

Monitoraggio delle acque sotterranee in aree industriali

Estratto dal Convegno “Esperto nella gestione dei siti contaminati”, 2005

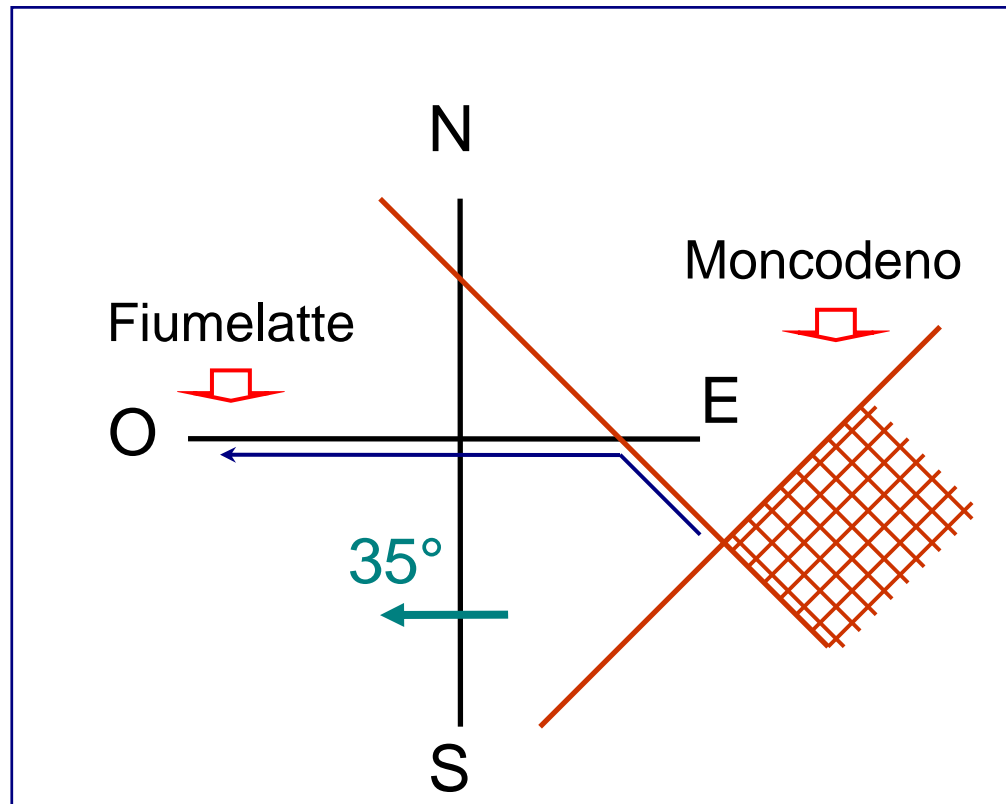
Presentazione a cura di L. Alberti, V. Francani, P. Gattinoni, S. Lombi, P. Trefiletti

Presentazione divisa in due parti

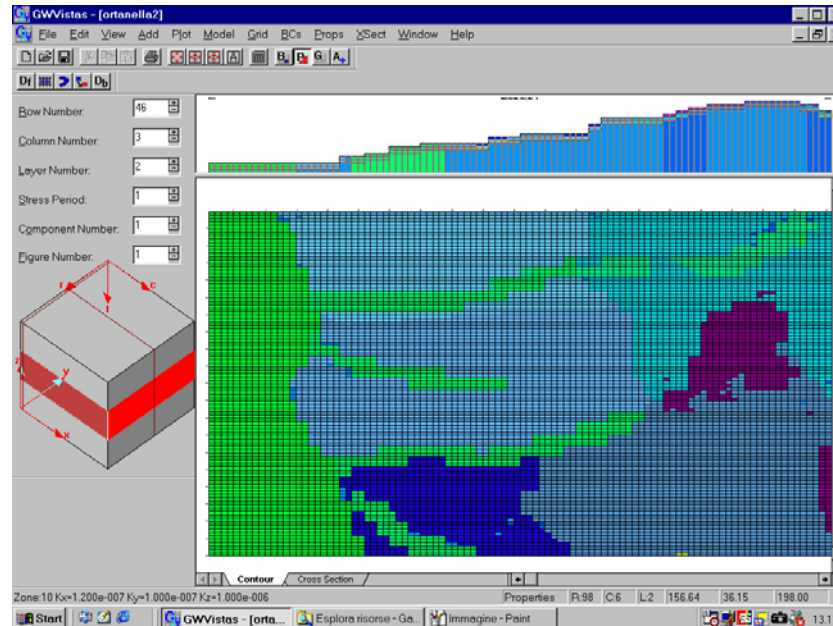
PARTE II

www.engeology.eu

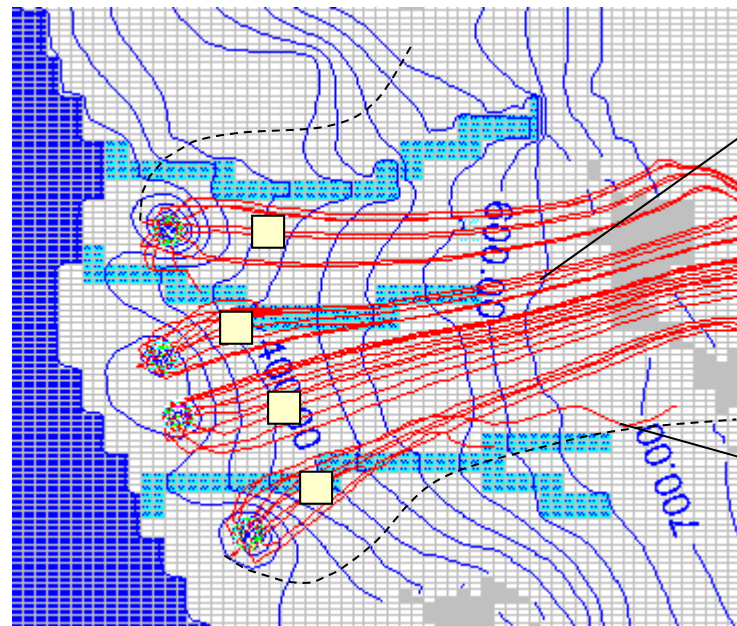
Direzioni preferenziali di flusso a scala di bacino



- 3. Queste informazioni sono state implementate nel modello di flusso, che è in grado quindi di tenere conto sia dell'eterogeneità che dell'anisotropia dell'ammasso roccioso**



- 4. La modellazione del deflusso in presenza di sorgenti evidenzia un restringimento del fronte di richiamo verso monte, difficilmente prevedibile senza tenere conto dell'anisotropia dell'ammasso roccioso.**

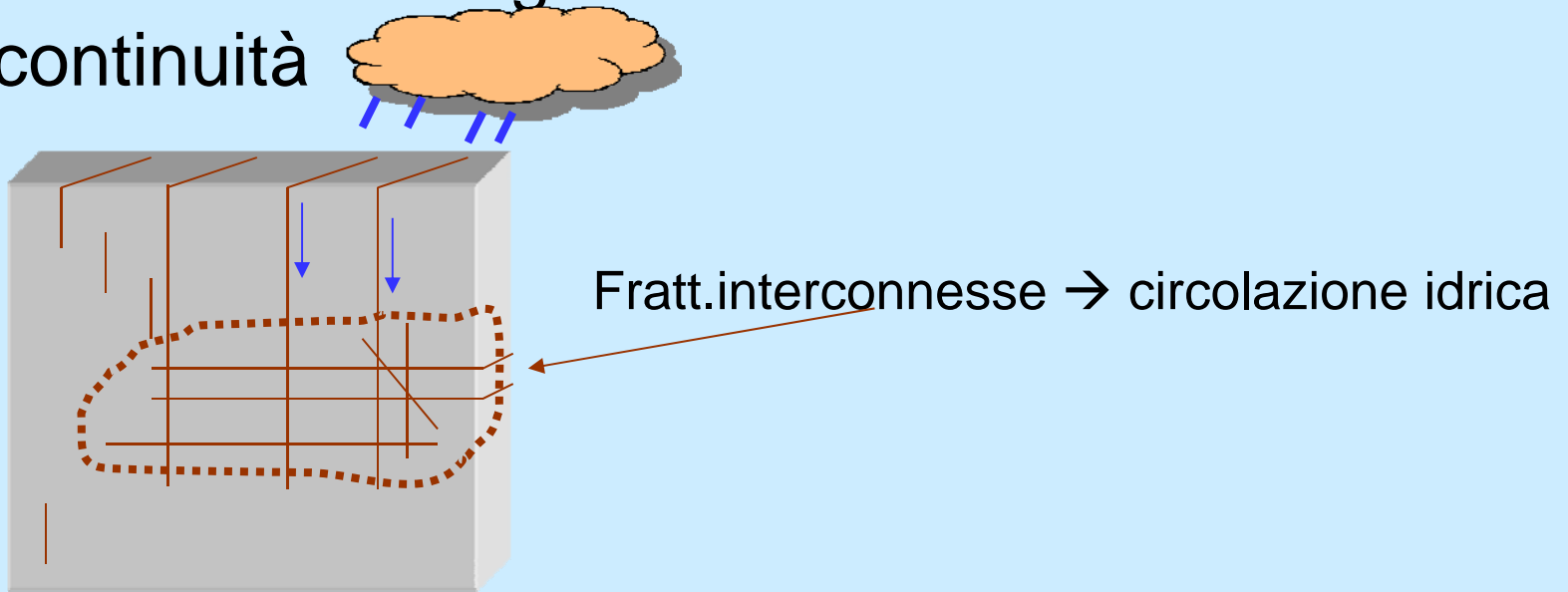


LINEE DI FLUSSO
AFFLUENTI ALLE
SORGENTI

SPARTIACQUE
PIEZOMETRICI
PER MEZZO
ISOTROPO

□ Corretto
posizionamento dei
punti di
monitoraggio

- Ricostruire l'andamento della circolazione idrica e delle pressioni neutre in un reticolo di fratture tenendo conto del grado di interconnessione delle discontinuità



Connettività

Per valutare l'interconnessione si utilizza l'indice di Rouleau e Gale dato da

$$I_{id} = r \sin \alpha_{id} / s_d$$

R = lunghezza della traccia media del sistema

S_d = spaziatura media

α = angolo medio tra discontinuità dei due sistemi i e d

L'indice di interconnessione totale per una famiglia di discontinuità è dato da

$I_i =$ Sommatoria da $d=1$ a n degli indici I_{id}

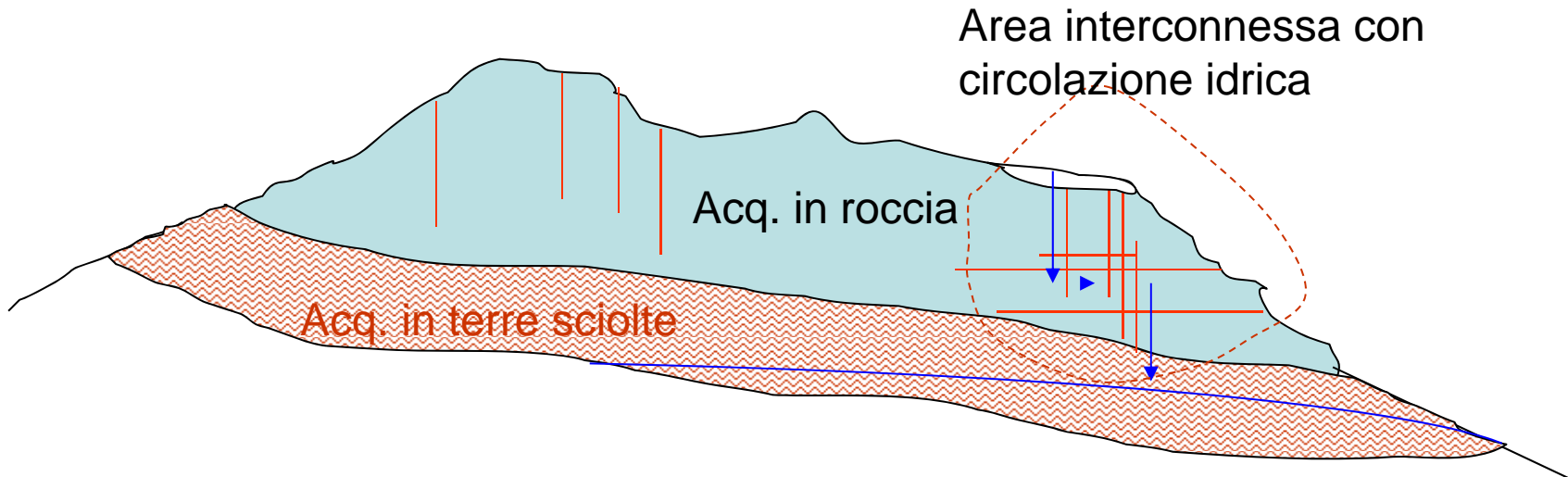
Se il valore di I scende al disotto dell'unità, la discontinuità non partecipa al moto di filtrazione complessivo.

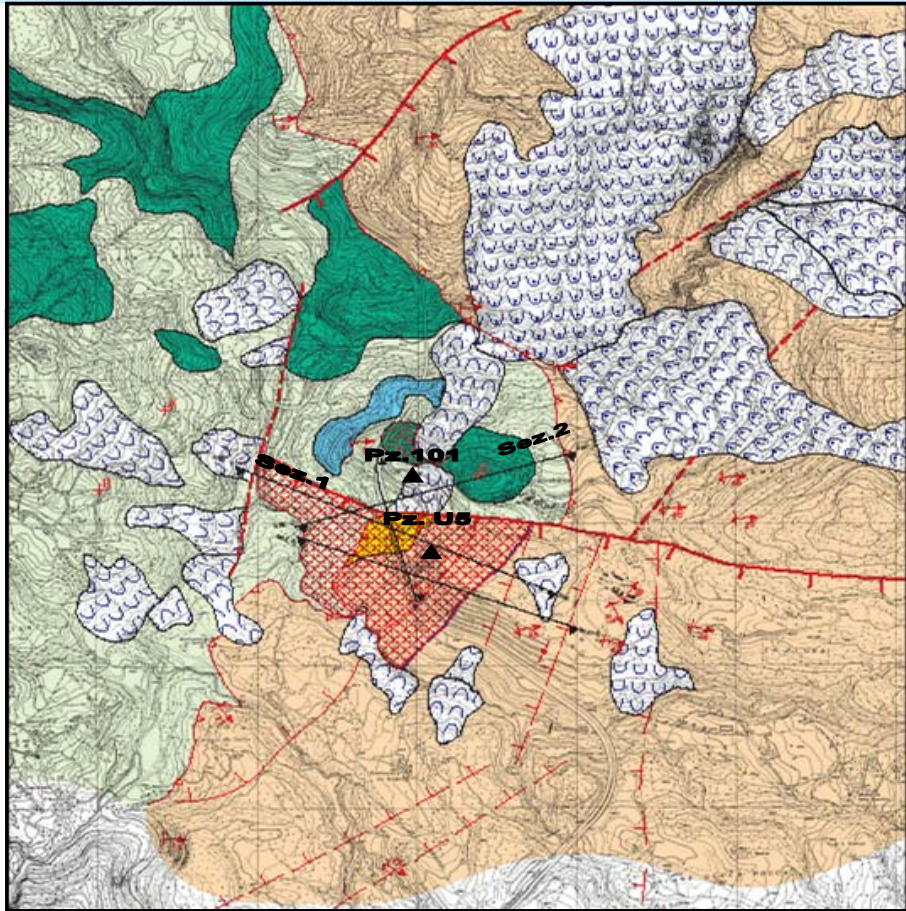
Si definisce anche un indice di connessione globale dato da :

$I =$ Sommatoria da $i = 1$ a n degli indici I_{id}

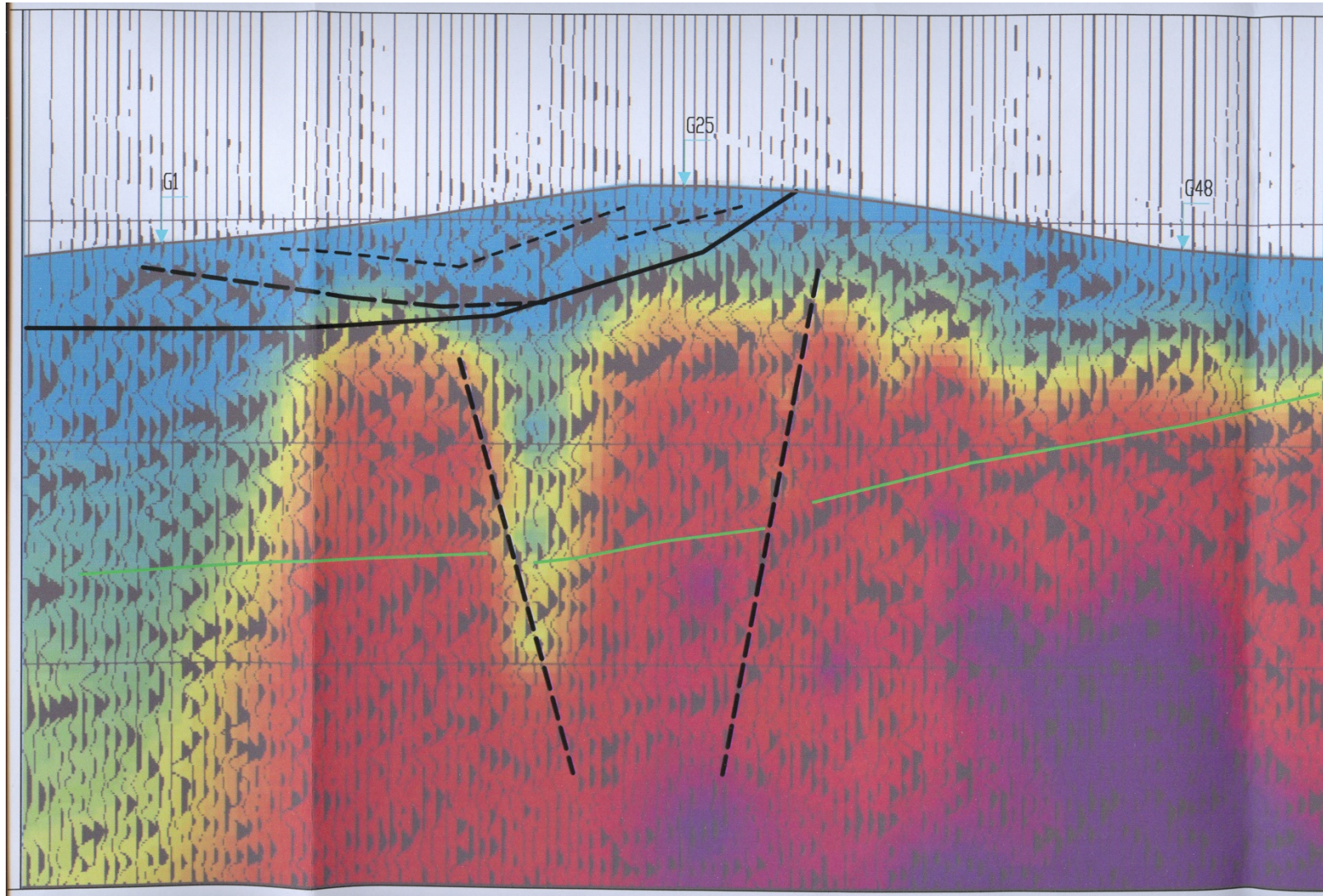
Connettività

In un sistema eterogeneo, ha rilevante importanza il grado di connessione fra le discontinuità, che viene misurato attraverso idonei indici. E' evidente che discontinuità dotate di buona trasmissività ma non interconnesse, non possono dare luogo alla trasmissione delle contaminazioni. E' pertanto obbligatorio rilevare con opportune tecniche (esempio geofisica ad riflessione ad alta definizione) le aree nelle quali le discontinuità sono connesse fra loro, e lungo di esse posizionare i piezometri di monitoraggio.

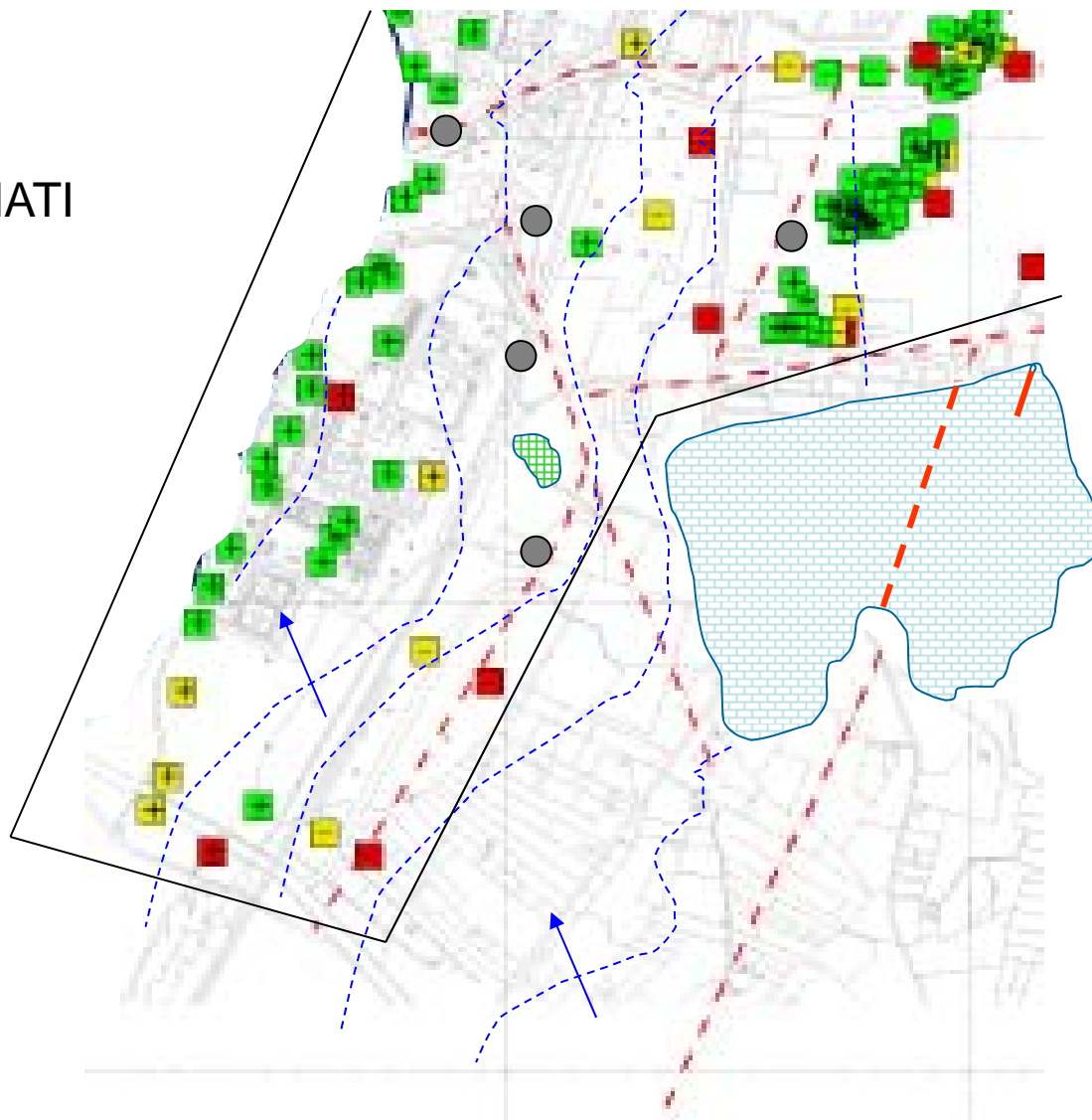




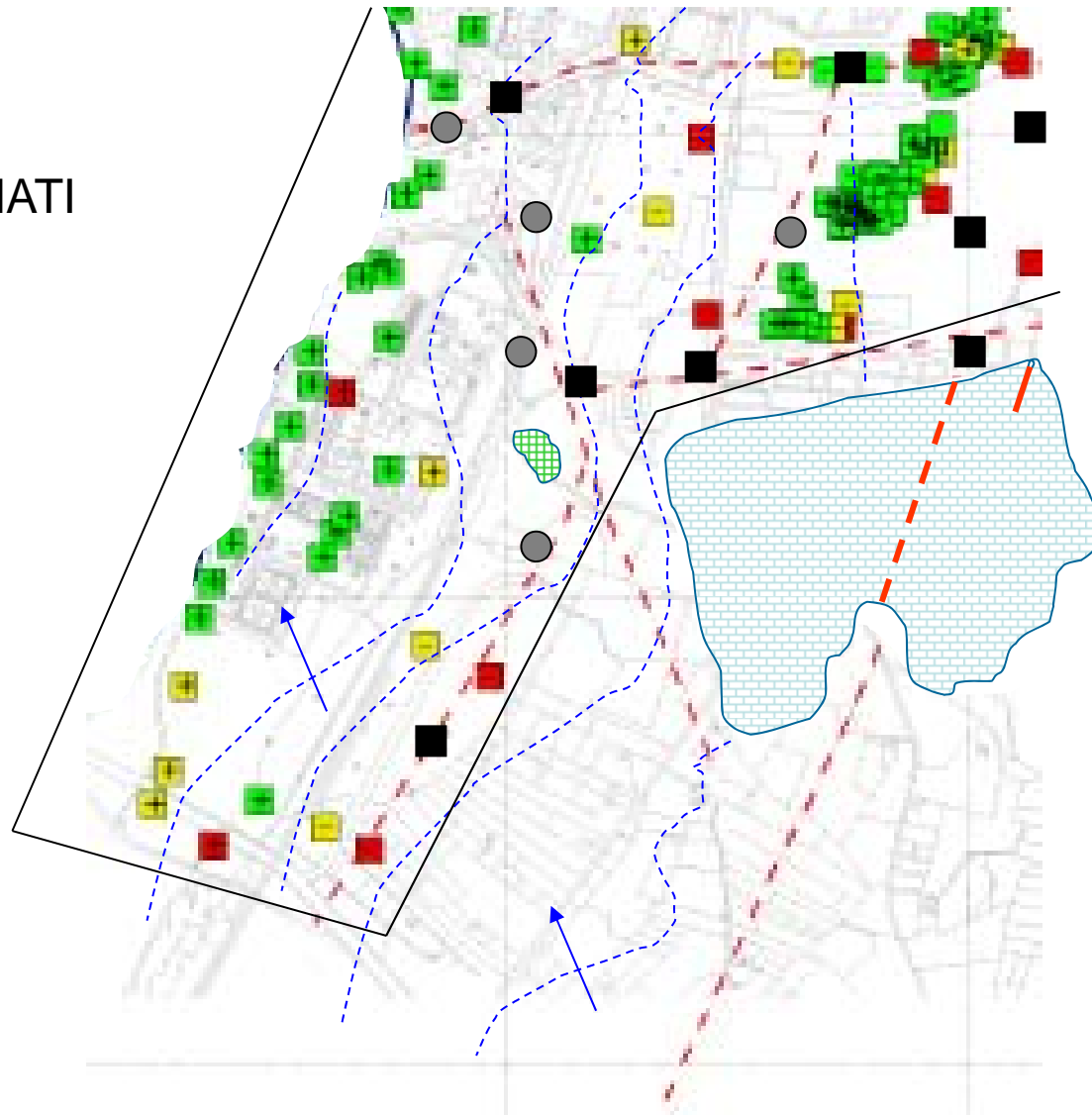
Sezione sismica a riflessione



POZZI INQUINATI
DA TCE ●



POZZI INQUINATI
DA TCE ●



Posizionamento ideale dei pozzi di monitoraggio statico ■

MONITORAGGIO DINAMICO

Rete di piezometri e di pozzi nei quali, oltre al campionamento, viene effettuata l'estrazione di acqua con periodi di pompaggio più o meno prolungati.

In tal modo si crea una depressione piezometrica dotata di un fronte di larghezza prefissata, nel quale vengono raccolti gli inquinanti che, altrimenti, non potrebbero venire intercettati dai piezometri.

La larghezza del fronte richiede un sufficiente numero di pozzi , che si può identificare tramite le seguenti fasi di studio:

calcolare il fronte di richiamo F generato da un pozzo che attraversi la falda inquinata;

verificare che l'inquinamento possa essere intercettato interamente dalla depressione piezometrica;

in caso contrario, calcolare il fronte generato dal numero di pozzi necessario, e disporli alla distanza ottimale fra loro, fermo restando che ogni pozzo ha fronte di richiamo F , portata e trasmissività identiche agli altri;

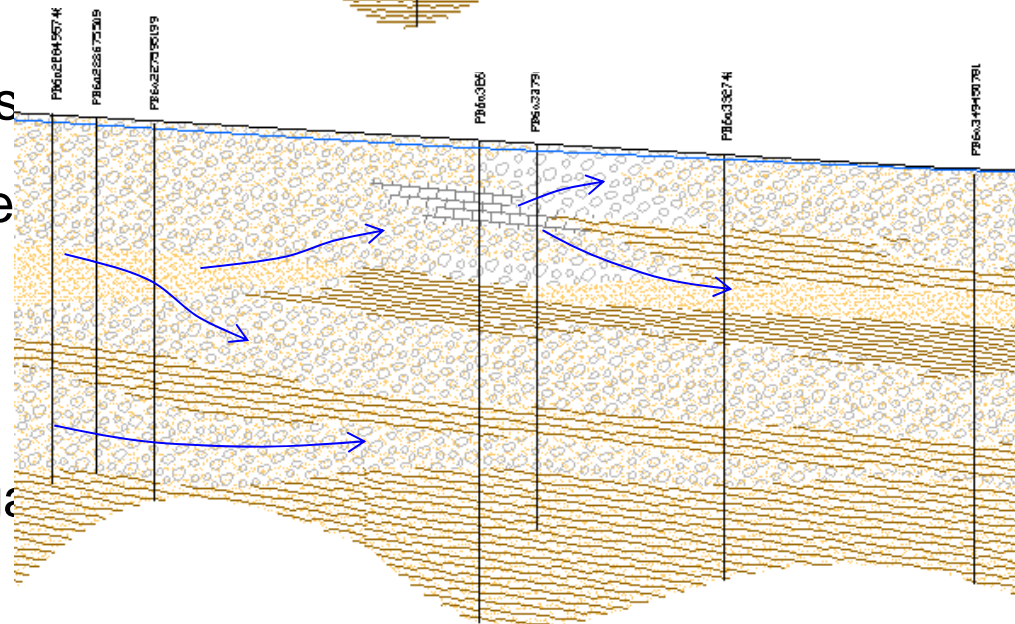
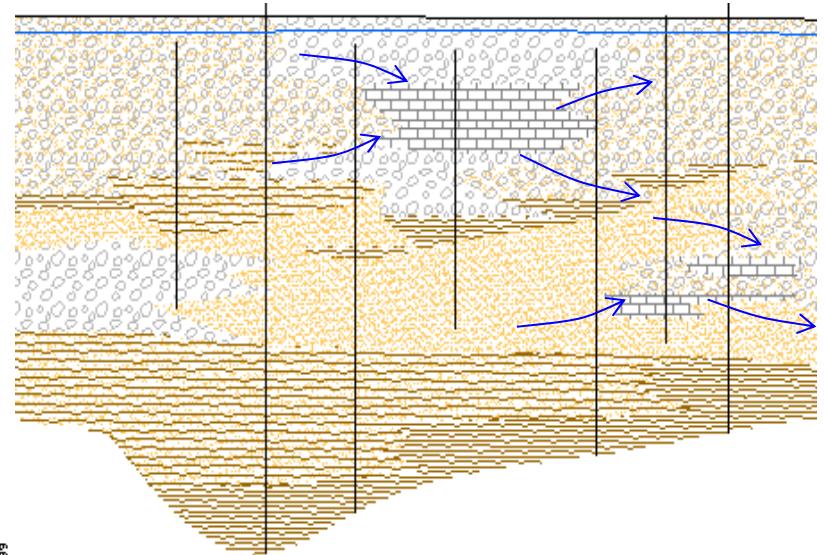
INFLUENZA DELL'ETEROGENEITA'

La presenza di eterogeneità nel sottosuolo, quali ad esempio un livello di maggiore permeabilità compreso fra altri di permeabilità mediocre, può portare a errori nel calcolo del fronte di richiamo:

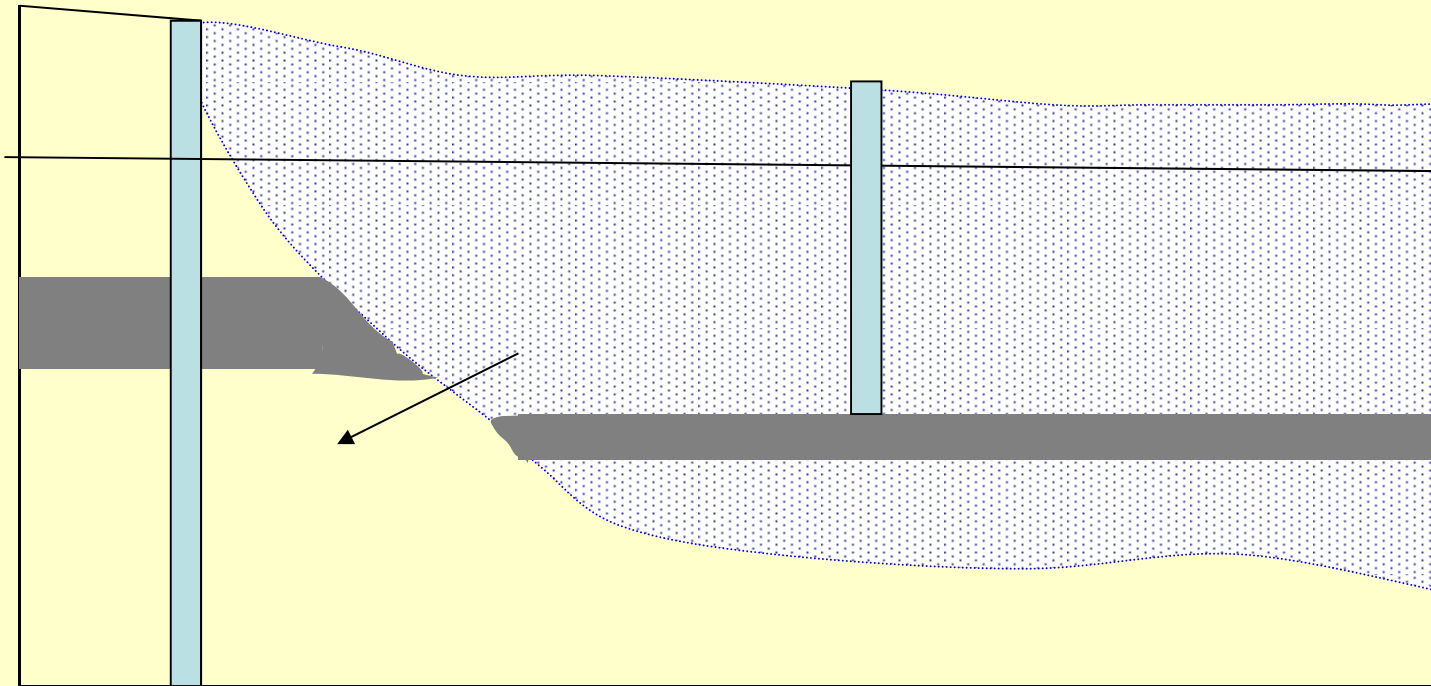
$$F = Q/Ti$$

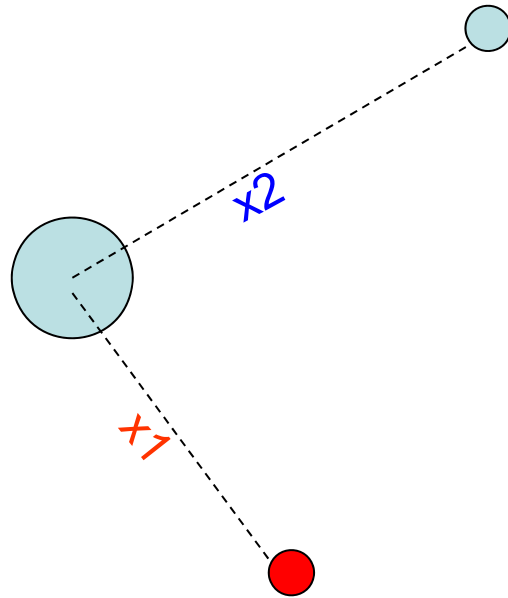
Con l'uso di una T media per un **acquifero monostrato**, all'interno del quale siano presenti livelli di trasmissività ridotta, il valore del fronte determinato da ciascuno di essi sarebbe più elevato del vero, con danno ridotto; sarebbe invece minore di quello calcolato per i livelli di trasmissività più alta.

L'adozione del valore della T media ricavato dalle prove di pompaggio determina quindi pericolo di una fuga di contaminanti.

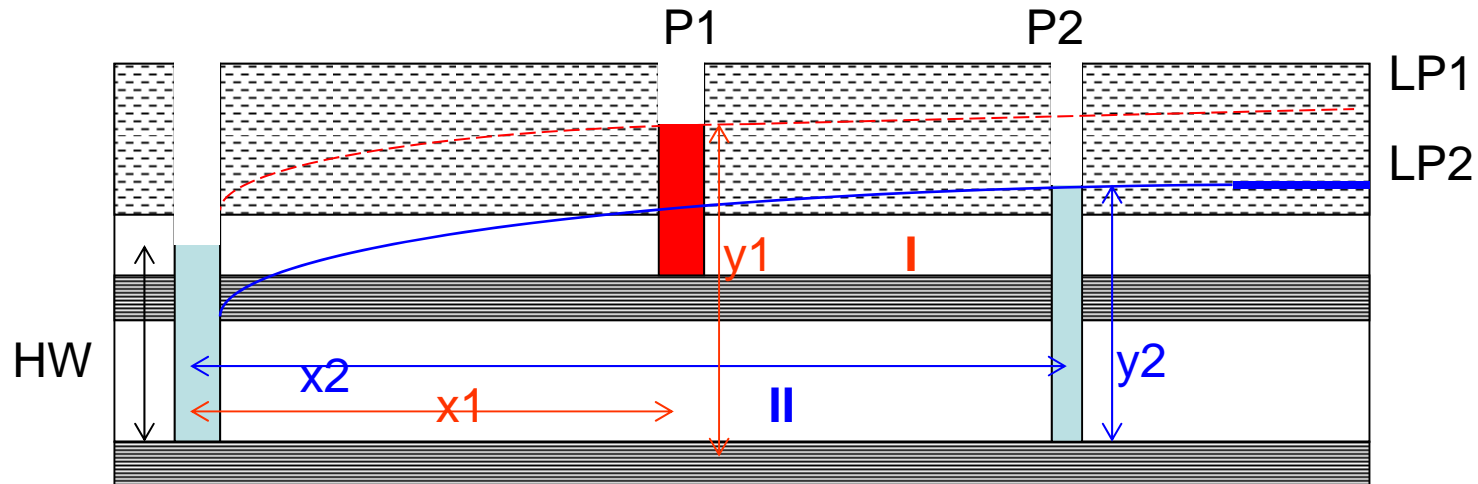


Contatti di erosione (terrazzi sepolti) favoriscono l'intercomunicazione fra acquiferi; la loro non perfetta identificabilità rende necessarie frequentemente prove di interferenza pozzi-piezometro





E' possibile determinare in pozzi finestrati su tutti gli acquiferi il contributo di ciascuna falda, in base alla trasmissività degli acquiferi mediante piezometri finestrati nei singoli acquiferi, anche utilizzando prelievi nel solo pozzo



Acquiferi eterogenei

In alcuni depositi alluvionali e in quasi tutti gli acquiferi in roccia, non è possibile distinguere a priori se si è o meno in presenza di acquifero monostrato. E' quindi bene procedere esaminando separatamente i livelli acquiferi, per ognuno dei quali è applicabile la relazione di Dupuit:

$$Q_i = \frac{2\pi T_i \Delta y_i}{\ln(x_i / r)} = \Delta y_i N_i$$

TRAMISSIVITA' EQUIVALENTE

In presenza di due livelli ad elevata trasmissività, è sufficiente eseguire una prova a due gradini (P e S) in due piezometri distanti x_1 e x_2 ; ogni piezometro capta un livello. Se h_w è il livello piezometrico nel pozzo, y' e y'' i livelli nel piezometro 1 e 2 rispettivamente con la portata P e Y' , Y'' quelli nei piezometri con la portata S:

$$\begin{cases} P = y'N' + y''N'' - N'h_w - N''h_w = N'(y' - h_w) + N''(y'' - h_w) & 1^\circ \text{ gradino} \\ S = N'(Y' - h_w) + N''(Y'' - h_w) & 2^\circ \text{ gradino} \end{cases}$$

N' e N'' delle due falde

Il pozzo viene sottoposto a una prova a gradini, in cui la portata estratta in corrispondenza del primo gradino sia P, e S sia quella estratta nel secondo gradino. I livelli del piezometro della prima falda sono: y' nella prova che dà il valore di portata P; Y' nella prova che dà portata S.

In conseguenza di quanto evidenziato in precedenza, abbiamo:

$$P = N'h w + N'' h w + y'N' + y'' N'' = N'(h w + y') + N''(y'' + h w)$$

$$S = N'(h w + Y') + N''(h w + Y'')$$

Per sostituzione, si ottiene:

$$N'' = [S - N'(Y' + H h w)] / (Y'' + H w)$$

Quindi :

$$P = N'(y' + h w) + [S - N'(y' + h w)] / (Y'' + H w)$$

$$S = N'(h w + Y') + N''(h w + Y'')$$

Risolvendo questo sistema per N' , e sostituendone i valori nell'espressione di N'' , si ottiene anche il valore di N'' .

$$Q_i = \frac{2\pi T_i \Delta y_i}{\ln(x_i / r)} = \Delta y_i N_i$$

Dato che $N' = 2 \Pi T' / \ln (x' / r)$,

$$T' = \ln (x' / r) N' / 2 \Pi$$

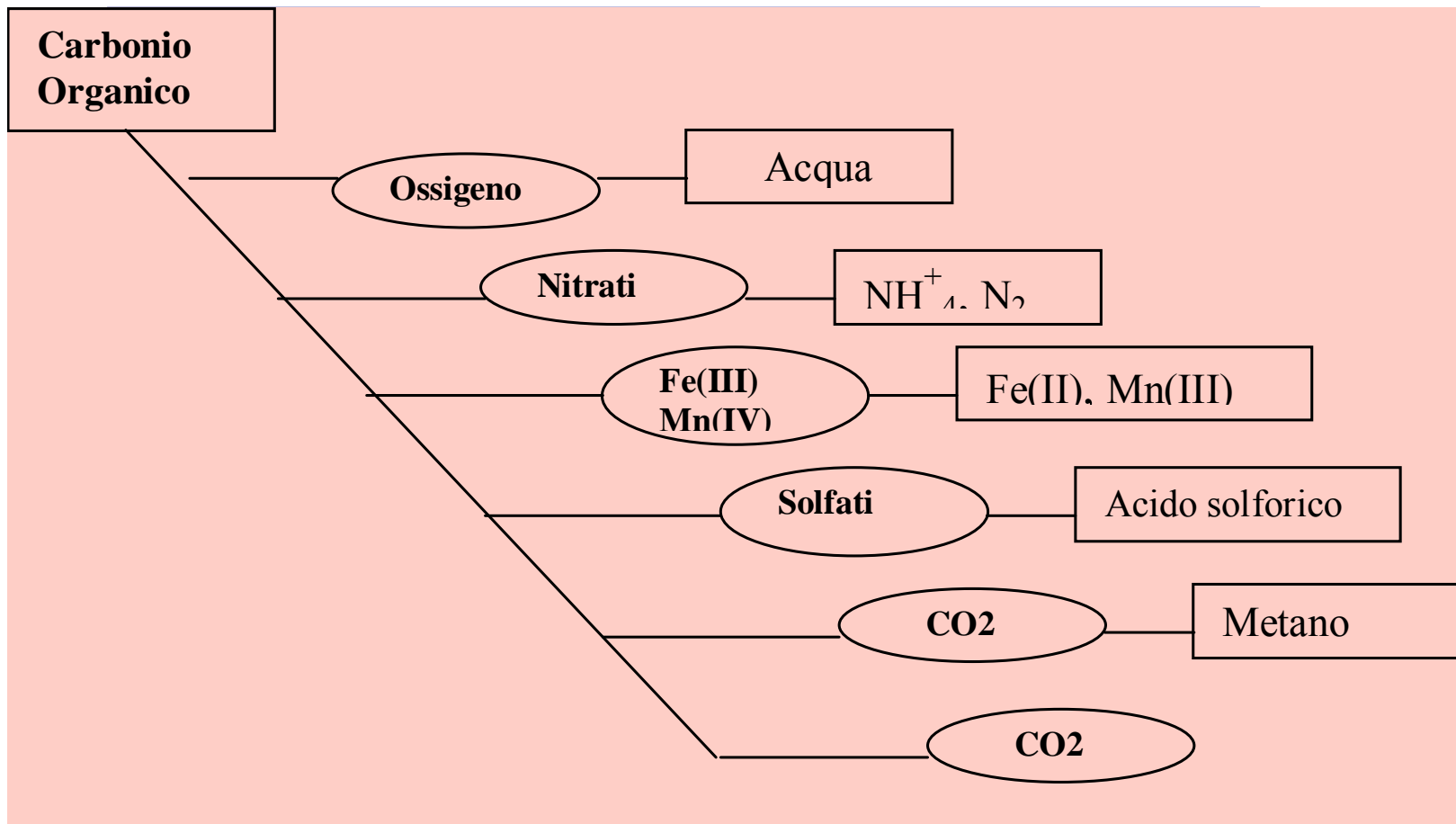
La determinazione della trasmissività equivalente N dei due livelli permette di identificare l'apporto di ciascuno di essi al pozzo, e quindi di calcolare la sua influenza sulla qualità dell'acqua. Note le concentrazioni C' e C'' dei due livelli, abbiamo che la qualità dell'acqua nel pozzo risulta, con portata S :

$$C = [C'N'(Y' - h_w) + C''N''(Y'' - h_w)]/S$$

L'ADOZIONE DI QUESTO ACCORGIMENTO NELLA
PROGETTAZIONE DELLE RETI DI MONITORAGGIO CONSENTE UN
MIGLIORAMENTO DELLE CONOSCENZE SULLA LORO
FUNZIONALITÀ' IN QUANTO CONSENTE DI UTILIZZARE POZZI
CAPTANTI PIU' FALDE GIA' IN USO

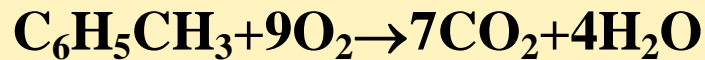
BIODEGRADAZIONE DEGLI IDROCARBURI

Gli idrocarburi del petrolio vengono usati come substrato primario di crescita dai batteri: **fonte di carbonio, donatori elettroni.**



BIODEGRADAZIONE DEGLI IDROCARBURI

RESPIRAZIONE AEROBICA



RESPIRAZIONE ANAEROBICA

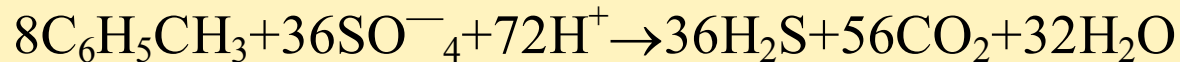
• **Riduzione del nitrato**



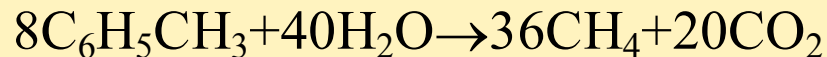
❖ **Riduzione del ferro**



❖ **Riduzione del solfato**



❖ **Metanogenesi**



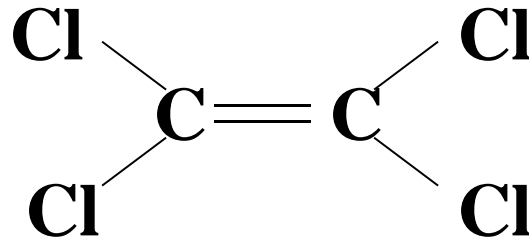
**BIODEGRADAZIONE DEGLI IDROCARBURI ALIFATICI
CLORURATI**

PCE= Percloroetilene

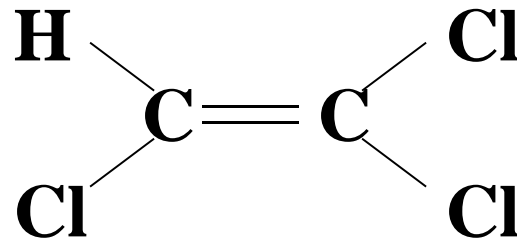
TCE= Tricloroetilene

DCE= Dicloroetilene

VC = Cloruro di vinile



PCE







TCE

Dealogenazione riduttiva

E' il principale meccanismo di biodegradazione per i composti ad elevato numero di clori (es. PCE, TCE).

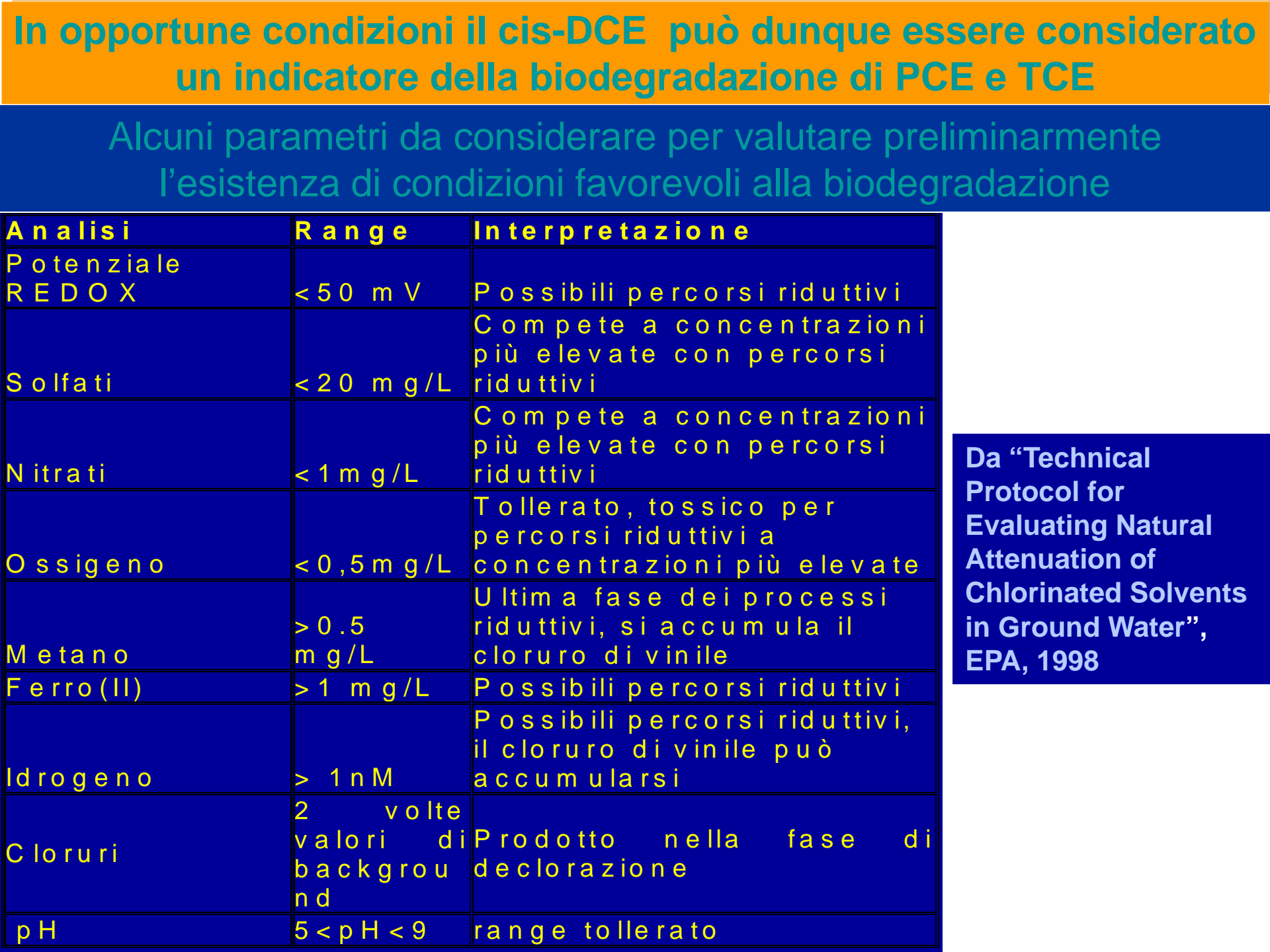
L'idrocarburo clorurato è usato come elettroaccettore, non come fonte di carbonio, e un atomo di cloro è rimosso e sostituito da uno di idrogeno.

	H_2 HCl	H_2 HCl	H_2 HCl	H_2 HCl	
					
	PCE	TCE	DCE	VC	
Ethene Carbon oxidation state	+ 2	+1	0	-1	-2
reduced	Most oxidized		Most		

Deve esserci un'appropriata fonte di carbonio per la crescita microbica (S.O. naturale, idrocarburi): gli idrocarburi vengono ossidati

La D.R. è dimostrata in condizioni solfato-riducenti e metanogeniche

Il PCE è il più suscettibile alla D.R. perché è il più ossidato; il tasso di D.R. diminuisce al decrescere del numero di clori.



In opportune condizioni il cis-DCE può dunque essere considerato un indicatore della biodegradazione di PCE e TCE

Alcuni parametri da considerare per valutare preliminarmente l'esistenza di condizioni favorevoli alla biodegradazione

A n a l i s i	R a n g e	I n t e r p r e t a z i o n e
Potenziale REDOX	< 50 m V	Possibili percorsi riduttivi
Solfati	< 20 m g / L	Compete a concentrazioni più elevate con percorsi riduttivi
Nitrati	< 1 m g / L	Compete a concentrazioni più elevate con percorsi riduttivi
Ossigeno	< 0,5 m g / L	Tollerato, tossico per percorsi riduttivi a concentrazioni più elevate
Metano	> 0.5 m g / L	Ultima fase dei processi riduttivi, si accumula il cloruro di vinile
Ferro (II)	> 1 m g / L	Possibili percorsi riduttivi
Idrogeno	> 1 n M	Possibili percorsi riduttivi, il cloruro di vinile può accumularsi
Cloruri	2 volte valori di background	Prodotto nella fase di dechlorazione
pH	5 < pH < 9	range tollerato

Da "Technical Protocol for Evaluating Natural Attenuation of Chlorinated Solvents in Ground Water", EPA, 1998

Cis 1,2 - DCE COME PRECURSORE

limite di CMA relativamente alto ; non cancerogeno

più veloce di PCE e TCE

permette di individuare una contaminazione in atto prima che si giunga ad una situazione di piena emergenza

si espande su un'area maggiore raggiungendo prima i piezometri "sentinella"

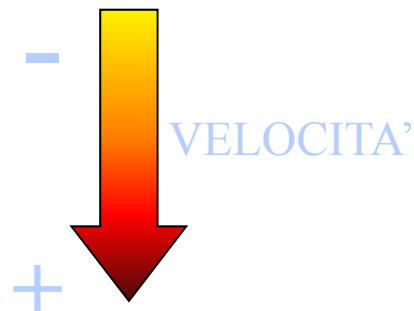
$$R = V_c/V_f = 1 + (\rho \cdot K_d) / m_e$$

RITARDO

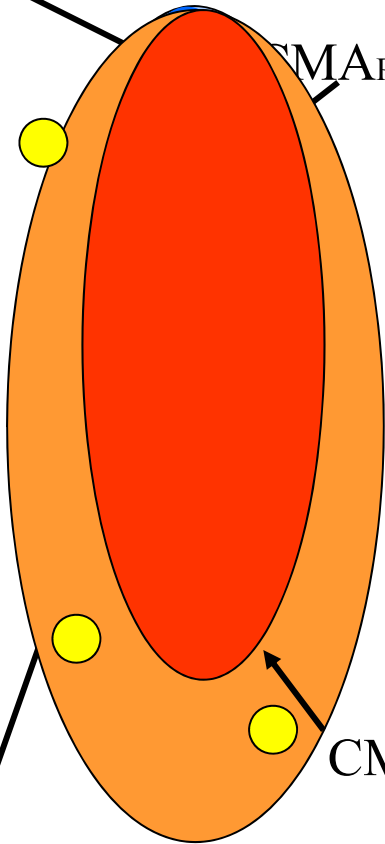
$$K_d = K_{oc} \cdot f_{oc}$$

m_e = porosità efficace; ρ = densità dell'acquifero; K_d = coef di ripartizione; K_{oc} = coef. partizione del carbonio organico; f_{oc} = frazione di carbonio organico

	K_{oc}	R
PCE	263	12
TCE	126	6,4
DCE	58	3,4



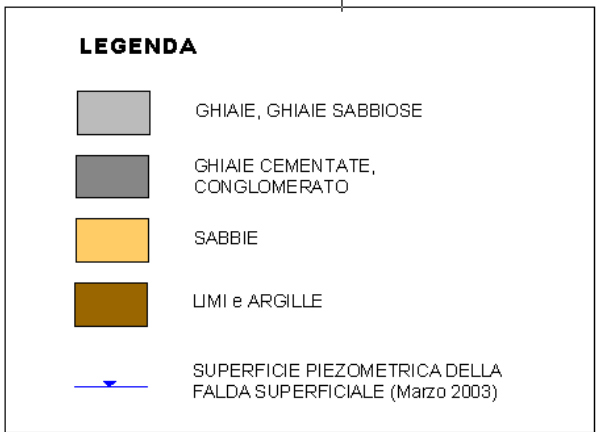
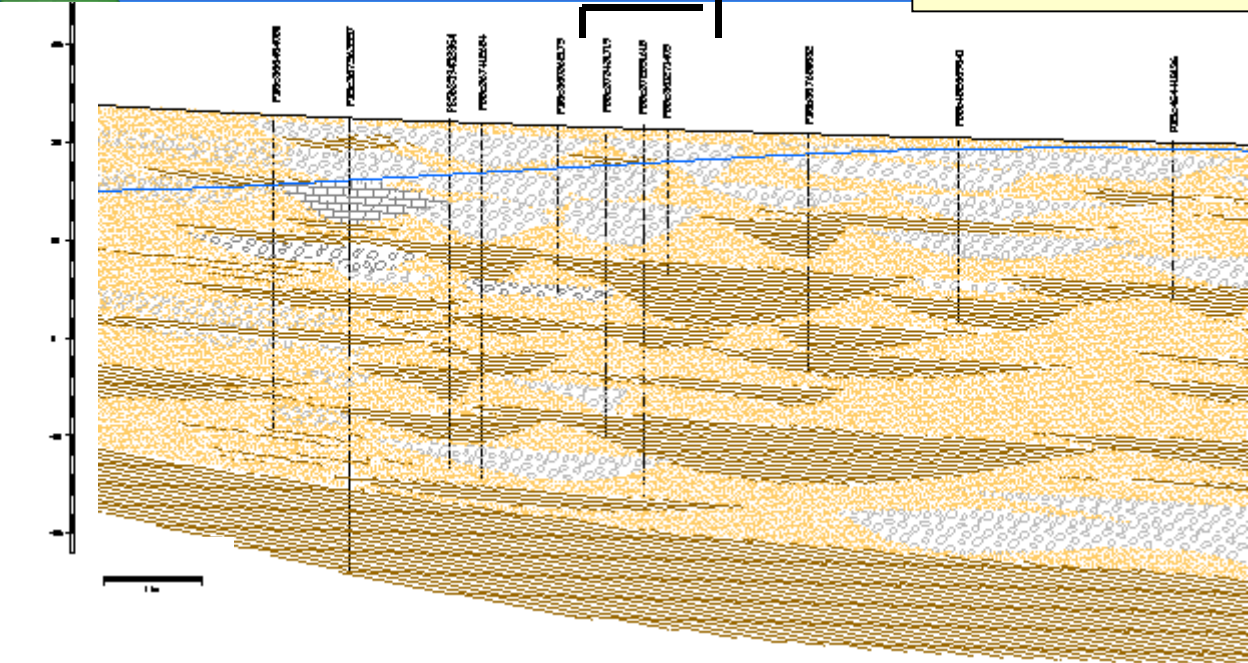
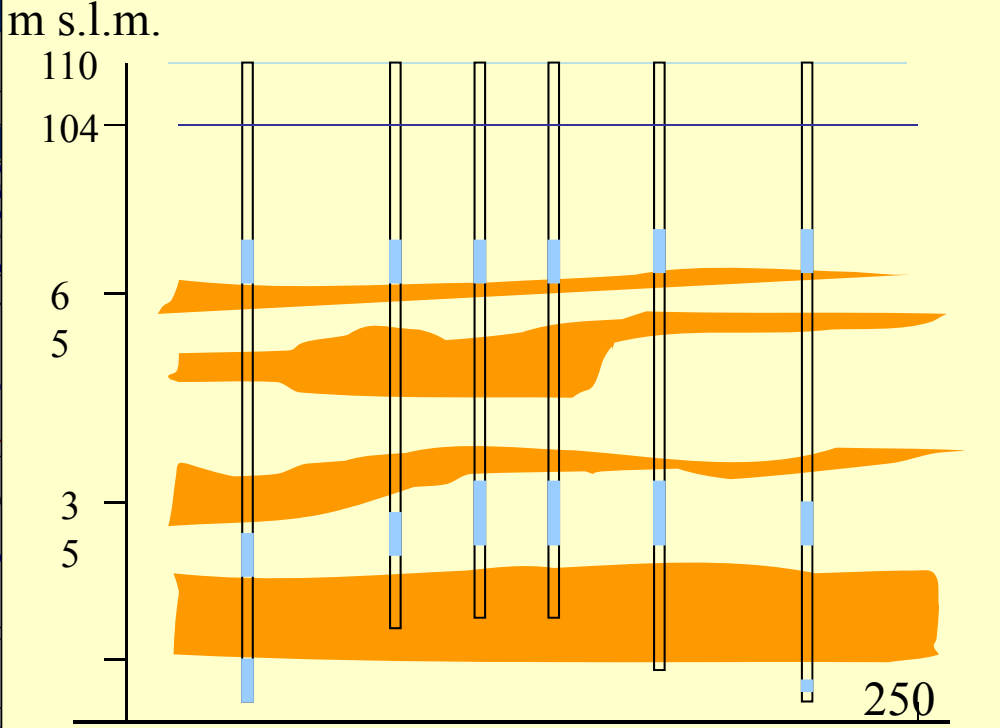
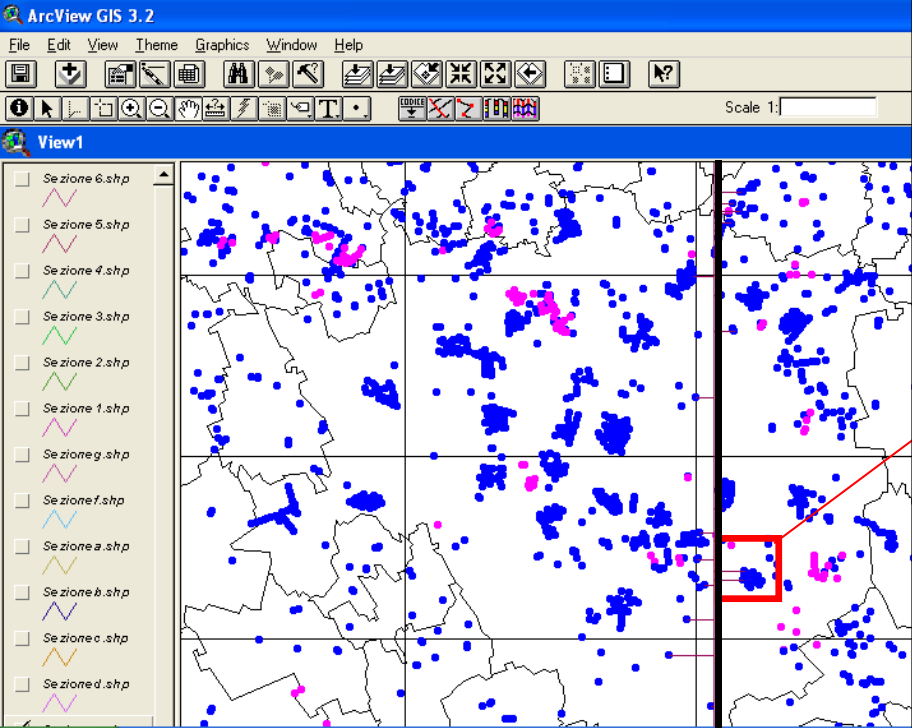
FONTE

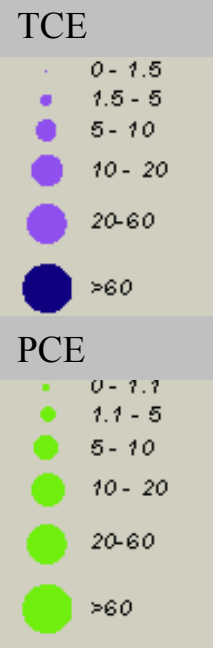
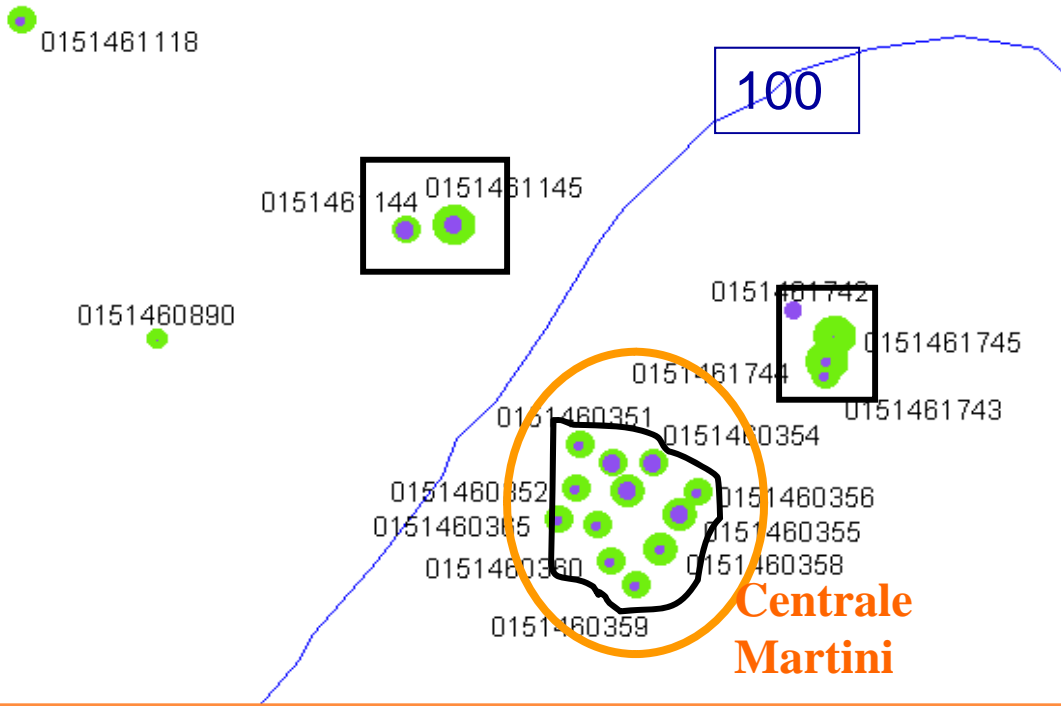


$CMA_{PCE} = 1.1 \mu\text{g/L}$

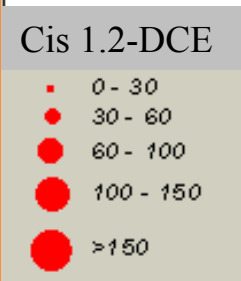
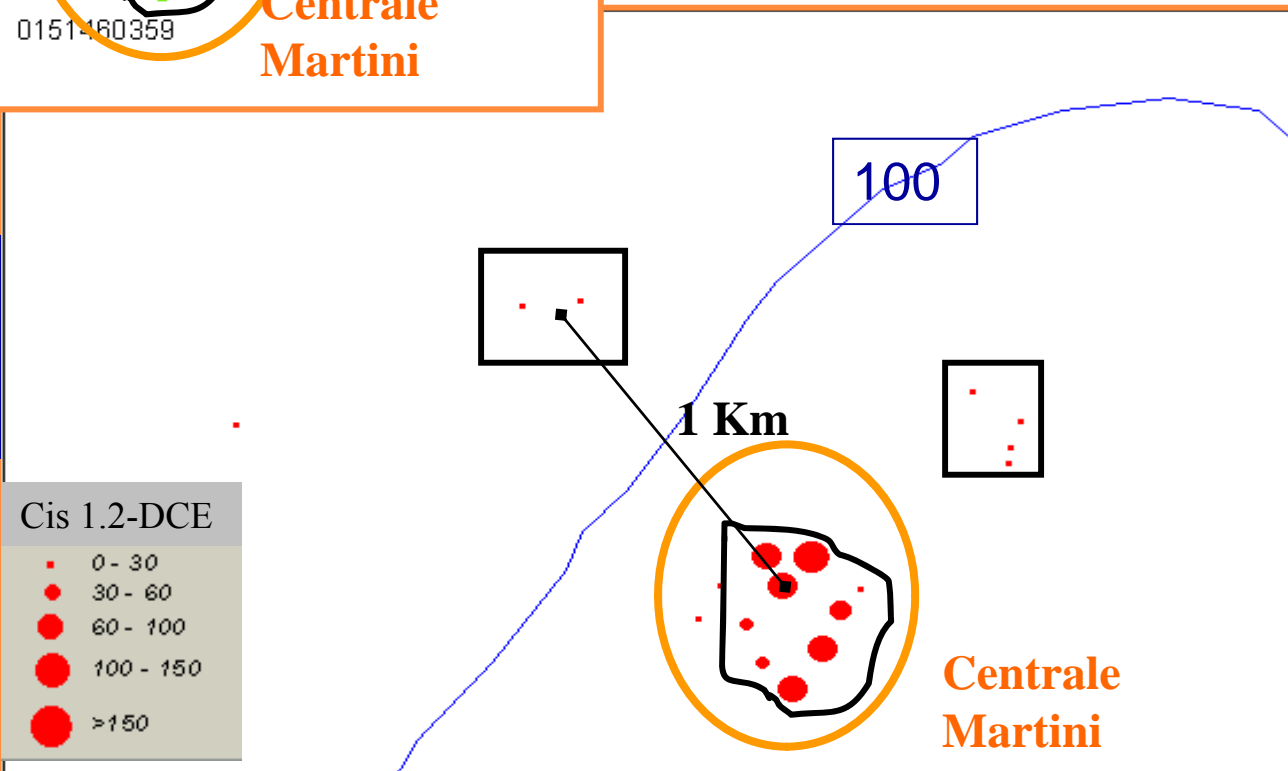
$CMA_{DCE} = 60 \mu\text{g/L}$

PIEZOMETRI

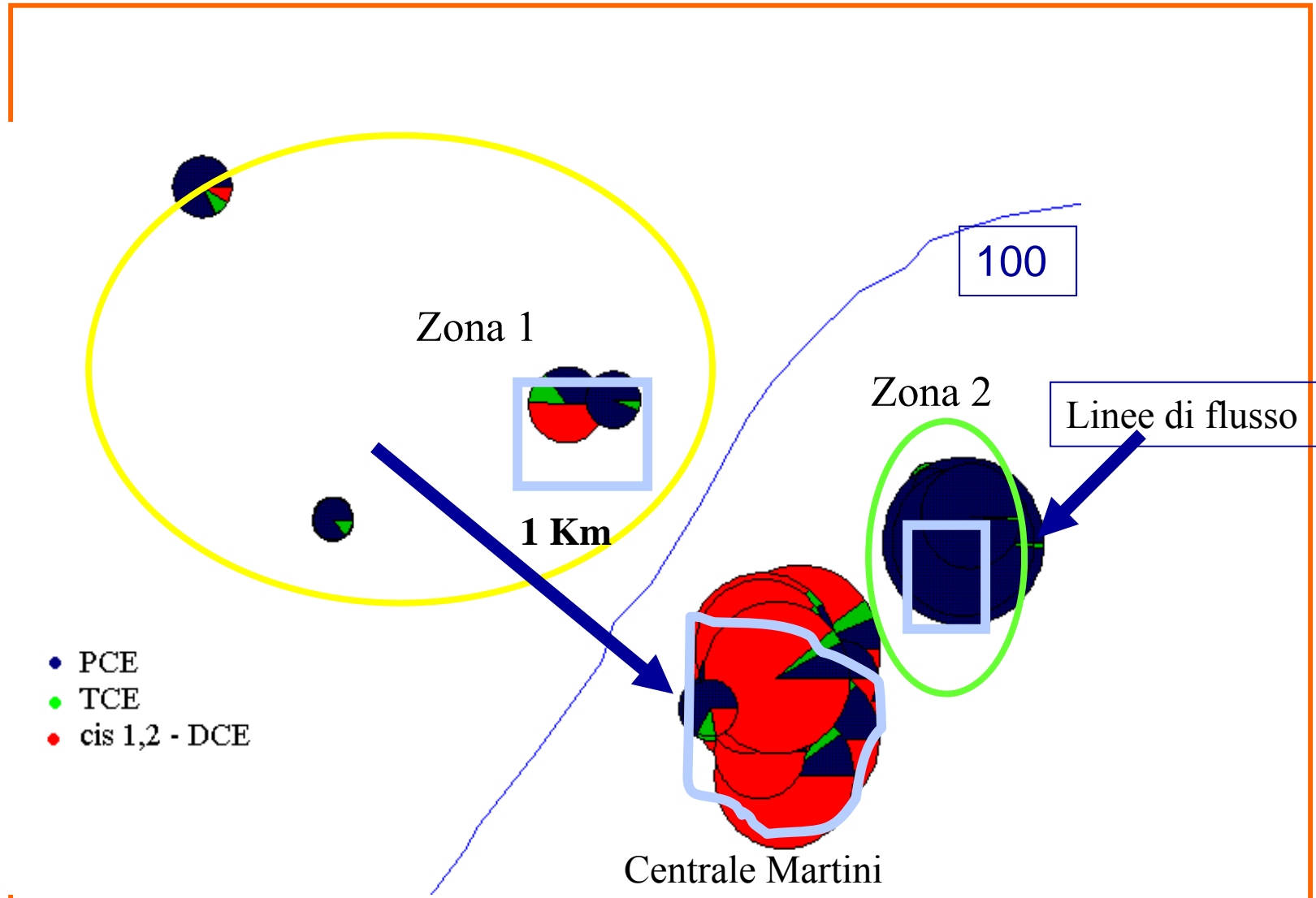




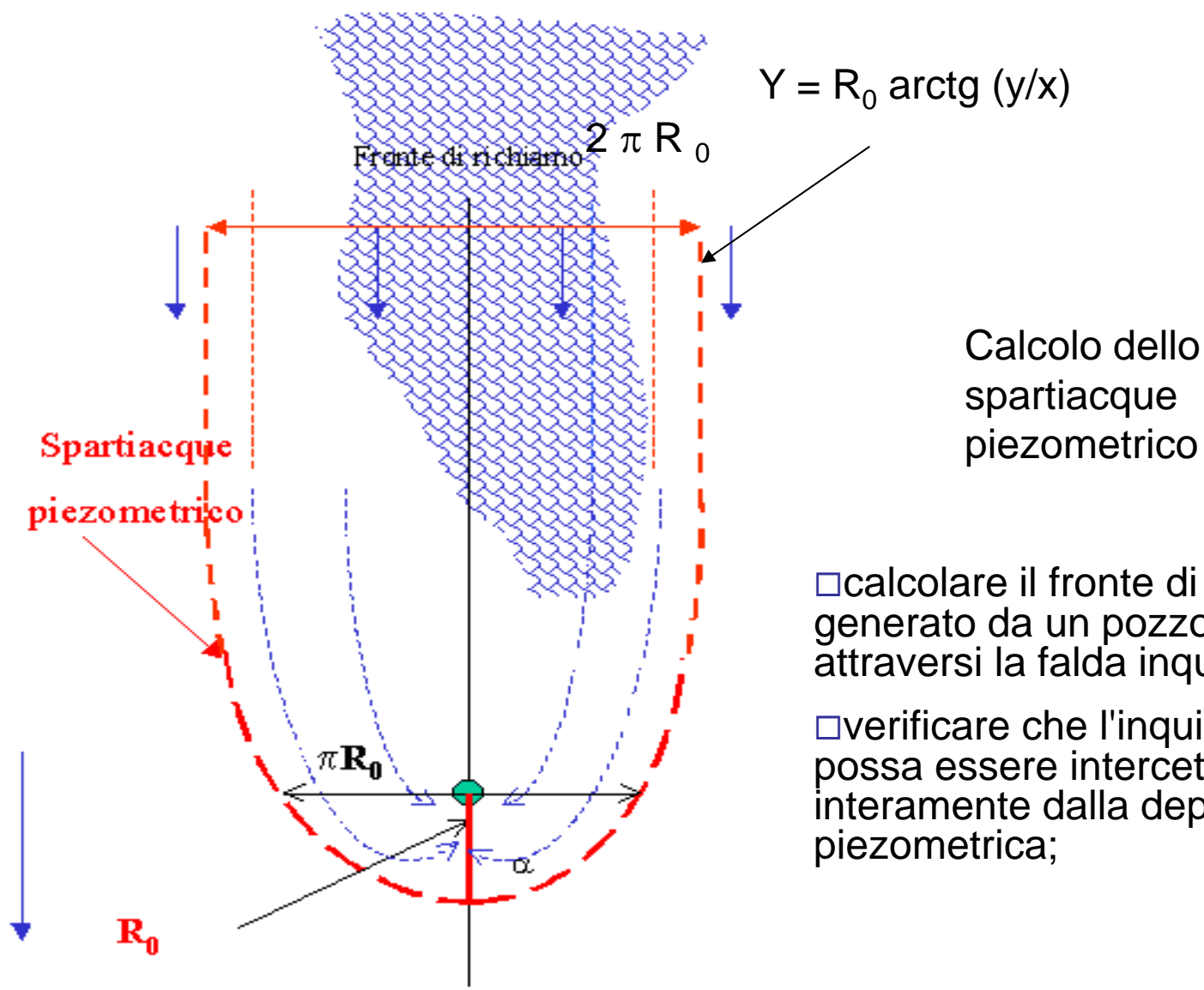
Analisi delle distribuzioni



Analisi delle composizioni

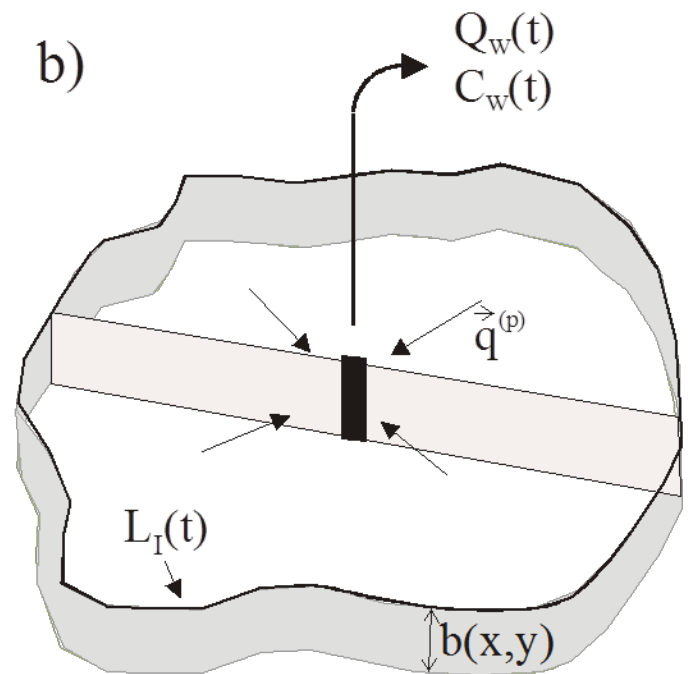
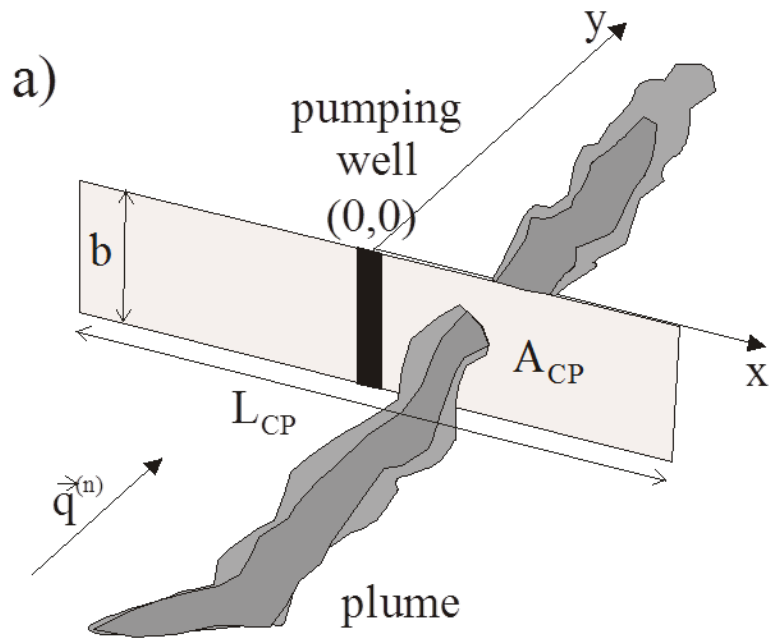
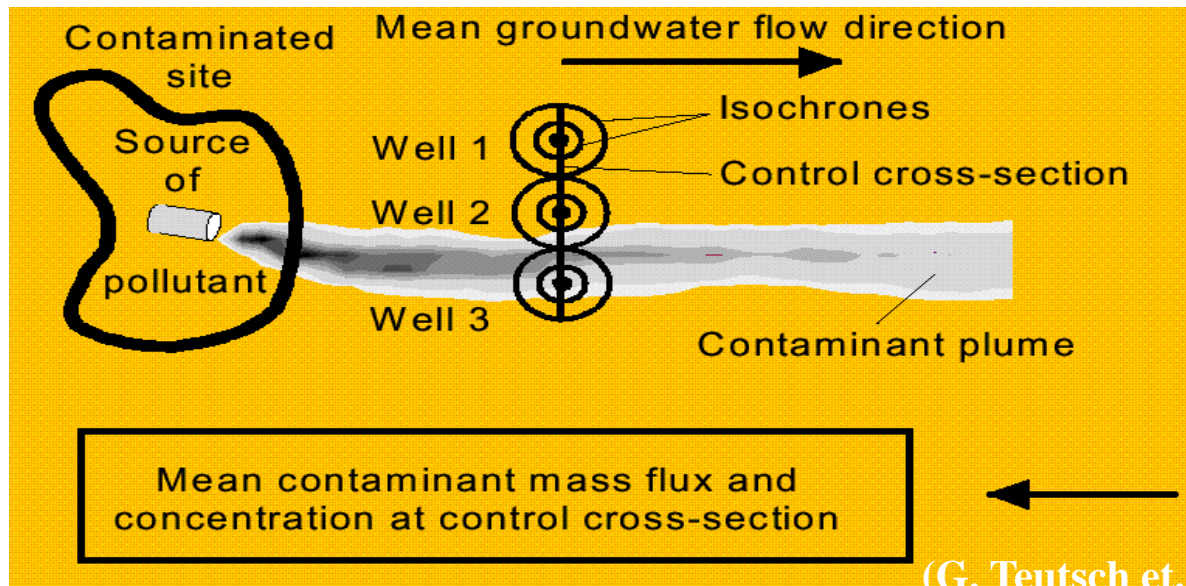


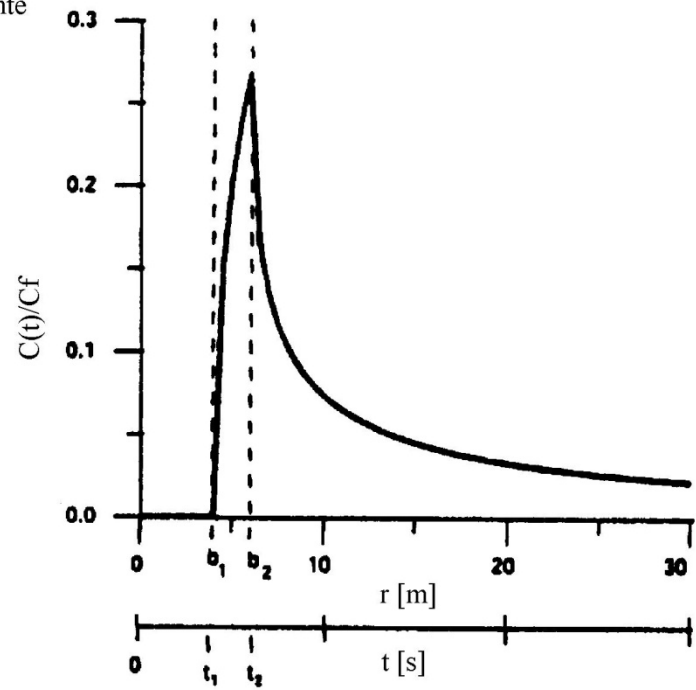
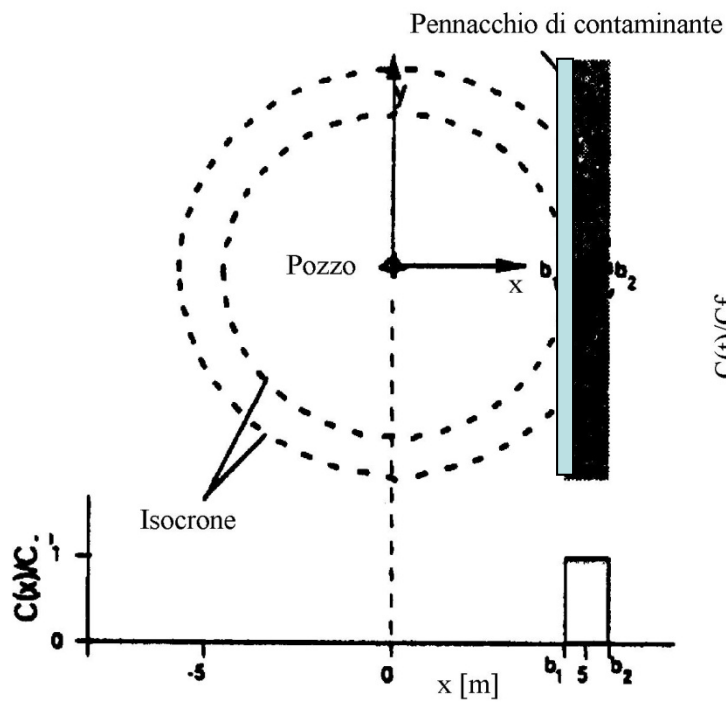
Metodo dell'Integral Pumping Test (IPT)



Calcolo dello
spartiacque
piezometrico

- calcolare il fronte di richiamo F generato da un pozzo che attraversi la falda inquinata;
- verificare che l'inquinamento possa essere intercettato interamente dalla depressione piezometrica;





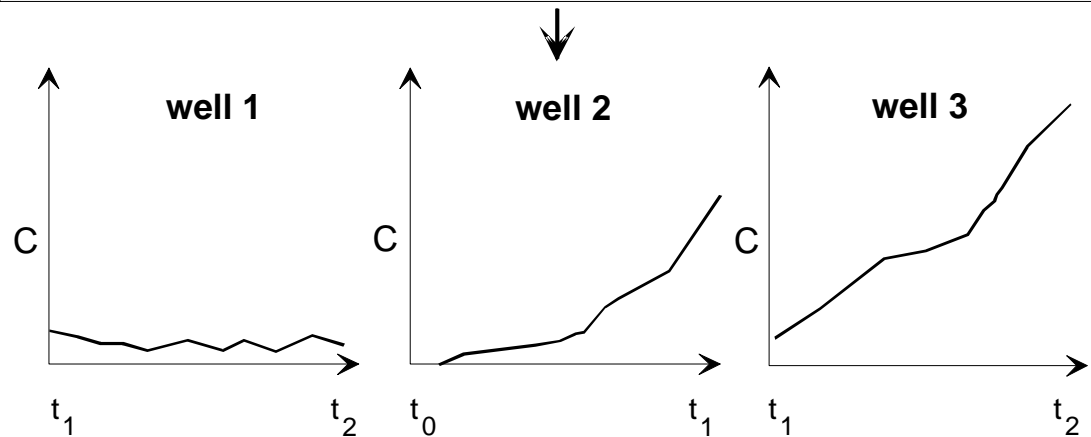
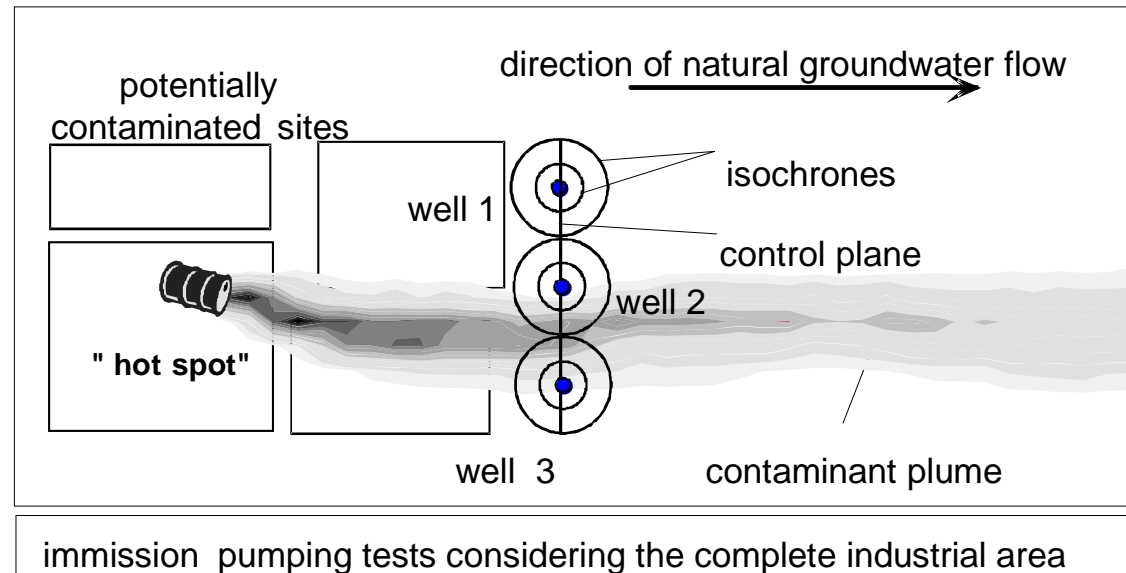
Relazione di SCHWARTZ (2001)

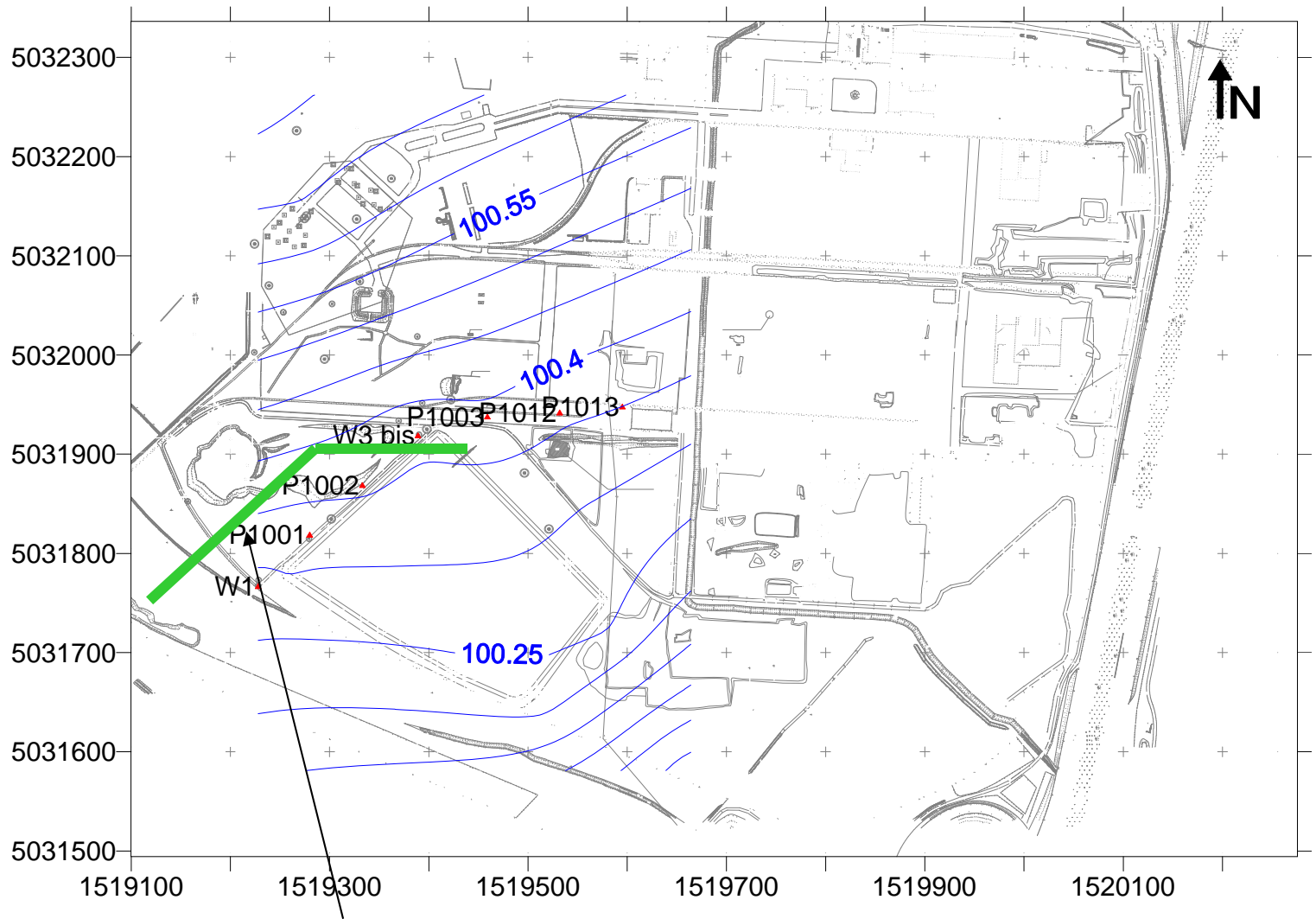
$$C(r(ndt)) = \frac{\pi M(ndt) - \sum_{i=1}^{n-1} 2M(idt) \left[\arccos\left(\frac{r((i-1)dt)}{r(ndt)}\right) - \arccos\left(\frac{r(idt)}{r(ndt)}\right) \right]}{2dtQ \arccos\left(\frac{r((n-1)dt)}{r(ndt)}\right)}$$

dove $M(ndt) = dt Q C(ndt)$ e $r(ndt)$. $C(ndt)$ sono i valori di concentrazione misurati a determinati istanti temporali, e n sono le misure effettuate.

Fase I: identificazione del plume

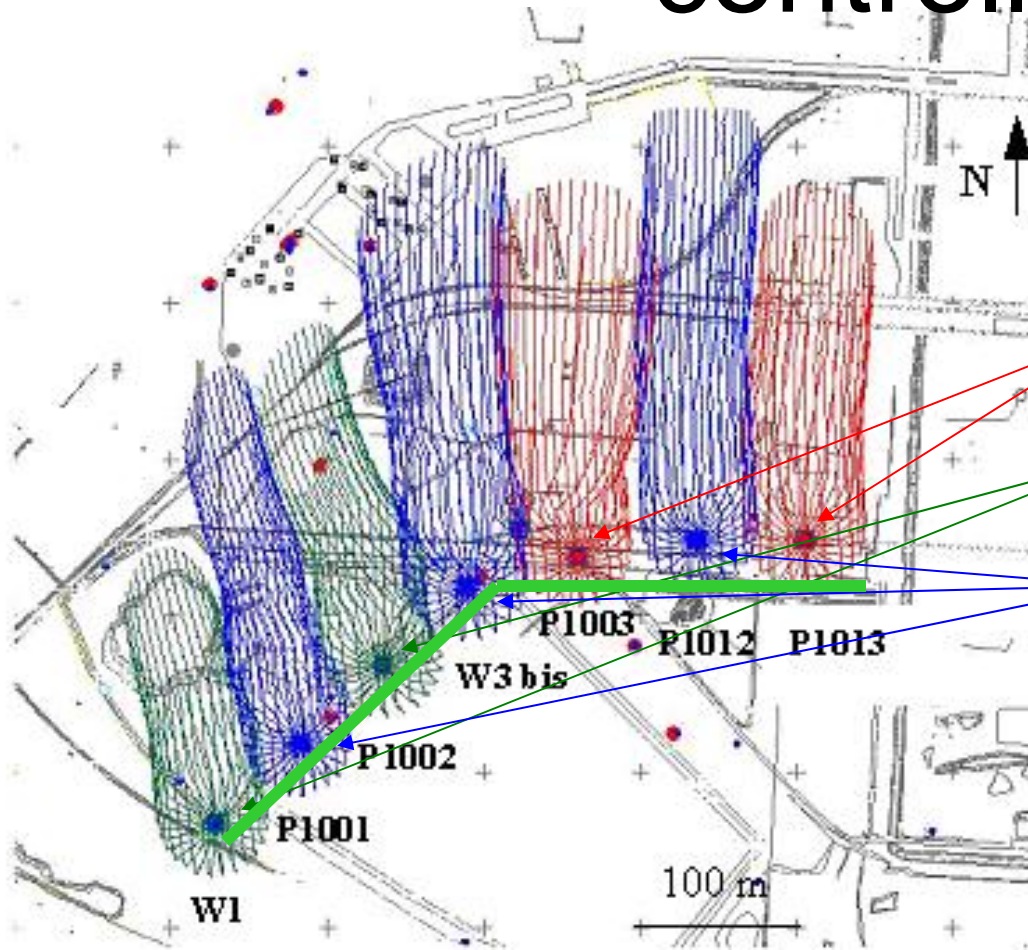
Impiegando un certo numero di pozzi è possibile registrare su grafici la distribuzione nel tempo delle concentrazioni in arrivo a ciascuno di essi, in modo da avere i dati da intradurre nella relazione di Schwartz che portano a definire la distanza dalla quale pervengono gli inquinanti ai pozzi.





Superficie di controllo

METON Site: piano di controllo



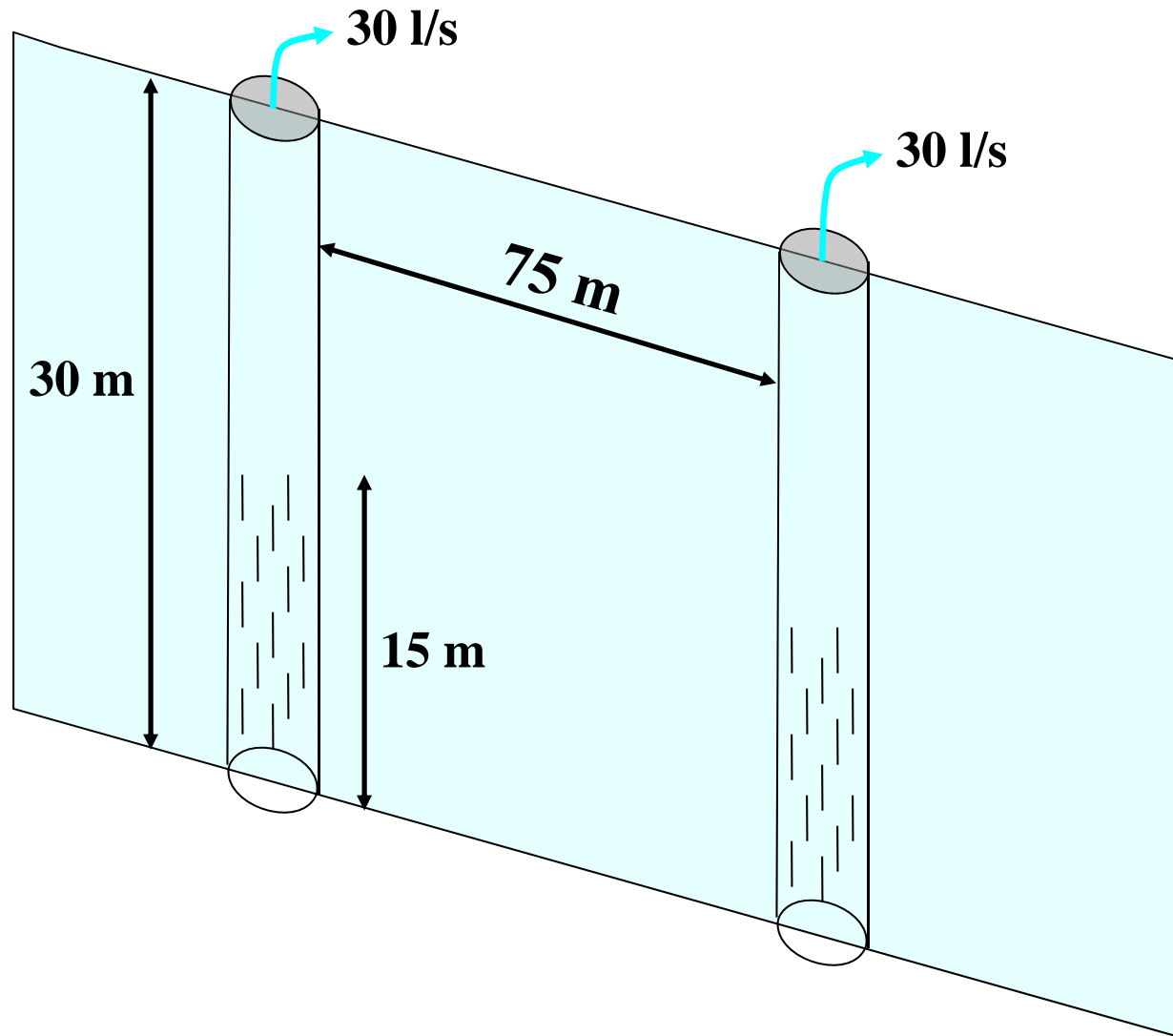
**Primo Periodo: P1003-
P1013**

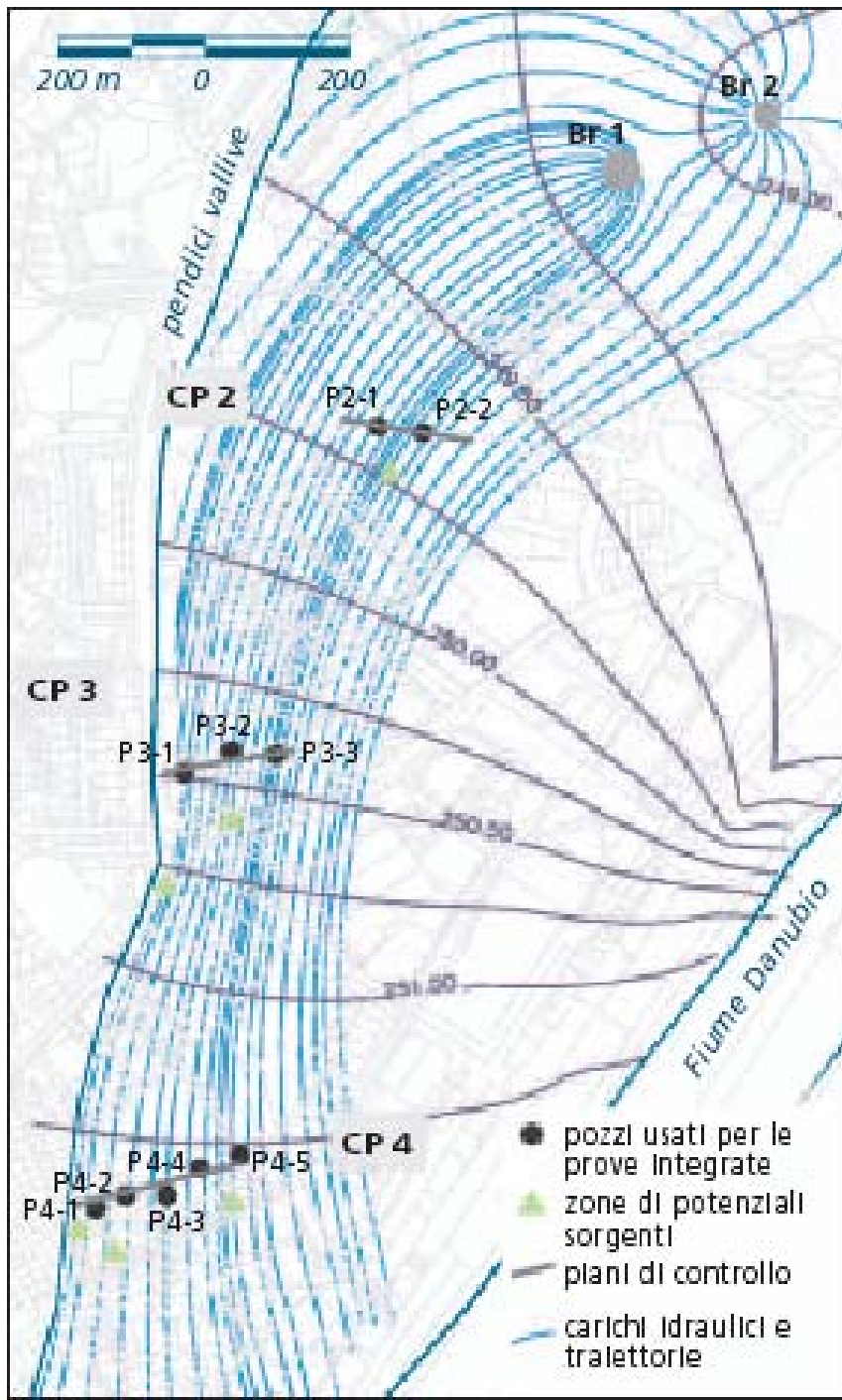
**Secondo Periodo: W1-
P1002**

**Terzo Periodo: P1001-W3
bis-P1012**

Sovrapp.almeno 10%

Lunghezza della superficie
di controllo : 450 m





APPLICAZIONE DELL'IPT A LINZ (2001)

CONCLUSIONI

Normalmente i sistemi acquiferi presentano alla scala di studio impiegata per la progettazione delle barriere idrauliche, una marcata eterogeneità, sia nel caso di acquiferi in roccia sia in alluvioni.

E' pertanto indispensabile che l'esistenza di strutture geologiche che siano in grado di predeterminare il flusso dei contaminanti verso i pozzi, venga evidenziato, sia con adeguate prospezioni geognostiche, sia seguendo la classica successione di fasi:

Accertamento dei parametri idrogeologici

Ricostruzione della disposizione dei livelli a diversa permeabilità e di quelli impermeabili

Valutazione con modelli preliminari del comportamento delle falde e della funzionalità degli interventi prescelti

Predisposizione di modelli matematici adeguati e loro calibrazione

Accertamento dell'efficacia delle soluzioni prescelte.