3-6 October - Piacenza - Italy
2012 GEO FLUID
Drilling & Foundations

Workshop

La gestione sostenibile delle acque che interferiscono con lo scavo di gallerie

Giovedì 4 ottobre, ore 14.00-17.00, Sala Convegni H

Impiego di traccianti artificiali per determinare la connessione tra acque superficiali e galleria

Valentina Vincenzi

Geologo, libero professionista (Ferrara, Italy) **- vincenzi.vale@gmail.com**

Cosa sono e a cosa servono i traccianti ?

Un tracciante è qualsiasi tipo di sostanza o proprietà dell'acqua che può essere usata per seguire il percorso dell'acqua (superficiale e sotterranea) e per rispondere a quesiti del tipo:

- **c'è connessione idrogeologica tra 2 o più punti?**
- **da dove proviene l'acqua?**
- **verso dove fluisce?**
- **quanto flusso c'è?**
- **come si muovono i contaminanti nell'acquifero?**
- **e tante altre…**

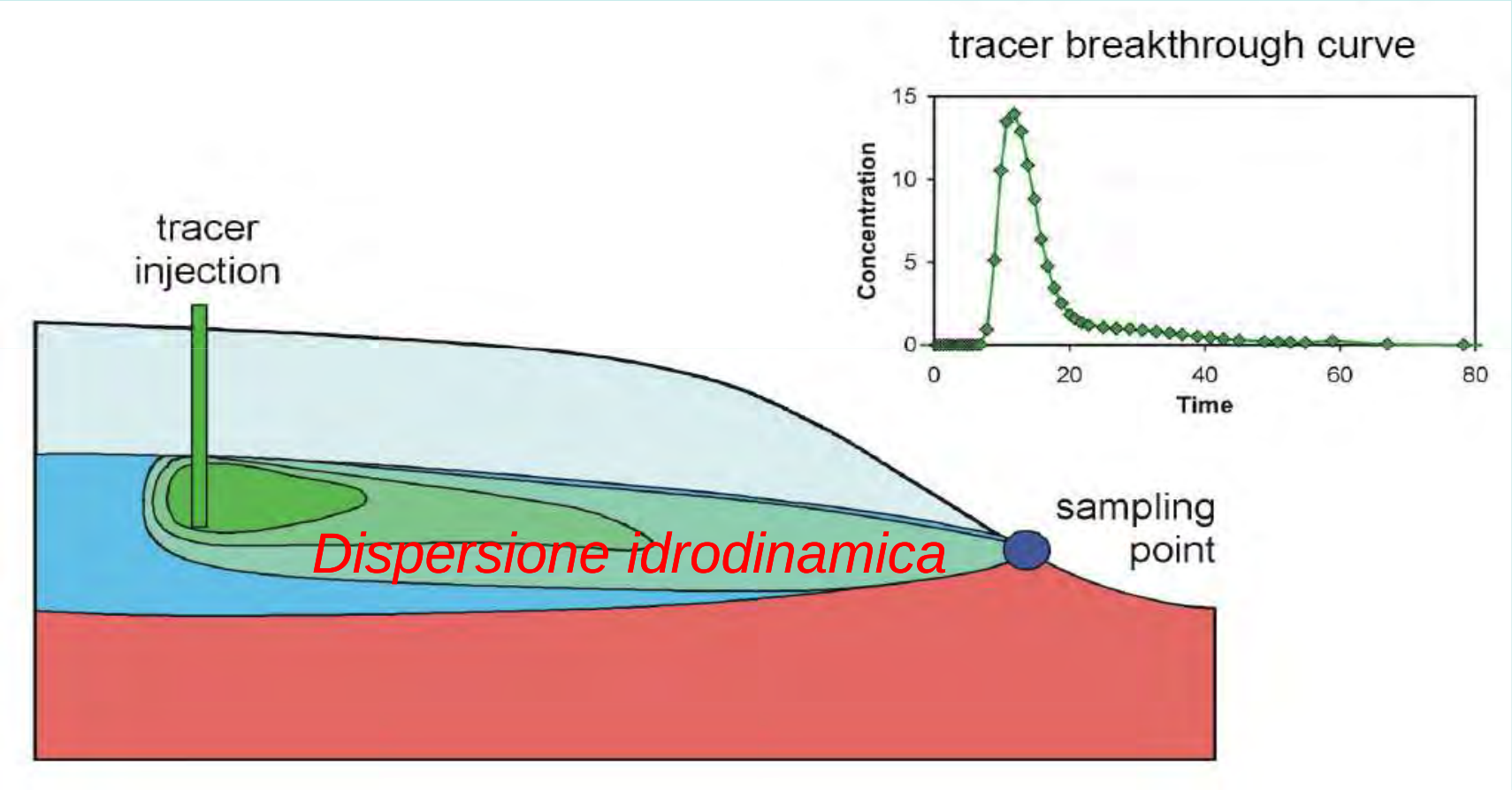
Tracciante artificiale

Sostanza che viene immessa (volontariamente o accidentalmente) nel corpo d'acqua, ma che è naturalmente assente (o presente con un basso background).

Ad esempio:

- **prodotti chimici solubili**
  - **sali (NaCl, LiBr,…)**
  - **coloranti fluorescenti (fluoresceina, rhodamina, eosina)**
- **particelle solide (batteri, pollini,…)**
- **isotopi stabili (acqua arricchita in ^{2}H o ^{18}O)**
- **isotopi radioattivi (^{3}H, ^{14}C, ^{36}Cl, ^{131}I,…)**
- **…**

Tracciamento delle acque sotterranee



Il tracciante viene immesso ARTIFICIALMENTE in un punto dell'acquifero e rilevato in un altro punto a valle del flusso di falda.

Possibili risultati QUANTITATIVI di una prova di tracciamento:

- velocità reale dell'acqua (v)
- portata del flusso (Q)
- parametri dell'acquifero:
  - *conducibilità idraulica* *(K)*
  - *porosità efficace* *(n_e)*
  - *dispersività* *(α)*

Campi di applicazione

Sistemi naturali:

- **ambiente carsico (classico)**
- **mezzi fratturati**
- **mezzi porosi**
- **suolo e zona insatura**
- **ghiacciai**
- **fiumi e torrenti**
- **interazione a.superf./a.sott.**
- **laghi**
- **oceani**
- **studi di laboratorio**

Sistemi alterati da opere antropiche (dighe, cave, miniere, gallerie,…)

Studio delle interazioni

Tracciante ideale

- assente nell'acqua
- alta solubilità nell'acqua
- facile rilevabilità (basso limite di rilevabilità)
- non si degrada (chimicamente, fisicamente, microbiologicamente)
- non interagisce con l'acquifero
- non altera proprietà acquifero
- non altera proprietà H_20

Conservativo

$v = v_{H20}$

- non tossico o nocivo per ambiente
- inoltre:
  - facile immissione
  - economico, facile da maneggiare

NON ESISTE !

Traccianti salini

Pro

- Alta solubilità
- Conservativi (in piccole quantità)
- Economici
- Non tossici (a basse C)
- Facile rilevabilità: misure in continuo conducibilità e sensori iono-selettivi

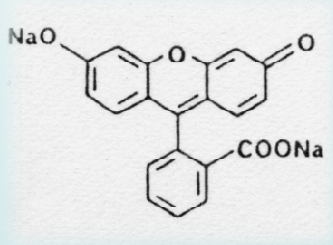
Ioni: Cl^- Br^- I^- F^- Li^+

Composti: NaCl, KI, LiCl

Contro

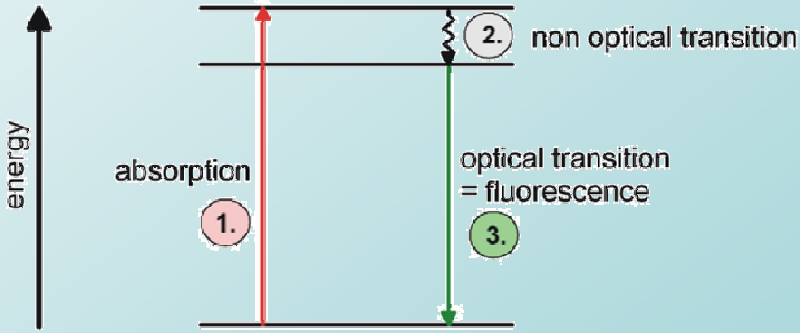
- Presenti nell'acqua in condizioni naturali
- Alto limite di rilevabilità (iniezione di grandi quantità)
- **Non conservativi in grandi quantità: > DENSITÀ H_2O**

Traccianti fluorescenti



Sostanze organiche artificiali con un gruppo aromatico che determina la fluorescenza (proprietà di riemettere un fotone dopo aver assorbito luce visibile o ultravioletta).

Essendo rarissimi i casi di fluorescenza naturale delle acque, si possono misurare concentrazioni bassissime (fino a 10^{-3} µg/l).



Vantaggi:

Bassissimo limite di rilevabilità (<massa richiesta)
Elevata solubilità
Non alterano la densità dell'acqua
Analitica semplice e rapida
Relativamente basso costo (50-200 €/kg)
Possibile iniezione multipla
Non tossicità

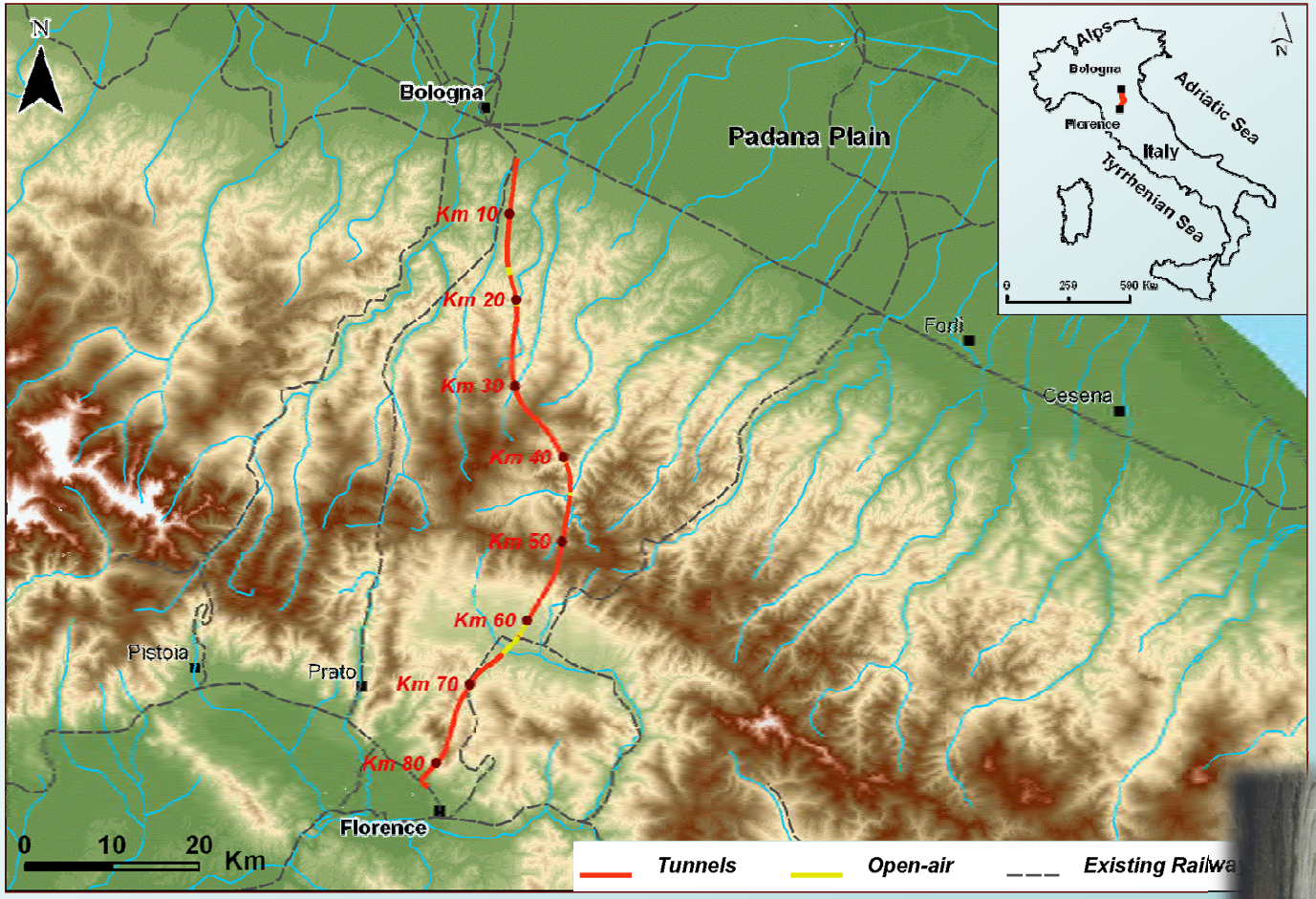
Svantaggi:

Elevato rischio di contaminazione dei campioni!
Fotodegradazione
Ritardo per adsorbimento (minerali argillosi)
Intensa colorazione delle acque!

Traccianti utilizz

	Nome Formula	Color I CAS nu	
NTI FLUORESCENTI	Uranina $C_{20}H_{10}O_5Na_2$	CI Acid Ye CAS 518-	
	Sulforhodamina G $C_{25}H_{26}O_7S_2Na$	CI Acid Re CAS 5873	
			torbidità e DOC
		ezione	Analitica: C.I. Alto limite di rilevabilità

Gallerie della linea TAV BO-FI

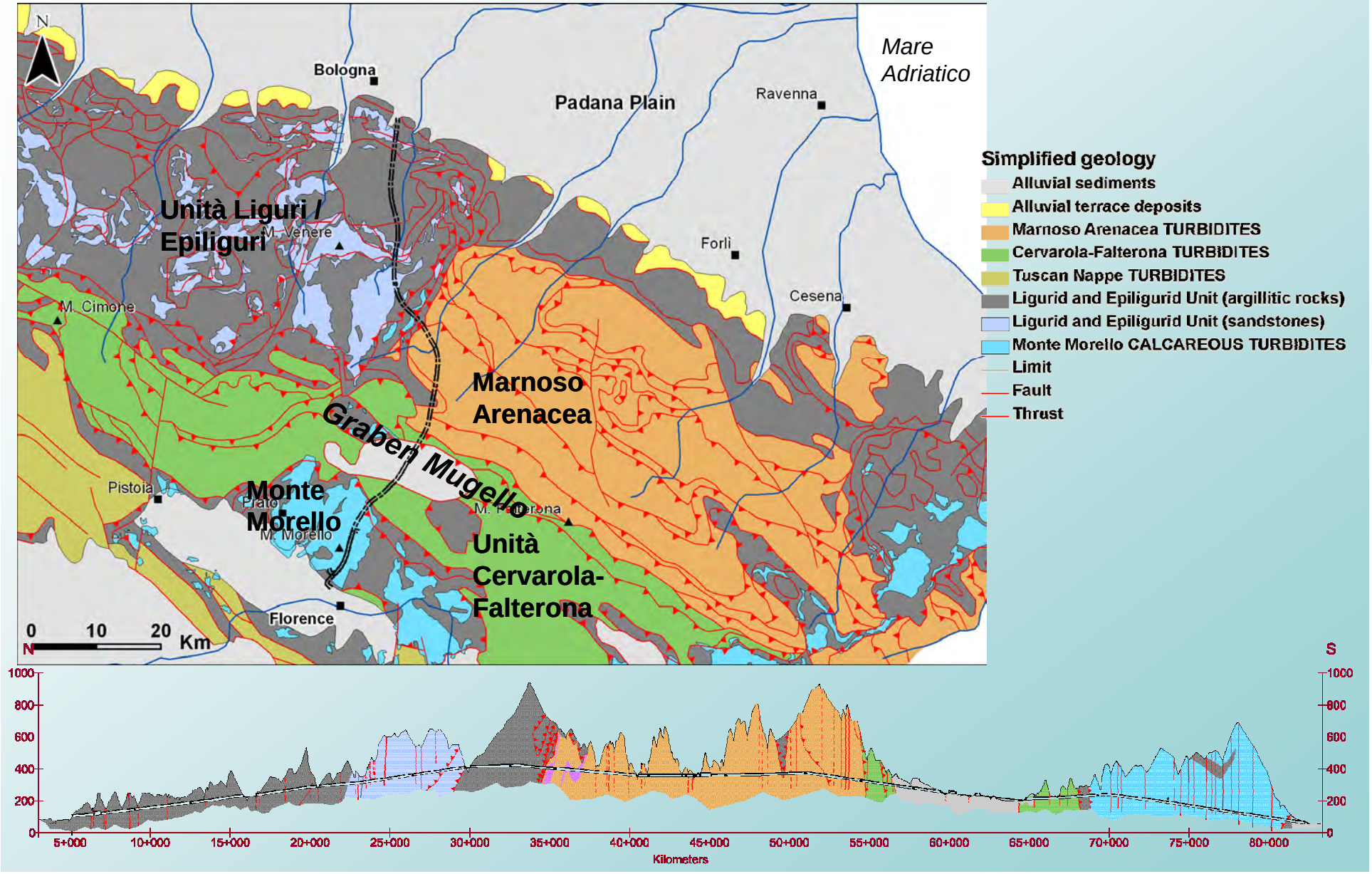


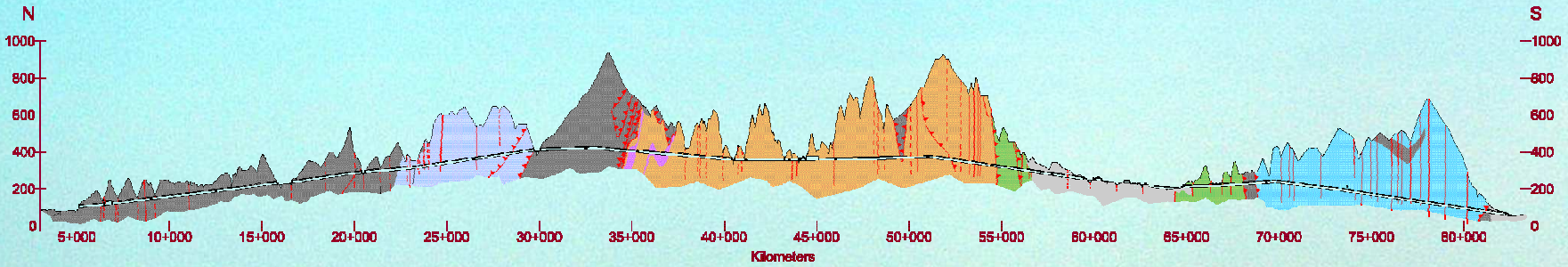
78 km lunghezza totale
73 km in galleria
(+ 15 km finestre)
Scavi dal 1996 al 2005

Quote: 100-413 m s.l.m.
Max coperture: 518-556 m
Galleria Vaglia: 18 km

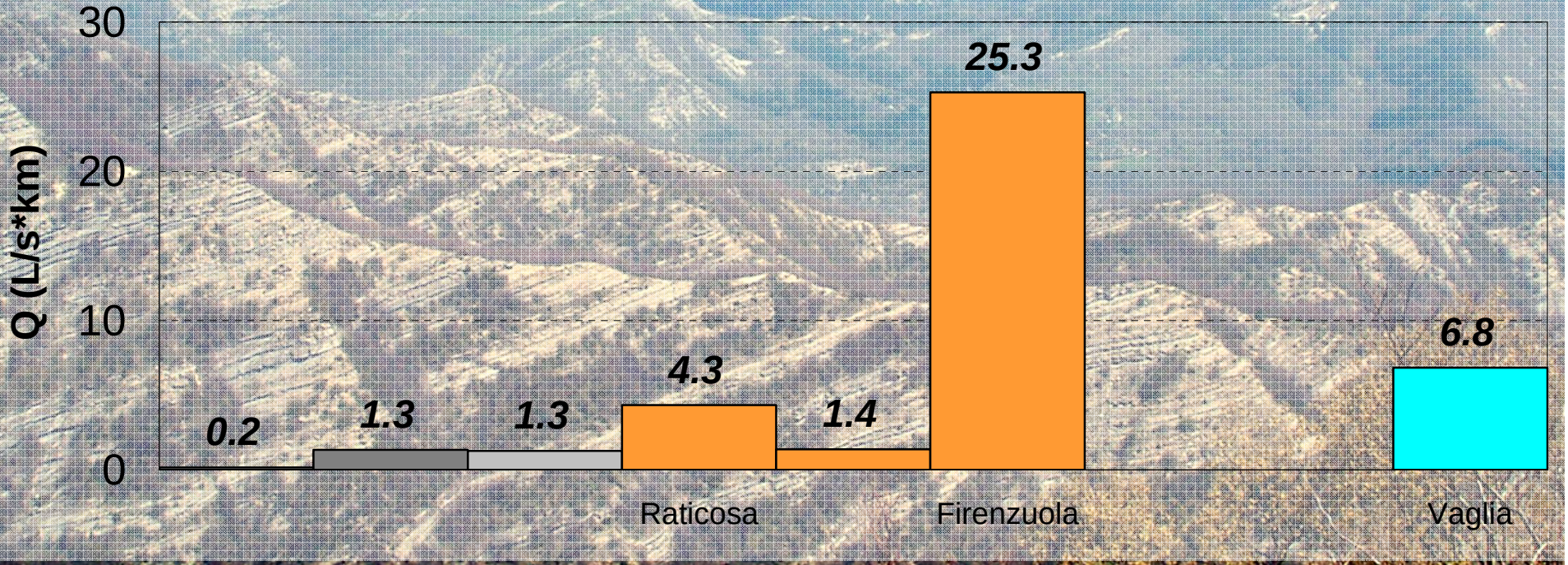
GALLERIE DRENANTI

Appennino Tosco-Emiliano





Torbiditi = formazioni più acquifere



Portata di drenaggio lineare specifica (valori medi annui del 2006 – **Monitoraggio Ambientale CAVET**) per le 7 gallerie principali della linea

MONITORAGGIO AMBIENTALE
Fiat Engineering
Consorzio CAVET

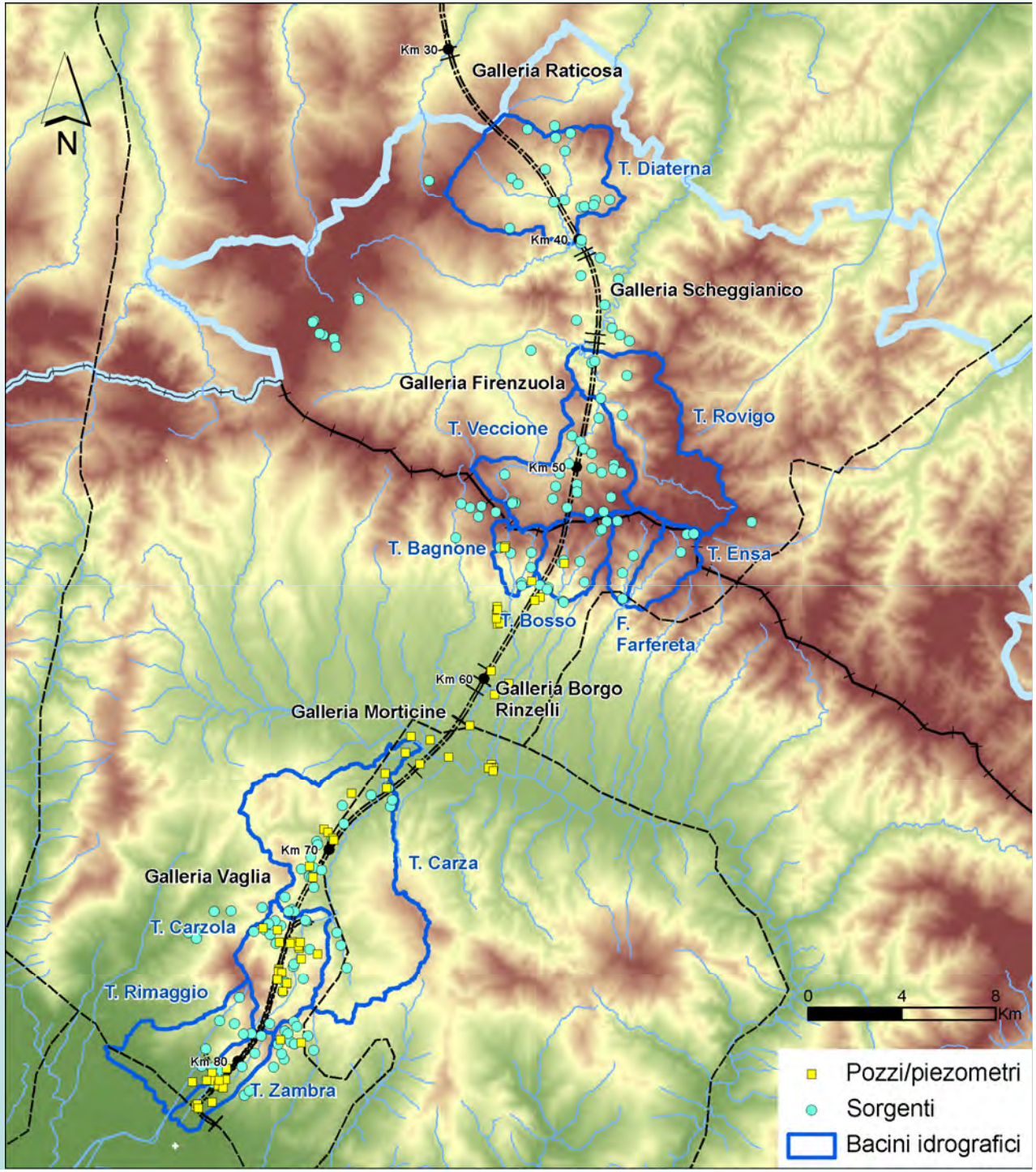
Iniziato nel 1995, ha coinvolto in ante-operam su tutto il tracciato:

- 402 sorgenti
- 180 pozzi / piezometri
- 96 sezioni d'alveo

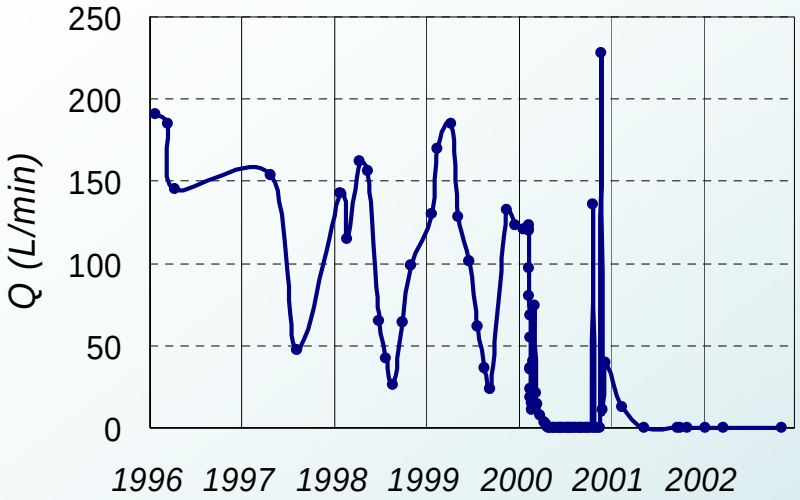
per una striscia di territorio ampia 2 km a cavallo della linea e con una tempistica legata alla posizione ed all'avanzamento dei fronti di scavo ed al regime di drenaggio delle gallerie.

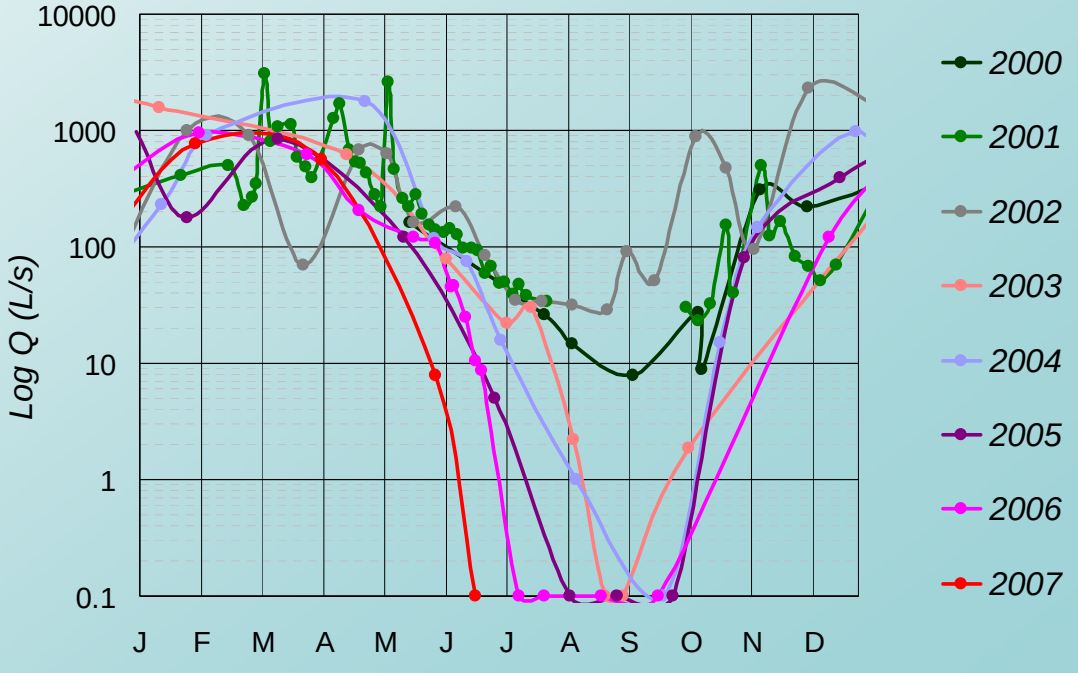
Monitoraggio idrogeologico a regime sulla tratta toscana in corso d'opera:

- 176 sorgenti
- 71 pozzi
- 76 sezioni d'alveo (11 bacini)



Effetti in superficie



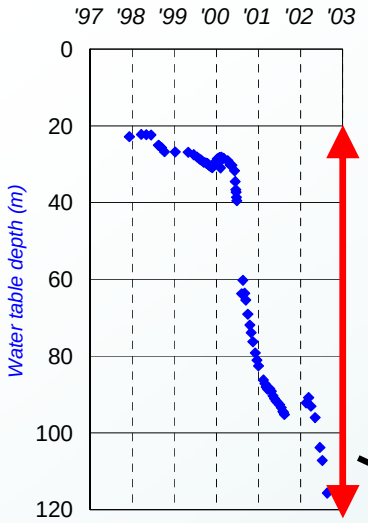


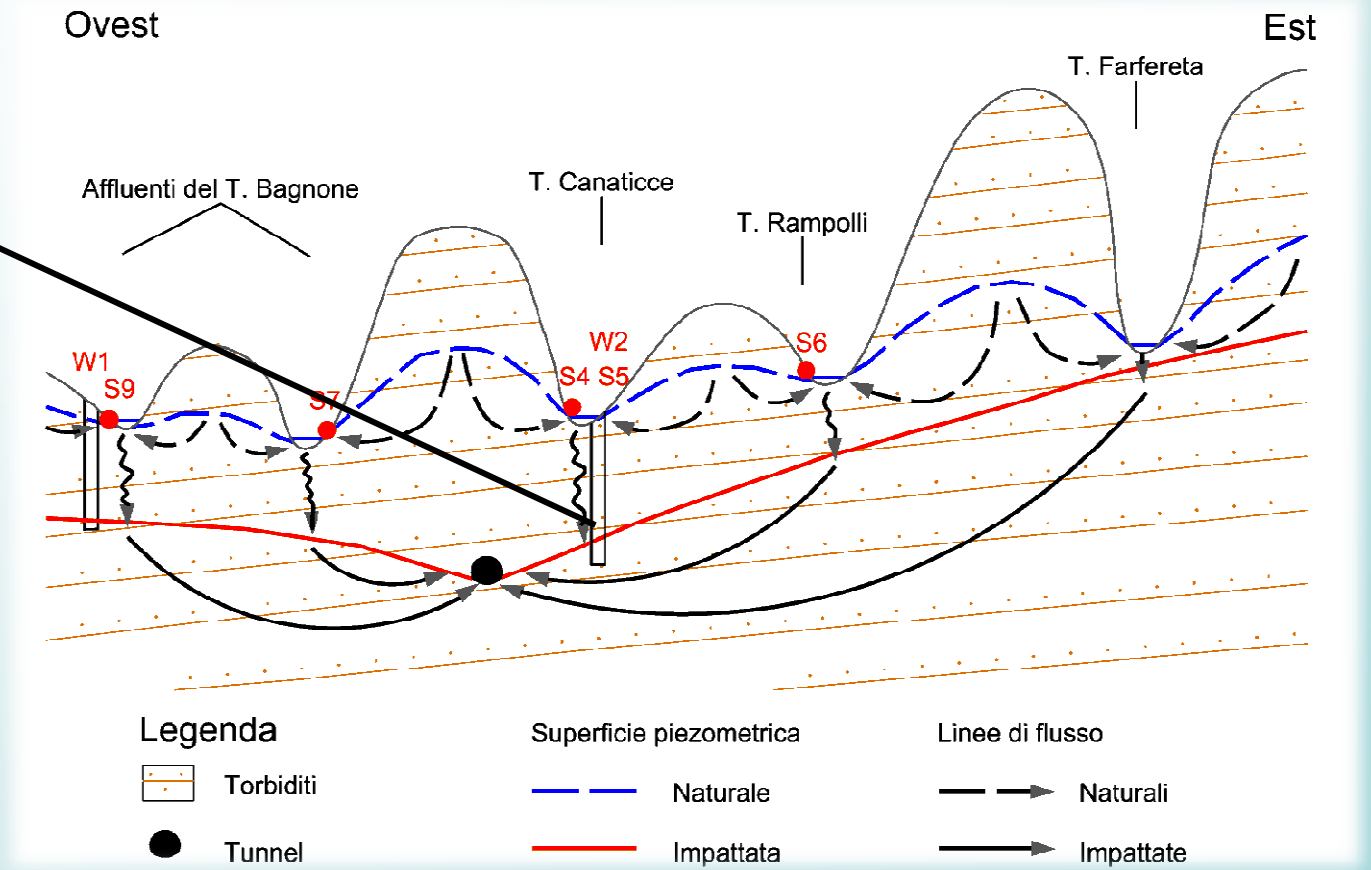
Effetti in superficie in funzione di:

- rapporto geometrico punto d’acqua / galleria (coperture, distanze planimetriche)
- caratteristiche geologiche del mezzo drenato
    - litologia
        - rapporto A/P
        - massimo spessore strati arenacei (MT)
    - tettonica
        - zone a maggior fratturazione
        - faglie distensive
    - dissoluzione secondaria in calcareniti

Modello concettuale

(lungo faglie distensive e fasce fratturate)

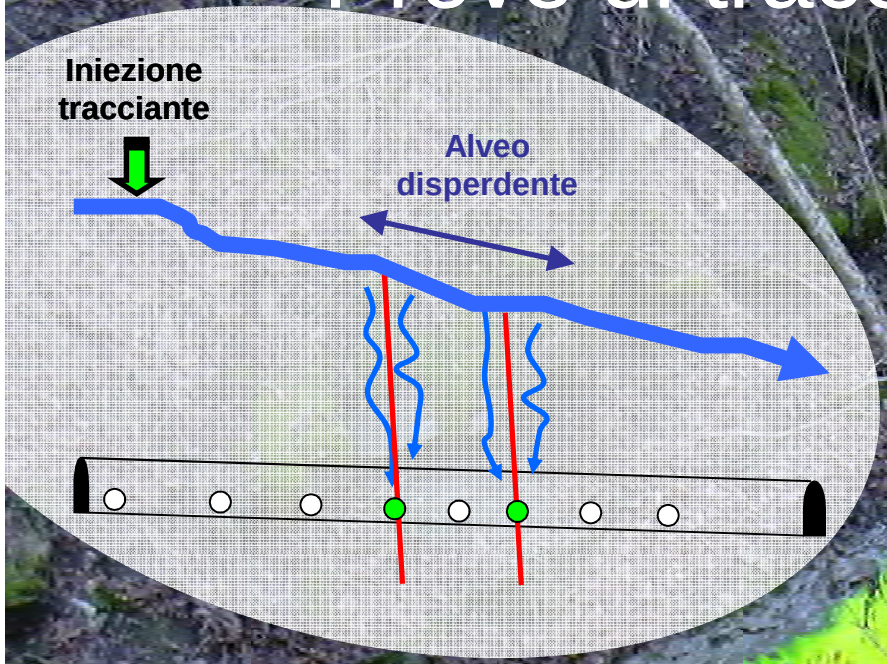




Gargini et al. (2008) - Vincenzi et al. (2009)

L'abbassamento della tavola d'acqua ha "invertito" i sistemi di flusso. I torrenti, che prima prendevano acqua dalla falda sotterranea durante l'estate, ora perdono acqua verso le gallerie.

Prove di tracciamento multiple



Obiettivi

- Localizzare e caratterizzare le connessioni
- Validare il modello concettuale degli impatti
- Validare il metodo sulle torbiditi fratturate

Sistema di drenaggio e campionamento

PUNTI SINGOLI

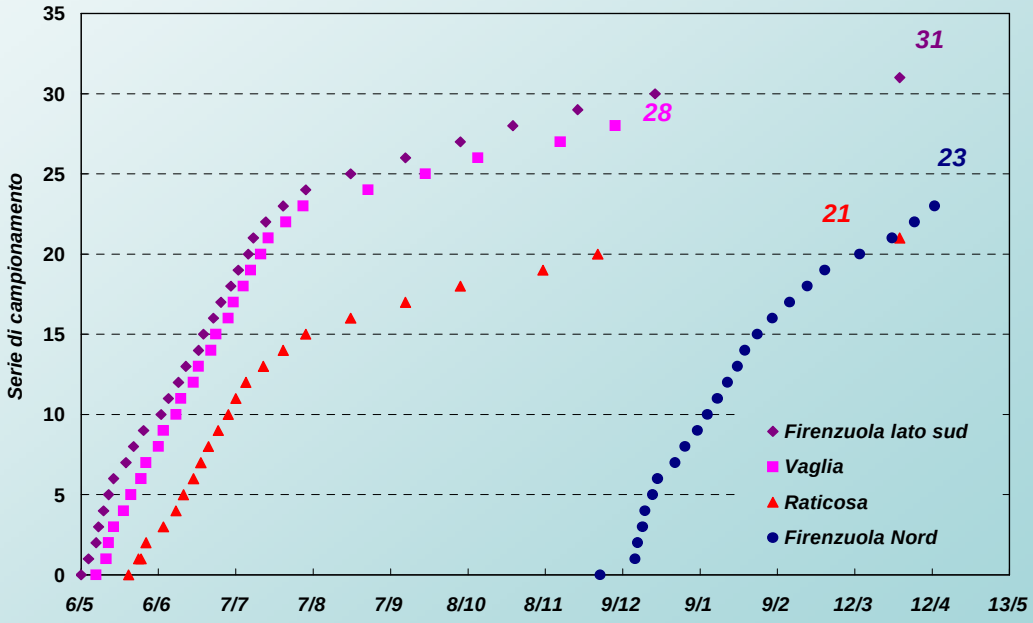
- Pozzetti di drenaggio (ogni 25 metri)
- Giunti arco rovescio, base murette

PUNTI CUMULATIVI

- Trincea e tubi di drenaggio centrali
- Tubi di drenaggio laterali
- Acque totali scaricate agli imbocchi

Campionamenti ed analisi

- Campionamento multi-spaziale e multi-temporale
- Campioni d’acqua: risultato quantitativo (Breakthrough curve)
- Fluocaptori (carboni attivi): risultati qualitativi, minore limite di rilevabilità
- Campionatori automatici e fluorimetri di campo (monitoraggio ad alta frequenza)
- Analisi di laboratorio con spettrofluorimetro (Perkin Elmer LS45)

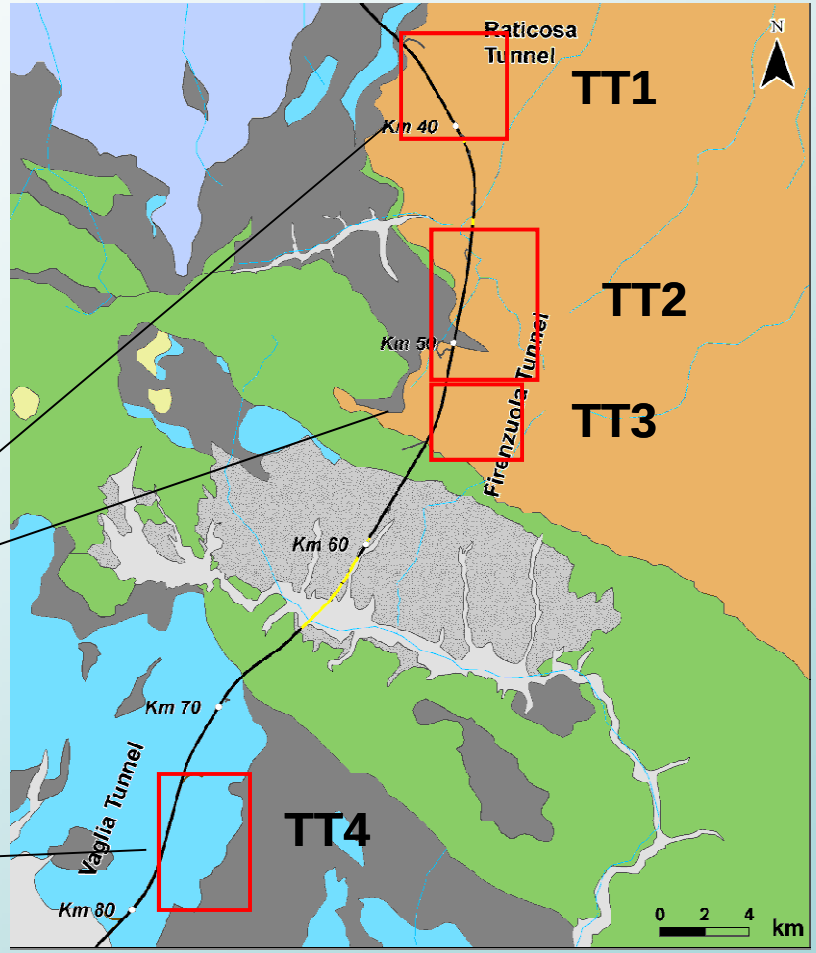


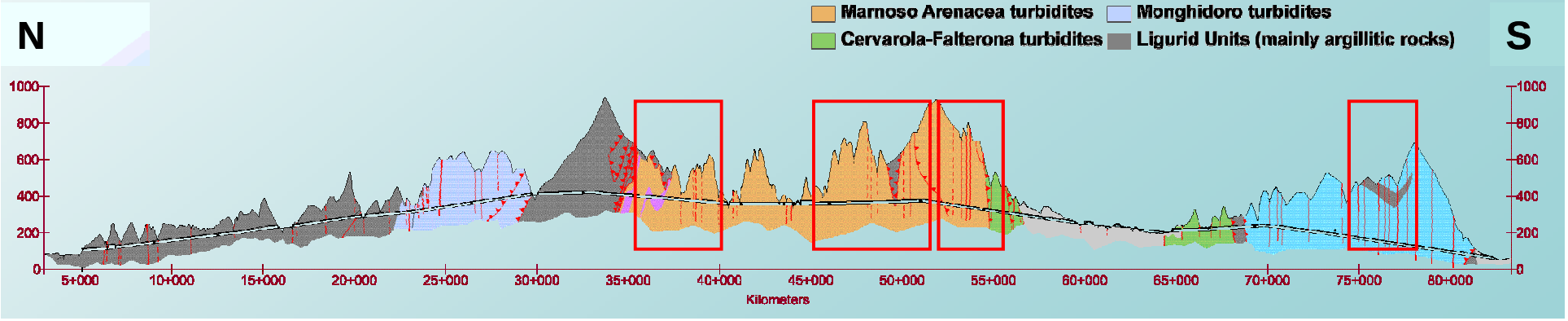
Siti di studio (TT)

= bacini con impatti più gravi sui torrenti

Marnoso Arenacea:
G. Raticosa
G. Firenzuola

Monte Morello:
G. Vaglia

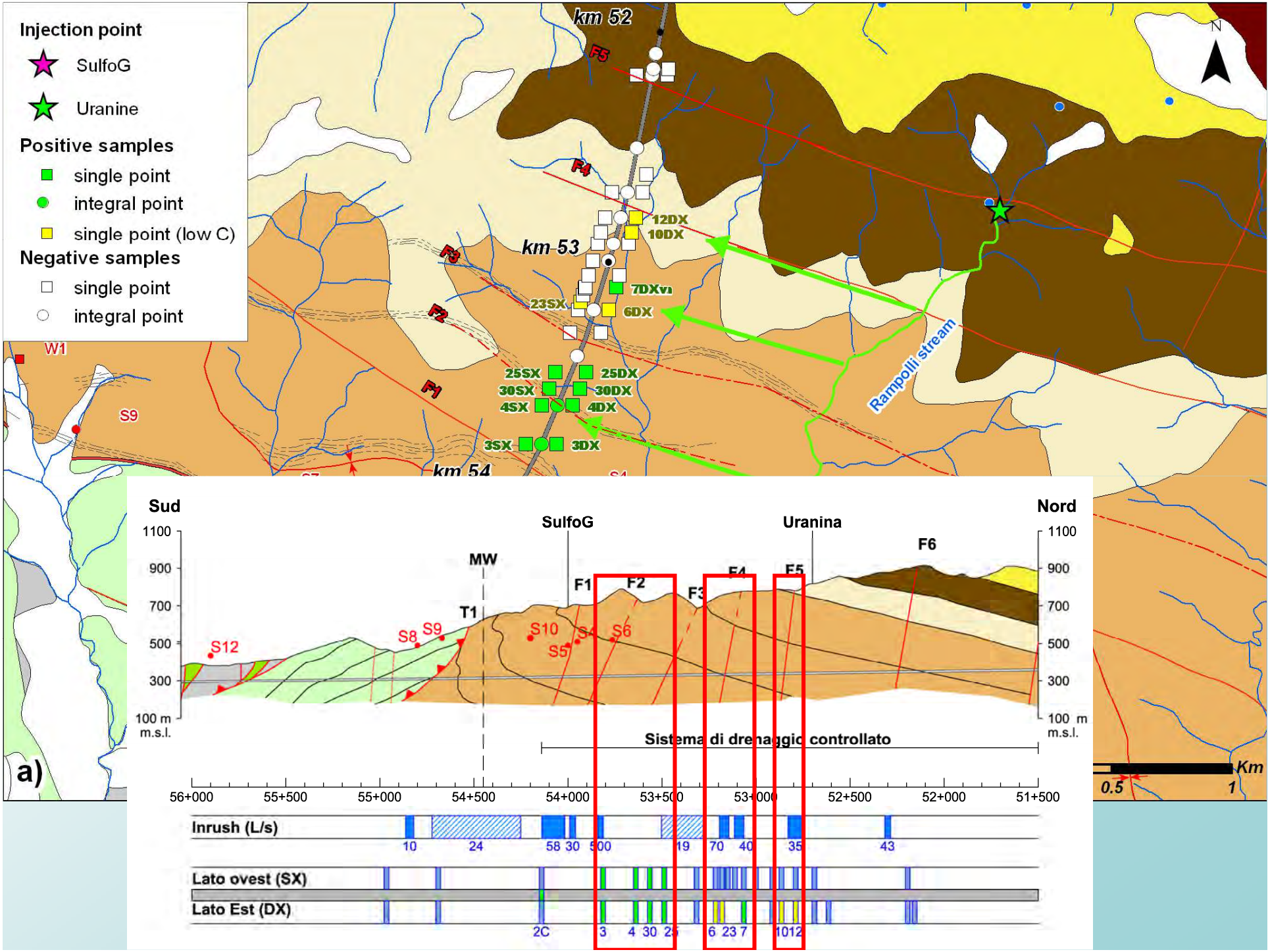




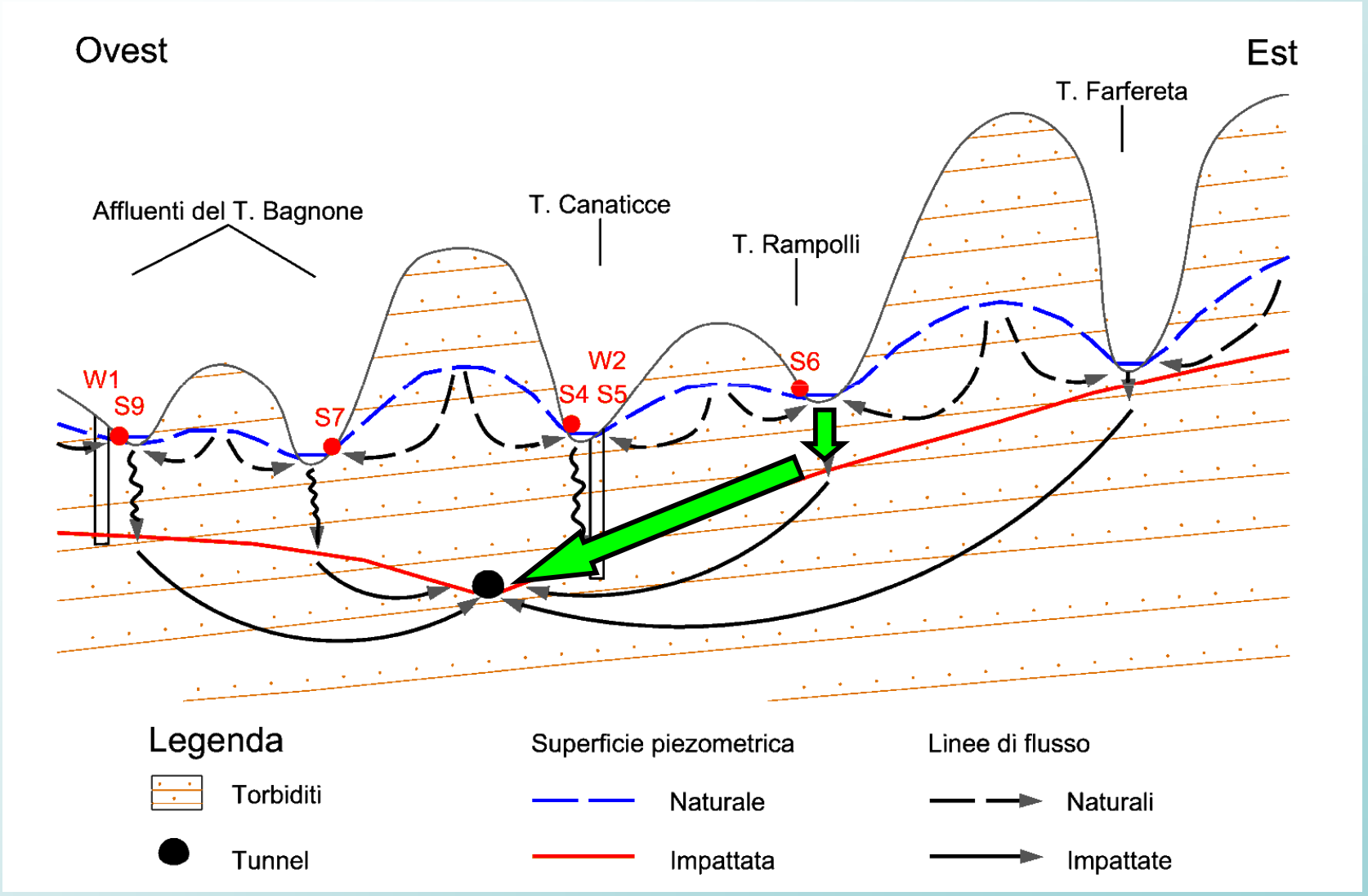
Siti sperimentali

Tracer test ID	TT1	TT2	TT3	TT4
Torrente/i	Diaterna	Veccione and Rovigo	Rampolli	Carzola
Galleria	Raticosa, southern side	Firenzuola, northern side	Firenzuola, southern side	Vaglia, southern side
Lunghezza settore di galleria monitorato (m)	3,400	7,000	2,900	4,000
Data immissioni	26/05/2006	13/12/2006	06/05/2006	14/05/2006
Traccianti immessi	5 kg Uranine 2 kg Sulfo-G 8 kg Tinopal	10 kg Uranine 8 kg Sulfo-G	5 kg Uranine 1 kg Sulfo-G	5 kg Uranine 25 kg LiCl
N° punti cumulativi	4	39	16	5
N° punti singoli	30	56	38	17
N° campagne di campionamento	22	24	32	29
Mesi di monitoraggio	10	4	10	7
N° campioni d'acqua	620	2800	1650	450
N° fluocaptori	570	0	640	400

	TT1	TT2	TT3	TT4
Litologia interessata dal tracciamento	FMA8	FMA8	FMA3	MLL
Rapporto A/P	0.5 ÷ 2	0.5 ÷ 2	0.5 ÷ 2	-
MT	1 ÷ 2 m	1 ÷ 5 m	1 ÷ 10 m	-
Breve descrizione litologica	Torbidite silicoclastica con spessore strati arenacei medio	Torbidite silicoclastica con spessore strati arenacei da medio ad elevato	Torbidite silicoclastica con spessore strati arenacei da elevato a molto elevato	Torbidite marnoso-calcarea
Elementi tettonici o altre peculiarità	Complessità strutturale e persistenza delle faglie di circa 100 m	Faglie sub-verticali e zone fratturate con sviluppo verticale > 300 m	Grandi faglie dirette con persistenza > 1000 m che bordano il graben del Mugello	Dissoluzione carsica in strati calcarenitici e calcilutitici; complessità strutturale
Massima distanza degli impatti in superficie	200 m	3300 m	4000 m	2300 m
Numero sorgenti impattate	3	15	11	13
Portata totale sottratta alle sorgenti (L/s)	0	6	21.1	1
Deflusso di base annuale sottratto ai torrenti (L/s)	34	153	101	73

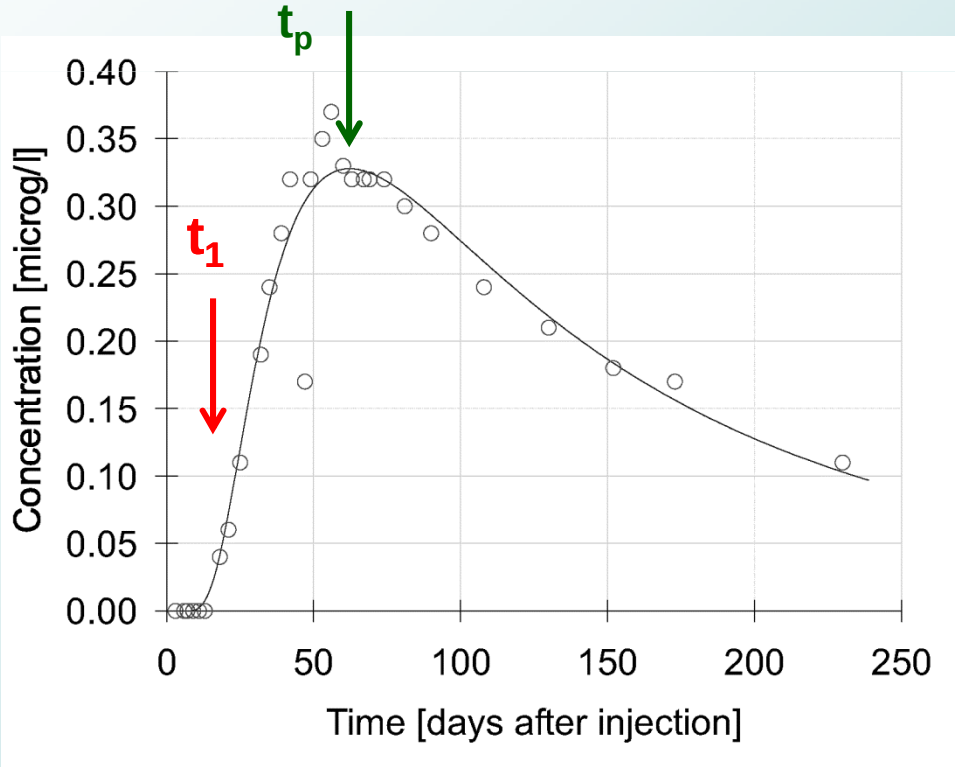

Injection point
SulfoG
Uranine
Positive samples
single point
integral point
single point (low C)
Negative samples
single point
integral point
km 52
km 53
km 54
F1
F2
F3
F4
F5
W1
S9
12DX
10DX
7DXvi
23SX
6DX
25SX
25DX
30SX
30DX
4SX
4DX
3SX
3DX
Rampolli stream
N
Sud
Nord
SulfoG
Uranina
MW
T1
F6
S12
S8
S9
S10
S5
S6
1100
900
700
500
300
100 m m.s.l.
Sistema di drenaggio controllato
56+000
55+500
55+000
54+500
54+000
53+500
53+000
52+500
52+000
51+500
Inrush (L/s)
10
24
58
30
19
70
40
35
43
Lato ovest (SX)
Lato Est (DX)
2C
3
4
30
25
6
23
7
10
12
a)
Km
0.5
1

Conferma del modello concettuale



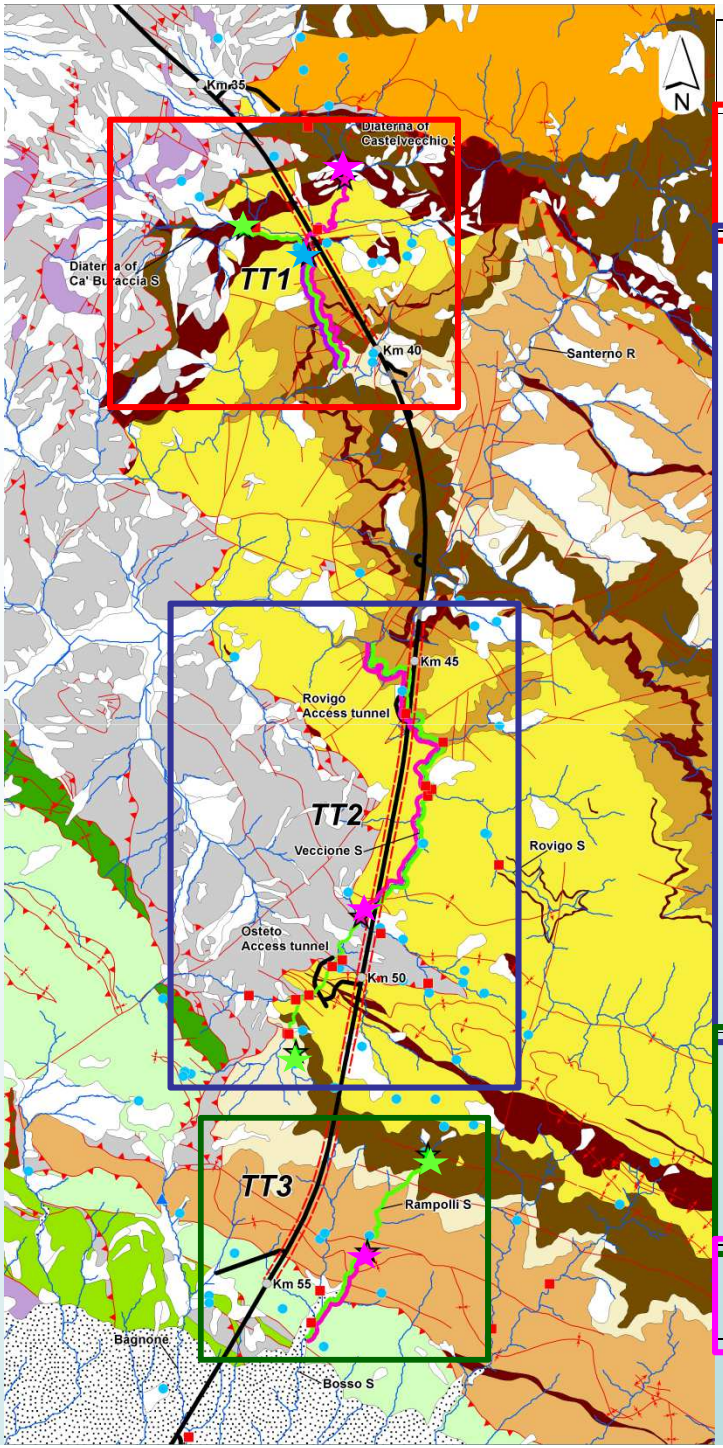
Gargini et al. (2008) - Vincenzi et al. (2009)

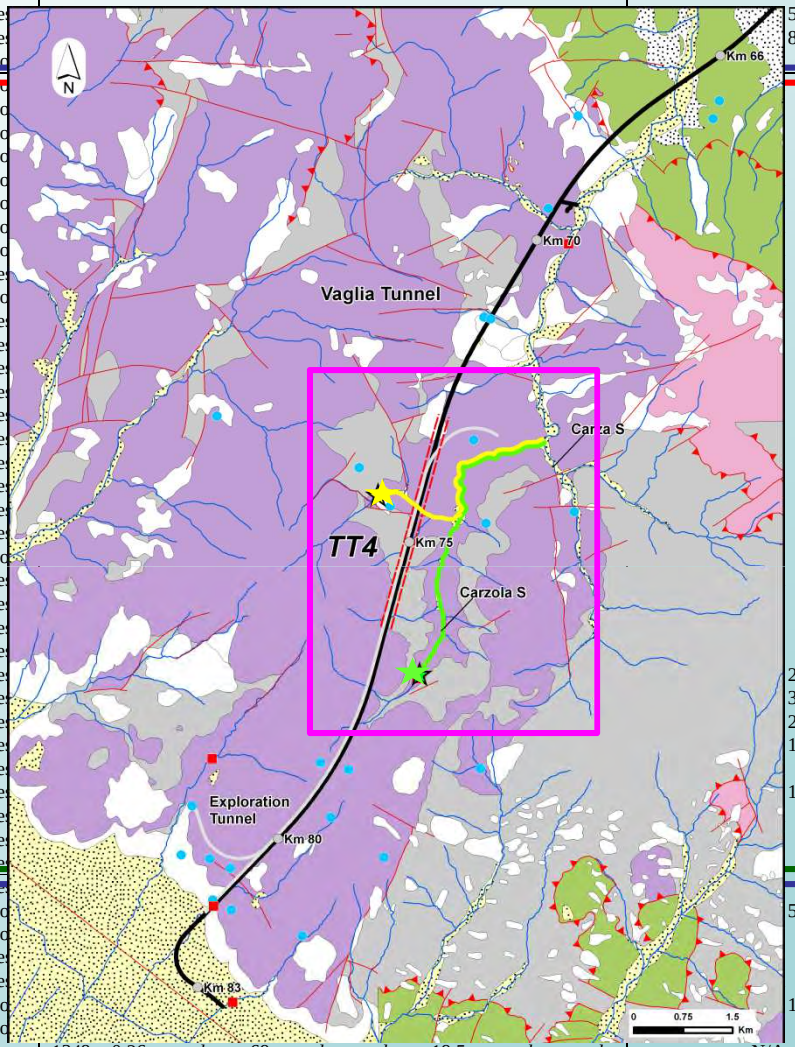
	v	D	α
	(m/d)	(m2/d)	(m)
3DX		N/A	
4DX	5.50	3162.00	574.91
30DX	14.41	363.00	25.19
25DX	18.67	838.50	44.91
6DX[a]		N/A	
7DXv	5.72	707.90	123.85
7DXm	10.09	218.70	21.67
10DX[a]		N/A	
12DX[a]		N/A	



Modello matematico basato sul modello advettivo-dispersivo monodimensionale (ADM; Kreft and Zuber 1978).

Software CXTFIT (Toride et al. 1999) per il fittaggio dei dati sperimentali e la determinazione dei parametri.

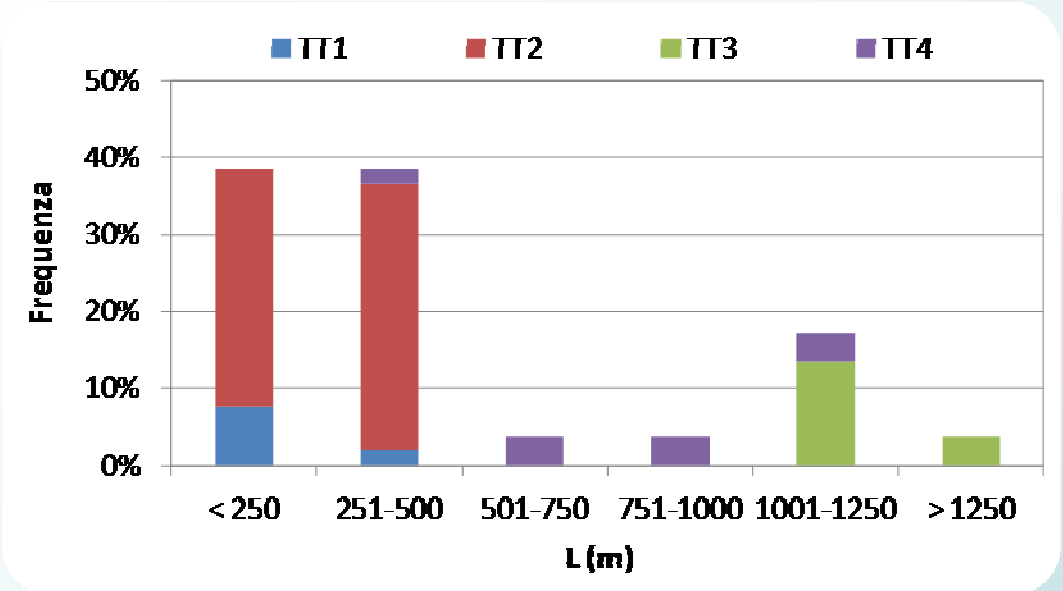


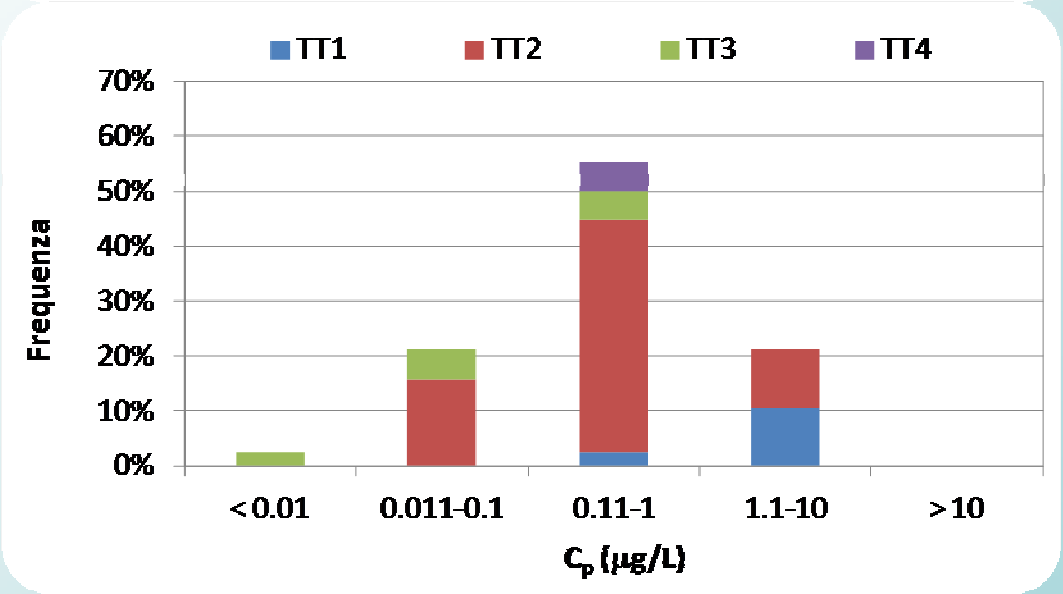


	Sampling point	Geology		Basic data									ADM model - Uranine			
		Rock mass	Fault	L (m)	i ( )	Q (L/min)	t_1 (d after injection)	t_p	C_p (ug/L)	v_{max} (m/d)	v_p (m/d)	R (g)	v (m/d)	D (m2/d)	α (m)	R^2 ( )
TT1	R22ADX	FMA8	yes	127	0.32	0.24	*n.d.*	35	4.300	*n.d.*	3.6	> 0.12	0.73	88.32	120.54	0.950
	R22ASX	FMA8	yes	127	0.32	0.60	*n.d.*	35	4.300	*n.d.*	3.6	> 0.28	0.05	106.20	2124.00	0.970
	R22SXm	FMA8	yes												551.79	0.934
	R22SXv	FMA8	yes												871.60	0.962
	R23SX	FMA8	no												50.99	0.597
	4DXm	FMA7	no													
TT2	9DXmv	FMA7	no												14.66	0.962
	20DXmv	FMA7	no												27.35	0.930
	23DXmv	FMA7	no													
	24DXmv	FMA7	no													
	25DXv	FMA7	no													
	26DXd	FMA7	no													
	27DXmv	FMA7	no													
	ROVDX	FMA7	yes													
	58DXv	FMA8	no												71.03	0.796
	80SXm	FMA8	yes												75.06	0.850
	81SXd	FMA8	yes												45.20	0.740
	82SXm	FMA8	yes												56.77	0.930
	83SX	FMA8	yes												68.67	0.983
	84SXp	FMA8	yes												28.25	0.791
	85SXmd	FMA8	yes												89.23	0.901
	85SXv	FMA8	yes												87.84	0.960
	88SXmd	FMA8	yes												65.06	0.970
	89SXvd	FMA8	yes												68.80	0.960
	111SXmd	FMA8	yes												73.98	0.987
	114SXb	FMA8	no												77.31	0.973
	127SXb	FMA8	yes													
	141SXm	FMA8	yes												82.57	0.965
	141DXm	FMA8	yes												60.78	0.901
	143DXb	FMA8	yes												69.85	0.850
	143SXb	FMA8	yes												247.60	0.919
	147SXd	FMA8	yes												373.20	0.812
	148SXv	FMA8	yes												201.77	0.968
	162DXm	FMA8	yes												156.00	0.854
	162SXm	FMA8	yes													
	163DXd	FMA8	yes												106.23	0.587
	164SXb	FMA8	yes													
	168DXm	FMA8	yes												36.72	0.837
	OSTDX	FMA8	yes												40.20	0.970
	3DX	FMA3	yes													
TT3	4DX	FMA3	no												574.91	0.95
	30DX	FMA3	no												25.19	0.950
	25DX	FMA3	yes												44.91	0.799
	6DX[a]	FMA3	yes													
	7DXv	FMA3	no												123.85	0.730
	7DXm	FMA3	no												21.67	0.817
	10DX[a]	FMA3	yes	1348	0.26	*n.d.*	69	*n.d.*	*n.d.*	19.5	*n.d.*	*n.d.*			N/A	
	12DX[a]	FMA3	yes	1390	0.27	*n.d.*	74	*n.d.*	*n.d.*	18.8	*n.d.*	*n.d.*			N/A	
TT4	P7DXm	MLL	no	469	0.28	1.50	5	12	0.158	93.8	93.1	0.01	27.37	2387.00	93.83	0.988
	P7DXv	MLL	no	469	0.28	3.00	5	12	0.208	93.8	39.1	0.01	35.85	1825.00	50.91	0.966
	P3DX[a]	MLL	no	615	0.33	*n.d.*	51	*n.d.*	*n.d.*	12.1	*n.d.*	*n.d.*			N/A	
	P4DX[a]	MLL	no	584	0.34	*n.d.*	107	*n.d.*	*n.d.*	5.5	*n.d.*	*n.d.*			N/A	

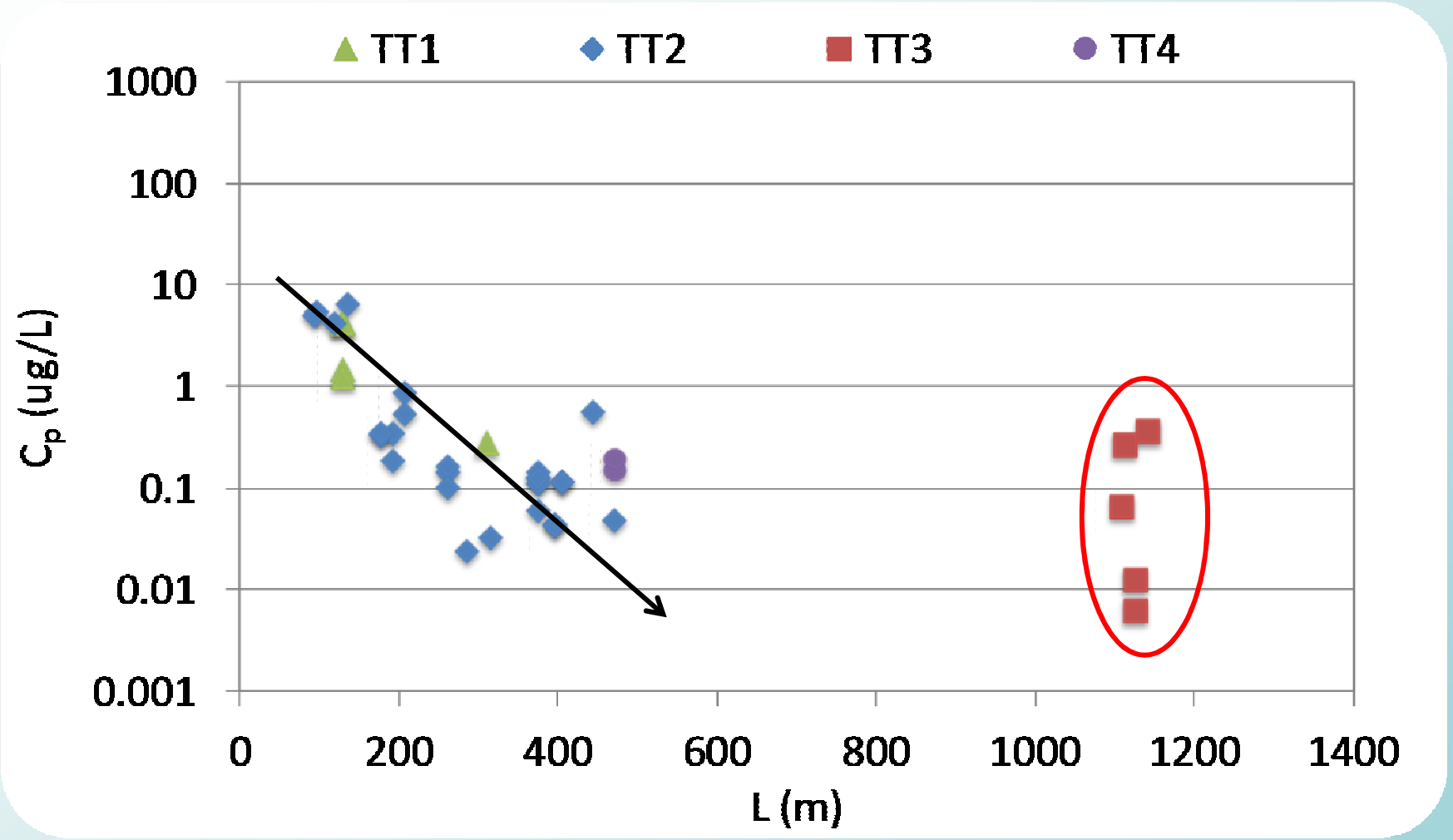
Vincenzi et al. (submitted to Rock Mechanics & Rock Engineering)

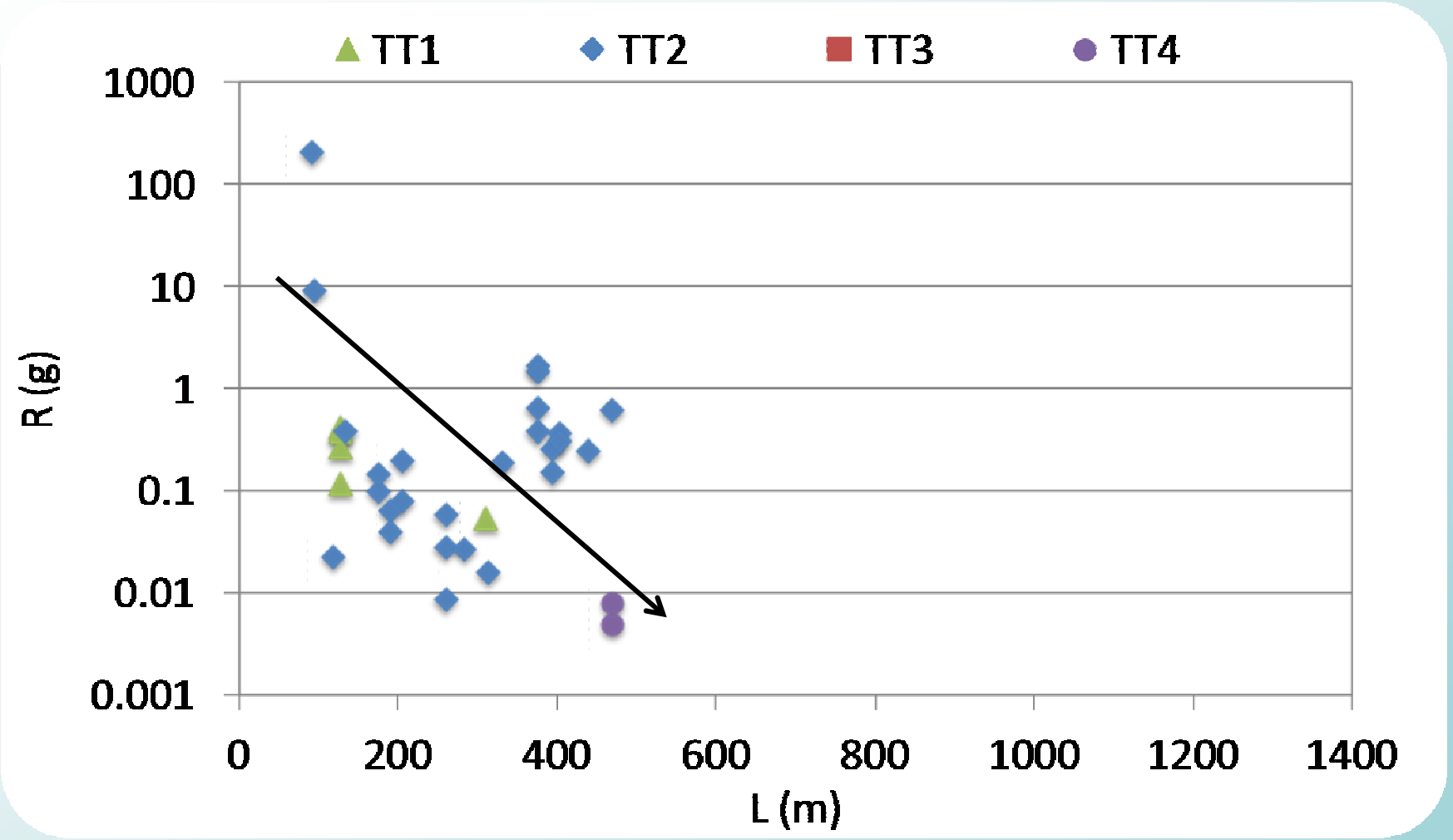
Sintesi risultati ai 4 TT



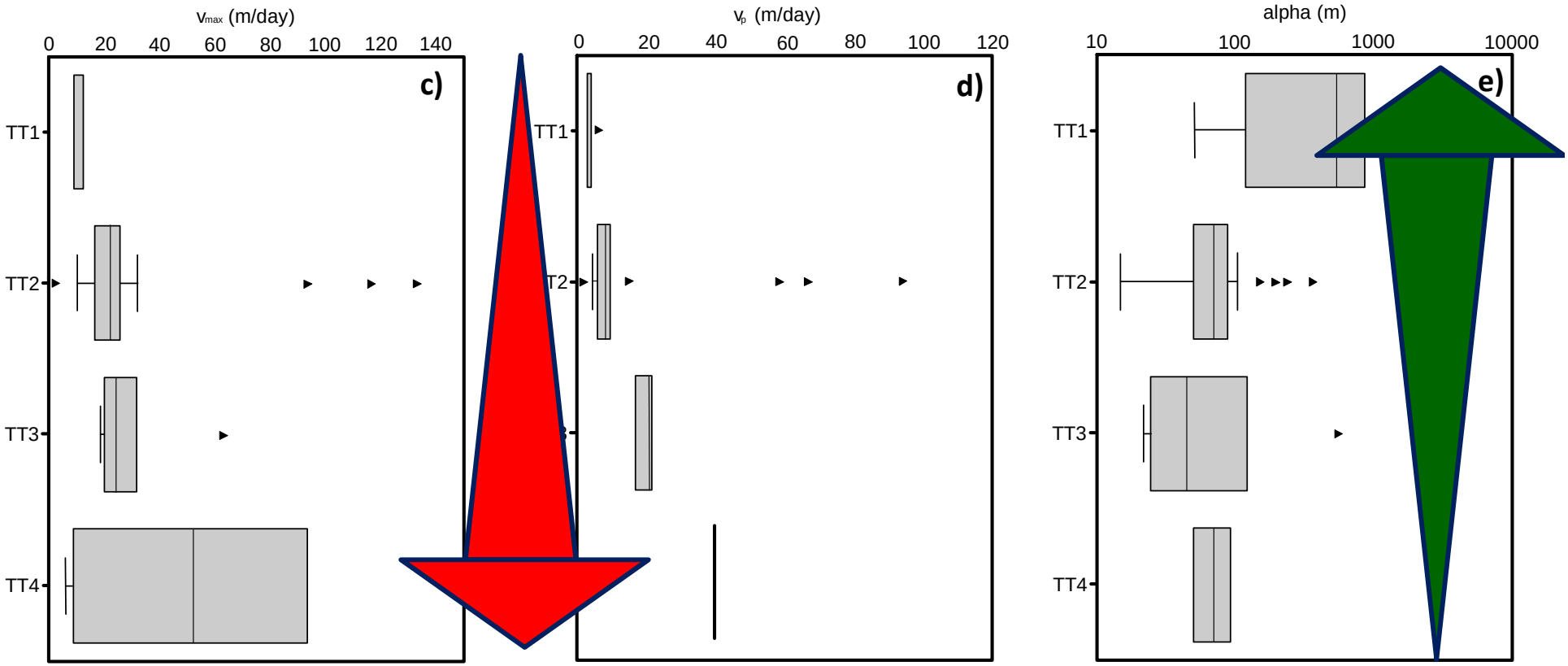


- Uranina rilevata sempre
- Tinopal e LiCl mai rilevati
- Sulforhodamina-G solo in TT2 (meno conservativa)
- Risultati migliori in TT2
- In TT3 sono state tracciate le distanze maggiori (spesso uranina rilevata solo nei carboni attivi)
- Relazione inversa tra distanze percorse (L) e max concentrazioni rilevate (C_p)


TT1
TT2
TT3
TT4
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
C_p (ug/L)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
L (m)


TT1
TT2
TT3
TT4
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
R (g)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
L (m)

Gradiente di velocità da N a S



All’aumentare della K aumentano le velocità di flusso sotterraneo

All’aumentare della velocità diminuisce la dispersività

Sintesi risultati

- Applicabilità del metodo
  - in torbiditi
  - per verificare gli effetti di drenaggio di opere sotterranee
- Uranina dimostra la maggiore conservatività
- Stima dei tempi di transito in post-operam e parametrizzazione delle connessioni idrogeologiche (v, α)
- Ottima correlazione tra geologia (A/P e MT) e parametri
- Buona correlazione tra dimensioni impatti e parametri

PROVINCIA DI FIRENZE

Direzione Centrale Territorio

Studio idrogeologico per la progettazione di interventi di mitigazione delle interferenze sul deflusso dei torrenti in conseguenza del drenaggio operato dalle gallerie TAV nella tratta Firenze-Bologna

Responsabile scientifico della ricerca
Prof. Alessandro Gargini

Dr. Nico Goldscheider
Centre d'Hydrogéologie
Université de Neuchâtel (Svizzera)

Un ringraziamento particolare va a tutte le persone di CAVET che ci hanno fornito l'indispensabile appoggio tecnico-logistico per l'accesso alle gallerie:
Geom. Izzo, Geom. Palazzo, Geom. Acca, Ing. Cardu, Ing. Cinque, Ing. Poma, Dott. Geol. Carrara, Dott. Geol. Arrigoni, Dott. Geol. Bollettinari, Dott. Geol. Bernagozzi.

Caso studio documentato	Traccianti utilizzati	Opera in sotterraneo	Risultati
Engblom et al. (2004)	Gas - Esafluoruro di zolfo (SF_6)	Tunnel drenanti di miniera	Connessione lago Turquoise - gallerie
Cambrian Ground Water Co.	Sulforhodamina-B Tritium	Tunnel di miniera	datazione delle acque drenate dalla galleria
Dubois (1993) & Marechal (1998)	Uranina Esoina	Tunnel stradale Monte Bianco	Tempi di transito connessione superficie-galleria (deltaH = 2000 m)
Himmelsbach, Hötzl, Maloszewski (1995)	Uranina Eosina Piranina	Tunnel esplorativo – diga	Parametri acquifero fratturato
Marechal & Etcheverry (2003)	Traccianti ambientali (^3H e ^{18}O)	Tunnel alpini (stradali, ferroviari e idroelettrici)	Caratterizzazione water inflows
Rademacher et al. (2002)	Traccianti ambientali (^3H, ^{18}O, Tritium, idrochimica)	Tunnel idroelettrico	Tempi di residenza e percorsi di flusso

Sicuramente esistono molti casi applicativi non pubblicati (progettazioni, monitoraggi, …)

Bibliografia

- Engblom et al. (2004) Tracing the hydrologic connection between Turquoise Lake and local mine dewatering tunnels with dissolved Sulfur Hexafluoride (SF_6)
- Cambrian Ground Water Co. - Results of ground-water tracing experiments in the Nelson-Wooster-Humphrey tunnel
- Dubois (1993) Typologie des aquiferes du cristallin: example des massifs des Aiguilles Rouges et du Mont-Blanc. PhD, EPF Lausanne, Switzerland.
- Marechal (1998) Les circulations d'eau dans les massifs cristallins alpins et leurs relations avec les ouvrages souterrains. PhD, EPF Lausanne, Switzerland.
- Himmelsbach, Hötzl, Maloszewski (1995) Long distance tracer tests in a highly permeable fault zone at Lindau Fractured Rock Test Site. Tracer Technologies for Hydrological Systems (Proc. Of a Boulder Symposium July 1995). IAHS Publ. N. 229, 1995.
- Marechal & Etcheverry (2003) The use of ^{3}H and ^{18}O tracers to characterize water inflows in Alpine tunnels. Applied Geochemistry , 18:339-351
- Rademacher, Clark, Boles (2002) Groundwater residence times and flow paths in fractured rock determined using environmental tracers in the Mission Tunnel; Santa Barbara County, California, USA
- Gargini A, Vincenzi V, Piccinini L, Zuppi GM, Canuti P (2008) Groundwater flow systems in turbidites of the Northern Apennines (Italy): natural discharge and high speed railway tunnel drainage. Hydrogeology Journal 16(8):1577-1599
- Vincenzi V, Gargini A, Goldscheider N (2009) Using tracer tests and hydrological observations to evaluate effects of tunnel drainage on groundwater and surface waters in the Northern Apennines (Italy). Hydrogeology Journal 17(1):135-150

Considerazioni generali sul metodo

- Possibili obiettivi in Ante-Operam (prove pozzo/piezometro o piezometro/acque superficiali)
  - parametrizzare l'acquifero;
  - individuare percorsi di flusso preferenziali

- Possibili obiettivi in Corso d'Opera o Post-Operam
  - parametrizzare acquifero;
  - provenienza acque drenate
  - determinare i tempi di transito
  - verificare sperimentalmente gli impatti sulle acque superficiali e le connessioni idrogeologiche;
  - indirizzare scelte progettuali di drenaggi/impermeabilizzazioni o di interventi di mitigazione degli impatti ...

Considerazioni generali sul metodo

- Applicabilità in funzione di:
  - Litologia (K)
  - Distanze previste / tempi e risorse a disposizione
- Uranina idonea (altri traccianti da confrontare sperimentalmente con uranina)
- Metodo tecnicamente oneroso per campionamenti e analisi
  - Ottimale progettazione della prova e strumenti automatici (campionatori, fluorimetri di campo) possono ridurre consistentemente il lavoro di campo e garantiscono un buon monitoraggio
- Economicamente non così oneroso nel contesto di indagini e rilievi geologici per opere in sotterraneo

Grazie per l'attenzione!