



## L'ENERGIA IDROELETTRICA in ITALIA

**“Strumenti tecnici per una corretta valutazione del  
Potenziale Idroelettrico Massimo e Residuo”**

**J. Alterach,**

**ERSE S.p.A. (già CESI RICERCA)**

**Sabato**

**13 Giugno 2009**

# Ricerca di Sistema e l'idroelettrico

---



## Ricerca di Sistema:

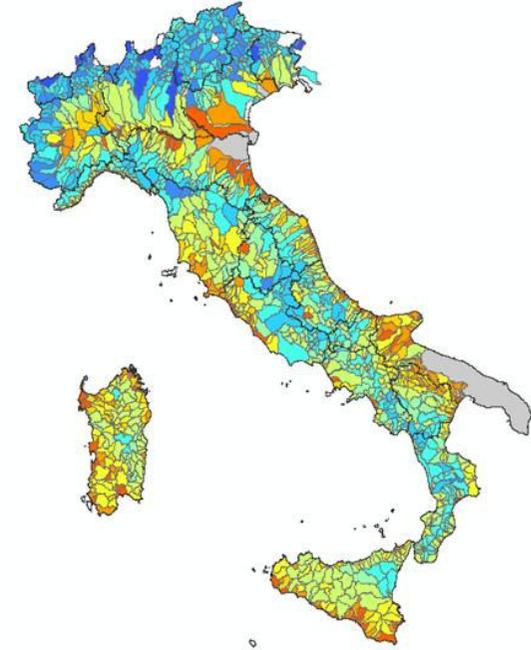
- RdS, Finalizzata all'innovazione del Sistema Elettrico per migliorarne l'economicità, la sicurezza e la compatibilità ambientale, assicurando all'Italia le condizioni per uno sviluppo sostenibile:
  - Mappe del potenziale idroelettrico italiano
  - Software di valutazione del potenziale idroelettrico residuo in aste fluviali
  - Software per la valutazione della fattibilità di piccoli impianti idroelettrici
  - Diffusione dei risultati ed strumenti

# Mappe del potenziale idroelettrico Italiano



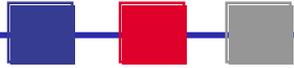
## Mappe del Potenziale Idroelettrico Italiano Progetto Ricerca di Sistema triennio 2006-2008

- Metodologia per la redazione di mappe della producibilità idroelettrica massima e residua.
- Strumento in grado di inquadrare in maniera rapida e sintetica le aree geografiche dove è maggiormente sviluppabile tale tipo di produzione.
- Applicata al territorio italiano ma esportabile in altre realtà
- Per Soggetti ed Enti interessati all'idroelettrico, ed in particolare al mini-idroelettrico
- Diffusione dei risultati e promozione per il loro utilizzo a titolo gratuito



# Potenziale idroelettrico italiano

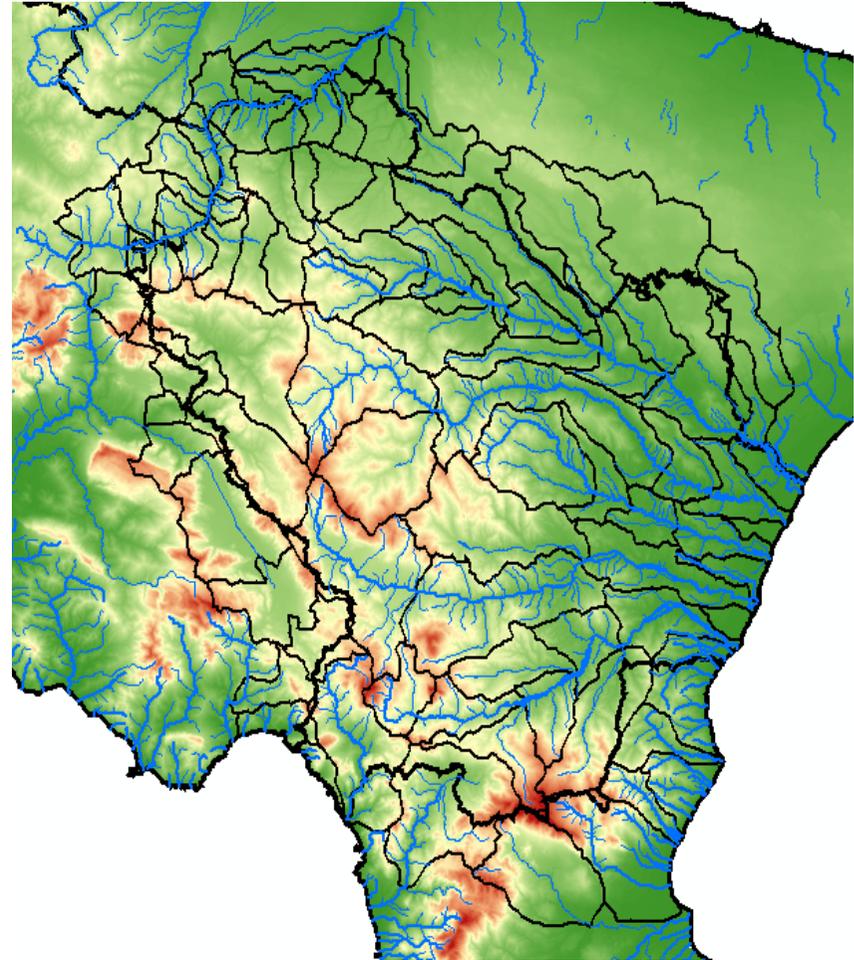
## Divisione in bacini elementari



### 1500 sottobacini

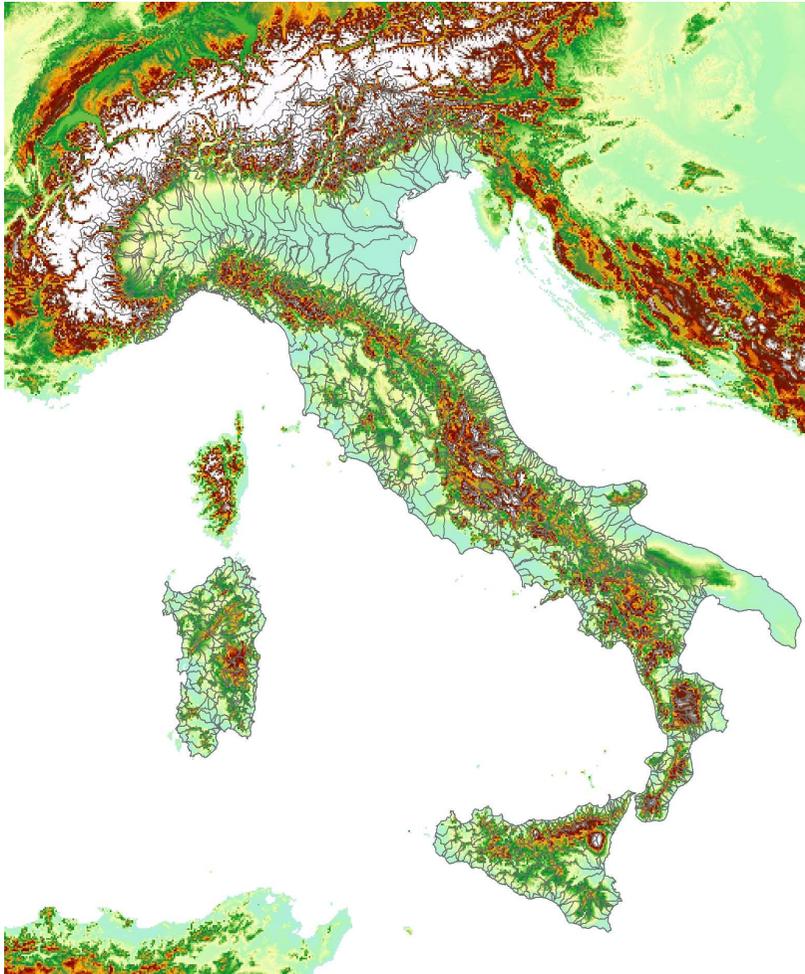
procedura algoritmica appositamente sviluppata in ambiente ArcGIS 9 si sono ottenute, per ciascuno dei bacini imbriferi elementari, le seguenti principali proprietà geomorfologiche:

- modello di elevazione del terreno (DEM);
- superficie;
- perimetro;
- altezza della sezione di chiusura;
- curva ipsografica;
- altezza media;
- posizione geografica del punto di chiusura;
- distanza tra i punti di chiusura dei bacini ed i punti di immissione del corso d'acqua a monte.



# Potenziale idroelettrico italiano

## Modello Digitale del Terreno



DEM italiano  
Digital Elevation Model  
90x90 m

Modello Digitale del Terreno (DEM).  
Scaricabile liberamente dal sito  
<http://srtm.csi.cgiar.org/> (dati elaborati  
dalla NASA)

passo orizzontale di 90 m (griglia  
quadrata) ed una risoluzione verticale  
dell'ordine del metro, che sono stati  
ritenuti sufficienti per il tipo di  
applicazione in oggetto.

# Potenziale idroelettrico italiano

## Elaborazione della precipitazione

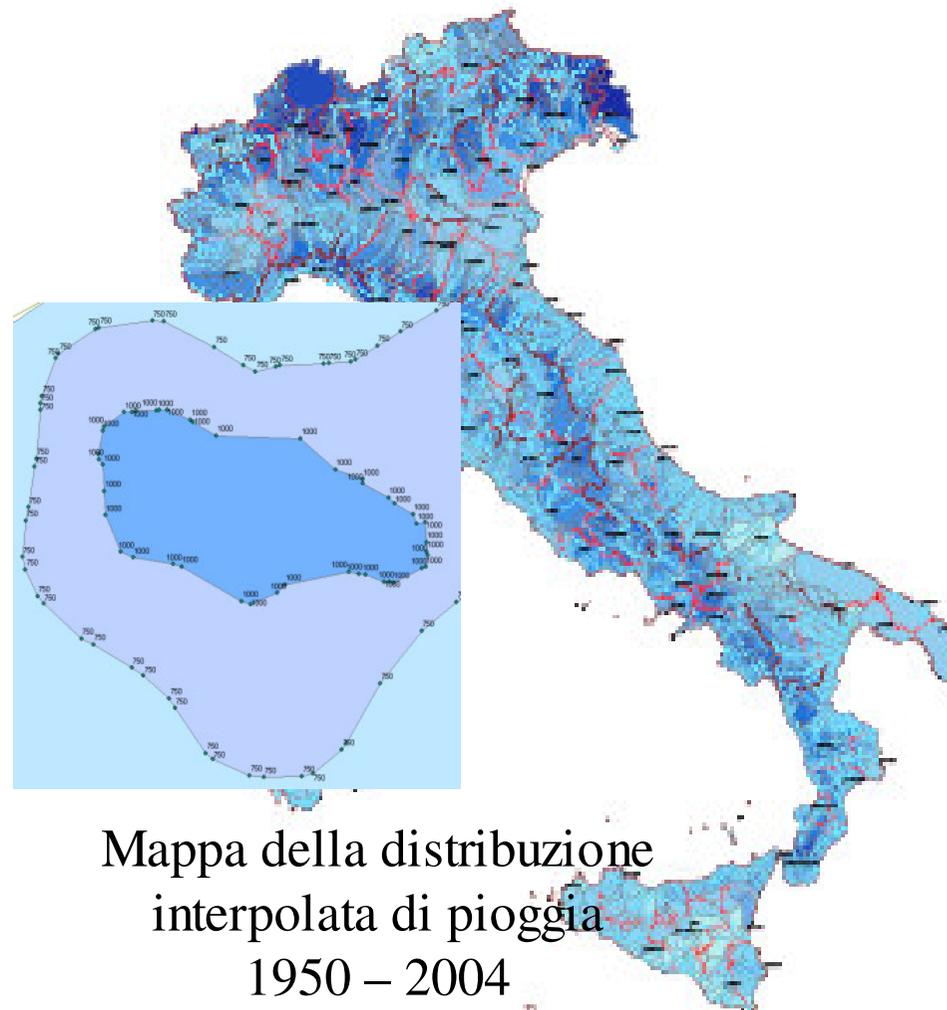


Precipitazione:  
isoiete medie annue delle precipitazioni  
nel periodo 1950-2004

Dal valore di precipitazione media annuale  
è stato quindi possibile calcolare il dato di  
afflusso meteorico alla chiusura di ciascun  
bacino.

Per il coefficiente di deflusso medio di  
ciascun bacino elementare si è fatto  
riferimento allo studio francese del Comité  
de l'Énergie Électrique Dèlègation  
Italienne

In alcuni casi il coefficiente di deflusso  
così definito è stato corretto, sulla base di  
indicazioni idrologiche e territoriali  
specifiche per ciascun bacino.



Mappa della distribuzione  
interpolata di pioggia  
1950 – 2004

# Caratterizzazione degli usi attuali



Al fine di poter calcolare il potenziale residuo, per ogni bacino elementare occorre conoscere **gli utilizzi d'acqua**, ossia le portate prelevate o restituite nelle diverse sezioni dei corsi idrici.

Ad ogni prelievo d'acqua corrisponde infatti un **“prelievo energetico”**, ossia una quantità di energia potenziale non sfruttabile, proporzionale al prodotto tra portata stessa e dislivello tra quota del prelievo e sezione di calcolo; analogamente, ad ogni restituzione corrisponde una quantità aggiuntiva di energia potenziale sfruttabile.

Per ogni punto di prelievo o restituzione occorre quindi conoscere sia il **valore della portata media** sia la **quota sul livello del mare**.

- Uso Irriguo
- Uso Potabile:
- Uso Industriale:
- Uso idroelettrico:

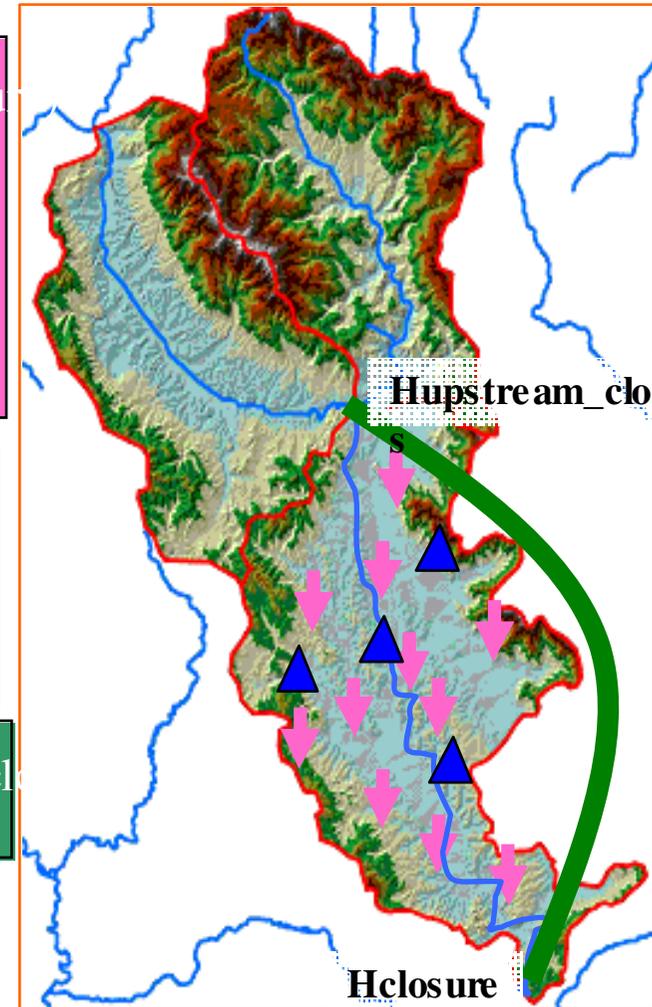
# Calcolo del potenziale idroelettrico residuo

$$E_{own\_mif} = Conv \cdot g \cdot \eta \cdot (Q_{aff} - MIF_{aff}) \cdot (H_{mean} - H_{closure})$$

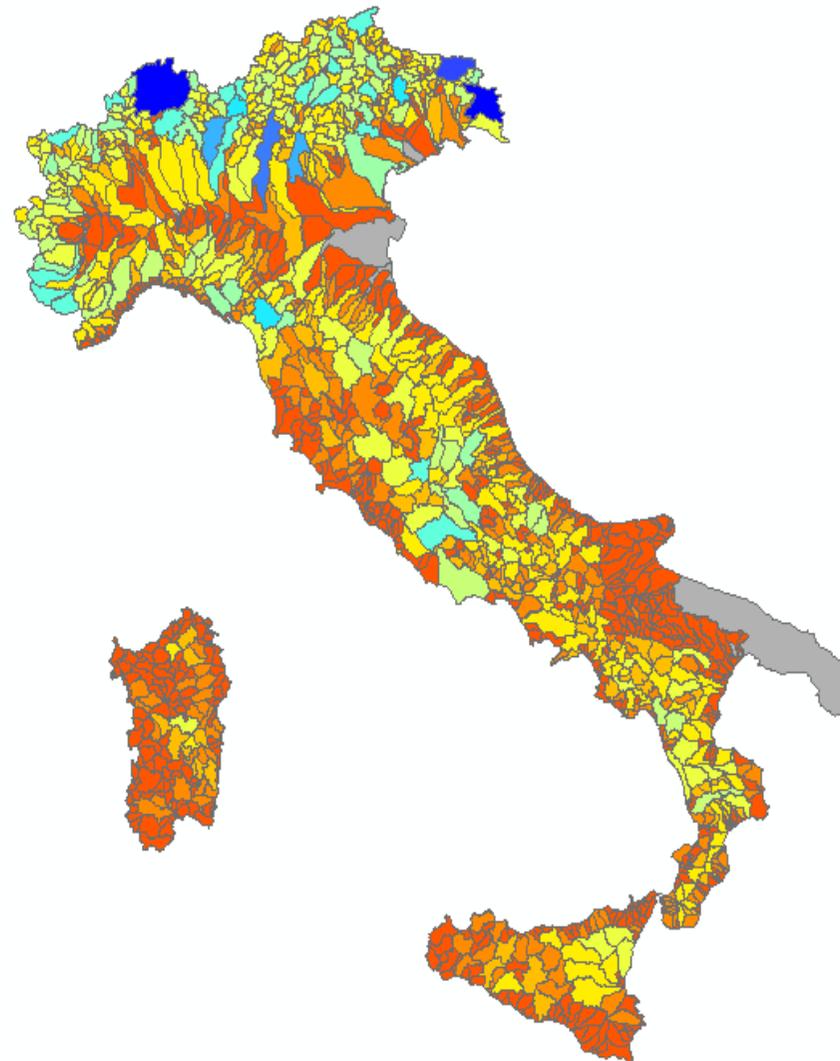
$$E_{with} = Conv \cdot g \cdot \eta \cdot \sum_j q_j \cdot (h_j - H_{closure})$$

$$E_{up\_res} = Conv \cdot g \cdot \eta \cdot (Q_{up\_ant} - MIF_{ups}) \cdot (H_{upstream\_clos} - H_{closure})$$

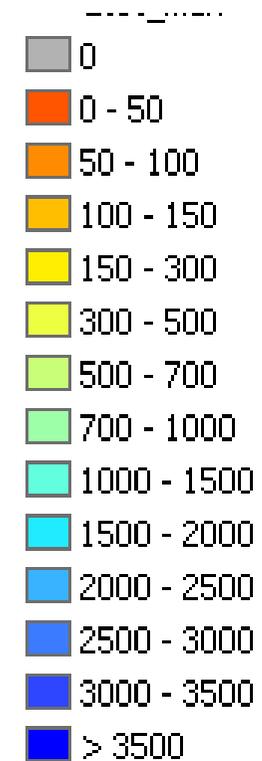
$$E_{tot\_res} = E_{own\_mif} + E_{up\_res} - E_{with}$$



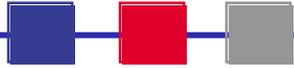
# Massimo Potenziale Idroelettrico Italiano



GWh/anno

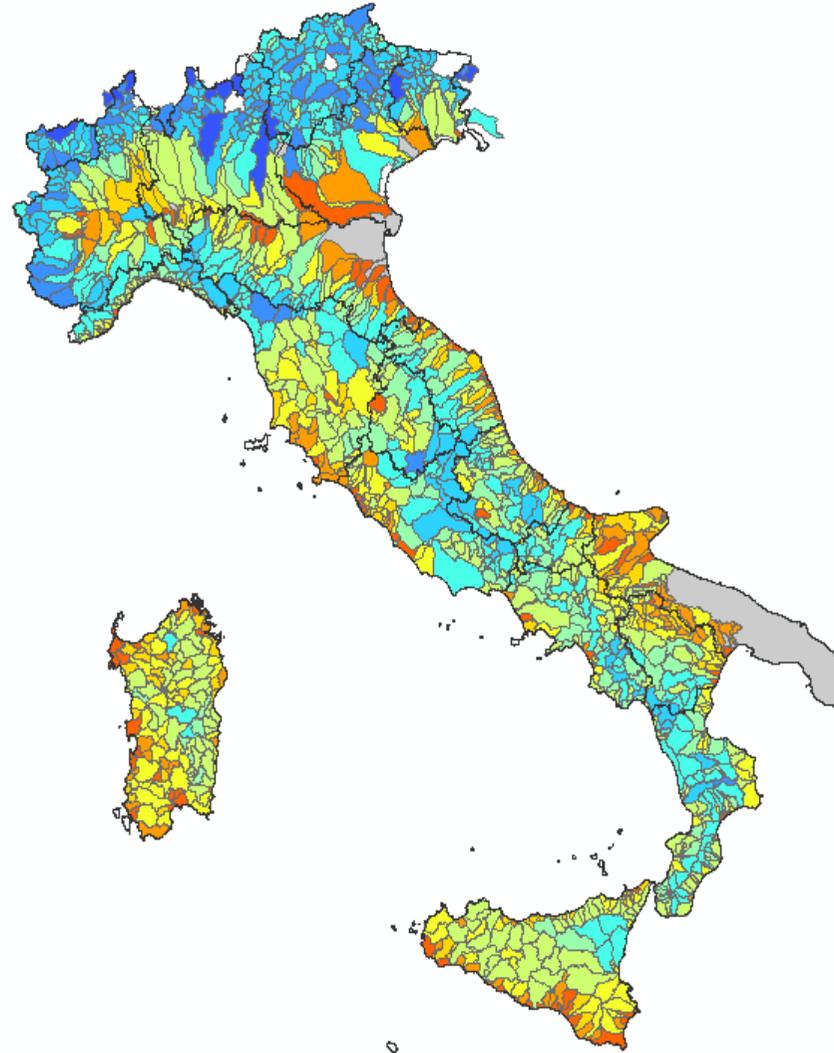


# Massimo Potenziale Idroelettrico Specifico

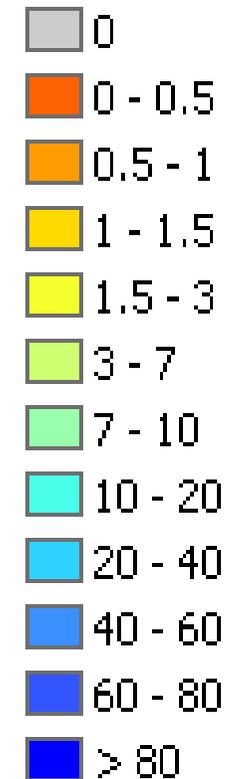


$$\text{Esp\_max} = \frac{\text{Eown\_max}}{A^{0,5}} + \frac{\text{Eup\_max}}{L}$$

A= area del bacino  
L= distanza tra la  
chiusure a monte e  
a valle del bacino



GWh/anno/km

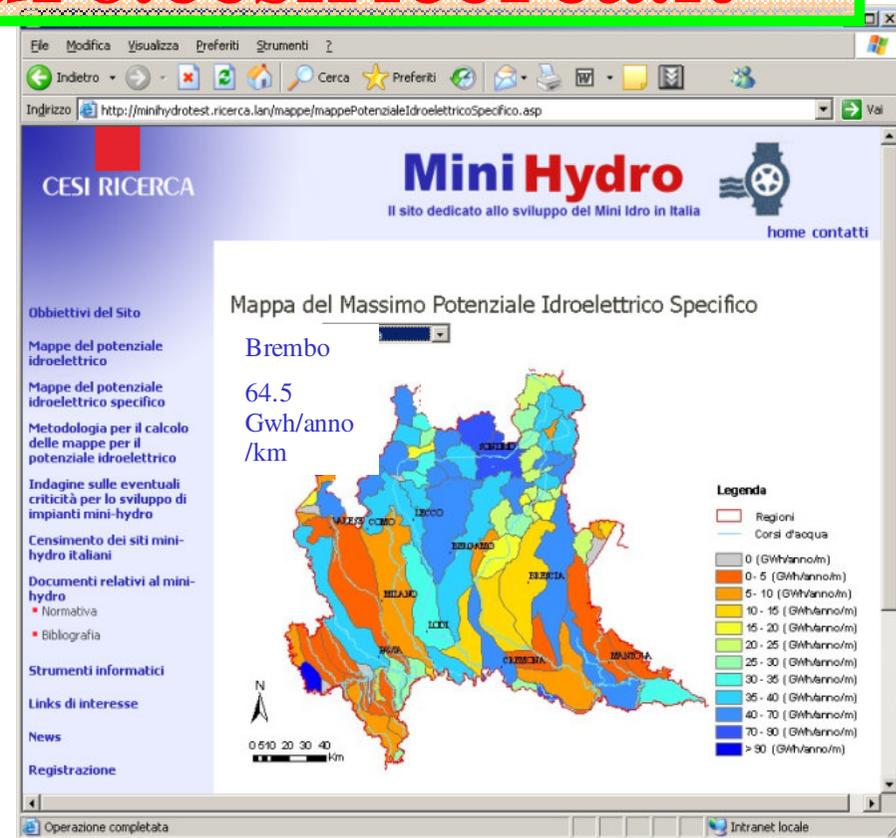


# Disponibilità idrica e producibilità idroelettrica

<http://minihydro.cesiricerca.it>



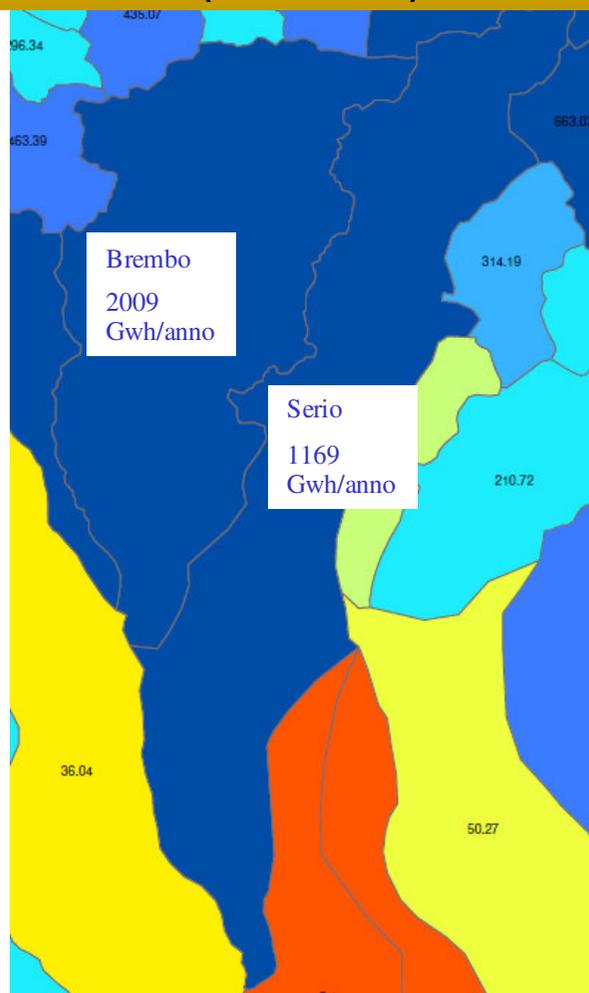
Regione Lombardia – Massimo Potenziale Idroelettrico (GWh/anno)



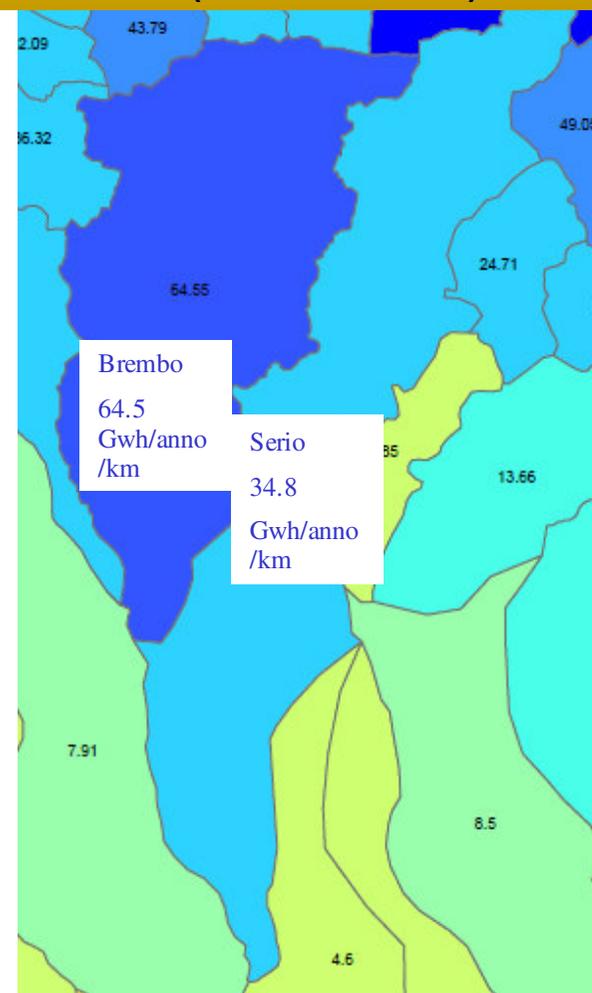
Regione Lombardia – Massimo Potenziale Specifico (GWh/anno/km2)

# Producibilità idroelettrica, Serio e Brembo

**Massimo Potenziale Idroelettrico  
(GWh/anno)**



**Massimo Potenziale Specifico  
(GWh/anno/km)**



# Mini-hydro 2009-2011



## Ricerca di Sistema 2009- 2011

- Mappe del potenziale effettivo, considerando limitazioni tecnico-economiche e barriere non tecnologiche (parchi naturali, aree protette ecc)
- Mappe del potenziale recuperabile mediante lo sfruttamento idroelettrico del DMV dei grandi e medi impianti e delle reti acquedottistiche



# VAPIDRO-ASTE

- VAPIDRO-ASTE calcola automaticamente i sottobacini interessati all'asta fluviale in studio, i salti dedotti dal DEM ed il potenziale idroelettrico residuo tenendo conto delle portate misurate.
- Considera gli attuali usi plurimi della risorsa idrica (usi irrigui, potabili, attuali idroelettrici ecc.) ed il Deflusso Minimo Vitale in ogni sezione.
- Valuta, mediante funzioni di correlazione, i costi dell'investimento iniziale e gestionali ed i benefici derivati dalla vendita dell'energia per le possibili localizzazioni impiantistiche lungo l'asta fluviale.
- Consente il posizionamento di futuri impianti idroelettrici per lo sfruttamento del potenziale residuo, ottimizzando i parametri di valutazione finanziaria (VAN B/C IRA) e rispettando i vincoli degli attuali usi plurimi a valle ed a monte.
- Visualizzazione nelle mappe integrate col GIS lo schema di impianti ottimizzati.
- I risultati possono essere quindi stampati o esportati verso l'EXCEL ed altri strumenti GIS.

# VAPIDRO – ASTE

## Creazione di un progetto nuovo – scelta della zona

**Crea FILL\_DTM**

- Seleziona Fiume
- Taglia DTM; Crea FILL

**Selezione del fiume di interesse**

Selezionare il fiume di interesse

- SENETA
- SENIO
- SENNA
- SENO D'ELVIO
- SENORE
- SENTE
- SENTINO
- SENTIRONE
- SERAPOTAMO
- SERCHIO
- SERCHIO DI DALLI
- SERCHIO DI GRAMOLAZZO
- SERCHIO DI SORAGGIO
- SERCIA
- SERENZA
- SERGAU
- SERINA
- SERIO**
- SERLATE
- SERMENTUS
- SERMENZA
- SERNELLA
- SERRA
- SERRAGLIO
- SERRAPOTAMO

OK

# VAPIDRO – ASTE

## Assegnazione delle portate medie nell'asta d'interesse

**Portate**

Consente di assegnare un determinato valore di portata al punto di chiusura di un sottobacino. Scegliere il punto sull'asse del fiume, all'interno del dato sottobacino. Se si assegnano più punti a uno stesso sottobacino, l'ultimo sostituisce i precedenti.

**Operazioni**

Cancella tutti i punti di portata già esistenti

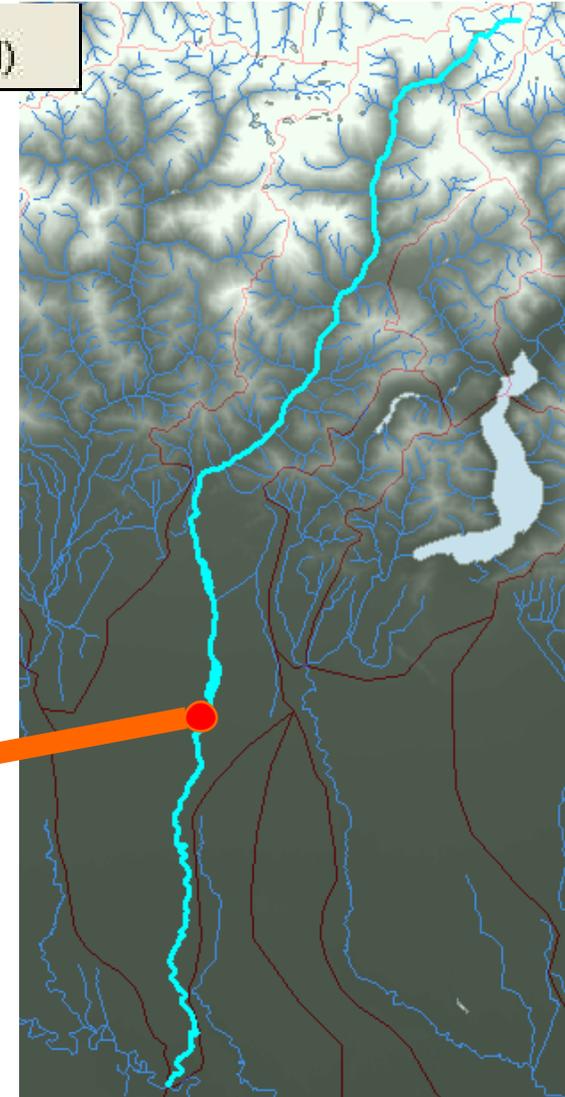
Cancella singolo punto di portata

Modifica il valore di portata del punto selezionato

**Aggiungi un nuovo punto**

OK

Assegna Portate (Qmed)



Per aggiungere un punto di portata, si clicca sul punto dell'asse fluviale al quale la portata deve essere associata. Compare allora la seguente maschera, che consente di introdurre i valori di portata

**Valore Portata**

**Inserire portata [mc/s]**

1 valore di media annua  
[valori antropizzati (misurati)]

1 4.2 3

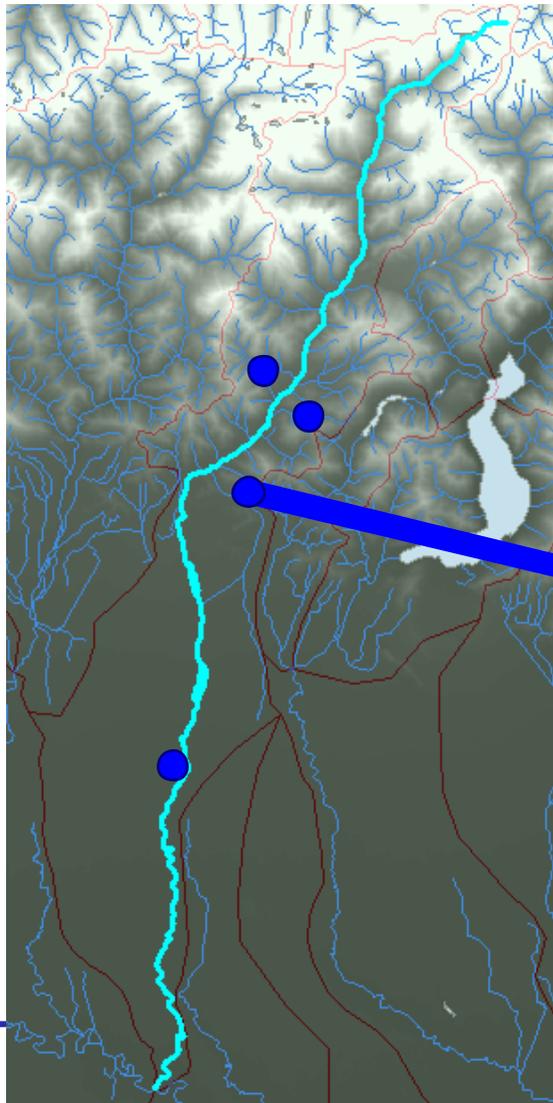
2 4

OK

# VAPIDRO – ASTE

## Assegnazione delle portate prelevate e restituite in alveo

Assegna Prelievi (QDER)



È possibile assegnare anche le portate **prelevate** o **restituite** in alveo (in quest'ultimo caso vanno specificate come negative).

Sulla mappa i punti corrispondenti sono segnati con un punto blu

È possibile, ovviamente, assegnare un prelievo o una restituzione anche a un affluente del tratto di fiume considerato

Inserisci Portata

Inserire portata [mc/s]

1 valore di media annua  
[valori antropizzati (misurati)]

1	<input type="text" value="4.2"/>	3	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	4	<input type="text"/>

OK

Per ogni punto, il numero di portate prelevate o restituite dipende dalla stagionalità assegnata al progetto

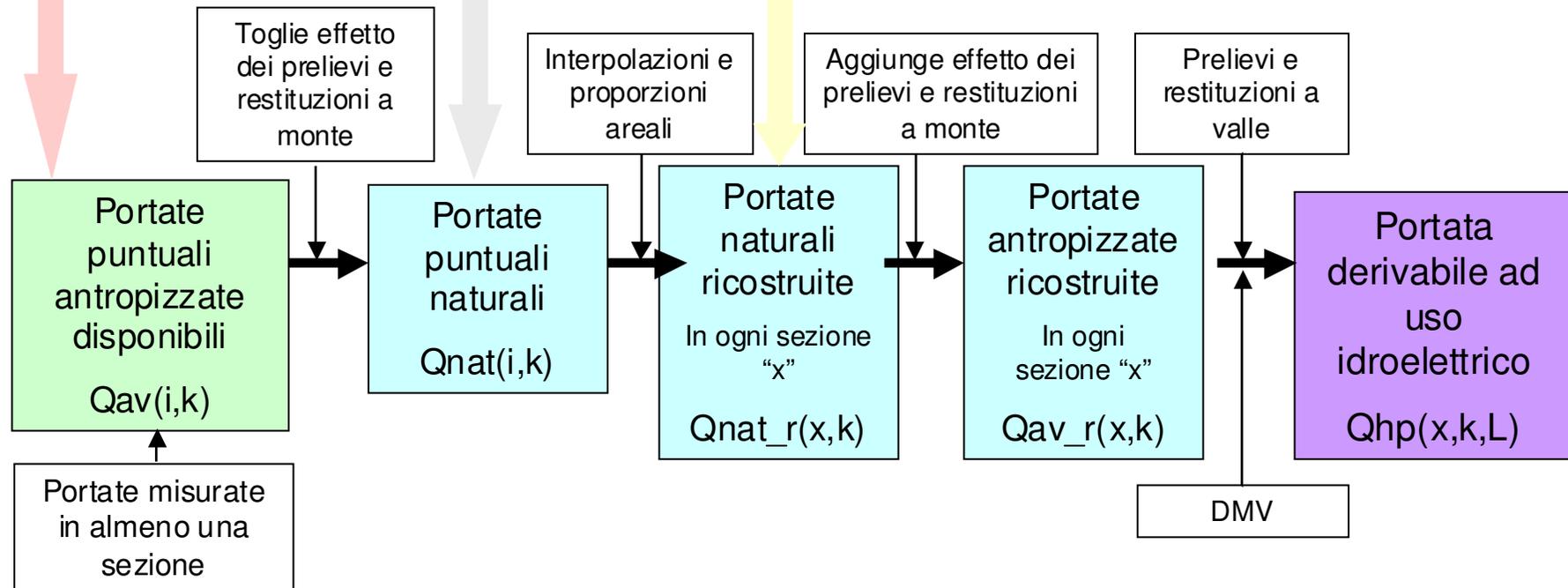
# Calcolo della portata per la produzione idroelettrica



METODO 1 (parte dalla conoscenza di  $Q_{av}(i)$  da misure sul fiume)

METODO 2 parte dalla conoscenza di valori puntuali di  $Q_{nat}(i)$  (utilizzo mappe italiane)

METODO 3 parte dalla calcolo di valori continui di  $Q_{nat}(x)$  usando funzioni di regionalizzazione



# VAPIDRO – ASTE

## Parametri per il calcolo del potenziale idroelettrico

**Calcoli**

**DMV**  
DMV Deflusso minimo vitale [ m³/s ] =  % della portata naturale idrologica

**Energie**  
Per la stima delle energie producibili si fa uso della seguente formulazione semplificata:  
$$E = \eta \cdot 9.81 \cdot Q_{hp\_med} \cdot H \cdot 8.760$$
  
E Energia massima producibile all'anno [MWh/anno]  
 $\eta$  Rendimento elettrico globale =  %  
Q<sub>hp\_med</sub> Portata derivabile media [m³/s]  
H Salto geodetico netto disponibile [m]

**Potenze**  
Per la stima delle potenze installabili si fa uso della seguente formulazione semplificata:  
$$P = \eta \cdot 9.81 \cdot K_{hp} \cdot Q_{hp\_max} \cdot H$$
  
P Potenza installabile [kW]  
 $\eta$  Rendimento idraulico delle turbine e perdite nella condotta forzata =  %  
K<sub>hp</sub> Coeff. di trasformazione tra Q max. media stag. e Q max turbinabile istantanea:   
Q<sub>hp\_max</sub> Portata massima derivabile per uso idroelettrico [m³/s]

**Metodo per la valutazione delle perdite**

metodo semplificato  
Coefficiente K<sub>p</sub> di perdita unitaria [m/m]

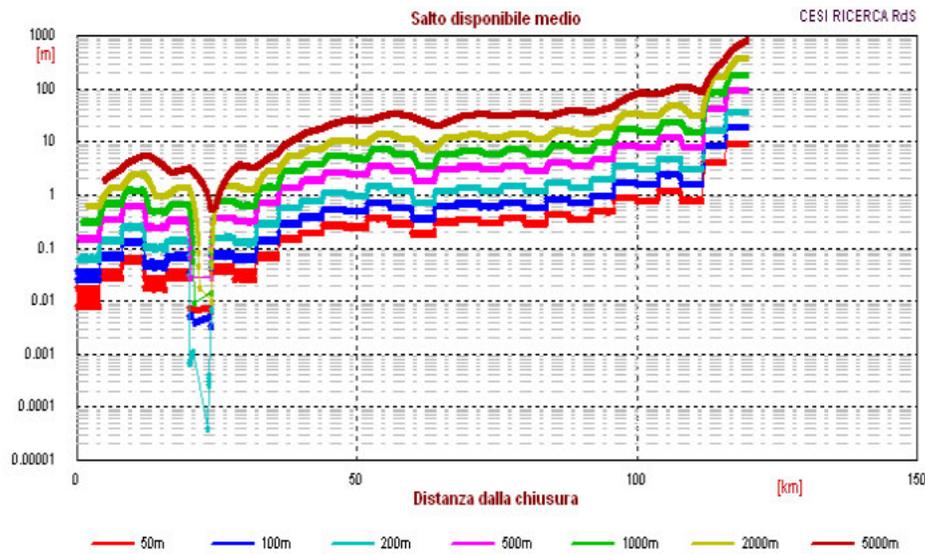
metodo idraulico  
Velocità massima ammissibile nella condotta forzata [m/s]   
Rapporto tra la lunghezza della condotta forzata e la lunghezza strutturale (0-1)   
Coefficiente di scabrezza di Strickler [m<sup>1/3</sup>/s]   
Coefficiente per le perdite localizzate dovute a discontinuità [adimensionale]   
Pendenza del canale [m/m]

**ESEGUI I CALCOLI**

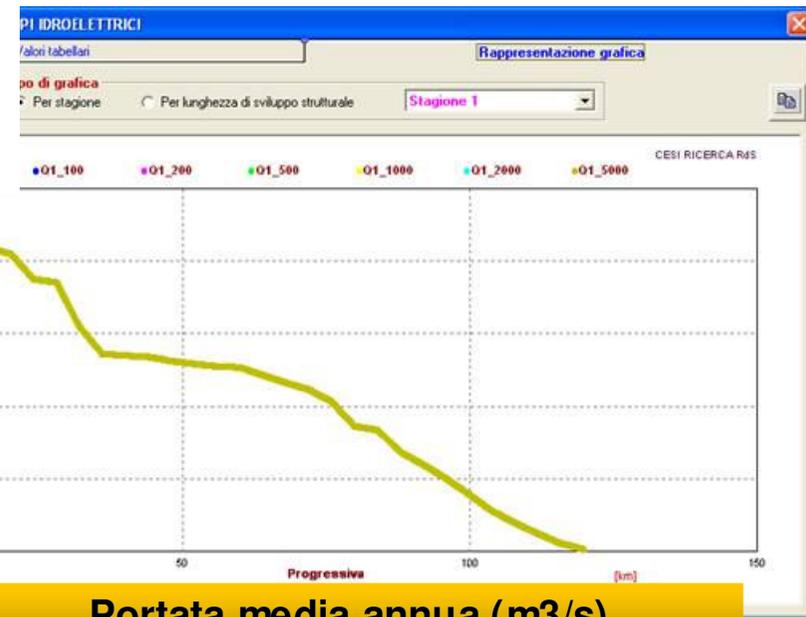
# VAPIDRO – ASTE

## Salto e portata media annua fiume SERIO

### Salto disponibile medio (m)



### Sviluppo strutturale



# VAPIDRO – ASTE

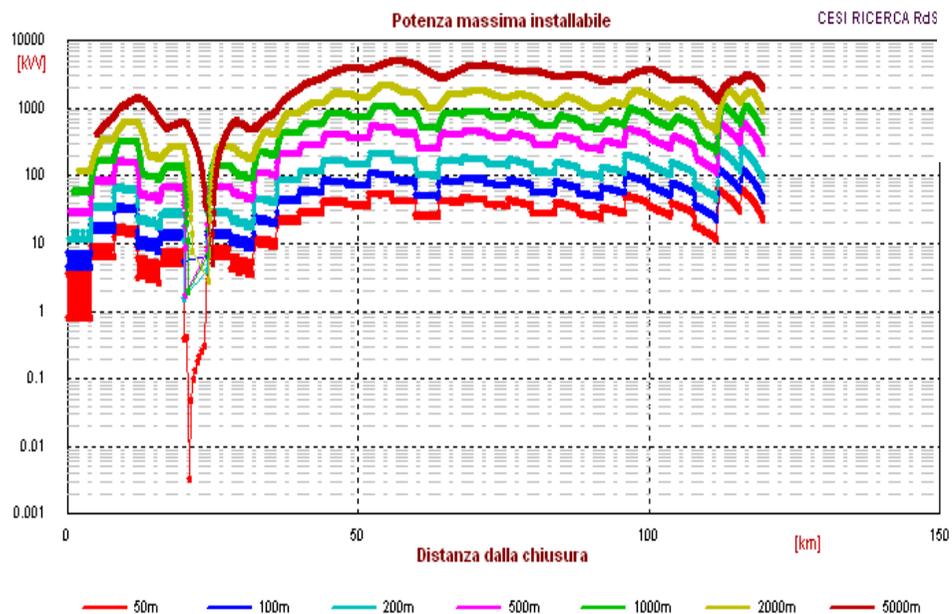
## Potenza ed energia massima producibile, SERIO



### Sviluppo strutturale

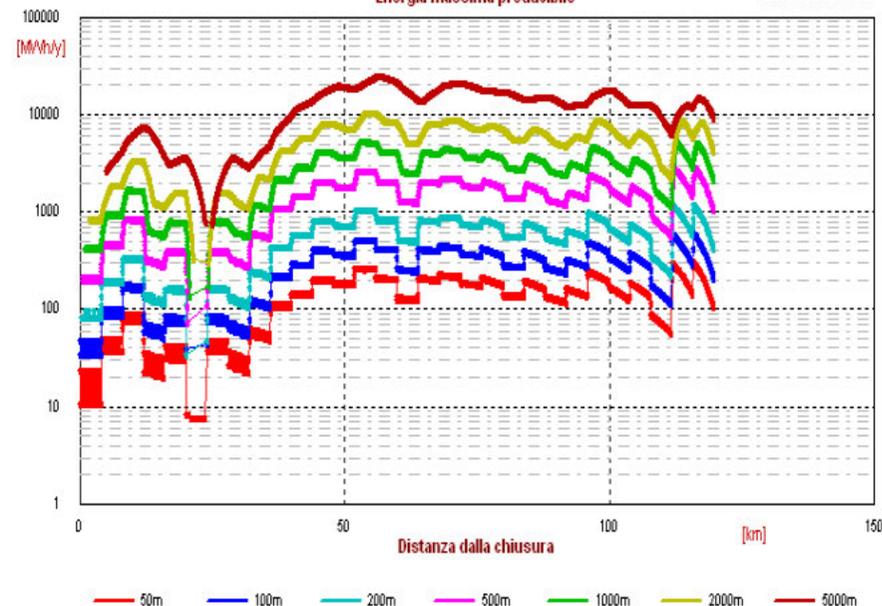


### Potenza massima installabile (kW)



### Energia massima producibile

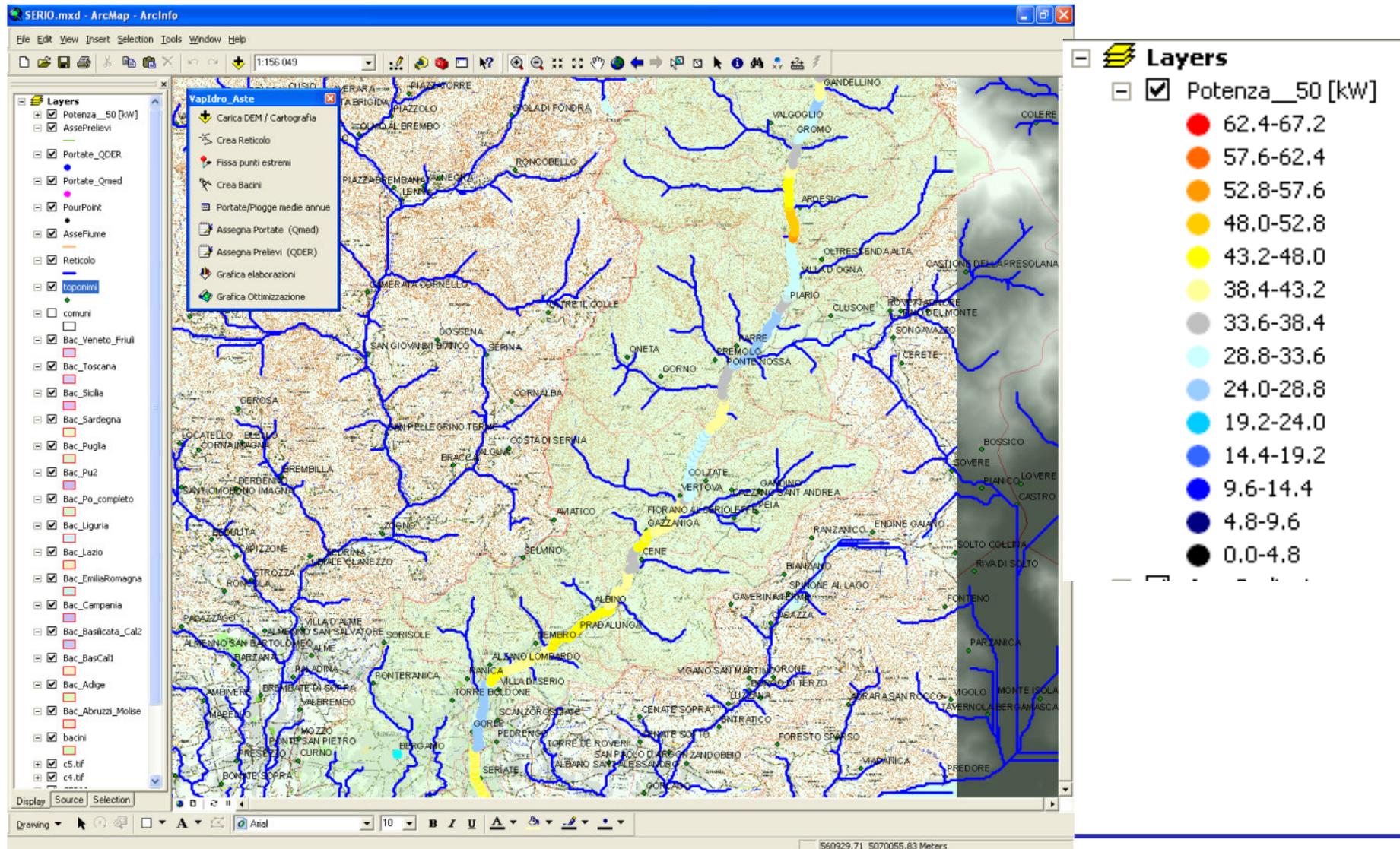
CESI RICERCA RdS



### Energia Producibile (kW)

# VAPIDRO – ASTE

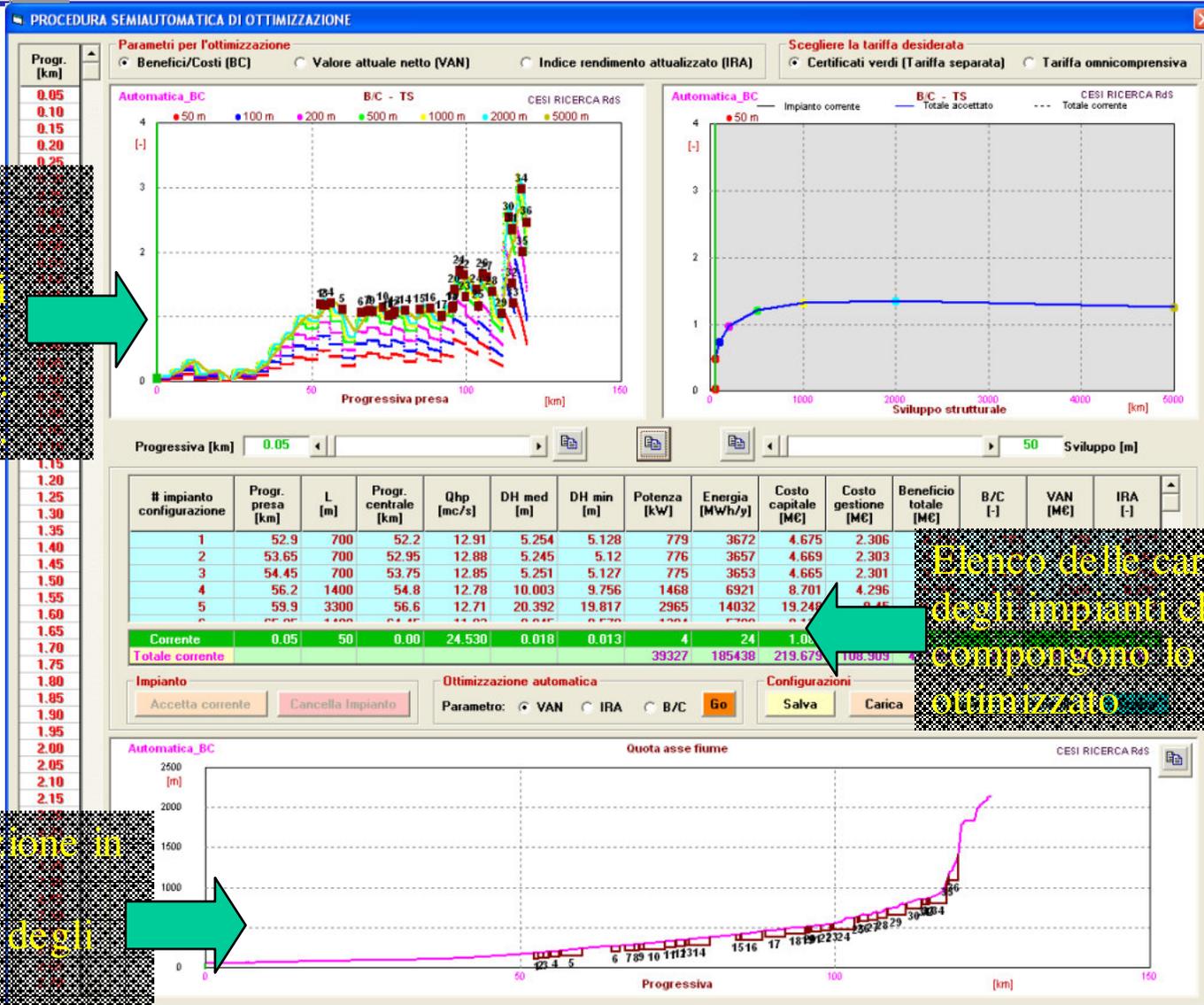
## Max Potenza installabile 50 m di sviluppo, fiume SERIO



# VAPIDRO – ASTE

## Ottimizzazione sfruttamento globale fiume SERIO

Andamento in funzione della progressiva dei parametri di ottimizzazione: VAN, B/C ecc.

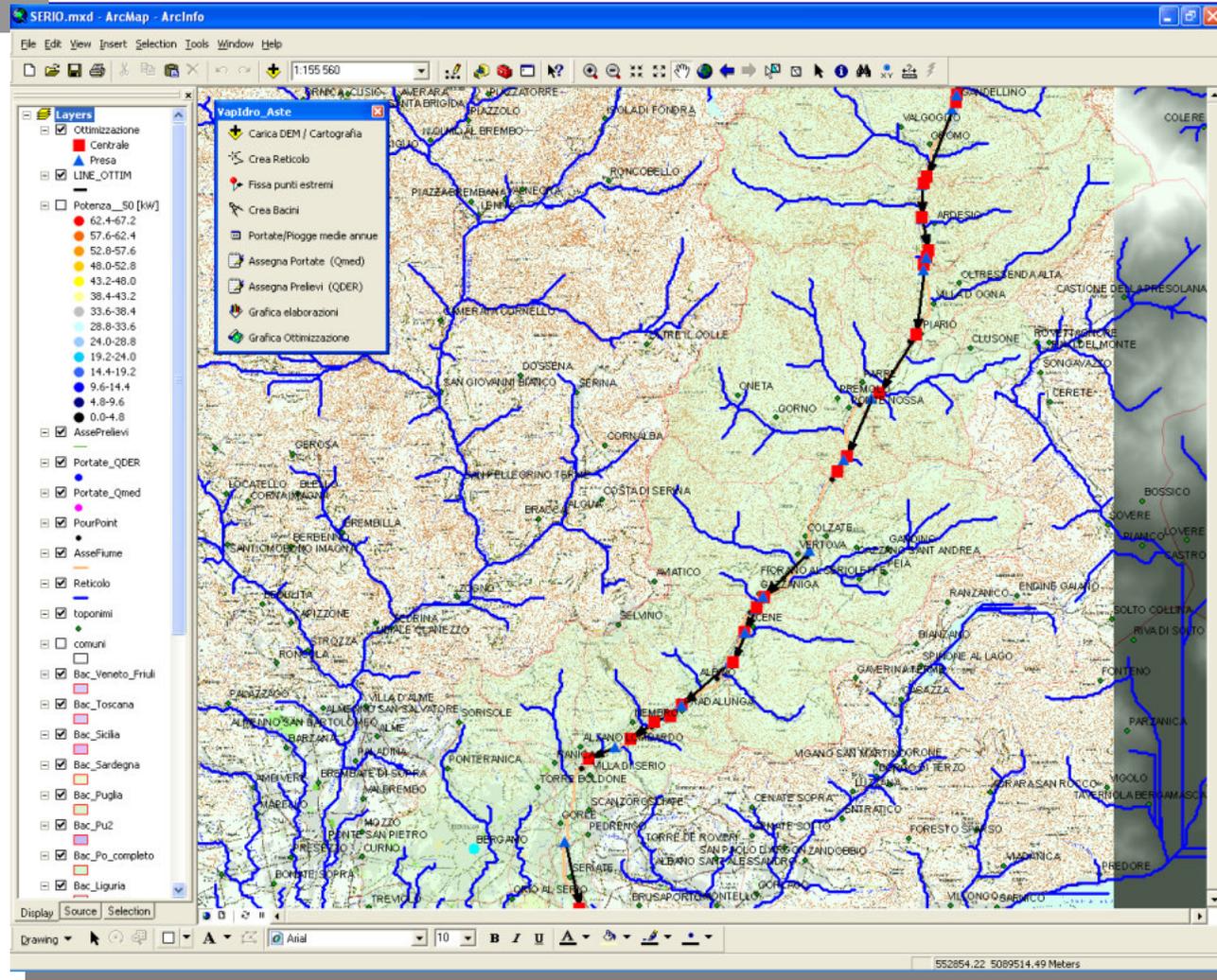


Elenco delle caratteristiche degli impianti che compongono lo schema ottimizzato.

Visualizzazione in altimetria schematica degli impianti ottimizzati.

# VAPIDRO - ASTE

## Massimo sfruttamento completo ottimizzato, SERIO



**35 impianti, pot. complessiva circa 40 MW, energia 185 GWh/anno**

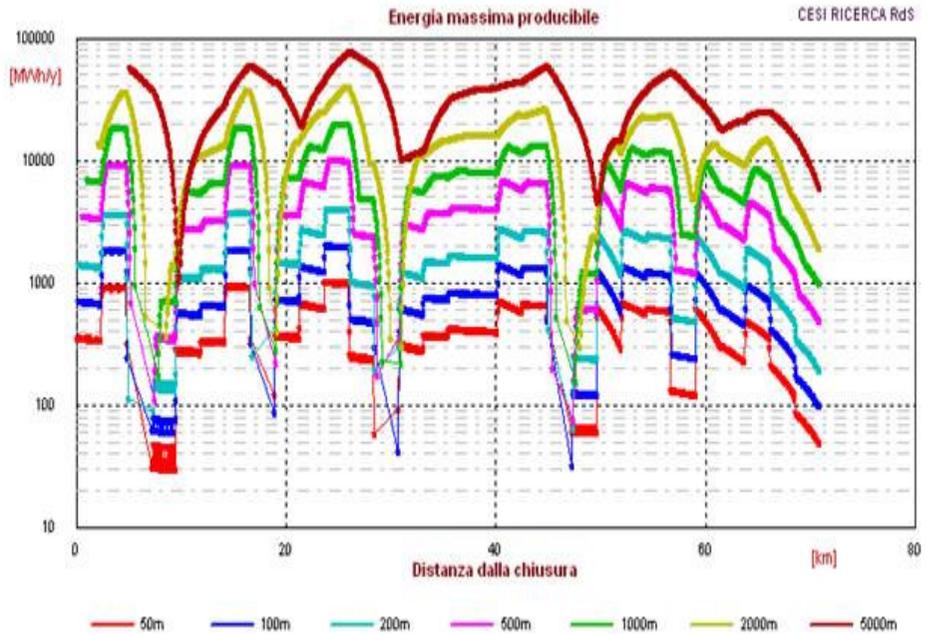
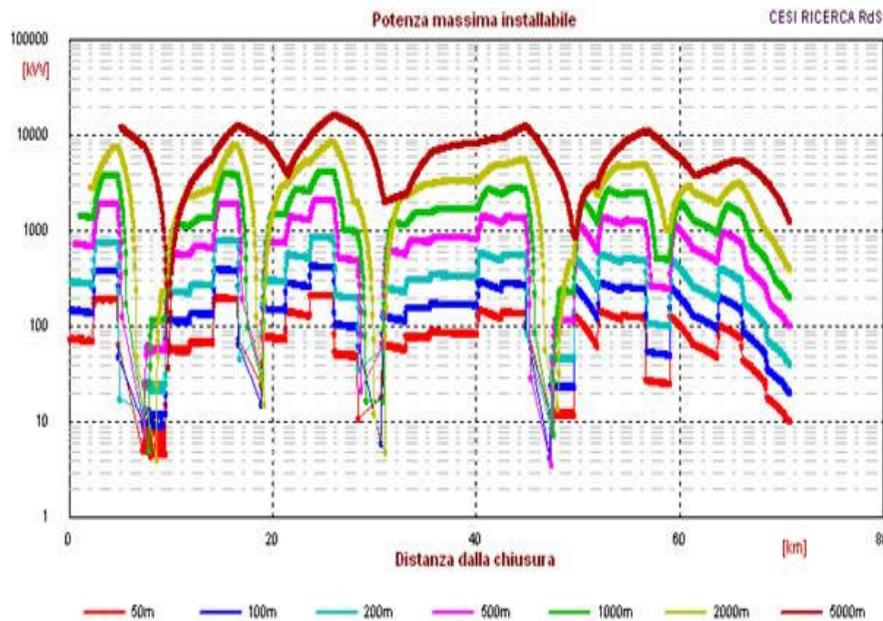
# VAPIDRO – ASTE

## Potenza ed energia massima producibile, BREMBO

### Sviluppo strutturale



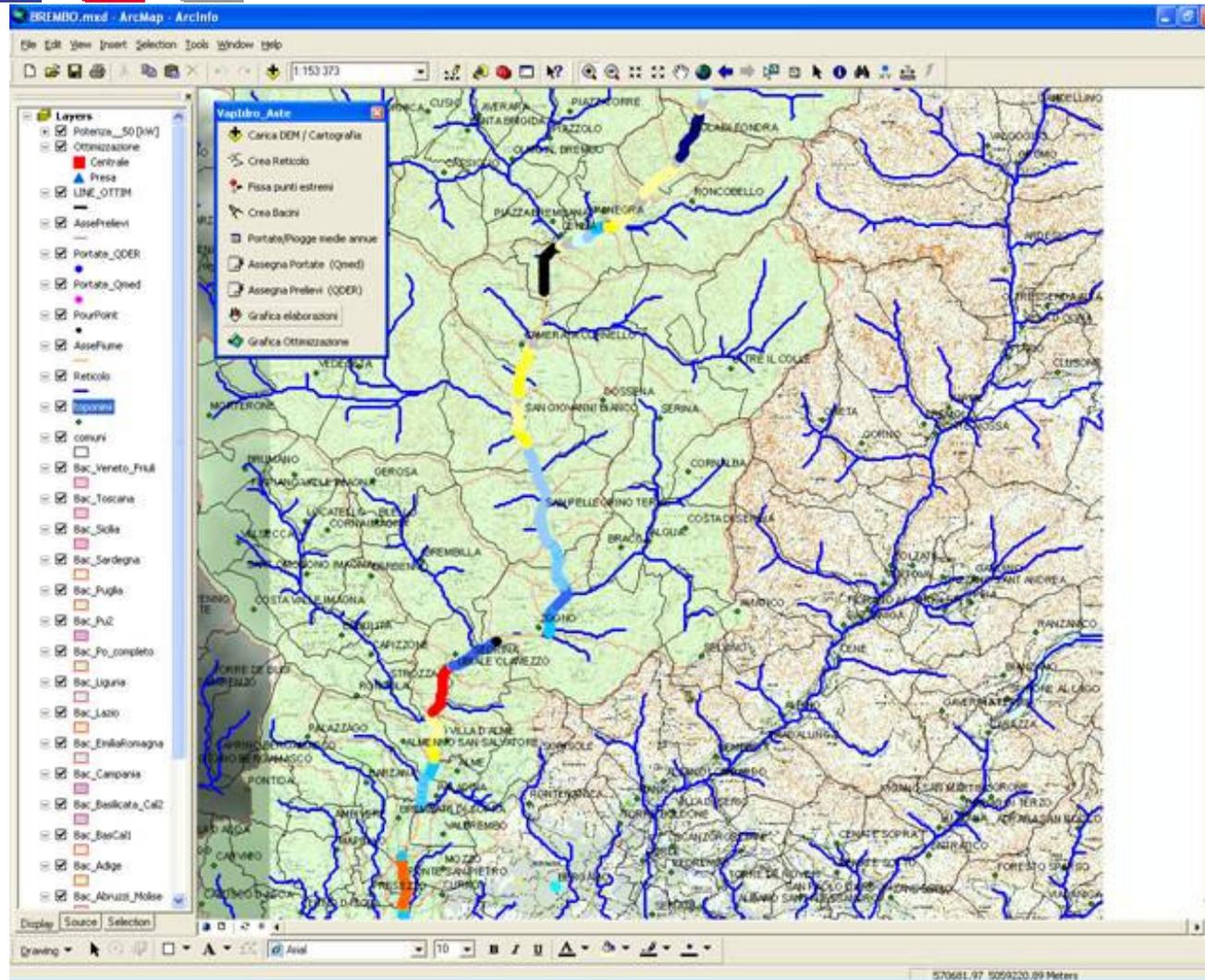
### Potenza massima installabile (kW)



### Energia Producibile (kW)

# VAPIDRO – ASTE

## Max Potenza installabile, 50 m di sviluppo, fiume SERIO



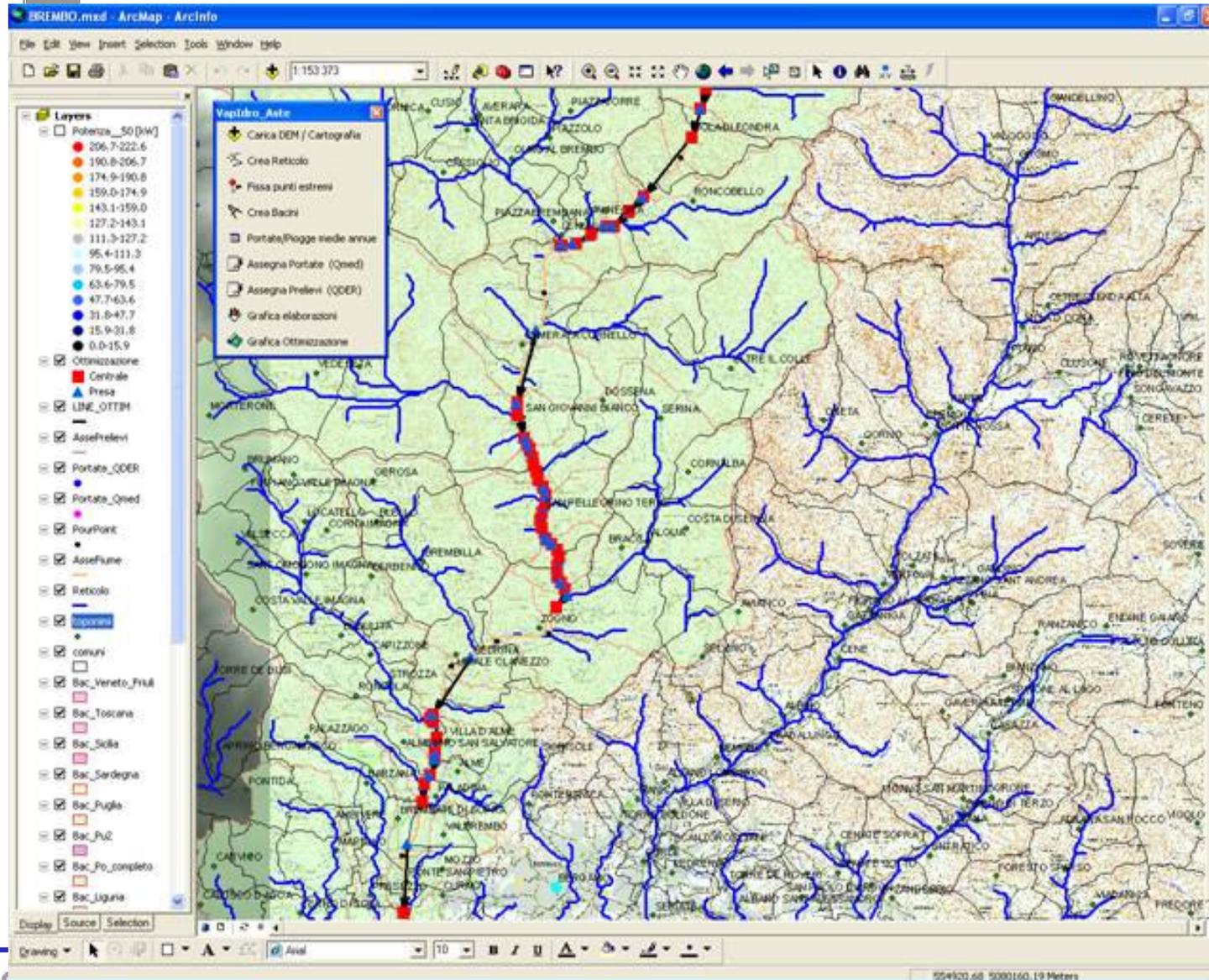
# VAPIDRO – ASTE

## Ottimizzazione sfruttamento globale fiume BREMBO



# VAPIDRO - ASTE

## Massimo Sfruttamento completo ottimizzato BREMBO



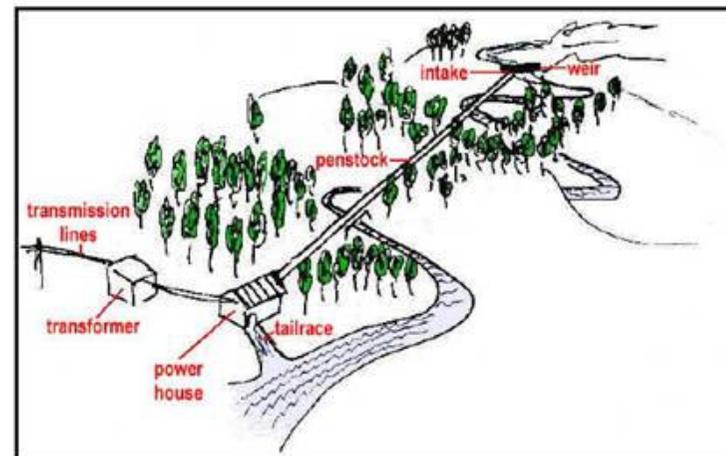
# Software SMART Mini-Idro



- “SMART Mini-Idro“ è un programma per la **valutazione tecnico-economica di impianti mini idroelettrici ad acqua fluente**
- È uno strumento di **conoscenza e di aiuto nelle decisioni.**
- Il software può essere utilizzato per **valutare la disponibilità di portata**, la scelta dei parametri tecnici, la **produzione di energia**, la **redditività e gli aspetti finanziari dei progetti** presi in esame,
- supporto a studi di **prefattibilità.**

## SMART Mini-Idro

Software per l'analisi di fattibilità tecnico-economica di impianti idroelettrici di piccola taglia ad acqua fluente



MODULI DI LAVORO:

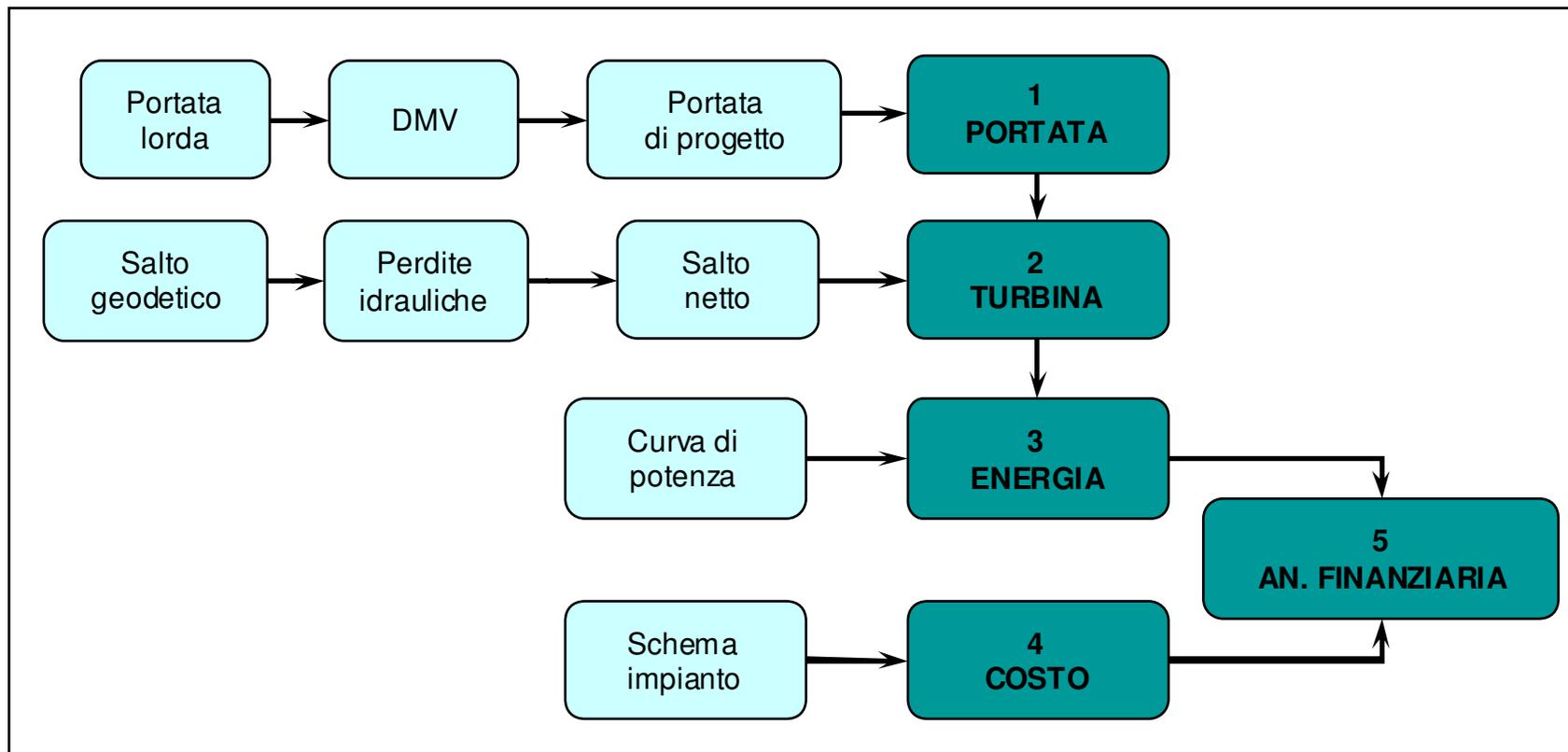
-  [1. Portata](#)
-  [2. Turbina](#)
-  [3. Energia](#)
-  [4. Costo](#)
-  [5. Analisi finanziaria](#)
-  [Manuale d'uso](#)

CESI RICERCA

**RS**  
Ricerca sul Sistema

# SMART Mini-Idro

## Moduli di Lavoro



# SMART Mini-Idro

## Modulo: Portata – Assegnazione Portata di Progetto

Inserimento della durata della portata di progetto

### 1.4 Portata utilizzata dall'impianto

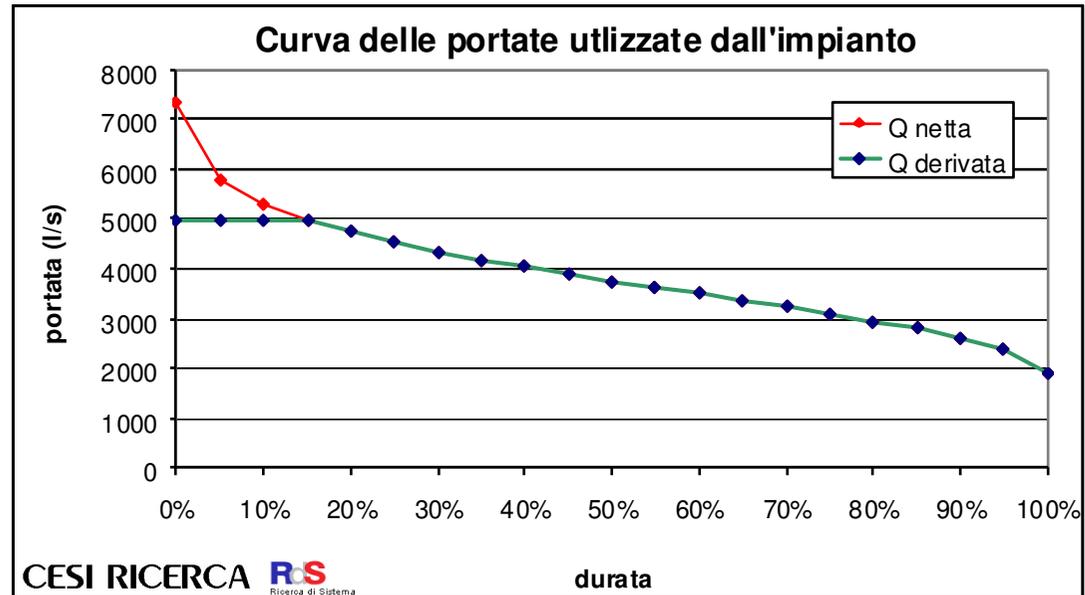
Inserimento portata di progetto

Inserimento diretto

Da durata

Durata	[%]	15%
Portata di progetto	[l/s]	4.967,6
Volume totale derivabile	[m <sup>3</sup> ]	122.332.021
Volume annuo derivato	[m <sup>3</sup> ]	118.743.970
Perc. volume derivato	[%]	97,07%
Portata media derivata	[l/s]	3.765

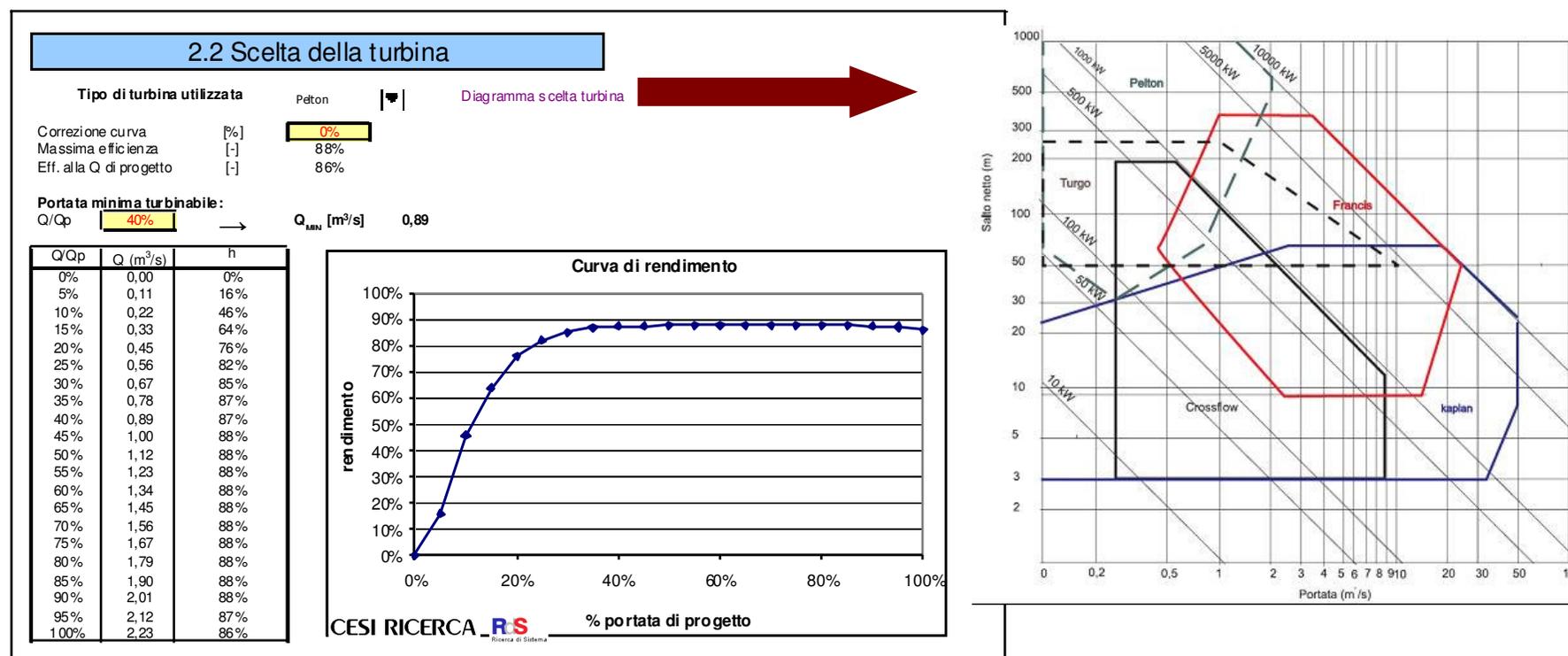
durata (%)	portata netta (l/s)	portata derivata (l/s)
0%	7315,1	4967,6
5%	5756,6	4967,6
10%	5280,2	4967,6
15%	4967,6	4967,6
20%	4724,8	4724,8
25%	4521,2	4521,2
30%	4342,3	4342,3
35%	4180,1	4180,1
40%	4029,7	4029,7
45%	3887,6	3887,6
50%	3751,4	3751,4
55%	3618,8	3618,8
60%	3488,3	3488,3
65%	3358,0	3358,0
70%	3226,0	3226,0
75%	3090,1	3090,1
80%	2947,3	2947,3
85%	2792,7	2792,7
90%	2617,4	2617,4
95%	2398,4	2398,4
100%	1892,8	1892,8



# SMART Mini-Idro

## Modulo: Turbina – Scelta della turbina

La casella di scelta *Tipo di turbina utilizzata* permette di selezionare la turbina, attraverso sei diversi macchinari: Pelton, Turgo, CrossFlow, Francis, Kaplan ed Altro.



Per ogni turbina viene proposto un grafico di rendimento, desunto dai dati presenti in letteratura.

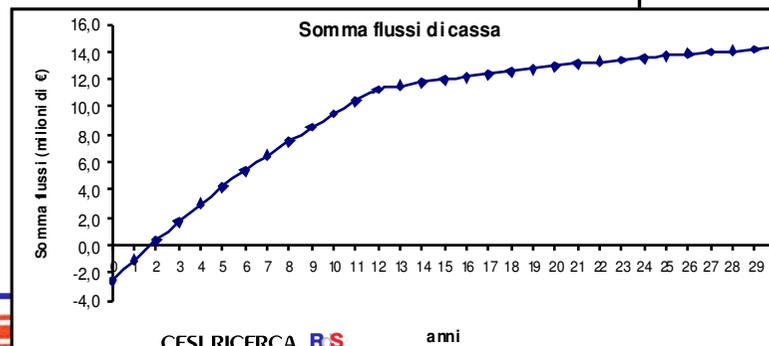
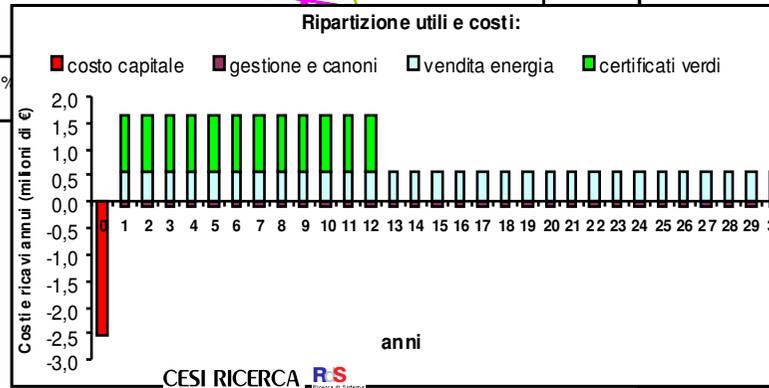
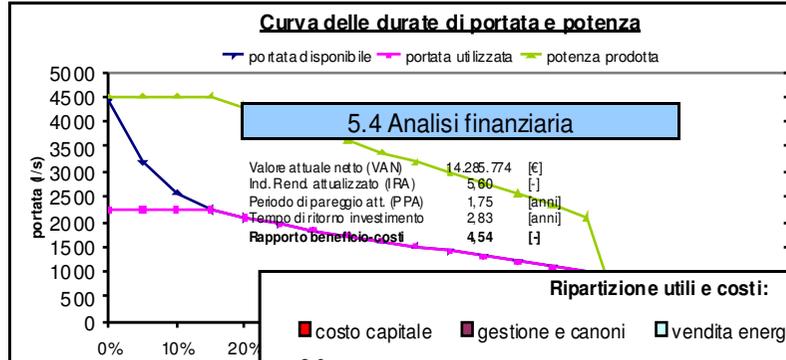
Nel caso di turbine differenti da quelle proposte o di curve di rendimento particolari, l'utente come tipologia di turbina può scegliere l'opzione Altro: inserimento manuale dei valori

# Software SMART Mini-Idro

## 4.1 Stima dell'investimento

### 3.3 Produzione annua di energia

Produzione annua di energia [MWh] 8.001  
 Durata teorica annua di funzionamento [giorni] 274



Modalità di calcolo:

- Stima sintetica   
  Computo metrico estimativo   
  Formule

Costo opere di presa (funzione di portata massima)		
$C_P(€) = a \cdot Q(m^3/s)^2 + b \cdot Q(m^3/s) + c$	a	0,000002
	b	84238,00
	c	81318,00
	Q	3,41 [m <sup>3</sup> /s]
	C <sub>P</sub>	368.162 [€]
Costo canale (funzione di portata massima e lunghezza)		
$Q(m^3/s)^2 + b \cdot Q(m^3/s) + c$	a	-2,52
	b	65,16
	c	254,26
	Q	3,41 [m <sup>3</sup> /s]
	L	2000,00 [m]
	C <sub>CA</sub>	893.775 [€]
Condotta forzata (funzione di diametro e lunghezza)		
$a \cdot D(m)^2 + b \cdot D(m) + c$	a	691,56
	b	447,29
	c	55,39
	D	0,95 [m]
	L	150,00 [m]
	C <sub>CF</sub>	165.667 [€]
Costo centrale (funzione della potenza installata)		
$P(kW)^2 + b \cdot P(kW) + c$	a	0,002400
	b	782,52
	c	261362,00
	P	2544 [kW]
	C <sub>CE</sub>	2.268.020 [€]
<b>TOTALE (€)</b>	<b>3.695.624</b>	

3.695.624 [€]  
 0% [%]

Costo totale (€) 3.695.624

# Come ottenere VAPIDRO-ASTE, SMART Mini Idro ?

<http://minihydro.cesiricerca.it>



**CESI RICERCA**

Obiettivi del Sito

Mappe del potenziale idroelettrico

Mappe del potenziale idroelettrico specifico

Metodologia per il calcolo delle mappe per il potenziale idroelettrico

Indagine sulle eventuali criticità per lo sviluppo di impianti mini-hydro

Censimento dei siti mini-hydro italiani

Documenti relativi al mini-hydro

- Normativa
- Bibliografia

Strumenti informatici



Il sito dedicato allo sviluppo del Mini Idroelettrico in Italia

home contatti

## Strumenti informatici

Strumento	Modulo	Modulo richiesta software
<b>VAPIDRO-ASTE</b> Strumento GIS per la valutazione del potenziale aste fluviali, da utilizzarsi ai fini della pianificazione i sottobacini interessati all'asta fluviale in studio, (Digitale del Terreno) ed il potenziale residuo per attuali usi plurimi della risorsa idrica (usi irrigui, Deflusso Minimo Vitale in ogni sezione. Il software stima i costi dell'investimento iniziale e gestionali ed i possibili localizzazioni impiantistiche lungo l'asta, il posizionamento di futuri impianti idroelettrici per ottimizzando i parametri di valutazione finanziaria attuali usi plurimi a valle ed a monte. La completa visualizzazione planimetrica dello schema di impianti quindi stampati o esportati verso l'EXCEL e strumenti di calcolo.		
<b>SMART Mini-Idro</b> Software sviluppato su piattaforma EXCEL, per piccoli impianti idroelettrici ad acqua fluente. Utilizzando lo sfruttamento lungo l'asta, conosciuti lo sviluppo SMART Mini-Idro rende disponibile informazioni necessari ed i risultanti parametri finanziari		

Spett.le  
CESI RICERCA Spa  
ca. Fabio Albertini  
Maria Luigia Nervi

Il contratto, dipendente dall'installazione senza spuntare, richiede l'utilizzo del software SMART Mini-Max secondo le seguenti condizioni:

Chiusura: Chiusa l'uso del prodotto in ogni pubblicazione, ristampa o simili mezzi di divulgazione o mezzo stampa o tramite mezzi telematici, con la seguente dizione:  
"E' stato utilizzato il prodotto denominato SMART Mini-Idro" realizzato dal CESI RICERCA, grazie al finanziamento del Fondo di Ricerca per il Sistema Energetico nell'ambito dell'Assemblea di Programmazione CESI RICERCA ed il Ministero dello Sviluppo Economico - D.G.F.R.M. stipulata in data 21 giugno 2007 in esecuzione del D.L. n. 77, del giugno 2007"

Garanzia e limitazione di responsabilità: Il prodotto viene consegnato come tale, senza alcuna garanzia. In nessun caso gli autori, il CESI RICERCA o la Direzione di Sistema possono essere ritenuti responsabili per danni (diretti e indiretti) intenzionali o accidentali conseguenti all'uso del prodotto o all'impossibilità di utilizzare il prodotto.

Servizio di supporto: Il prodotto viene consegnato insieme al manuale d'uso, e non è previsto servizio di supporto per l'installazione e l'utilizzo.

Limitazioni all'utilizzo: Il prodotto è utilizzabile esclusivamente per uso interno del titolare per lo svolgimento della propria attività e nel perseguimento di progetti finalizzati e non potrà essere ceduto o retri, parzialmente o integralmente a terzi, o essere messo a disposizione di terzi.

*[Firma]*  
Data: \_\_\_\_\_

Nome-Cognome: Staffa Ing. Francesco  
Autore: VAPIDRO TECNICO  
Indirizzo: Via Piero Maroncelli n. 2  
47041 Montano Matigge (FC)  
Email: ing.franco@cesiricerca.it  
Telefono: 0541411402 - 114.4001114

Vi preghiamo la restituzione della scansione del presente documento ai seguenti indirizzi:  
email: francop@cesiricerca.it  
email: Info.Amministrativa@cesiricerca.it

Oppure via posta tradizionale a: CESI RICERCA Spa  
Maria Luigia Nervi  
Via R. Robbioni 14  
20134 Milano  
Fax: +3902 2902 4000

Già distribuiti ad oltre 60 utilizzatori in Italia



**Grazie per la vostra  
attenzione !**

**Julio Alterach  
julio.alterach@erse-web.it**

**un particolare ringraziamento a:  
Maximo Peviani, Alberto Elli,  
Giuseppe Stella, Milena Vergata**

**minihydro.cesiricerca.it**