

# **Rilevanza dei dati sperimentali nella modellazione numerica di un acquifero di grande estensione: il fondovalle del F.Adige**

*N. Quaranta, M. Buffo*

HYDRODATA S.p.A., Italy

*A. Refsgard*

DHI, Denmark

**Committente:** Autorità di Bacino del F.Adige

**Esecutori:** RTI Hydrodata-Beta Studio

**Importo lavori:** 1.8 MD£      **Periodo:** 1997-1999

**Principali obiettivi del lavoro:**

- analisi idrogeologica di un grande sistema vallivo alpino
- analisi dei flussi nel sistema integrato fiume-falda
- stima del bilancio idrogeologico
- supportare le applicazioni modellistiche con un adeguato quadro conoscitivo derivante da indagini in campo

**Peculiarità del modello di simulazione numerica:**

- struttura idrogeologica particolarmente complessa
- reticolo idrografico con deflussi prevalentemente regolati
- modello regionale interfacciato con più modelli locali

## Inquadramento della zona di studio



Lunghezza solco vallivo 130 km

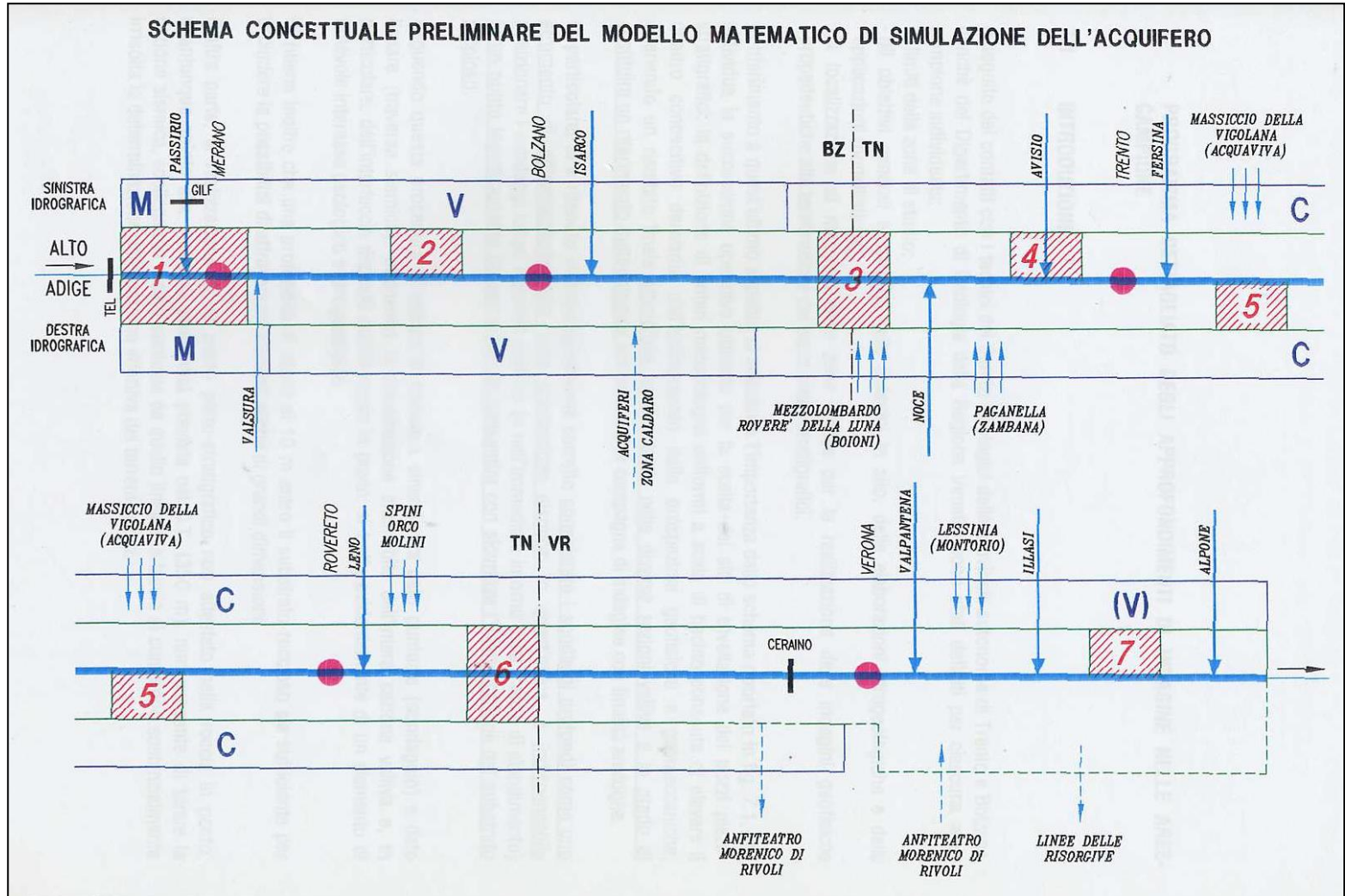
Larghezza media 2.5 km

300.000 abitanti residenti

Area di indagine: 330 km<sup>2</sup>

Oltre 14.000 pozzi autorizzati

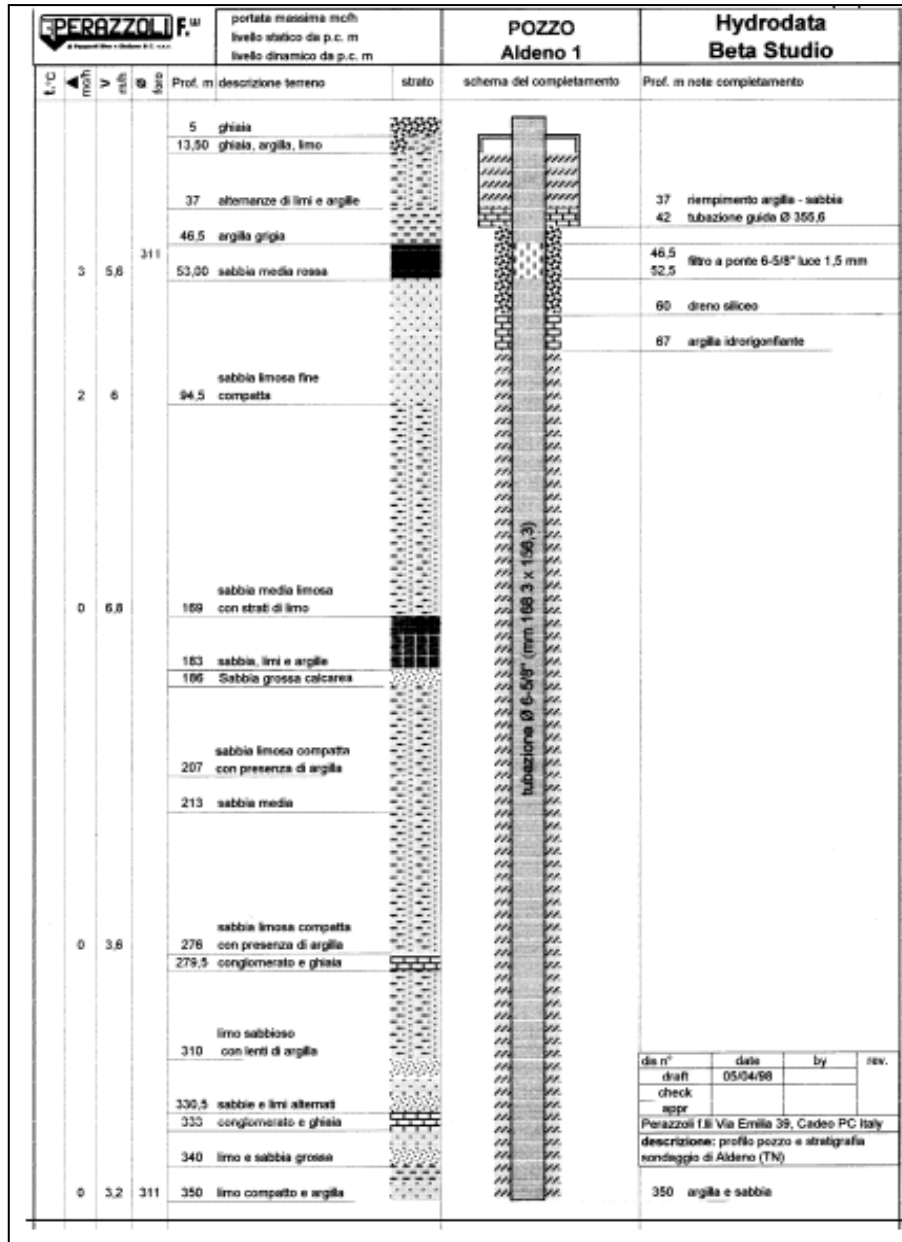
# Inquadramento idrogeologico schematico



## Prospezioni geomeccaniche

In 5 aree-campione: realizzazione di pozzi piezo-stratigrafici (infissione di tubazione-guida a percussione per 30-50 m, perforazione a circolazione diretta di fanghi sino a profondità di 200-350 m da p.c.).





**Prospezioni geomeccaniche:  
 schema di perforazione e  
 completamento dei pozzi piezo-  
 stratigrafici**

**TUBAZIONE-GUIDA**

φ perforazione 600 mm

φ colonna provv. 500 mm

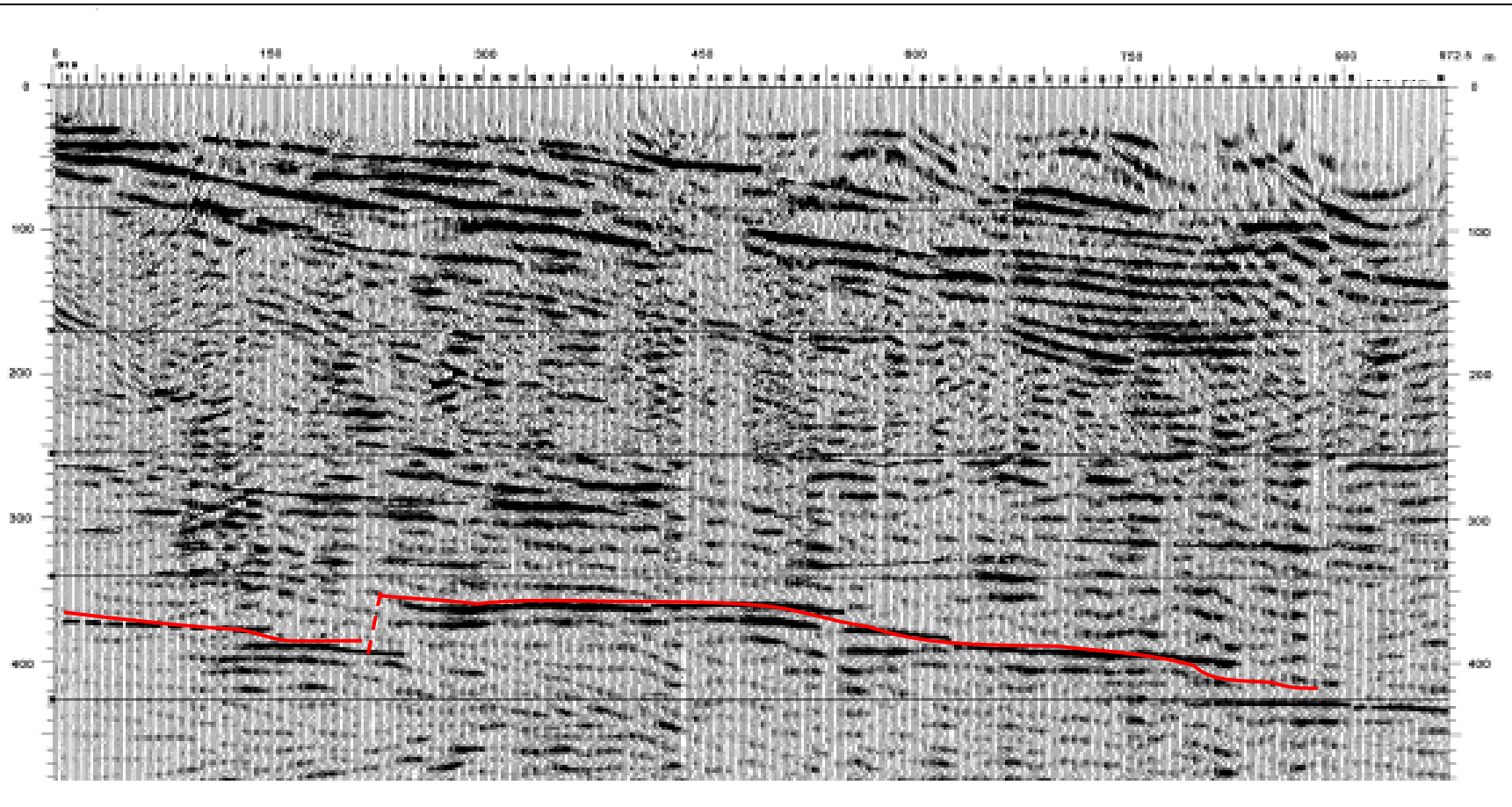
**PERFORAZIONE A  
 ROTAZIONE**

φ perforazione 312 mm

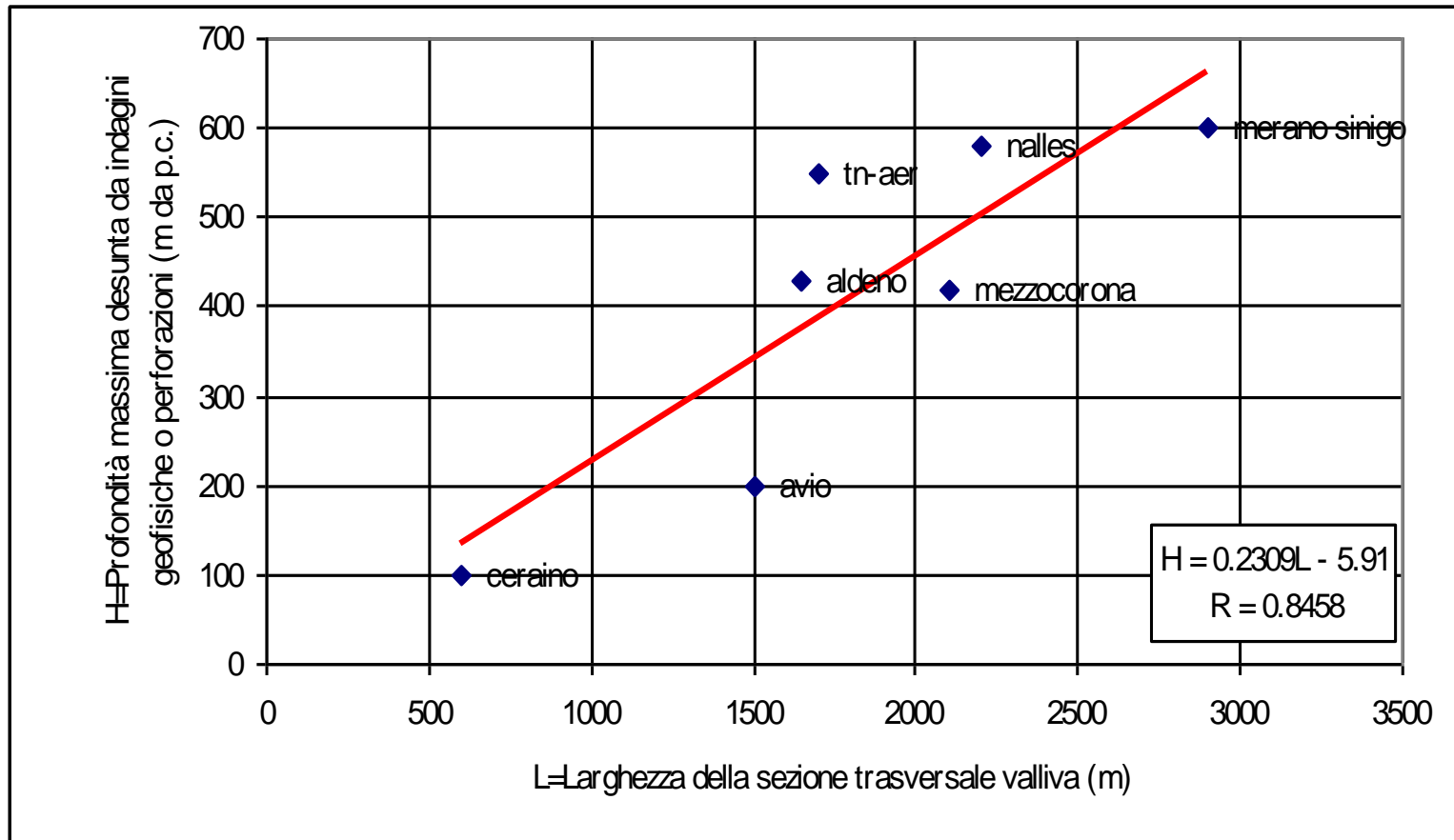
φ<sub>int</sub> tubazione 156,3 mm

# Prospezioni geofisiche: sismica a riflessione superficiale ad alta risoluzione

Esecuzione di 5 linee sismiche nelle traverse vallive, per l'individuazione della profondità del bedrock; esempio: Aldeno (Sud di Trento)



## Prospezioni geomeccaniche e geofisiche: profondità del substrato roccioso in rapporto all'ampiezza del solco vallivo atesino

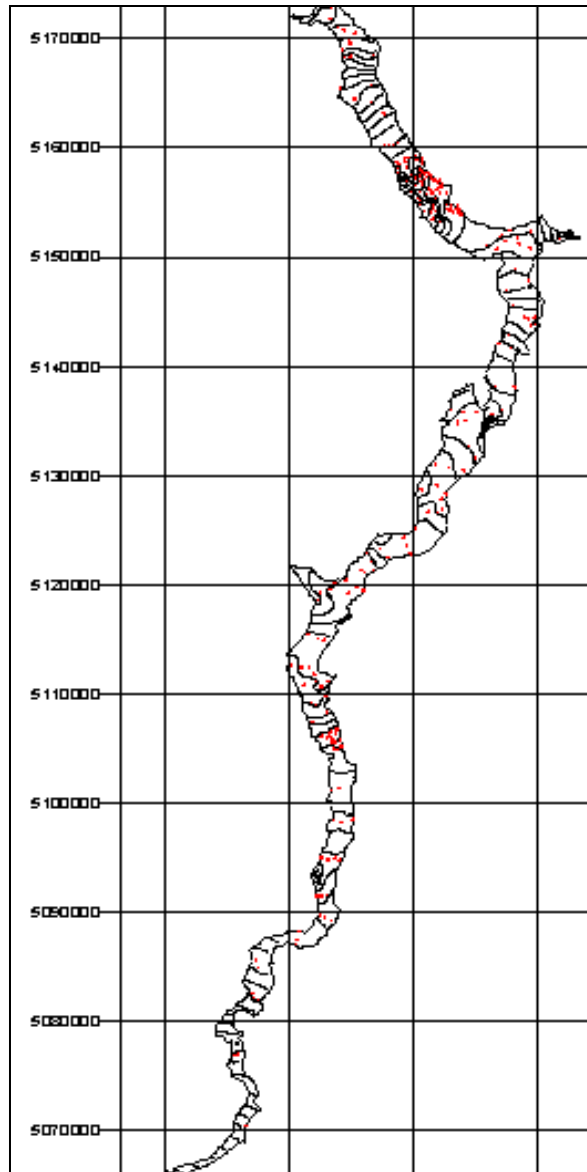




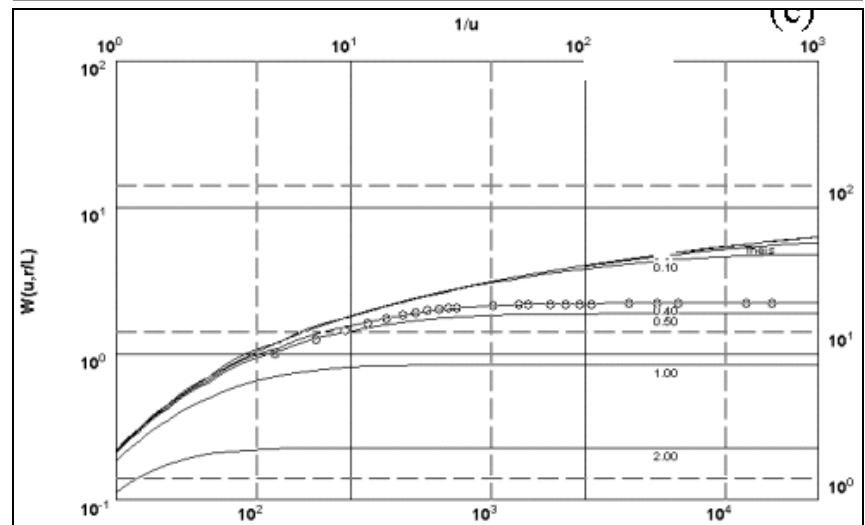
## Modello idrogeologico concettuale del sistema acquifero alluvionale

Unità idrogeologiche	Litologia caratteristica	Conducibilità idraulica media
Acquifero superficiale, freatico	Sabbie e ghiaie (depositi alluvionali di conoide)	$K_h 10^{-5} \text{ } 10^{-2} \text{ m/s}$
Acquitarde locale (superiore)	Limi sabbiosi (lenti di depositi alluvionali distali di conoide e di origine atesina)	$K_h 10^{-7} \text{ } 10^{-8} \text{ m/s}$
Acquifero inferiore (semiconfinato-confinato)	Sabbie (depositi alluvionali)	$K_h 10^{-4} \text{ } 10^{-6} \text{ m/s}$
Acquitarde regionale (inferiore)	Limi sabbiosi (sequenza fluviolacustre)	$K_h 10^{-7} \text{ } 10^{-8} \text{ m/s}$
Substrato roccioso	Porfiriti permiane e sequenze carbonatiche mesozoiche	Impermeabile

# Campagne di misura piezometrica, prove di pompaggio



- 170 pozzi di misura utilizzati per la stima dell'escursione freaticca stagionale
- 70 pozzi freaticchi dell'Ufficio Idrografico di Bolzano con misure giornaliere/settimanali (1987-1998)
- Disposizione dei pozzi piezometrici secondo sezioni vallive trasversali, oppure radiali nei settori di conoide alluvionale
- 10 prove di pompaggio eseguite su pozzi filtranti complessi acquiferi in modo selettivo



## ATTIVITA'

## TECNICHE DI INDAGINE

## Analisi degli scambi fiume-falda nei settori di conoide alluvionale

Analisi morfologica  
sistematica degli alvei in  
conoide lungo il fondovalle  
atesino

Ricognizioni in campo

Caratterizzazione  
idrogeologica

Carte della soggiacenza e  
delle linee isopiezometriche

Bilancio idrico  
degli scambi  
fiume-falda

Campagne di misure  
differenziali di  
portata

Selezione delle  
situazioni - tipo  
maggiormente  
rappresentative

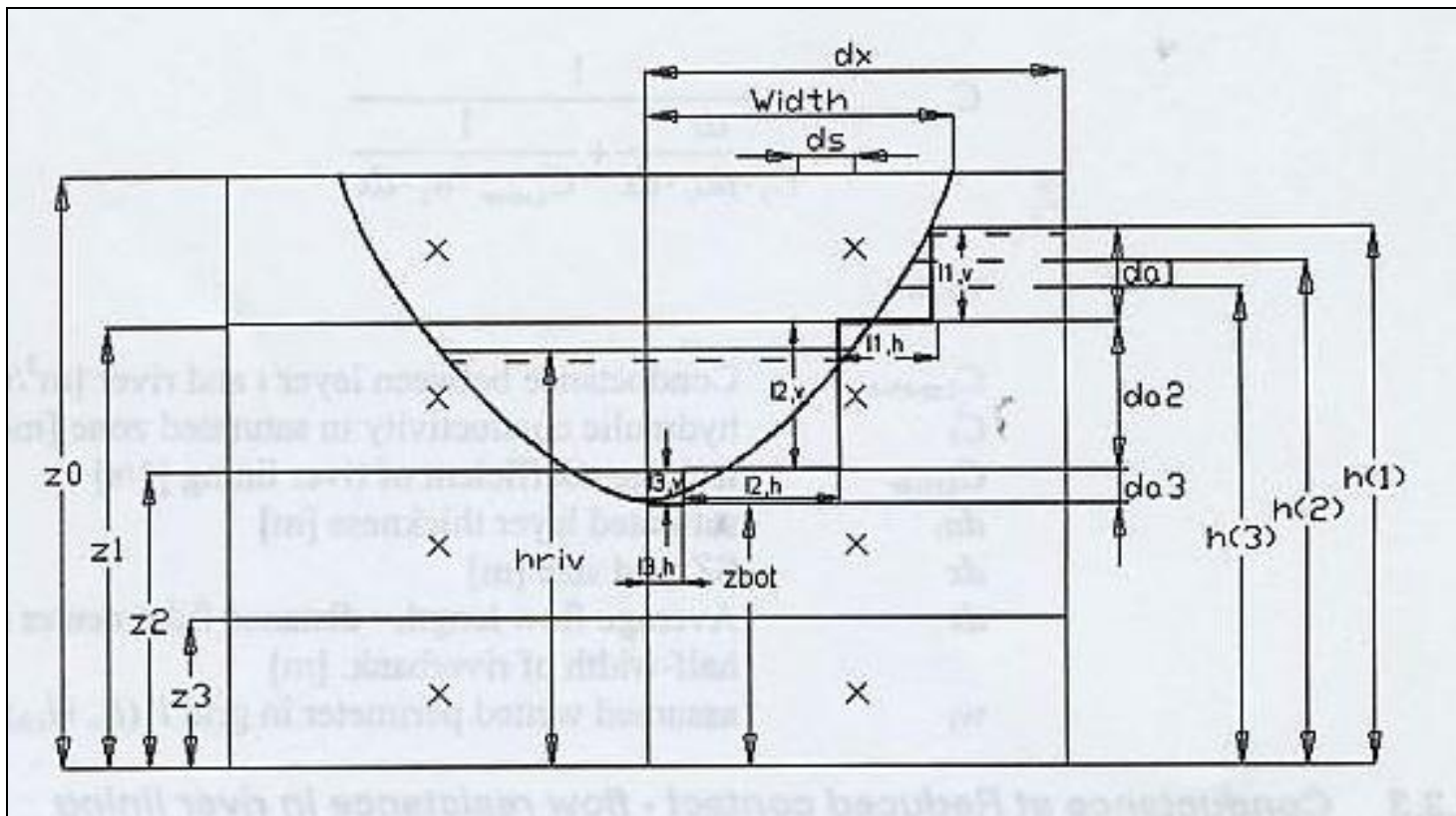
Applicazioni di  
modellistica  
numerica

Simulazioni di taratura del "river leakage  
coefficient" in grado di riprodurre al  
meglio l'entità degli scambi osservati.

Estrapolazione  
dinamica del bilancio  
idrico degli scambi  
fiume-falda

# Schematizzazione numerica del processo di scambio fiume-falda

$$Q = \Delta h \cdot C_{sz\text{-river}}$$



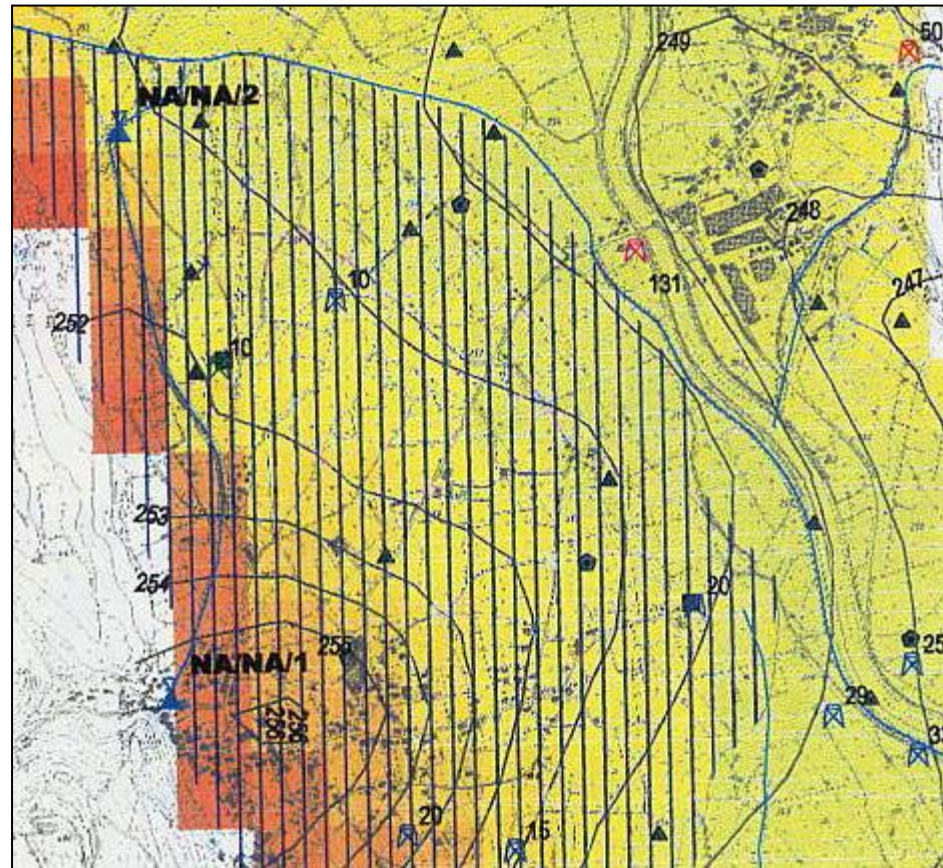
<b>CODICE</b>	<b>DENOMINAZIONE</b>	<b>DATA</b>	<b>ORA</b>	<b>Q(C)(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>E(%)</b>	<b>E DIFF (%)</b>
PS/ME/1	Passirio a Merano (monte)	27/02/98	9.50	3,51	2,05	
PS/ME/2	Passirio a Merano (valle)	27/02/98	12.00	3,22	1,94	46,65
AD/FO	Adige a Forst	28/02/98	9.00	0.020	5,74	
AD/ME	Adige a Merano	28/02/98	10.00	0.064	4,56	9,24
VS/LA/1	Valsura a Lana (monte)	28/02/98	13.00	0.750	2,63	
VS/LA/2	Valsura a Lana (valle)	28/02/98	14.00	0.574	2,59	19,65
AL/AL/1	Ala ad Ala (monte)	22/10/98	15.30	0.505	3,11	
AL/AL/2	Ala ad Ala (valle)	22/10/98	16.30	0.482	3,96	ND
NA/NA/1	Nalles a Nalles (monte)	27/10/98	9.40	0.312	3,45	
NA/NA/2	Nalles a Nalles (valle)	27/10/98	10.25	0.470	3,74	17,94
RN/OR/1	Rio Nero ad Ora (monte)	27/10/98	11.35	0.645	3,33	
RN/OR/2	Rio Nero ad Ora (valle)	27/10/98	12.20	0.718	3,33	62,18
RL/1	Rio di Laives (monte)	27/10/98	13.15	0.200	3,11	
RL/2	Rio di Laives (valle)	27/10/98	12.55	0.069	4,56	7,15
RDL/1	Rovere' della Luna (monte)	27/10/98	16.45	0.080	5,21	
RDL/2	Rovere' della Luna (intermedia)	27/10/98	17.10	0.026	6,92	
RDL/3	Rovere' della Luna (valle)	27/10/98	17.30	0.017	6,1	8,26
FE/TR/1	Fersina a Trento (monte)	28/10/98	9.05	2.48	2,94	
FE/TR/2	Fersina a Trento (valle)	28/10/98	10.05	2,44	3,04	ND
RO/CA/1	Rosbac a Calliano (monte)	28/10/98	11.15	0.247	3,03	
RO/CA/2	Rosbac a Calliano (intermedia)	28/10/98	12.05	0.022	6,1	3,92
AV/VA/1	Aviana ad Avio (monte)	28/10/98	13.00	0.897	3	
AV/VA/2	Aviana ad Avio (valle)	28/10/98	13.40	0.86	3,73	ND
RB/BR/1	Rio Bissole a Brentino (monte)	28/10/98	14.30	0.116	4,24	
RB/BR/2	Rio Bissole a Brentino (valle)	28/10/98	15.00	0.127	3,64	86,74

Q(C) = portata

E = errore relativo alla misura di portata

E DIFF = errore relativo alla misura differenziale

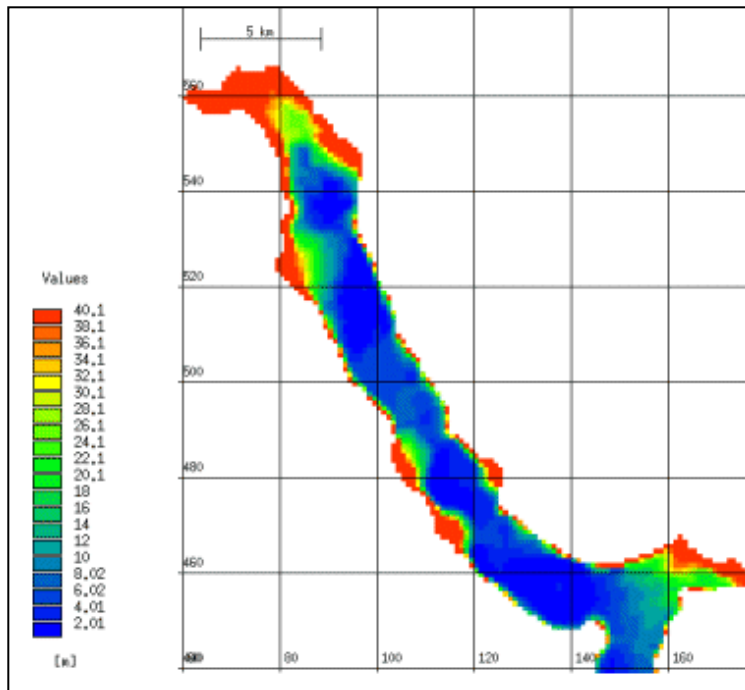
Settore di riferimento	$\Delta Q$ osservata ( $m^3/s$ )	$\Delta Q$ media calcolata ( $m^3/s$ )	Differenza
T.Passirio-Merano	0.29	0.30	3%
T.Valsura-Lana	0.18	0.13	17%
T.Avisio-Lavis	0.41	0.51	20%
T.Rosbac-Calliano	0.27	0.22	19%
T.Ronchi-Ala	0.023	0.028	18%
T.Aviana-Avio	0.037	0.031	16%



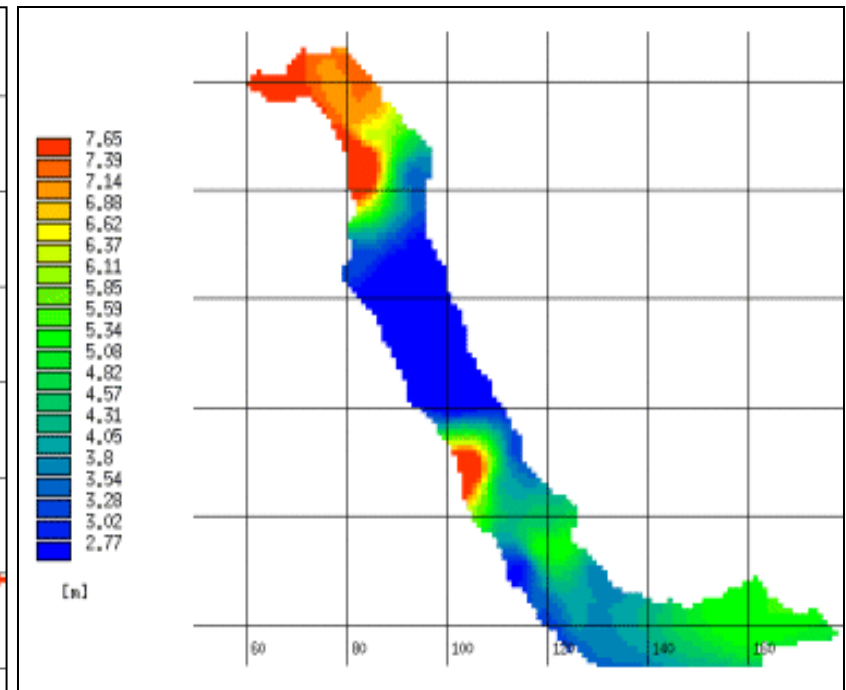
# Analisi dinamica della soggiacenza dell'acquifero freatico

- **Massimi valori** (30-40 m) in prossimità dei fianchi vallivi e degli apici di conoide
- **Minimi valori** (aree umide) lungo l'asse vallivo (reticolo di drenaggio artificiale)

- **Massima escursione** nei settori di conoide alluvionale (aree di ricarica locale)
- **Minima escursione** nel fondovalle



Soggiacenza della falda



Escursione della sup.piezometrica

## Applicazione di MIKE-SHE: caratteristiche generali

Modello regionale: maglia alle differenze finite, 200 m (modelli locali 100 m)

580 righe, 180 colonne

3 strati di calcolo

8640 celle attive per ciascuno strato di calcolo

time-step dei parametri idrologici di input: 24 ore

time-step per il calcolo del deflusso superficiale in alveo: 4 ore

time-step per il calcolo del flusso nell'acquifero: 24 ore



# Applicazione di MIKE-SHE: idrologia superficiale

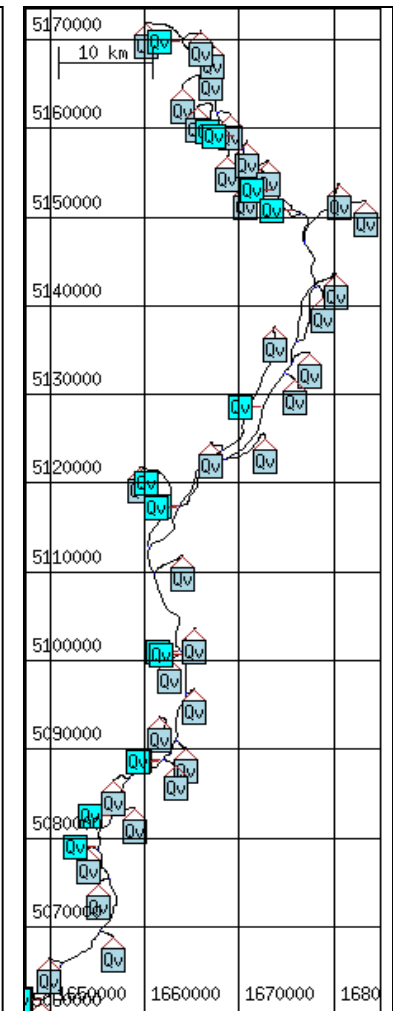
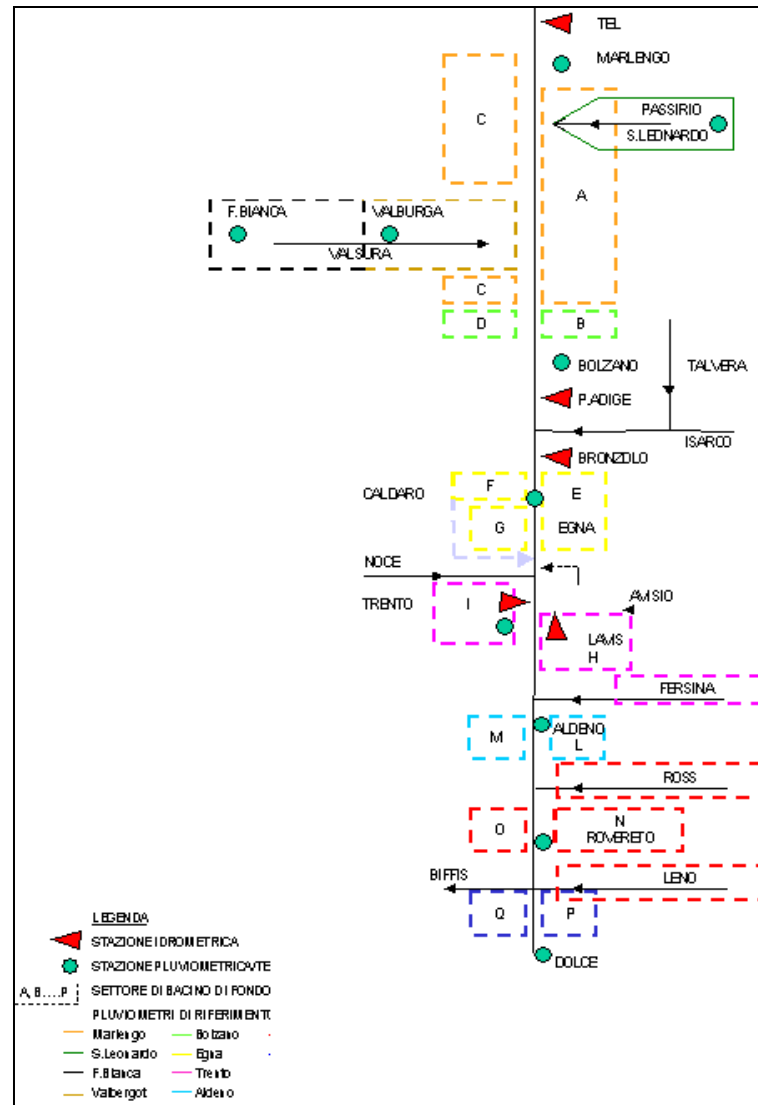
## Deflusso superficiale

### • Fiumi principali:

dati misurati agli idrometri, scala giornaliera

• Tributari minori: portate medie mensili, desunte applicando i coefficienti di deflusso

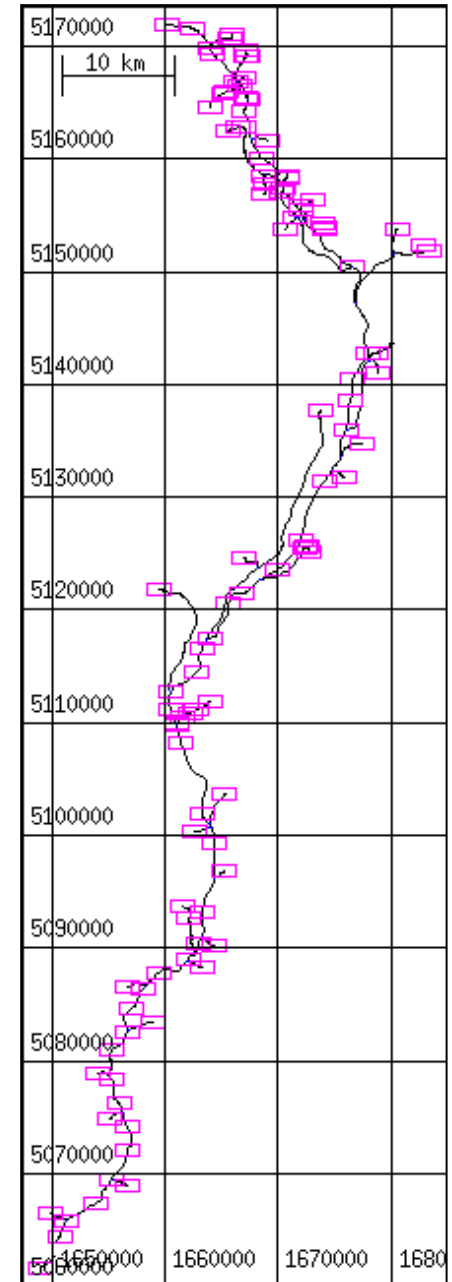
• Deflusso diffuso lungo i fianchi vallivi: portate medie mensili distribuite, desunte applicando i coefficienti di deflusso



## Applicazione di MIKE-SHE: geometria del reticolo idrografico

### *Geometria dei corsi d'acqua*

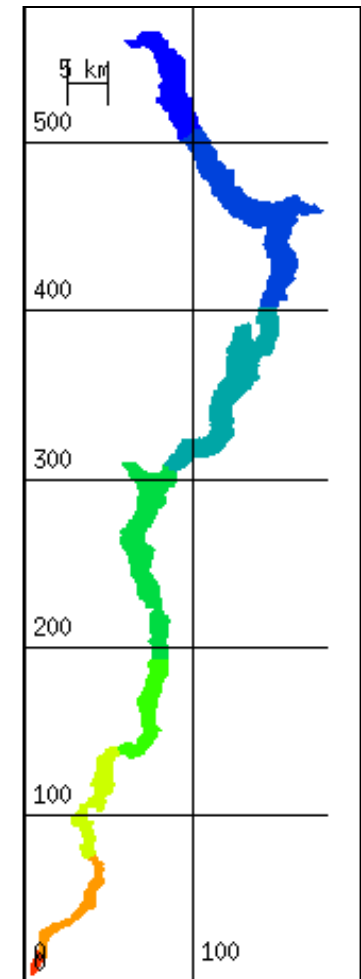
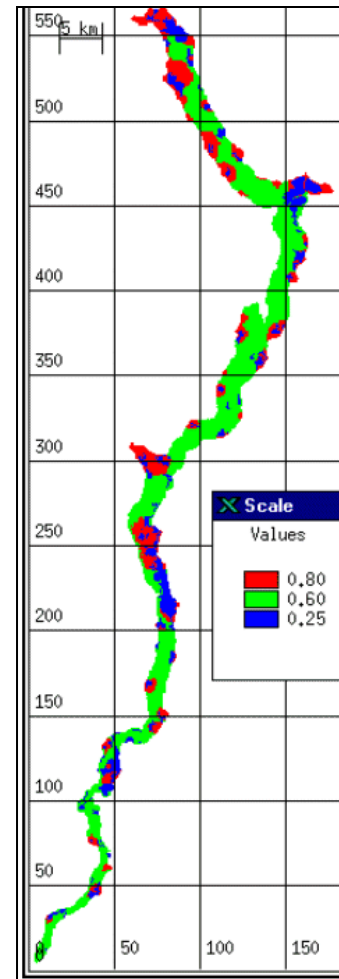
- F.Adige: discretizzazione morfologica in accordo alle sezioni trasversali misurate e quotate;
- Corsi d'acqua tributari: sezioni trasversali schematiche



## Applicazione di MIKE-SHE: deflusso sotterraneo

### **Condizioni al contorno**

- Ricarica verticale per infiltrazione delle piogge efficaci (input: valori giornalieri misurati in 9 stazioni pluviometriche) distribuite in funzione dei coefficienti di infiltrazione potenziale (assegnati in rapporto alla tessitura e alle classi di uso del suolo).
- Ricarica laterale dalle unità idrogeologiche in contatto laterale con l'acquifero di fondovalle (input mensile, Q distribuite dai settori di discarica dei massicci carsici, deflusso in subalveo dai conoidi).
- Prelievo da pozzi considerato in modo distribuito (pozzi irrigui) e concentrato (pozzi idropotabili e industriali).



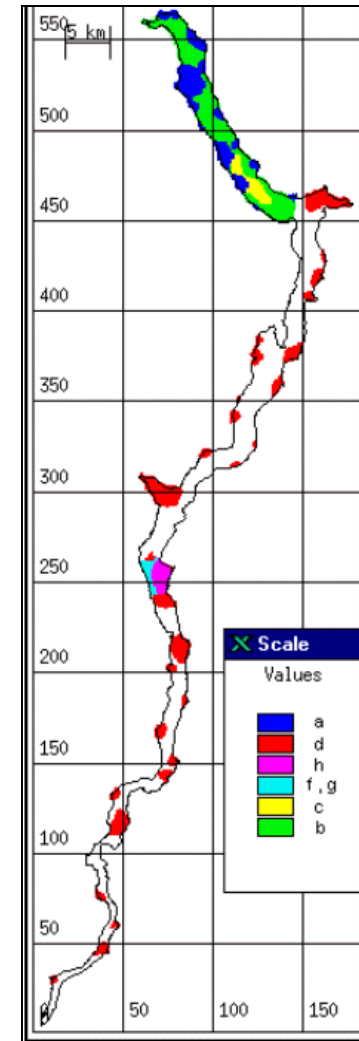
## Applicazione of MIKE-SHE: geometria del sistema acquifero

### ***“Layers” (continui nell’area in esame)***

- acquifero superficiale freatico
- acquifero inferiore;
- acquitarde regionale inferiore;
- bedrock (livello impermeabile di base).

### ***“Lenses” (discontinui nell’area in esame)***

- (a) acquifero superficiale indifferenziato nell’area Merano-Bolzano
- (b) serie acquifera multistrato nell’area Bolzano-Merano
- (c) acquifero sabbioso nell’area Merano-Bolzano
- (d) acquiferi freatici nei settori di conoide
- (e) acquitarde superiore
- (f) Acquifero freatico - conoide del T.Avisio
- (g) Depositi fini - conoide del T.Avisio
- (h) Serie clastica grossolana - T.Avisio



## Applicazione di MIKE-SHE: distribuzione regionale dei parametri idrodinamici dell'acquifero

Determinazione dei parametri idrodinamici da:

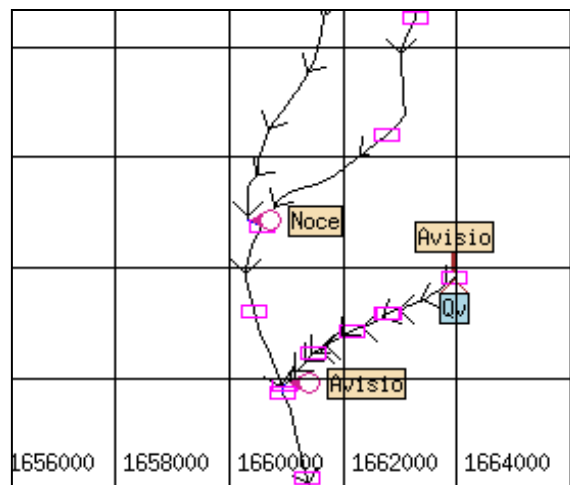
- risultati delle prove di pompaggio
- dati pregressi di letteratura
- correlazione tra portata specifica e trasmissività

Hydrogeological layers	$K_h$ (m/s)	$K_v$ (m/s)	$n_e$ (-)	S (1/m)
Layer 1 – Upper aquifer (phreatic)	$1,14 \times 10^{-3}$ (st.dev. = $1,2 \times 10^{-3}$ )	$1 \times 10^{-5}$	0.15	$2,69 \times 10^{-4}$ (st.dev. = $4,2 \times 10^{-4}$ )
Layer 2 – Lower aquifer (leaky-confined)	$5,49 \times 10^{-4}$ (st.dev. = $5,3 \times 10^{-4}$ )	$1 \times 10^{-6}$	0.10	$2,98 \times 10^{-5}$ (st.dev. = $6,6 \times 10^{-5}$ )
Layer 3 - Lower aquitard	$1,46 \times 10^{-5}$ (st.dev. = $2,7 \times 10^{-5}$ )	$1 \times 10^{-8}$	0.05	$1 \times 10^{-5}$
Lens "a"-unconfined aquifer, Merano/Bozen	$1,03 \times 10^{-3}$ (st.dev. = $1,0 \times 10^{-3}$ )	$5 \times 10^{-4}$	0.08	$8,93 \times 10^{-5}$ (st.dev. = $2,7 \times 10^{-5}$ )
Lens "b"-multilayer aquifer, Merano/Bozen	$5,72 \times 10^{-4}$ (st.dev. = $2,8 \times 10^{-4}$ )	$5 \times 10^{-5}$	0.10	$1 \times 10^{-4}$
Lens "c"-sandy aquifer, Merano/Bozen	$7 \times 10^{-4}$	$7 \times 10^{-5}$	0.05	$1 \times 10^{-4}$
Lens "d"-alluvial fan aquifers	$3,20 \times 10^{-3}$ (st.dev. = $1,8 \times 10^{-3}$ )	$1 \times 10^{-4}$	0.08	$5,76 \times 10^{-3}$ (st.dev. = $7,0 \times 10^{-3}$ )
Lens "e"-upper aquitard	$9,08 \times 10^{-7}$ (st.dev. = $9,9 \times 10^{-7}$ )	$1 \times 10^{-7}$	0.05	$1 \times 10^{-4}$
Lens "f"-Avisio upper aquifer	$2,89 \times 10^{-3}$ (st.dev. = $6,0 \times 10^{-4}$ )	$2,89 \times 10^{-4}$ (s = $6,0 \times 10^{-5}$ )	0.08	$1 \times 10^{-2}$
Lens "g"-Avisio lower aquifer	$8 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	0.06	$1 \times 10^{-4}$
Lens "h"-avisio coarse gravel	$1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-3}$	0.12	$1 \times 10^{-2}$

# Applicazione of MIKE-SHE: procedure di calibrazione, periodo 1990-1997 (1)

## *Taratura dei "River leakage coefficient" nei settori di conoide alluvionae*

- valore iniziale rapportato alla permeabilità dell'alveo (da sopralluoghi)
- stima delle portate di infiltrazione o drenaggio, mediante misure differenziali di portata
- analisi delle fluttuazioni piezometriche in piezometri adiacenti agli alvei
- ricerca dei "River leakage coefficient" che definiscono il miglior grado di correlazione tra flussi di cambio fiume-falda misurati e calcolati



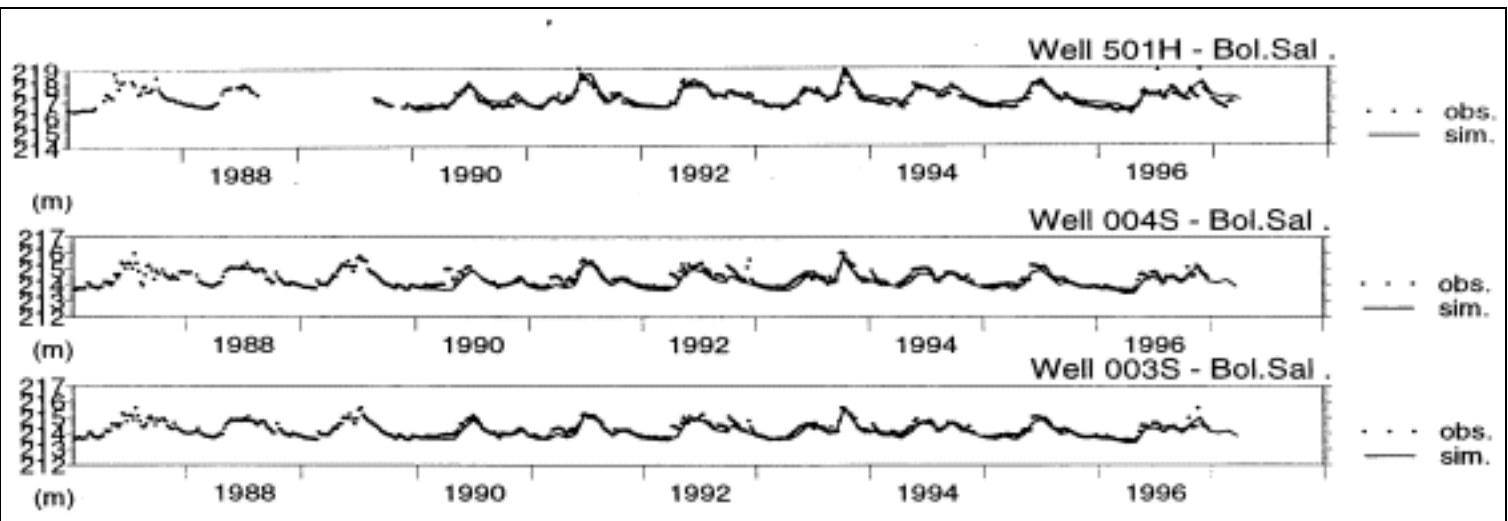
## *Taratura delle portate/livelli idrometrici nel F. Adige*

- verifica dei livelli idrometrici e delle portate in 3 stazioni di misura Q-h (taratura dei coefficienti di scabrezza dell'alveo)
- elevata corrispondenza finale tra valori osservati e simulati

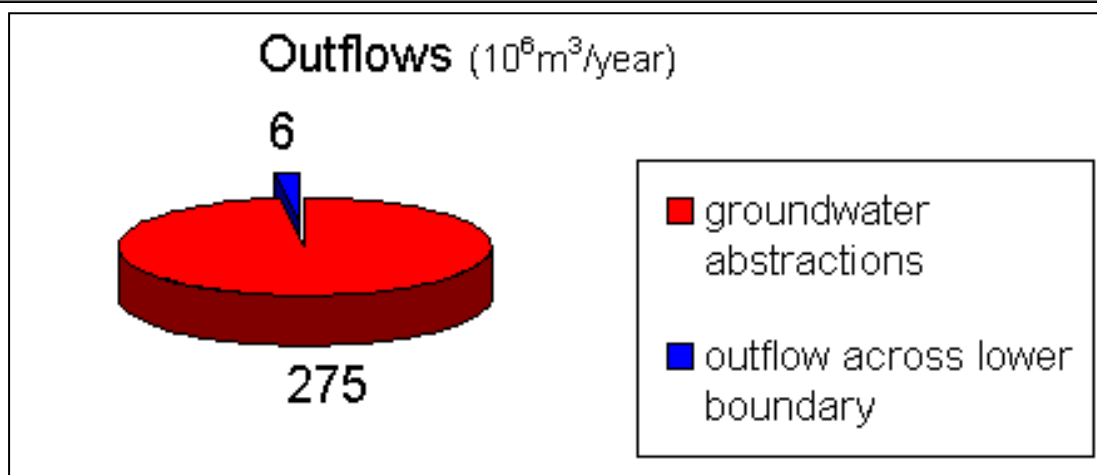
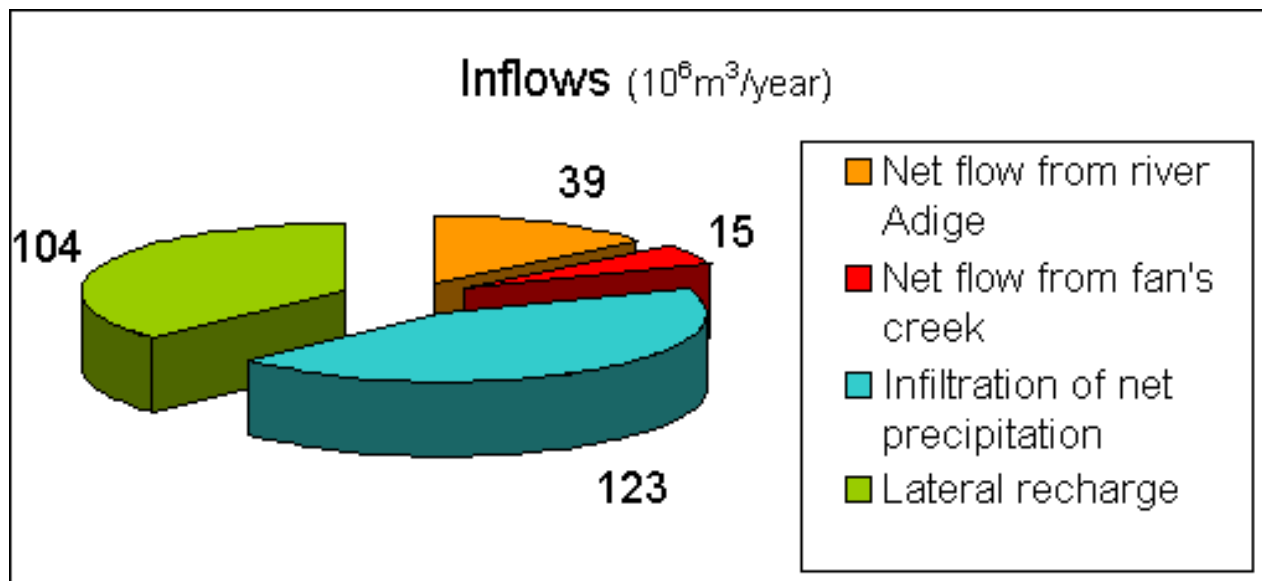
## Applicazione di MIKE-SHE: procedure di calibrazione - 2

### *Taratura dei parametri idrodinamici degli acquiferi*

- confronto con le serie piezometriche settimanali/giornalieri (70 punti, Ufficio Idrografico di Bolzano)
- confronto con il campo di moto della falda desunto mediante le campagne piezometriche eseguite nel corso dello studio (170 wells, 4 misure/anno)
- il maggiore grado di affinamento del modello è raggiunto nel settore di fondovalle
- risultati più approssimati vengono raggiunti nei settori di conoide, con elevati gradienti idraulici, o in corrispondenza di zone con marcate irregolarità morfologiche del substrato roccioso



## Bilancio idrogeologico del sistema acquifero alluvionale di fondovalle





## Bilancio idrogeologico del sistema acquifero alluvionale di fondovalle

ENTRATE	Mm <sup>3</sup> /anno	USCITE	Mm <sup>3</sup> /anno
Infiltrazione netta dal F.Adige	39	Prelievi da falda	275
Infiltrazione netta dai tributari del F.Adige	15	Flusso in uscita al limite di valle	6
Ricarica laterale	104		
Infiltrazione delle piogge efficaci	123		
<b>Totale</b>	<b>281</b>		<b>281</b>
ENTRATE	m <sup>3</sup> /s	USCITE	m <sup>3</sup> /s
Infiltrazione netta dal F.Adige	1.23	Prelievi da falda	8.73
Infiltrazione netta dai tributari del F.Adige	0.46	Flusso in uscita al limite di valle	0.16
Ricarica laterale	3.90		
Infiltrazione delle piogge efficaci	3.30		
<b>Totale</b>	<b>8.9</b>		<b>8.9</b>

## Stima della riserva del sistema acquifero alluvionale di fondovalle

$$WP = WP_1 + WP_2$$

$$WP_1 = V_1 n_e$$

$$WP_2 = V_2 S$$

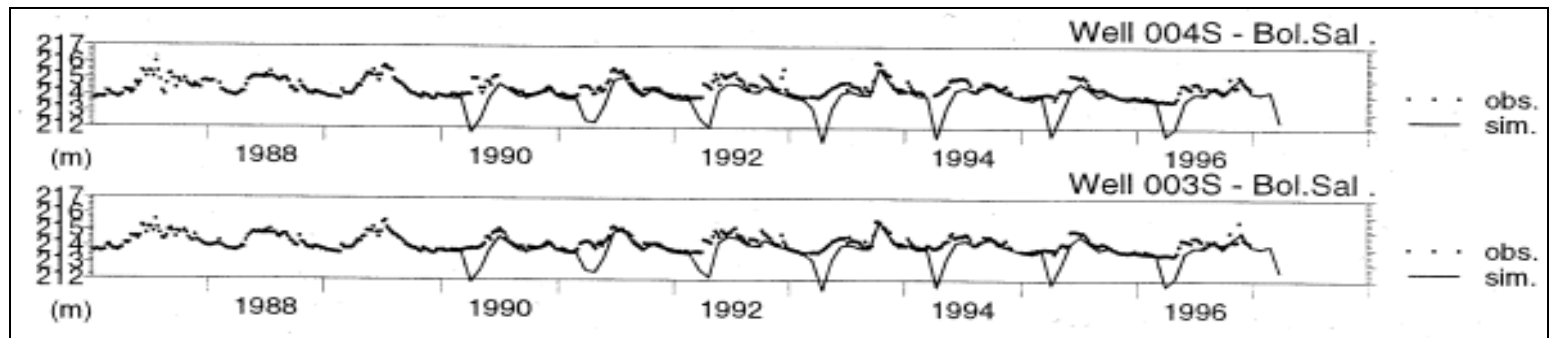
Dominio idrogeologico di riferimento	WP (Mm <sup>3</sup> )	WR(Mm <sup>3</sup> )	WT (Mm <sup>3</sup> )
Sistema acquifero alluvionale atesino	632	281	913

**Tasso medio di rinnovamento 30%**

## CONCLUSIONI

**Il sistema acquifero del fondovalle atesino è un caratteristico sistema integrato fiume-falda**

**Il sistema integrato fiume-falda è in grado di riequilibrare gli abbassamenti piezometrici indotti dai prelievi da falda**



**Gli effetti sul deflusso superficiale conseguenti all'incremento dei prelievi da falda sono più marcati nei tratti d'alveo in conoide**

**Gli acquiferi vallivi rivestono un interesse specifico per lo sviluppo della ricarica artificiale e l'uso integrato delle risorse idriche superficiali e sotterranee**

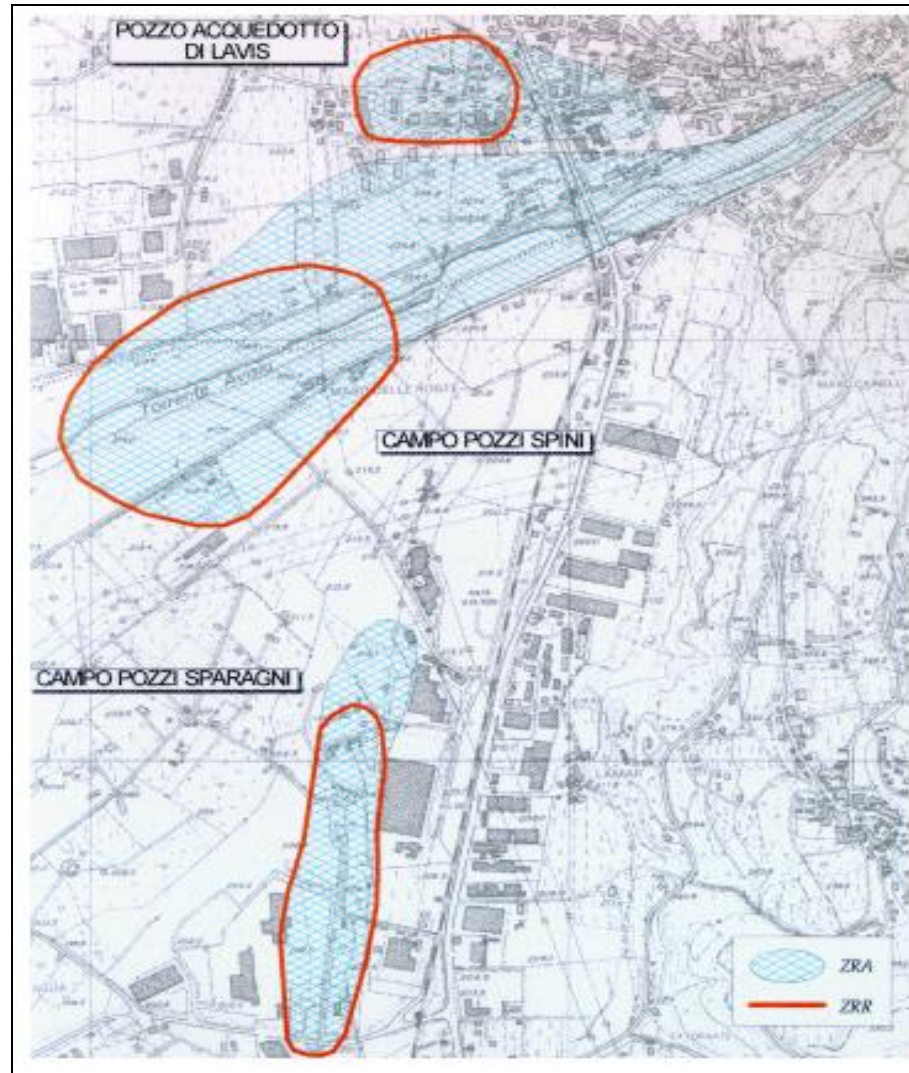
## Modello locale: conoide del T.Avisio (TN)

- Risorsa strategica per l'approvvigionamento idropotabile di Trento (100.000 ab.serviti)
- Elevata vulnerabilità dell'acquifero freatico, non protetto
- Tasso di infiltrazione medio annuo dal T.Avisio:  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  (25% della Qmeda)

- Dimensione cella di calcolo: 100 m
- Area di studio:  $11.42 \text{ km}^2$
- Periodo di applicazione: 1994-1996
- Procedura di calibrazione su 2 piezometri a registrazione giornaliera, e 40 pozzi piezometrici (campagne freaticometriche stagionali)
- Emungimenti idropotabili con input mensile; altri 140 pozzi irrigui-idropotabili, Qmeda

## VERIFICA STATO ATTUALE

Definizione delle zone di rispetto a 60-365 giorni in assetto dinamico dell'acquifero; riscontro di zone di rispetto ad efficacia limitata (attraversate dal corso d'acqua disperdente)



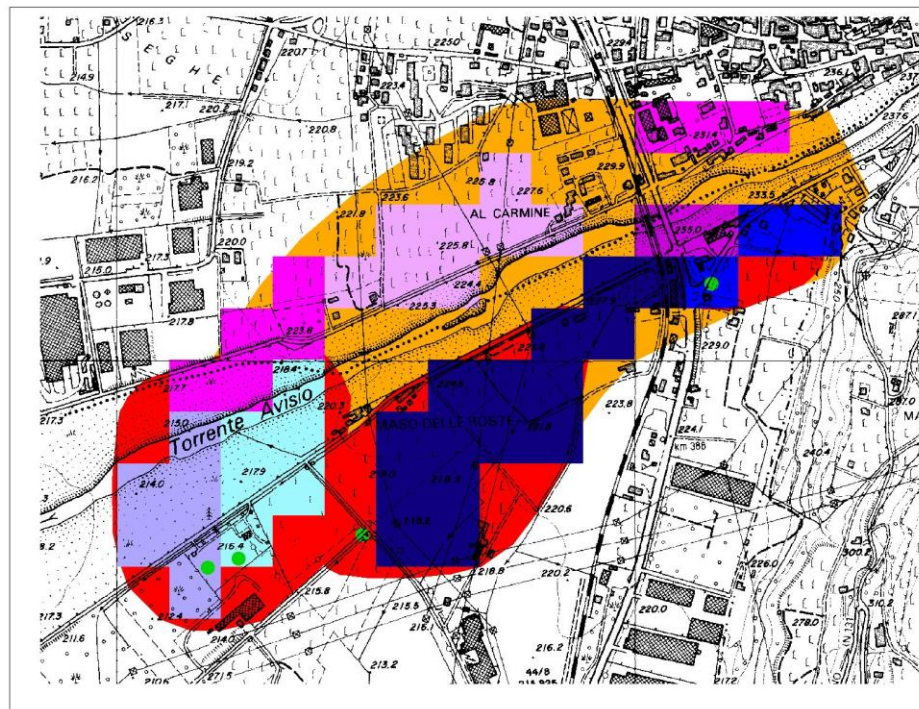
# VERIFICA IPOTESI PROGETTUALE

Definizione di nuovo assetto del campo-pozzi:

- prelievo dalla porzione più profonda dell'acquifero
- Valutazione delle zone di rispetto in funzione della localizzazione degli orizzonti captati

Confronto tra le zone di rispetto dei pozzi profondi  
nelle ipotesi di prelievo dal primo e secondo strato di calcolo

LEGENDA



● Pozzi profondi

ZRR - 2° strato calcolo  
(isocrona 60 gg)

Spini 2

Spini 1

San Lazzaro 1

San Lazzaro 2

ZRA - 2° strato calcolo  
(isocrona 360 gg)

Spini 2

Spini 1

San Lazzaro 1

San Lazzaro 2

Zone di rispetto - ipotesi di  
prelievo da primo strato di  
calcolo

■ ZRR (isocrona 60 gg)

■ ZRA (isocrona 360 gg)

0 0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 1.8 Kilometers

