di salice. Dai salici si sviluppa una vegetazione arbustiva riparia con funzione naturalistica e nel tempo anche statica mediante la radicazione che va a sostituirsi al tondame destinato a marcire. La struttura si presta anche alla creazione di tane per ittiofauna ricavando delle nicchie nella parte sommersa sostenute da legname al posto del pietrame di riempimento.

*Campi di applicazione:*

consolidamento, ricostruzione di sponda, soggette ad erosione. La variante ad una parete è preferibile in situazioni di spazio limitato.

*Limiti di fattibilità:*

velocità della corrente superiori a 4 m/s.

*Materiali impiegati:*

- tondame di specie a legno durevole (robinia, castagno) di diametro almeno 20 cm;
- pioli, tondini in metallo ad aderenza migliorata  $\varnothing 12 \div 14$  mm;
- talee e piantine di latifoglie  $\varnothing 20 \div 30$  cm;
- pietrame;
- Inerte terroso.

*Grado di reperibilità:* per tutti i materiali una buona reperibilità. Per quanto riguarda il legname si puntualizza come in particolari condizioni, ovvero operando all'interno o in prossimità di zone a bosco, possa risultare economico l'utilizzo di legno proveniente da tagli e diradamenti, potendo utilizzare per la costruzione delle palificate anche legname con caratteristiche tecnologiche (cipollatura, legno di torsione, ecc.) non altrimenti utilizzabile se non come legna da ardere. Il materiale vegetale da utilizzarsi è facilmente reperibile presso i vivai pubblici e privati, fanno eccezione alcune specie arbustive.

*Modalità di esecuzione:*

- montaggio legname:
  - il piano di posa va realizzato con una contropendenza verso monte stabilita in sede di calcolo di stabilità ( $5^\circ \div 15^\circ$ ); il tipo di manufatto si presta alla posa anche su

- piani non complanari nel senso dello sviluppo in lunghezza;
- si procede alla posa della prima fila di legname in senso parallelo alla pendice, curando il posizionamento in bolla, durante la posa del tondame si realizzano i collegamenti tra un legno ed il successivo realizzando gli incastri ed i fissaggi con il tondino in ferro;
  - il montaggio prosegue con la posa del successivo ordine di tondame da posizionarsi in senso ortogonale alla prima fila ed alla pendice: questi legni avranno lunghezza variabile desunta dai calcoli progettuali ed in considerazione delle caratteristiche biotecniche e del terreno (capacità di approfondimento dell'apparato radicale) e variabile da 1,5 a 3 m. Si procede quindi al fissaggio dei legni con la fila sottostante sempre tramite tondino in ferro. Nella variante ad una parete, i pali con punta perpendicolare alla sponda al disopra del tronco orizzontale, vengono inseriti nel terreno a spinta mediante escavatore;
  - per quanto riguarda la realizzazione del fissaggio con il tondino si può rilevare come vada curata la completa perforazione dei due tronchi da fissare e si debba quindi disporre di punte da legno di adeguata lunghezza (doppia del diametro dei tronchi), almeno 40 cm: la foratura parziale può originare fessurazioni e rotture del legno al momento dell'inserimento forzato del tondino con colpi di mazza;
  - nel procedere alla realizzazione dei piani successivi si segue lo schema descritto, con l'avvertenza di posizionare i legni longitudinali alla pendice sempre in posizione arretrata rispetto al sottostante ordine di legni longitudinali e, ciò, per conferire al manufatto la pendenza del paramento scelta in sede progettuale;
  - eventuali variazioni di pendenza del paramento possono essere ottenute rinunciando alla posa del legno longitudinale sul retro del manufatto e realizzando il fissaggio a carico dell'ordine di legno longitudinale sottostante;
- riempimento struttura e posa materiale vegetale:
    - dopo aver realizzato il montaggio di 1 o 2 ordini di tondame, occorre procedere al riempimento della struttura cellulare con inerti e terreno ed alla posa delle talee e delle piantine;
    - il terreno posato negli spazi vuoti tra i pali va opportunamente compattato e si procede quindi alla posa delle talee in posizione coricata ovvero delle piantine sempre in posizione coricata ovvero delle piantine sul fronte a vista in posizione eretta;
    - le talee posate dovranno avere una lunghezza pari alla profondità della palificata (1,5 ÷ 3 m) onde consentire una radicazione profonda, ed è sufficiente che emergano fuori terra per 10 ÷ 30 cm;
    - le talee o le piantine radicate vengono posate in ragione di una ogni 10 ÷ 15 cm di fronte per ogni ordine di tondame longitudinale ovvero per circa 20 ÷ 30 talee/piantine per ogni m<sup>2</sup> di paramento esterno della palificata;
  - palificata a una parete:
    - la palificata ad una parete viene montata con le stesse modalità previste per il tipo a due pareti ma rinunciando alla posa del tondame longitudinale posizionato sul retro della struttura;
    - in particolare si realizza questa tipologia in presenza di spazi limitati per quanto attiene le possibilità di realizzare strutture profonde ovvero per scelta progettuale che ritenga sufficiente la realizzazione di un manufatto leggero con prevalenza della funzione di rivestimento rispetto a quella di sostegno;
    - la posa dei legni ortogonali alla sponda, nella costruzione della palificata ad una parete può essere realizzata con l'ausilio di una trivella, manuale o portata sul retro di una trattoria con punta da 15 ÷ 20 cm, che realizzi il foro nel fronte terroso solido. Tale modalità consente di contenere al minimo i movimenti di terra ma soprattutto assicura il mantenimento della solidità di quella porzione di pendice non ancora oggetto di scoscendimento;
    - in questa modalità costruttiva è importante battere i pali nel foro realizzato con la trivella dopo averli opportunamente appuntiti.

*Parametri e modalità di calcolo:*

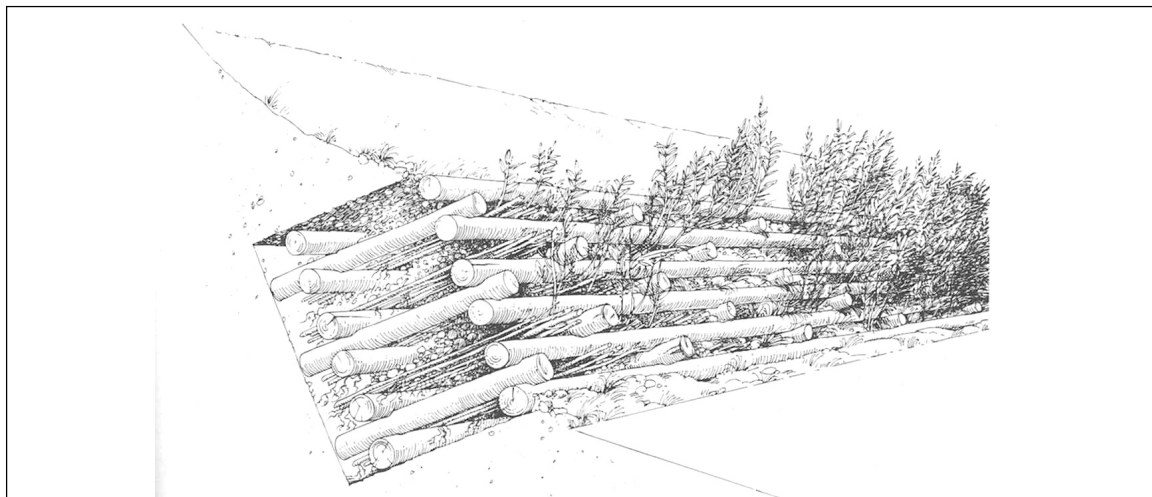
la palificata deve essere calcolata come manufatto a gravità tenendo presente come il volume occupato dal legname è pari a circa il 15 ÷ 20% del volume totale del manufatto.

*Prescrizioni:*

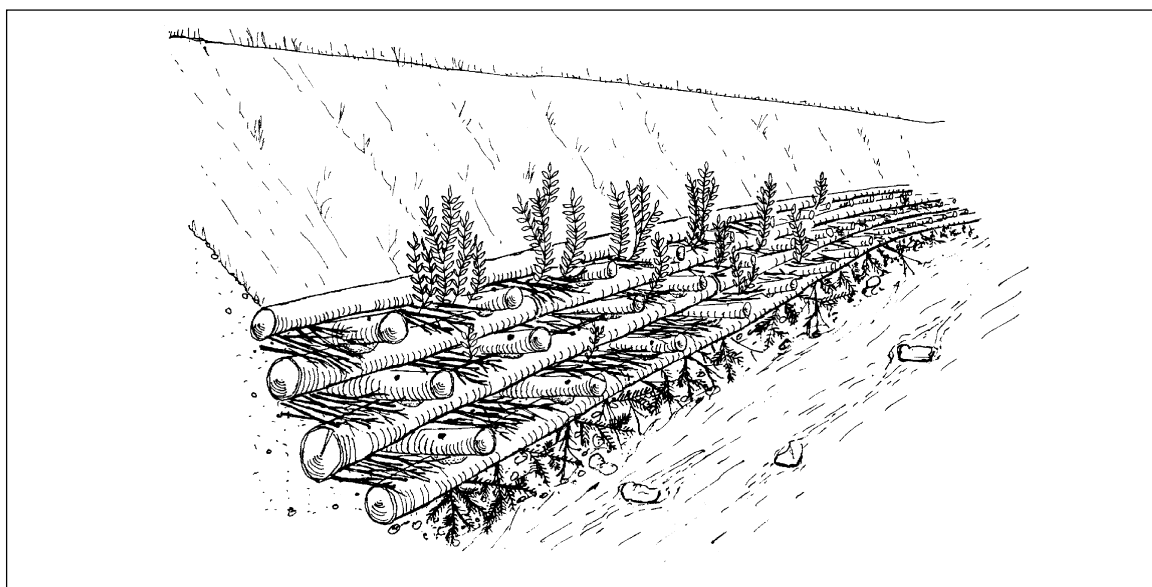
- qualora la palificata funga da difesa spondale, al piede della stessa verrà collocata una fila di massi legati con fune di acciaio Ø 16 mm e pilotis metallici L = 2 m, infissi per i 3/4 della lunghezza;
- le talee dovranno avere una lunghezza tale da passare l'opera fino a toccare il terreno retrostante e in tal modo radicare, mentre nella parte frontale dovranno sporgere per più di 10 cm;
- il fronte della palificata dovrà avere una pendenza inferiore a 60° per consentire la crescita delle piante;
- i tronchi trasversi andranno disposti alternati per garantire una maggiore elasticità e resistenza della palificata stessa;
- sul fronte della palificata è possibile inserire geotessili per il contenimento del materiale più fine.

*Limiti di impiego e scelta delle specie vegetali:* è conveniente utilizzare abbondante materiale vegetale vivo (talee, astoni, ramaglia), da

**Fig. 14.42** - Palificata spondale a due pareti



**Fig. 14.43** - Palificata viva con iniziale sviluppo vegetativo



**Fig. 14.44** - Sezione di una palificata spondale livellata

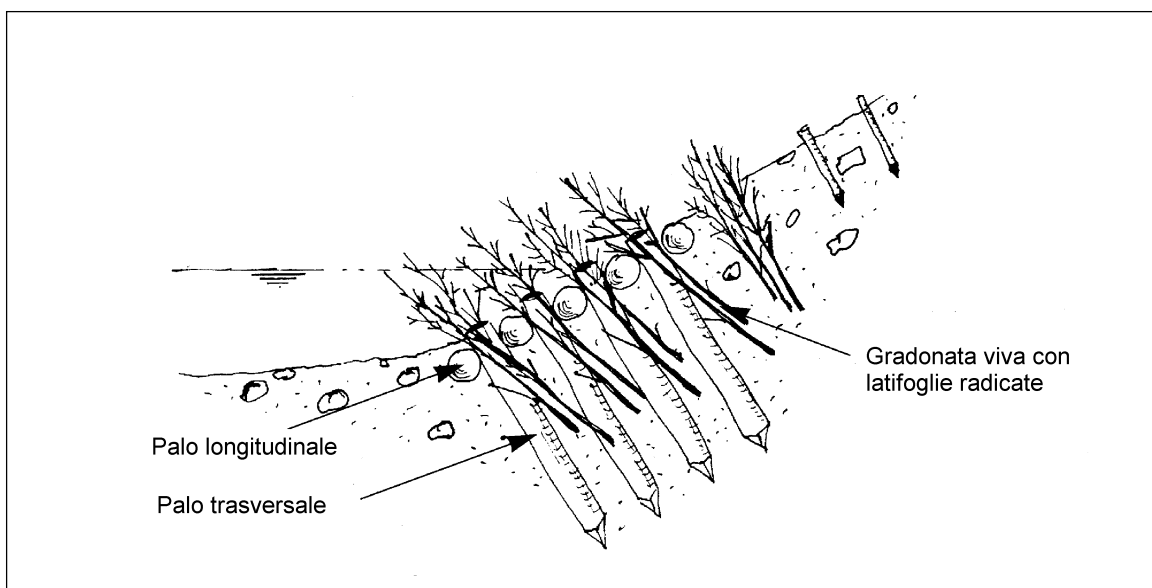
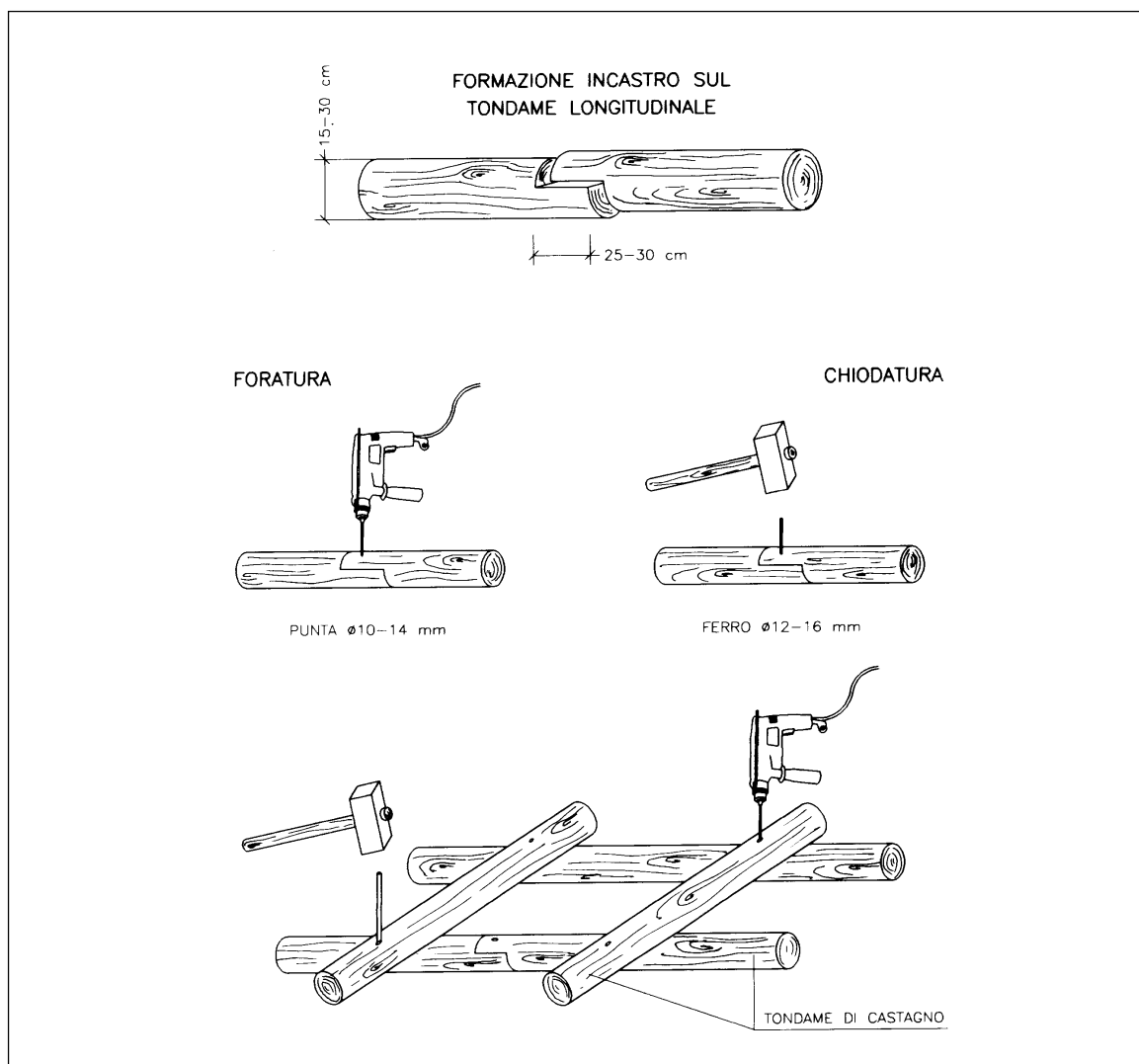


Fig. 14.45 - Palificata viva spondale ad una ed a due pareti: formazione della struttura



Tab. 14.36 - Palificata viva spondale ad una ed a due pareti: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<b>a) Manodopera:</b>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,50		
Operaio comune	Ora	0,70		
<b>b) Noli:</b>				
Autocarro	Ora	0,10		
Escavatore	Ora	0,80		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
<b>c) Materiali:</b>				
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,25		
Chiodi	cad	2		
Cambre	Kg	0,40		
Fascine vive di salice	m	1,5		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>123,95 ÷ 139,44</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>240.000 ÷ 270.000</b>

reperire prevalentemente in alveo. È quindi opportuno realizzare palificate spondali soprattutto in abbinamento a tagli della vegetazione riparia.

**Vantaggi:** rapido consolidamento della sponda.

**Svantaggi:**

- il legno col tempo marcisce, per cui oltre a buone chiodature, è necessario che le talee e le fascine inserite nella struttura siano vive e radichino in profondità, così da sostituire la funzione di sostegno e consolidamento della scarpata, una volta che il legno ha perso le sue funzioni;
- lunghi tempi di realizzazione.

**Effetto:** il consolidamento della scarpata è immediato. La struttura a camere sovrapposte funge anche da riparo e tane per piccoli animali e pesci.

**Periodo di intervento:** durante il periodo di riposo vegetativo.

**Possibili errori:**

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- diametro dei tronchi sottodimensionato;
- inserimento di un numero insufficiente di talee;
- inserimento di fascine con scarsità di materiale vegetale vivo idoneo;
- impiego di specie prive di capacità propagativa;
- insufficiente chiodatura dei tronchi.

**Note:** la scortecciatura dei pali aumenta la durabilità del legname.

Da curare il posizionamento della palificata ad almeno 0,5 ÷ 1 m al di sotto del fondo ovvero realizzare la struttura appoggiata al di sopra di una base in massi.

La gestione di un lavoro con tondame di diametro 30 ÷ 40 cm, preferibile dal punto di vista costruttivo, presenta la necessità di disporre di un escavatore per la movimentazione dei tronchi.

La costruzione con tondame di diametro massimo 20 cm può presupporre la realizzazione di un cantiere con mezzi manuali.

A mente delle attuali normative sulla sicurezza del lavoro la movimentazione manuale deve essere limitata a tondame, gestito da due operatori, di peso unitario non superiore a 40 kg (donne) o 60 kg (uomini).

Un accorgimento della palificata viva a doppia parete è quello di conficcare i pali ortogonali rispetto alla corrente (montanti) dopo averli predisposti con punta nella sponda, per contrastare la “spinta di Archimede”. Eventualmente si può appesantire la struttura riempiendola, nei primi strati con sassi.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.36**.

#### 14.3.4 Palificata viva di sostegno

**Descrizione sintetica:** manufatto in legname costituito da una struttura a celle, formate da pali di legno disposti perpendicolarmente, con posa di piante o talee. In pochi anni lo sviluppo dell'apparato radicale della vegetazione crea un'armatura nel terreno, con effetto stabilizzante. Si realizzano palificate a parete semplice, a parete doppia e spondali (**figg. 14.46-14.49**).

**Descrizione da voce di capitolato:**

- a parete semplice;
- a parete doppia;
- spondale.

Consolidamento di pendii franosi con palificata in tondami di larice o castagno  $\varnothing 20 \div 30$  cm posti alternativamente in senso longitudinale ed in senso trasversale ( $l = 1,50 \div 2,00$  m) a formare un castello in legname e fissati tra di loro con chiodi in ferro o tondini  $\varnothing 14$  mm; la palificata andrà interrata con una pendenza del  $10 \div 15\%$  verso monte ed il fronte avrà anche una pendenza del  $30\% \div 50\%$  per garantire la miglior crescita delle piante; una fila di piloti potrà ulteriormente consolidare la palificata alla base; l'intera struttura verrà riempita con l'inerte ricavato dallo scavo e negli interstizi tra i tondami orizzontali verranno collocate talee legnose di salici, tamerici od altre specie adatte alla riproduzione vegetativa nonché piante radicate di specie arbustive pioniere. Rami e piante dovranno sporgere per  $0,10 \div 0,25$  m dalla palificata ed arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale. Gli interstizi tra i tondami vengono riempiti con massi sino al livello di magra dell'argine:

- **a parete semplice:** una sola fila orizzontale esterna di tronchi e gli elementi più corti perpendicolari al pendio sono appuntiti ed inseriti nel pendio stesso;
- **a parete doppia:** fila di tronchi longitudinali sia all'esterno che all'interno. La palificata potrà essere realizzata per singoli tratti non più alti di  $1,5 \div 2$  m;
- **di difesa spondale:** una fila di massi posti al piede della palificata, a contatto con l'acqua, legati con una fune di acciaio di  $\varnothing 16$  mm e ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallico di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno  $3/4$  della lunghezza.

**Campi di applicazione:** stabilizzazione di parti di versante, piede di pendio e difesa spondale. Si tratta di opere deformabili e permeabili, che si adattano bene ad interventi su pendii instabili.

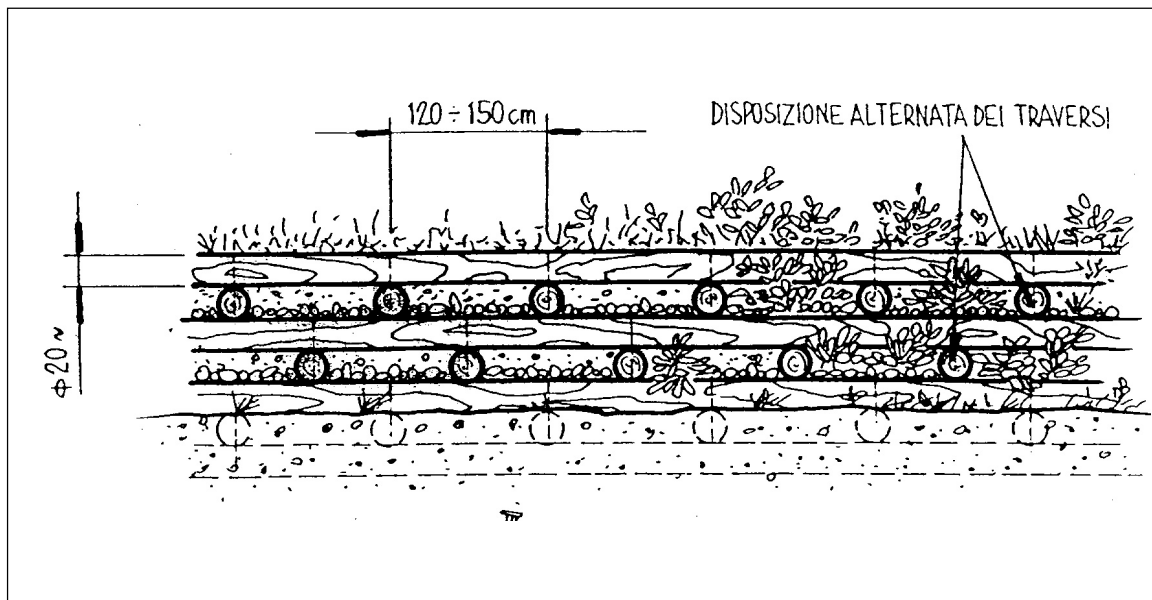
**Fattibilità:** semplice realizzazione e rapido consolidamento dell'area interessata. L'effetto stabilizzante della struttura in legno, una volta marcita, sarà sostituito dallo sviluppo dell'apparato radicale. L'altezza di una palificata a parete, semplice è in genere modesta ( $1 \div 1,5$  m); per altezze maggiori si usano palificate a parete doppia. Queste ultime, se costituiscono ope-

re con funzione permanente non devono superare i 2 ÷ 2,5 m di altezza, poiché la capacità consolidante delle piante si limita a 2 ÷ 3 m di profondità. Nei calcoli di stabilità la palificata deve essere considerata come manufatto a gravità, costituito per il 15 ÷ 20% del volume da legname.

**Materiali impiegati:**

- tondame scortecciato (larice o castagno), avente  $\varnothing = 20 \div 30$  cm e lunghezza  $> 1,5 \div 2$  m;
- chiodi in ferro o tondini in ferro con  $\varnothing 10 \div 14$  mm;
- filo di ferro zincato:  $\varnothing = 3$  mm;

**Fig. 14.46 - Palificata viva di sostegno**



**Fig. 14.47 - Palificata viva di sostegno**

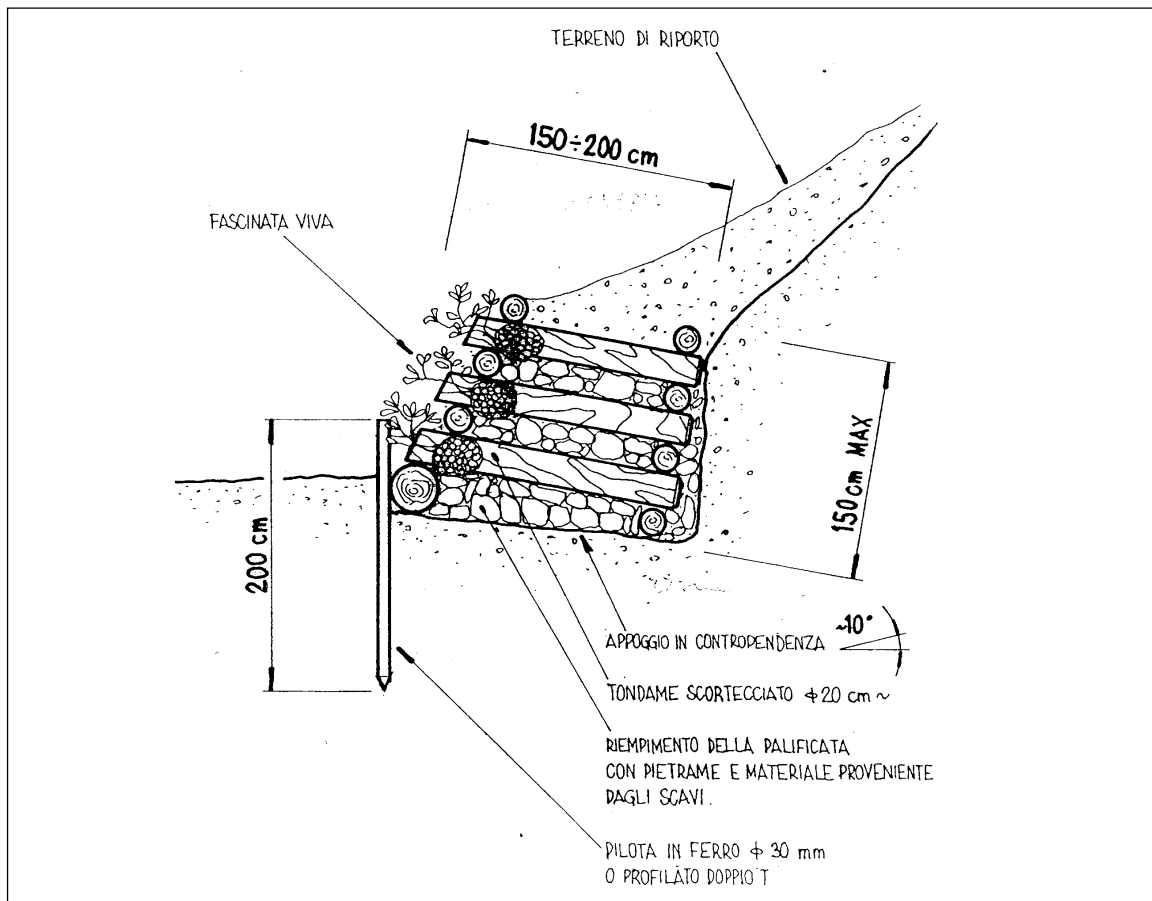


Fig. 14.48 - Palificata viva di sostegno: dettaglio

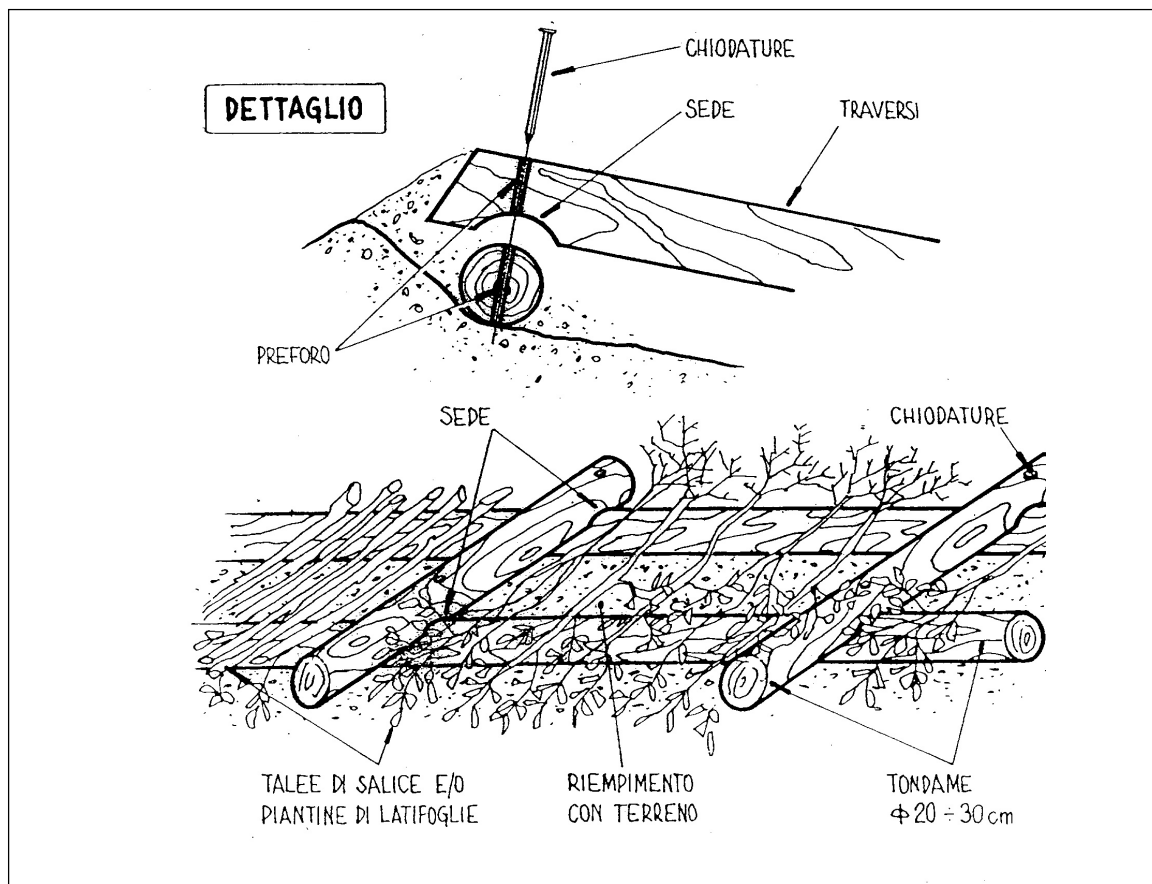
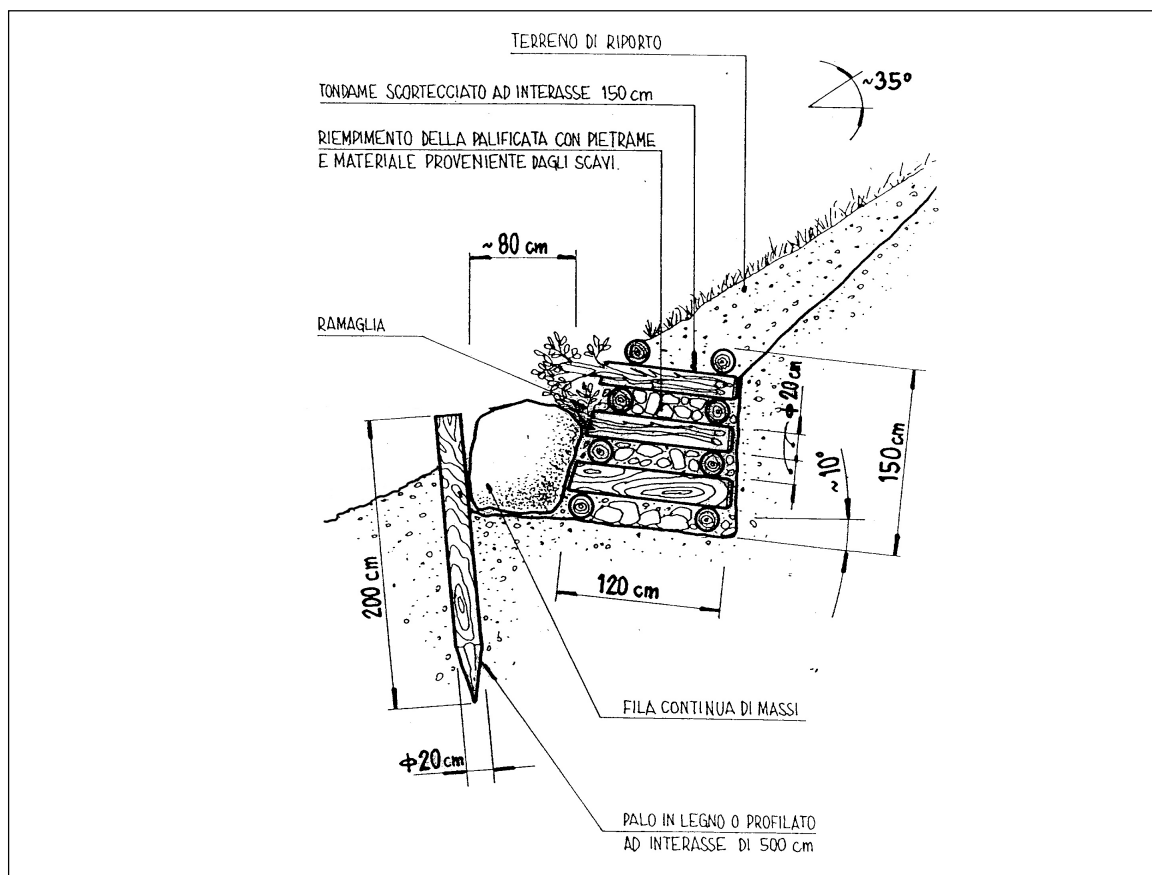


Fig. 14.49 - Palificata viva di sostegno





Tab. 14.37 - Palificata viva di sostegno: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,40		
Operaio comune	Ora	0,60		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,10		
Ragno meccanico	Ora	0,70		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
<i>c) Materiali:</i>				
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,4		
Chiodi	cad	2		
Cambre	Kg	0,40		
Talee di salice	cad	20		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>113,62 ÷ 129,11</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>220.000 ÷ 250.000</b>

- talee o piantine di specie legnose, dotate di buona capacità vegetativa, con lunghezza di 25 cm maggiore rispetto alla profondità della palificata fino ad arrivare al terreno naturale;
- ramaglie di salice: lunghezza 30 ÷ 40 cm > della profondità dell'opera;
- stuoie e georeti in materiale biodegradabile (paglia-legno, juta, fibra di cocco, ecc.).

#### Modalità di esecuzione:

- si realizza dapprima il piano di posa, a reggipoggio con inclinazione di circa 10° ÷ 15° verso monte;
- si posa quindi la prima fila di legname parallelamente al pendio (corrente), controllandone il posizionamento in bolla e realizzando gli appoggi e i fissaggi con tondini in ferro tra legni successivi;
- si posa in seguito la seconda fila di tondame in senso ortogonale alla prima (trasverso), fissandola alla sottostante tramite tondini in ferro. Nel caso della palificata a parete semplice si mette in opera una sola fila orizzontale esterna di "correnti" ed i "traversi" sono appuntiti ed infissi nel pendio; nel caso della palificata a parete doppia si posano due file di "correnti", all'interno ed all'esterno dello scavo, mentre i "traversi" sono privi di punta;
- va sottolineato che per operare un fissaggio corretto con i tondini in ferro bisogna perforare completamente i due tronchi da fissare; la foratura parziale può, infatti, provocare rotture o fessurazioni del legno stesso;
- gli strati successivi di legname vengono messi in posto ripetendo lo schema su descritto, posizionando però i diversi ordini di correnti in posizione più arretrata rispetto al sottostante, in modo da conferire al fronte un'inclinazione di 20° ÷ 30° per garantire la migliore crescita delle piante;
- i diversi ordini di legname trasverso devono essere collocati in posizione sfalsata tra di loro. Il posizionamento sfalsato dei traversi è a favore della stabilità. Una volta messi in opera 2 o 4 ordini di legname si procede al riempimento della struttura con inerti, provenienti dallo scavo e terreno vegetale, opportunamente compattato;
- le talee vengono messe in posto negli interstizi tra i tondami orizzontali, generalmente in posizione coricata; esse devono sporgere di circa 25 cm dal fronte della palificata e raggiungere il terreno naturale nella parte posteriore della struttura. Nel caso in cui quest'opera venga utilizzata come difesa spondale, è opportuno porre una fila di massi al piede della palificata, al contatto con l'acqua ed ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallico di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno 3/4, della lunghezza;
- gli interstizi tra i tondami vengono riempiti con sassi e terreno vegetale;
- drenaggio: poiché il piano di posa viene fatto a reggipoggio, in alcuni casi è opportuno evitare che le acque si accumulino lungo di esso, appesantendo il terreno sottostante. In tal caso si consigliano elementi drenanti longitudinali, posti alla quota più bassa sul retro del piano di posa, collegati con elementi ortogonali con pendenza verso valle. Generalmente non si usano filtri in geotessile; qualora fosse strettamente necessario bisogna perforarli infiggendo le talee nel terreno retrostante al fine di consentire lo sviluppo dell'apparato radicale;

- posa di stuoie o georeti sul paramento esterno (eventuale): prevengono l'asportazione parziale del terreno di riempimento da parte delle acque di ruscellamento superficiale nel primo periodo; possono essere messe in opera contemporaneamente alle operazioni di riempimento realizzando sul fronte a vista delle sacche terrose, ricoperte dalle stuoie o georeti, oppure successivamente, coprendo tutto il paramento esterno ad eccezione della parte terminale dei traversi.

*Interventi collegati:* altre opere di stabilizzazione dei versanti. Può servire d'appoggio per grate vive.

*Periodo di intervento:* durante il periodo di riposo vegetativo delle piante. In condizioni climatiche favorevoli le piante radicate possono essere trapiantate anche durante l'estate, purché non vengano danneggiate durante la costruzione.

*Vantaggi:*

- immediato consolidamento del versante;
- materiale vivo facilmente reperibile in zona;
- costi di manutenzione contenuti;
- flessibilità strutturale.

*Svantaggi:*

- limitato sviluppo in altezza dell'opera;
- necessità di mezzi meccanici per compiere gli scavi.

*Manutenzione e durata dell'opera:* nel corso del primo anno si consiglia una sorveglianza costante per evitare lo scalzamento dell'opera. Se si verifica una forte crescita è utile eseguire il taglio delle piante a livello del terreno, in modo da favorire la formazione delle radici. La durata dell'opera dipende dal tipo di legname utilizzato per realizzare la struttura: se si usa il legname di larice la durata è di 20 ÷ 40 anni, mentre è maggiore per legname di castagno.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.37**.

#### 14.3.5 Palificata tipo Roma

*Descrizione sintetica:* struttura in legname tondo costituita da un'incastellatura di tronchi a formare camere nelle quali vengono inserite fascine e talee di salici. L'opera, posta alla base della scarpata, è completata dal riempimento con materiale terroso inerte misto a pietrame nella parte sotto il livello medio (**figg. 14.50-14.52**).

*Voce di capitolato:*

- su versante;
- spondale.

Consolidamento di pendii franosi o sponde in erosione con palificata in tondami di castagno o larice  $\varnothing 20 \div 25$  cm posti a formare una struttura triangolare in legname, con i montanti, i

tiranti ed i traversi di  $L = 2,5 \div 3$  m e fissati tra di loro con tondini e barre filettate in acciaio con dadi e rondelle  $\varnothing 14$  mm; la palificata andrà interrata con una pendenza del  $10 \div 15$  % verso monte ed il fronte avrà una pendenza di circa  $65^\circ$  per garantire la miglior crescita delle piante; una fila di piloti potrà ulteriormente consolidare la palificata alla base; sui trasversi di base sarà posata una rete in acciaio zincata e plastificata di maglia  $6 \times 8$  cm, per la ripartizione del carico del terreno di riempimento sulla fondazione. Sarà effettuato l'inserimento di pietrame di pezzatura superiore al diametro del trasverso nelle camere al di sotto del livello medio dell'acqua sul fronte esterno (in ambito idraulico) ed un riempimento con inerte nella zona retrostante; analogamente sarà effettuato l'inserimento di fascine vive (di diametro superiore allo spazio tra i tronchi correnti) e talee di salici, tamerici od altre specie con capacità di propagazione vegetativa nonché di piante radicate di specie arbustive pioniere nelle camere al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte nella zona retrostante fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpata di sponda.

Rami e piante dovranno sporgere per  $10 \div 20$  cm dalla palificata ed arrivare nella parte posteriore sino al terreno naturale. La palificata potrà essere realizzata per singoli tratti non più alti di  $1,8 \div 2$  m. Nel caso della difesa spondale sarà posta una fila di massi al piede della palificata, a contatto con l'acqua, legati con una fune d'acciaio di  $\varnothing 16$  mm e ulteriormente fissati con piloti in legno o in profilato metallici di lunghezza di 2 m, infissi nel fondo per almeno  $3/4$  della lunghezza.

*Campi di applicazione:* versanti instabili, sponde fluviali soggette ad erosione.

*Applicabilità della tecnica in funzione statica, idraulica, naturalistica:* piede di versanti, corsi d'acqua ad alta energia con trasporto solido anche di grosse dimensioni.

*Materiali impiegati:*

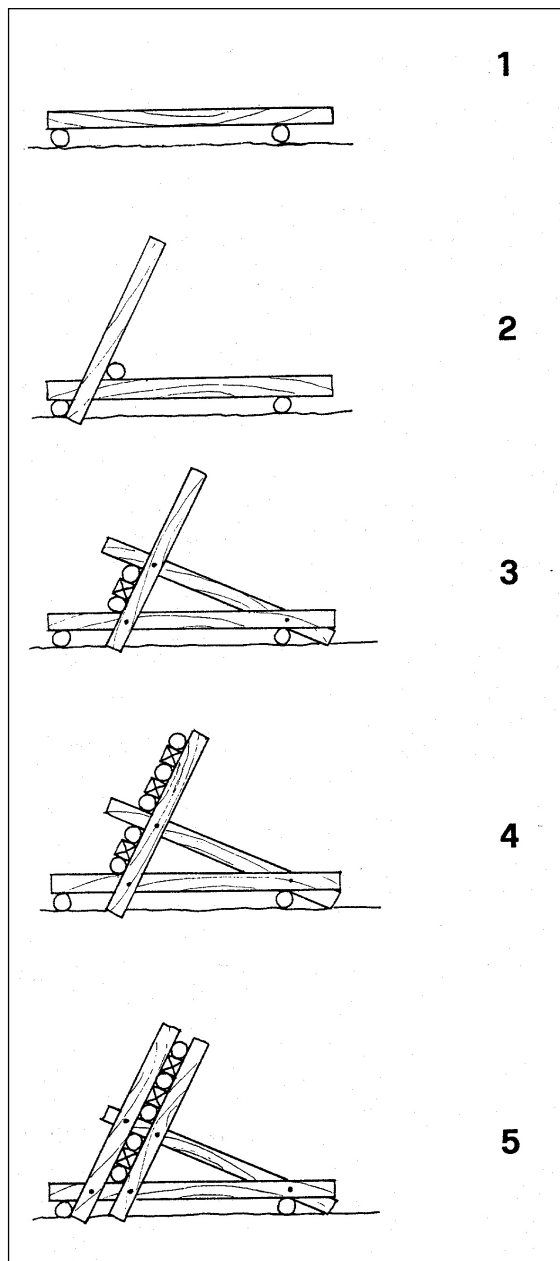
- tronchi di castagno o resinosa scortecciati  $\varnothing 20 \div 25$  cm;
- chiodature acciaio a.m.  $\varnothing 12 \div 14$  mm e barre acciaio filettato con dadi e rondelle  $\varnothing 12 \div 14$  mm;
- rete metallica a doppia torsione zincata e plastificata  $6 \times 8$  cm;
- talee  $l = 2 \div 3$  m.  $\varnothing 2 \div 5$  cm e fascine vive di salice  $\varnothing 25 \div 30$  cm;
- arbusti radicati autoctoni;
- pietrame D  $25 \div 30$  cm;
- inerte terroso.

*Modalità di esecuzione:*

- scavo di fondazione in contropendenza ( $10^\circ \div 15^\circ$ );
- fondazione in massi ciclopici o in gabbioni (solo ambito idraulico);

- posa della prima serie di tronchi correnti, paralleli alla sponda;
- posa della prima serie di tronchi trasversali al di sopra dei correnti e chiodati ad essi, con interasse 1,5 m; successivamente, dopo un riempimento con terreno o pietrame di pezzatura superiore al diametro dei tronchi (in ambito idraulico), si posa sui trasversi una rete in acciaio zincata e plastificata di maglia 6 x 8 cm, per la ripartizione del carico del terreno di riempimento sulla fondazione;
- al trasverso di base, dopo realizzazione di idonei fori nella rete zincata, verranno incernierati, il montante posteriore con una pendenza intorno ai 65° e, ad idonea distanza, il tirante di collegamento con la base, forman-

Fig. 14.50 - Fasi realizzative della palificata viva tipo Roma



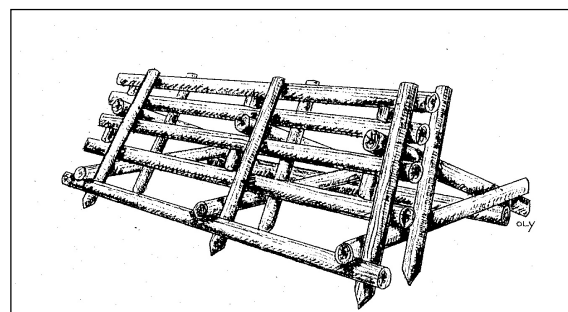
Fonte: "Acer", n.1, 2001.

- do un triangolo con il lato prolungato oltre la cerniera superiore di collegamento. Tale disposizione consentirà il posizionamento dei correnti orizzontali successivi (il primo chiodato sul trasverso, il secondo semplicemente appoggiato su un elemento distanziatore in legno di circa 20 cm, il terzo chiodato sul tirante e gli altri appoggiati sui distanziatori in legno senza chiodature;
- successivamente sarà posizionato il montante anteriore, in aderenza al corrente di fondazione, con una pendenza intorno ai 65°, incernierato al trasverso di base ed al tirante di collegamento e fissato ulteriormente, per una migliore stabilizzazione della struttura, con barre filettate di acciaio al montante posteriore attraverso i correnti non ancora chiodati. Per tale operazione, si richiede l'uso di punte di trapano e barre filettate della lunghezza di almeno 60 cm;
- inserimento di pietrame di pezzatura superiore al diametro del trasverso nelle camere al di sotto del livello medio dell'acqua sul fronte esterno e riempimento con inerte nella zona retrostante (in ambito idraulico);
- inserimento delle fascine vive di salici e talee di specie con capacità di propagazione vegetativa nelle camere al di sopra del livello medio dell'acqua e riempimento con inerte (in ambito idraulico);
- riempimento con inerte e inserimento delle talee di specie con capacità di propagazione vegetativa e degli arbusti radicati autoctoni;
- riempimento con il materiale inerte proveniente dallo scavo fino a completa copertura dell'opera e riprofilatura di raccordo con la scarpa.

#### Prescrizioni:

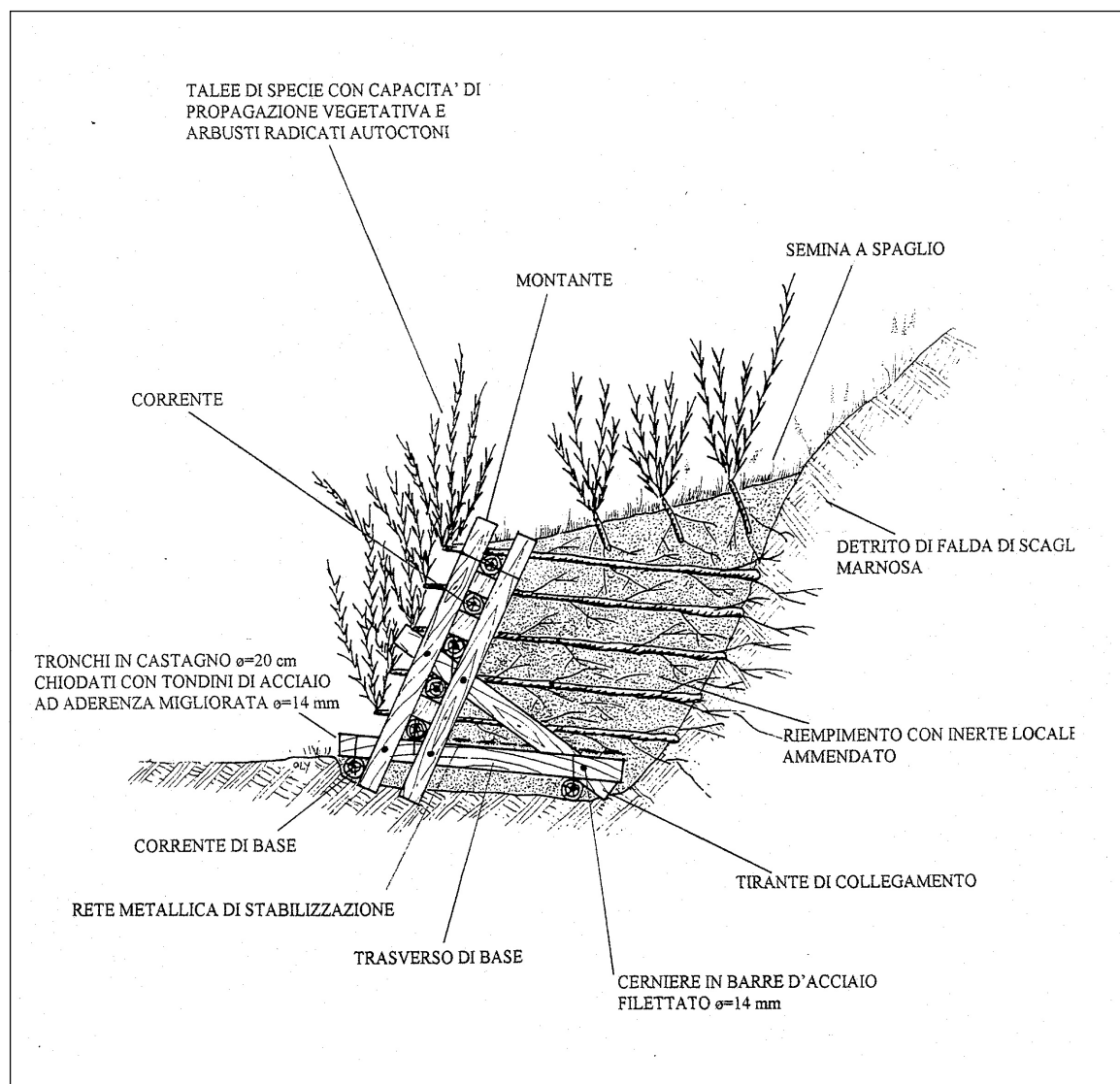
- qualora la palificata funga da difesa spondale, al piede della stessa verrà collocata una fila di massi legati con fune di acciaio  $\varnothing 16$  mm e piloti metallici  $L = 2$  m, infissi per i 3/4 della lunghezza;
- le talee dovranno avere una lunghezza superiore allo spessore dell'opera fino a toccare il terreno retrostante e in tal modo radicare, mentre nella parte frontale dovranno sporgere per più di 10 cm;

Fig. 14.51 - Prospettiva di insieme della struttura della palificata viva tipo Roma



Fonte: "Acer", n.1, 2001.

Fig. 14.52 - Sezione tipo riferita al prototipo della palificata "viva" tipo Roma



Fonte: "Acer", n.1, 2001.

- il fronte della palificata dovrà avere una pendenza massima di 65° per consentire la crescita delle piante;
- sul fronte della palificata è possibile inserire geotessili per il contenimento del materiale più fine.

*Limiti di applicazione:* data la particolarità costruttiva la palificata Roma ha un campo ottimale di realizzazione per altezze da 1,8 a 2,2 m.

*Vantaggi:* rapido consolidamento della scarpata. Rispetto alla tradizionale palificata doppia presenta un risparmio di legname e chiodature.

*Svantaggi:*

- il legno col tempo marcisce, per cui oltre a buone chiodature, è necessario che le talee e le fascine inserite nella struttura siano vive e radichino in profondità, così da sostituire la funzione di sostegno e consolidamento della

- scarpata, una volta che il legno ha perso le sue funzioni;
- lunghi tempi di realizzazione.

*Effetto:* il consolidamento della scarpata è immediato. La struttura funge anche da riparo e tane per piccoli animali e pesci.

*Periodo di intervento:* durante il periodo di riposo vegetativo.

*Possibili errori:*

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- diametro dei tronchi sottodimensionato;
- inserimento di un numero insufficiente di talee;
- inserimento di fascine con scarsità di materiale vegetale vivo idoneo;
- impiego di specie prive di capacità vegetativa;
- insufficiente chiodatura dei tronchi.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.38**.

Tab. 14.38 - Palificata viva tipo Roma: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio qualificato	Ora	0,60		
Operaio comune	Ora	1,20		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro con gru	Ora	0,10		
Terna meccanica	Ora	0,50		
<i>c) Materiali:</i>				
Barre filettate in acciaio (Ø 14mm)	cad	1		
Chiodi in acciaio a.m. (Ø 14mm)	Kg	1		
Rete in acciaio a doppia torsione 6x8cm	m <sup>2</sup>	0,4		
Tronchi (Ø 20-25cm)	m <sup>3</sup>	0,15		
Arbusti radicati autoctoni	cad	2		
Talee vive di salice	cad	8		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>96,72</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>187.279</b>

## 14.3.6 Palizzata viva filtrante

*Funzioni:* stabilizzazione e regimazione idraulica in impluvi.

*Descrizione:* consiste nella sistemazione di solchi a "V" profondi a portate intermittenti, in terreni soffici a granulometria fine (fig. 14.53).

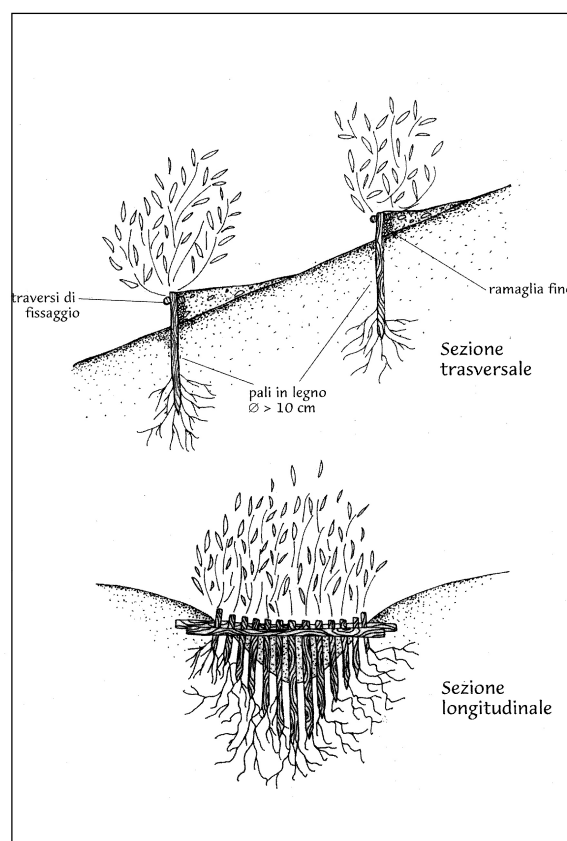
*Descrizione da voce di capitolato:* sistemazione a gradinata di solchi a "V" profondi e ripidi che normalmente non portano acqua, in terreni soffici ed a granulometria fine (limo, argilla, sabbia) mediante infissione nel terreno uno accanto all'altro, per 1/3 della loro lunghezza, di pali vivi di specie legnose dotate di capacità vegetativa, di Ø minimo 5 cm, appuntiti in basso e tagliati dritti in alto, rispettando il verso di crescita. I pali vivi verranno legati con filo di ferro Ø minimo di 2 mm ad un tronco trasversale, bene ammorsato nelle pareti laterali del fosso. Sono possibili luci non superiori ai 5 ÷ 6 m ed altezze sino a 2 ÷ 4 m.

*Effetto:* riduzione della pendenza di fondo con conseguente diminuzione della velocità della corrente e rallentamento dell'erosione del fondo.

*Campi di applicazione:* impluvi, fossi e corsi d'acqua ripidi con sezione a "V", portate intermittenti e trasporto solido prevalentemente in sospensione.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

Fig. 14.53 - Palizzata viva filtrante



- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);

- dinamica d'alveo (stabilità plano- altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido).

La tecnica è applicabile per sezioni del fosso non superiori ai 5 ÷ 6 m ed altezze sino a 4 m. Non è molto efficiente in corsi d'acqua con portate costanti e/o con trasporto solido grossolano.

*Materiali impiegati:*

- astoni vivi, quanto più possibile diritti, di specie scelte in base alle caratteristiche stazionali, con capacità di propagazione vegetativa;
- pali di castagno o altro legname a lunga durata,  $\varnothing > 10$  cm;
- filo di ferro per legature:  $\varnothing 2 \div 3$  mm oppure rami elastici di salice.

*Modalità di esecuzione:* riprofilatura a mano delle pareti del solco di erosione esistente. Infissione nel terreno di pali vivi di  $\varnothing_{\min}$  5 cm per circa 1/3 della loro lunghezza, disposti uno accanto all'altro, lungo la sezione del solco. I pali devono essere appuntiti in basso e segati diritti in alto. I pali vengono poi legati con filo di ferro ad uno o due tronchi trasversali, ben ammorsati alle pareti laterali del fosso.

*Accorgimenti:* i pali devono essere infissi oltre che all'interno del solco, anche sui fianchi, per uno sviluppo valutato sulla base delle portate massime raggiungibili e dalle caratteristiche di erodibilità dei litotipi che costituiscono i fianchi del solco. Le pendenze del fosso non devono essere inoltre elevate.

*Vantaggi:* molto rapida da costruire, la palizzata svolge la funzione di trattenimento subito dopo la sua realizzazione. I costi sono molto limitati.

*Svantaggi:* è necessaria una grande quantità di materiale vivo e selezionato. I pali vivi, considerate le modalità di posa in opera, hanno bisogno di condizioni di crescita favorevoli per l'attecchimento.

*Periodo di intervento:* durante il periodo di riposo vegetativo.

*Manutenzione:* taglio frequente e selettivo della vegetazione che si sviluppa dai pali, in modo da poter controllare l'azione filtrante della palizzata.

#### 14.3.7 Rivestimento vegetale di fossi e solchi di erosione

*Funzioni:* stabilizzazione, copertura, regolazione idraulica su versante.

*Descrizione:* consiste nel rivestire con materiale vivo i solchi di erosione che si possono formare nei pendii per ruscellamento delle acque superficiali (fig. 14.54).

*Effetto:* forte azione di protezione "meccanica" dall'erosione immediatamente dopo la posa in opera della ramaglia; successivamente, con lo sviluppo della vegetazione, la radicazione e l'azione di traspirazione delle piante, rallentano fortemente l'azione erosiva, e trattengono il materiale solido facendolo depositare fra i rami. I salici sopportano bene l'inghiamento e crescono consolidando prima il fondo del fosso e poi l'intero corpo terroso. Occorre tuttavia che non restino sepolti più di 2/3 dei getti nuovi. Occasionalmente nel fosso può esserci dell'acqua.

*Campi di applicazione:* l'intervento si presta per il controllo dell'erosione lineare in aree argillose o comunque caratterizzate dall'affioramento di litotipi a granulometria fine. Può essere impiegato anche, per gli stessi scopi, in corsi d'acqua di piccole dimensioni (profondità massima di 3 m; cfr. Schiechl, 1992), con portate intermittenti e con trasporto solido prevalentemente in sospensione. Tecnica usata in combinazione con pietrame, gabbioni, fascine e viminate.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- protezione dall'erosione diffusa e/o incanalata.

La distanza minima tra i pali che devono "fermare" la ramaglia ed il terreno sovrastante deve essere di 2 m, ma può arrivare anche a 50 cm in caso di pendenze notevoli del versante ( $> 45^\circ$ ). L'opera non è idonea nel caso di solchi di erosione in terreni a granulometria grossolana e di corsi d'acqua con portate costanti e/o con trasporto solido grossolano.

*Materiali impiegati:*

- ramaglia viva di specie arbustive scelte in base alle caratteristiche stazionali, con capacità di propagazione vegetativa;
- paletti in legname con  $\varnothing$  medio di 6 ÷ 8 cm e lunghezza leggermente superiore alla larghezza del fosso;
- picchetti in legname (anche materiale vivo).
- filo di ferro per legature:  $\varnothing 2 \div 3$  mm.

*Modalità di esecuzione:* riprofilatura a mano delle pareti del solco o del fosso di erosione esistente.

Posa della ramaglia viva (si può aggiungere anche una modesta percentuale di ramaglia morta) che viene disposta, in grande quantità

(fino ad uno spessore di 50 cm), "a spina di pesce", con la punta dei rametti rivolta verso l'esterno.

Lo strato di ramaglia deve aderire quanto più possibile alle pareti ed al fondo del solco, in modo da aumentare la possibilità di radicazione.

La ramaglia viene fermata con paletti di legno disposti trasversalmente (ogni 1÷2 metri) sul fondo del fosso e tenuti fermi da uno o due picchetti in legno, legati ad essi con filo di ferro. Il numero dei paletti trasversali è proporzionale alla pendenza del fosso da rivestire (l'intervallo medio tra un paletto e l'altro in genere è di circa 150 cm).

Lo strato di ramaglia viene successivamente ricoperto da un sottile strato di terreno.

**Vantaggi:** materiali facilmente reperibili in zona.

In un intervento complessivo che prevede la re-

alizzazione di altre opere con tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, può essere utilizzato il materiale che deriva dagli scarti della preparazione di talee. Impiego limitato di manodopera.

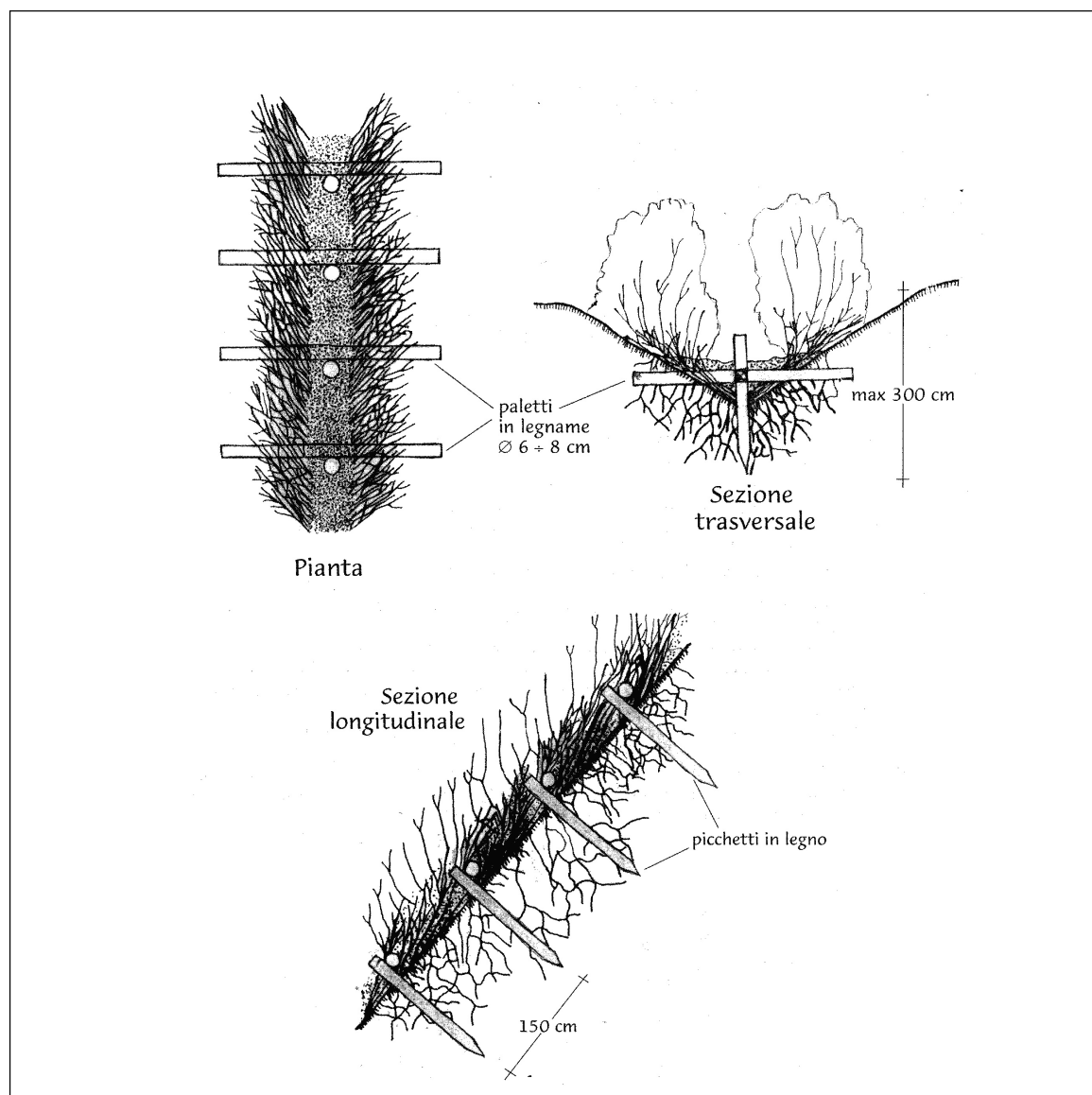
**Svantaggi:** è necessaria una grande quantità di materiale vivo.

Tecnica non adatta in caso di deposizioni di materiale superiori a 50 cm per ogni singolo evento.

**Periodo di intervento:** durante il periodo di riposo vegetativo.

**Manutenzione:** tagli frequenti della vegetazione arbustiva che si sviluppa dalla ramaglia al fine di mantenerla elastica, in modo da permettere il passaggio dell'acqua in superficie (il flusso deve essere rallentato, non ostacolato completamente).

Fig. 14.54 - Rivestimento vegetale di fossi e solchi in erosione



### 14.3.8 Pennelli e repellenti vivi

**Descrizione sintetica:** i pennelli ed i repellenti vivi sono opere trasversali rispetto alla direzione di flusso della corrente. Sono costruzioni che partono dalle sponde ed hanno una posizione ad angolo retto, o con inclinazione verso valle o verso monte rispetto alla direzione di flusso. Possono essere realizzati su una sola sponda o su entrambe le sponde, in questo caso si troveranno contrapposti. Si realizzano mediante l'utilizzo di pali in legno infissi nell'alveo e ramaglia viva o morta intrecciata, con pietrame, talee o altro. Vengono utilizzati per delimitare il letto di deflusso delle portate medie, verso il centro del corso d'acqua, ed a protezione delle sponde soggette ad erosione. Se si vuole meandrire il corso d'acqua i pennelli dovranno essere disposti in modo alternato (figg. 14.55-14.57).

**Descrizione da voce di capitolato:** formazione di pennelli a partire dalla riva e posizionati ad angolo retto, con inclinazione verso valle o verso monte rispetto alla direzione del flusso, costituiti da pali di lunghezza variabile (in genere 100 ÷ 150 cm e Ø 5 ÷ 10 cm) disposti a file singole o multiple, sui quali vengono intrecciati rami o verghe di salice. La struttura verrà posizionata in modo da determinare una riduzione della forza erosiva dell'acqua, dell'erosione e al contempo un deposito del trasporto solido.

**Campi di applicazione:** trovano applicazione in corsi d'acqua con larghezza minima di circa 10 m, dove è necessario allontanare la corrente dalle sponde e arrestare l'erosione. Si creano così delle aree nelle quali l'acqua deposita il materiale solido e nelle quali viene impedita l'asportazione per la riduzione della velocità della corrente. Hanno un particolare significato ecologico, in quanto, costituiscono un buon rifugio per la fauna ittica.

**Effetto:** svolgono efficacemente funzione antierosiva; inducono la formazione di barre falciformi sulle sponde e di buche, raschi, barre in alveo.

**Fattibilità:** i pennelli possono essere realizzati sia su corsi d'acqua di ampie dimensioni, in prossimità di sezioni in cui si vuole diminuire la velocità di erosione della corrente o in corsi d'acqua di dimensioni più ridotte in prossimità di tratti con elevata erosione di sponda che potrebbe innescare dissesti sul versante per scalzamento al piede. Esistono diverse tipologie di pennelli, quali: pennello in pietrame con talee, pennello vivo ad intreccio, repellente di ramaglia a strati, pennelli di fascine, in gabbioni metallici, in rulli cilindrici, in pali di legno).

**Materiali impiegati:**

- pali in legno con L = 150 ÷ 200 cm e Ø = 10 ÷ 15 cm;
- ramaglia morta;
- ramaglia viva per intreccio;

- talee di salice;
- eventuale materiale di riempimento, ghiaia e sassi;
- barre di ferro.

**Modalità di esecuzione:**

- formazione di uno scavo di fondazione come base di appoggio dei materiali costituenti i pennelli con profondità pari a circa 30 ÷ 50 cm e larghezza 50 ÷ 70 cm;
- infissione delle file di pali in legname, che possono essere 2 o 3 a seconda delle dimensioni che si vogliono realizzare. I pali vengono collegati tra loro mediante traverse intercalate a strati di ramaglia morta;
- ricoprimento dell'opera con ghiaia e pietrame da reperirsi preferibilmente in loco. Appoggiate ai pali, quindi in senso longitudinale, vengono disposte fascine vive di salici, che, sviluppandosi, possono rendere il pennello un buon rifugio per la fauna;
- realizzazione di una protezione a monte e a valle del pennello, in pietrame, di pezzatura e altezza dettate dalle caratteristiche idrodinamiche del corso d'acqua.

**Interventi collegati:** sistemazioni idrauliche.

**Prescrizioni:**

- la distanza tra i repellenti deve essere circa uguale alla larghezza del corso d'acqua o 1,5 fino a 2,5 volte la lunghezza del repellente stesso;
- per il restringimento di sezione i repellenti andranno posizionati contrapposti sulle due sponde;
- per l'effetto meandreggiante i repellenti andranno posizionati sfalsati, con una distanza che rispetta la cadenza naturale del meandreggio (8 ÷ 12 volte la larghezza dell'alveo).

**Vantaggi:**

- i pennelli vivi diventano parte integrante della sponda, in continuità anche con la vegetazione della sponda stessa;
- la presenza di ramaglia rallenta la velocità dell'acqua e la rimescola, creando zone di acqua bassa tranquilla, indicata per la riproduzione di specie ittiche;
- sono strutture che permettono di bloccare il materiale galleggiante ingombrante, come tronchi, rifiuti, ecc. che causerebbero l'eventuale inquinamento a valle o in mare;
- creazione di superfici umide fresche, che consentono di limitare la temperatura durante il periodo estivo, quindi il proliferare dei batteri.

**Svantaggi:**

- a causa delle turbolenze e delle correnti trasversali che si vengono a generare, si possono avere erosioni in testa e al piede dei repellenti, nonché sulla sponda opposta se non correttamente dimensionati e posizionati;
- impiego di grandi quantità di materiale vivo.

**Effetto:** vi è una riduzione della velocità dell'ac-



qua e un rimescolamento dell'acqua con riduzione della velocità di flusso che consente la deposizione di materiale solido. I pennelli costituiscono inoltre punti di rifugio per la fauna.

*Periodo di intervento:* i pennelli realizzati con materiale vegetale vivo devono essere messi in opera durante il periodo di riposo vegetativo.

*Manutenzione e durata dell'opera:* nei primi due anni dovrà essere posta attenzione allo svilup-

po delle talee, con sostituzione delle fallanze. Dopo ogni evento di piena sarà opportuno verificare le condizioni della protezione in massi ed eventualmente riposizionare il pietrame asportato dalla corrente.

*Possibili errori:* scelta errata del periodo per la posa in opera di materiale vegetale vivo. Sottodimensionamento rispetto ai parametri idraulici.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.39**.

**Tab. 14.39 - Pennelli e repellenti vivi: analisi prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora			
Operaio qualificato	Ora	0,5		
Operaio comune	Ora	0,5		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro con gru	Ora	0,1		
<i>c) Materiali:</i>				
Verghe vive	cad	10		
Fascine vive	m	1		
Picchetti in acciaio	Kg	1,4		
Filo di ferro	Kg	0,18		
Paletti in legno	cad	2		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>44,58</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>86.313</b>

**Fig. 14.55 - Pennelli e repellenti vivi**

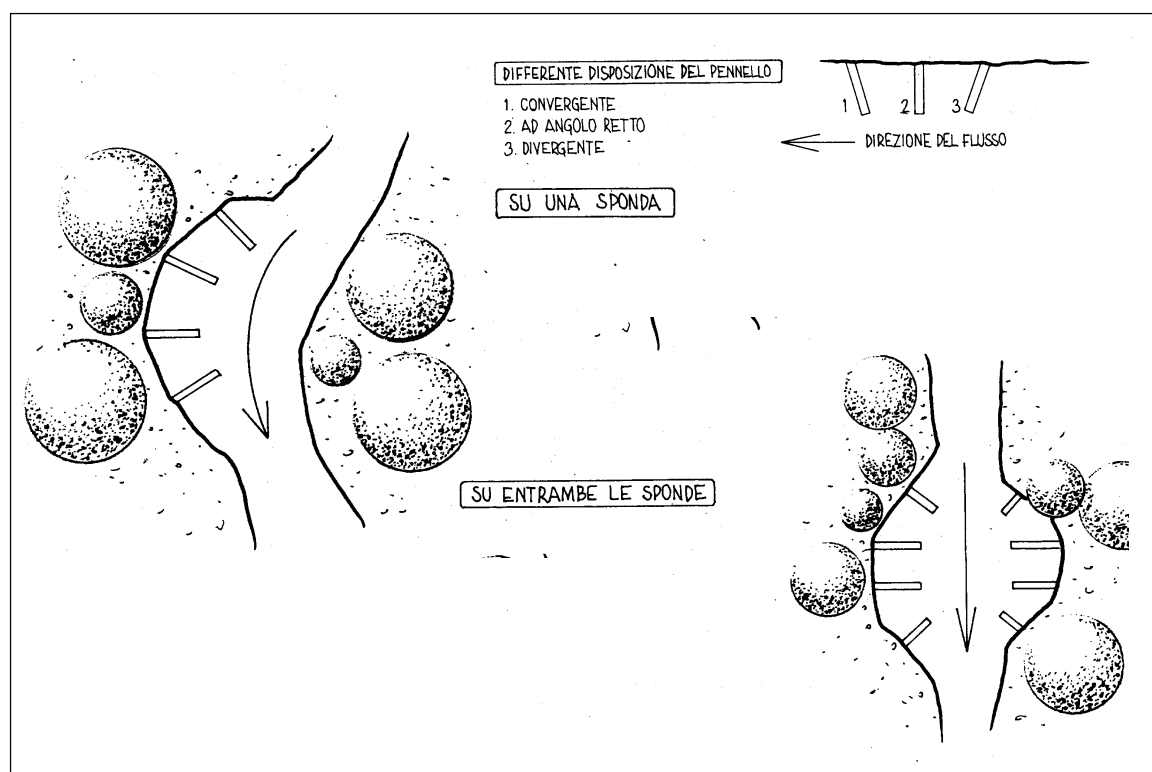


Fig. 14.56 - Pennelli a due e tre file di pali

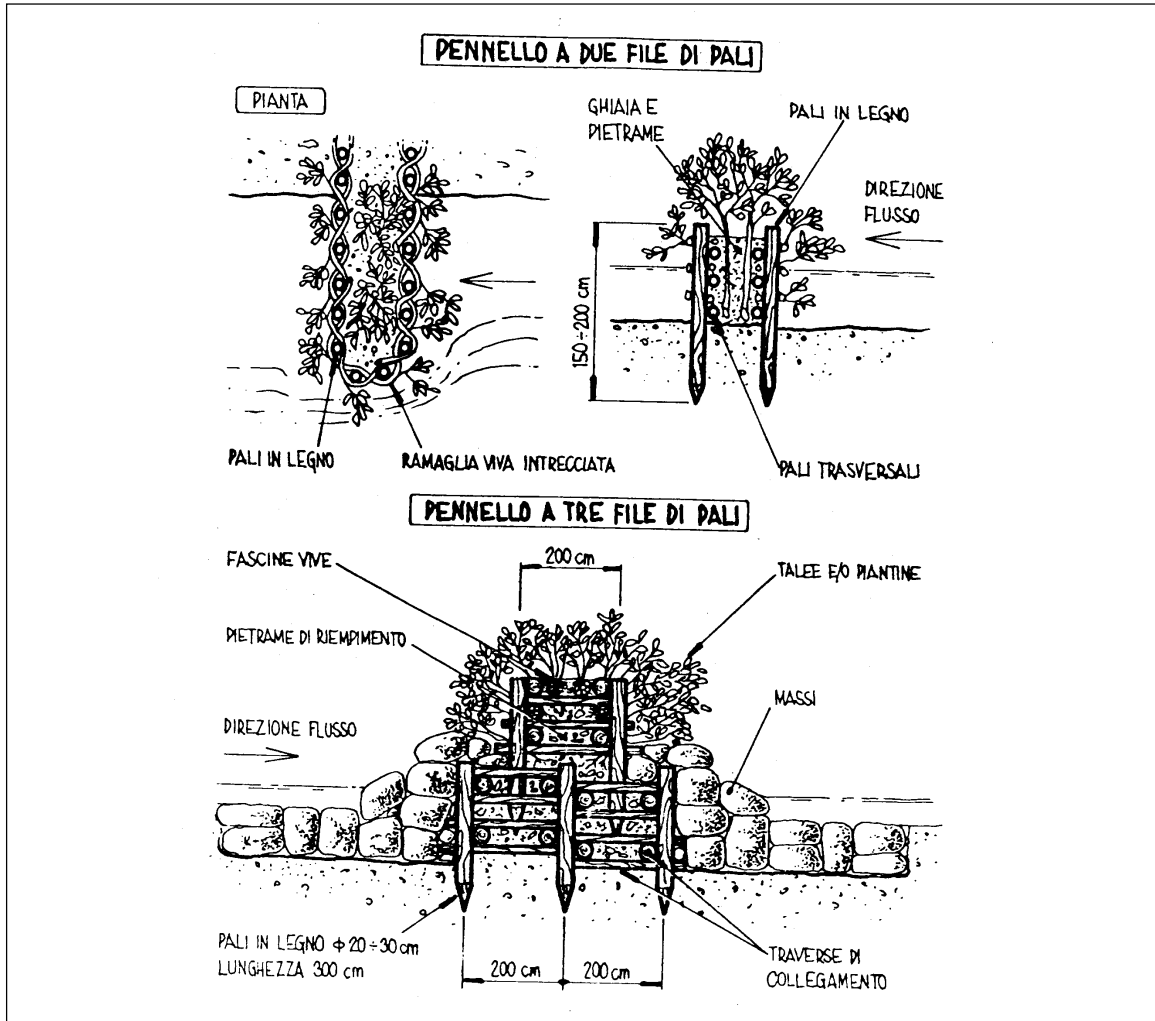
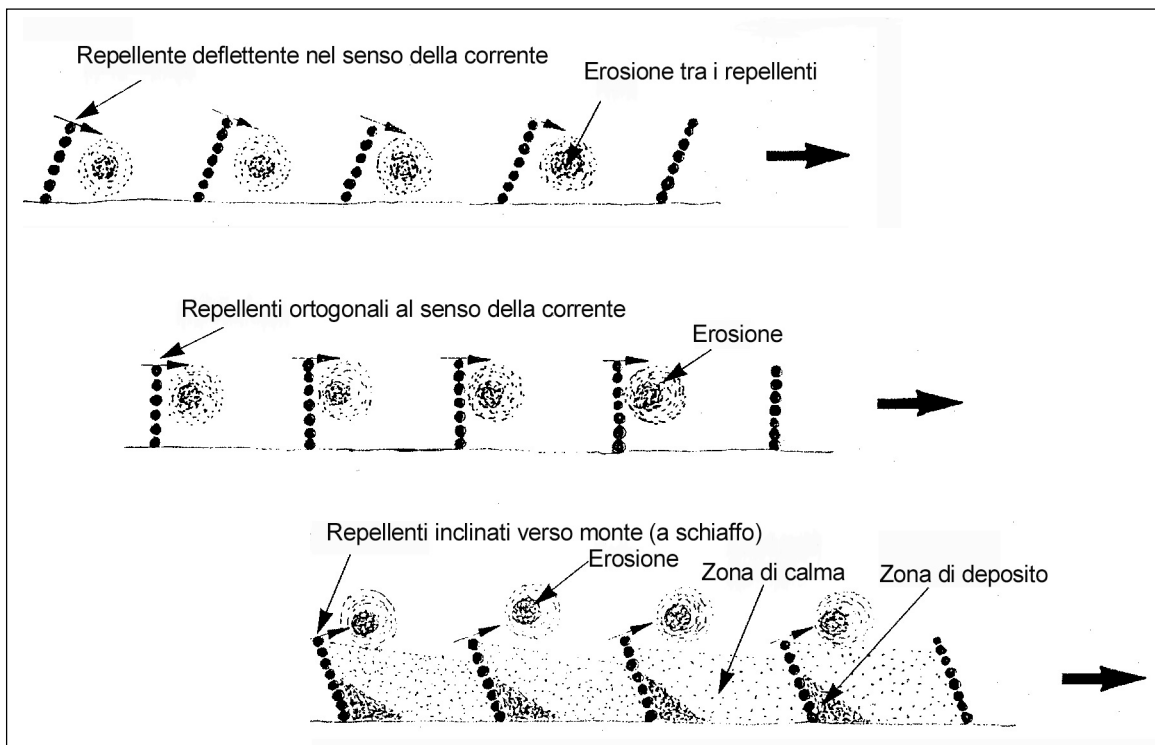


Fig. 14.57 - Repellenti vivi



### 14.3.9 Gabbionata in rete metallica zincata rinverditata

**Descrizione sintetica:** parallelepipedi in rete metallica zincata a maglia esagonale, riempite in loco con pietrisco di pezzatura minima 15 cm, disposti a file parallele sovrapposte. Talee di salice vengono inserite nella prima maglia del gabbione superiore e non tra un gabbione e l'altro. In commercio si possono trovare anche gabbioni a sacco, cilindrici, a rullo.

**Descrizione da voce di capitolato:**

- *variante a:* con talee;
- *variante b:* con cuneo verde interno;
- *variante c:* con cuneo verde esterno.

Formazione di gabbionata verde mediante impiego di normali gabbionate in rete metallica a doppia torsione di maglia esagonale minima 8 x 10 cm tessuta con trafilato in ferro di diametro minimo 2,7 mm zincato a caldo (UNI 8018) se del caso ricoperto di rivestimento plastico in PVC di spessore minimo di 0,4 ÷ 0,5 mm e diametro complessivo minimo del filo 3,7 mm, confezionato a parallelepipedo di varie dimensioni (in genere 0,5 ÷ 1 m x 1 m x 2 m).

Tali elementi, riempiti con pietrame grossolano sono tradizionalmente usati nelle costruzioni idrauliche, stradali, consolidamento di versanti, ecc. Nel loro impiego combinato con piante vive si prestano a varie applicazioni dell'ingegneria naturalistica che sono suscettibili di ulteriori evoluzioni data l'adattabilità dei materiali.

Già il loro uso tradizionale presenta notevole plasticità dando adito nel tempo a processi di rinaturazione spontanea.

Sulle tipologie di abbinamento sinora operate valgono le seguenti indicazioni:

- inserimento di talee, ramaglia viva, piante all'interno del gabbione o tra un gabbione e quello soprastante in fase di costruzione (*variante a*), le talee dovranno attraversare completamente il gabbione ed essere inserite nel terreno dietro il gabbione stesso per una profondità che dia garanzia di crescita. Tale operazione potrà avvenire solo durante il periodo di riposo vegetativo;
- realizzazione di un cuneo frontale interno costituito da un non tessuto verticale di separazione interna verso il pietrame e una georete tridimensionale plastica o in fibra vegetale verso l'esterno, il tutto riempito di terra vegetale, seminato e piantato (*variante b*);
- formazione di un cuneo, come al punto precedente, ma esterno realizzato sul gradoncino tra un gabbione e quello soprastante in genere arretrato di 50 cm. In questo caso il non tessuto è posto esternamente a rivestire la parte orizzontale, e in parte quella verticale, del gradoncino. Il cuneo potrà essere semplicemente ricaricato di terra vegetale, seminato e piantato oppure richiuso con una rete zincata foderata con georete tridimensionale sintetica o in fibra vegetale.

**Campi di applicazione:** difesa longitudinale e/o trasversale di corsi d'acqua; piedi di pendii umidi; versanti in erosione; palizzate filtranti; briglie in golene allagate occasionalmente.

**Materiali impiegati:**

- ciottoli di fiume Ø 15 ÷ 30 cm o pietrame;
- gabbia in filo di ferro zincato, maglia minima 8 x 10 cm a doppia torsione;
- filo di ferro zincato Ø 2,4 ÷ 3 mm;
- talee di salice.

**Modalità di esecuzione classiche delle gabbionate:**

- preparazione di un avvallamento in cui stendere il parallelepipedo prefabbricato e sua apertura con la chiusura dei lati verticali, utilizzando filo di ferro Ø minimo 2,7 mm, oppure un'apposita macchina pinzatrice;
- riempimento con ciottoli e sistemazione a mano dei ciottoli;
- chiusura della parte sommitale;
- posizionamento della successiva fila di gabbioni, arretrata rispetto a quella sottostante di 0,5 m;
- inserimento di talee e ramaglia di salice nella prima maglia, di lunghezza tale da toccare il terreno retrostante e inserite in corso d'opera. È impossibile inserirle a posteriori;
- qualora si intenda realizzare il cuneo di terreno vegetale, è necessario durante il riempimento sistemare all'interno una stuoia di contenimento sia a contatto con il pietrame sia frontalmente verso la rete;
- per il cuneo tra le file è sufficiente riportare materiale inerte e terreno vegetale.

**Prescrizioni:** affinché il gabbione non subisca deformazioni per eventuali sollecitazioni esterne, è opportuno ancorare il gabbione con tiranti o grossi tondini di ferro al terreno retrostante. Siccome i gabbioni vengono impiegati in ambito fluviale, per evitare erosione al piede di sponda, è necessario predisporre un letto di ramaglia prima della posa dei gabbioni stessi: ramaglia morta al di sotto del livello di magra, ramaglia viva al di sopra.

La gabbionata sarà ancorata al terreno con picchetti in legno (Ø 5 ÷ 10 cm) o tondini in ferro (Ø 12 ÷ 16 mm) infissi per almeno 1 m, qualora il peso della gabbionata non sia sufficiente a mantenere in loco la struttura.

In casi particolari e di riempimento manuale, ramaglie e talee possono essere sistemate all'interno del gabbione, in corso d'opera.

**Limiti di applicabilità:**

- aste torrentizie con velocità della corrente superiore a 6 m/s e diametro di trasporto solido superiore a 20 cm;
- aste terminali su suoli limoso - sabbiosi.

**Vantaggi:**

- tecnica di esecuzione rapida e semplice;
- effetto contenitivo immediato;
- drenaggio delle acque sub-superficiali;

Fig. 14.58 - Gabbionata in rete metallica zincata rinverdata: sezione

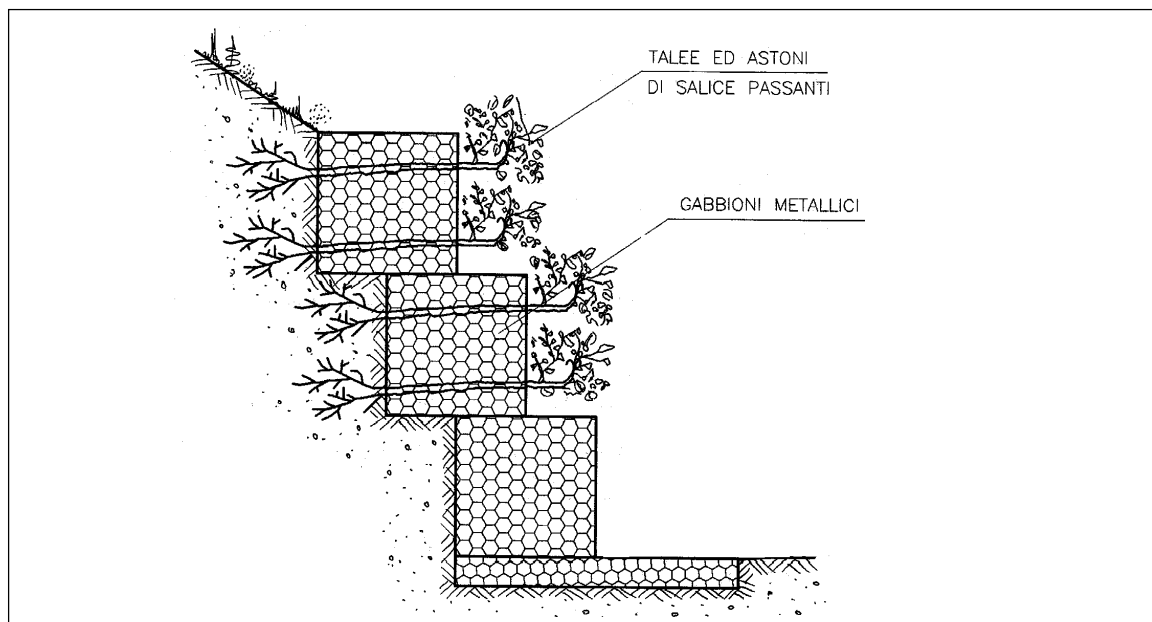
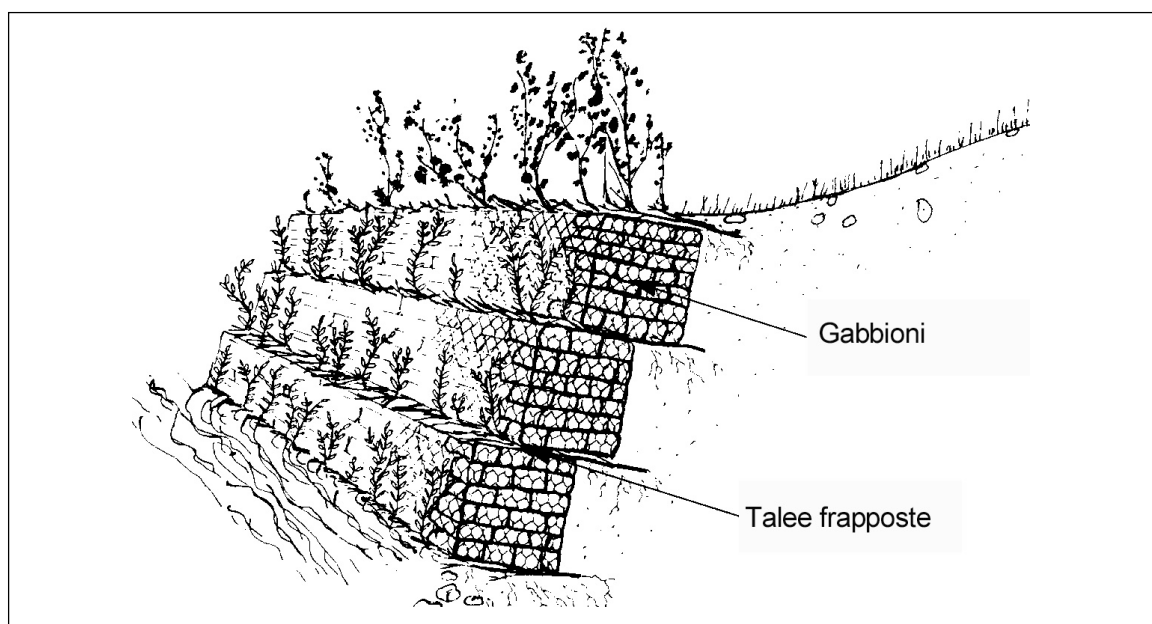


Fig. 14.59 - Gabbionata in rete metallica zincata rinverdata: prospetto



- è una struttura muraria di sostegno permeabile all'acqua;
- struttura elastica con buona risposta alle sollecitazioni.

*Svantaggi:*

- non rinverdibile una volta posto in opera;
- la realizzazione è vincolata dalla disponibilità in loco di idoneo materiale lapideo per i riempimenti;
- rischio di rottura della rete, qualora non sia sufficientemente protetta con opere al piede.

*Effetto:* struttura di sostegno elastica, molto adatta per sistemazioni spondali a forte pendenza in spazi limitati in zone urbanizzate.

*Periodo di intervento:* durante il riposo vegetativo.

*Possibili errori:*

- mancato ancoraggio dei gabbioni al terreno retrostante con pericolo quindi di "spanciamiento";
- mancato inserimento di talee e ramaglie di salice;
- esecuzione fuori stagione con scarse possibilità di attecchimento;
- erosione al piede;
- posa delle sole talee tra le file di gabbioni.

*Note:* in terreni limoso-sabbiosi si può ovviare ai problemi di sprofondamento della struttu-

Tab. 14.40 - Gabbionata in rete metallica zincata rinverdita: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1,1		
Operaio comune	Ora	1,1		
<i>b) Noli:</i>				
Pala articolatrice articolata	Ora	0,25		
<i>c) Materiali:</i>				
Gabbioni h1	Kg	9,15		
Punti metallici	cad	30		
Pietrame	m <sup>3</sup>	1,2		
Verghe	cad	8		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>113,62 ÷ 129,11</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>220.000 ÷ 250.000</b>

ra, con stendimento di adeguato tessuto - non tessuto (TNT), come base di appoggio per la distribuzione dei pesi, eventualmente associata alla posa di materassi in rete metallica zincata a doppia torsione.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.40**.

#### 14.3.10 Materasso spondale in rete metallica rinverdito

*Descrizione sintetica:* si tratta di difese spondali flessibili e permeabili alla vegetazione, costituite da materassi a tasche in rete metallica a doppia torsione zincata. I materassi vengono assemblati *in situ* e riempiti di pietrame. Dato lo spessore esiguo (massimo 30 cm) ed il riempimento caratterizzato da forte porosità, queste strutture si prestano molto bene ad essere colonizzate dalla vegetazione. In particolare, è possibile accelerare i processi di rinaturalizzazione ed aumentare l'efficacia di queste protezioni, inserendo talee di salice, intasando il pietrame con terra e rinverdendo successivamente, oppure realizzando delle tasche riempite di terra e foderate mediante un filtro all'interno delle quali mettere a dimora la vegetazione (figg. 14.60-14.61).

*Descrizione da voce di capitolato:* formazione di rivestimento in materasso verde in gabbionate di spessore minimo di 0,17 cm, in moduli di larghezza minima di un metro, fabbricati con rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale minima 6 x 8 cm, tessuta con trafilato di ferro, di diametro minimo 2,2 mm zincato a caldo (UNI 8018) se del caso ricoperto da un rivestimento plastico di PVC di spessore minimo 0,4 ÷ 0,5 mm e diametro complessivo del filo non inferiore a 3,2 mm., foderati sul fondo in geotessuto sintetico o in fibra vegetale ritentore di fini del peso minimo di 350 g/m<sup>2</sup>,

riempito di un miscuglio di terreno vegetale e/o materiale sciolto con caratteristiche fisico-idrologiche, chimiche ed organiche tali da favorire la germinazione e la crescita delle piante. La copertura esterna sarà realizzata con rete metallica dello stesso tipo abbinata ad una georete tridimensionale o a un biofiltro in fibra vegetale di minimo 800 g/m<sup>2</sup> eventualmente preseminato e preconciato. A chiusura avvenuta il materasso verrà ulteriormente seminato in superficie e piantato con talee, rizomi, cespi ed arbusti radicati di specie autoctone. Le operazioni in verde verranno eseguite nelle stagioni idonee:

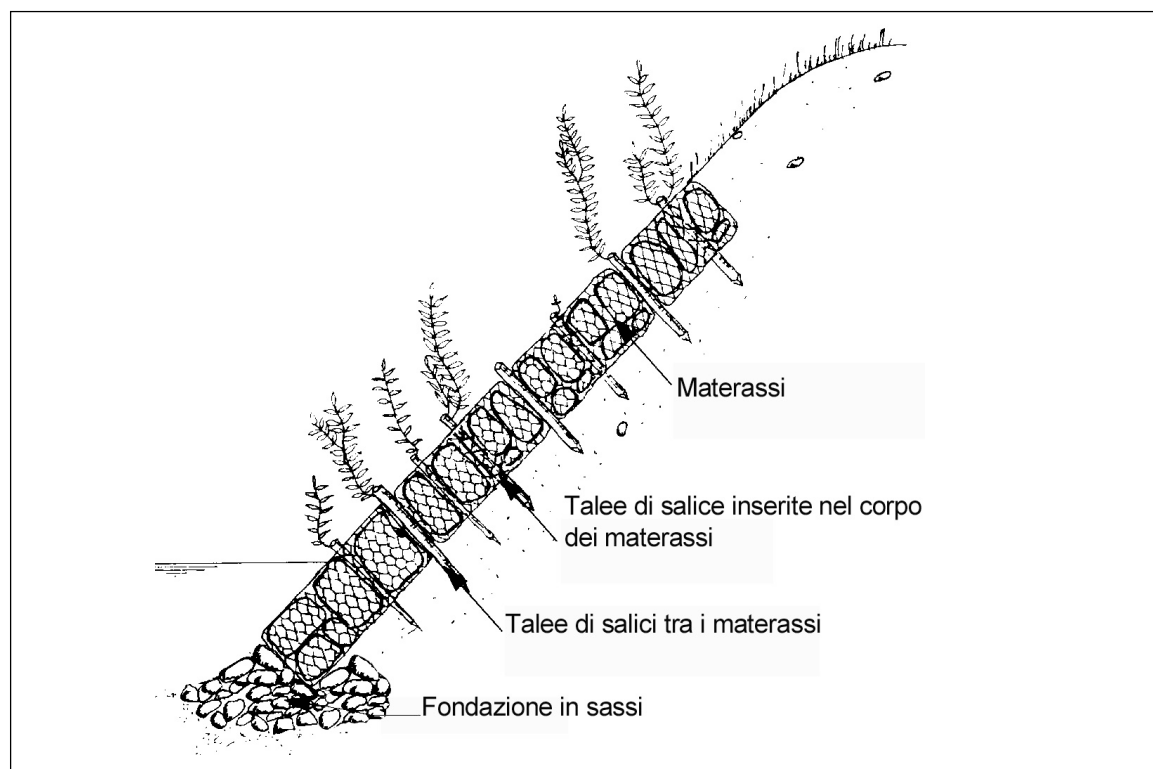
a) *spondale:* verrà adottata in condizioni di pressione idraulica significativa su sponde di fiumi e canali con pendenza massima 2/3, operando il rivestimento continuo o finestrato con moduli a diaframmi interni con interasse 1 m. In testa e al piede verrà effettuato un riempimento con pietrame;

b) *su scarpata:* prevede la collocazione su pendio, in genere in roccia, su pendenze massime di 45° - 50° anche di singoli materassi, in genere di minimo 0,2 m x 1 m x 2 m, fissati mediante barre metalliche di lunghezza e diametro atti a garantire l'aderenza e la stabilità del materasso stesso. L'impiego su scarpata è giustificato in condizioni di pendenza e substrato tali da non consentire altri interventi a verde. Il valore soglia di 45° ÷ 50° è condizionato dall'apporto di acque meteoriche che a valori superiori diventa insufficiente.

La messa a dimora di specie arbustive prevede il taglio di alcune maglie della rete nella parte superficiale.

Va accuratamente effettuata la selezione delle specie pioniere xeroresistenti autoctone e ove necessario (nelle regioni centro meridionali e in esposizione a sud) adottato un impianto di irrigazione di soccorso per i primi due cicli stagionali sino ad affrancamento avvenuto delle piante.

Fig. 14.60 - Materasso spondale in rete metallica rinverdito



**Campi di applicazione:** i rivestimenti con materassi vengono usati nell'ambito di opere idrauliche per realizzare difese in grado di contrastare l'azione erosiva della corrente al fondo e sulle sponde di corsi d'acqua.

**Fattibilità:** i rivestimenti in materassi presentano le seguenti caratteristiche:

- possono essere realizzati in qualsiasi tipo di ambiente, anche in presenza d'acqua, in quanto è possibile costruirli all'asciutto e con un pontone calarli in acqua;
- sono immediatamente attivi dal punto di vista della difesa e consentono alla vegetazione di svilupparsi e di raggiungere la propria efficienza senza rischi di erosione;
- sono compatibili con la vegetazione erbacea (si possono intasare e/o ricoprire di terra) ma possono anche ospitare piante in vaso, a radice nuda o talee di salice;
- sono drenanti e flessibili, quindi non danno luogo all'insorgere di sottopressioni e si adattano ad eventuali movimenti delle sponde o fenomeni di erosione dell'alveo;
- come ogni tipo di difesa idraulica è necessario verificarne la compatibilità con le condizioni idrauliche in termini di tensioni tangenziali ammissibili che, nel caso di questi materiali, varieranno in relazione allo spessore del rivestimento.

**Materiali impiegati:** i materassi hanno spessore variabile (17 cm ÷ 23 cm ÷ 30 cm), sono realizzati con rete metallica a doppia torsione zincata, con maglia esagonale tipo 6 x 8, con filo di diametro 2,2 mm zincato, rispondente alla norma

UNI 8018; nei casi in cui si richieda una durata elevata si adatterà un rivestimento in lega eutettica di zinco-alluminio. Le dimensioni dei singoli materassi andranno scelte opportunamente a seconda delle situazioni ed in base agli standard generalmente disponibili: 2 x 2,3 x 2 m, 4 x 2 m, 5 x 2 m, 6 x 2 m. I materassi arrivano in cantiere ripiegati, vengono aperti, assemblati e pinzati con anelli e riempiti di ciottoli.

Per realizzare il rivestimento sono necessari:

- il materasso;
- pietrame di riempimento di opportune dimensioni;
- filo zincato o punti metallici meccanizzati con rivestimento in lega eutettica di zinco-alluminio;
- terreno vegetale per l'intasamento;
- talee, o piantine per il consolidamento e rinverdimento;
- idrosemina per l'inerbimento;
- un eventuale geotessile filtrante.

**Modalità di esecuzione:** le fasi della realizzazione del rivestimento con materassi flessibili possono essere così schematizzate:

- posa del materasso ed assemblaggio;
- riempimento con pietrame e sistemazione a mano dei ciottoli e posa di talee o piante;
- intasamento e ricopertura con terreno;
- posa dei coperchi e chiusura dei materassi.

La posa dei materassi deve avvenire su scarpe inclinate di non più di 40° sull'orizzontale, per non avere difficoltà nella posa del pietrame; quando la pendenza supera i 40° ÷ 45° è opportuno fissare con picchetti o tondini di ferro acciaiato i materassi, per non correre il ri-

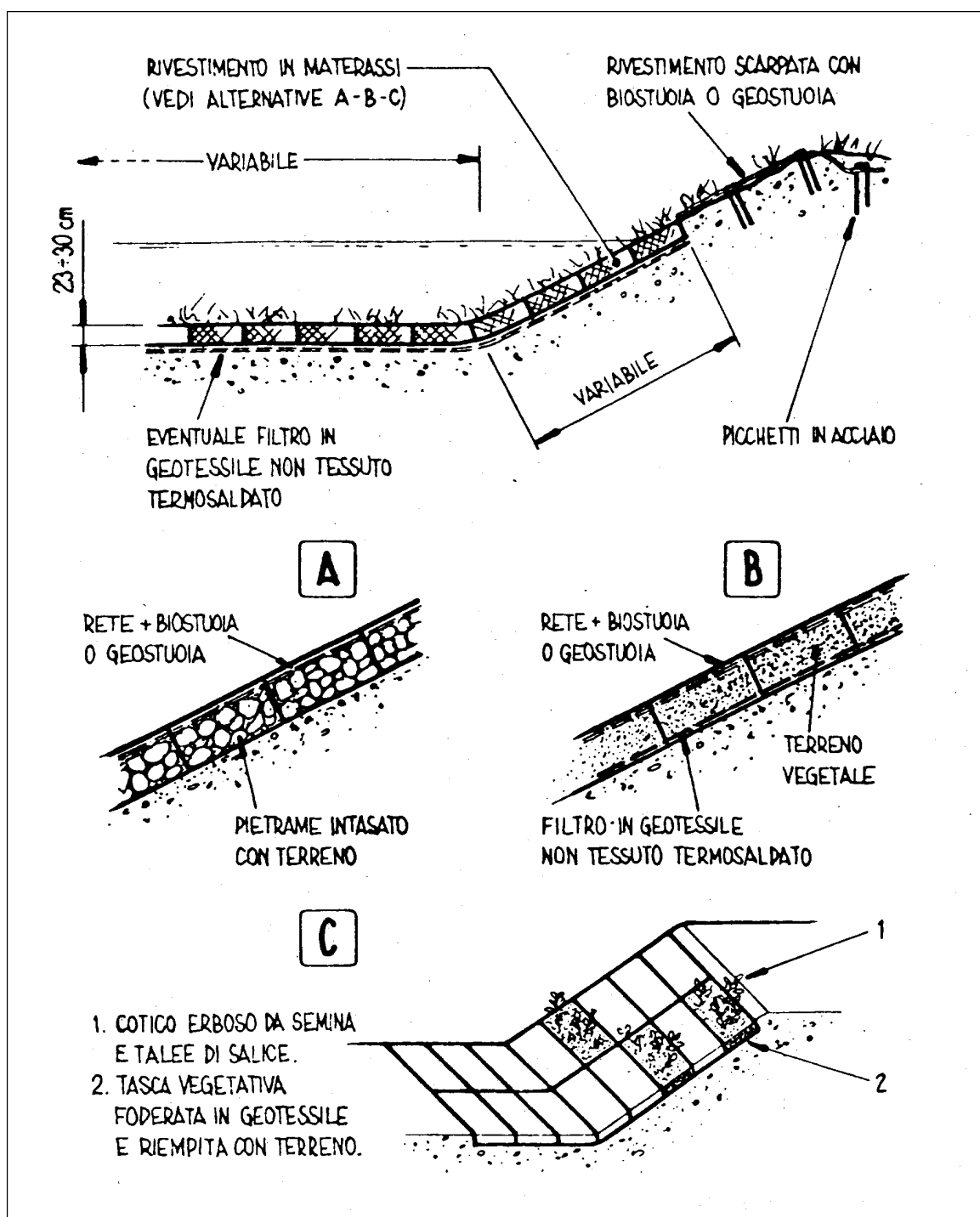
schio di slittamenti. I picchetti o i tondini andranno resi solidali con fune metallica avente diametro di  $16 \div 22$  mm e non sulle maglie, la cui resistenza va eventualmente calcolata. La cucitura dei materassi va effettuata per mezzo di filo metallico zincato, avente le stesse caratteristiche di quello costituente i materassi o con punti metallici meccanizzati messi in opera con una pistola pneumatica o manuale. Il riempimento andrà effettuato assestando con cura il pietrame che dovrà avere dimensioni tali da non passare attraverso le maglie, non dovrà essere né gelivo né

friabile. Le talee o le piante andranno poste in opera durante il riempimento avendo cura di inserire la pianta nel terreno sottostante il materasso. Eventuali tasche vegetative riempite di terreno andranno foderate e protette con una biostuoia antierosiva.

*Interventi collegati:* interventi di sistemazione idraulica.

*Periodo di intervento:* il periodo di esecuzione dipende principalmente dal tipo di materiale vivo che si intende usare. Nel caso in cui

Fig. 14.61 - Materasso spondale in rete metallica rinverdito



Tab. 14.41 - Materasso spondale in rete metallica rinverdito: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,5		
Operaio comune	Ora	0,5		
<i>b) Noli:</i>				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,15		
<i>c) Materiali:</i>				
Materasso	Kg	3,7		
Biofeltro	m <sup>2</sup>	2		
Punti metallici	cad	18		
Pietrame	m <sup>3</sup>	0,1		
Terreno vegetale	m <sup>3</sup>	0,3		
Talee	cad	3		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	54,23 ÷ 61,97
			£/m <sup>2</sup>	105.000 ÷ 120.000

si operi in un corso d'acqua con regime molto variabile stagionalmente, l'ideale sarebbe intervenire nei periodi di magra.

*Manutenzione e durata dell'opera:* se ben progettate e accuratamente realizzate, queste opere non necessitano di particolari manutenzioni e possono quindi mantenere la loro piena funzionalità per diverse decine di anni.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.41**.

#### 14.3.11 Terra rinforzata rivegetata

*Descrizione sintetica:* le terre rinforzate sono opere di sostegno a gravità che consentono il consolidamento di versanti o sponde instabili o la formazione di rilevati. Si tratta di opere che hanno il pregio di essere deformabili e sufficientemente permeabili, che sfruttano il principio del rinforzo orizzontale delle terre (ottenuto in vari modi abbinando i materiali di rinforzo con paramenti esterni tali da consentire la crescita della vegetazione (**figg. 14.62-14.69**).

*Descrizione da voce di capitolato:* formazione di opere sostegno in terra rinforzata abbinando materiali di rinforzo di varia natura con paramenti sul fronte esterno realizzati in modo da consentire la crescita delle piante.

Ciò si ottiene con varie tecnologie ma secondo le seguenti prescrizioni generali:

- pendenza massima del fronte esterno di 60° ÷ 70° per consentire alle piante di ricevere almeno in parte l'apporto delle acque meteoriche;
- presenza di uno strato di terreno vegetale verso l'esterno a contatto con il paramento;

- idrosemina con miscele adatte alle condizioni di intervento con quantità minima di seme di 60 g/m<sup>2</sup>, collanti, ammendanti, concimanti e fibre organiche (*mulch*) in quantità tali da garantire la crescita e l'autonomia del cotico erboso. A miglior garanzia di riuscita del cotico erboso le stuoie frontali dovranno, ove tecnicamente possibile, essere preseminate e preconcimate;
- messa a dimora di specie arbustive pioniere locali per talee o piante radicate in quantità minima di 1 ogni 5 m<sup>2</sup>, che svolgono nel tempo le seguenti funzioni: consolidamento mediante radicazione dello strato esterno della terra rinforzata; copertura verde della scarpata con effetto combinato di prato-pascolo arbustato che più si avvicina agli stadi vegetazionali delle scarpate naturali in condizioni analoghe; raccolta e invito delle acque meteoriche, sopperendo in tal modo all'eccessivo drenaggio dell'inerte e all'eccessiva verticalità;
- realizzazione di un sistema di drenaggio a tergo della struttura in terra rinforzata che non impedisca però la crescita delle radici.

L'impiego delle specie arbustive sulle terre rinforzate va considerato quindi una condizione indispensabile per dare autonomia naturalistica, stabilità superficiale e collaudabilità a questo tipo di interventi. Per le terre rinforzate a paramento vegetato valgono, e devono essere parte integrante della progettazione, i principi statici e costruttivi delle terre rinforzate con particolare riferimento a: verifica di stabilità interna in assenza di pressioni interstiziali, verifica di stabilità esterna (schiacciamento del terreno di fondazione, ribaltamento, scivolamento lungo il piano di base) e quella globale dell'insieme struttura terreno; dimensionamento



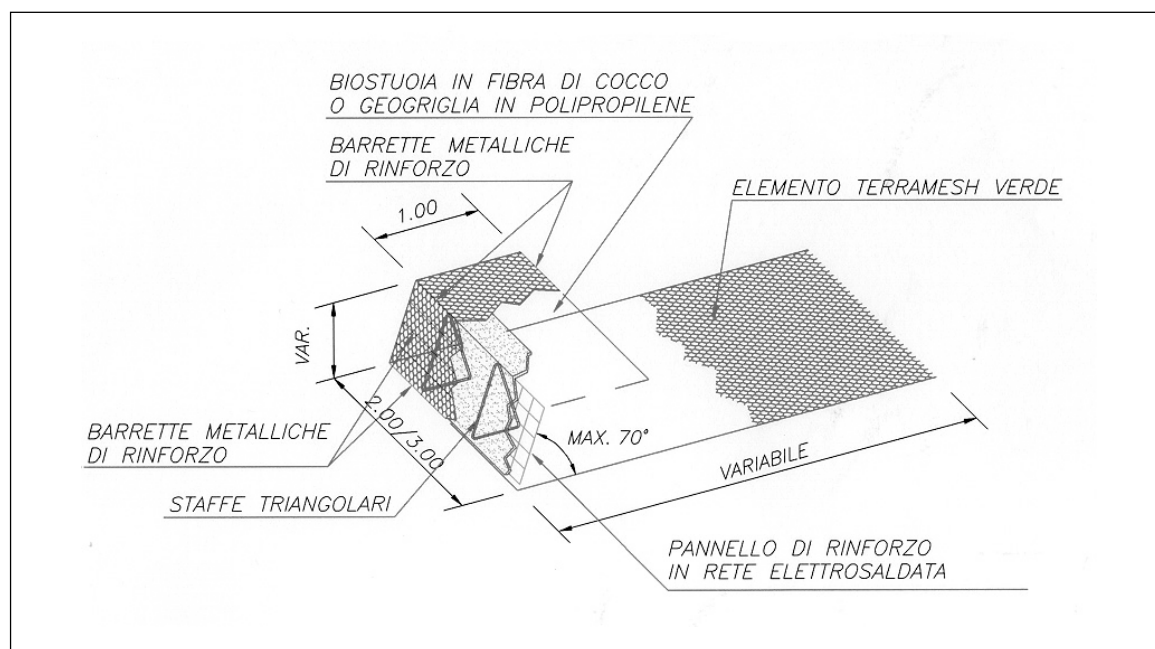
opportuno dei materiali di rinforzo in funzione della tensione ammissibile e di esercizio della struttura in relazione all'altezza e profondità della terra rinforzata, spessore degli strati, pendenza, caratteristiche del rilevato; selezione degli inerti in base alle loro caratteristiche geomeccaniche e di drenaggio; compattazione degli stessi a strati di spessore massimo 0,4 m mediante bagnatura e rullatura con rullo vibrante con raggiungimento del fattore di compattazione almeno pari al 95% dello standard Proctor.

- con geosintetici: per il rinforzo delle terre vengono utilizzati geosintetici costituiti da fibre di varia natura (poliestere, polietilene, polipropilene). Nella specifica del materiale di rinforzo da impiegare oltre alle caratteristiche fisiche quali resistenza a trazione (superiore a 20 KN/m) ed allungamento a rottura compatibile con le deformazioni della struttura rinforzata, dovrà essere indicato il valore di tensione ammissibile del materiale che tenga in considerazione la natura del polimero, la qualità delle fibre impiegate, il comportamento al creep del materiale, il danneggiamento meccanico, chimico ed ai raggi UV e la durata di esercizio dell'opera: tali caratteristiche dovranno essere documentate con certificazioni di qualità in conformità alla normativa vigente. In tal caso il geosintetico, oltre a fungere da rinforzo orizzontale, viene ripiegato a sacco a chiudere frontalmente il materiale di riempimento. Il contenimento durante la rullatura è garantito da casseri mobili, il cui posizionamento a scalare verso l'alto determinerà la pendenza finale del fronte. L'impiego di geosintetici a maglia aperta è migliorativo in funzione della crescita delle piante e del cotico erboso. Per problemi di

trattenimento dello strato di terreno vegetale fronte esterno vengono abbinati al geosintetico georeti tridimensionali sintetiche o biofeltri e biostuoie in fibra vegetale;

- con griglia metallica e geosintetici: l'armatura del rilevato è costituita da un geosintetico con resistenza a trazione non inferiore a 25 KN/m; sul fronte esterno viene posizionata una rete metallica elettrosaldata che funge da cassero con maglie differenziate di  $\varnothing$  da 6 mm a 9 mm; la rete metallica è rivestita da un geotessile composito per il trattenimento del terreno e base d'appoggio della vegetazione che dovrà consentire la trasparenza alla radicazione delle piante erbacee; lo spessore degli strati non potrà superare i 65 cm. Le specifiche del geosintetico di rinforzo devono presentare caratteristiche conformi al punto a);
- con griglia e armatura metallica: le armature vengono realizzate con lamine metalliche di lunghezza variabile, ad aderenza migliorata mediante rilievi trasversali in numero non inferiore a 24/m su entrambe le facce, in acciaio zincato a caldo di sezione minima di 5 x 45 mm vincolate a griglie frontali in rete metallica elettrosaldata inclinata di circa 63°, che funge da cassero, in acciaio zincato a caldo con maglia minima di 10x10 cm di diametri differenziati da 6 mm a 14 mm, rivestite all'interno da una biostuoia o da un biofello e/o da una geostuoia tridimensionale in materiale sintetico con elevate caratteristiche di resistenza agli agenti chimici e atmosferici.
- con pannello in calcestruzzo e armatura metallica: le armature sono come al punto precedente e sono collegate con un sistema di pannelli in cls formati da piastre inclinate e contrafforti d'appoggio verticali ad incastro.

Fig. 14.62 - Terra rinforzata rivegetata



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

Fig. 14.63 - Terra rinforzata rivegetata

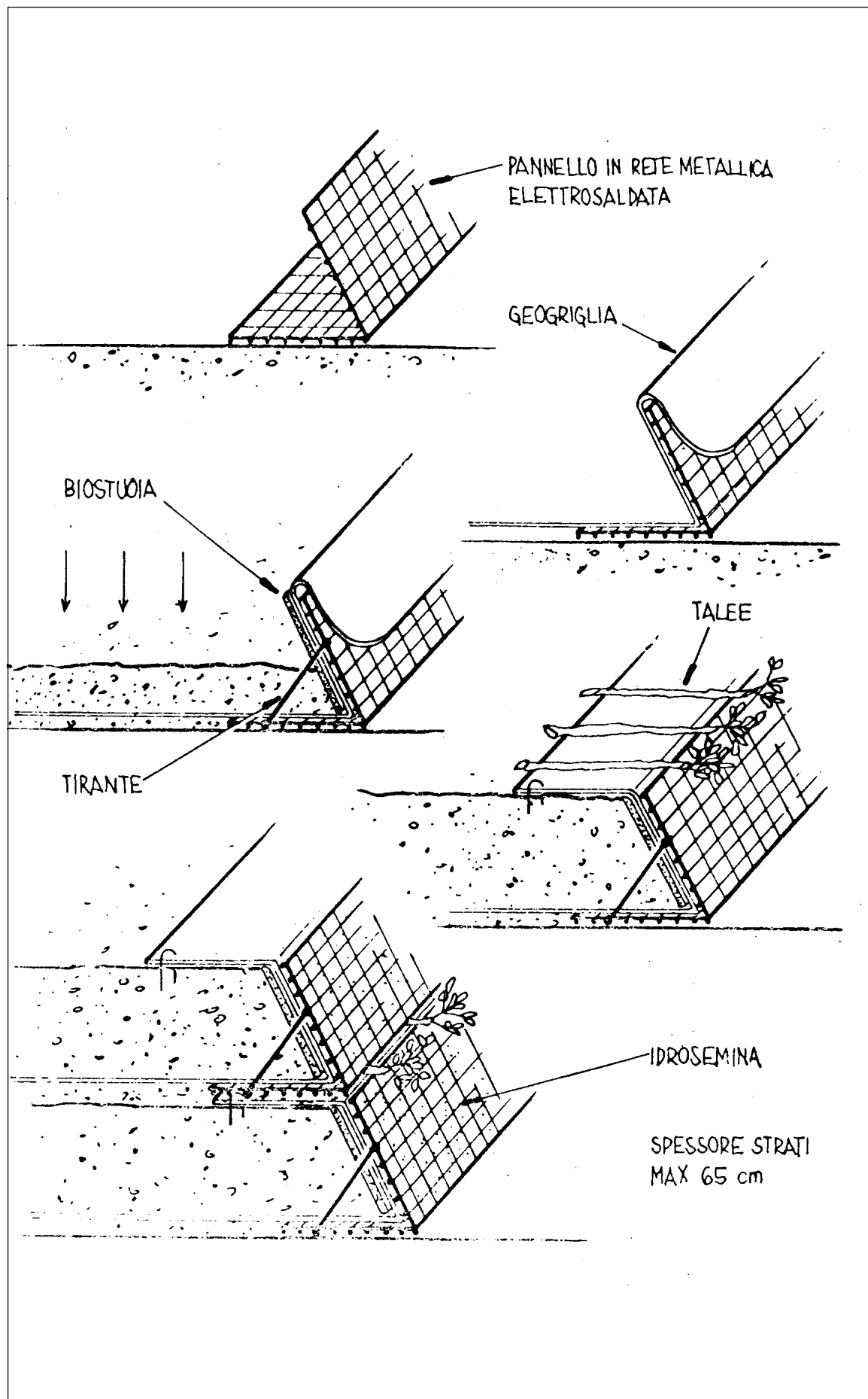


Fig. 14.64 - Terra rinforzata rivegetata

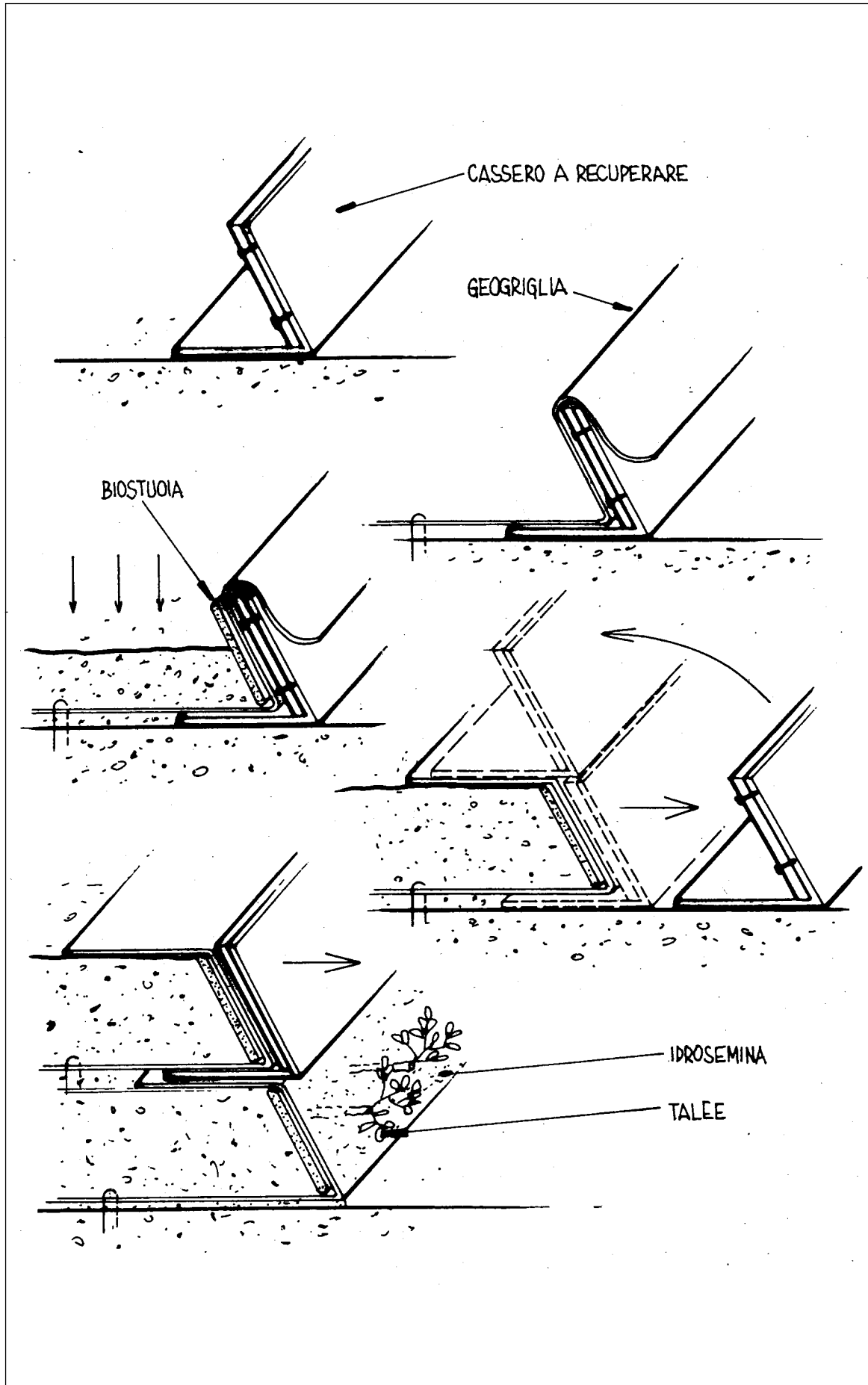


Fig. 14.65 - Terra rinforzata rivegetata

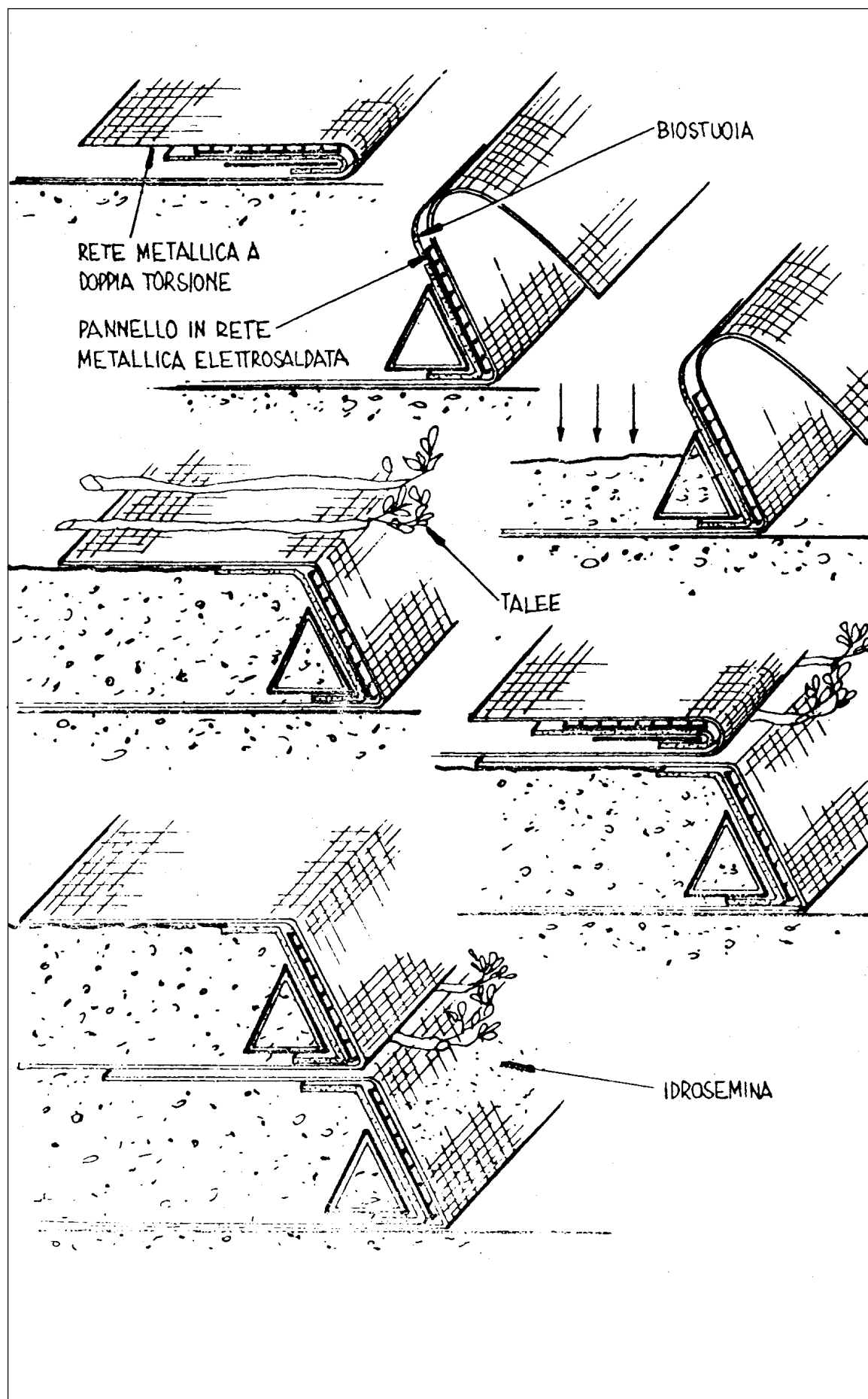
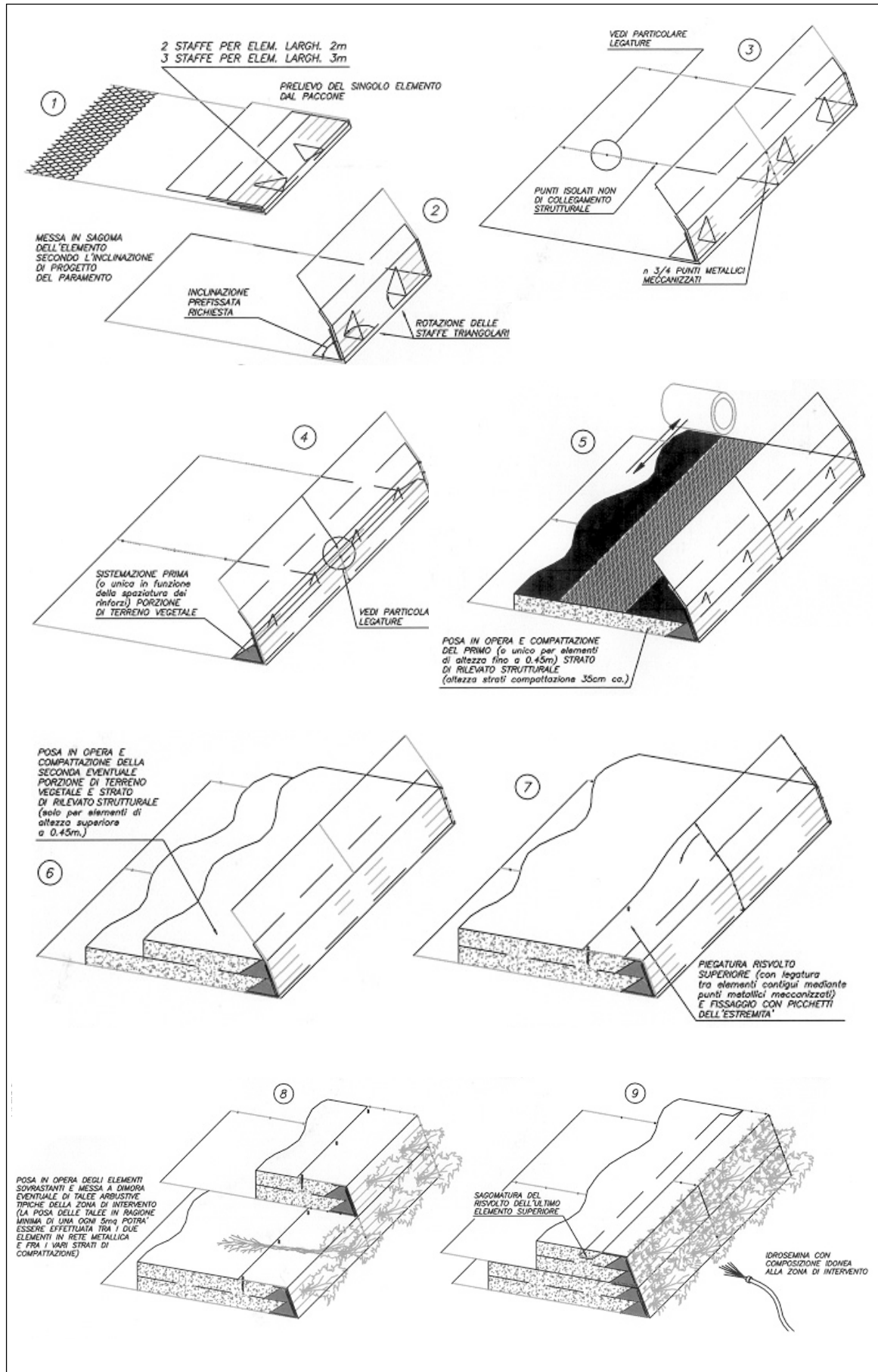
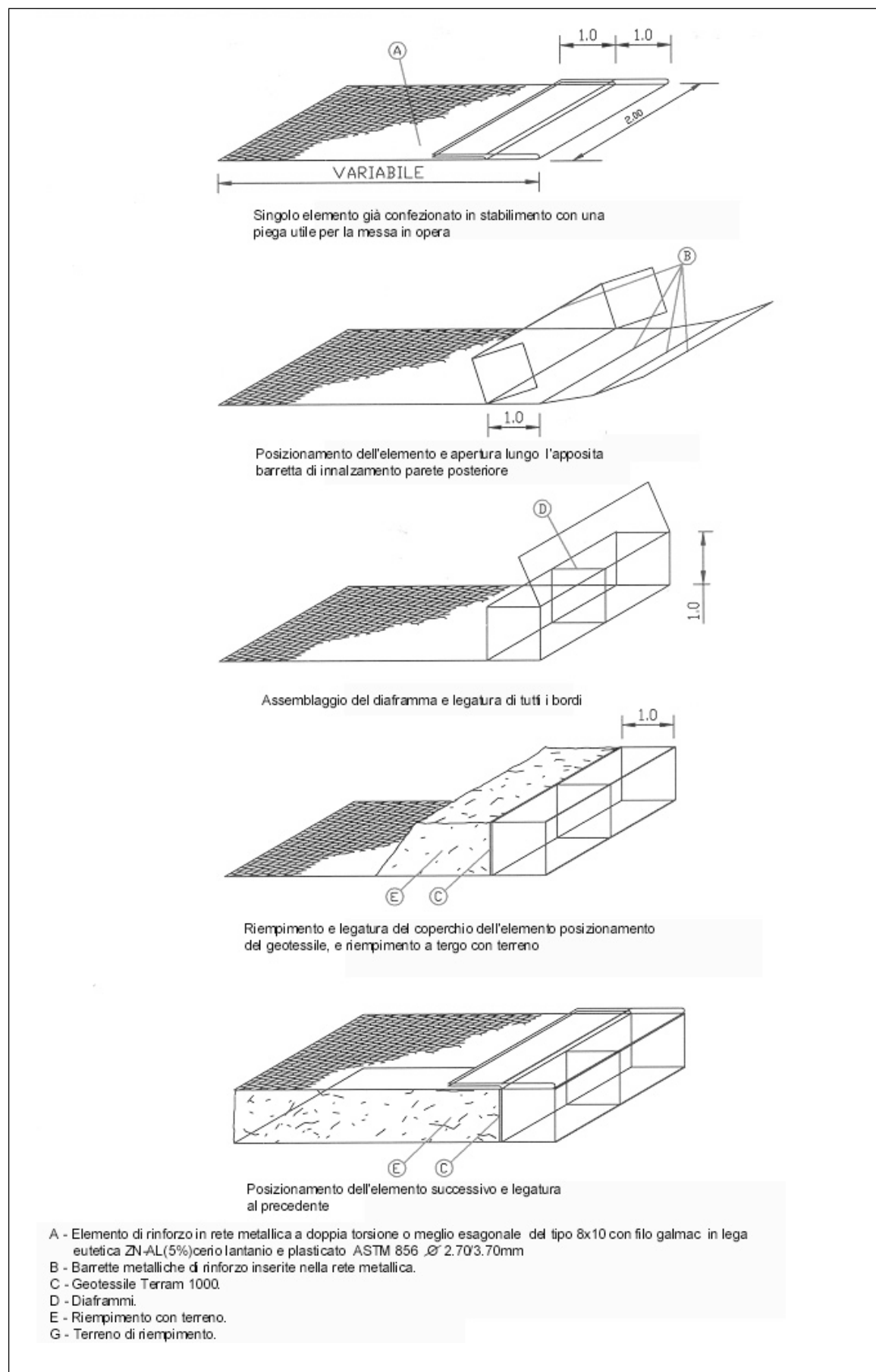


Fig. 14.66 - Terra rinforzata rivegetata



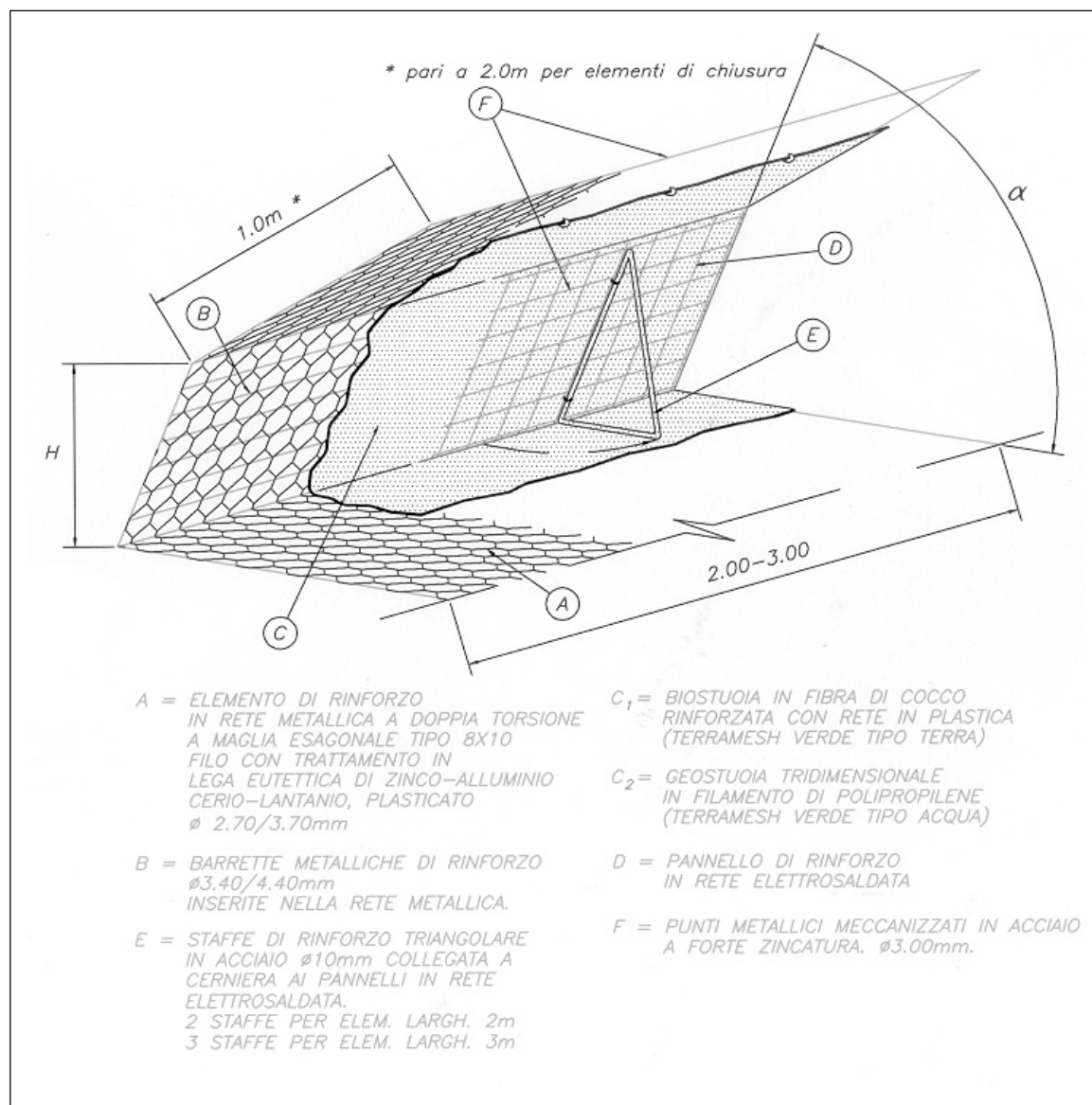
Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

Fig. 14.67 - Terra rinforzata rivegetata



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

Fig. 14.68 - Terra rinforzata rivegetata: particolare costruttivo



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

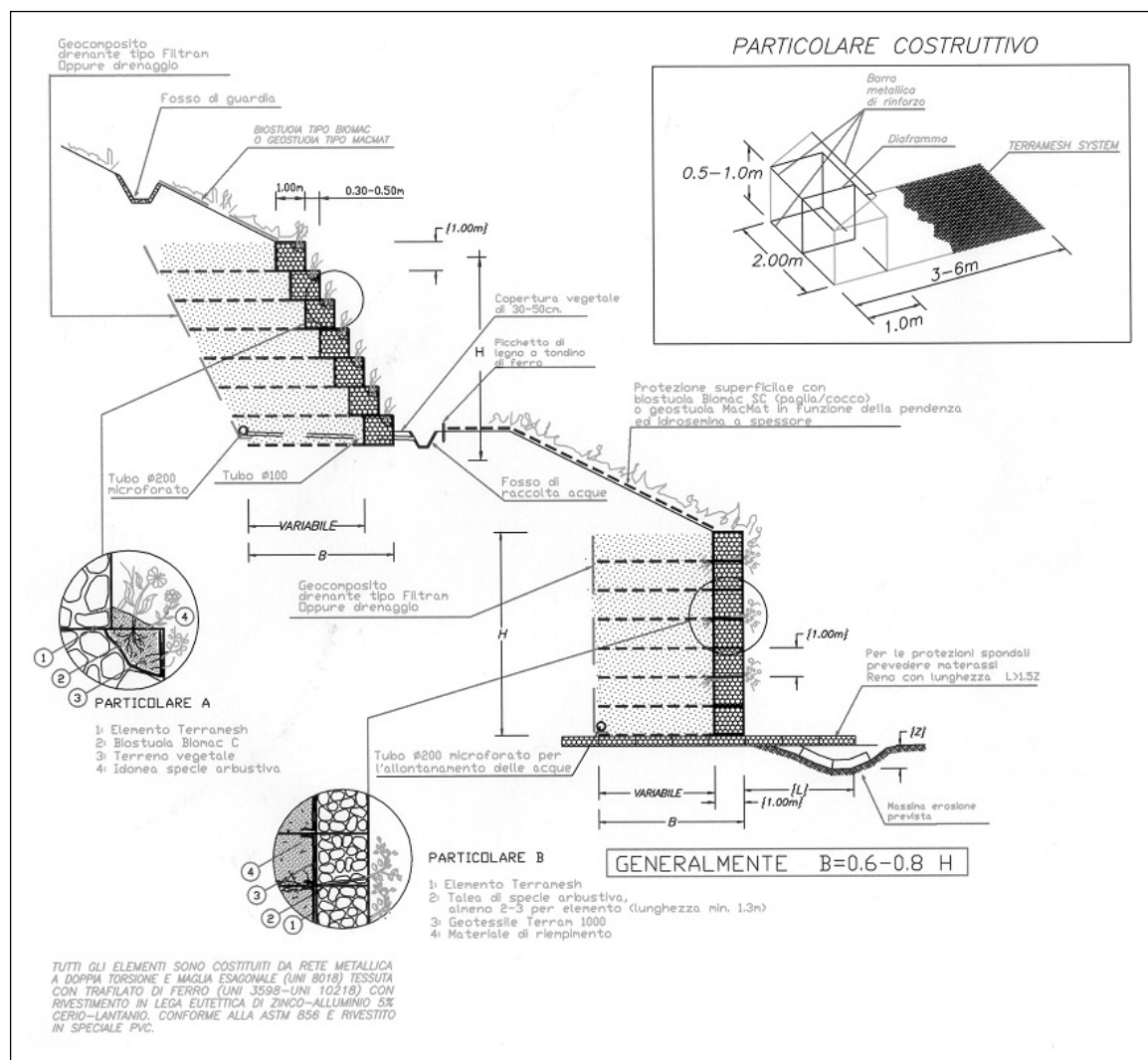
Le piastre sono inclinate di circa 70° rispetto all'orizzontale a formare, mediante la loro sovrapposizione a quinconce, dei contenitori che vengono riempiti di terra vegetale. Il metodo presenta rispetto ai muri cellulari i seguenti vantaggi:

- un'inclinazione complessiva massima del muro (circa 70°) e posizionamento ad invito dei pannelli tali da ricevere e convogliare l'acqua meteorica;
- un facile apporto dall'esterno di terra vegetale ad opera realizzata, che va a contatto con l'inerte costituente il rilevato in terra armata.
- con rete metallica a doppia torsione: il paramento esterno (max 70°) e l'armatura orizzontale sono realizzati con elementi in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale minima 8 x 10 cm, tessuta con trafilato di ferro di diametro minimo 2,7 mm zincato a caldo (UNI 8018), con rivestimento

in PVC o XLPE con resistenza agli UV, alte temperature ed agli altri agenti atmosferici certificati, di spessore minimo 0,4 - 0,5 mm e diametro complessivo del filo 3,7 mm circa avente resistenza nominale non inferiore a 40 kN/m; gli elementi sono di lunghezza variabile e costituiscono senza soluzione di continuità anche il paramento esterno verticale, a gradoni o inclinato, che è rinforzato da barrette metalliche inserite nella rete e da un ulteriore pannello in rete metallica a doppia torsione abbinato a un geosintetico o a un biostuoia-biofeltro che garantisce il trattenimento del materiale terroso e la crescita del cotico erboso e delle piante.

*Campi di applicazione:* le terre rinforzate, oltre ad essere impiegate per il consolidamento in caso di fenomeni di dilavamento e di franamento superficiale, possono essere utilizzate anche per la costruzione di terrapieni consoli-

Fig. 14.69 - Terra rinforzata rivegetata



Fonte: Maccaferri Spa, modificata da Palmeri, 2001.

dati e vegetati per rilevati stradali, autostradali e ferroviari, spalle di ponti, sponde per erigere rilevati paramassi con vallo a tergo, terrapieni a forte pendenza antirumore e antiesplorazione.

**Fattibilità:** la fattibilità è vincolata ad alcuni principi statici e costruttivi, quali la verifica geomeccanica del piano di fondazione, il dimensionamento dei materiali da impiegare in relazione all'altezza ed alla profondità dell'opera, pendenza e caratteristiche del rilevato, selezione granulometrica degli inerti in base alle loro caratteristiche geomeccaniche e di drenaggio, loro compattazione mediante bagnatura e rullatura con rullo vibrante. I rinforzi devono avere una durata pari o superiore alla vita dell'opera ed una resistenza tale da garantire la stabilità interna. Per consentire alla vegetazione di ricevere l'apporto delle acque meteoriche, la pendenza massima del fronte esterno non dovrà superare i  $60^\circ \div 70^\circ$  e la struttura dovrà presentare uno strato vegetale a contatto con il paramento esterno.

#### Materiali impiegati:

- terreno di riempimento (materiali inerti);
- terreno organico;
- armature in rete metallica zincata o elettrosaldata;
- georete, biostuoia;
- geosintetici antierosivi;
- talee, piantine a radice nuda e/o fitocella.

#### Modalità di esecuzione:

- formazione di uno scavo di fondazione e inserimento del primo elemento prefabbricato;
- l'elemento scatolare viene realizzato mediante risvolto frontale della rete metallica a doppia torsione solidale con l'elemento di rinforzo orizzontale; nella parte frontale la rete è rivestita da stuoia organica o sintetica;
- inserimento delle talee di salice nella maglia inferiore e passanti la struttura;
- riempimento con materiale inerte di diametro superiore a quello della maglia della rete, compattazione, per strati di circa 30 cm, del



Tab. 14.42 - Terra rinforzata rivegetata: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,3		
Operaio comune	Ora	0,3		
<i>b) Noli:</i>				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,2		
Autocarro				
Piastra vibrante	Ora	0,2		
Rullo compressore	Ora	0,005		
<i>c) Materiali:</i>				
Terra rinforzata	m <sup>2</sup>	1,28		
Punti metallici	cad	20		
Pietrame	m <sup>3</sup>	1,6		
Terreno vegetale	m <sup>3</sup>	0,6		
Verghe	cad	5		
Idrosemina	m <sup>2</sup>	1		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>191,09 ÷ 206,58</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>370.000 ÷ 400.000</b>

terreno per la formazione del rilevato strutturale. Il materiale di riempimento viene lavorato a strati successivi e ogni strato viene ben compattato con un mezzo meccanico e manualmente;

- l'inserimento di una stuoia a tergo del cassero in rete metallica garantisce il trattenimento del materiale più fino, pur con il mantenimento dell'effetto drenante della struttura. Per terre rinforzate spondali la biostuoia verrà sostituita con una stuoia sintetica tridimensionale;
- riempimento nella parte frontale con terreno vegetale;
- messa a dimora di arbusti radicati previo taglio di alcune maglie;
- i moduli superiori e laterali vengono assicurati tra loro con punti metallici adeguati;
- al termine della realizzazione della struttura viene eseguita una idrosemina, possibilmente arricchita in fibra vegetale (idrosemina a spessore).

*Descrizione di alcune tipologie più frequentemente impiegate:*

- *terra rinforzata con geosintetico e cassero a perdere in griglia metallica:* l'armatura utilizzata per la realizzazione del rilevato è costituita da un geosintetico (resistenza alla trazione uguale o superiore a 25 KN/m), posizionato alla base di ogni strato sovrapposto da una rete metallica elettrosaldata (0 = 6 ÷ 9 mm) con funzione di cassero a perdere. La rete metallica viene rivestita con una biostuoia che fungerà da supporto per l'idrosemina. Lo spessore degli strati non dovrà superare i 65 cm;

- *terra rinforzata con geosintetico e cassero mobile:* si utilizza un tessuto geosintetico (poliestere, polipropilene, ecc.) con alta resistenza alla trazione (tra 20 e 1.000 KN/m). Il geotessuto svolge la funzione di rinforzo orizzontale e, una volta ripiegato a sacco, anche di contenimento frontale dell'inerte al momento del recupero del cassero per la formazione dello strato successivo. Tra il geosintetico ed il terreno compattato viene posta sul paramento esterno una biostuoia che fungerà da supporto per l'idrosemina;
- *terra rinforzata con rete metallica a doppia torsione:* la cassetatura e l'armatura orizzontale sono realizzati con elementi in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale (tipo 8 x 10, come da norma UNI 8018). Il cassero è costituito da un elemento preconfezionato di lunghezza variabile che contiene una biostuoia e viene montato in cantiere. Una volta aperto sul piano di posa il pannello ed irrigidito con gli appositi tiranti, si procede al riporto del terreno ed alla sua compattazione. La biostuoia posizionata sul paramento esterno fungerà da supporto all'idrosemina.

*Prescrizioni:*

- per un miglior risultato la raccolta e l'inserimento di materiale vegetale vivo deve avvenire durante il periodo di riposo vegetativo.
- le talee devono al meglio avere una lunghezza tale da passare attraverso l'intera struttura e toccare il terreno retrostante, e comunque lunghezza non inferiori a 1,5 ÷ 2 m;
- per una buona riuscita della vegetazione le talee devono essere inserite in fase di costru-

zione e poste nella prima maglia inferiore di ogni modulo;

- nel caso di forzata messa a dimora a posteriori delle talee, esse devono comunque essere inserite nella stagione adatta successiva alla costruzione. L'inserimento dovrà avvenire rispettando il verso di crescita e per almeno 50 cm di profondità. La parte fuori terra dovrà essere potata a circa  $10 \div 15$  cm.

**Limiti di applicabilità:** per garantire l'attecchimento e la crescita delle piante e del cotico erboso, i fronti dovranno avere pendenze al massimo di  $60^\circ$ , per consentire l'apporto di acque meteoriche. Il solo cotico erboso deperisce nel tempo e non garantisce la funzione antierosiva del cuneo di terra vegetale, che tende a dilavarsi quando le stuoie perdono la loro funzione, risulta pertanto indispensabile l'inserimento di talee e arbusti radicati.

**Vantaggi:**

- i manufatti risultano avere un'elevata durata temporale;
- possibilità di ricostruire pendenze di versanti superiori agli angoli di riposo del materiale impiegato;
- la costruzione per moduli consente di ottenere illimitate forme, adattate alle condizioni locali del terreno.

**Svantaggi:**

- costi elevati;
- volumi di sbancamento notevoli;
- i materiali di rinforzo non sono biodegradabili;
- sono impiegate qualora vi sia un buon terreno di fondazione.

**Effetto:** struttura di sostegno elastica, molto adatta per sistemazioni spondali a forte pendenza in spazi limitati in zone urbanizzate.

**Periodo di intervento:** il materiale vivo dovrà essere inserito nel periodo di riposo vegetativo. La struttura delle terre rinforzate può essere realizzata in qualsiasi momento dell'anno anche se è raccomandabile l'inserimento delle talee e la piantagione di arbusti in fase di costruzione.

**Possibili errori:**

- scelta errata del periodo per la posa di materiale vegetale vivo;
- mancato inserimento di talee di salice;
- insufficiente portanza del terreno di base.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.42**.

### 14.3.12 Rampe a blocchi

**Descrizione sintetica:** consolidamento del fondo dell'alveo di un fiume in pietrame di grosse dimensioni in sostituzione delle briglie e dei tratti di salto. Tale struttura risulta più funzionale anche alla risalita dei pesci. Può essere re-

alizzata sia come *by-pass* laterale a una briglia, sia come fondazione alla base della briglia, sia lungo l'alveo del corso d'acqua (**figg. 14.70a-14.75**).

**Descrizione da voce di capitolato:** consolidamento di fondo di corso d'acqua in tratti di salto mediante pietrame o massi di diametro variabile a seconda dei parametri idraulici da 0,4 a 1 (2) m, disposto a rampa su  $1 \div 2$  file di massi fissati ulteriormente da file di piloti in acciaio o in legno di dimensioni tali da garantire la funzione di bloccaggio e la durata. La rampa è sostitutiva delle briglie e dei salti di fondo in calcestruzzo e garantisce gli spostamenti di risalita dei pesci e di altra fauna acquatica.

La rampa a blocchi può essere realizzata:

- lungo la sezione principale di deflusso e in tal caso verrà creato un allargamento consolidato con pietrame nel punto di inserzione tra la rampa e la sponda;
- quale *by-pass* laterale al corso principale in presenza di una preesistente briglia in calcestruzzo o altro sbarramento trasversale. In tal caso si collocano i massi al fine di creare diversi piccoli bacini a vari livelli in modo da consentire a tutta la fauna ittica di risalire l'ostacolo. La pendenza non dovrà superare il rapporto 1:10 e il dislivello tra due bacini contigui i  $20 \div 25$  cm. I massi principali vanno collocati in piedi e fissati con putrelle o tondini in acciaio (va evitato il calcestruzzo) le vasche vanno riempite di pietrisco e ghiaia di  $\varnothing 20 \div 30$  cm.

**Campi di applicazione:** alvei di corsi d'acqua a bassa pendenza e con fondo ghiaioso e sabbioso. Alla base o a lato di briglie.

**Materiali impiegati:**

- massi  $\varnothing 0,4 \div 1$  m;
- pali in legno  $\varnothing 25$  cm, L = 2,5 m;
- tondini in acciaio  $\varnothing 24$  mm di dimensioni tali da garantire il bloccaggio dei massi.

**Modalità di esecuzione:**

- posizionamento dei massi nell'alveo del corso d'acqua, profondamente interrati nel fondo. La collocazione dei massi dovrà avvenire a vari livelli per consentire alla fauna ittica di risalire l'ostacolo;
- nel posizionamento dei massi si dovrà seguire la pendenza naturale dell'alveo e il dislivello tra la base e l'apice non dovrà essere superiore a  $20 \div 25$  cm;
- nel caso di dislivelli eccessivi si provvederà alla realizzazione di una serie di rampe poste a una distanza di  $1,5 \div 2,5$  m l'una dall'altra;
- se necessario il pietrame viene consolidato con tondini in acciaio infissi nel fondo e posto su un letto di ghiaia per favorirne l'assestamento.

**Vantaggi:**

- consolidamento immediato del fondo alveo;
- rappresenta una via funzionale alla risalita del corso d'acqua da parte della fauna ittica;

Tab. 14.43 - Rampe a blocchi: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,00		
Operaio comune	Ora	0,5		
<i>b) Noli:</i>				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,4		
Autocarro	Ora	0,1		
<i>c) Materiali:</i>				
Pietrame	Kg	2.600		
Piloni	cad	1		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	74,89 ÷ 77,47
			£/m <sup>2</sup>	145.000 ÷ 150.000

Fig. 14.70a - Rampe a blocchi: pianta

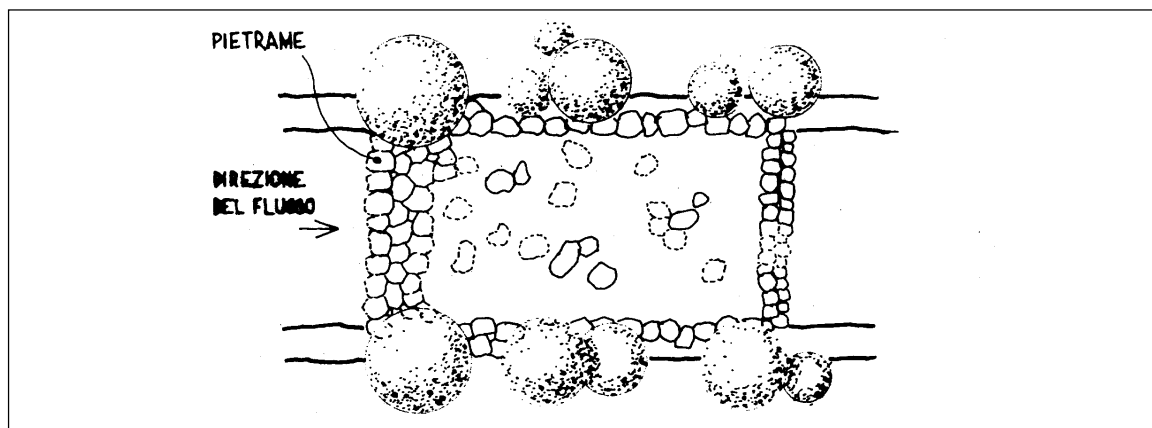


Fig. 14.70b - Rampe a blocchi: sezioni

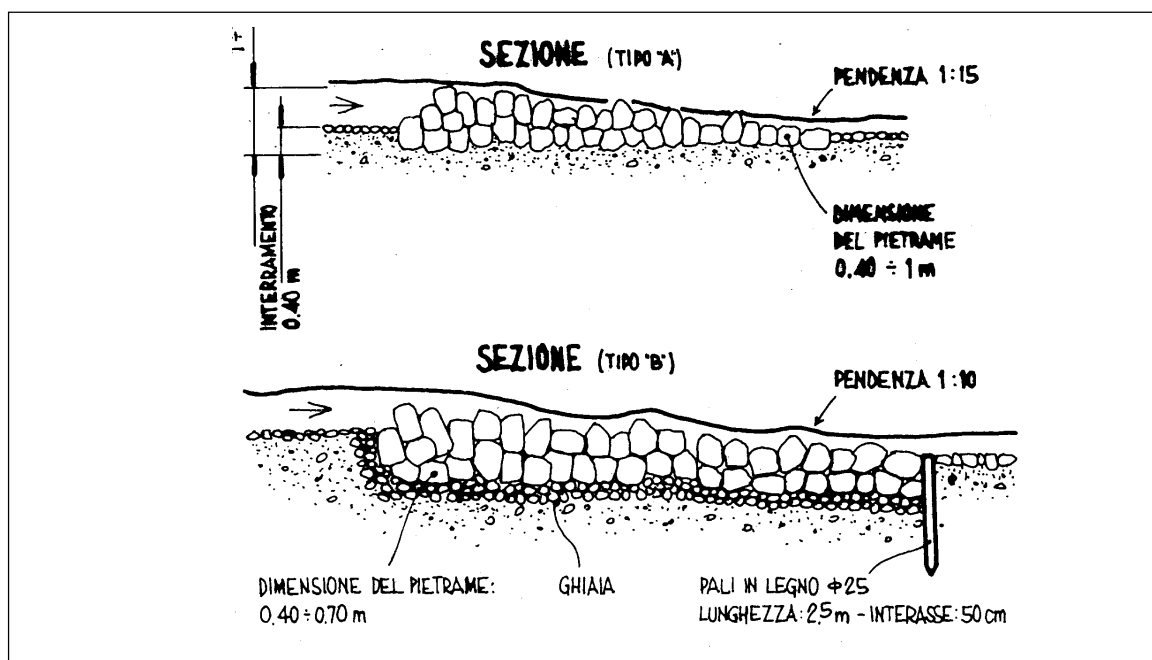
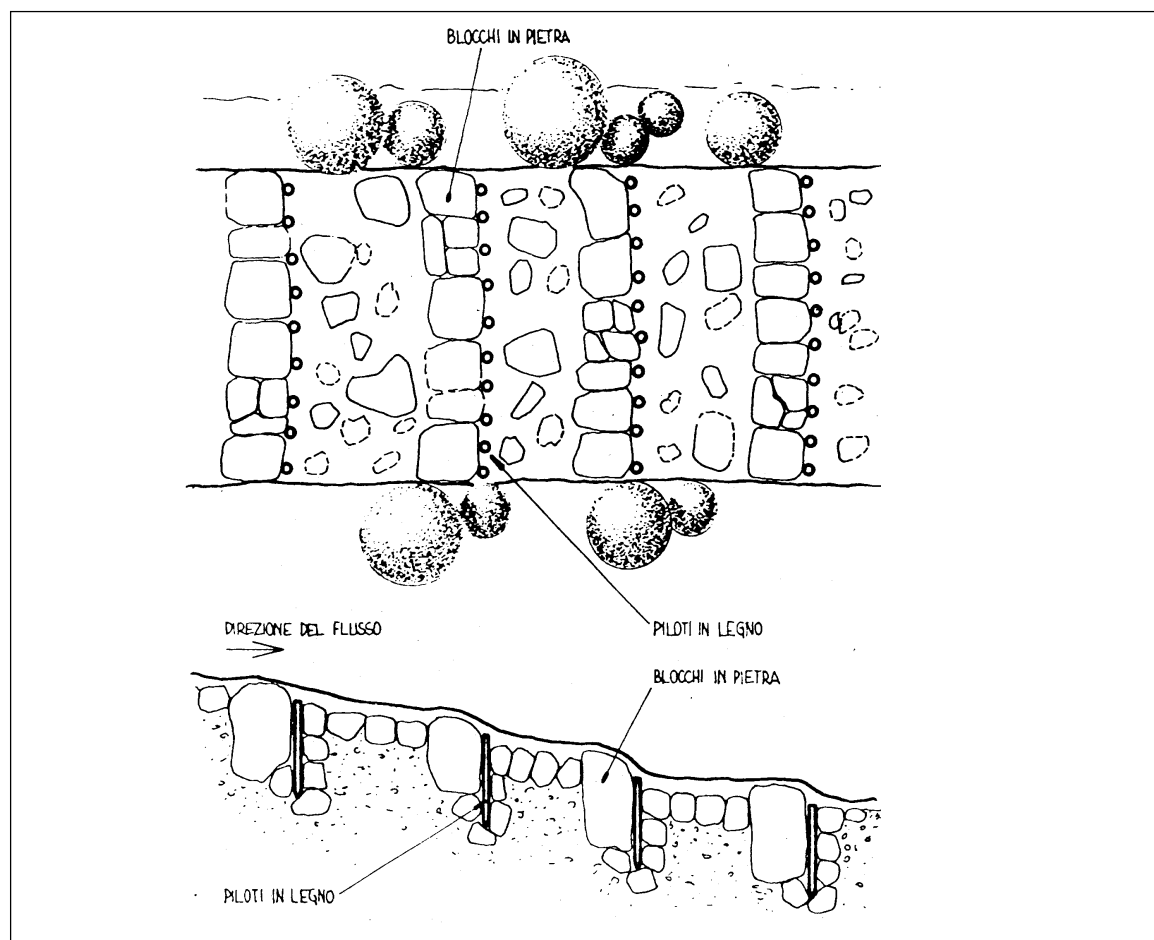


Fig. 14.71 - Rampe a blocchi: sezioni



- associa le esigenze di carattere ecologico a quelle di messa in sicurezza idraulica di un corso d'acqua.

#### *Svantaggi:*

- non possono avere pendenza >15% e non possono essere molto lunghe (limite di applicabilità);
- il pietrame utilizzato è di grandi dimensioni (fino ad un metro di diametro).

#### *Effetti:*

- eliminazione del salto della briglia (continuità biologica);
- funzione idraulica a volte migliorata.

*Periodo di intervento:* in qualsiasi periodo dell'anno escluso quello di riproduzione della fauna ittica.

*Manutenzione e durata dell'opera:* è un'opera in grado di autosostenersi e autopulirsi, ma in situazioni idrologiche particolari potrà essere necessaria una manutenzione al fine di ripulire la rampa dal materiale grossolano depositato e controllare la stabilità dei massi. Particolare attenzione dovrà essere posta al pietrame ubicato a monte e a valle, nonché a quello di raccordo con le sponde fluviali.

*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.43**.

*Scheda di approfondimento per le rampe:* nella **tabella 14.44** le rampe vengono ordinate secondo il punto di vista funzionale ed ecologico senza prendere in considerazione le condizioni stazionali, che possono limitare l'impiego delle singole tecniche (**figg. 14.79-14.84**).

#### 14.3.13 Briglia in legname e pietrame

*Funzioni:* consolidamento, regimazione e difesa idraulica in alveo.

*Descrizione:* la briglia viene costruita secondo gli schemi classici, ma si utilizzano legname e pietrame come materiali alternativi in sostituzione di briglie in gabbioni e in cls (**fig. 14.85**).

*Descrizione da voce di capitolato:* briglia viva in legname e pietrame di consolidamento, di modeste dimensioni trasversali, a struttura piena, realizzata mediante:

- incastellatura di legname a parete doppia (struttura a cassone o reticolare) in tondame scortecciato, unito da chiodi e graffe metalliche zincate. la soglia sarà realizzata da travi di diametro pari a 15 ÷ 20 cm, opportunamente incastrate nelle spalle, ancorate ai pali di

Fig. 14.72 - Rampe a blocchi

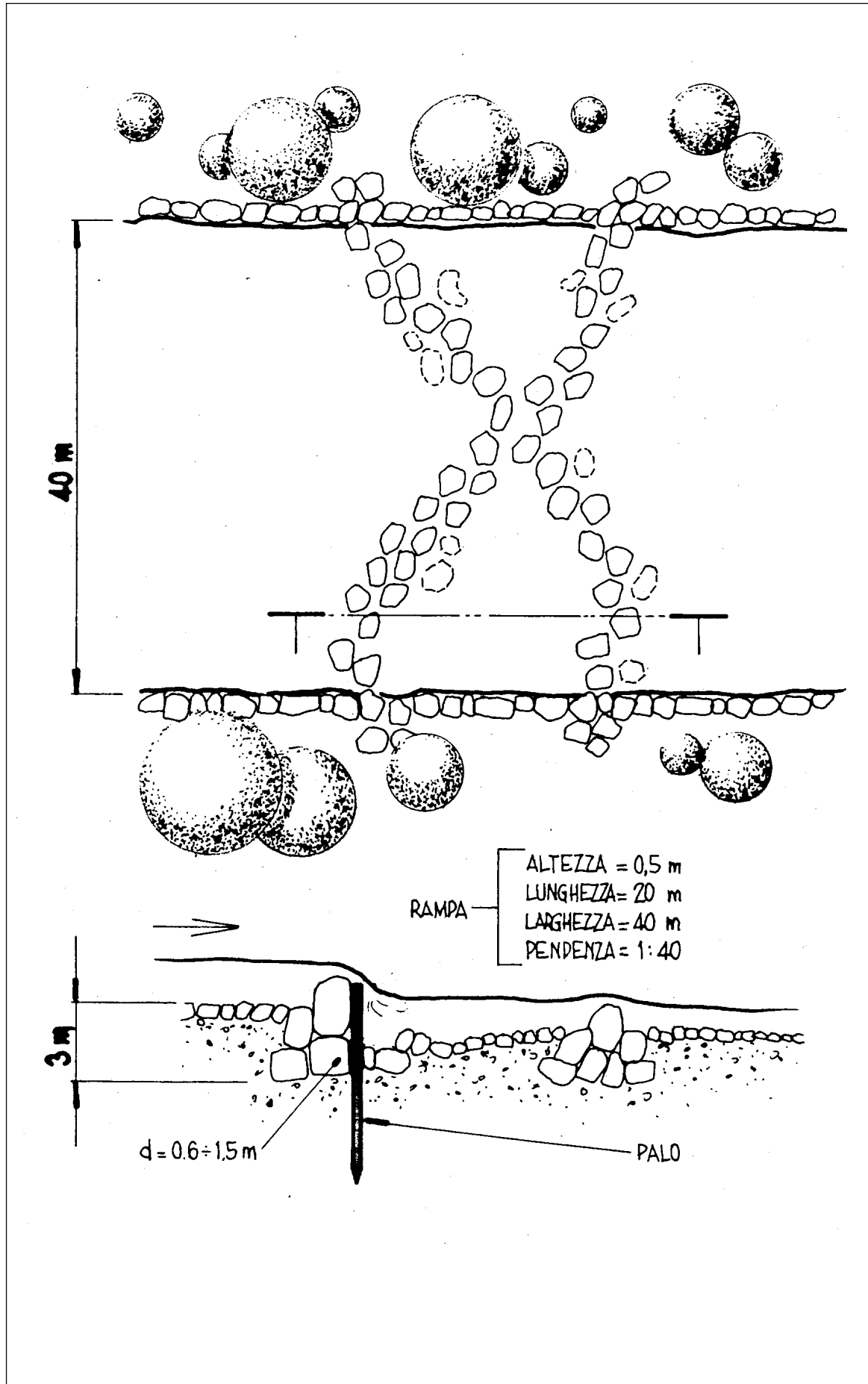


Fig. 14.73 - Rampe a blocchi

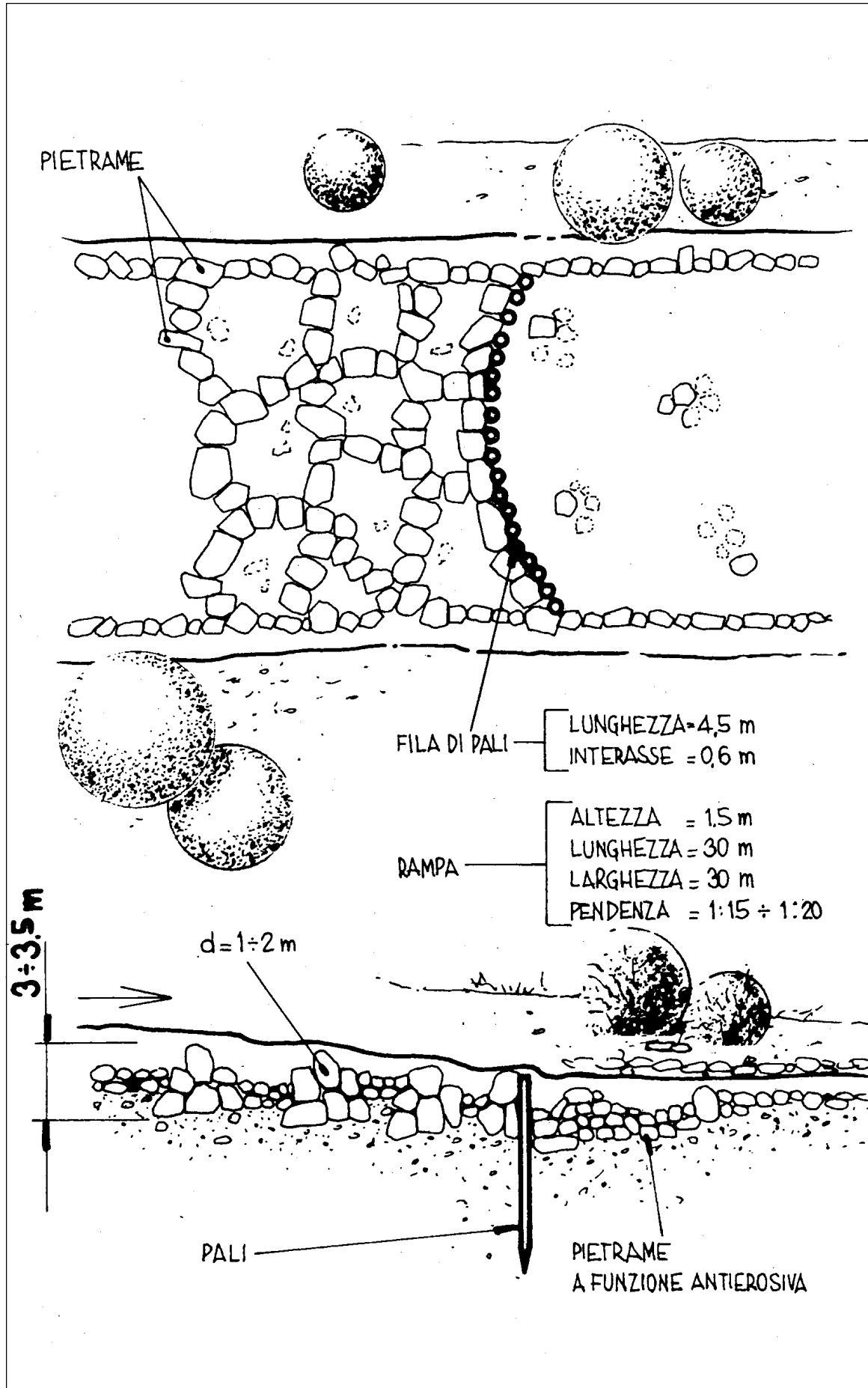


Fig. 14.74 - Rampe a blocchi

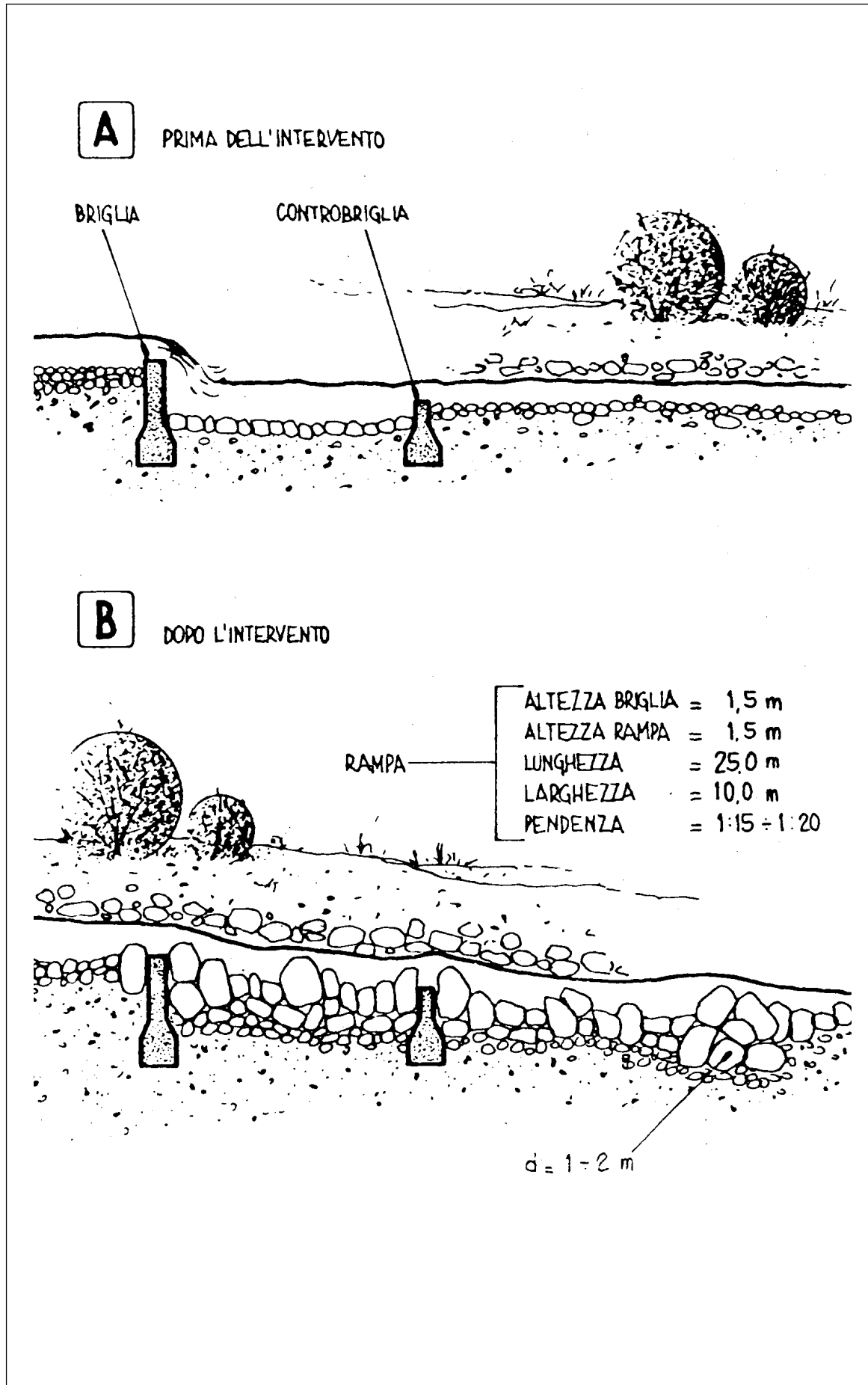
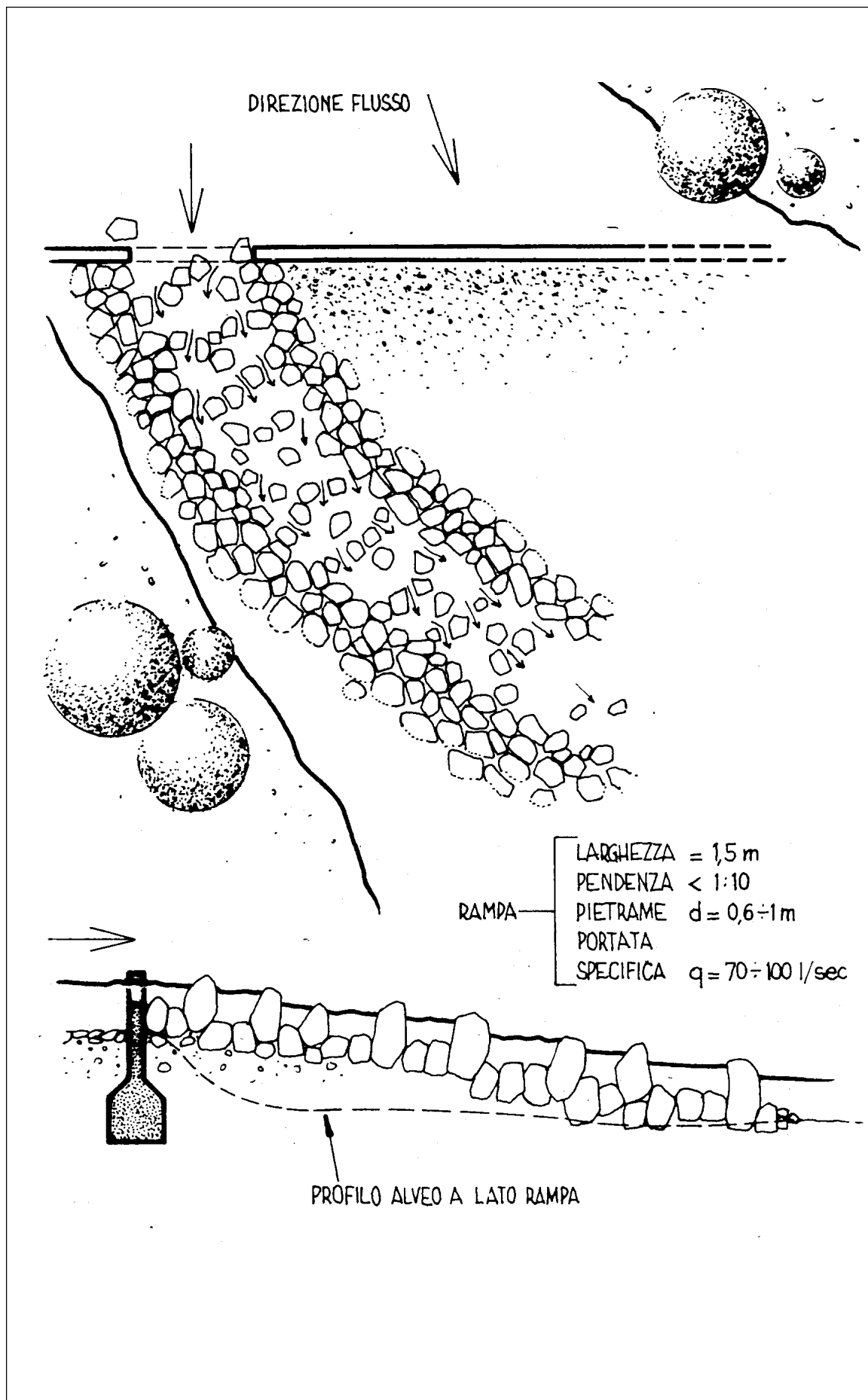


Fig. 14.75 - Rampe a blocchi



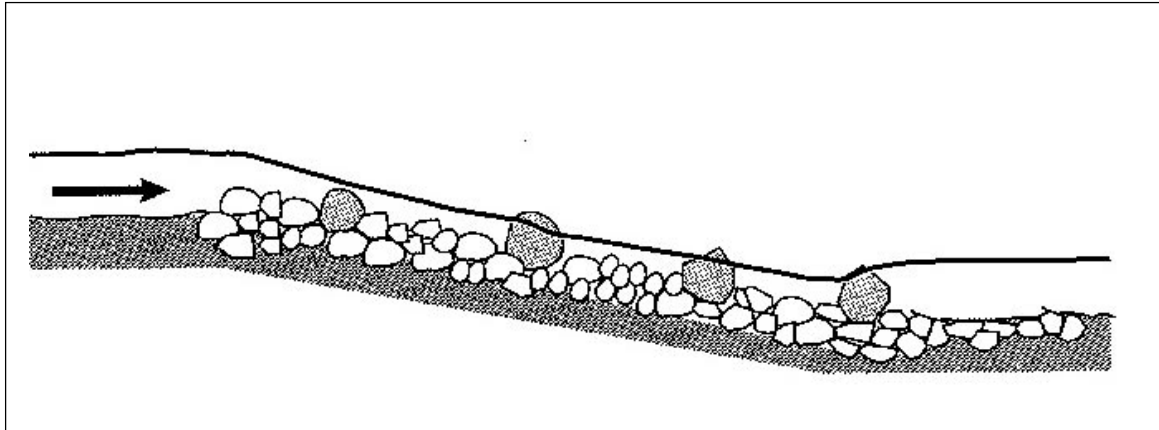


Tab. 14.44 - Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie naturaliformi

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Rampa in pietrame	Realizzate su tutta la larghezza del corso d'acqua con caratteristiche di forte scabrezza; sono da preferire tipologie a scarsa densità di massi o intasate di ghiaia	b = larghezza dell'alveo  Pendenza < 1:15 (nel caso di pendenze maggiori realizzare l'opera con pendenze minori almeno nelle zone marginali  h > 0,2 m  q <sub>min</sub> 100 l/sec/m  Realizzazione multistrati  Necessita armatura prima della buca dopo rampa finale	Nel caso di dismissione di prese d'acqua o di sbarramenti trasversali in genere, quando è possibile rinunciare alla regolazione del livello dell'acqua  Nel caso di dismissione di salti di fondo troppo pendenti  Come armatura del fondo (soglia di fondo) per il controllo dell'erosione	Pericolo di disseccamento del tratto d'alveo durante il periodo di magra (in questo caso potrebbe rendersi necessaria la fugatura dei massi con cemento)  Tipologia economica, buon inserimento paesaggistico, costruzione naturaliforme.  Necessità manutentive minime  Nessun problema di reperimento del materiale e non necessità di deviazione d'alveo durante la realizzazione	Superabile in entrambe le direzioni da parte di tutta l'idrofauna  L'effetto di rigurgito a monte e di "buca" a valle permette il ripristino di velocità di deflusso tipiche del corso d'acqua e dei rapporti tipici con il substrato di fondo (deposizione e granulometrie)
Corsi d'acqua con tratto diversivo	Aggiramento dell'opera trasversale di trattenimento con la realizzazione di un corso d'acqua naturaliforme parallelo al deflusso in zona limitrofa	B = 1,2 m  H > 0,2 m  I < 1:20  Lunghezza possibilmente fino alla radice dell'opera trasversale di trattenimento  q <sub>min</sub> 100 l/sec/m	Adatta al superamento di tutte le tipologie di sbarramento e di altezza delle stesse, se è disponibile lo spazio.  Adatta anche nel caso di miglioramento di opere esistenti ed in esercizio  Non adatta nel caso di obiettivi multipli e diversi di trattenimento delle acque; in questo caso necessita un'opera di convogliamento delle acque	Costi contenuti, ma richiede spazio  Possono richiedere forti incisioni nei versanti e quindi combinazioni con altre tipologie d'opera; spesso sono necessari ponti o passaggi	Superabile da tutta l'idrofauna, habitat per specie di rheofili  Unica tipologia che permette anche il completo aggiramento dell'opera e della zona di trattenuta dell'acqua  Buon inserimento paesaggistico
Rampe di risalita per pesci	Realizzata nell'opera già esistente con la costruzione di una rampa scabra ed a minore inclinazione  La rampa può essere realizzata con gettata di massi con presenza di massi di disturbo o con rampe di fondo per la riduzione delle velocità di deflusso	B > 2,0 m  H > 0,3 fino 0,4 m  I = 1:20 o minore  q <sub>min</sub> 100 l/sec/m	Adatte per piccole differenze di quota fino a circa 3,0 m da realizzare su briglie rigide (in calcestruzzo) esistenti  Nel caso di molte briglie come sostituto nella forma di rampa appunto  Non impiegabile nel caso di obiettivi di livello d'acqua diversificati	Tipologie a volte costose, forti esigenze di sicurezza idraulica locale  Pericolo di disseccamento nei periodi di magra (in questo caso è necessaria la fugatura dei massi con cemento)  Buone capacità autopulenti nel caso di piena  Buona capacità di deflusso e convogliamento	Superabile in entrambe le direzioni da parte di tutta l'idrofauna

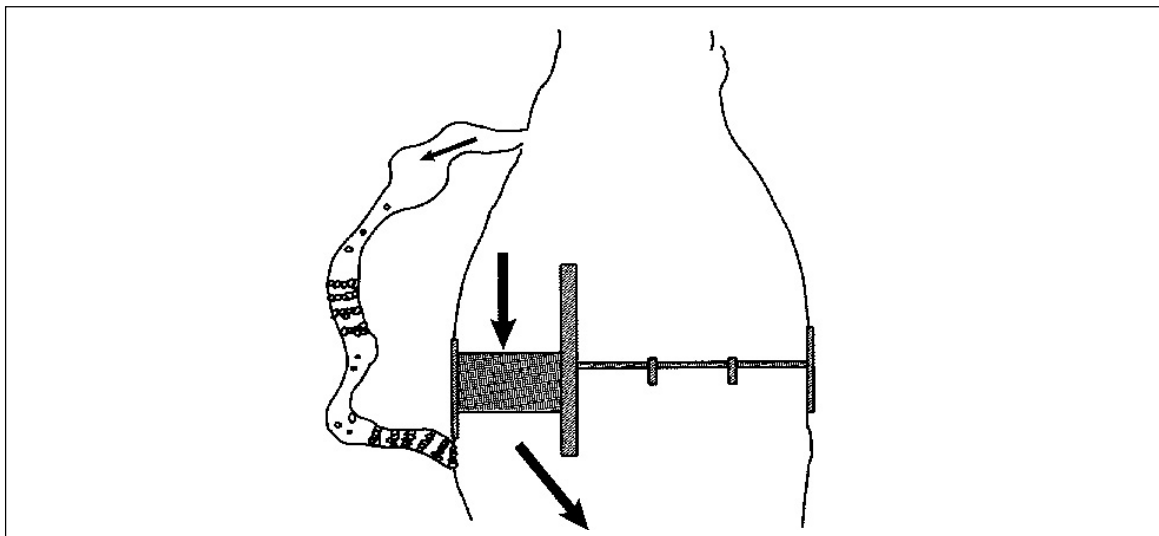
(\*) Le dimensioni indicate sono quelle minime.

**Fig. 14.76** - Tipologia 1: rampe in pietrame



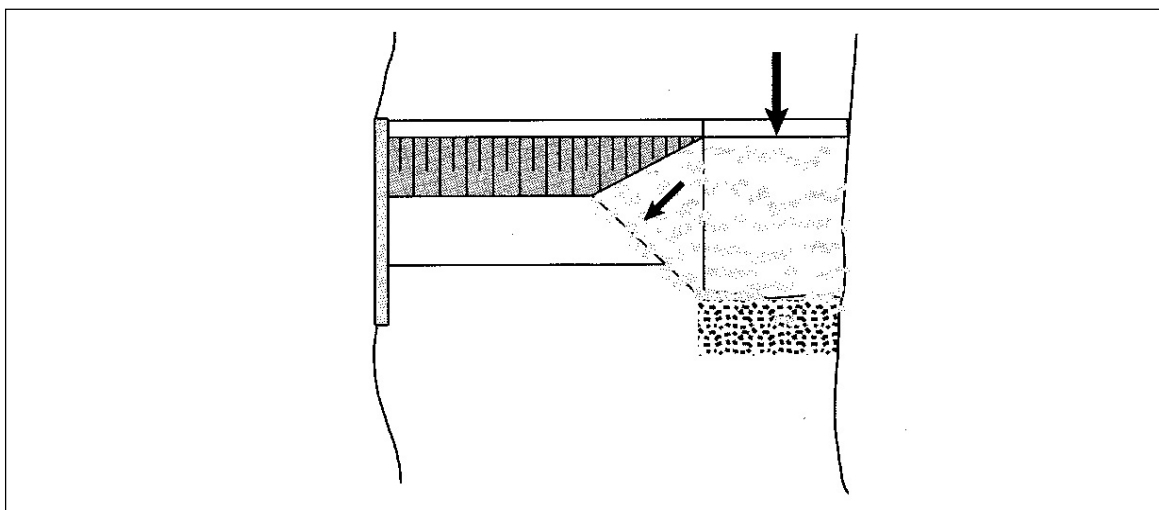
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.77** - Tipologia 2: corsi d'acqua con tratto diversivo



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.78** - Tipologia 3: rampe di risalita per i pesci



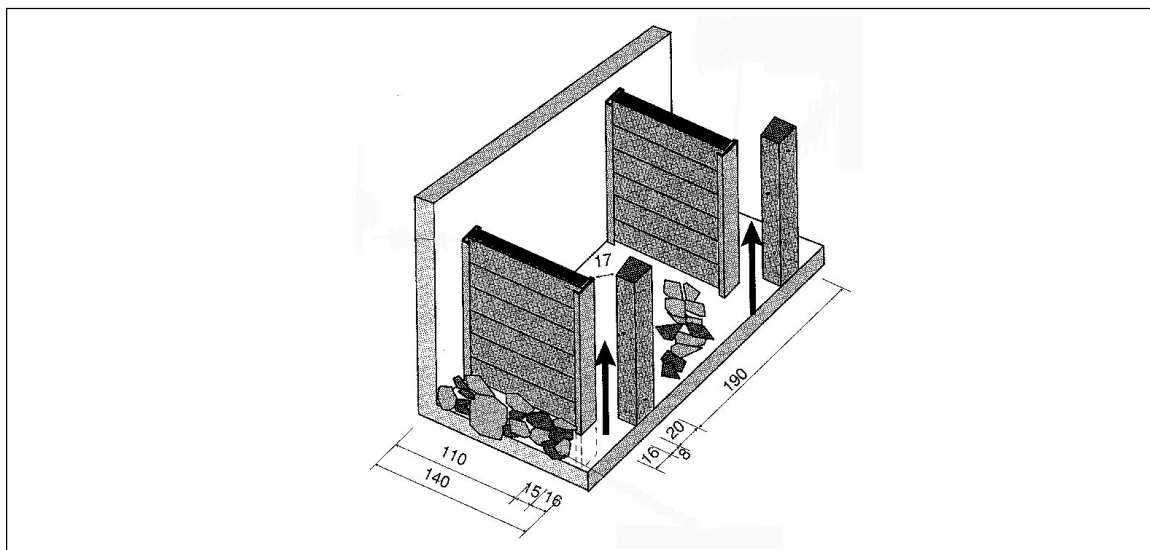
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Tab. 14.45 - Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie tecniche

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Scala di risalita con vasche con passaggi verticali	Sezione di deflusso in calcestruzzo con pareti divisorie (setti) di calcestruzzo o legno con uno o due tagli verticali su tutta l'altezza dei setti posti su uno dei lati alternativamente.	Sezione $l_b > 1,90$ m $b > 1,20$ m $h > 0,5$ m Grandezze delle fessure verticali: $s > 0,17$ m $Q = 140$ l/sec fino a diversi $m^3/sec$	Per piccoli e medi dislivelli; adatto anche nel caso di diversi livelli di portata come anche per piccoli fiumi o grandi corsi d'acqua.  Altezza minima del tirante d'acqua in condizioni di deflusso medio = 0,5 m	Deflussi relativamente alti e di conseguenza sono raggiungibili discreti flussi.  Grazie alla disposizione delle fessure a distanze ridotte si ottiene una maggiore garanzia d'efficacia rispetto ai convenzionali passaggi per pesci.	Allo stato delle conoscenze attuali tale tipologia risulta economica come tipologia tecnica, adatta per tutte le specie di pesci e nel caso di impianto di un sottofondo naturaliforme passante anche per invertebrati.
Scala di risalita a vasche con stramazzi	Sezione di deflusso in calcestruzzo con pareti divisorie (setti) di calcestruzzo o legno con fori e gavete di deflusso poste alternativamente sui due lati dei setti	Sezione: dimensioni dipendenti dalla regione idraulica di riferimento $l_b > 1,40$ m $b > 1,00$ m $h > 0,6$ m Fori: $b_g/h_s > 0,25/0,25$ m $Q = 80$ fino 500 l/sec	Per piccoli e medi dislivelli;  per vasche di ripopolamento e di itticoltura, per impianti idroelettrici	Deflusso contenuto; forti rischi a causa del trasporto di materiale fluitati galleggiante ed a causa del trasporto di limo	Per adeguate grandezze delle vasche e dei fori adatto per tutte le specie di pesci.  Nel caso di insufficiente deflusso pericolo di insufficiente flusso.
Scale di risalita con profili ad "U"	Sezione di deflusso in legno o calcestruzzo, con lamelle a forma di "U" disposte a 45° controcorrente di legno.	Sezione: $B = 0,6$ fino 0,9 m $H > 0,5$ m $l < 1:5$ $Q > 250$ l/sec Lunghezza della scala: 6-8 m Nel caso di dislivelli maggiori di 1,5-2 m è necessario inserire vasca di riposo	Adatta per piccoli dislivelli, in particolare per il risanamento di vecchie prese d'acqua per mulini e nel caso di scarse disponibilità di spazio per l'intervento.	Deflussi relativamente alti, non adatto nel caso di livelli idraulici oscillanti, scarsa necessità di spazio per l'intervento.  Costi contenuti.  Buona formazione di flusso.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per specie a basse prestazioni, per pesci di piccole dimensioni.  Agisce selettivamente.  Non utilizzabile e superabile per organismi del Benthon.

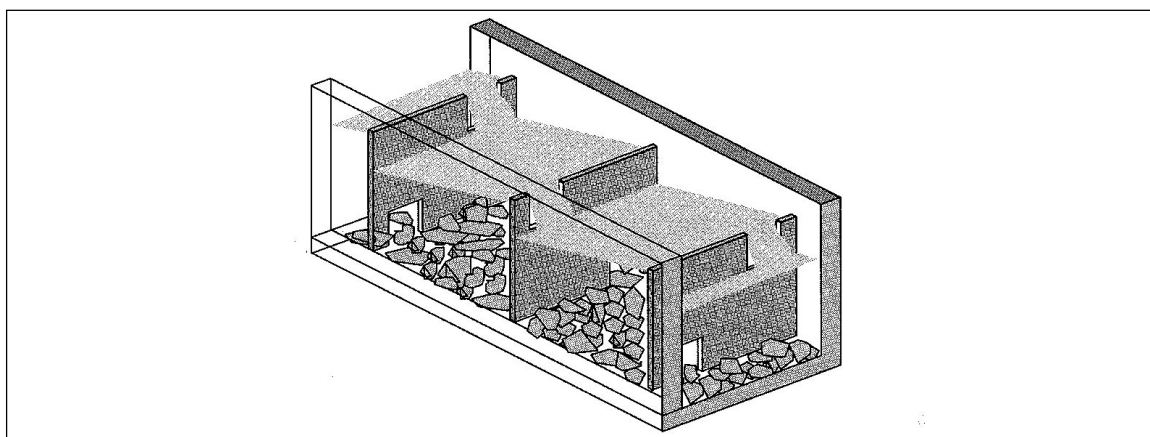
(\*) Le dimensioni indicate sono quelle minime.

**Fig. 14.79** - Tipologia 4: scala di risalita con vasche a passaggi verticali



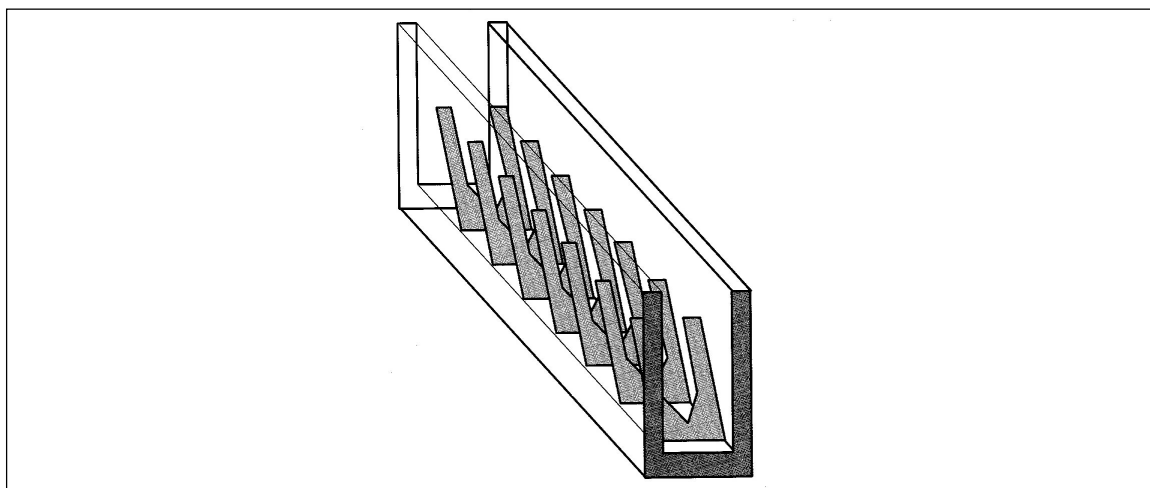
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.80** - Tipologia 5: scala di risalita a vasche con stramazzi



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.81** - Tipologia 5: scala di risalita con profili a "U"



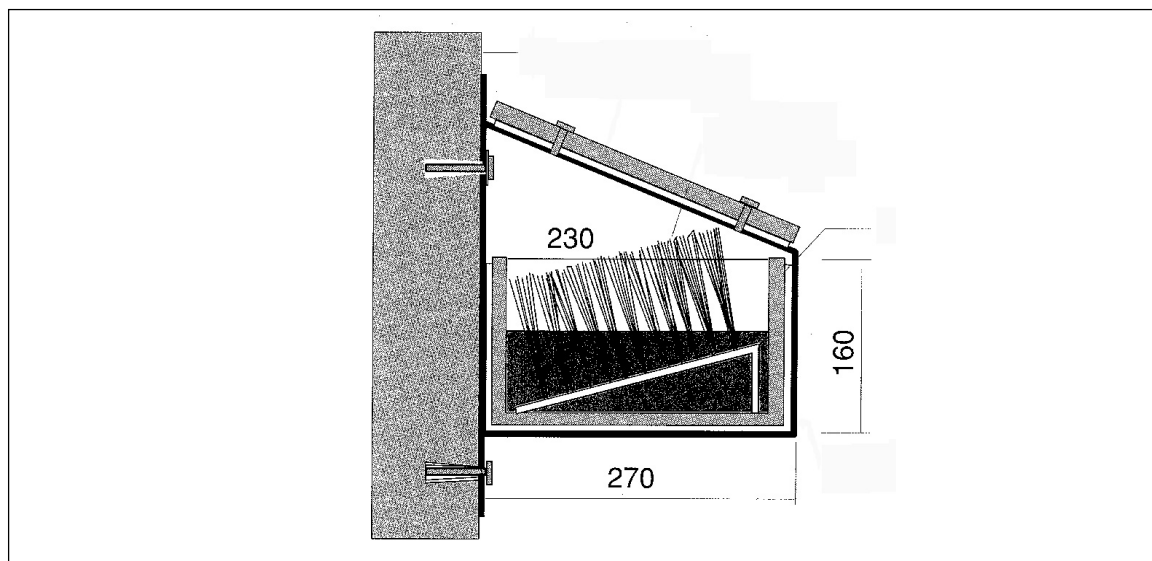
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

Tab. 14.46 - Scheda di approfondimento per le rampe: tipologie speciali

Tipologia	Principi base	Misure* e deflussi	Campo d'impiego	Vantaggi e svantaggi	Efficacia
Guida per i pesci	Piccole canalette con presenza di elementi verticali scopiformi.  Sottofondo in ghiaia che vengono permeati solo parzialmente.	Sezione B = 30 fino 50 cm  H = 15 fino 25 cm  Pendenza  circa 1:5 fino 1:10; possibili anche pendenze maggiori	Spesso impiegato come <i>by-pass</i> di bacino d'accumulo.	Costi di realizzazione contenuti.  Richiesta di spazio contenuta.  Deflussi minimi.	Adatta principalmente ad anguille.  I tubi non si sono mantenuti a causa degli intasamenti e della cattiva possibilità di manutenzione.  Come singolo elemento sono insufficienti per il mantenimento della continuità biotopica.
Chiuse per pesci	Camera a forma di pozzetto con chiusure laterali per i livelli di minima e massima.  Il flusso viene originato tramite pilotaggio delle chiuse o dei <i>by-pass</i>	Misure variabili  Larghezza minima delle camere e profondità minima analoga al passo del bacino.  Consumo d'acqua dipendente dalla grandezza delle camere, dal funzionamento della chiusa e dalla necessità di flusso.	Adatte per grandi dislivelli, per condizioni di scarso spazio e nel caso di ridotte disponibilità d'acqua.	Grande impiego di tecniche costruttive e di costruzioni.  Intensivi dal punto di vista della manutenzione e delle opere complementari di servizio.  Alti costi di costruzione e gestione.  Scarso consumo d'acqua.  Adatte nel caso siano presenti specie ittiche di grandi dimensioni.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per i salmonidi come anche per specie a basse prestazioni.  Meno adatte per specie di fondo e per specie di piccole dimensioni.
Ascensori per pesci	Vasca di trasporto con meccanismo di sollevamento meccanico per il sollevamento dei pesci dalla parte basale alla parte apicale.  Collegamento alla parte apicale tramite canale.  Il flusso viene originato tramite <i>by-pass</i>	Dimensioni variabili.  Dimensioni della vasca di trasporto da 2 a 4 m <sup>3</sup> .  Necessita di continuo deflusso tramite <i>by-pass</i> per originare un flusso.	Impiegabile nei casi come sopra e dove risulta essere l'unica possibilità d'inserimento di una scala di risalita per pesci.  Nel caso di quote maggiori di 10 m come nel caso di dighe di trattenuta.	Richiesta di spazio contenuta.  Grande impiego di tecniche costruttive e di costruzioni.  Intensivi dal punto di vista della manutenzione e delle opere complementari di servizio.  Alti costi di costruzione e gestione.	Allo stato attuale delle conoscenze adatto per i salmonidi come anche per specie a basse prestazioni.  Meno adatte per specie di fondo e per specie di piccole dimensioni.  Non adatte per macrozoobenthos e per discesa dei pesci.

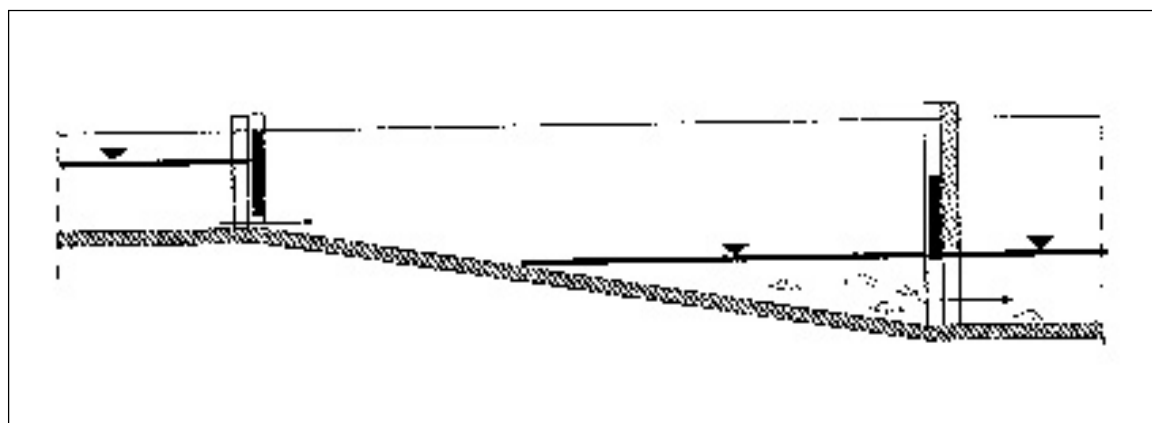
\* Le dimensioni indicate sono quelle minime.

**Fig. 14.82** - Tipologia 7: guida per i pesci



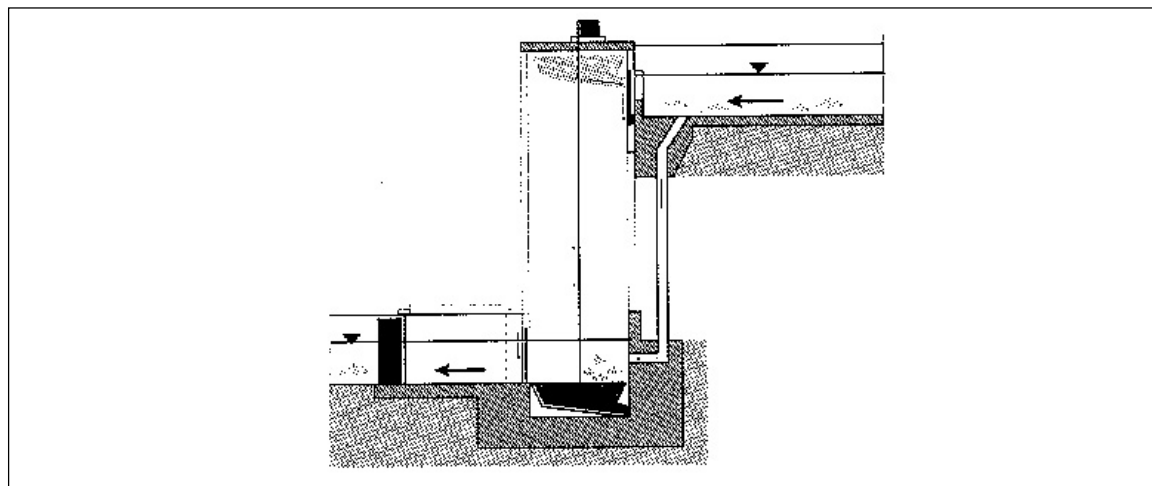
Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.83** - Tipologia 8: chiuse per i pesci



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

**Fig. 14.84** - Tipologia 9: ascensori per i pesci



Fonte: *Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. Merkblätter zur Wasserwirtschaft*, 232/1996, DVWK, Bonn.

sostegno mediante tacche di ancoraggio e chiodi di ferro o nastri d'acciaio zincati. Se necessario, la fondazione dovrà essere consolidata da pali. Il rivestimento della vasca tra il corpo briglia e la controbriglia verrà realizzato con pietrame reperito in loco;

- riempimento della briglia con materiale drenante di ciottoli o ghiaia e terreno drenante costipabile, o pareggiato con dei sassi;
- eventuale posizionamento a tergo di geotessile per evitare sifonamenti;
- completamento della soglia durante il riempimento con deposizione fra i correnti di rami lunghi  $1,50 \div 2$  m, con capacità di propagazione vegetativa, e/o con talee di salice ( $1 \div 5$  pezzi/m), e/o con piante di latifoglie radicate. Per briglie di piccole dimensioni, si può alternare alle travi di legno vimate o fascinate vive, ben fissate al terreno di fondazione e ai pali di sostegno mediante picchetti di legno e legature metalliche.

#### *Effetti:*

- riduzione della pendenza di fondo;
- diminuzione della velocità della corrente;
- rallentamento dell'erosione del fondo.

*Campi di applicazione:* corsi d'acqua con deflusso minimo costante, per evitare cicli di disseccamento/imbibizione del legname ed aumentarne quindi la durabilità, caratterizzati da erosione di fondo e laterale con trasporto solido non eccessivo a livello di quantità e di dimensioni del materiale lapideo. Soprattutto in aree prive di viabilità ma con disponibilità di legname e pietrame.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano- altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);

Le dimensioni delle briglie in legname e pietrame devono mantenersi limitate (altezza massima della gaveta  $2,5 \div 3$  m) e sono da evitare in presenza di eventuali distacchi e/o rotolamenti di massi che ne danneggerebbero la struttura in legno.

Questo tipo di intervento non è consigliabile nel caso di corsi d'acqua difficilmente accessibili ai mezzi ed ubicati in aree nelle quali vi è la difficoltà a reperire legname di elevata durabilità (castagno, larice) e/o corsi d'acqua caratterizzati da trasporto solido di materiale di elevate dimensioni.

La briglia deve essere calcolata come manufatto a gravità, tenendo presente che il volume occupato dal legname sia pari a circa il  $15 \div 20$  % del volume totale.

Normalmente, per il dimensionamento, vengo-

no impiegati criteri empirici che fissano il rapporto tra spessore di base ed altezza dell'opera. La regola che stabilisce una misura di base pari a metà dell'altezza della briglia, nel caso in cui il manufatto risulti quasi completamente sommerso e l'ammorsatura laterale venga a mancare per effetto dell'erosione, non consente di ottenere stabilità al ribaltamento ed allo scivolamento. Appare pertanto più corretto ricorrere al criterio che assegna uno spessore di base pari al valore dell'altezza di progetto delle strutture; il rapporto spessore di base/altezza pari a 1 garantisce stabilità per gravità in molte situazioni critiche, anche in assenza, dunque, dell'apporto stabilizzante dell'ammorsatura.

Per ciò che riguarda le opere non drenanti, è bene prendere in esame anche l'eventuale necessità di mettere in opera tubi drenanti per ridurre la pressione idrostatica; al fine di aumentare efficacemente sia la stabilità al ribaltamento sia quella allo scivolamento potranno essere infissi nel terreno pali verticali attraversanti il corpo della briglia oppure piloti di ferro ancorati alla roccia, collegati alla struttura mediante cavi di acciaio serrati da morsetti. Se il terreno in cui è inciso l'alveo risulta poco stabile, occorre valutare, in fase di progetto, anche la possibilità che l'opera possa compiere dei movimenti verso il basso rispetto al terreno che ad essa applica la spinta. Questo fatto comporta effetti rilevanti sulla stabilità, dato che aumentano le sollecitazioni che tendono a far ribaltare l'opera e che l'attrito alla base della stessa diminuisce.

#### *Materiali impiegati:*

- pietrame di pezzatura 25 cm o superiore, reperito in loco o da cava di prestito;
- chiodi in ferro  $\varnothing 12 \div 14$  mm, lunghezza  $\geq 40$  cm;
- piloti in ferro  $\varnothing 24$  mm, lunghezza  $1,5 \div 3$  m;
- cavo in acciaio  $\varnothing 10$  mm;
- pali scortecciati in legname (castagno, larice, abete, pino), lunghezza  $2 \div 4$  m,  $\varnothing 20 \div 40$  cm;
- graffe metalliche lunghezza  $20 \div 30$  cm,  $\varnothing 8 \div 10$  mm.

*Modalità di esecuzione:* si opera uno scavo con mezzo meccanico o manuale, in leggera contropendenza per la parte della struttura da adibire a fondazione, e per le intestature laterali in relazione alle caratteristiche meccaniche dei terreni che costituiscono le sponde.

La costruzione del cassone di contenimento, che, per motivi di stabilità al ribaltamento, ha la parte in fondazione con dimensioni superiori, avviene mediante l'incastellatura dei pali in legname.

Generalmente, per un corretto dimensionamento, la profondità della fondazione e l'altezza del manufatto devono essere uguali. Si realizza la platea di posa (generalmente in pietrame) e, se necessario, la si prolunga verso valle a formare una platea di appoggio per evitare

lo scalzamento dell'opera da parte della lama stramazante.

I pali disposti in senso trasversale rispetto al verso della corrente vengono sormontati, con interasse di 150 cm circa, da quelli disposti in senso longitudinale.

L'unione tra i singoli elementi, al fini di assicurare la stabilità strutturale, avviene mediante chiodatura, con chiodi in ferro infissi in fori già predisposti a mo' di guida, eventualmente rinforzata da graffe metalliche.

La continuità tra due elementi disposti nel medesimo verso è prodotta sovrapponendo le parti terminali dei pali, opportunamente sagomate con tagli in diagonale (circa 45°) e, successivamente, con chiodatura tra gli stessi.

Le ali della struttura, al fine di impedire un eventuale danneggiamento per aggiramento laterale, devono penetrare nelle sponde dell'alveo in maniera accentuata. Nel procedere verso l'alto la struttura viene riempita con pietrame e materiale idoneo (si può utilizzare anche solo legname e, in tal caso, i pali sia trasversali che longitudinali vengono messi in posa accostandoli gli uni agli altri), sia con macchina operatrice che manualmente per le rifiniture, in modo tale che la struttura stessa non venga danneggiata e con deposizione fra i correnti di rami (lunghezza 1,5 ÷ 2 m) con capacità di propagazione vegetativa e/o talee e/o piante radicate. La gaveta viene rivestita con tondelli di legname, anche tagliati a metà secondo i diametri, disposti in senso longitudinale, fissati con chiodature ai corrispondenti pali della struttura. In alternativa potrà essere utilizzato il pietrame del riempimento dell'opera opportunamente sagomato e disposto razionalmente.

La platea di appoggio a valle dell'opera può es-

sere eseguita anche alla fine dei lavori. In genere si utilizzano massi di dimensioni abbastanza grandi da non essere trasportati dalla corrente.

#### Accorgimenti:

- se i pali vengono preventivamente scortecciati hanno maggiore durabilità.
- utilizzando pali con  $\varnothing$  massimo di 20 cm si può prevedere di realizzare l'opera senza l'ausilio di un escavatore per la movimentazione dei pali, che invece si rende indispensabile quando si utilizzano pali con  $\varnothing$  30 ÷ 40 cm.

#### Vantaggi:

- durata notevole, specialmente nel caso di corsi d'acqua con portata continua durante tutto l'anno;
- notevole capacità drenante nel primo periodo di funzionamento.

*Svantaggi:* ostacolo per la fauna ittica.

*Periodo di intervento:* durante il periodo di magra del corso d'acqua.

*Manutenzione:* l'intervento non necessita di una particolare manutenzione ordinaria. Solamente in caso di danneggiamenti si rendono necessari interventi di manutenzione straordinaria. L'opera nel suo insieme può raggiungere i 30 ÷ 40 anni di durata, se il corso d'acqua è caratterizzato da un deflusso minimo costante in grado di evitare cicli di disseccamento/imbibizione.

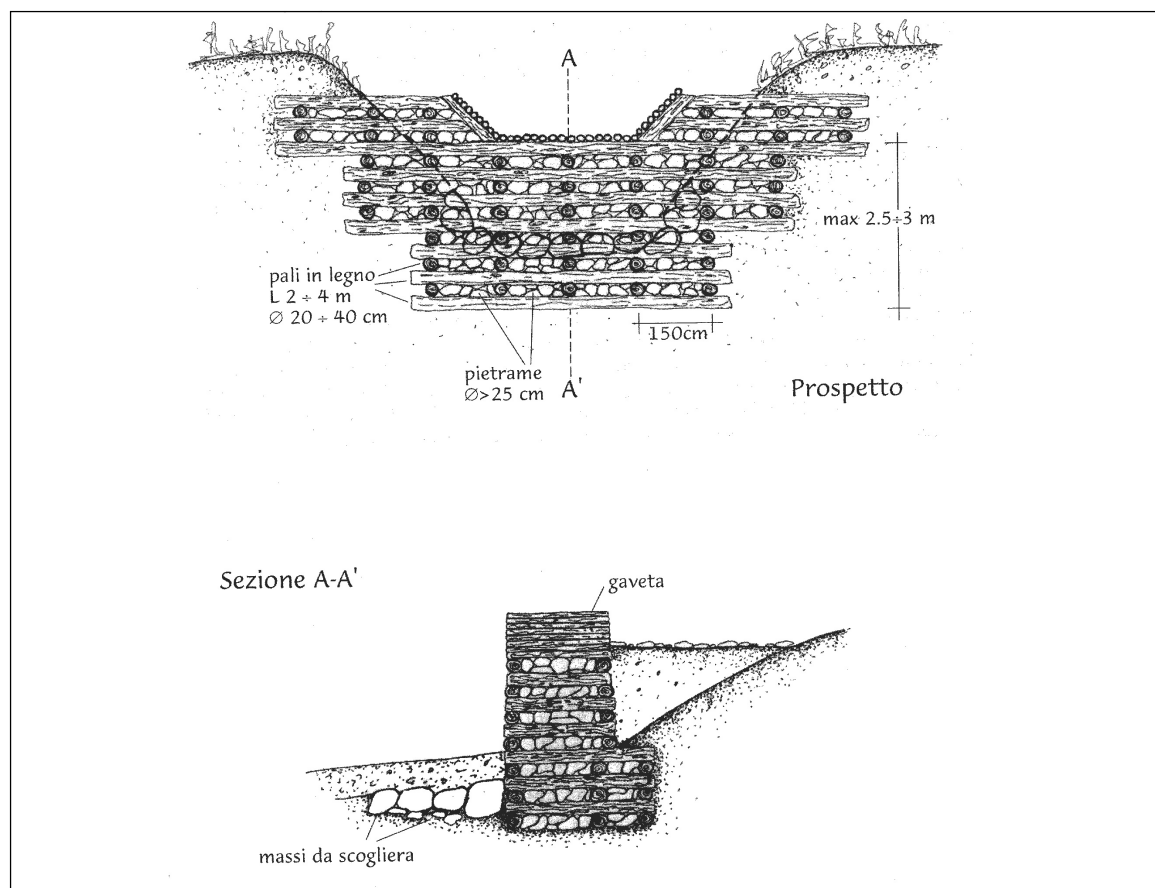
*Analisi prezzi:* si veda la **tabella 14.47**.

**Tab. 14.47 - Briglia in legname e pietrame: analisi prezzi**

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	1,00		
Operaio comune	Ora	0,70		
<i>b) Noli:</i>				
Autocarro	Ora	0,10		
Ragno meccanico	Ora	0,90		
Motosega a catena	Ora	0,30		
Generatore con trapano	Ora	0,06		
<i>c) Materiali:</i>				
Pietrame	Kg	60		
Legname scortecciato	m <sup>3</sup>	0,5		
Chiodi	cad	4		
Canbre	Kg	0,50		
Talee di salice	cad	20		
<b>Prezzo di applicazione</b>			<b>Euro/m<sup>2</sup></b>	<b>193,67 ÷ 201,42</b>
			<b>£/m<sup>2</sup></b>	<b>375.000 ÷ 390.000</b>



Fig. 14.85 - Briglie in legname e pietrame



Fonte: AIPIN Toscana, *Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 2. Sviluppo e applicazioni in Toscana.*

#### 14.3.14 Briglia in terra

**Funzioni:** consolidamento, regimazione e difesa idraulica in alveo.

**Descrizione:** opera di regimazione fluviale trasversale costituita da un rilevato in terra (fig. 14.86).

**Effetto:**

- riduzione della pendenza di fondo;
- diminuzione della velocità della corrente;
- rallentamento dell'erosione del fondo.

**Campi di applicazione:** regimazione di torrenti in scavo, in depositi prevalentemente argillosi o comunque a granulometria fine.

**Modalità di dimensionamento e Ambiti di applicabilità:** si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata significativa condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);
- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);

- protezione del paramento di valle dall'erosione diffusa e/o incanalata.

Dal momento che il terreno più frequentemente impiegato è di natura prevalentemente argillosa, occorre dare alle scarpate del corpo briglia valori di inclinazione di scarpa piuttosto bassi (3:2 per il paramento di monte e 2:1 per quello di valle). Per lo stesso motivo anche l'altezza di tali manufatti è limitata. Per una regimazione complessiva del corso d'acqua il numero delle briglie necessarie è quindi superiore a quello di briglie di diversa tipologia costruttiva. Il rivestimento vegetale dello sfioratore limita gli ambiti di impiego a torrenti con portate poco elevate: perché ne sia garantita la conservazione, lo scivolo così rivestito deve avere una pendenza massima del 20% e la lama d'acqua tracimante non deve superare lo spessore di 30 cm. Le caratteristiche geotecniche delle terre impiegate possono essere conosciute attraverso apposite prove di laboratorio e, quindi, esiste la possibilità di calcolare con precisione il dimensionamento del manufatto ed effettuare una verifica di stabilità dell'insieme terreno-manufatto. Per il dimensionamento dello sfioratore è necessario conoscere i valori delle portate di massima piena del corso d'acqua, tenendo conto di un congruo numero di anni come tempo di ritorno.

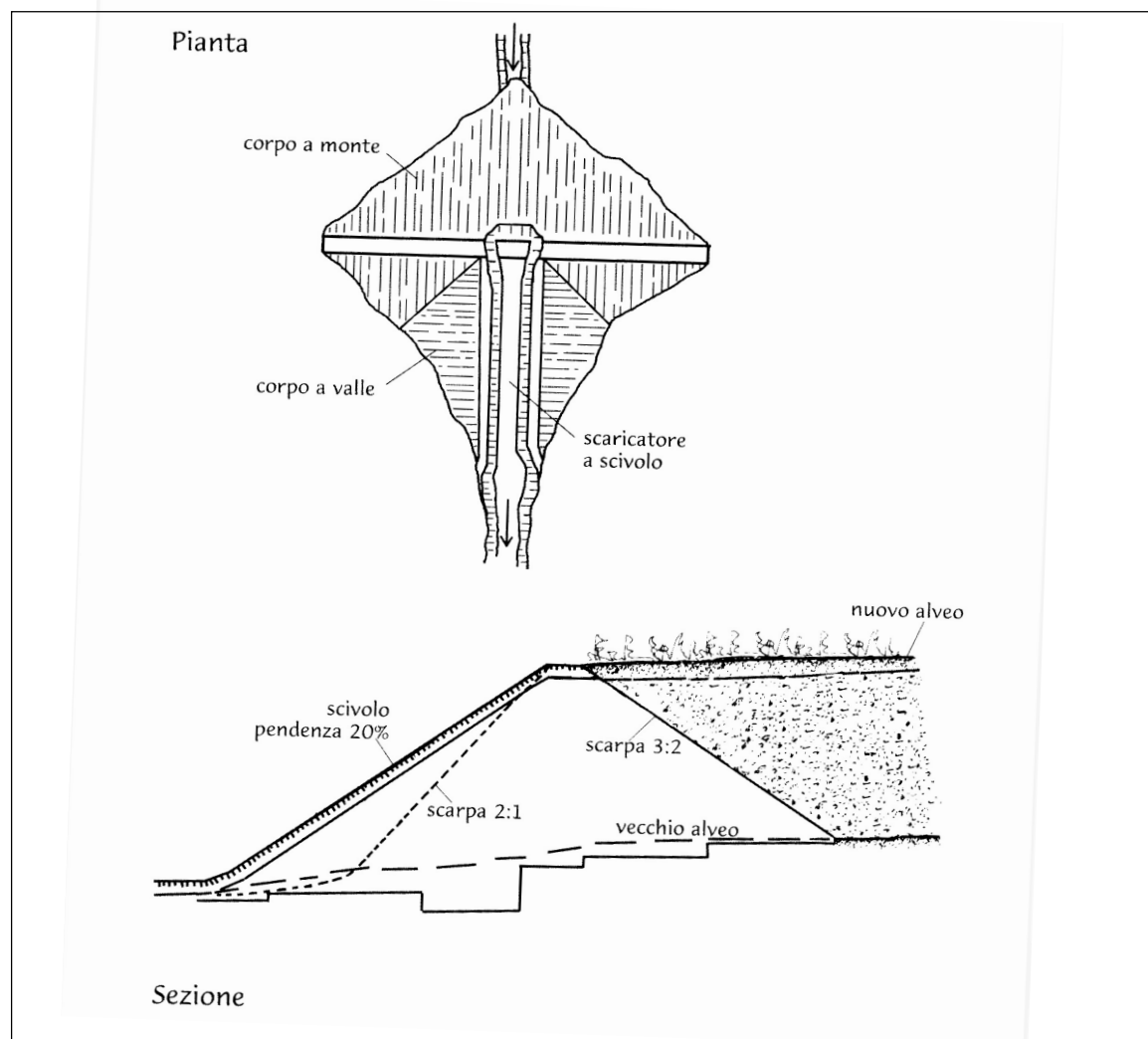
**Materiali impiegati:**

- terreno da reperirsi nelle vicinanze, granulometricamente simile a quello che costituisce il fondo ed i fianchi del tratto di corso d'acqua sul quale si va ad operare; qualora il terreno disponibile sia completamente costituito di argille, è possibile migliorarne le caratteristiche meccaniche "correggendolo" con l'aggiunta di percentuali di sabbia;
- ciottoli di dimensioni variabili per la formazione del drenaggio;
- talee e ramaglia viva per la costituzione del rivestimento dello sfioratore;
- picchetti di legno;
- materiali per idrosemina;
- supporto antierosivo biodegradabile, quando necessario.

**Modalità di esecuzione:** la briglia si realizza, previo scavo di fondazione che deve raggiungere terreno integro, stendendo il materiale terroso reperito presso cave di prestito nelle vicinanze dell'opera, in strati dello spessore di poche decine di cm e comprimendoli con particolari rulli compressor vibranti. Se il terreno è troppo asciutto va leggermente bagnato. La

quantità di acqua necessaria per migliorare le caratteristiche meccaniche delle terre utilizzate per la costruzione dell'opera può essere determinata attraverso opportune prove di laboratorio da effettuarsi su campioni del materiale terroso impiegato. Lo spessore al coronamento deve essere tale da permettere il passaggio dei mezzi meccanici. Al fine di abbassare la linea di saturazione all'interno del corpo della briglia si deve predisporre alla base del paramento di valle un drenaggio costituito da materiale incoerente. Particolare importanza riveste lo sfioratore (questa tipologia di briglia non è di fatto tracimabile, pena forti dissesti erosivi): oltre agli sfioratori classici in cemento armato, che pertanto non rientrano nelle tecniche dell'Ingegneria Naturalistica, possono essere realizzati canali di scarico centrali al corpo briglia, caratterizzati da un'inclinazione inferiore rispetto al paramento di valle della briglia. Il rivestimento dello scivolo viene realizzato con viminate vive di rami di specie legnose con capacità vegetativa, intrecciati, oppure con i rivestimenti di ramaglia. Il corpo della briglia (ali e paramenti) viene poi rivestito e protetto dall'erosione superficiale (mete-

**Fig. 14.86 - Briglie in terra**



orica) con semine di specie erbacee opportunamente selezionate in base al terreno di semina ed alle caratteristiche stazionali.

*Accorgimenti:* il rivestimento dello sfioratore deve essere fatto prima dei periodi di piena.

*Vantaggi:* si tratta dell'unico tipo di briglia veramente efficiente nella regimazione dei torrenti in scavo impostati in terreni a granulometria fine; l'uso della terra, in alternativa ai gabbioni, al pietrame oppure al cemento armato, oltre a determinare compressioni sul piano d'appoggio, fa sì che non si formi tra il corpo briglia ed i terreni di fondazione una superficie di discontinuità lungo la quale si possono innescare fenomeni di sifonamento e di aggiramento da parte della corrente. Una volta esaurita la loro funzione, dopo quindi il completo interramento, le briglie possono essere sopraelevate (Puglisi, 1968). Il rivestimento vegetale dello sfioratore ben si adatta agli assestamenti dell'ammasso terroso posto in opera, senza creare superfici di discontinuità, e quindi di debolezza, tra il corpo del manufatto ed il rivestimento stesso.

*Svantaggi:* sono necessari mezzi meccanici e di conseguenza devono essere previste piste di accesso al cantiere che in ambienti caratterizzati dall'affioramento di depositi argillosi possono risultare destabilizzanti. Lo scivolo necessita inoltre di una particolare e frequente manutenzione, dal momento che le specie vegetali impiegate devono essere costantemente "ringiovanite" per mantenere l'elasticità necessaria al passaggio dell'acqua.

*Periodo di intervento:* in genere si preferisce eseguire questa tipologia di opere durante i periodi di magra del corso d'acqua, dal momento che è più semplice effettuare deviazioni temporanee della corrente o sbarramenti a monte, necessari per una corretta esecuzione dei lavori. Per quello che riguarda invece le opere a verde si devono aspettare, per il rivestimento dello sfioratore, i mesi di riposo vegetativo (consigliabile, prima comunque dei periodi di piena) ed i mesi di ripresa della vegetazione per la semina.

*Manutenzione:* taglio frequente e selettivo della vegetazione che si sviluppa dalle opere di rivestimento dello sfioratore (che deve garantire il flusso delle portate di piena).

#### 14.3.15 Rullo di geotessile e rullo metallico spondali

*Funzioni:* consolidamento, regimazione idraulica in alveo.

*Descrizione:* opera di consolidamento, elastica, permeabile che aumenta la stabilità della sponda. Può essere posta al piede di altre opere (fig. 14.87).

*Descrizione da voce di capitolato:*

- in georete sintetica;
- in rete metallica.

In analogia al punto precedente potranno venire realizzati rulli in geotessuto sintetico riempiti di *tout-venant* ghiaioso o terroso abbinati a ramaglia viva e morta di salici o altre specie con analoghe proprietà vegetative, disposta a sostegno come sottofondo al rullo e internamente ad esso nella parte periferica inferiore e superiore.

La lavorazione prevede:

- scavo di un basamento in contropendenza al piede della sponda;
- disposizione di ramaglia trasversalmente alla linea di flusso;
- stesura della rete zincata o del geotessile in teli larghi 2 ÷ 4 m e lunghi secondo necessità;
- rivestimento con ramaglia, ricarico del materiale da riempimento;
- copertura con ulteriore strato di ramaglia;
- chiusura a rullo e cucitura con filo di ferro (diametro minimo 2 mm) con eventuale ausilio di mezzi d'opera per diametri vicini ad 1 m;
- fissaggio del rullo mediante pali d'acciaio di 1 ÷ 3 m di lunghezza e Ø 16 ÷ 22 mm, battuti attraverso il rullo.

La variante in rete metallica potrà essere applicata solo in presenza di inerte ghiaioso di riempimento di diametro superiore a 80 ÷ 120 mm.

La difesa in rullo e ramaglia verrà attuata su fondali limosi e fangosi che male sopportano i carichi (ad esempio, scogliera) e con fondi movimentati.

La collocazione avverrà nel periodo di riposo vegetativo e in modo che la ramaglia di base non si trovi sott'acqua per oltre tre mesi in tale periodo.

*Effetto:* i rulli favoriscono la sedimentazione del materiale trasportato dalla corrente aumentando la stabilità della sponda.

*Campi di applicazione:* il loro utilizzo in ambito fluviale varia in funzione delle valutazioni relative alla forza di trascinamento del livello medio dell'acqua. In genere si utilizzano per il consolidamento di tratti di sponda in erosione di corsi d'acqua a bassa pendenza o laghi con limitate oscillazioni del livello dell'acqua e trasporto solido abbastanza fine (limi in sospensione), su substrati sabbioso-limosi debolmente ghiaiosi che sopporterebbero male carichi maggiori (ad esempio, scogliera).

Consolidamento di canneti e vegetazione spondale arborea o arbustiva.

*Modalità di dimensionamento e limiti di applicabilità:* si prevedono le seguenti verifiche principali, basate sulla quantificazione delle grandezze necessarie:

- stabilità strutturale e globale dell'opera;
- verifica idraulica (per i valori di portata si-

gnificativa in condizioni di moto uniforme o permanente o vario, valutazione di livelli idrici, tensione tangenziale, velocità, ecc.);

- dinamica d'alveo (stabilità plano-altimetrica, capacità di trasporto e apporto solido);
- stabilità del pendio (in diverse condizioni di carico e di drenaggio);
- difficoltà d'esecuzione in corsi d'acqua con pendenze d'alveo accentuate, trasporto solido grossolano e velocità elevate della corrente.

#### Materiali impiegati:

- *geotessuto*: biostuoie di juta o cocco, reti di materiale sintetico, gabbioni cilindrici in metallo zincato di varie forme e spessori del filo.
- talee di salici arbustivi o arborei;
- filo di ferro per legature:  $\varnothing 2, 3$  mm;
- picchetti di legno o di ferro;
- pietrame nel caso si utilizzino i rulli come protezione al piede di altre opere.

**Modalità di esecuzione:** lungo la sponda da proteggere si conficcano pali di legno opportunamente dimensionati ed intercalati in funzione del substrato e dello sforzo.

Sul retro dei pali viene realizzato un fossetto (dimensioni minime 40 x 40 cm) che servirà per la costruzione del rullo. Successivamente si posiziona la rete del materiale scelto (biostuoia, geostuoia, rete metallica) e si costipano il fondo e le pareti con materiale proveniente dallo scavo.

Si procede al riempimento con pietrame, pietrisco, ghiaia grossa, materiale vegetale morto, terra di scavo per i 2/3 inferiori.

Se il materiale di riempimento è fine (pezzatura < 80 ÷ 120 mm) la rete va rivestita di con un geotessuto filtrante o in fibra vegetale o va adottata la georete sintetica.

Sopra si posizionano le talee vive o i culmi di

canna (se sono con pane si dovrà prestare attenzione a non rovinare la zolla di terra).

Il posizionamento delle piante dovrà tenere conto delle caratteristiche delle specie utilizzate, per esempio la *Typha latifolia* dovrà essere posizionata appena sotto il livello medio dell'acqua mentre la *Typhoides arundinacea* dovrà essere posizionata leggermente più in alto.

Al termine delle operazioni si chiude saldamente il rullo con il filo di ferro ed il rullo stesso dovrà sporgere leggermente (5 ÷ 10 cm) dal livello medio dell'acqua.

**Accorgimenti:** in caso di utilizzo di rulli in rete zincata in acque salmastre è necessario prevederne la plastificazione.

#### Vantaggi:

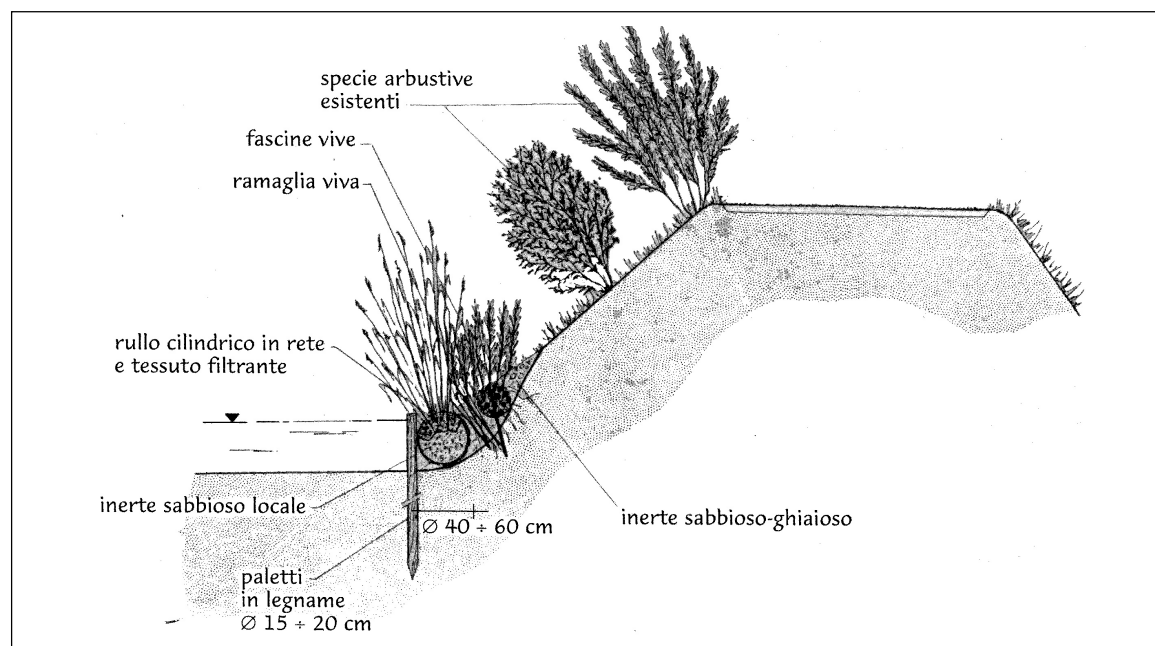
- reperimento dei materiali in zona, semplice esecuzione del lavoro;
- azione protettiva immediatamente dopo l'impianto.

**Svantaggi:** se si utilizzano culmi o zolle di canna e talee si restringe molto il periodo di possibile impiego. Il pietrame per il riempimento delle gabbionate può non essere reperibile localmente.

**Periodo di intervento:** è necessario eseguire i lavori durante il periodo di riposo vegetativo. In caso di interventi in ambiti fluviali il periodo è vincolato dal livello del corso d'acqua.

**Manutenzione:** controllare durante il primo anno per interventi sulla struttura e sulle fallanze delle talee, successivamente taglio se necessario.

Fig. 14.87 - Rullo di geotessile e rullo metallico spondali



## 14.3.16 Scogliera viva

*Descrizione dell'opera e funzioni principali:* la scogliera in massi, rinverdita, è un'opera di difesa spondale longitudinale realizzata con grossi massi e disposta quindi parallelamente al corso della corrente con la superficie lato fiume inclinata in modo tale da conferire all'alveo una sezione a forma trapezia. Negli spazi tra masso e masso vengono inseriti astoni di salice o di altre specie dotate di analoghe capacità biotecniche che, radicando, permettono la stabilizzazione della struttura arginale. Devono possedere fondazioni profonde per evitare che la forza della corrente in prossimità del piede possa scalzarle alla base (figg. 14.88-14.92).

*Descrizione da voce di capitolato:* formazione di scogliera in grossi massi ciclopici rinverdita, di rivestimento e difesa di scarpate spondali, realizzata mediante:

- sagomatura dello scavo, regolarizzazione del piano di appoggio con pendenza non superiore a 2/3;
- eventuale stesa di geotessile sul fondo di peso non inferiore a 400 g/m<sup>2</sup> con funzione strutturale di ripartizione dei carichi e di contenimento del materiale sottostante all'azione erosiva;
- realizzazione del piede di fondazione con materasso o taglione (altezza di circa 2 m e interrimento di circa 1 m al di sotto della quota di fondo alveo) in massi, ad evitare lo scalzamento da parte della corrente e la rimobilitazione del pietrame in elevazione. Il materasso di fondazione deve essere realizzato prevedendo eventuali soglie di consolidamento costruite sempre con grossi massi, o anche con la realizzazione di piccoli repelenti;
- realizzazione della massicciata in blocchi di pietrame per uno spessore di circa 1,50 m, inclinati e ben accostati, eventualmente intasati nei vuoti con materiale legante (al di sotto della linea di portata media annuale) oppure legati da fune d'acciaio. I blocchi devono avere pezzatura media non inferiore a 0,4 m<sup>3</sup> e peso superiore a 5 ÷ 20 q, in funzione delle caratteristiche idrodinamiche della corrente d'acqua e della forza di trascina-mento. Le pietre di dimensioni maggiori vanno situate nella parte bassa dell'opera. Nel caso che il pietrame venga recuperato nell'alveo, è necessario fare in modo che non venga alterata eccessivamente la struttura fisica dello stesso (dimensione media del pietrame di fondo, soglie naturali, pendenza);
- impianto durante la costruzione di robuste talee di salice, di grosso diametro, tra le fessure dei massi (al di sopra della linea di portata media annuale), poste nel modo più irregolare possibile. In genere vanno collocate 2 - 5 talee/m<sup>2</sup>, e su aree soggette a sollecitazioni particolarmente intense (ad esempio, sponda di torrenti con trasporto solido) da 5 a 10 talee/m<sup>2</sup> e di lunghezza tale (1,5 ÷ 2 m)

da toccare il substrato naturale dietro la scogliera. I vuoti residui devono essere intasati con inerte terroso. Il dilavamento del terreno nelle fessure poste al di sotto della linea di portata media annuale può essere diminuito o anche eliminato con l'inserimento di stuoie vegetali.

*Campi di applicazione:* viene utilizzata in alvei torrentizi e fluviali, per corsi d'acqua con notevole trasporto solido e alta velocità della corrente. Per la protezione di sponda dall'erosione della corrente, per ampliamento delle sezioni idriche, per ridurre il rischio di esondazione e anche come difesa al piede di riprofilature e ricariche di versante.

*Fattibilità:* la scogliera è da realizzarsi preferibilmente utilizzando materiali reperiti in loco.

*Materiali impiegati:*

- massi ciclopici di volume compreso tra 0,5 ÷ 1 m<sup>3</sup>;
- eventuali funi di acciaio e tasselli di ancoraggio opportunamente dimensionati in funzione delle caratteristiche idrodinamiche della corrente e della forza di trascinamento;
- talee a piantine di specie riparie arbustive ed arboree (in particolare salici a portamento arbustivo e ridotto sviluppo).

*Modalità di esecuzione:*

- realizzazione della fondazione mediante la posa di massi ciclopici oppure con un taglione in calcestruzzo di profondità idonea al fine di evitare lo scalzamento da parte della corrente e la rimobilizzazione del pietrame costituente il corpo in elevazione;
- messa in opera dei massi posizionando in basso quelli di dimensione maggiore. I massi possono essere ancorati tra loro mediante funi di acciaio e fissati alle sponde (se in roccia) oppure a piloti infissi nell'alveo. I punti di ancoraggio sui massi si realizzano mediante perforazione e posa di tasselli o barre con occhio. Il dimensionamento dei tasselli e delle funi è da calcolarsi in base alle sollecitazioni attese per eventi di massima piena.
- inserimento di talee e piantine tra gli elementi della scogliera. La quantità da inserire per m<sup>2</sup> è in funzione delle dimensioni dei massi utilizzati (orientativamente 2 ÷ 10 talee m<sup>2</sup>): se i massi sono di piccola dimensione si dovrà utilizzare una quantità maggiore di talee;
- l'inserimento delle talee e delle piantine tra i massi va realizzato preferibilmente in contemporanea alla costruzione della scogliera. In questo modo si possono utilizzare talee od astoni di maggiore lunghezza (200 ÷ 250 cm) che potranno radicare in profondità a tergo della scogliera (scogliere di tipo chiuso);
- è possibile inserire le talee o le piantine successivamente alla formazione della scogliera mediante operazioni manuali di intasamento con terra dei vuoti presenti tra i massi (scogliera di tipo aperto) ed eventuali perforazioni;

- le talee, tagliate obliquamente in basso, devono essere messe a dimora nel verso di crescita (in basso la parte inferiore più grossa) e con disposizione perpendicolare al piano scarpato.

Le talee vengono infisse nel terreno con una mazza di legno o con copritesta in legno. Nei terreni molto compatti i fori vengono praticati in precedenza.

Le talee devono sporgere al massimo per un quinto della loro lunghezza adottando, se necessario, un taglio netto di potatura dopo l'infissione;

- la realizzazione di scogliere di tipo chiuso preserva eventuali sradicamenti del materiale messo a dimora da eventi eccezionali

di piena immediatamente successivi alla posa. Per prevenire lo sradicamento nei manufatti di tipo aperto è consigliabile la posa di fasci di talee che permettono una maggiore resistenza.

*Interventi collegati:* tutti gli interventi di Ingegneria Naturalistica relativi alla protezione dei versanti ed alla profilatura e stabilizzazione dell'alveo.

*Prescrizioni:*

- l'inserimento di talee dovrà avvenire preferibilmente durante la fase di costruzione;
- le talee dovranno essere passanti la struttura, in modo da toccare il terreno retrostante.

Tab. 14.48 - Scogliera viva: analisi prezzi

Oggetto	Unità di misura	Quantità	Prezzo elementare	Importo
<i>a) Manodopera:</i>				
Operaio specializzato	Ora	0,00		
Operaio qualificato	Ora	0,20		
Operaio comune	Ora	0,20		
<i>b) Noli:</i>				
Pala caricatrice articolata	Ora	0,30		
<i>c) Materiali:</i>				
Pietrame	Kg	2.600		
Inerte terroso-sabbioso	m <sup>3</sup>	0,1		
Talee	cad	5		
Prezzo di applicazione			Euro/m <sup>2</sup>	72,3 ÷ 82,63
			£/m <sup>2</sup>	140.000 ÷ 160.000

Fig. 14.89 - Scogliera viva

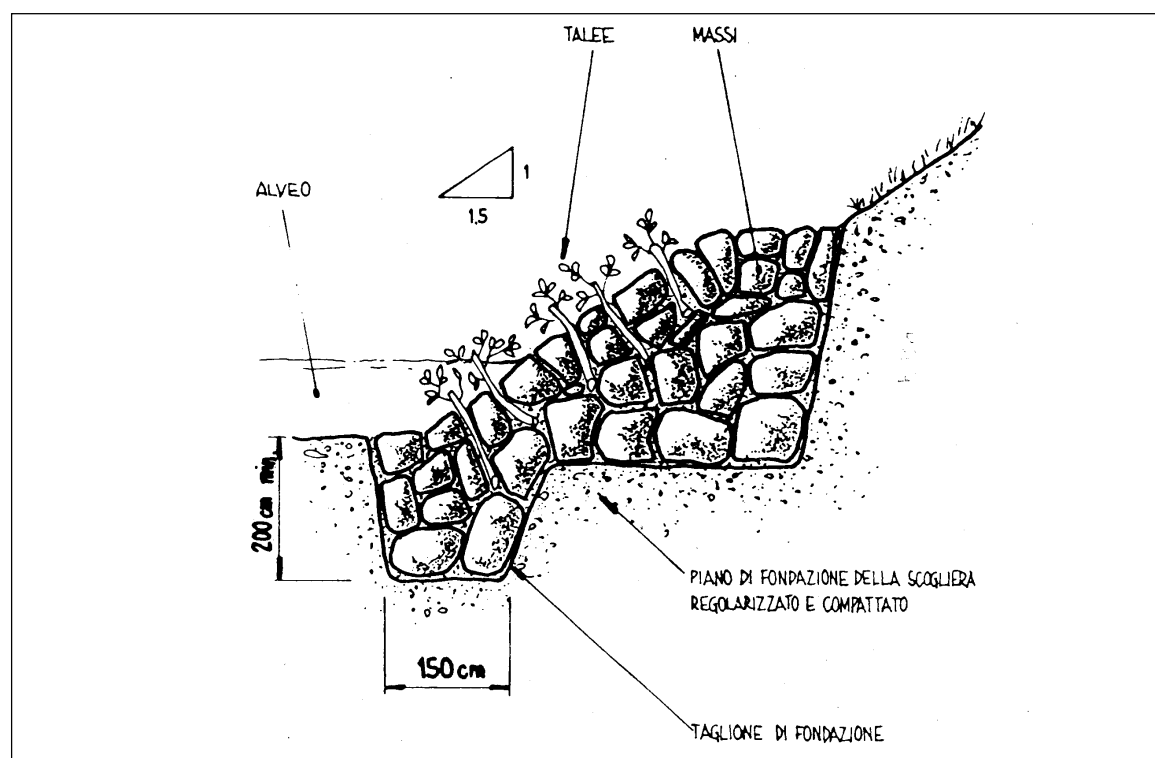


Fig. 14.90 - Scogliera viva

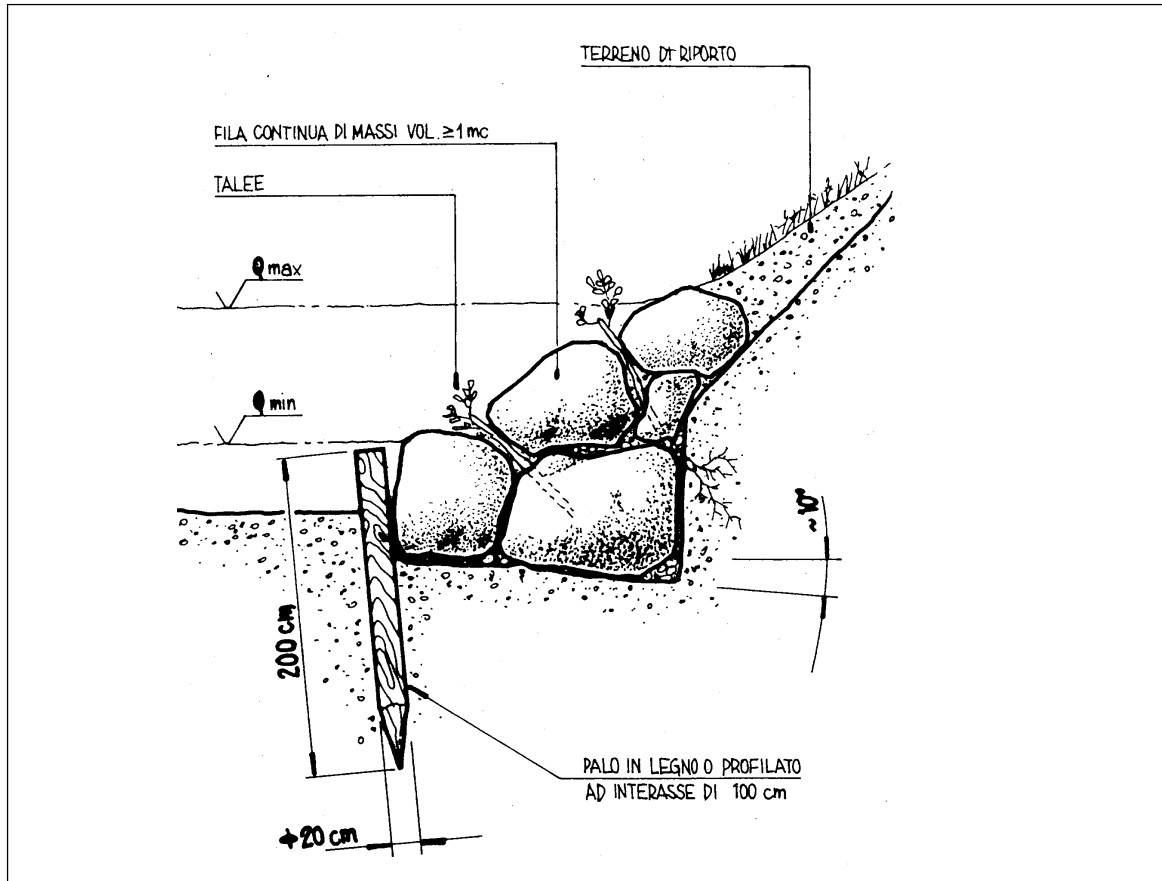


Fig. 14.91 - Scogliera viva

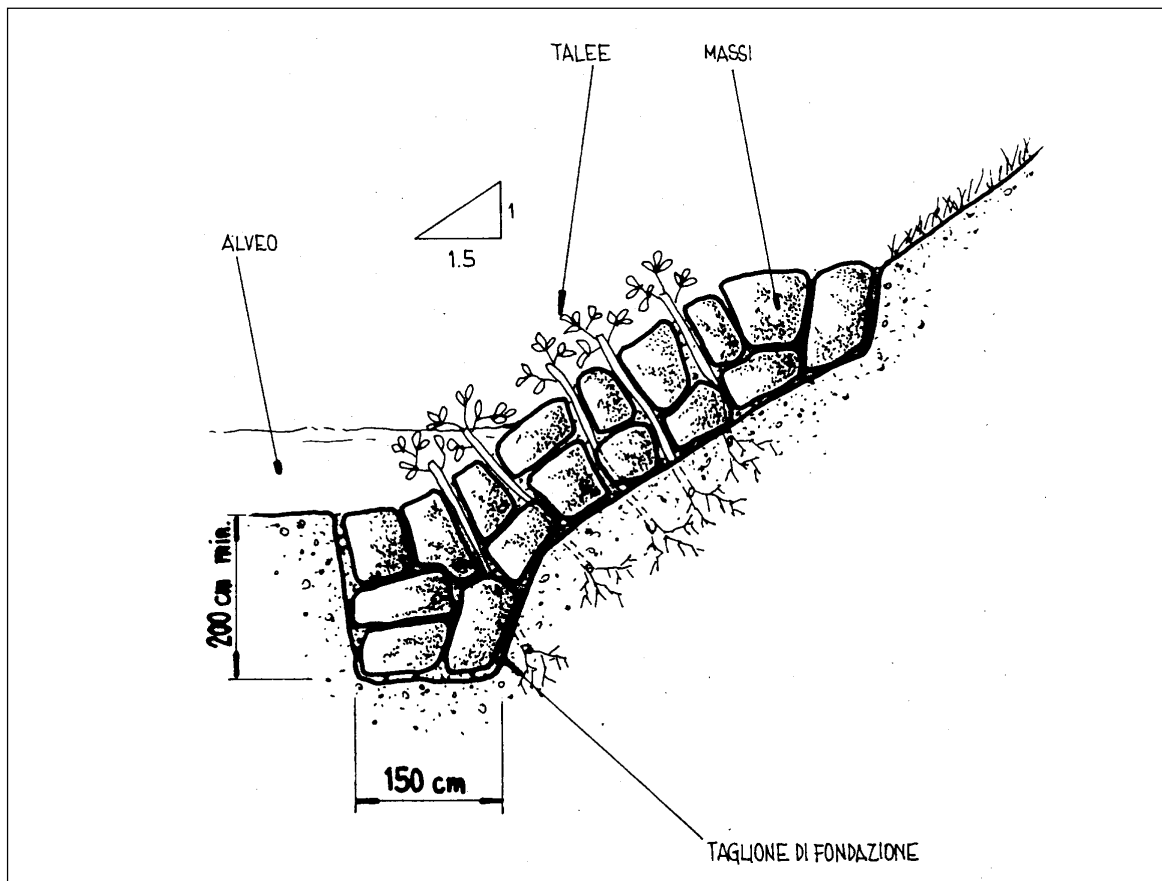


Fig. 14.92 - Scogliera viva: sezioni di scogliere tipo chiuso e aperto

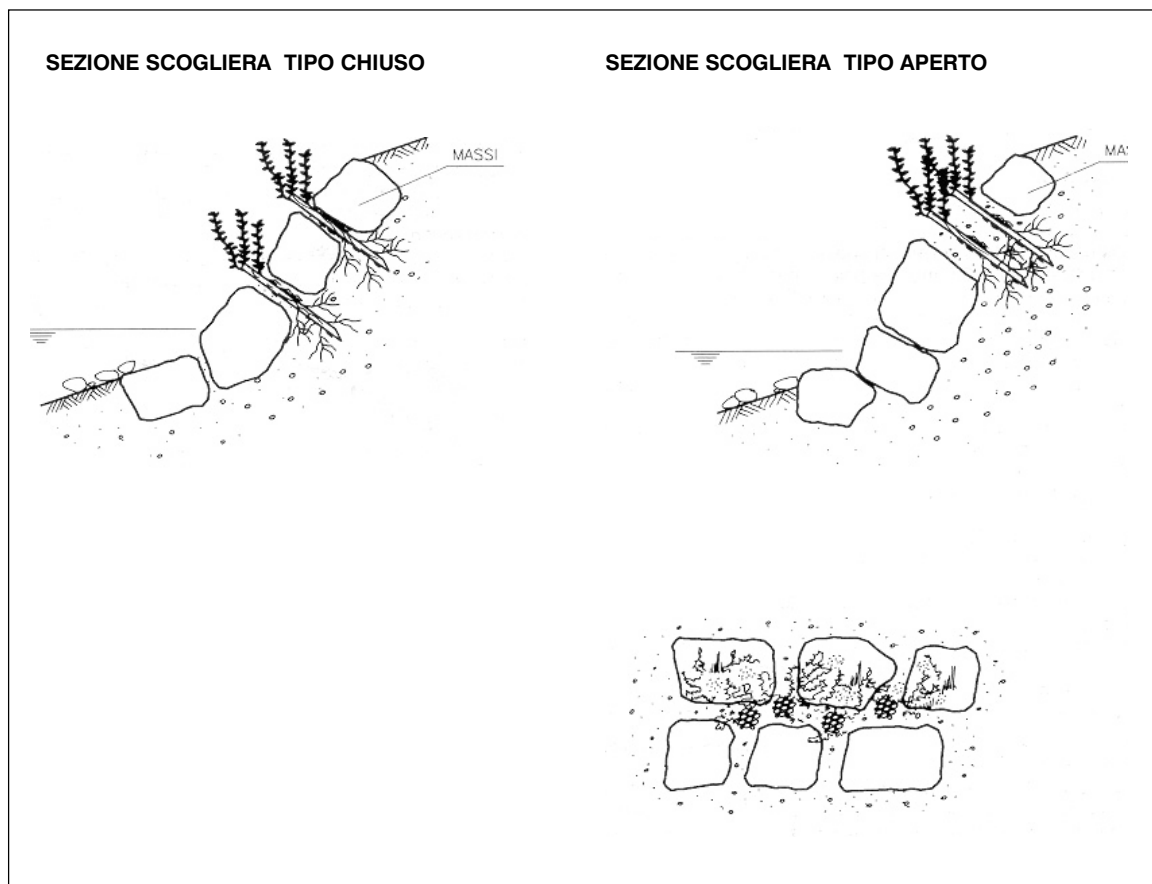
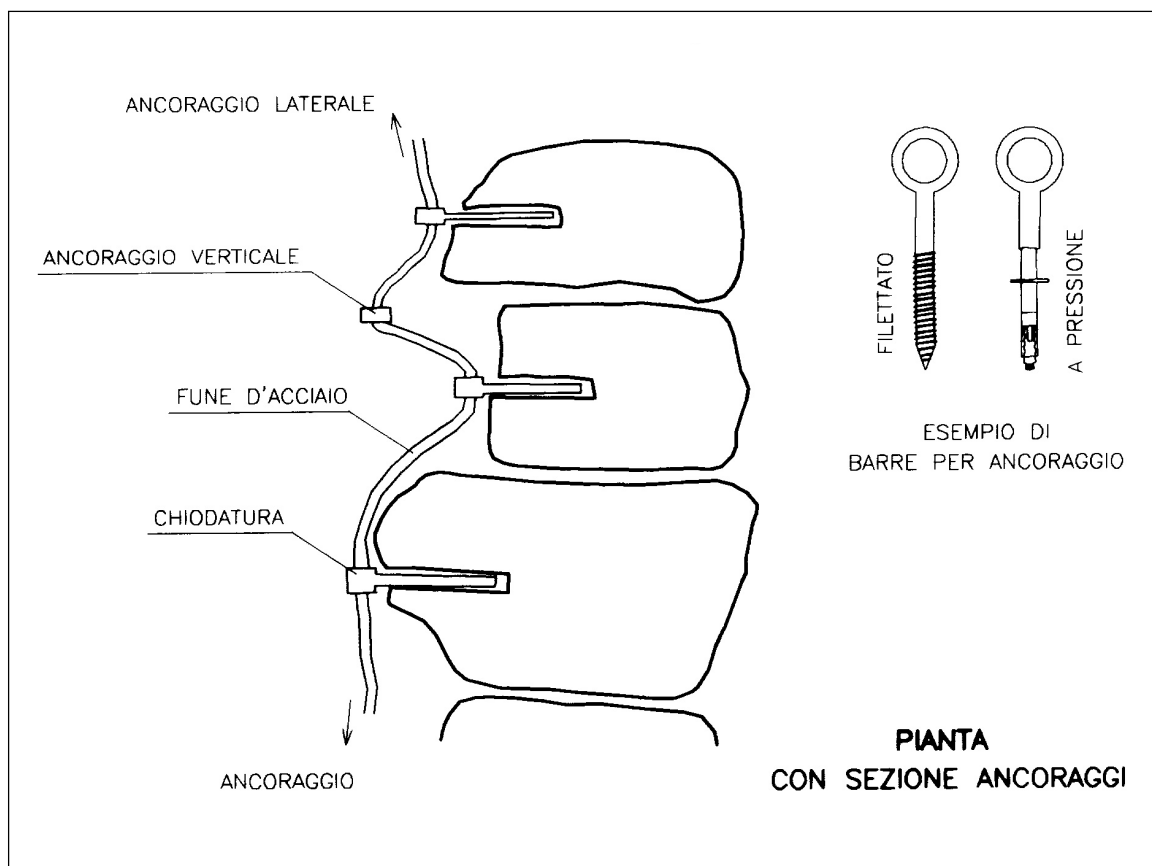


Fig. 14.93 - Scogliera viva: fissaggio al piede con scogliera elastica





**Vantaggi:**

- tecnica veloce e poco dispendiosa;
- opera massiccia con effetto protettivo immediato;
- una volta radicate, le talee aumenteranno l'effetto ancorante dei massi al terreno;
- i massi favoriscono la sedimentazione di materiale fine;
- ridotta attività di manutenzione;
- creazione di zone protette per i pesci;

**Svantaggi:**

- elevata percentuale delle fallanze (fino all'80%);
- tecnica difficilmente applicabile, in caso di cantieri poco accessibile ai mezzi di trasporto per i massi;
- eventuali costi elevati per i mezzi meccanici;
- la radicazione delle piante al suolo non è uniforme.

**Effetto:** protezione immediata della sponda, che va aumentando con lo svilupparsi dell'apparato radicale delle talee.

**Periodo di intervento:** il materiale vegetale va di preferenza posato durante il periodo di riposo vegetativo, quando le percentuali di attecchimento sono alte.

L'attecchimento fuori stagione (da evitare) dipende dal microclima (su scogliere assolate è intorno al 10% mentre in alvei incisi e freschi può arrivare fino al 50%) e dalle modalità di riempimento con terreno dei vuoti tra i massi.

**Manutenzione e durata dell'opera:** controllo periodico, per almeno due-tre stagioni vegetative, dell'attecchimento della vegetazione e sostituzione delle fallanze.

**Possibili errori:**

- mancato inserimento delle talee in fase di costruzione;
- talee di dimensioni ridotte.

**Analisi prezzi:** si veda la **tabella 14.48**.

**Bibliografia**

AA.VV., 1993

*Manuale tecnico di Ingegneria Naturalistica*, Regione Emilia Romagna, Regione Veneto - Centro di formazione professionale "O. Malugati", Bologna.

AA.VV., 2001

*Principi e linee guida per l'Ingegneria Naturalistica. Vol. 2. Sviluppo e applicazioni in Toscana*, collana "Fiumi e Territorio", edizione Regione Toscana, maggio.

AA.VV., Regione Liguria - Assessorato Edilizia, Energia e Difesa del Suolo

*Opere d'Ingegneria Naturalistica e recupero ambientale*, Genova.

"Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", 2000 *Approvazione direttiva "Quaderno opere tipo d'Ingegneria Naturalistica". Ambiente e territorio*, in "Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia", n. 19, supplemento straordinario, Milano.

Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement Bundesamt für Wasserwirtschaft.

*Ingenieur-biologische Bauweisen*, Studienbericht n. 4.

Ferraiolo F., Vicari M., Officine Maccaferri S.p.a., 1996 *Il programma MAC.R.A per la verifica di interventi di protezione spondale. Manuale d'uso*, Bologna.

Geitz P., 1993.

*Ausbildungsförderwerk – Garten, Landschafts und Sportplatzbau e V. – Naturnaher Wasserbau*.

Ministero dell'Ambiente - Servizio Valutazione Impatto Ambientale, 1993

*Informazione ai cittadini e per la relazione sullo stato dell'ambiente. Opere di Ingegneria Naturalistica sulle sponde. Tecniche costruttive ed esempi nel cantone di Berna (Svizzera)*, Roma.

Zeh H., 1993

*Tecniche di Ingegneria Naturalistica*, Il verde Editoriale.

Zeh H., Roth H., Mosimann R., 1988

*Bauweisen und Beispiele im Kanton Bern. Ingenieurbiologische Uferverbauungen*.



### 15.1 La lettura del paesaggio vegetale

Gli ecosistemi sono sistemi complessi ed il loro studio generalmente deve avvalersi dell'apporto di numerose discipline di settore. Comunque essi possono essere suddivisi in una componente *abiotica* ed una *biotica*, quest'ultima a sua volta costituita dalla comunità animale e dalla comunità vegetale. La disciplina che studia le comunità vegetali è la Fitosociologia.

Le piante, allo stato naturale, non si aggregano in maniera casuale ma tendono a consociarsi secondo criteri correlati a parametri ecologici ben precisi. La presenza di una pianta in un ambiente sta ad indicare una tolleranza della specie rispetto alle condizioni ecologiche del posto, che quindi rientrano nella nicchia della pianta. In natura è facilmente osservabile che in un qualsiasi luogo siano presenti più specie vegetali (gli ambienti estremi sono colonizzati da una o pochissime specie), le nicchie delle specie presenti sono parzialmente sovrapponibili (raramente coincidenti). Le essenze vegetali che più si avvicinano al loro *optimum ecologico* sono rappresentate da individui più numerosi, caratterizzando così la componente fisionomica-strutturale della vegetazione. Generalmente, a determinate condizioni ambientali corrispondono precise comunità vegetali e viceversa, rivelando una relazione biunivoca tra ambiente e vegetazione. Questa corrispondenza può fornire un importante contributo nell'individuazione dei parametri ambientali caratteristici del sito di studio, in quanto l'analisi della vegetazione permette di evidenziare indirettamente i fattori ecologici fondamentali di cui tenere conto anche in fase applicativa.

La vegetazione è regolata da meccanismi di interazione sia interni che esterni: le interazioni tra le componenti della fitocenosi sono intraspecifiche, interspecifiche e con l'ambiente circostante. Le comunità vegetali possono quindi essere considerate come "superorganismi".

La Fitosociologia, disciplina scientifica in grado di analizzare, descrivere e classificare la vegetazione, nonché di fornire informazioni a livello territoriale, si basa sui metodi proposti da J. Braun-Blanquet a partire dai primi anni del 1900. Risale a questo periodo l'introduzione del termine *associazione* per definire "un aggruppamento vegetale più o meno stabile e in equilibrio con il mezzo ambiente, caratterizzato da una composizione floristica determinata nella quale alcuni elementi (specie caratteristiche) rivelano con la loro presenza un'ecologia particolare ed autonoma".

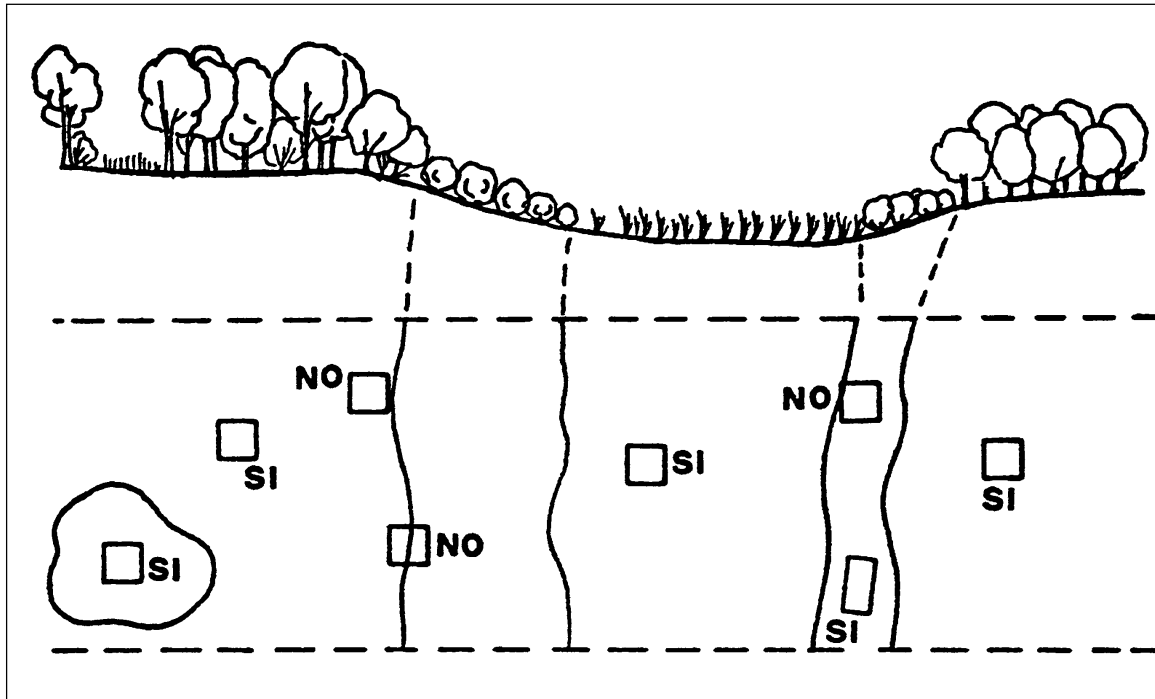
La disciplina fitosociologica si basa sull'esecuzione del *rilevamento fitosociologico*. Per un corretto impiego di tale strumento, esso va applicato in territori omogenei dal punto di vista floristico-strutturale al cui interno la scelta delle aree di rilevamento deve essere casuale, in modo tale da annullare la componente di soggettività che potrebbe inficiare i risultati. Una volta individuate le differenti realtà vegetazionali si passa all'esame di ciascuna di esse; ciò presuppone il rilevamento di una superficie minima che contenga i caratteri tipici della comunità, sia dal punto di vista floristico che ecologico. Tale superficie è denominata *popolamento elementare* ed il campionamento così ottenuto è rappresentativo della vegetazione studiata. Nella fase di rilevamento vanno evitate le zone di transizione, che rappresentano il passaggio da una comunità ad un'altra e comportano il rischio di mescolare caratteri floristici ed ecologici tipici di comunità distinte (fig. 15.1).

Durante il rilevamento vanno annotate su un'apposita scheda (tab. 15.1) le *caratteristiche stazionali*; la parte più importante del rilievo consiste nella compilazione della *lista delle specie* rinvenute nell'area e nell'attribuzione del corrispondente *valore di copertura* secondo la scala proposta da Braun-Blanquet (1928 e successive edizioni) e modificata da Westoff e Van Der Maarel (1978) (tab. 15.2).

L'associazione è definita da una combinazione statisticamente ripetitiva di specie, messa in evidenza dalla comparazione di diversi rilievi fitosociologici attraverso metodi di analisi multivariata. Tale confronto consente di raggruppare i rilievi omogenei dal punto di vista floristico, strutturale ed ecologico e quindi di individuare le associazioni vegetali distinte. L'*associazione vegetale* è l'unità fondamentale della disciplina fitosociologica; essa è il rango di base di un sistema gerarchico di sintaxa superiori (*alleanza, ordine, classe*) o inferiori (*sottoassociazione, variante, facies*), ognuno dei quali è dotato di propri caratteri floristici, statistici, corologici, ecologici, ecc. La denominazione dei sintaxa segue regole precise, dettate dal Codice di Nomenclatura Fitosociologica (traduzione italiana: Scoppola, 1994).

Nel rilevamento della vegetazione può essere utile considerare anche le interazioni temporali tra specie, dovute all'alternanza delle stagioni che provoca una ciclicità nelle funzioni vegetative e riproduttive delle piante e nella loro fenologia. Ad esempio, in una cenosi forestale di caducifoglie le specie del sottobosco svolgono le loro attività vegetative e riproduttive pri-

Fig. 15.1 - Scelta delle aree da rilevare in funzione dell'omogeneità della stazione



Fonte: Riola, 1970.

Tab. 15.1 - Scheda per il rilevamento fitosociologico

<b>Ril. N.</b>				
Rilevatore		Data	Località	
Tipo di vegetazione				
Fisiografia	Altitudine (m s.l.m)	Esposizione (*)	Inclinazione (*)	
Rocciosità (%)	Pietrosità (%)	Substrato		
Coperture ed altezze dei singoli strati (%):				
Arboreo		Altezza media (m)		
Arbustivo		Altezza media (m)		
Erbaceo		Altezza media (m)		
Muscinale		Altezza media (m)		
Copertura totale (%)		Superficie totale (m <sup>2</sup> )		
Osservazioni				
Elenco delle specie		Copertura e sociabilità		
		Strato arboreo	Strato arbustivo	Strato erbaceo

**Tab. 15.2** - Scala di copertura utilizzata nei rilievi fitosociologici (Braun-Blanquet, 1928 mod. da Westoff e Van Der Maarel, 1978), con i valori di conversione per l'elaborazione statistica

Simboli	Valori di copertura	Valori di conversione	
r	Uno o pochi individui	1	
+	Presenza occasionale con copertura < 1% del totale	2	
1	Copertura compresa tra 1% e 5% del totale	3	
2	Copertura compresa tra 5% e 25% del totale, frazionabile come segue:		
	2m	individui molto abbondanti ma con scarsa copertura, comunque compresa tra 5% e 25% del totale	4
	2a	copertura compresa tra 5% e 12,5% del totale, indipendentemente dal numero di individui	5
	2b	copertura compresa tra 12,5% e 25% del totale, indipendentemente dal numero di individui	6
3	Copertura compresa tra 25% e 50% del totale	7	
4	Copertura compresa tra 50% e 75% del totale	8	
5	Copertura compresa tra 75% e 100% del totale	9	

ma della comparsa delle foglie sugli alberi; in questo caso potrebbe essere opportuno effettuare rilevamenti floristici e vegetazionali in diversi periodi dell'anno. Frequentemente l'aspetto della fenologia viene trascurato per ragioni di varia natura; è comunque fondamentale, per una corretto esito dello studio floristico e vegetazionale, effettuare i rilievi almeno durante il periodo tardo primaverile/estivo.

#### 15.1.1 Dinamismo della vegetazione come processo cicatrizzante

Già Clements nel 1916 aveva ipotizzato che la vegetazione non rimane immutata nel tempo: i cambiamenti sono facilmente evidenziabili quando si osservi una qualunque porzione di superficie in epoche successive. La vegetazione è infatti un sistema aperto in continua trasformazione: ogni comunità vegetale è quindi un'entità dinamica e non statica.

Ogni associazione segue nel tempo le variazioni delle condizioni ecologiche, che possono essere naturali o indotte dall'azione dell'uomo sul territorio. L'inizio di processi dinamici, qualunque ne sia la causa, innesca una serie di cambiamenti nella composizione floristica della comunità vegetale che hanno ripercussioni soprattutto a livello edafico; ogni comunità, in un certo senso, funge da preparatoria per la successiva, fino al raggiungimento di un equilibrio finale con le condizioni ambientali, rappresentato da *comunità climax*.

Tralasciando in questa sede gli aspetti di dinamismo non direzionale quali fluttuazioni, rigenerazioni e cambiamenti climatici, sono di fondamentale importanza nell'Ingegneria Naturalistica i processi di successione (dinamismo direzionale), quelli cioè che portano a un susseguirsi di comunità vegetali fino al raggiungimento di uno stadio di equilibrio.

Le successioni possono essere *primarie*, quando prendono avvio da superfici nude e sono caratterizzate dall'assenza di una banca semi

preesistente. Esistono poi forme di successione che procedono a partire da situazioni seminaturali o artificiali, giungendo anche in questo caso (in assenza di ulteriore disturbo) ad uno stadio maturo: esse vengono definite *successioni secondarie*.

Osservando il passaggio da una comunità ad un'altra si nota inizialmente l'ingresso di specie non appartenenti alla fitocenosi originaria; esse vanno soggette ad una fase di espansione che provoca una trasformazione dell'associazione iniziale, rilevabile attraverso il cambiamento delle specie caratteristiche. Nel corso di tali transizioni, generalmente graduali, la superficie occupata da un'associazione viene raggiunta dai semi o da parti vegetative di altre specie, proprie dell'ambito geografico corrispondente; queste, se trovano le condizioni ecologiche adatte, riescono a riprodursi e quindi colonizzano la superficie in questione.

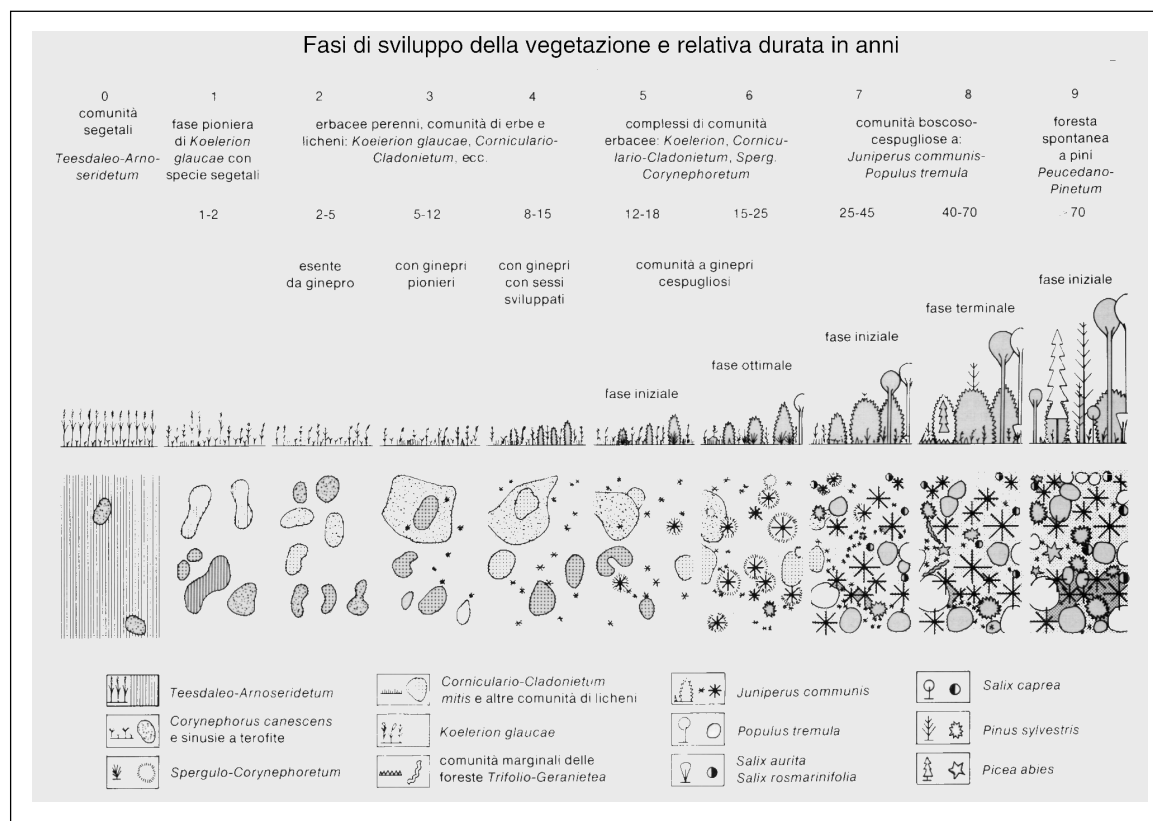
Le singole specie devono trovare non solo condizioni ecologiche che ricadano all'interno del proprio *range* di tolleranza, ma necessitano dell'*optimum* per potersi riprodurre e procedere con la colonizzazione.

La presenza significativa di nuove specie all'interno di una fitocenosi non determina solo il cambiamento della composizione floristica: essa può indurre anche modifiche di carattere fisionomico-strutturale, ad esempio quando si passa da un'associazione arbustiva ad una forestale.

Tutti i cambiamenti precedentemente descritti possono verificarsi sia in senso progressivo, con aumento della complessità vegetazionale e della biomassa, che in senso regressivo, con graduale diminuzione della complessità vegetazionale (**fig. 15.2**). Il diagramma rappresenta le fasi della successione della vegetazione in un terreno agrario abbandonato; in alto sono indicate le 9 tappe di sviluppo della vegetazione e la loro relativa durata in anni.

Un altro aspetto molto importante relativo ai cambiamenti della vegetazione è rappresenta-

Fig. 15.2 - Esempio di successione progressiva



Fonte: modificato da Falinski.

to dall'evoluzione del suolo. Il suolo riceve dalla vegetazione protezione nei confronti dell'erosione ed apporti di materia organica, riscontrabili mediante l'analisi delle caratteristiche chimico-fisiche e strutturali. D'altro lato il suolo, maturando, favorisce l'insediamento di essenze vegetali più esigenti dal punto di vista trofico.

Quando le trasformazioni dinamiche della vegetazione comportano il passaggio da un'associazione ad un'altra si parla di *successione* o *serie di vegetazione*; le associazioni che si susseguono al suo interno sono dette anche *stadi*, il più maturo dei quali viene indicato col nome di *testa di serie* (Biondi, 1994; 1996a; 1996b; Géhu, 1980; 1987; 1988; Géhu e Rivas-Martínez, 1981; Rivas-Martínez, 1976; 1987; 1996). È lo stadio più complesso da un punto di vista fisionomico-strutturale (tutte le nicchie risultano occupate), non necessariamente coincidente con il maggior grado di biodiversità.

Un esempio di serie di vegetazione è rappresentato dalla serie appenninica neutro-basifila denominata *Scutellario columnae-Ostryeto carpinifoliae sigmetum*. Essa presenta come tappa matura un bosco mesofilo a dominanza carpino nero, la cui diffusione è favorita dalla ceduzione. Sui versanti esposti a sud la roverella tende a espandersi a scapito del carpino nero, la struttura del bosco diventa più aperta e si verifica l'ingresso di numerose specie arbustive quali *Cytisus sessilifolius*, *Juniperus oxycedrus* e *Prunus spinosa*, origi-

nando così la subassociazione denominata *Scutellario columnae-Ostryetum carpinifoliae cytisetosum sessilifolii*.

Lo stadio di sostituzione del bosco è rappresentato dai mantelli e dagli arbusteti a *Spartium junceum* e *Cytisus sessilifolius* (*Spartio juncei-Cytisetum sessilifolii*). Le tappe a fisionomia erbacea sono rappresentate dalle praterie riferibili alle associazioni *Brizo mediae-Brometum erecti* su suoli evoluti e *Asperulo purpureae-Brometum erecti* su versanti acclivi e suolo più sottile.

Una successione può essere di due tipi principali:

- *serie climatofila* (a *determinismo climatico*), in cui gli stadi sono influenzati principalmente dalle condizioni climatiche dell'ambiente in cui si trovano;
- *serie edafofila* (a *determinismo edafico*), in cui gli stadi sono influenzati principalmente dalle condizioni trofiche dell'ambiente in cui si trovano ed in particolare dal suolo.

Ulteriori precisazioni vanno fatte per le serie a determinismo edafico, che a loro volta si dividono in:

- *edafoxerofila*, dipendenti da particolari condizioni di aridità edafica (che diventano fattore limitante, con una certa indipendenza dal clima);
- *edafoigrofila*, dipendenti da particolari condizioni di umidità edafica (che diventano fattori di compensazione rispetto alle condizioni climatiche).

L'esistenza di fattori limitanti può bloccare una serie (primaria o secondaria) ad una tappa intermedia, impedendole il raggiungimento dello stadio maturo. In questi casi si instaura uno stadio temporaneo pressoché stabile denominato *paraclimax* o *pseudoclimax*. La successione riprende la sua normale evoluzione appena cessano i fattori limitanti.

Quando la vegetazione è soggetta a disturbi di entità medio-bassa va incontro alla *degenerazione*; questo è un processo che interessa la struttura della vegetazione e la sua composizione floristica, entrambe però non subiscono un cambiamento drastico.

L'associazione non perde la sua identità ma può subire un diradamento della volta arborea e dello strato arbustivo, se si tratta di formazioni forestali e pre-forestali, oppure una diminuzione del grado di ricoprimento, se si tratta di formazioni erbacee; per quanto riguarda la composizione floristica si verifica l'ingresso di specie estranee. Ad esempio, in una fitocenosi erbacea interessata da disturbo di tipo antropico può avere luogo un aumento di specie nitrofile come *Alliaria petiolata*, *Urtica dioica*, *Stellaria media*.

Il processo inverso al precedente è la *rigenerazione*; anche in questo caso non si verifica un sostanziale cambiamento all'interno dell'associazione. Se la volta arborea è rada possono originarsi delle vere e proprie cicatrizzazioni della vegetazione, in modo tale che i segni della degenerazione non siano più evidenti.

Esistono anche delle *dinamiche di tipo regressivo* che si innescano a seguito di un disturbo di entità medio-alta ripetuto nel tempo

o prolungato. È il caso, ad esempio, della lecceta che, per eccessivo utilizzo (ceduazione, fuoco, pascolamento), cede il posto a cenosi di sostituzione a fisionomia basso-arbustiva denominate *garighe* e quindi a vegetazione xerofitica steppica (fig. 15.3). La regressione è anche accompagnata da un impoverimento del terreno, a conferma della correlazione esistente tra vegetazione e suolo.

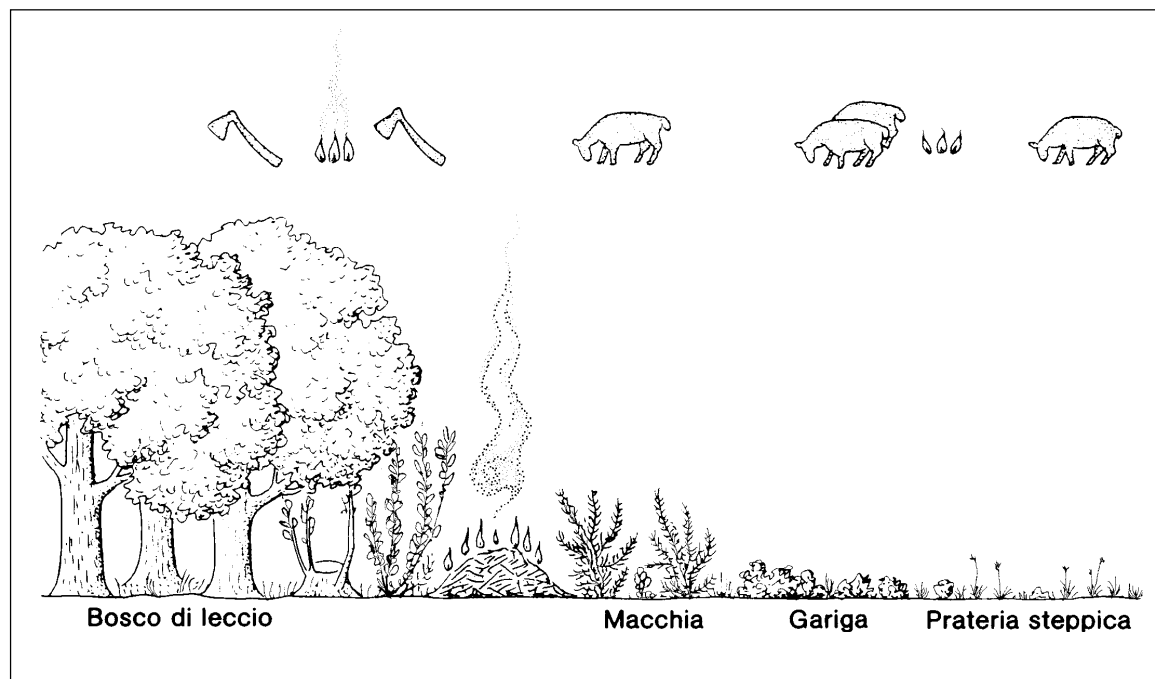
Il fenomeno regressivo può essere reversibile o irreversibile. Nel primo caso la vegetazione originaria riesce a ripristinarsi una volta terminata l'attività di disturbo e la successione che viene a crearsi è di tipo secondario. Nel secondo caso, per continuata e prolungata attività di disturbo, gradualmente si insedia una vegetazione meno evoluta e complessa fino ad ottenere, in casi estremi, il suolo nudo, fenomeno che va sotto il nome di *desertificazione*.

La vegetazione originaria non si ripristina più spontaneamente, perché le condizioni ambientali sono irreversibilmente cambiate. Un esempio tipico e diffuso è quello dei calanchi in cui, su substrati argillosi soggetti ad erosione accelerata, l'utilizzo intensivo ha innescato fenomeni degenerativi.

Queste considerazioni evidenziano l'utilità di ripristinare gli stadi evolutivi intermedi, attraverso le tecniche di Bioingegneria, allo scopo di facilitare l'attivazione dei naturali fenomeni di successione progressiva ed aumentare le possibilità di successo insediativo della vegetazione matura.

Fino a questo punto sono stati analizzati i meccanismi che intervengono nei fenomeni evolutivi senza considerare in quanto tempo essi av-

**Fig. 15.3** - Schema delle principali linee evolutive della foresta di leccio e delle sue sostituzioni per azione antropica



Fonte: Polunin e Walters, 1987.

vengono; solo recentemente sono stati avviati degli studi per rispondere a tale quesito.

Dai primi risultati ottenuti (Biondi *et al.*, 1997; Ballerini e Biondi, 2002) su alcune aree permanenti nelle Marche è emerso che nei casi di avanzamento frontale degli stadi della serie, per i primi 3-4 anni dall'abbandono dei campi si insediano fitocenosi erbacee principalmente costituite da specie annuali; successivamente e per circa 10 anni esse evolvono verso uno stadio caratterizzato dal falasco (*Brachypodium rupestre*); i prati insediatisi posteriormente restano stabili per circa 40 anni.

Dagli stessi studi sono emerse anche importanti informazioni riguardo l'avanzamento degli arbusteti, che è risultato essere di circa 1-2 m l'anno. Per ciò che riguarda la vegetazione forestale è stato osservato che l'avanzamento del bosco di roverella (*Quercus pubescens*) è di qualche metro nell'arco di 35 anni, mediante disseminazione di tipo balistico; l'avanzamento del bosco di carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) nello stesso periodo è di circa 20 m, mediante disseminazione anemocora.

Tali tempi risultano ancora minori qualora siano presenti – o vengano creati – dei nuclei arbustivi e/o arborei che fungano, appunto, da centri di nucleazione del processo di recupero che può svolgersi così su un fronte più ampio e articolato. Questa eterogeneità iniziale consente di originare situazioni microstazionali differenziate e una maggiore ricchezza della banca semi, fattori che agevolano il processo di rigenerazione.

Le esigenze di recupero ambientale sono molteplici: si pensi a cave, discariche, aree dissestate o contaminate, ferite del paesaggio di varia origine.

Le tecniche dell'Ingegneria Naturalistica basate su una lettura fitosociologica del paesaggio vegetale possono abbreviare i tempi della successione naturale, ricostituendo rapidamente le strutture di protezione del suolo.

Qualsiasi formazione vegetale, anche la più elementare (come licheni e muschi), rappresenta infatti una forma di difesa contro l'erosione; è con il bosco – ove questo è potenziale – che questa azione è portata al massimo livello di efficienza. Anche le praterie di specie perenni con cotico erboso continuo rappresentano un'ottima difesa contro i processi erosivi.

## 15.2 La Fitosociologia applicata alle problematiche ambientali

Nel precedente paragrafo sono state evidenziate le principali tendenze evolutive cui è sottoposta la vegetazione.

Dall'osservazione diretta di un qualunque territorio appare evidente la presenza di comunità vegetali molto differenziate e spesso frammentate, tra le quali esistono relazioni di vario tipo. Gli strumenti di indagine della Fitosociologia dinamica consentono, attraverso l'analisi integrata della vegetazione e delle ca-

ratteristiche ambientali, di individuare da un lato le relazioni esistenti tra ciascuna tipologia vegetazionale ed i corrispondenti parametri ecologici, dall'altro le relazioni dinamiche che legano tra loro fitocenosi appartenenti alla medesima serie di vegetazione.

L'insieme di porzioni di territorio con le medesime caratteristiche ecologiche – per ciò che concerne gli aspetti geomorfologici, climatici, pedologici, ecc. – e la stessa potenzialità vegetazionale (dove cioè può svilupparsi un'unica *serie di vegetazione*) viene detto *tessella*. La tessella rappresenta l'unità biogeo-grafico-ambientale di base del mosaico che costituisce il paesaggio vegetale.

Il numero delle tappe di sostituzione (o *stadi della serie*) presenti all'interno di una tessella dipende dal tipo di serie e dal disturbo antropico cui essa è soggetta, in quanto, come detto sopra, la *tappa matura* può non essere mai raggiunta per la presenza di fattori limitanti.

Una volta individuate tali correlazioni in modo univoco è possibile ottenere, partendo dalle attuali condizioni della vegetazione, informazioni di tipo predittivo e prospettare dei possibili scenari sulla base della *potenzialità* propria di ciascuna tessella. Ciò è di fondamentale importanza nella definizione dei programmi di gestione e nella scelta degli interventi da attuare, poiché consente di ottimizzare le attività sulla base della reale vocazione del territorio.

Un territorio esteso come una vallata, un monte, un tratto di costa può presentare al suo interno più tesselle e quindi più serie di vegetazione distinte; di conseguenza tra le varie associazioni presenti si determinano relazioni non solo di tipo dinamico ma anche di tipo spaziale (catenale); serie di vegetazione differenti vengono a trovarsi in semplice contatto spaziale, una vicino all'altra.

La Geosinfitosociologia studia le serie di vegetazione presenti in unità di paesaggio complesse.

L'approccio *geosinfitosociologico* permette lo studio del paesaggio non solo dal punto di vista estetico (*fenopaesaggio*) evidenziando ciò che appare, ma anche dal punto di vista strutturale, funzionale, ecologico, ecc. (*criptopaesaggio*) evidenziandone gli aspetti che non sono immediatamente visibili.

L'approccio globale seguito dalla Fitosociologia presenta quindi numerosi risvolti applicativi.

Con la Fitosociologia classica è possibile risalire allo stato dell'ambiente mediante lo studio delle fitocenosi presenti.

La Sinfitosociologia permette di dare utili indicazioni in fase di recupero ambientale, e perciò anche alla Bioingegneria.

Lo studio dei sigmeti permette l'utilizzo di specie e di cenosi vegetazionali atte ad innescare le dinamiche naturali nel minor tempo possibile; anche se queste inizialmente non presentano alcun riscontro economico immediato, la



loro certa riuscita garantisce nel lungo periodo una minore manutenzione ed una valida protezione del suolo.

Infine, le indicazioni della Geosinfitosociologia permettono di inserire qualsiasi opera di recupero ambientale all'interno del contesto paesaggistico a cui essa appartiene, senza che si verifichino impatti formali e sostanziali come quelli prodotti, ad esempio, dall'impianto di conifere, specie alloctone largamente utilizzate sul territorio nazionale con conseguenti problemi relativi all'inquinamento della flora locale ed alla creazione di sistemi di vegetazione estranei e non autoregolantesi.

In sintesi, la Fitosociologia si articola su tre livelli di indagine:

- *Fitosociologia classica*: rappresenta lo studio di base della vegetazione, che definisce le associazioni dal punto di vista floristico, strutturale ed ecologico;
- *Fitosociologia dinamica o Sinfitosociologia*: rappresenta il secondo livello, che studia i rapporti dinamici tra le associazioni appartenenti alla stessa serie;
- *Fitosociologia catenale o Geosinfito-sociologia*: rappresenta il terzo livello di conoscenza fitosociologica, che studia i differenti rapporti tra le serie distribuite su ampi territori e prende in considerazione il paesaggio nella sua complessità.

### 15.3 La scelta e l'utilizzo delle specie vegetali

#### 15.3.1 La flora

Con il termine "flora" si intende l'insieme delle specie vegetali che vivono in aree determinate della superficie terrestre, come un monte, una valle, un'isola, un'intera regione oppure un continente.

La conoscenza della flora è basilare per ogni tipo di analisi ambientale; qualsiasi indagine che coinvolga un ecosistema dovrebbe iniziare dallo studio delle specie presenti, attraverso il quale si possono ottenere informazioni anche sulla corologia e sull'ecologia delle singole specie.

Conoscendo la corologia di una specie è possibile valutare il suo livello di *endemicità* o di *rarietà*, elementi necessari per qualsiasi valutazione a fini pianificatori o conservazionistici. La progressiva riduzione di ambienti naturali fa sì che anche in fase di recupero ambientale si possa prevedere l'utilizzo di specie rare o in via di estinzione (ove si riescano a ricostituire ambienti paraturali in grado di ospitarle) contribuendo, in questa maniera, anche alla conservazione della biodiversità.

Un problema attualmente molto dibattuto in campo scientifico è quello dell'*inquinamento floristico*: si tratta della diffusione di specie non autoctone che, sfuggite alla coltura, si diffondono negli ecosistemi naturali a danno delle specie locali.

Questo processo, accanto alla modificazione degli ambienti naturali, minaccia gravemente l'integrità del patrimonio vegetale a diverse scale. Sono tuttora abbastanza diffusi i casi di utilizzazione di specie estranee alla flora locale, come dimostrato dai diffusi rimboschimenti di conifere effettuati negli anni passati, o dall'ampio utilizzo della robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) impiegata in moltissime situazioni come specie consolidatrice nei movimenti terra o, infine, dall'espansione dell'ailanto (*Ailanthus altissima* (Miller) Swingle). La robinia in varie situazioni è stata sostituita con l'ontano napoletano (*Alnus cordata* (Loisel.) Desf.), specie italiana a distribuzione meridionale estranea alla flora umbra.

Contrariamente alla maggior parte delle specie di conifere, che nei climi umbri non trovano condizioni idonee alla riproduzione e quindi non si "naturalizzano", la robinia e l'ailanto hanno mostrato negli ultimi decenni preoccupanti fenomeni di espansione soppiantando in molti casi le essenze forestali autoctone grazie all'elevata velocità di accrescimento.

La diffusione di queste specie su vasti territori ha prodotto in alcuni casi alterazioni a livello sia paesaggistico che ecosistemico, alterando la struttura e la composizione floristica di numerose cenosi vegetali.

Altri esempi sono costituiti dalle pratiche di "miglioramento" dei pascoli che hanno portato spesso all'introduzione di specie estranee alla flora locale tra le quali alcune entità del genere *Festuca* (genere di difficile determinazione le cui specie vengono spesso utilizzate in maniera indiscriminata).

Altra specie non autoctona che ha avuto una forte espansione a causa delle attività antropiche è *Bromus inermis* Leyser. Questa entità, arrivata in Italia nord-orientale nei primi anni del secolo come un'"avventizia di guerra", negli ultimi anni si è fortemente diffusa in quanto utilizzata per l'inerbimento di scarpate e zone erose. I pochi esempi riportati mostrano come alcuni tentativi di intervento mediante attività di ripristino e recupero ambientale, se non supportati dal necessario bagaglio conoscitivo e da studi di settore, rischiano di produrre gravi danni mettendo ulteriormente a repentaglio il patrimonio di biodiversità non solo intraspecifica ed interspecifica, ma anche ecosistemica e paesaggistica del nostro territorio.

#### 15.3.2 Quali specie scegliere?

Le problematiche ambientali legate all'utilizzo di specie vegetali sono molte e variegate. In generale, già in fase di progettazione dovrebbe essere evitato l'uso di specie esotiche, soprattutto se queste presentano un comportamento invasivo, mentre andrebbe favorito il più possibile l'utilizzo di essenze autoctone, compatibilmente con le attitudini biotecnologiche e la possibilità di reperimento.

**Tab. 15.3 - Indicazioni di massima sull'utilizzo delle specie autoctone negli interventi di Ingegneria Naturalistica: specie erbacee**

Specie erbacee	Impiego
<i>Agropyron repens</i>	SEM/CAESP
<i>Agrostis tenuis</i>	SEM/CAESP
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	SEM/CAESP
<i>Argyrolobium zanonii</i>	SEM
<i>Bothriochloa ischaemum</i>	SEM/CAESP
<i>Brachypodium rupestre</i>	SEM/CAESP
<i>Briza media</i>	SEM/CAESP
<i>Bromus erectus</i>	SEM/CAESP
<i>Carex flacca</i>	CAESP
<i>Carex pallescens</i>	CAESP
<i>Carex pendula</i>	CAESP
<i>Carex riparia</i>	CAESP
<i>Centaurea bracteata</i>	SEM
<i>Cephalaria leucantha</i>	SEM
<i>Cistus creticus subsp. eriocephalus</i>	SEM
<i>Cistus salvifolius</i>	SEM
<i>Convolvulus cantabrica</i>	SEM
<i>Coronilla minima</i>	SEM
<i>Coronilla varia</i>	SEM
<i>Cynosurus cristatus</i>	SEM/CAESP
<i>Dactylis glomerata</i>	SEM/CAESP
<i>Danthonia decumbens</i>	SEM
<i>Daucus carota</i>	SEM
<i>Dorycnium hirsutum</i>	SEM
<i>Dorycnium pentaphyllum subsp. herbaceum</i>	SEM
<i>Festuca arundinacea</i>	SEM/CAESP
<i>Festuca circummediterranea</i>	SEM/CAESP
<i>Festuca rubra</i>	SEM/CAESP
<i>Festuca inops</i>	SEM/CAESP
<i>Galega officinalis</i>	SEM
<i>Hedysarum coronarium</i>	SEM
<i>Helychrisum italicum</i>	SEM
<i>Holcus lanatus</i>	SEM
<i>Holcus mollis</i>	SEM
<i>Holoschoenus australis</i>	CAESP
<i>Hyparrhenia hirta</i>	SEM/CAESP
<i>Koeleria splendens</i>	SEM
<i>Lathyrus pratensis</i>	SEM
<i>Lolium perenne</i>	CAESP
<i>Lotus corniculatus</i>	SEM
<i>Luzula campestris</i>	SEM
<i>Melica ciliata</i>	SEM
<i>Melilotus officinalis</i>	SEM
<i>Micromeria graeca</i>	SEM
<i>Onobrychis alba</i>	SEM
<i>Phleum ambiguum</i>	SEM

(segue)

**Segue tab. 15.3 - Indicazioni di massima sull'utilizzo delle specie autoctone negli interventi di Ingegneria Naturalistica: specie erbacee**

Specie erbacee	Impiego
<i>Phleum pratense</i>	SEM
<i>Phragmites australis</i>	SEM/CAESP
<i>Satureja montana</i>	SEM
<i>Sesleria nitida</i>	SEM/CAESP
<i>Stipa bromoides</i>	SEM
<i>Thymus serpyllus</i>	SEM
<i>Trifolium medium</i>	SEM
<i>Trifolium ochroleucum</i>	SEM
<i>Trifolium pratense</i>	SEM
<i>Trifolium repens</i>	SEM
<i>Typha domingensis</i>	SEM/CAESP
<i>Typha latifolia</i>	SEM/CAESP
<i>Vicia sativa</i>	SEM
<i>Vicia villosa subsp. varia</i>	SEM

**Legenda:** SEM = semenzale; T = talea; CAESP = cespi/rizomi; TR = trapianto; CONT = piantine in contenitore; TR = talea radicata.

Le diverse esperienze compiute suggeriscono l'utilizzo di materiale vegetale proveniente dall'area d'intervento o dai dintorni, per aumentare le probabilità di attecchimento e perché possa resistere anche agli attacchi dei parassiti locali. Questo consente inoltre la conservazione del patrimonio genetico locale, evitando l'inquinamento con genotipi di provenienza diversa. Ovviamente il reperimento del materiale in natura non deve incidere sulla capacità rigenerativa dei singoli popolamenti oggetto del prelievo.

La ricerca del materiale vegetale in campagna (finalizzata al reperimento delle specie consigliate in fase di progettazione ed inserite nell'apposita "lista tecnica") deve basarsi sulla conoscenza della flora; risulta di fondamentale importanza anche la conoscenza della fenologia delle singole specie, così da reperirle nei periodi più opportuni in base al tipo di propagazione da effettuare, senza interferire con le attività della fauna.

Nei casi in cui il reperimento del materiale vivo sia difficile, è opportuno utilizzare piantine, sementi, parti vegetative ecc. corredate da certificazione indicante la provenienza e che assicuri lo stato fitosanitario; a questo proposito è importante utilizzare piante di provenienza almeno regionale.

Per il territorio della provincia di Terni, per ogni serie di vegetazione è stato redatto un elenco di specie tipiche del corrispondente paesaggio vegetale e che, a seconda delle necessità, possono essere utilizzate nelle opere di recupero, ripristino e restauro ambientale.

Nelle tabelle 15.3-15.5 sono riportate indicazioni su come utilizzare le specie (metodi di propagazione).

## 15.3.3 Come si chiamano le specie?

Ogni relazione tecnica preliminare a progetti di recupero o di inverdimento è accompagnata da un elenco di specie vegetali. Tale elenco di specie, che riporta i nomi delle essenze da utilizzare, dovrebbe seguire le regole di nomenclatura imposte dalla Tassonomia (che studia gli organismi vegetali con lo scopo di metterne in evidenza diversità e somiglianze, e poterli così riconoscere e collocare in uno schema

**Tab. 15.4** - Indicazioni di massima sull'utilizzo delle specie autoctone negli interventi di Ingegneria Naturalistica: specie arboree

Specie arboree	Impiego
<i>Acer campestre</i>	SEM/CONT
<i>Acer monspessulanum</i>	SEM/CONT
<i>Acer obtusatum</i>	SEM/CONT
<i>Alnus glutinosa</i>	SEM/TR
<i>Carpinus betulus</i>	SEM
<i>Castanea sativa</i>	SEM
<i>Celtis australis</i>	SEM
<i>Cercis siliquastrum</i>	SEM/CONT
<i>Corylus avellana</i>	SEM/CONT
<i>Fagus sylvatica</i>	SEM/CONT
<i>Fraxinus ornus</i>	SEM
<i>Fraxinus ornus</i>	SEM
<i>Fraxinus oxycarpa</i>	SEM
<i>Laurus nobilis</i>	SEM
<i>Ostrya carpiniifolia</i>	SEM
<i>Pinus halepensis</i>	SEM
<i>Pistacia terebinthus</i>	SEM
<i>Pistacia x saportae</i>	SEM
<i>Populus alba</i>	TR
<i>Populus canescens</i>	TR
<i>Populus nigra</i>	TR
<i>Populus tremula</i>	TR
<i>Prunus avium</i>	T/SEM
<i>Prunus mahaleb</i>	T/SEM
<i>Quercus cerris</i>	SEM/CONT
<i>Quercus crenata</i>	SEM/CONT
<i>Quercus dalechampii</i>	SEM/CONT
<i>Quercus frainetto</i>	SEM/CONT
<i>Quercus ilex</i>	SEM/CONT
<i>Quercus petraea</i>	SEM/CONT
<i>Quercus pubescens</i>	SEM/CONT
<i>Salix alba</i>	T
<i>Sorbus aucuparia</i>	SEM
<i>Sorbus domestica</i>	SEM
<i>Sorbus torminalis</i>	SEM
<i>Ulmus minor</i>	T/SEM

**Legenda:** SEM = semenzale; T = talea; CAESP = cespi/rizomi; TR = trapianto; CONT = piantine in contenitore; TR = talea radicata.

**Tab. 15.5** - Indicazioni di massima sull'utilizzo delle specie autoctone negli interventi di Ingegneria Naturalistica: specie arbustive

Specie arbustive	Impiego
<i>Amelanchier ovalis</i>	SEM
<i>Arbutus unedo</i>	SEM/T
<i>Calluna vulgaris</i>	SEM
<i>Colutea arborescens</i>	T/SEM
<i>Cornus mas</i>	SEM
<i>Cornus sanguinea</i>	SEM/T
<i>Coronilla emerus</i>	SEM
<i>Cotoneaster integerrimus</i>	SEM
<i>Crataegus monogyna</i>	SEM/CONT
<i>Crataegus oxyacantha</i>	SEM/CONT
<i>Cytisus scoparius</i>	SEM/T
<i>Cytisus sessilifolius</i>	SEM/T
<i>Erica arborea</i>	SEM
<i>Erica multiflora</i>	SEM
<i>Erica scoparia</i>	SEM
<i>Euonymus europaeus</i>	SEM
<i>Frangula alnus</i>	SEM
<i>Genista germanica</i>	CONT/T
<i>Juniperus communis</i>	T/SEM
<i>Juniperus oxycedrus</i>	T/SEM
<i>Ligustrum vulgare</i>	SEM/T
<i>Lonicera etrusca</i>	SEM
<i>Lonicera implexa</i>	SEM
<i>Lonicera xylostium</i>	SEM
<i>Malus florentina</i>	SEM/CONT
<i>Mespilus germanica</i>	SEM/CONT
<i>Phillyrea media</i>	SEM
<i>Pistacia lentiscus</i>	SEM
<i>Pistacia terebinthus</i>	SEM
<i>Prunus mahaleb</i>	SEM/T
<i>Prunus spinosa</i>	SEM/T
<i>Pyracantha coccinea</i>	SEM
<i>Rhamnus alaternus</i>	SEM/T
<i>Rhamnus alpina</i>	SEM
<i>Rosa arvensis</i>	SEM
<i>Rosa canina</i>	SEM
<i>Rosa sempervirens</i>	SEM
<i>Rosa sp. pl.</i>	SEM
<i>Salix eleagnos</i>	T
<i>Salix purpurea</i>	T
<i>Sambucus nigra</i>	SEM
<i>Sorbus aria</i>	SEM
<i>Spartium junceum</i>	TR/SEM
<i>Staphylea pinnata</i>	SEM
<i>Viburnum opulus</i>	SEM
<i>Viburnum tinus</i>	SEM/T

**Legenda:** SEM = semenzale; T = talea; CAESP = cespi/rizomi; TR = trapianto; CONT = piantine in contenitore; TR = talea radicata.

tassonomico generale) per evitare il rischio di confusione. Gli elenchi di specie basati solo sui nomi volgari, oltre a non avere alcun valore scientifico, possono determinare confusioni e scambi con effetti che si ripercuotono negativamente sul valore di tutta l'opera.

Una denominazione non univoca, inoltre, autorizza il vivaista a fornire specie affini che potrebbero non essere congrue con gli obiettivi del progetto; anche in questo caso le conseguenze negative potrebbero essere molteplici. Ad esempio, con il termine generico *quercia* possono essere denominate numerose entità (*Quercus pubescens*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Quercus cerris*, per citarne solo alcune) ben distinte sia dal punto di vista tassonomico (a livello specifico) che per le diverse esigenze ecologiche.

Secondo i codici di nomenclatura la specie va indicata con un binomio (scritto in latino) in cui il primo termine (scritto con la lettera iniziale maiuscola) indica il genere di appartenenza, il secondo termine (con la lettera iniziale minuscola) indica la specie; seguono le iniziali dell'autore che per primo ha descritto l'entità in forma valida. Il binomio così composto indica scientificamente ed inequivocabilmente una determinata ed unica specie.

Le categorie inferiori alla specie, corrispondenti a sottospecie o varietà, vengono indicate con un ulteriore nome latino che segue il binomio, preceduto eventualmente dalle abbreviazioni *subsp.* o *var.*

Ad esempio, il nome scientifico del salice bianco diffuso lungo i corsi d'acqua del Centro Italia è *Salix alba* L. *subsp. alba*.

La sottospecie o la varietà alcune volte possono rappresentare un *ecotipo locale*, ossia corrispondere a popolazioni che meglio si adattano a determinate condizioni ambientali, e dotate di caratteristiche morfo-funzionali trasmissibili alla discendenza. Mediante queste sottocategorie è possibile individuare le popolazioni locali, tipiche di determinate aree geografiche; è per questa ragione che, allo scopo di ottenere i migliori risultati, il materiale vivo deve preferibilmente provenire dal sito d'opera o dai dintorni.

#### 15.3.4 Dove possono essere reperite le specie?

L'abitudine di coltivare e utilizzare specie spontanee non è ancora sufficientemente diffusa nel nostro territorio; il patrimonio floristico autoctono, che trova la sua espressione negli elenchi floristici riportati nelle pubblicazioni scientifiche, viene pressoché ignorato.

Una delle strade percorribili per il reperimento di specie autoctone da utilizzare anche nelle sistemazioni di Ingegneria Naturalistica è la creazione di vivai che siano in grado di certificare la provenienza locale del materiale vegetale. In Umbria, con la LR 4/1977 è stato istituito, da parte della Regione dell'Umbria, il Vivaio Forestale Regionale al quale vengono anche

affidati compiti di tutela, sperimentazione e ricerca per la propagazione delle essenze forestali. Tale iniziativa dovrebbe essere potenziata mediante la propagazione non solo di essenze forestali ma anche delle altre specie spontanee, sempre munite di certificazione. Inoltre i vivai dovrebbero essere la sede elettiva per la messa a punto di tecniche di propagazione delle essenze rare e/o minacciate di estinzione, da utilizzare nelle tecniche di ripristino e recupero senza gravare ulteriormente sulle esigue risorse presenti in natura.

A seconda delle tipologie e degli stadi di sviluppo delle piante da utilizzare si possono distinguere varie modalità di approvvigionamento:

- *piantine in vasetto o fitocella*: vivai anche in loco, qualora la durata degli interventi lo consenta; in questa maniera si favorisce anche la raccolta in loco di semi e/o parti vegetative di piante spontanee atte agli interventi di recupero. I vivai professionali potrebbero offrire servizi per organizzarli e mantenerli.
- *talee di media e grande dimensione*: considerata la grande quantità di materiale necessario per le opere di palizzate, fascinate, ecc. un vivaio non potrebbe far fronte a tali richieste.

A questo scopo si potrebbero programmare attività agro-forestali specifiche quali:

- impianto di boschi di salici o altre specie in aree marginali, golenali, ecc.;
- mantenimento di pascoli in zone agricole marginali per la raccolta di semi o parti di specie erbacee spontanee, ecc.
- coordinamento di attività quali la ceduzione di boscaglie in aree ripariali o golenali, la ripulitura di boschi o di aree cespugliate.

#### 15.3.5 Note sugli aspetti geomorfologici e pedologici

Negli interventi di Bioingegneria si raggiunge un pieno effetto positivo solamente con lo sviluppo di una copertura vegetale; tale copertura deve rispecchiare le caratteristiche ecologiche della stazione, cioè rientrare nella potenzialità vegetazionale propria dell'area.

Gli interventi di tipo morfologico consentono un miglioramento più formale che sostanziale delle aree da recuperare e un idoneo inserimento paesaggistico.

Tali interventi riguardano principalmente le aree estrattive (cave) e si articolano in scoronamenti, rimodellamenti e riempimenti atti a ripristinare la situazione morfologica preesistente o a cercarne una nuova di transizione con questa.

Per quanto riguarda la pedologia è impossibile pensare di innescare una pedogenesi che possa ricreare, in tempi confrontabili con il termine degli interventi, un profilo naturale di suolo; vengono qui di seguito considerati gli aspetti relativi al supporto per il germoglio e lo sviluppo di semi, talee e semenzali di varie età.

Si possono avere diversi fattori del terreno che possono risultare sfavorevoli agli interventi di Ingegneria Naturalistica, quali:

- motivi *morfologici* (roccia pura o estrema pendenza);
- motivi *fisici* del terreno (terreno compatto, incrostato o privo di granulometria fine);
- motivi *chimici* del terreno (povertà di elementi nutritivi, carenza o eccesso d'acqua);
- motivi *meccanici* (fenomeni erosivi di varia origine);
- motivi *biotici* (mancanza di pedofauna).

In questi casi, la situazione pedologica deve essere esaminata con dettaglio e, come spesso è necessario in un intervento di Ingegneria Naturalistica, si deve ricorrere a tecniche di miglioramento del terreno al fine di assicurare l'attecchimento e la sopravvivenza del manto di vegetazione che si intende creare. Il problema è complesso e si inserisce dopo gli *interventi di tipo morfologico* (rimodellamenti), a supporto degli interventi di *ripristino della copertura vegetale*. Il suolo da apportare deve rispecchiare le caratteristiche chimico-fisiche del suolo potenziale sul quel dato substrato e nelle condizioni ecologiche in questione, senza avere la pretesa di puntare ad un'immediata ricostituzione della tappa vegetazionale matura, ma seguendo quelle che sono le tappe naturali della successione dinamica di riferimento, prendendo l'esempio dal territorio circostante. Questo nel tempo garantirà un migliore successo, sia in termini quantitativi che qualitativi. Bisogna tenere presente che il suolo utilizzato può portare con sé una *banca semi* di specie ruderali e infestanti – o comunque non proprie dell'area – che possono compromettere i successivi interventi di inerbimento con specie spontanee o di messa a dimora di essenze forestali e pre-forestali. Particolare attenzione va data alla quantità di suolo da riportare. Va infatti ricordato che l'apporto di grandi quantitativi di suolo può spesso essere controproducente: quantità eccessive di suolo possono dare origine a fenomeni di instabilità o franosi legati alla formazione di una superficie di scivolamento tra la roccia e il terreno, mancando gli orizzonti di passaggio tra la roccia madre e il suolo che ne garantiscano la coesione. Per quanto riguarda la quantità e lo spessore di suolo da utilizzare (subordinatamente alle considerazioni di natura morfologica) si possono ipotizzare due modalità principali:

- *a patches*, con la creazione di tasche atte alla messa a dimora di essenze arboree ed arbustive, favorendo i processi dinamici della vegetazione attraverso il meccanismo della nucleazione finalizzato alla ricostituzione di un mosaico vegetale eterogeneo;
- *a strato uniforme*:
  - a supporto della vegetazione xerofila pascoliva;
  - a supporto della vegetazione boschiva, potendo nel contempo scegliere se favorire un processo dinamico di ricolonizzazione frontale o per nucleazione.

## Bibliografia



- Ballerini V., Biondi E., 2002  
*Dinamica di popolazioni arbustive e preforestali nell'appennino umbro-marchigiano (Italia centrale)*, Fitosociologia, 39 (1), Suppl. 2, pp. 175-183.
- Biondi E., 1994  
*The phytosociological approach to landscape study*, in "Ann. Bot.", 52, pp. 134-141.
- Biondi E., 1996a  
*La geobotanica nello studio ecologico del paesaggio*, in "Ann. Acc. It. Sci. For.", 45, pp. 3-39, Firenze.
- Biondi E., 1996b  
*L'analisi fitosociologica nello studio integrato del paesaggio*, in Loidi J. (ed.), "Avances en Fitosociología", 13-22.
- Biondi E., Baldoni M., Loiotile A., 1997.  
*Utilizzazione del territorio e successioni diacroniche della vegetazione in un'area dell'Appennino umbro-marchigiano*, in "Accademia Marchigiana di Scienze", Lettere ed Arti, Atti del Convegno Nazionale, pp. 103-159.
- Braun-Blanquet J., 1928  
*Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*, 1 ed., Berlin.
- Géhu J.M., 1980  
*La phytosociologie d'aujourd'hui*, in "Not. Fitosoc.", 16, pp. 1-16.
- Géhu J. M., 1987  
*Des complexes de groupements végétaux à la phytosociologie paysagère contemporaine*, in "Inf. Bot. It.", 18, 1-2-3, pp. 53-83, Firenze.
- Géhu J.M., 1988  
*L'analyse symphytosociologique et geosymphytosociologique de l'espace. Theorie et methodologie*, in "Coll. Phytosoc.", 17, pp. 11-46.
- Géhu J.M., Rivas-Martínez S., 1981  
*Notions fondamentales de Phytosociologie*, Ber. Intern. Symposium, Syntaxonomie, 1-33, Rinteln.
- Polunin O., Walters M., 1987  
*Guida alle vegetazioni d'Europa*, Zanichelli, Bologna, p. 232.
- Rivas-Martínez S., 1976  
*Sinfitosociología, una nueva metodología para el estudio del paisaje vegetal*, Ann. Inst. Bot. Cavanilles, 33, pp. 179-188.
- Rivas-Martínez S., 1987  
*Nociones sobre Fitosociología, Biogeografía y Bioclimatología*, in Peinado Lorca M., Rivas-Martínez S. (ed.), "La vegetación de España", pp. 19-46, Serv. de Publ. de la Univ. De Alcalá de Henares.
- Rivas-Martínez S., 1996  
*La fitosociología en España*, in Loidi J. (ed.), "Avances en Fitosociología", pp. 149-174.

Scoppola A. (tradotto da), 1994  
*Codice di Nomenclatura Fitosociologica*, Fitosociologia, 28, pp. 5-40.

Westoff V., Maarel Van Der E., 1978  
*The Braun-Blanquet approach*, 2<sup>nd</sup> ed., in R.H. Whittaker (ed.), "Classification of Plant Community", Junk, The Hague.

---

**Ammendante**

Sostanza in grado di migliorare e/o correggere la costituzione fisico-meccanica e la reazione di un terreno.

**Angolo di attrito**

È l'angolo compreso tra i grani che compongono un sedimento di natura incoerente, per effetto della pressione normale agente sugli stessi.

**Arbusto**

Pianta legnosa il cui fusto si ramifica dalla base in poi o che si sviluppa con più assi (*gemme*).

**Areale**

Distribuzione geografica generale di una specie.

**Associazione**

Unità di base della Fitosociologia. È una comunità vegetale caratterizzata da una particolare composizione floristica (specie caratteristiche o differenziali proprie, o una combinazione specifica caratteristica), e da particolari caratteristiche ecologiche, biogeografiche, successionali, storiche e antropogene.

**Astone**

Si intende sia una pianta giovane e vigorosa con il fusto coperto di rami fino alla base, sia i rami terminali dritti e poco ramificati di salici arborei, dotati di gemma apicale ed in grado di ricacciare vegetativamente, di lunghezza variabile da 1,5 a 2,5 m.

**Biocenosi**

Insieme di organismi viventi, animali o vegetali, di specie diverse che coabitano in una stessa unità di ambiente e sono strettamente legati tra loro da concorrenza e competizione nella conquista del cibo e dello spazio. Una biocenosi è in equilibrio quando i suoi componenti sono proporzionalmente distribuiti in modo che nessuna specie si propaghi a dismisura sovvertendo l'equilibrio ambientale ed è completa quando è composta da organismi produttori (piante verdi), da organismi consumatori (erbivori, carnivori) e da compositori (batteri, funghi).

**Biodiversità**

Varietà e molteplicità degli organismi, intesa ad ogni scala dimensionale e livello di organizzazione dei sistemi viventi. Può essere quantificata sia a livello di geni o di genotipi, che a livello di specie o a quello di comunità biotica, habitat, ecosistema. Ai fini della conservazio-

ne dell'ambiente, include anche le varietà di piante coltivate, razze animali domestiche, risorse naturali ed espressioni etniche o culturali della specie umana.

**Bulbillo**

Gemme che si possono formare in varie parti della pianta (bulbo, ascella fogliare) e che possono, cadendo al suolo e mettendo radici, formare una nuova pianta.

**Camefite**

Piante perenni, alla base legnose, con le gemme fino a 30 cm da terra.

**Capacità portante limite**

È il valore massimo della pressione che una struttura esercita sul terreno; superato il valore limite si verifica la rottura del terreno ed il cedimento dell'opera.

**Ceduazione**

Taglio raso terra di fusti (rami) di latifoglie con facoltà di propagazione vegetativa per provocare successivamente l'emissione di polloni da ceppaia che possono venire utilizzati periodicamente.

**Cespo**

Insieme di rami, di steli o di foglie nati dalla stessa radice in forma di ciuffo.

**Climax**

Concetto teorico che indica la tappa finale di equilibrio stabile nel processo di successione vegetazionale. L'aggettivo corrispondente è *climacico*.

**Coefficiente di resistenza**

Coefficiente che individua le perdite di carico dovute alla scabrezza al contorno o ad un ostacolo.

**Coesione**

Forza di adesione che agisce tra le particelle costituenti un sedimento.

**Compost**

Sostanza miglioratrice, biologicamente, del terreno ottenuta da residui organici (foglie, erba, specie perenni, legno tritato, corteccia). Dalle discariche dei rifiuti si ottengono *compost* derivati da questi, che devono venire analizzati prima del loro impiego circa la loro idoneità (chimismo, tossicità).

**Compressione**

Sollecitazione indotta su un elemento di pro-

va da due forze con verso opposto e convergente e con la medesima direzione parallela o perpendicolare alla fibratura del legno (che corrisponde all'asse longitudinale dell'elemento).

#### **Comunità vegetale**

Insieme più o meno omogeneo di piante appartenenti a *taxa* distinti, che coesistono all'interno di un determinato biotopo. È sinonimo di *fitocenosi*.

#### **Contorno bagnato**

È il perimetro della sezione di un corso d'acqua.

#### **Corologia**

Settore della geobotanica che studia la distribuzione delle specie vegetali sulla superficie terrestre, in relazione a fattori storici, geografici ed ecologici.

#### **Cotico**

Porzione di terreno comprendente l'insieme degli steli e degli apparati radicali delle specie erbacee.

#### **Culmo**

Fusto di graminacee, caratterizzato dall'alternarsi di porzioni vuote (internodi) e porzioni piene (nodi). Generalmente è erbaceo.

#### **Cultivar**

Varietà di piante coltivate.

#### **Cure colturali**

Tutti i provvedimenti atti a favorire la crescita e lo sviluppo delle piante. Possono essere: a) cure di completamento fino alla chiusura del soprassuolo; b) cure di mantenimento per mantenere le funzioni tecniche ed ecologiche richieste (tagli di potatura e sfoltimento).

#### **Diametro medio dei sedimenti**

È il valore medio (statistico) del diametro dei sedimenti campionati, sulla base di una curva granulometrica.

#### **Disco pacciamante**

Dischi in vari materiali, forme e dimensioni, utilizzati per controllare lo sviluppo della vegetazione erbacea alla base degli alberi/arbusti di piccole dimensioni.

#### **Drenaggio**

Consiste in un sistema di canalizzazioni principali e secondarie che portano al prosciugamento del terreno con l'allontanamento costante dell'acqua.

#### **Drenanti**

Tutti i sistemi artificiali (tubazioni forate) e naturali (fascine, sistema radicale) atti ad allontanare per scorrimento o assorbimento l'acqua in eccesso nel terreno.

#### **Durabilità naturale**

Consiste nella capacità del legno di resistere al

deterioramento causato da organismi che attaccano il materiale.

#### **Ecocelle**

Zolle di terra nelle quali è contenuta una microporzione di cenosi vegetale e pedofauna, nonché una parte di profilo pedologico. Tali zolle vengono in genere trapiantate mediante l'impiego di scavatori con benna.

#### **Ecosistema**

Sistema biologico aperto e autoregolato formato dalla biocenosi e dai processi funzionali delle sue interazioni (ecofunzioni).

#### **Ecotono**

Zona di passaggio tra un biotopo ed un altro.

#### **Edafico**

Concernente le caratteristiche del suolo.

#### **Elemento corologico**

Ciascuno degli elementi costituenti una flora comprendente un gruppo di specie aventi simili caratteristiche distributive.

#### **Emicriptofite**

Piante perenni con le gemme a livello del suolo.

#### **Erosione meteorica**

Asportazione della parte superficiale del terreno o di una roccia ad opera di agenti atmosferici. L'azione del vento risulta essere più accentuata nei periodi di siccità e con mancanza di copertura erbacea e/o arbustiva-arborea a protezione del terreno.

#### **Fanerofite**

Piante perenne legnose con le gemme a più di 30 cm dal suolo (alberi ed arbusti).

#### **Fiorume**

Residui (semi, culmi) presenti nei fienili ormai vuotati o ottenibile mediante apposita trebbiatura in prati e pascoli polifiti e naturali.

#### **Fitocenosi**

Esempio concreto di associazione vegetale.

#### **Fitosociologia**

Scienza ecologica che studia le biocenosi dal punto di vista botanico. Si occupa delle comunità vegetali, delle loro relazioni con l'ambiente e dei processi temporali che le modificano. Si avvale di un metodo induttivo e statistico, basato sul rilievo fitosociologico della vegetazione, ed ha come obiettivo la creazione di un sistema gerarchico in cui l'associazione rappresenta l'unità di base.

#### **Forme biologiche**

Corrispondono a categorie morfologico-biologiche e strutturali delle specie vegetali che si sono originate per adattamento o convergenza dei caratteri esterni in climi e contesti eco-



logici diversi. Le forme biologiche delle piante vascolari cormofitiche sono: Terofite, Geofite, Emicriptofite, Camefite, Nanofanerofite e Fanerofite.

#### **Frutice**

Arbusto, pianta perenne legnosa, ramificata fino alla base e di altezza compresa fra 1 m e 5 m.

#### **Geofite**

Piante perenni con organi ipogei (bulbi o rizomi) sui quali si trovano le gemme.

**Geosigmeto:** vedi **Geosigmetum**

#### **Geosigmetum**

Anche detto Geosigmassociazione o Geoserie, è l'unità di base della Fitosociologia integrata o del paesaggio. È costituito da più serie che si sviluppano in contatto tra loro e si sostituiscono in funzione di un gradiente ecologico (umidità, topografia, ecc.) all'interno del medesimo distretto o settore corologico.

#### **Germinazione**

Primo stadio di sviluppo; detto di semi e di spore.

#### **Germogliazione**

Uscita dal seme (detto di pianta), dalla gemma (detto di rami, fiori e frutti).

#### **Golena**

Striscia di terreno compresa compresa tra l'argine ed il letto di un fiume o di un canale, che rimane all'asciutto durante i periodi di magra.

#### **Idrofite**

Piante perenni acquatiche con gemme sommerse durante la stagione sfavorevole.

#### **Margotta**

Tecnica di propagazione vegetativa che consiste nel ricoprire una porzione di ramo, previa incisione, con terriccio. L'operazione determina l'emissione di radici nella parte trattata, che in tal modo può essere separata dalla pianta madre e messa a dimora.

#### **Meristema**

Tessuto vegetale indifferenziato che dividendosi origina i tessuti definitivi, le cui cellule sono incapaci di riprodursi.

#### **Micorrizze**

Piante inferiori (funghi) che vivono in simbiosi con le piante superiori sulle loro radici (la maggior parte delle conifere, molte latifoglie), che favoriscono in genere anche la crescita delle stesse. Sono utilizzate anche per i cosiddetti *tubercoli radicali*, cioè i batteri e gli attinomiceti che vivono in colonie sulle radici di piante superiori (ontani, olivello spinoso, leguminose). Per l'imboschimento e per le sistemazioni a verde su terreni grezzi molte piante legnose ed

erbacee perenni devono essere inoculate artificialmente con le loro micorrizze o con i batteri simbiotici, per facilitare o accelerare la crescita di queste piante su terreni biologicamente morti (inoculazione).

#### **Microclima**

Insieme delle condizioni climatiche esistenti nell'immediata vicinanza del suolo o in una determinata area della superficie terrestre.

#### **Moto permanente**

Moto di una corrente idrica ideale in cui si mantengono costanti nel tempo le caratteristiche idrauliche del flusso.

#### **Moto uniforme**

Moto di una corrente idrica ideale, in cui si mantengono costanti nel tempo e nello spazio le caratteristiche idrauliche del flusso.

#### **Nicchia ecologica**

Posto occupato da una popolazione all'interno di un ecosistema. È definita dall'ambiente fisico, dal ruolo della popolazione nella comunità e dalla sua posizione nei processi di modificazione ambientale. È definita sia da caratteristiche biologiche che da parametri fisici. Due specie dello stesso territorio non possono occupare la stessa nicchia ecologica.

#### **Orlo**

Comunità vegetali che si sviluppano negli spazi ecotonali di contatto tra la vegetazione arbustiva dei mantelli e la vegetazione erbacea delle praterie.

#### **Pacciamatura**

Copertura del terreno, dopo la semina o il trapianto, per ripararlo dal gelo, innalzarne la temperatura e limitarne l'evaporazione, in modo da accelerare la crescita della vegetazione. Può essere praticata con paglia, stame, foglie, corteccia di resinose, ecc.

#### **Pendenza**

Si esprime con un rapporto numerico tra la proiezione sull'asse  $y$  (altezza) e quella sull'asse  $x$  (base) di un piano inclinato.

#### **Periodo di riposo vegetativo**

È quel periodo durante il quale lo sviluppo della pianta viene rallentato fino alla quiescenza, per consentire il superamento della stagione invernale.

#### **Piano bioclimatico**

Designa ciascun ambiente o gruppo di ambienti che si susseguono secondo un gradiente altitudinale o latitudinale, delimitato in funzione di fattori termoclimatici ed ombroclimatici, a ciascuno dei quali corrisponde una determinata comunità vegetale. Ogni regione biogeo-grafica possiede piani bioclimatici peculiari, nei quali si sviluppano complessi di comunità vegetali con struttura

e composizione floristica proprie, denominati “piani di vegetazione”.

#### **Piante pioniere**

Piante in grado di attecchire da sé o con l'aiuto di simbionti (batteri o funghi) su terreni rocciosi o fortemente mineralizzati, senza concimazioni artificiali. In tal modo il terreno viene preparato per successive piante più esigenti.

#### **Pollone**

Germoglio che si sviluppa in seguito a taglio di fusti o rami. Si distinguono polloni veri (da gemme di fusti e rami) e polloni radicali (da gemme radicali).

#### **Portata**

È il volume d'acqua che passa attraverso una sezione del corso d'acqua, nell'unità di tempo. Questa grandezza è direttamente proporzionale all'ampiezza dell'alveo e alla velocità dell'acqua.

#### **Protezioni antifauna**

Sistemi meccanici (recinti, laminati di metallo, plastica, rete) o chimici (spruzzature, spennellature) atti a difendere le piante legnose dai morsi della selvaggina o del bestiame al pascolo.

#### **Psammofilo**

Di specie tipica di ambienti costieri sabbiosi.

#### **Recupero**

Operazioni attraverso cui è possibile far tornare un ecosistema a condizioni di accettabilità, dopo una fase di degrado (*A come Ambiente*).

#### **Resilienza**

Capacità di recupero di un sistema ecologico (paesaggio) una volta passati gli elementi perturbatori.

#### **Resistenza al taglio dei terreni**

Relazione esistente tra lo stato tensionale tangenziale, stato tensionale normale effettivo, tangente all'angolo d'attrito e coesione. Questo rapporto viene espresso tramite la “legge di Coulomb”.

#### **Resistenza allo sfilamento**

Sforzo necessario per estrarre dal terreno un elemento piano (geogriglia) o cilindrico (palo di legno, tondini di acciaio, radici).

#### **Rinaturalizzazione**

Insieme di operazioni di ripristino di ambiti paesaggistici intervenuti dall'uomo al loro stato originario.

#### **Rinaturazione**

Insieme di processi con i quali si vuole incrementare la quantità di natura presente su un dato territorio, portando forme naturali in ambienti già naturali.

#### **Ripristino**

Operazioni attraverso cui è possibile far tornare un ecosistema alla condizione iniziale, dopo una sua trasformazione (*A come Ambiente*).

#### **Riproduzione vegetativa**

Capacità di radicazione della pianta avventizia. Si ha emissione di radici da parti piccole provenienti dalla pianta madre (talee, stoloni). Da queste ha origine una pianta autonoma, dotata sia di apparato radicale che di apparato fogliare.

#### **Riqualificazione**

Termine con il quale si identificano un insieme complesso di interventi ad alta valenza urbanistica e progettuale necessari per sostituire ad aree con funzioni produttive aree di servizi alla cittadinanza, anche di tipo ecologico. Ad esempio, con il contributo delle fitocenosi si può ridurre l'inquinamento acustico ed atmosferico. In campo agricolo un intervento esemplare è quello di eliminare i concimi chimici, pesticidi e fitofarmaci.

#### **Rizoma**

Ricaccio sotterraneo persistente di numerose piante erbacee perenni o che cresce al di sopra del terreno. Essi hanno in genere una direzione orizzontale e possiedono coccodrilli fogliari e radici crescenti dal fusto, sono in genere ingrossate e riempite con sostanze di riserva.

#### **Sclerofilla**

Pianta sempreverde a foglie coriacee.

#### **Semenzale**

Pianta ottenuta in vivaio da seme e successivamente messa a dimora.

#### **Serie di vegetazione**

Unità geobotanica che esprime l'insieme di comunità vegetali o stadi che possono svilupparsi all'interno di uno spazio ecologicamente omogeneo (*tessella*) come risultato del processo della successione. Include perciò tanto la vegetazione rappresentativa della tappa matura o *testa della serie* quanto le comunità iniziali o subseriali che la sostituiscono. È sinonimo di *sigmetum*, unità di base della Fitosociologia dinamica o Sinfitosociologia.

#### **Sesto d'impianto**

Disposizione delle piante secondo uno schema che ha per base una figura rettangolare o quadrata, all'interno delle quali le piante possono essere disposte in modo regolare o irregolare.

#### **Sfalcio**

Taglio dell'erba eseguito per: a) utilizzazione come foraggio; b) favorire la formazione delle radici; c) favorire la specie a lenta crescita mediante il taglio delle specie a crescita rapida; d) tenere bassi i manti erbosi.

**Sigmeto:** vedi **Sigmetum**

**Sigmatum**

Unità tipologica della Fitosociologia dinamica o Sinfitosociologia. È l'espressione successionale di una serie di vegetazione in un territorio ecologicamente e geograficamente omogeneo, nel quale esiste un'unica associazione *climax*.

**Sinfitosociologia**

È il secondo livello di analisi nello studio del ricoprimento vegetale. Essa ha per oggetto gli insiemi di aggruppamenti vegetali legati tra loro all'interno delle serie di vegetazione, che siano climatofile o edafile.

**Sintassonomia**

Sistematica delle comunità vegetali o Tassonomia fitosociologica. Ciascuno dei ranghi che si riconoscono al suo interno è detto *sintaxon*. L'unità di base è l'associazione, cui seguono in ordine gerarchico crescente l'alleanza, l'ordine e la classe.

**Stadio:** vedi **Tappa seriale**

**Stoloni**

Ricacci laterali aerei o sotterranei con internodi molto allungati e foglie ridotte che radicano ad una certa distanza dalla pianta madre e che dopo la morte del pezzo intermedio si sviluppano come individuati autonomi.

**Successione**

Processo naturale attraverso il quale diverse comunità vegetali (stadi) si sostituiscono l'una all'altra, all'interno della stessa unità ambientale o *tessella*, dando origine a tipi vegetazionali distinti. La successione può essere progressiva e condurre ad uno stato di equilibrio (*climax*) oppure regressiva, se si allontana dalla stabilità. I due processi non seguono necessariamente le stesse tappe.

**Successione primaria**

Successione vegetazionale che si innesca in un ambiente non ancora colonizzato e privo di suolo (ad esempio, su roccia o sedimenti fluvio-glaciali recenti).

**Successione secondaria**

Successione vegetazionale che si sviluppa su suoli persistenti più o meno degradati.

**Suffrutte**

Piante le cui cacciate lignificano solo nella parte inferiore, mentre quelle superiori rimangono di consistenza erbacea e muoiono ogni anno.

**Taglio**

Sollecitazione indotta su un campione da due forze con verso opposto e direzione parallela, con andamento perpendicolare alla superficie sottoposta a sollecitazione.

**Talea**

Parte di una cacciata lignificata di specie legnosa dalla quale si sviluppa una nuova pianta, quan-

do viene introdotta nel terreno, grazie alla presenza di tessuti meristemati secondari. Si possono avere: a) *talee apicali*: provenienza dall'apice del ramo, pertanto la cacciata ha luogo dalla gemma terminale; b) *talee radicali*: parte recisa di una radice; c) *talea di rizoma*: parte recisa di un rizoma; d) *talee di culmi*: culmi di erbe che si possono moltiplicare per via vegetativa mediante il taglio e il trapianto (es. *Phragmites communis/australis*); e) *talea di gemma*: gemma di una pianta staccata, destinata alla modificazione vegetativa (es. cactacee).

**Talee di rizomi**

Parti di rizomi sminuzzati a macchia che, dopo essere stati sparsi sul terreno e ricoperti in modo adeguato con terra, emettono radici e formano così una nuova pianta.

**Tappa seriale**

In Fitosociologia dinamica designa ciascuna delle comunità vegetali, associazioni o stadi chiaramente delimitabili che sostituiscono o precedono il *climax* nel processo della successione.

**Tempo di corrivazione**

È il tempo che intercorre fra la caduta delle precipitazioni sul bacino a monte e il passaggio di quest'acqua a valle. Gli affluenti di un corso d'acqua principale hanno, di norma, tempi di corrivazione diversi e ciò impedisce il sommarsi delle onde di piena, fatto che, altrimenti, potrebbe causare problemi al regolare scorrimento delle acque.

**Tempo di ritorno**

Durata media espressa in anni, del periodo in cui un evento viene superato una sola volta.

**Tensione normale**

Tensioni agenti in direzione perpendicolare ad un piano di scorrimento o di rottura.

**Tensione tangenziale  $t$** 

Azione tangenziale esercitata dalla corrente sul contorno bagnato; quando  $t$  è maggiore della resistenza al taglio delle particelle del contorno si verificherà azione di trascinamento da parte dell'acqua sulle particelle;  $t_{cr}$ : è lo sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul contorno bagnato quando questo uguaglia la resistenza al taglio del materiale costituente l'alveo.

**Tensione tangenziale**

Tensioni agenti lungo un piano di scorrimento o di rottura.

**Terofite**

Piante annuali che superano la stagione avversa sotto forma di semi.

**Terreno di riporto**

Terreno costituito da un'elevata percentuale di scheletro, normalmente inadatto a coperture superficiali. Viene impiegato per il riempimento di strutture o di scavi.

**Tessella**

Unità di base della Biogeografia. Corrisponde a un territorio o superficie geografica, di estensione variabile, ecologicamente omogeneo. A ciascuna tessella corrisponde una precisa vegetazione potenziale, un'unica serie di comunità di sostituzione ed un unico *climax*.

**Testa della serie**

All'interno di uno spazio ecologicamente omogeneo (*tessella*) corrisponde alla tappa più matura che si realizza nel processo di successione vegetazionale.

**Trazione**

Sollecitazione indotta su un elemento di prova da due forze con verso opposto e divergente e con la medesima direzione parallela o perpendicolare alla fibratura del legno (che corrisponde all'asse longitudinale dell'elemento).

**Vegetazione potenziale**

Comunità vegetale stabile che esisterebbe in un dato territorio come conseguenza della successione progressiva se l'uomo smettesse di influire ed alterare l'ecosistema. In pratica si considera la vegetazione potenziale come sinonimo di *climax*.

---