

LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



Determinazione dei parametri idrodinamici degli acquiferi mediante traccianti artificiali

Gruppo di ricerca:

Prof. Alberto TAZIOLI, PhD

Dr. Stefano PALPACELLI, PhD

Dr. Elisa Mammoliti, PhD

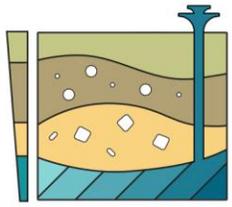
Ing. Jonathan Domizi, PhD

Ing. Matteo RAPAZZETTI

Dr. Davide FRONZI, PhD



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

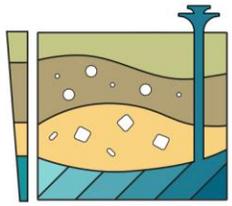
organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



Indice dei contenuti

- ASPETTI TEORICI
- L'IMPATTO SULL' UOMO E L'AMBIENTE E LA LEGISLAZIONE
- LA SCELTA DEL TRACCIANTE IDEALE
- IL DIMENSIONAMENTO DI UNA PROVA
- DALL' ESECUZIONE DI UNA PROVA AL TRATTAMENTO DEI RISULTATI
- ESEMPI PRATICI
- LE PROBLEMATICHE E POSSIBILI SOLUZIONI



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

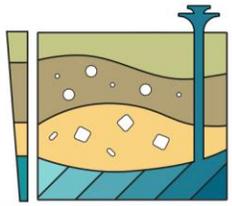


I traccianti

Un **tracciante** è un qualsiasi tipo di **sostanza o proprietà dell'acqua che può essere usata per seguire il percorso dell'acqua** (superficiale o sotterranea)

I traccianti si distinguono in:

- **TRACCIANTI NATURALI:** sostanze o proprietà chimico-fisiche naturalmente presenti in un corpo d'acqua; ad esempio: temperatura, salinità, isotopi dell'acqua, sostanza organica, torbidità
- **TRACCIANTI ARTIFICIALI:** sostanze o particelle che vengono immesse (volontariamente o accidentalmente) in un corpo d'acqua, ma che sarebbero naturalmente assenti (o presenti con un basso tenore di fondo)



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

Traccianti artificiali

Sono classificati nelle seguenti categorie o famiglie:

• **PRODOTTI CHIMICI SOLUBILI**

- **traccianti salini** (NaCl, LiBr, KCl, ecc.)
- **traccianti fluorescenti:** coloranti (fluoresceina sodica, sulforhodamina, eosina) o sbiancanti ottici (tinopal, naphionato di sodio)

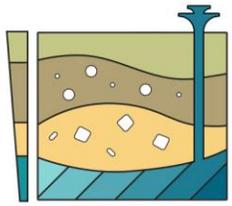
• **PARTICELLE SOLIDE** (batteri, pollini, spore, molecole di DNA, ecc.)

• **ISOTOPI STABILI** (acqua arricchita in ^2H o ^{18}O)

• **ISOTOPI RADIOATTIVI** (^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{131}I , ecc.)

I **traccianti salini** e i **coloranti fluorescenti** rappresentano le famiglie di più comune utilizzo, sia a livello di ricerca che di applicazioni pratiche.

Le altre famiglie sono utilizzate prevalentemente a scopo di ricerca scientifica, a causa di una maggiore complessità ed onerosità di applicazione e dell'esigenza di particolari analisi di laboratorio



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

**ORDINE
geologi
MARCHE**

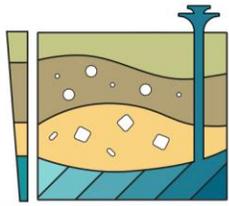
L'impatto sull'uomo e ambiente e la legislazione

T: Test tossicologici; L: Casi di letteratura; W: Giudizio esperto del gruppo di lavoro

Tracer	Toxicological assessment	Assessment basis
Uranine	Safe	T, L
Eosin yellow	Safe	L, W
Sulforhodamine B	Ecotoxicologically unsafe	T
Amidorhodamine G	Safe	T
Rhodamine WT	Not recommended	T
Rhodamine B	Not recommended	T, L
Rhodamine 6G	Not recommended	T, L
Sodium naphthionate	Safe	T
Pyranine	Safe	T
Tinopal CBS-X	Safe	T
Tinopal ABP liquid	Safe	T
Lithium salts	Safe with restrictions	L, W
Strontium salts	Safe with restrictions	L, W
Bromides	Safe with restrictions	L, W
Activatable isotopes	Safe with restrictions	L, W
Fluorescent polystyrene microspheres	Safe	T, W
Spores of club moss dyed with acridine orange	Safe	T, W

Il loro utilizzo non è raccomandabile poiché in alcuni casi la molecola, contenente azoto può formare dei complessi nelle acque a forte componente solfatica generando le **nitro ammine** (caratteristiche tossiche se ingerite)

Formazione di brine per quanto riguarda i traccianti salini
Radioattività per quanto riguarda gli isotopi



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da



L'impatto sull'uomo e ambiente e la legislazione

Country	Guidelines	Legislation	Permit	Remarks
Argentina	-	-	-	No information in the Environmental Impact Law for Mine Sites (national Law 24585: 'Additional Standards of the Environmental Protection Act for Mining')
Australia	No, but mentioned on Government Web Page	State dependent	Yes	Environment Protection Acts, Natural Resources Management Act; www.connectedwater.gov.au/framework/artificial_tracers.html
Austria	Yes	No	Sometimes	ÖWAV Regelblatt 214
Belgium	-	-	-	
Bosnia-Herzegovina	-	-	-	
Brazil	-	-	-	
Chile	-	-	-	
Czech Republic	No	No	Yes	National Water Law: Zákon č.254/2001 Sb.; Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
England and Wales	Yes	Yes	Yes	Article 11(3) (j) of the Water Framework Directive (2000) and The Environmental Permitting Regulations 2010 (Environmental Protection, England and Wales 2010)
Estonia	-	-	-	
Finland	No	Yes	Yes	National Water Act (27.5.2011/587)
France	No	No	No	Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques
Germany	In some states	Water Law	Yes	See text for details
Hungary	No	No	Yes	Environmental Protection Authority and the national health organization gives strict regulations for the concentration values of the applied tracer that field realization and detection of the tracer material are extremely difficult
India	No	No	No	Organizations conducting radiochemical tracer test for research purposes need to be registered with the Atomic Energy Regulatory Board (AERB) of India
Indonesia	No	No	No	
Ireland	No	No	No	Authorities and stakeholders must be informed
Italy	-	-	-	Some local recommendations and unpublished guidelines for speleologists exist
Morocco	-	-	-	
New Zealand	Part of	Yes Federal	Yes	The regulations relating to tracers are set by the regional councils
Peru	No	For radioactive tracers	for radioactive tracers	When radioactive tracers are used tracer test should be presented to nuclear energy national authority (IPEN); in general, tracer test should be presented to the National Water Association (ANA)
Poland	No	No	Yes	Water Framework Directive (2000)
Portugal	No	No	Yes	National Water Law

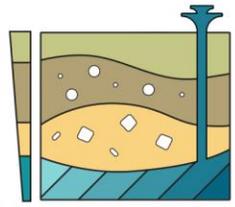
Country	Guidelines	Legislation	Permit	Remarks
Romania	No	No	No	Tracer test required for Drinking Water Zones (Romanian Ministry of Environment and Forests Ordinance no. 1278/2011)
Slovakia	No	No	Yes	Paragraph 18 of water law (no. 364/2004 Z.z.)
South Africa	No	No	Sometimes	Department of Water Affairs (DWA); based on National Water Act of 1998 (Act 36 of 1998)
Spain	No	No	Yes	'Confederaciones Hidrográficas' are responsible; in the CAPV (Comunidad Autónoma del País Vasco - 'Autonomous Region of the Basque Country') a Recommendation drafted by the Hydrogeology Research Group of the Basque Country University (UPV-EHU) for URA -Agencia Vasca del Agua, or 'Basque Water Agency': 'recopilación y homogeneización de información sobre ensayos con trazadores en la comunidad autónoma del país vasco. Propuesta para la regulación de su uso'
Sweden	-	-	-	If a tracer test is combined with test pumping then there might be a need of a water rights judgement
Switzerland	Yes	No	Yes	Tracer announcement via national coordination centre; permission needed in some cantons; generally granted if conducted in accordance to national guidelines
USA	In some states	No	In most states	EPA UIC regulation under the Safe Drinking Water Act; variable legislation in individual states

Wolkersdorfer, C., & LeBlanc, J. (2012). Regulations, legislation, and guidelines for artificial surface water and groundwater tracer tests in Canada. *Water Quality Research Journal of Canada*, 47(1), 42-55.

Mancanza di linee guida e legislazione in molti paesi

Mancanza di armonizzazione tra paesi

IN ITALIA: «raccomandazioni» non ufficiali sono fatte dai gruppi di speleologia locali e dalle associazioni che fissano le quantità per non deturpare i sistemi carsici che vengono esplorati



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

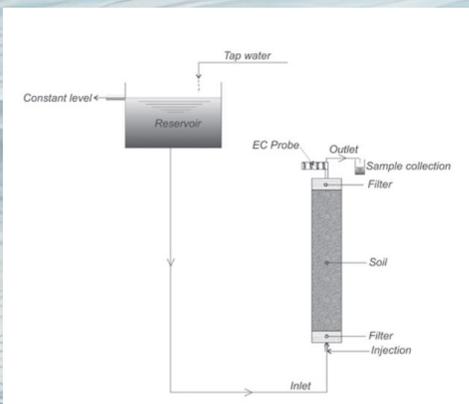


La scelta del tracciante ideale

Dipende dal tipo di matrice in cui è ospitato l'acquifero e dal tenore di fondo degli elementi chimici delle acque sotterranee in cui andiamo ad eseguire la prova

Es. presenza di acque a forte componente clorurata e clorurato-sodica sono da EVITARE traccianti salini come NaCl

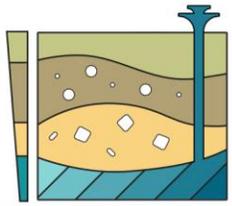
In presenza di orizzonti a matrice fine (livelli o lenti di argille e limi) sono da EVITARE traccianti a particelle solide e fluorimetrici, che hanno maggiore probabilità di fissarsi nella matrice per adsorbimento



Migliori risultati in termini di adsorbimento è in assoluto il Br-

Fluoresceina, Na⁺ e K⁺ mostrano assorbimenti abbastanza contenuti, eccezion fatta per i terreni a maggior contenuto argilloso

I traccianti testati hanno mostrato assorbimenti molto bassi; se l'acquifero in questione è più eterogeneo, formato ad esempio da lenti di materiale più fine o a permeabilità più bassa, il tracciante che fornisce una risposta migliore è il Br-



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

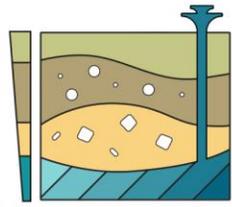
organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

I parametri e le grandezze determinabili

- Direzioni di flusso
- Velocità di flusso
- Parametri dell'acquifero:
 - conducibilità idraulica
 - dispersività
 - porosità efficace
- Connessione idrogeologica/idraulica tra punti:
 - tra due o più pozzi
 - tra una sorgente di contaminazione ed un potenziale bersaglio
 - tra due falde idriche
- Tenuta idraulica di sistemi sotterranei di confinamento delle acque:
 - barriera idraulica costituita da pozzi o trincee
 - barriere fisiche: diaframmi, palancole, impermeabilizzazioni, ecc.



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



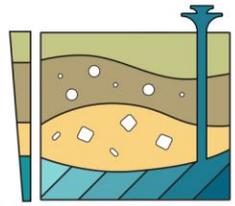
I tipi di prove

Single borehole dilution tests (SBDT): **PROVE DI DILUIZIONE IN POZZO (O PIEZOMETRO) SINGOLO**

- Si immette il tracciante in un singolo pozzo o piezometro e si monitora la diluizione all'interno dello stesso

Point to Point dilution tests (PTPDT): **PROVE DI DILUIZIONE DA PUNTO A PUNTO**

- Si immette tracciante all'interno di un singolo pozzo o piezometro e si monitora l'arrivo all'interno di pozzi o piezometri nelle vicinanze
- Oppure si immettono traccianti di diversa natura (NON INTERFERENTI) in più punti e si monitora l'arrivo in singoli pozzi/piezometri o in più pozzi/piezometri nelle vicinanze



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



La quantità da immettere

Compromesso tra quantità (ECESSIVA) e rilevabilità, valutando il **RISCHIO CONNESSO ALLE SOSTANZE INTRODOTTE** nel sistema e la conseguenza del fallimento del test a causa del **MANCATO RAGGIUNGIMENTO DEL LIMITE DI RILEVABILITÀ** (Goldscheider et al., 2008)

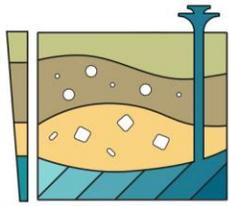
PORTATA: massimo valore che lo strumento può misurare
SENSIBILITA': minimo valore che lo strumento può rilevare

PORTATA E SENSIBILITA' fissano i limiti massimo e minimo rispettivamente della quantità da immettere durante una prova di tracciamento. Dobbiamo assicurarci che gli arrivi di tracciante che monitoriamo siano «veri arrivi» e che lo strumento non vada a fondo scala

AL CONTEMPO, EVITARE di alterare le proprietà organolettiche/chimiche delle acque sotterranee (es. pozzi in emungimento)

$$M=L \cdot k \cdot B$$

M: tracer quantity, i.e., mass (kg) or number of particles; L: distance (km), k: coefficient for tracer (uranine: 1, other fluorescence dyes: 2–15, salts: 1000–20000, particles: 10¹²–10¹³); B = factor for hydrogeological conditions (0.1–0.9 for karst aquifers) (Käss, 1998)



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

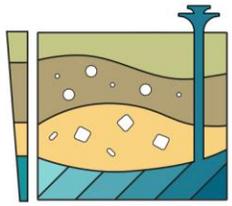
**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

La quantità da immettere

	No.	Tracer	Detection limit ($\mu\text{g/L}$)	Natural background	Toxicology	Analytical interference with	Other specific problems
Fluorescent dyes	1	Uranine	10^{-3}	Absent	Safe	2, 6	Strong sorption at low pH
	2	Eosin	10^{-2}	Absent	Safe	1, 4	Very sensitive to light
	3	Sulforhodamine B	10^{-2}	Absent	Ecotox. unsafe	4, 5	
	4	Amidorhodamine G	10^{-2}	Absent	Safe	2, 3, 5	
	5	Rhodamine WT	10^{-2}	Absent	Genotoxic	3, 4	
	6	Pyranine	10^{-2}	Absent	Safe	1, 2	Not reliable (degradation)
	7	Naphthionate	10^{-1}	Absent	Safe	8, DOC	
	8	Tinopal	10^{-1}	Absent	Safe	7, DOC	Strong sorption
Salts	9	Sodium	<i>Dependent</i>	High	Safe	–	
	10	Potassium	<i>on method:</i>	Moderate	Safe	–	
	11	Lithium	<i>0.1 $\mu\text{g/L}$</i>	Very low	Safe with restr.	–	
	12	Strontium	<i>to 1 mg/L</i>	Moderate	Safe with restr.	–	Strong sorption
	13	Chloride		High	Safe with restr.	–	
	14	Bromide		Low	Safe with restr.	–	
	15	Iodide		Very low	(Not evaluated)	–	Chemically unstable
Particles	16	Dyed spores	<i>Detection</i>	Absent	Safe	Natural particles	Not quantitative
	17	Microspheres	<i>of single</i>	Absent	Safe	Natural particles	Time-consuming analysis
	18	Specific bacteria	<i>particles</i>	Absent	(Not evaluated)	(Other bacteria)	Time-consuming analysis
	19	Bacteriophages		Absent	(Not evaluated)	–	Time-consuming analysis

- Solubilità 600 g/l a 20°C (molto alta rispetto a tanti altri traccianti)
- Rilevabilità ad occhio nudo circa 100 ppb (circa 0.1g/m³ !!!)
- Soglia di rilevabilità 2*10⁻³ ppb
- Eccitazione massima 491 nm
- Emissione massima 512 nm (campo del verde)
- Molecola soggetta a decadimento fotochimico
- Costo circa € 70,00 /kg + IVA



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

Modalità operative all'immissione

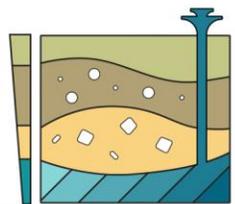


In funzione della quantità decisa si può immettere utilizzando un **serbatoio di grande volume o tanica/bidone** in cui il tracciante viene leggermente diluito (IN SOLUZIONE CON L'ACQUA ESTRATTA DAL POZZO/PIEZOMETRO IN QUESTIONE), non eccedere con il volume in cui diluire

La soluzione viene iniettata nel pozzo/piezometro attraverso un tubo, spinta da una pompa (VERIFICARE LA PREVALENZA DELLA POMPA PER SUPERARE LA PRESSIONE IDROSTATICA) alla profondità a cui si vuole immettere (in genere nei livelli più permeabili)

In alternativa, si porta il tubo fino a fondo foro e si immette salendo fino al livello statico, poi si scende e si sale di nuovo con il tubo per omogeneizzare il tracciante lungo tutta la colonna d'acqua





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



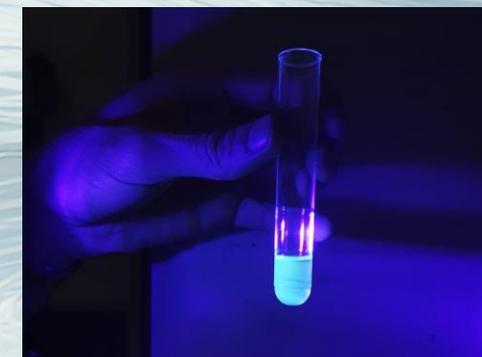
Modalità operative di rilevamento

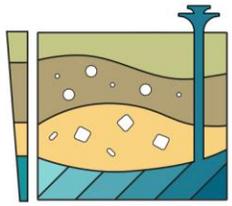
NEL CASO DI PROVE DI DILUIZIONE IN POZZO (O PIEZOMETRO) SINGOLO Il rilevamento del tracciante consiste nell' eseguire dei log, ovvero delle scansioni di concentrazione del tracciante lungo la verticale

NEL CASO DI PROVE DI DILUIZIONE DA PUNTO A PUNTO il rilevamento del tracciante consiste nel monitorare la concentrazione dentro i pozzi o piezometri a delle profondità desiderate. Se il pozzo di monitoraggio è in pompaggio si può monitorare anche la concentrazione dell'acqua in uscita

La concentrazione si misura IN CONTINUO tramite delle sonde opportunamente tarate

Oppure campionando l'acqua a diversi punti sulla verticale o in pozzi limitrofi e analizzando i campioni in laboratorio: ANALISI CHIMICHE PER ANALITI IMMESSI (traccianti salini, arricchimenti isotopici), ANALISI FLUORIMETRICHE per traccianti fluorescenti





La taratura delle sonde



IN LABORATORIO: Preparare una soluzione 1 g/L con acqua distillata
Prelevare 10 mL di soluzione a 1 g/L e diluirla in 1 L di acqua distillata ottenendo una soluzione a 10'000 ppb

IN SITO : prelevare 10 mL di soluzione a 10'000 ppb e diluirla in 1 L di acqua prelevata dal pozzo/piezometro ottenendo una soluzione standard a 100 ppb

La TARATURA PREVEDE LA LETTURA DEL BIANCO DI SITO (0 ppb) e una lettura a 100 ppb

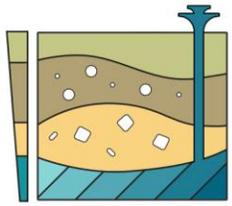


IN LABORATORIO: Preparare delle pesate di 0.5 g, 1 g e 3 g di tracciante salino

IN SITO : diluire il tracciante salino in 1 L di acqua prelevata dal pozzo/piezometro ottenendo tre soluzioni standard (0.5 g/L, 1 g/L, 3g/L)

La TARATURA PREVEDE LA LETTURA DEL BIANCO DI SITO (0 g/L) e 2-3 letture a diversa concentrazione per ottenere una retta Cond. Elettrica (mS/cm)- Concentrazione (g/L)





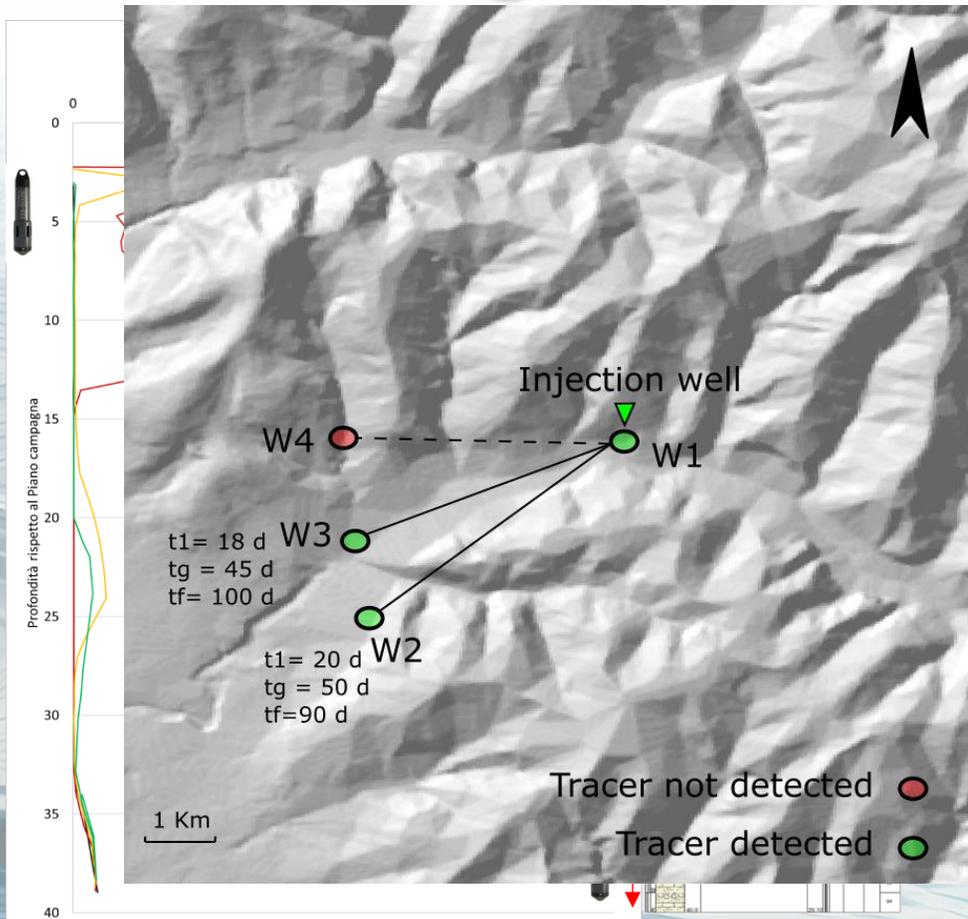
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

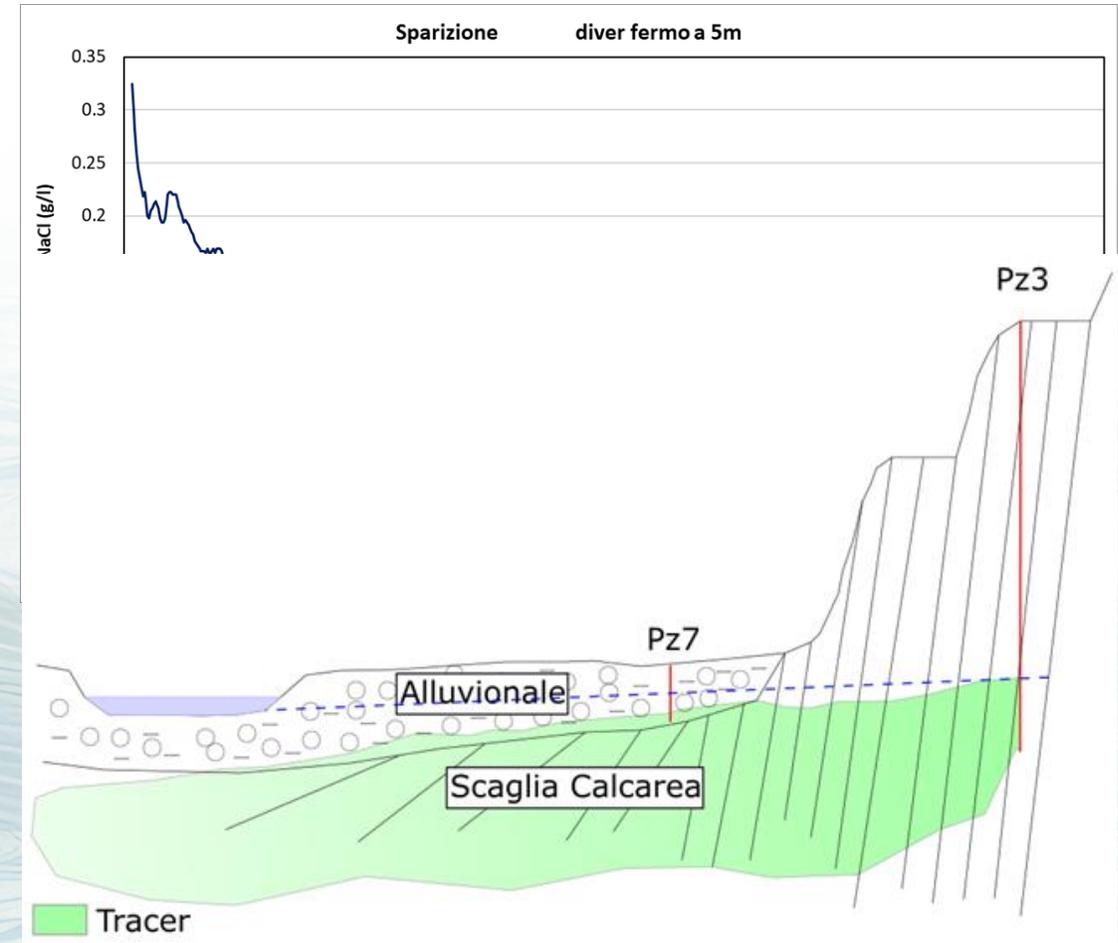
organizzato da

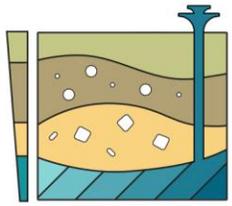


Risultati grafici



Monitoraggio «di controllo» in statico ad una specifica profondità





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

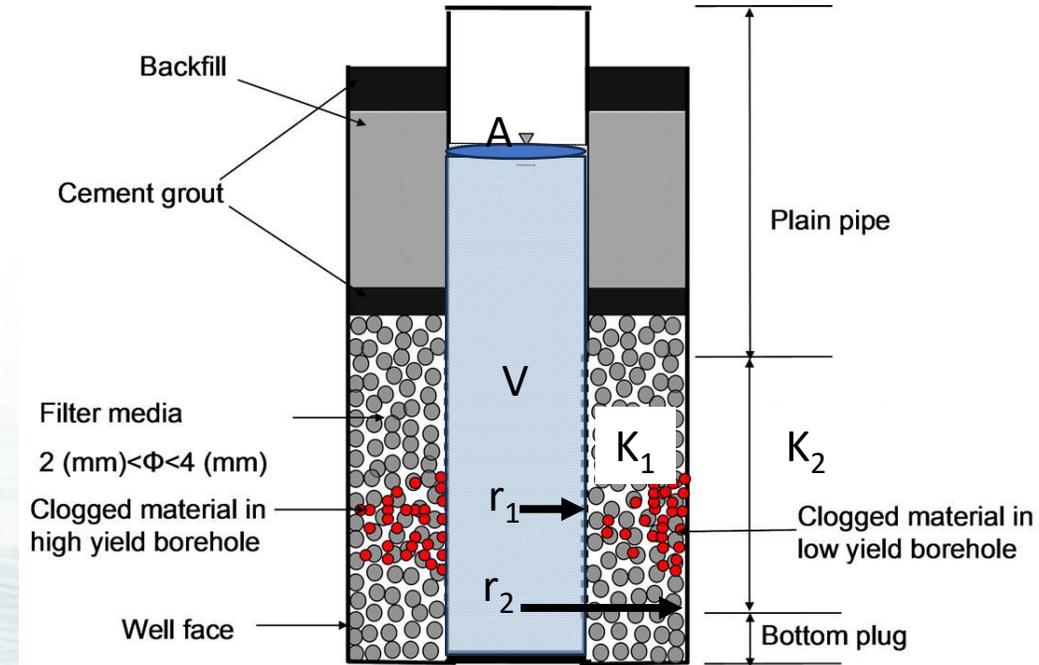
Trattazione analitica

$$v_a = -\frac{V}{At} \ln \frac{C - C^*}{C_0 - C^*}$$

Dove V è il volume di acqua nel foro, A è la sezione trasversale del foro, C_0 è la concentrazione del tracciante nel foro all'inizio della misura ($t = 0$), C è la concentrazione del tracciante al tempo t, t è il tempo trascorso dall'inizio della misura, C^* è la concentrazione iniziale del tracciante nell'acqua di falda (se presente)

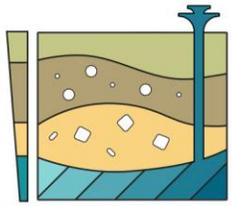
$$v_a = \alpha v_d + \cancel{v_c} + \cancel{v_v} + \cancel{v_m}$$

v_d è la velocità di Darcy, v_c velocità dovuta alla convezione per differenze di densità, v_v correnti verticali, v_m mixing artificiale, v_f diffusione molecolare del tracciante, e α è il fattore di correzione che considera la distorsione del flusso dovuto all'interferenza che genera il pozzo nell'acquifero



$$\alpha = \frac{4}{1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \left(\frac{K_1}{K_2}\right)^2 \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right]}$$

Dove r_1 è il raggio interno del filtro, r_2 il raggio esterno del filtro, K_1 è la conducibilità idraulica del filtro e K_2 è la conducibilità idraulica dell'acquifero



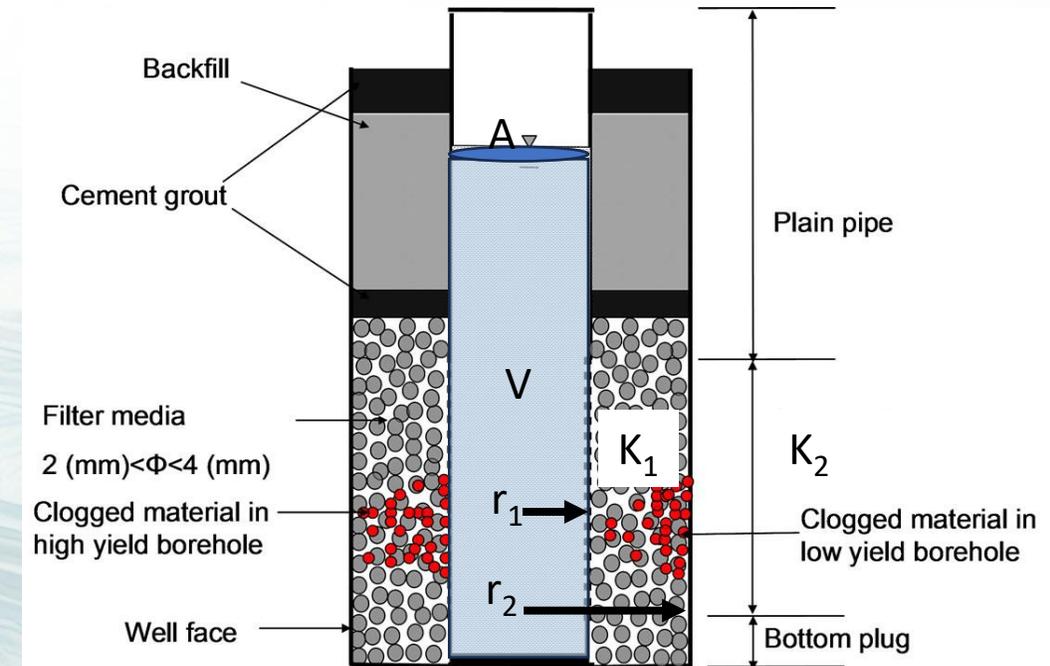
Trattazione analitica

$$v_a = \alpha v_d$$

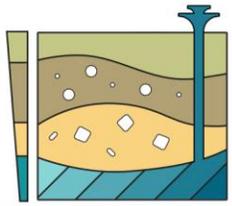
$$v_d = -\frac{V}{\alpha A t} \ln \frac{C - C^*}{C_0 - C^*}$$

$$k = \frac{v_d}{i}$$

Dove V è il volume di acqua nel foro, A è la sezione trasversale del foro, C_0 è la concentrazione del tracciante nel foro all'inizio della misura ($t = 0$), C è la concentrazione del tracciante al tempo t, t è il tempo trascorso dall'inizio della misura, C^* è la concentrazione iniziale del tracciante nell'acqua di falda (se presente)



Dove r_1 è il raggio interno del filtro, r_2 il raggio esterno del filtro, K_1 è la conducibilità idraulica del filtro e K_2 è la conducibilità idraulica dell'acquifero



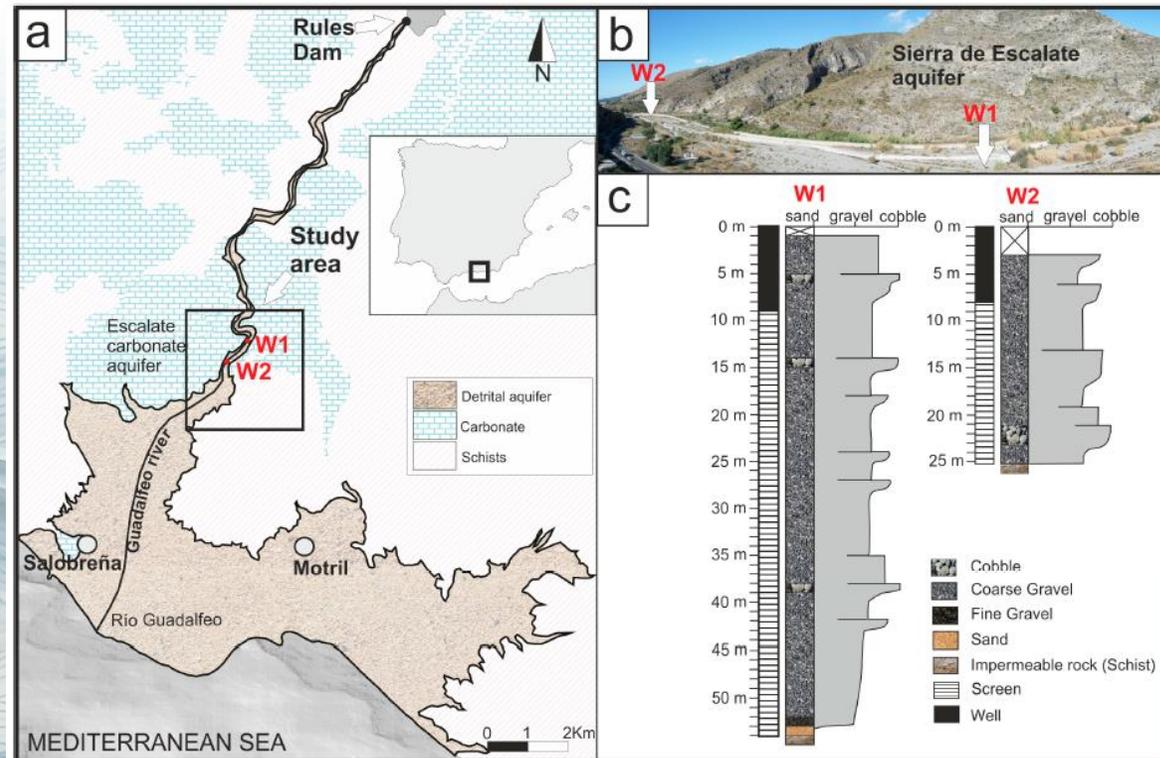
LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

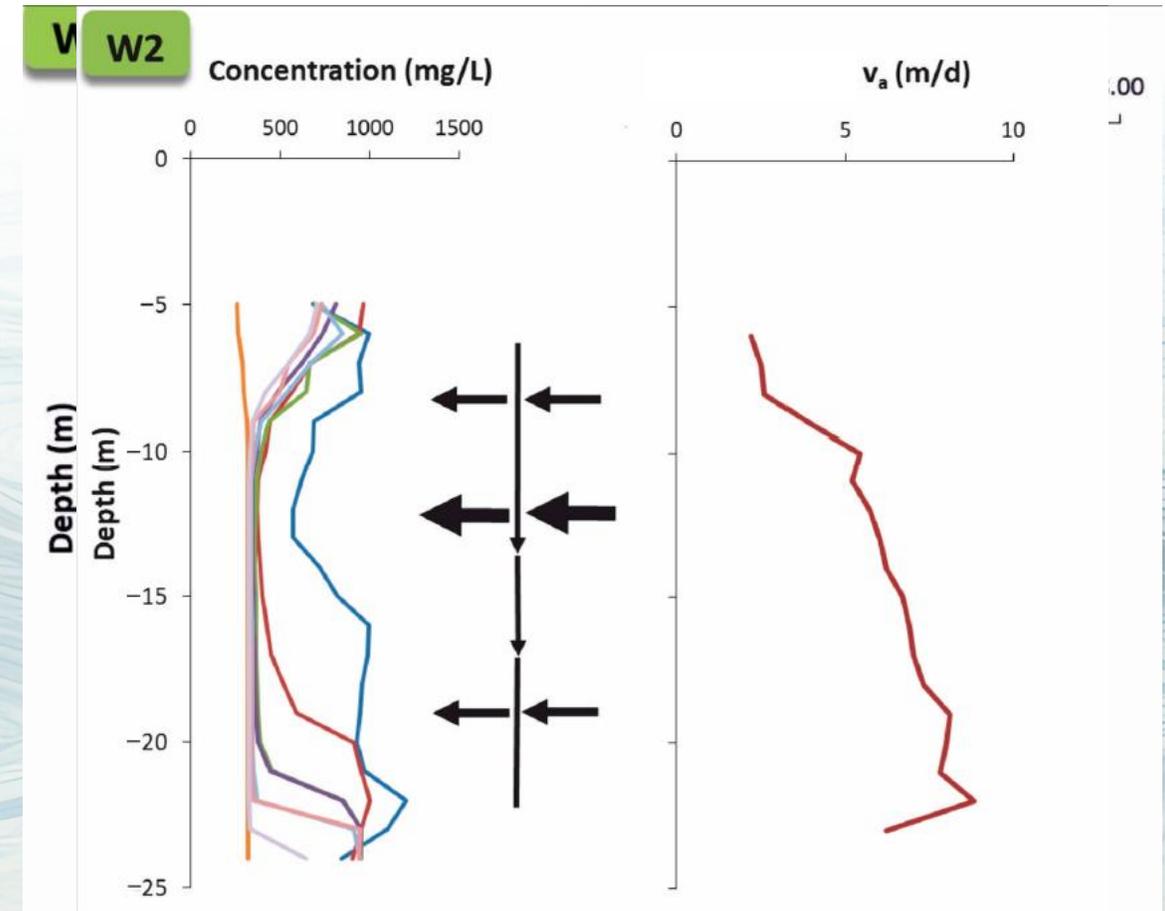
organizzato da

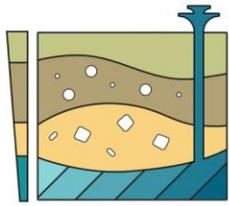


Esempi di applicazione: acquifero alluvionevole



Calvache, M. L., López-Chicano, M., Blanco-Coronas, A. M., de la Torre, B., & Duque, C. (2024). Applicability of Single-Borehole Dilution Tests in Aquifers with Vertical Flow. *Water*, 16(9), 1305.





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

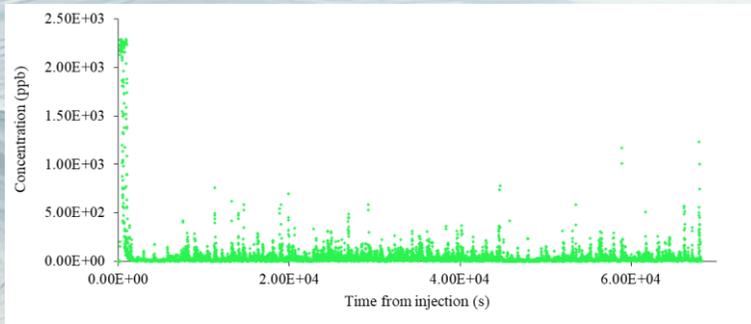


Esempi di applicazione: acquifero carbonatico fratturato

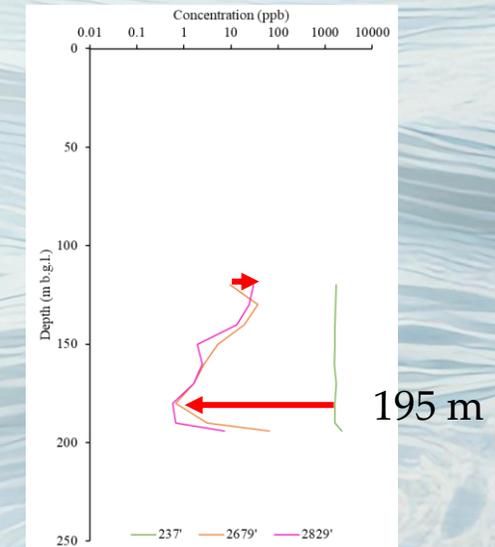
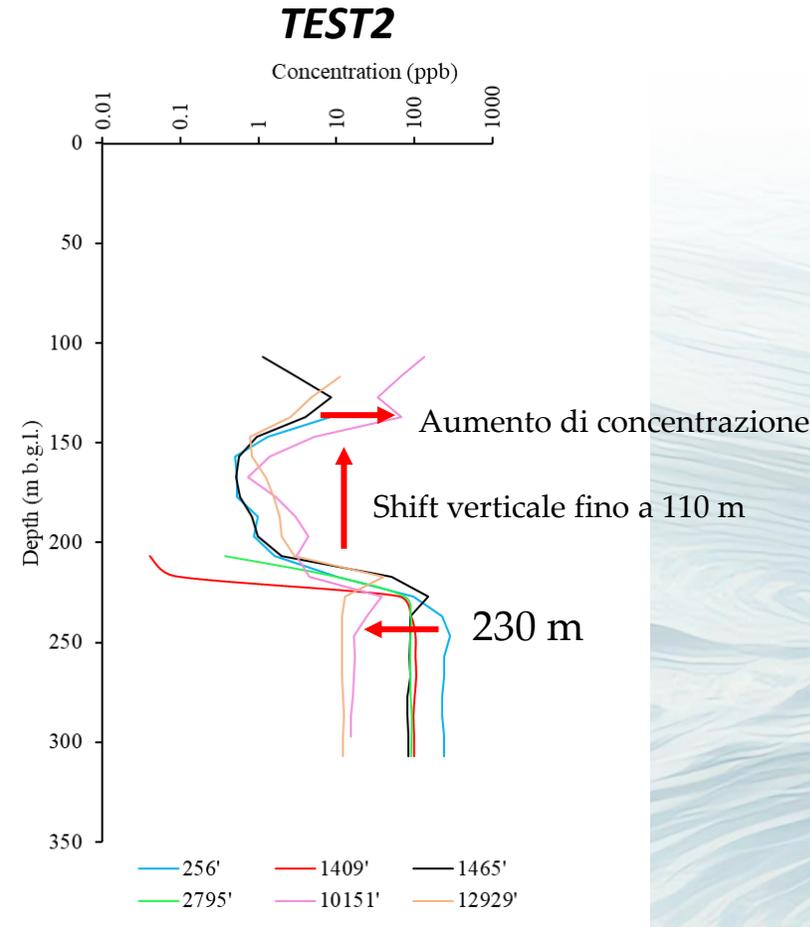
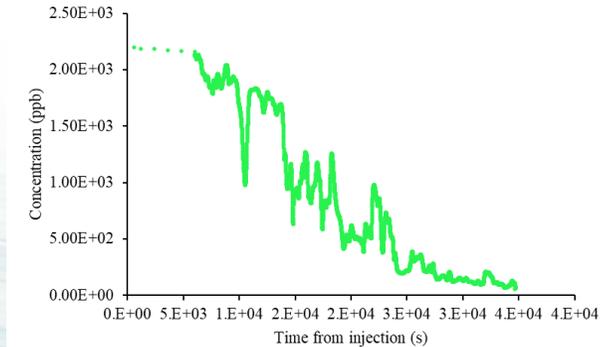
Test ID	Tracer injected quantity (mL)	Injection depth (m b.g.l.)	Pumping flowrate (L/s)
TEST1*	20	270-280	0
TEST2	50	270-280	0
TEST3+	12	194	0

- TEST PILOTA: sonda al di sotto del punto di immissione
- + sonda per log e sonda a 194 m

TEST1*



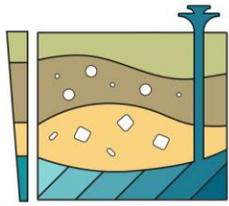
TEST3



D'Antonio, L., Fronzi, D., Mammoliti, E., Palpacelli, S., Ianni, C., Tonelli, M., & Tazioli, A. (2024). Hydraulic conductivity estimation through the use of tracer tests and geomechanical survey: preliminary outcomes from the Montagna dei Fiori carbonate aquifer (Central Italy). Italian journal of engineering geology and environment, 85-93.

v_a varia da 1.7 fino a 2×10^{-6} m/s

$v_a = 3.82 \times 10^{-6}$ m/s

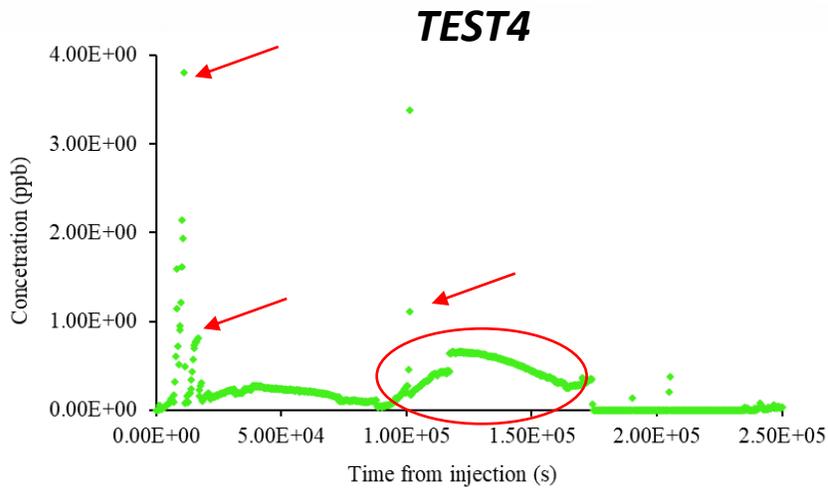


LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

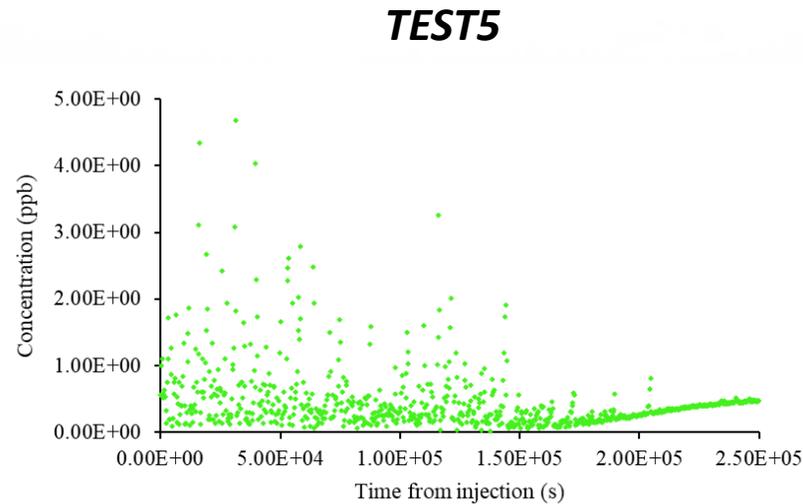
L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

Test ID	Involved wells	Tracer injected quantity (mL)	Injection depth (m b.g.l.)	Pumping flowrate (L/s)
TEST4	W2 / W1	2000	194	75
TEST5	W2 / W3	4000	n.a.	105
TEST6	WP / W2	3700	n.a.	120

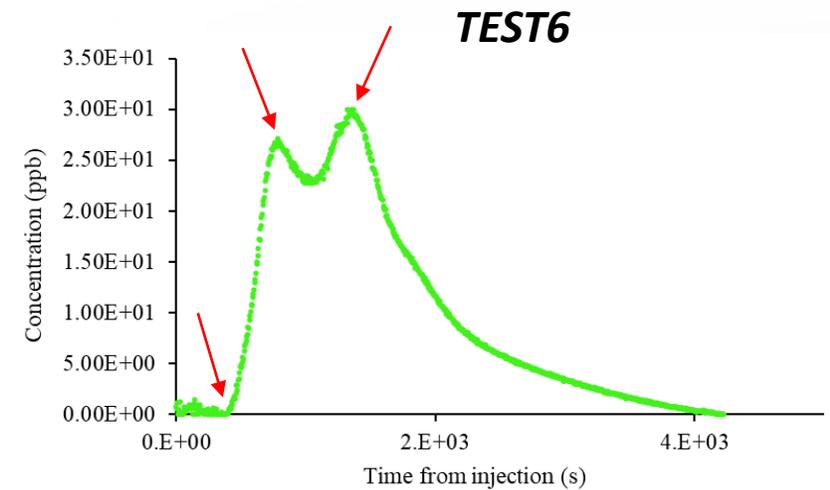
Esempi di applicazione: acquifero carbonatico fratturato



Picchi principali 3 ore (primo arrivo), 4.5 ore and 28 ore dopo l'immissione
Picchi impulsivi e dispersivi
 $M_r = 5\%$



Numerosi arrivi a carattere impulsivo
 $M_r = 7\%$

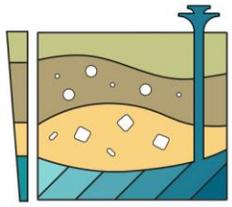


Curva gaussiana asimmetrica
Due picchi consecutivi a 14 e 23 minuti dopo l'immissione
Primo arrivo dopo 6 minuti
Completa sparizione dopo 72 minuti
 $M_r = 50\%$

Test ID	Hydraulic conductivity (m/s)	Effective porosity
TEST4	n.a.	n.a.
TEST5	n.a.	n.a.
TEST6	1.02×10^{-5}	3.7×10^{-2}

$$M_r = \int_{t=0}^{\infty} (Q \cdot c) dt$$





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

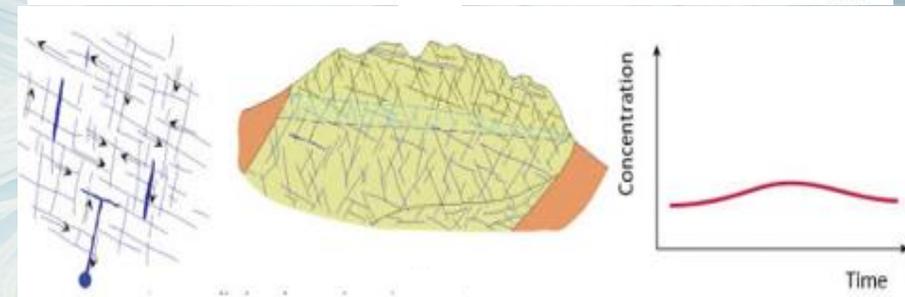
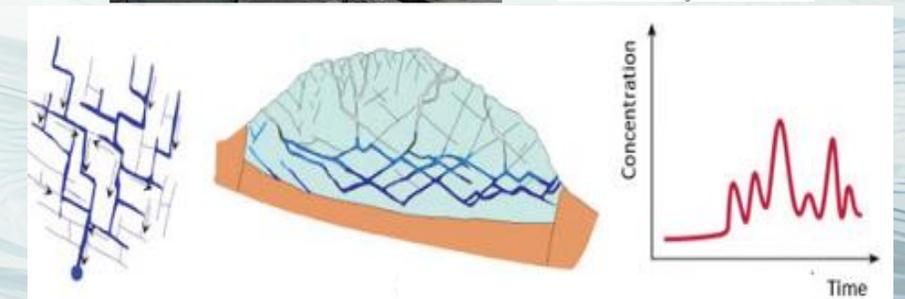
organizzato da

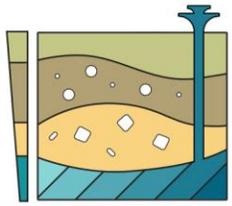
**ACQUE
SOTTERRANEE**

ORDINE
geologi
MARCHE

Esempi di applicazione: acquifero carbonatico fratturato

- ✓ **I traccianti non vengono comunemente usati** (Worthington, 2021) ma si è **dimostrato essere utili per investigare le eterogeneità negli acquiferi, con soluzioni in forma continua**
- ✓ Sono state **determinate le principali caratteristiche idrogeologiche ed idrodinamiche dell'acquifero investigato** come la **presenza di correnti verticali, la conducibilità idraulica e la porosità**
- ✓ Le curve di restituzione di tracciante (**BTCs**) forniscono un' **idea del patten di fratturazione**
Due o tre insiemi di giunti ben sviluppati (J1, J2 e S0), dotati di buona persistenza e connettività, il flusso avviene in un'ampia ed articolata rete di fratture (Dreni multipli)
L'ammasso roccioso è caratterizzato da un elevato grado di fratturazione con numerosi giunti persistenti e ben interconnessi (Struttura dispersiva)





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**

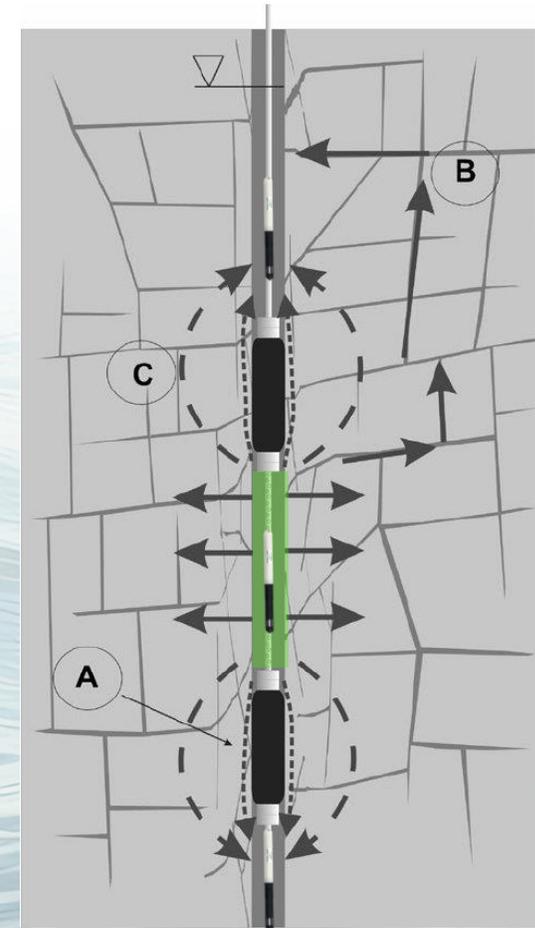


Problematiche e possibili soluzioni

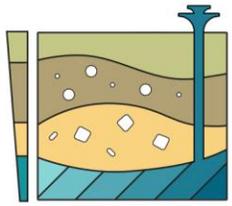
IN PRESENZA DI COMPONENTI VERTICALI DI FLUSSO: si suggerisce l'utilizzo di otturatori (packers) per isolare i tratti di cui si vogliono determinare le caratteristiche idrodinamiche

Prevedere un sistema di chiusura ermetica per evitare la risalita del tracciante nel bypass centrale del packer

Tre tipi di connessione: A) Perdita tra i packers e le pareti del pozzo, B) cortocircuitazione dovuta al sistema di fratture, C) cortocircuitazione all'interno della matrice



Quinn, P., Cherry, J. A., & Parker, B. L. (2012). Hydraulic testing using a versatile straddle packer system for improved transmissivity estimation in fractured-rock boreholes. *Hydrogeology Journal*, 20(8), 1529.



LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

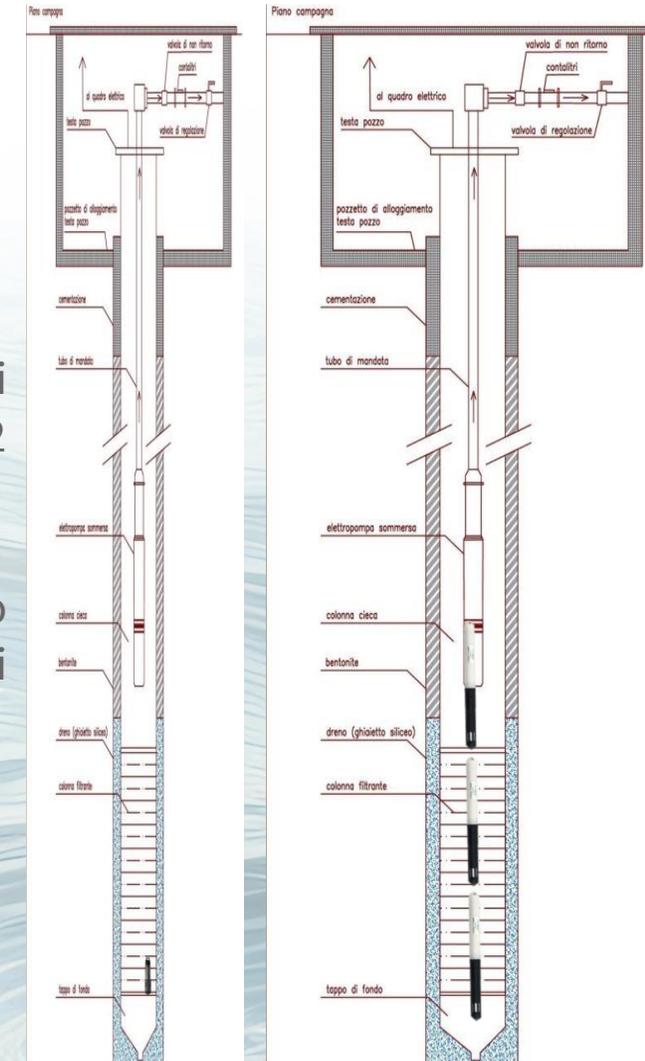
**ACQUE
SOTTERRANEE**

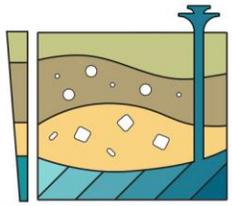
ORDINE
geologi
MARCHE

Problematiche e possibili soluzioni

IN PRESENZA DI POZZI DI PICCOLO DIAMETRO: si suggerisce l'utilizzo di sonde di diametro contenuto, se possibile tracciare con traccianti salini (loggers più piccoli $\approx \phi 2$ cm), attenzione alle quantità da immettere e il volume in cui diluire!!!!

Oppure prevedere dei sistemi di monitoraggio «in statico» con più punti di monitoraggio sulla verticale (dove vogliamo conoscere le caratteristiche idrodinamiche) evitando di eseguire i log





LA PROGETTAZIONE E LA COSTRUZIONE DEI POZZI PER ACQUA

L'acquisizione dei dati geologici, geofisici, idraulici e la modellazione

organizzato da

**ACQUE
SOTTERRANEE**



Grazie per l'attenzione!

Dr. Davide FRONZI, PhD



**UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE**