



Le indagine geofisiche ed il rischio idrologico-ambientale

Prof. Ing. Giorgio Cassiani



UNIVERSA
UNIVERSIS
PATAVINA
LIBERTAS

Dipartimento di Geoscienze

Università di Padova

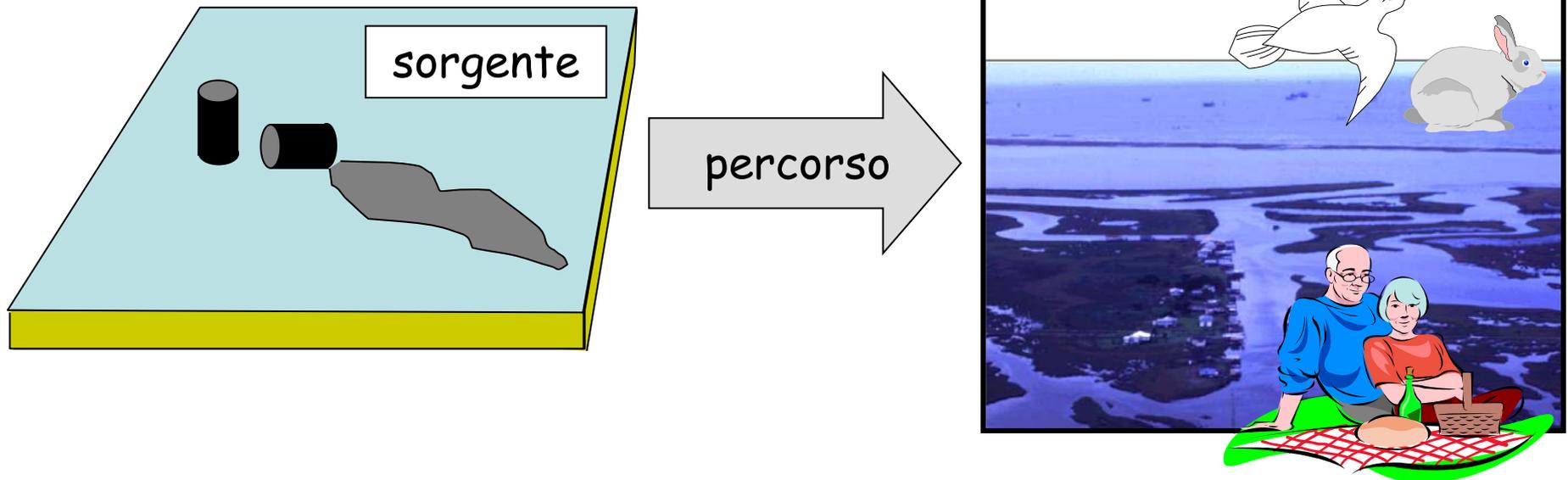
giorgio.cassiani@unipd.it



ANALISI DI RISCHIO

Ogni analisi del rischio dovrebbe offrire i dati e le informazioni per definire la catena:

sorgente -> percorso -> recettore





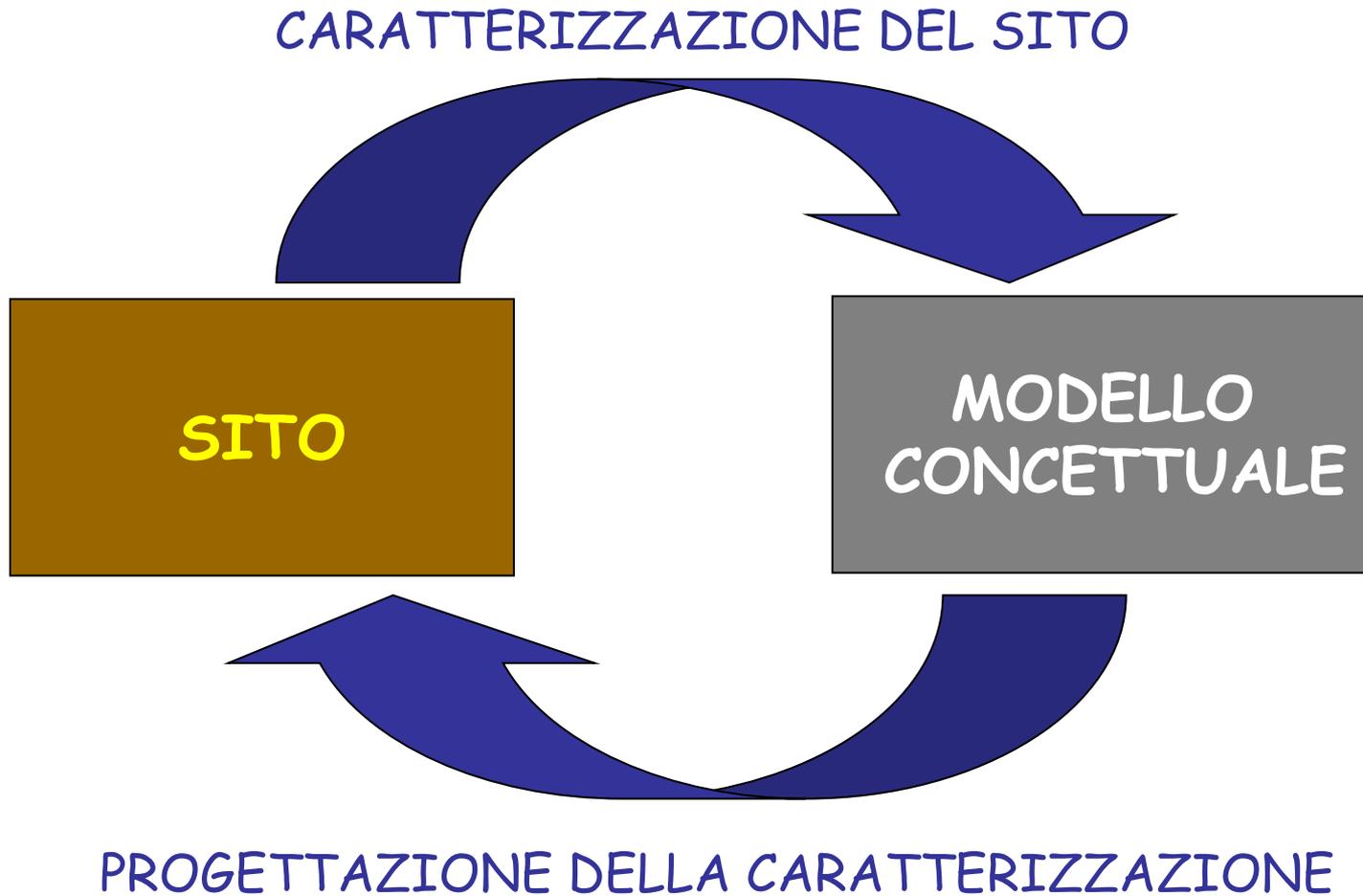
PER ESEMPIO: CARATTERIZZAZIONE DEI SITI CONTAMINATI

Gli **obiettivi** sono:

- determinare la natura e l'estensione della contaminazione (**pericolosità**)
- caratterizzare il mezzo fisico (**percorsi**)
- comprendere la natura di **recettori** potenziali e relativi **rischi**
- fornire informazioni per le decisioni di **gestione e bonifica**

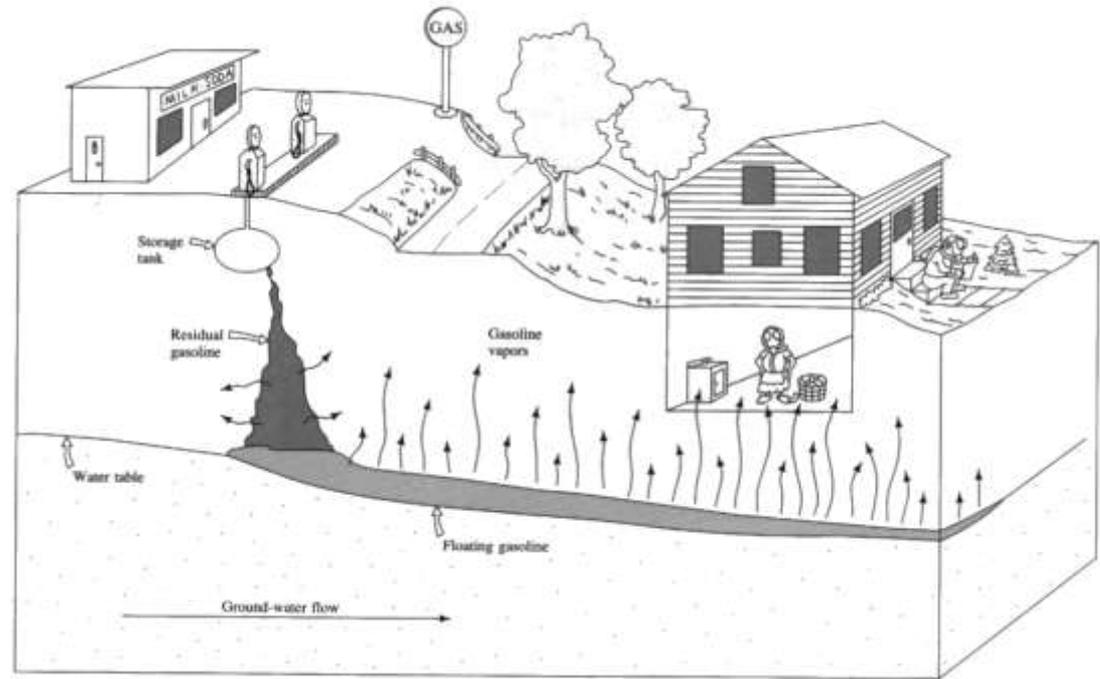


Il prodotto finale: **UN MODELLO CONCETTUALE**



Percorsi

p.es. la migrazione di contaminanti
è governata da molti
**meccanismi fisici,
chimici e biologici**



[C.W.Fetter, 1999]

il più importante:

- trasporto con l'acqua nel saturo e nel non saturo

ma altrettanto cruciali:

- flusso come fase separata (DNAPL o LNAPL)
- assorbimento/desorbimento dalla matrice solida
- biodegradazione





Idrologia e tematiche ambientali

Alluvioni

Instabilità dei versanti montani

Contaminazione dei suoli e delle acque

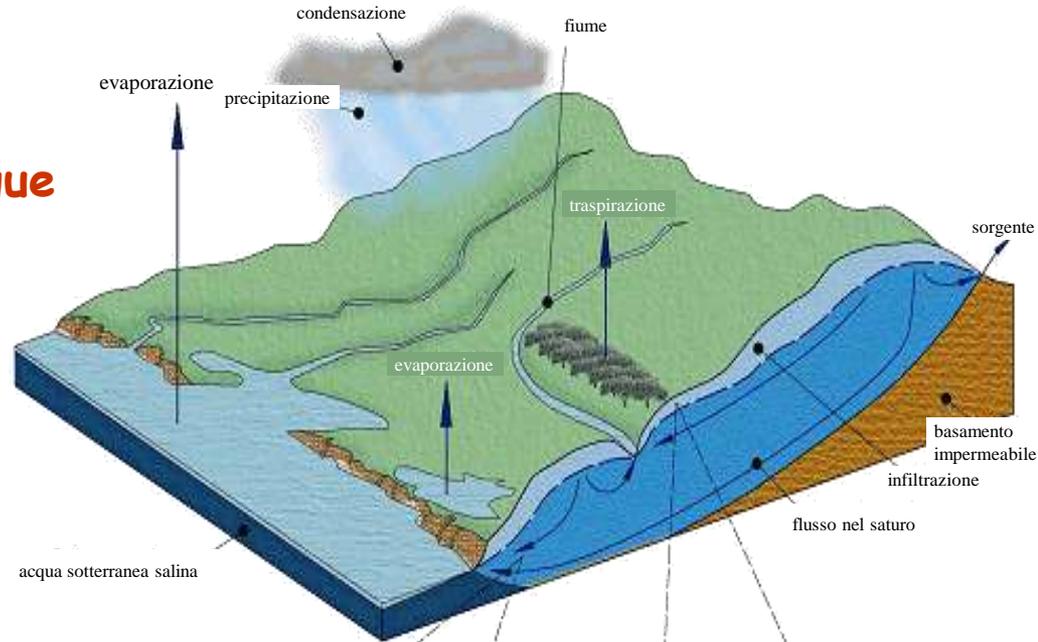
Impatto sul clima

L'acqua nel sottosuolo

trasporta energia

modifica lo stato di stress

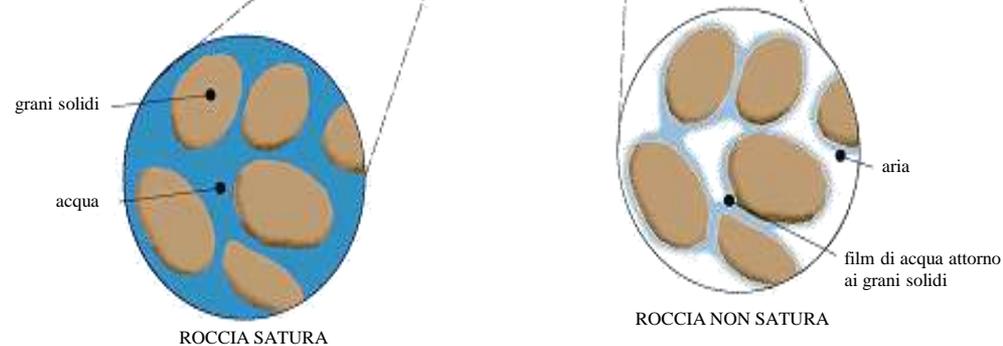
trasporta contaminanti



Idrologia
(fluido-dinamica ambientale)



Geofisica
(idro-geofisica)



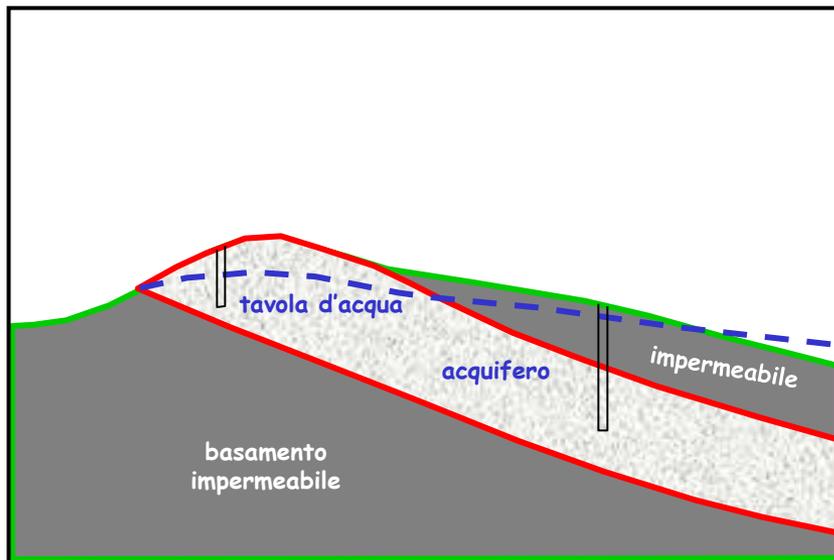


Aspetti del sottosuolo che possono essere evidenziati da metodi geofisici

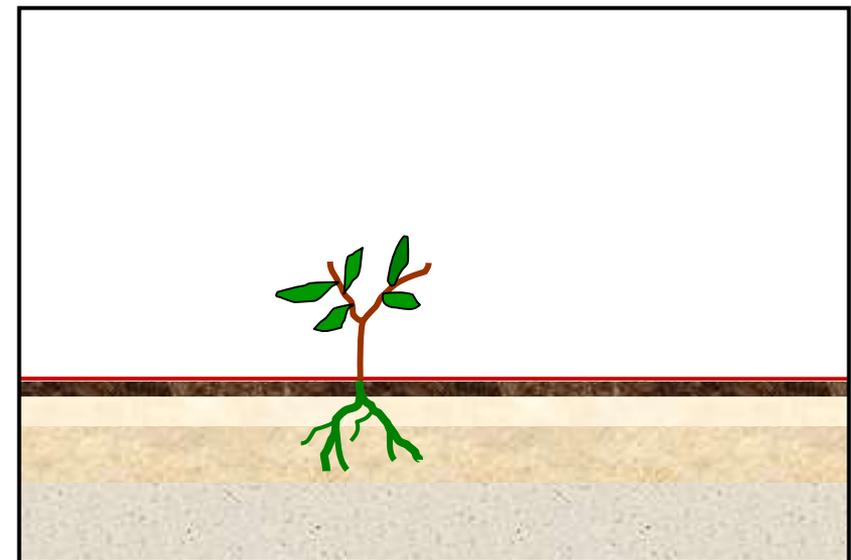


Aspetti del sottosuolo che possono essere evidenziati da metodi geofisici

- struttura / tessitura



grande scala

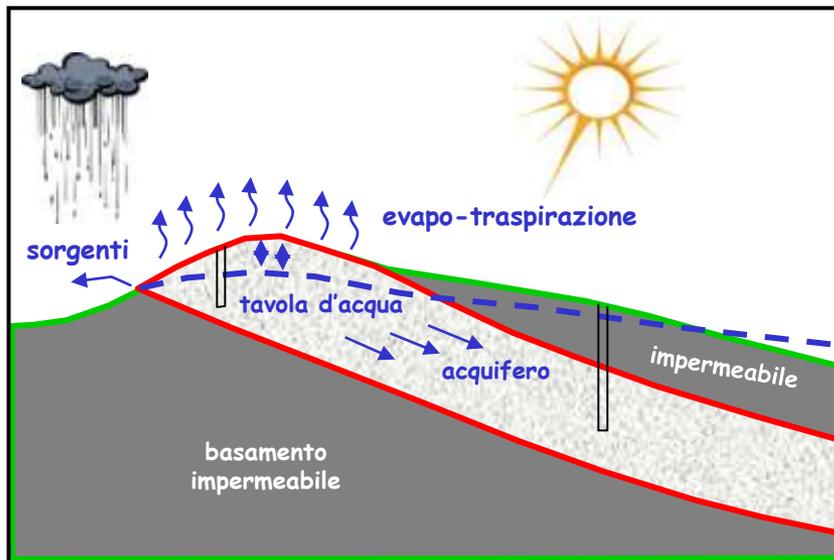


piccola scala

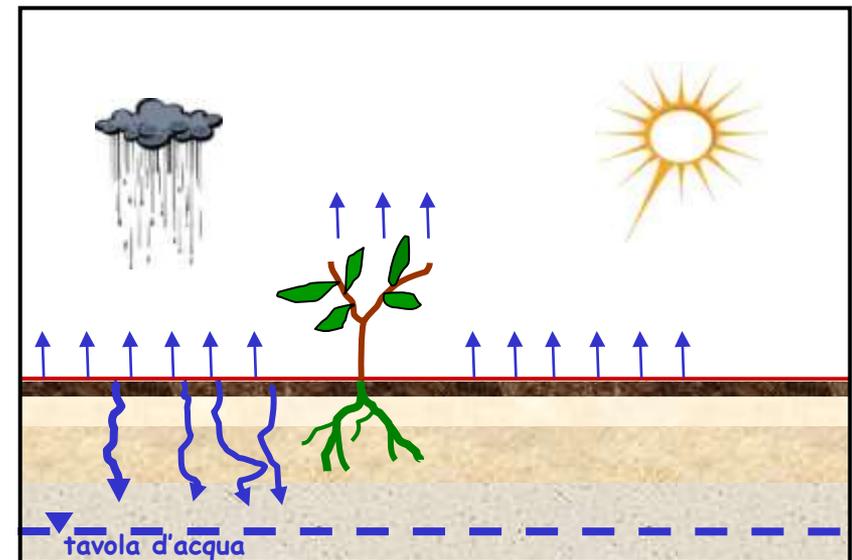


Aspetti del sottosuolo che possono essere evidenziati da metodi geofisici

- struttura / tessitura
- fluido-dinamica



grande scala

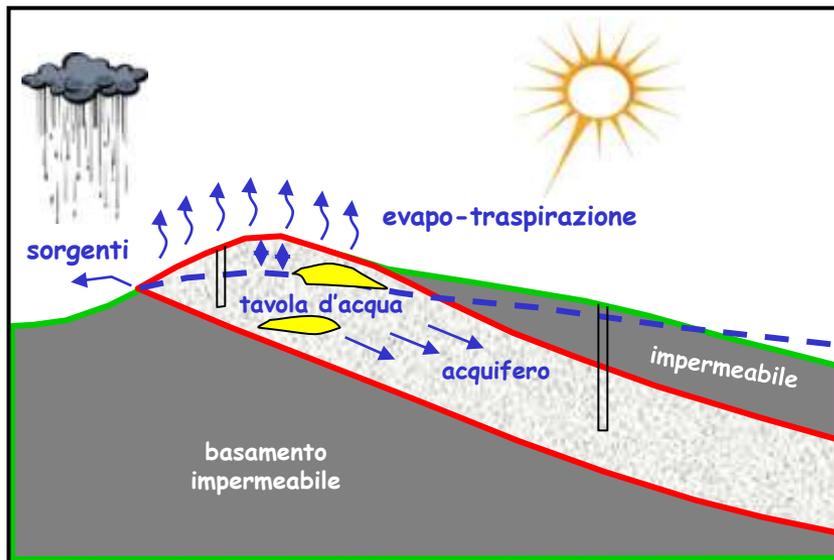


piccola scala

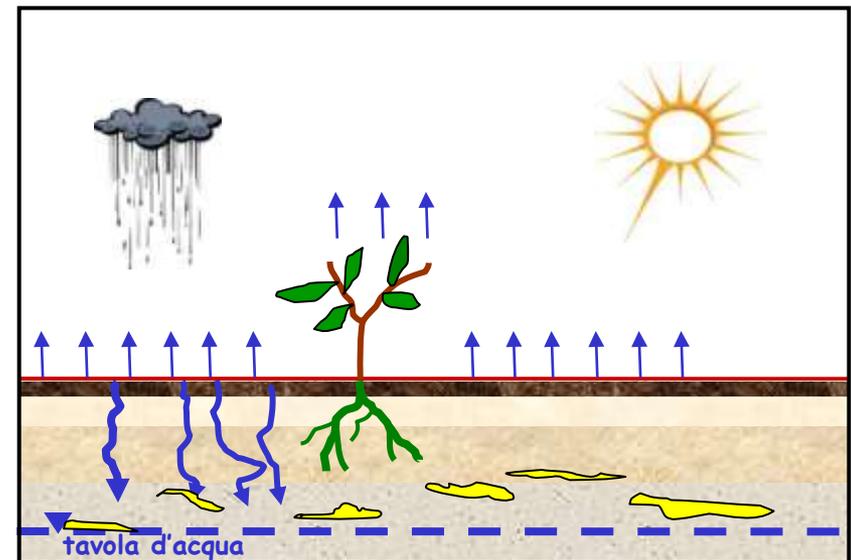


Aspetti del sottosuolo che possono essere evidenziati da metodi geofisici

- struttura / tessitura
- fluido-dinamica
- contaminazione



grande scala



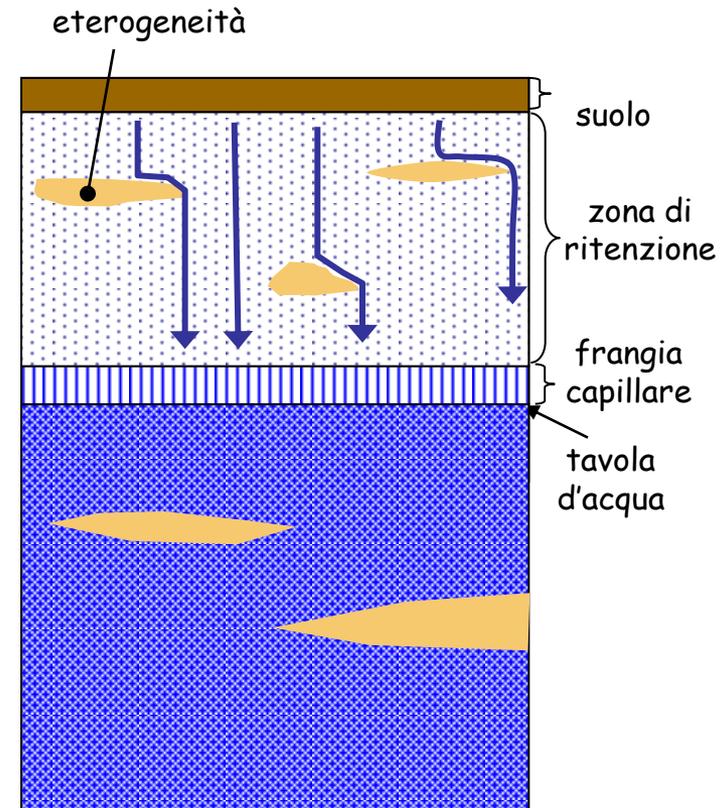
piccola scala



La zona non satura (vadosa)

Migrazione dell'acqua ~ verticale

- ❑ trasporto e rimozione dei contaminanti
- ❑ interfaccia con l'atmosfera
- ❑ meccanica dei suoli e forze capillari
- ❑ inondazioni e contenuto idrico dei suoli

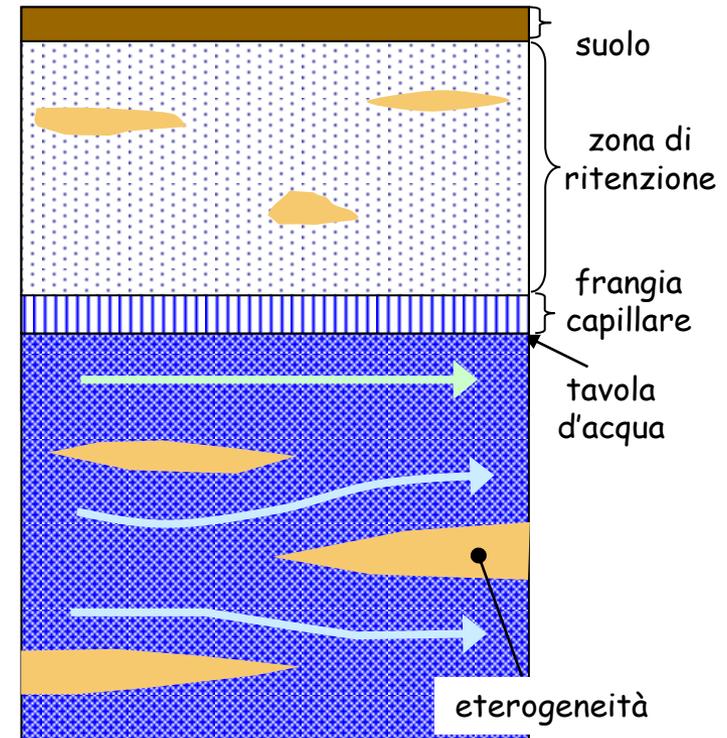




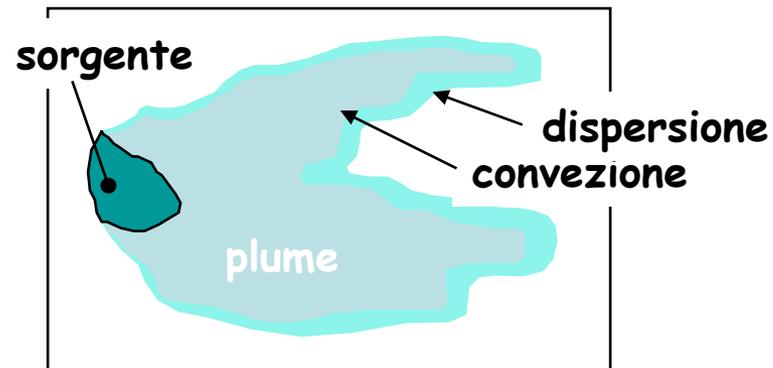
Il saturo

Migrazione dell'acqua ~ orizzontale
controlla:

- ❑ flusso di base dei corsi d'acqua
- ❑ cambiamenti nello stato di stress
- ❑ trasporto di contaminanti
- ❑ risorse idriche



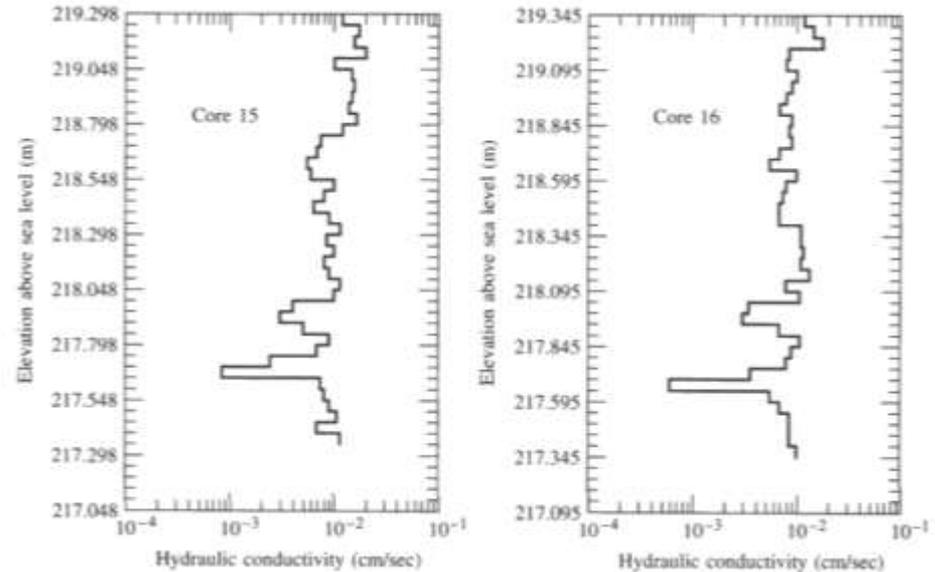
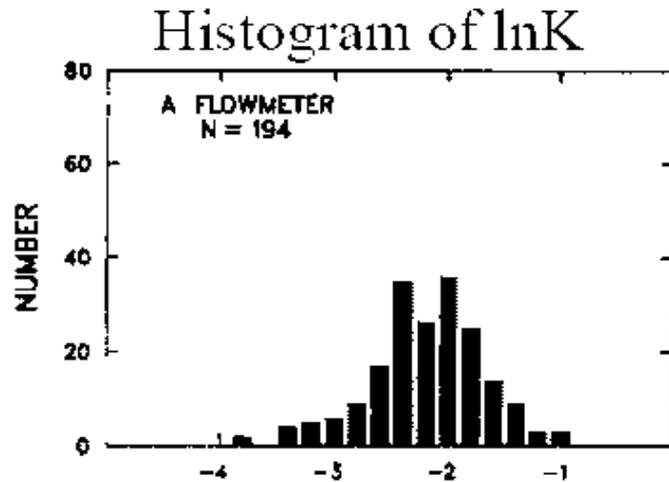
Le **eterogeneità** del sottosuolo giocano un ruolo determinante



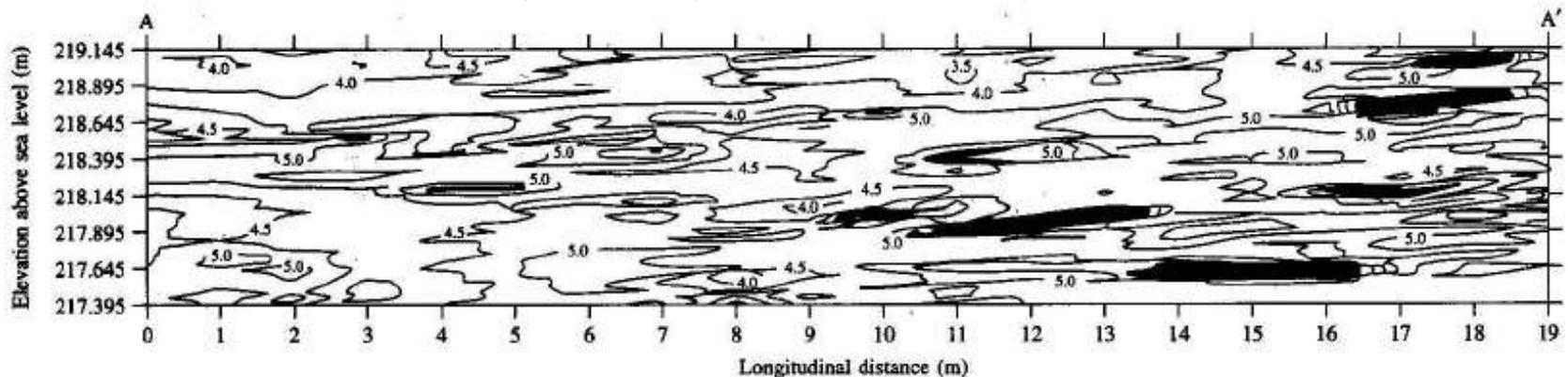


Il saturo

Le variazioni spaziali della velocità di flusso e quindi la macro-dispersività dipendono dalla variabilità nello spazio della conducibilità idraulica K



The Borden aquifer experiment [Sudicky et al., 1986]

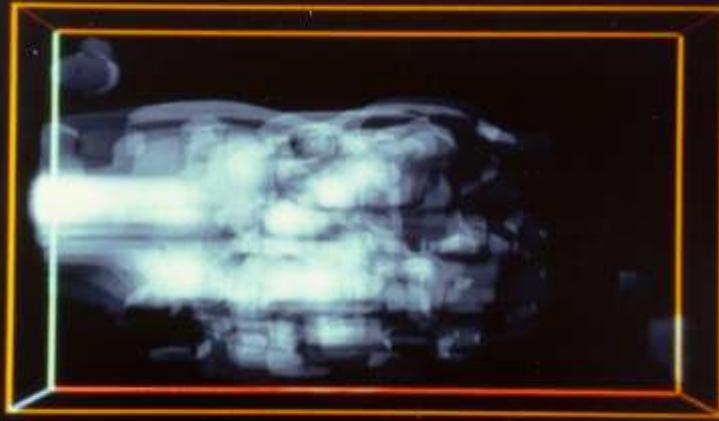




Il saturo

Dall'analisi dei momenti spaziali dei plume di soluti è possibile ricavare la macro-dispersività, e da questa le statistiche del campo di K

(Vista dall'alto)



Borden experiment: plume di bromuro



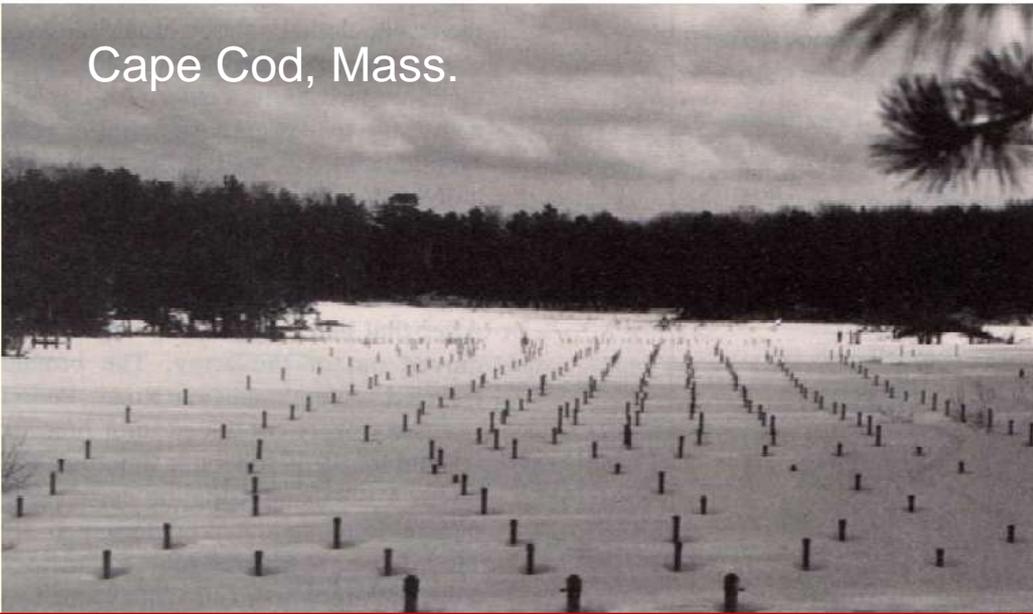
[Barry and Sposito, 1988]



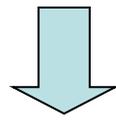
Il saturo

Per effettuare un'analisi attendibile dei momenti spaziali dei plume di soluti è necessario un campionamento molto fitto nel tempo e nello spazio.

[Mackay et al., 1986]



Enorme numero di punti di campionamento!

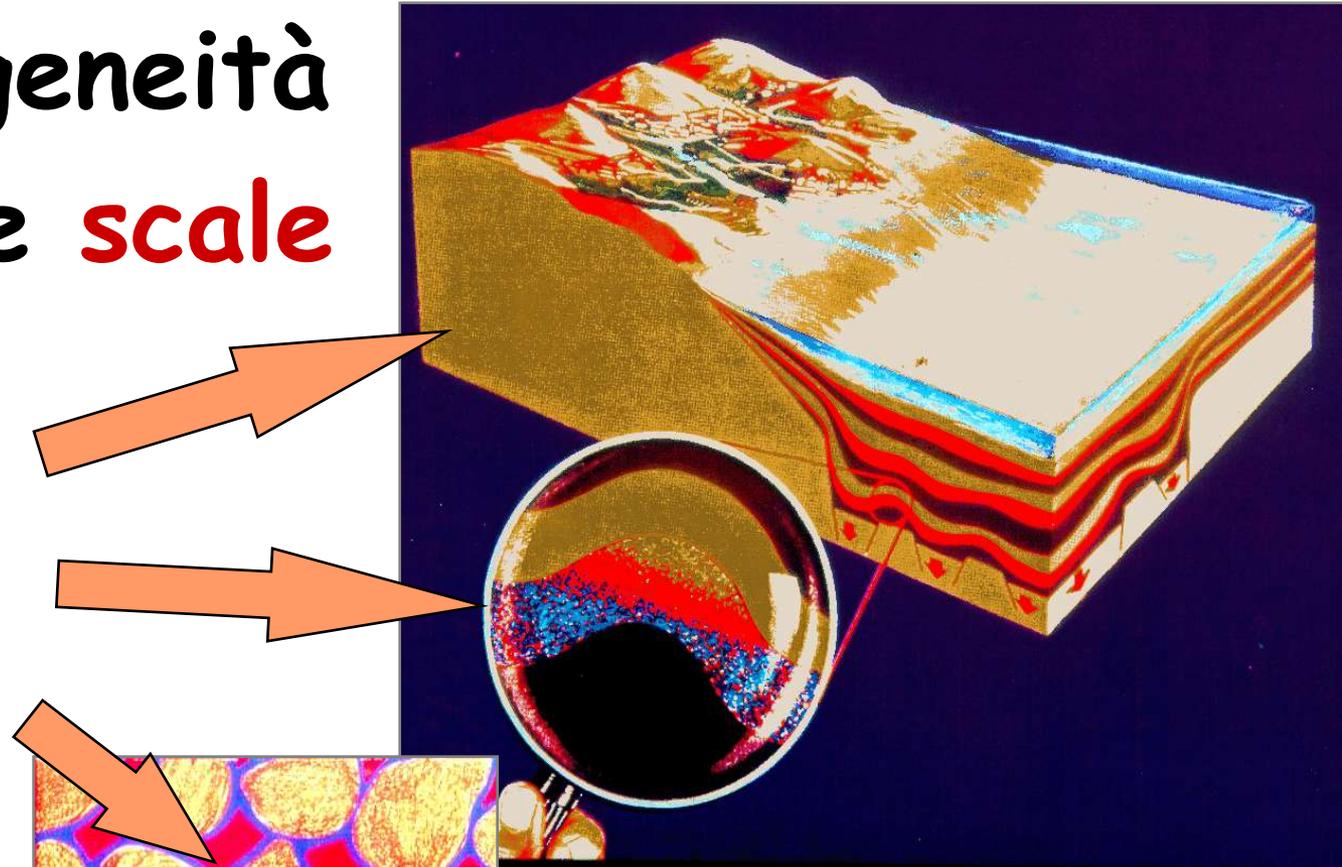


Tecnica non applicabile nella pratica comune



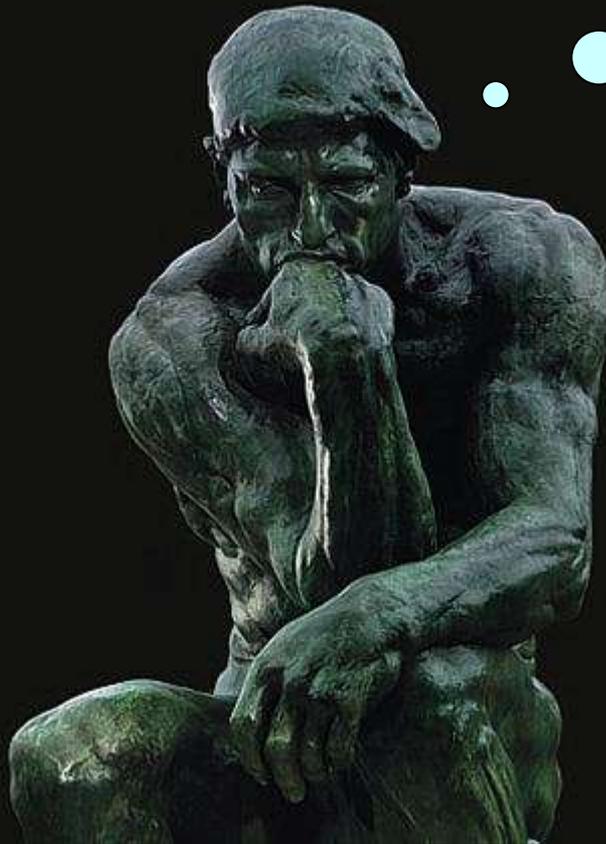
Eterogeneità a varie **scale**

- **mega**
- **macro**
- **micro**





Qual è il
ruolo della
Geofisica?



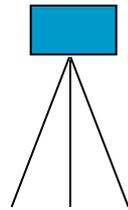


La geofisica applicata

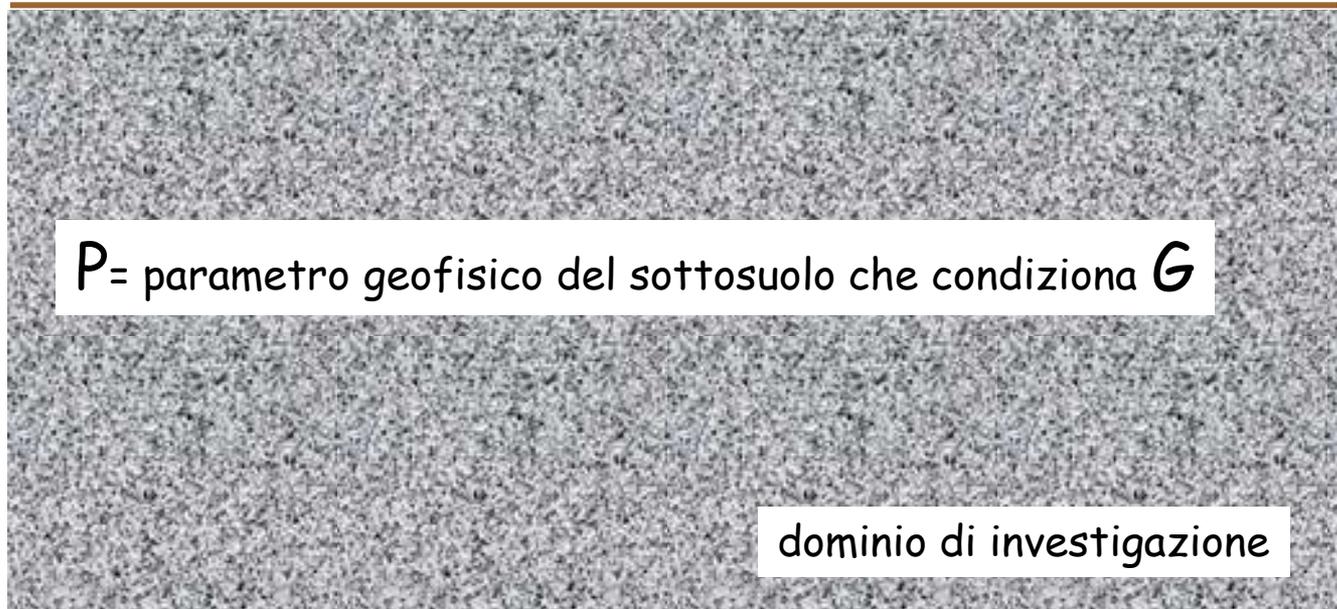


La misura geofisica

strumento



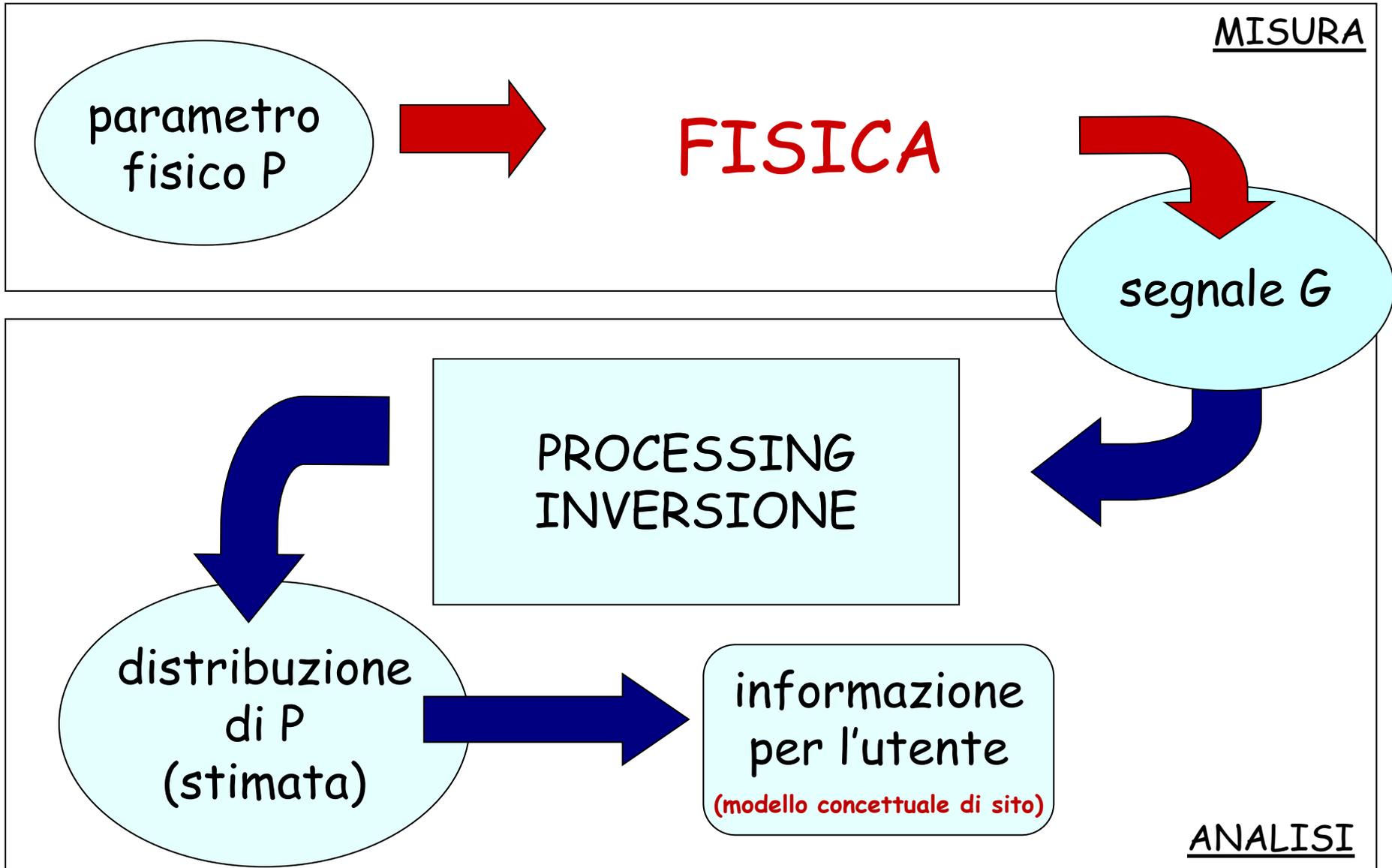
G = quantità geofisica misurata

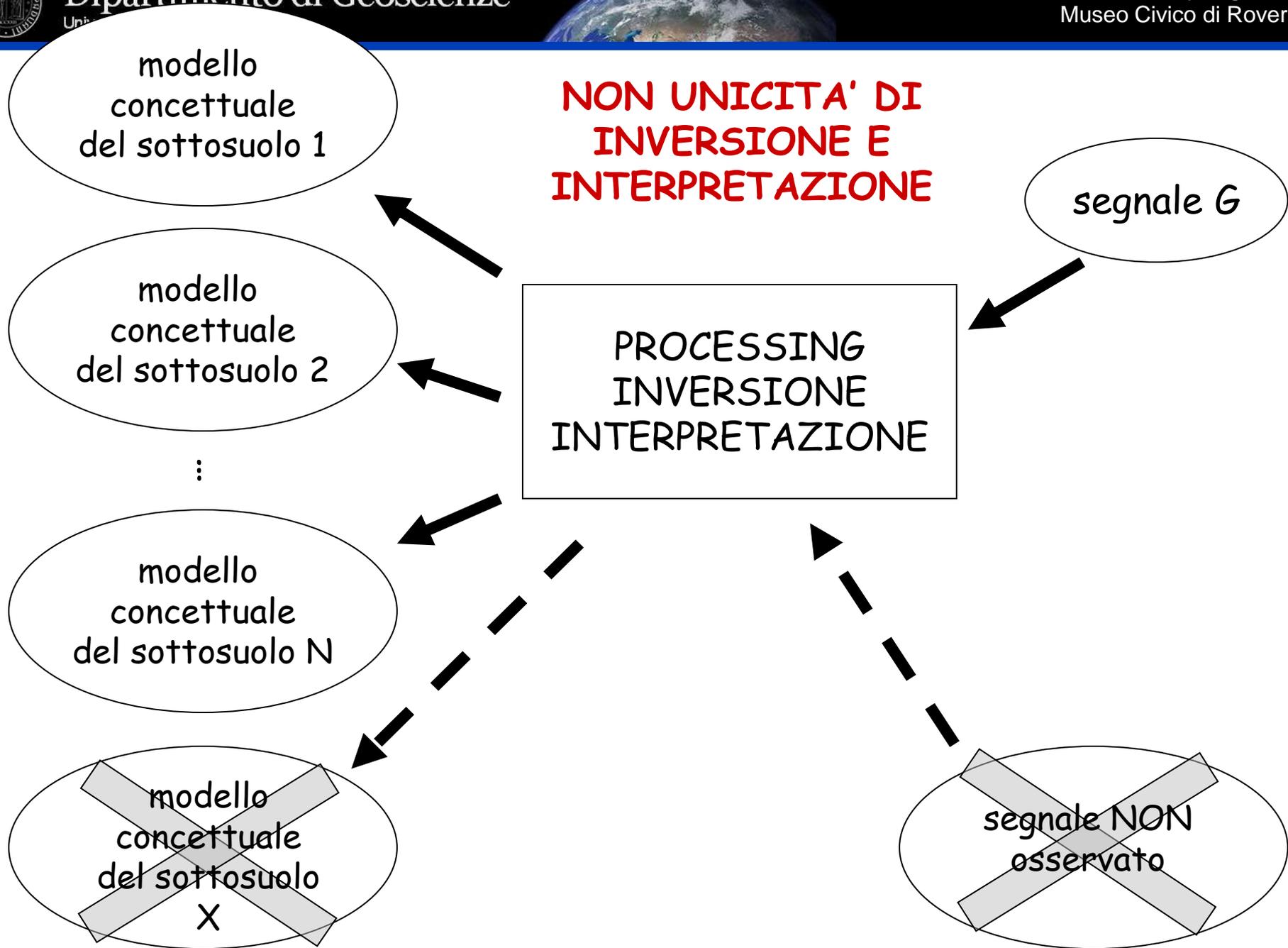


$$G = G(P, F = \text{condizioni forzanti})$$



MISURA ED ANALISI IN GEOFISICA APPLICATA







**NON UNICITA' DI
INVERSIONE E
INTERPRETAZIONE**

segnale G

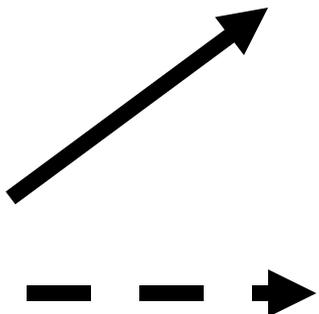
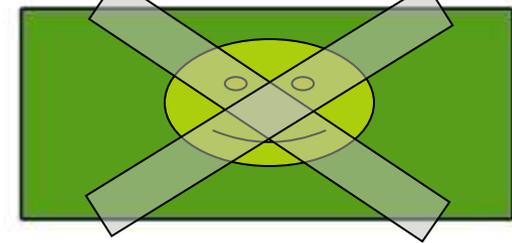
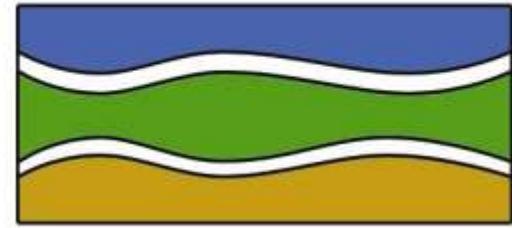
PROCESSING
INVERSIONE
INTERPRETAZIONE

modello
concettuale
del sottosuolo 1

modello
concettuale
del sottosuolo 2

⋮

modello
concettuale
del sottosuolo N



La scelta si effettua
sulla base di
informazioni ausiliarie,
p.es. sulla geologia



METODI GEOFISICI

- Geoelettrica
- Sismica
- Georadar
- Metodi EM
- Gravimetria
- Magnetismo
- ...



APPLICAZIONI

- Esplorazione per idrocarburi
- Esplorazioni per minerali
- Studi ingegneristici
- Studi idrogeologici
- Identificazione di contaminanti
- Studi geologici regionale
- Applicazioni forensi
- Studi archeologici
- ...



**METODI
GEOFISICI**



APPLICAZIONI

La scelta viene fatta in base dei seguenti criteri:

- l'obiettivo dell'applicazione deve essere compatibile con la **grandezza fisica** misurata
- Il metodo deve aver sufficiente **risoluzione** spaziale (e temporale) e sufficiente **penetrazione**
- costo
- logistica
- impatto ambientale





PROPRIETA' FISICHE UTILIZZATE NEI METODI GEOFISICI

- **sismica**: moduli elastici e densità
- **gravimetria**: densità
- **metodi magnetici**: suscettività e magn. permanente
- **geoelettrica**: conduttività elettrica
- **metodi elettromagnetici**: conduttività elettrica
- **polarizzazione indotta**: conduttività elettrica complessa
- **potenziale spontaneo**: conduttività elettrica e sorgenti
- **ground penetrating radar**: costante dielettrica



PROPRIETA' FISICHE UTILIZZATE NEI METODI GEOFISICI

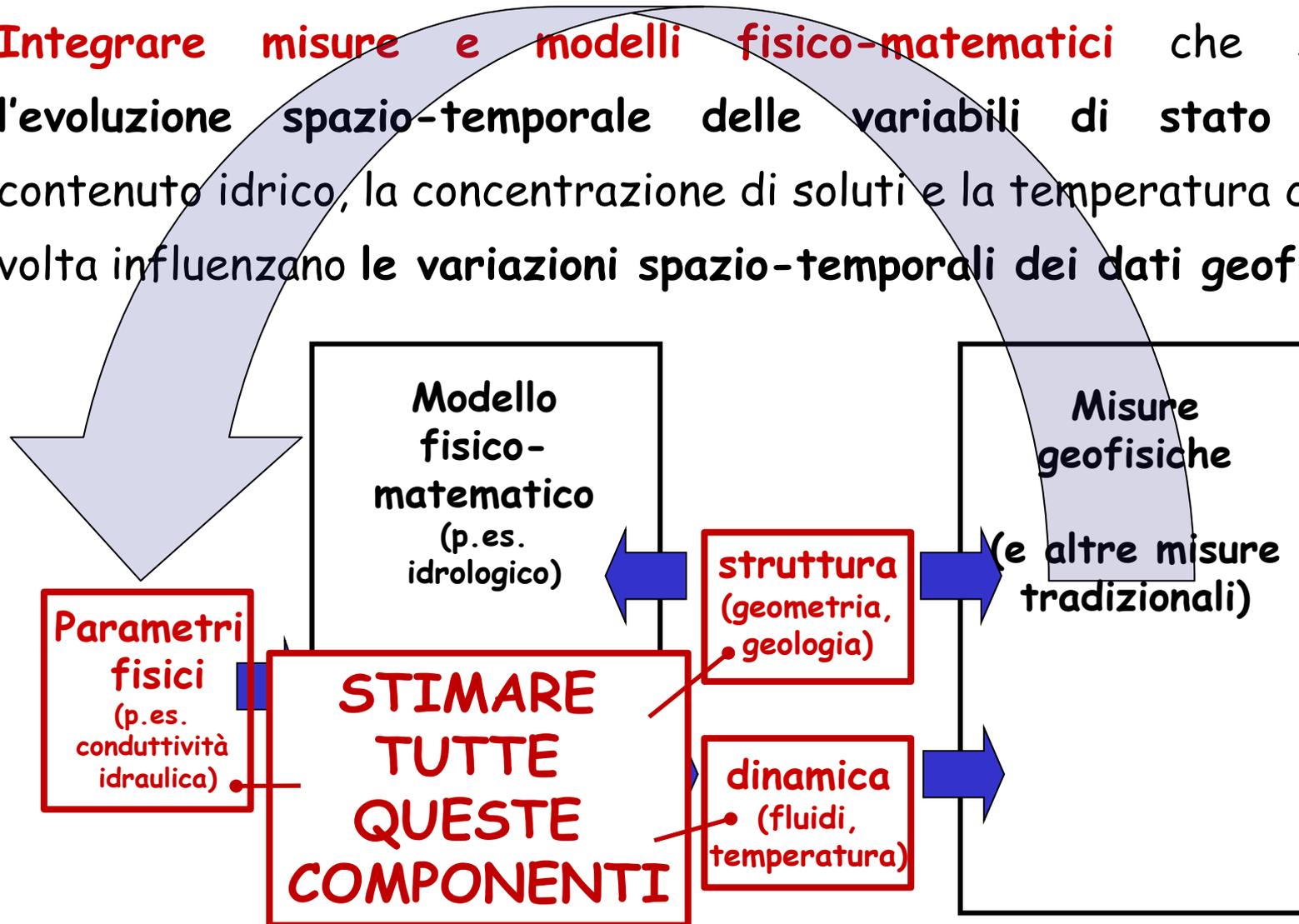
- **sismica**: moduli elastici e densità
- **gravimetria**: densità
- **metodi magnetici**: suscettività e magn. permanente
- **geoelettrica**: conduttività elettrica
- **metodi elettromagnetici**: conduttività elettrica
- **polarizzazione indotta**: conduttività elettrica complessa
- **potenziale spontaneo**: conduttività elettrica e sorgenti
- **ground penetrating radar**: costante dielettrica

(proprietà direttamente modificate dalla presenza d'acqua)



INTEGRAZIONE CON I MODELLI PREDITTIVI

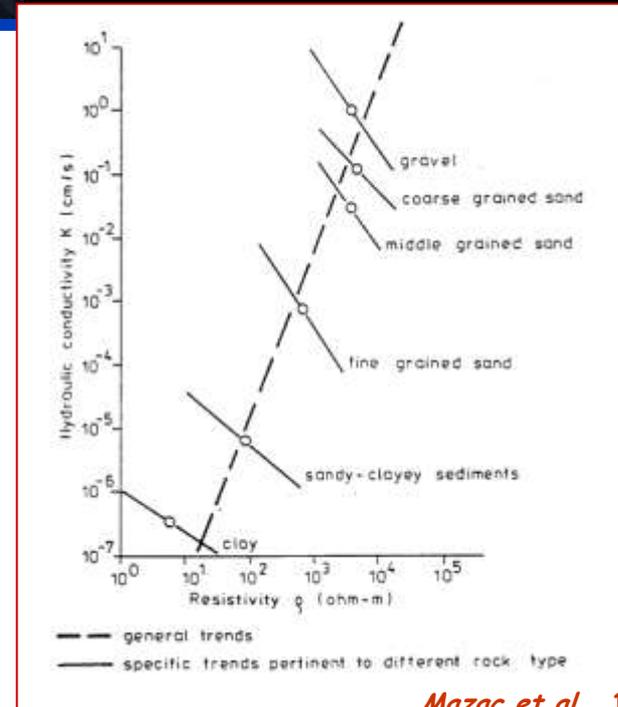
Integrare misure e modelli fisico-matematici che spieghino l'evoluzione spazio-temporale delle variabili di stato quali il contenuto idrico, la concentrazione di soluti e la temperatura che a loro volta influenzano le variazioni spazio-temporali dei dati geofisici.



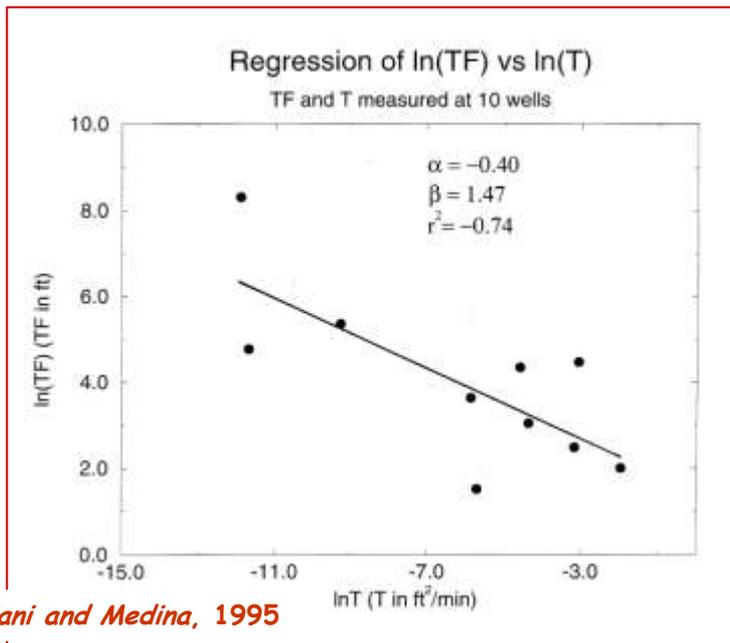


In passato:

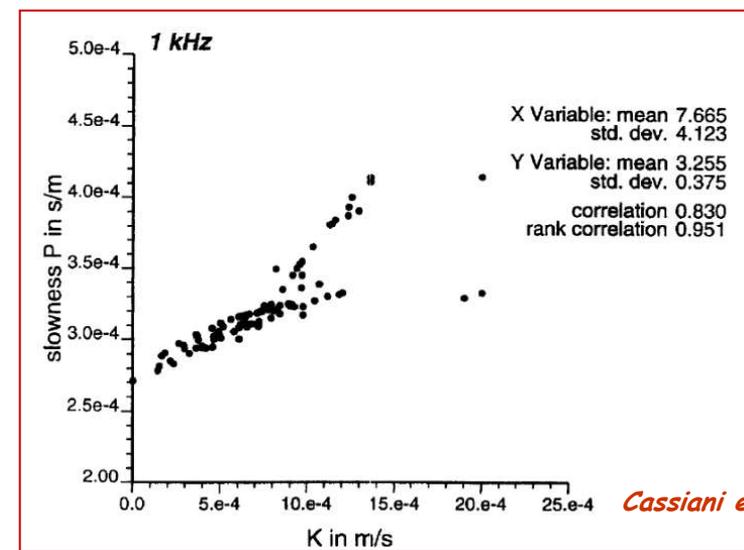
Ricerca di relazioni dirette tra grandezze geofisiche (p.es. velocità sismica, resistività elettrica) e grandezze idrologiche (p.es. conduttività idraulica)



Mazac et al., 1985



Cassiani and Medina, 1995

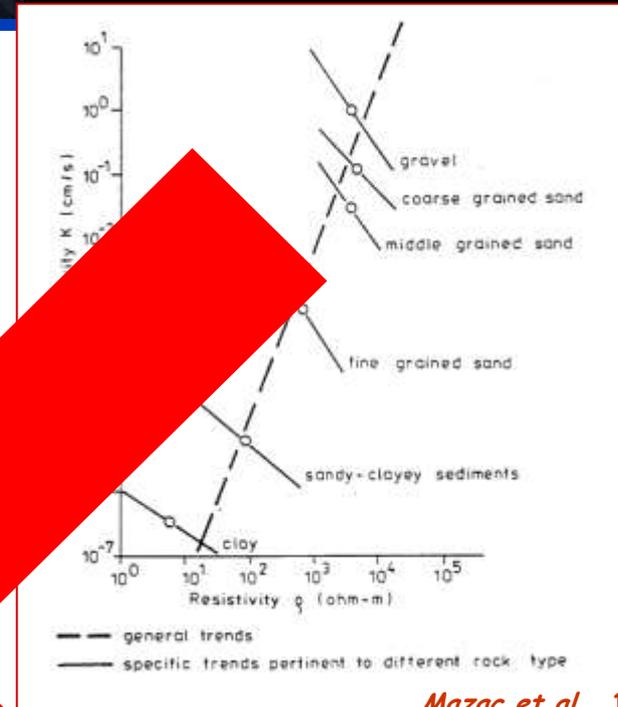


Cassiani et al., 1998

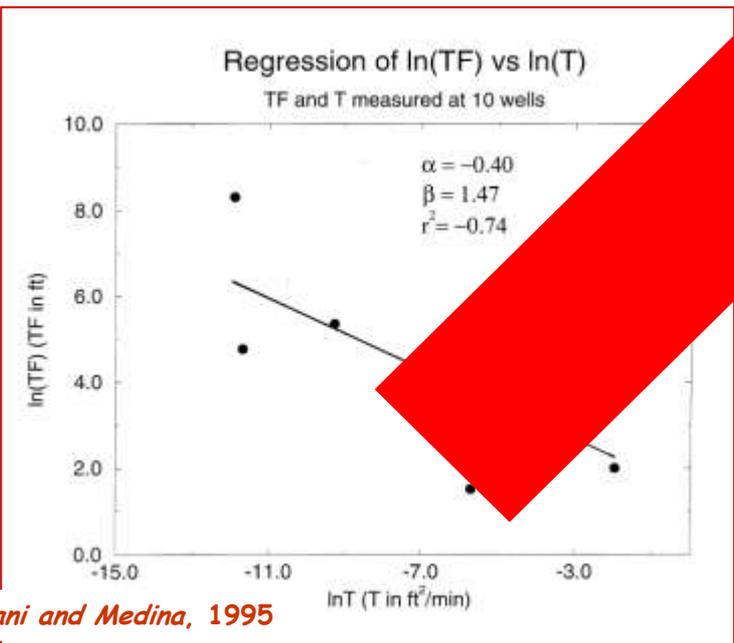


In passato:

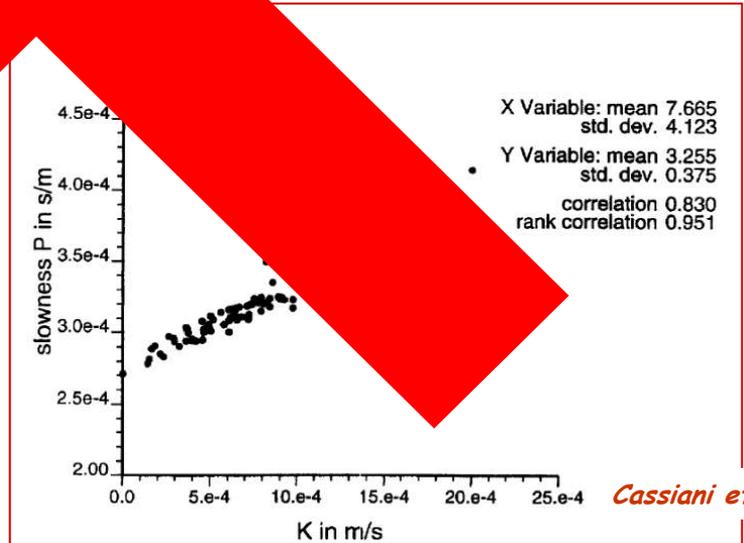
Ricerca di relazioni dirette tra
grandezze geofisiche (es. velocità
sismica, resistività) e
grandezze idrologiche (es.
conduttività idraulica)



Mazac et al., 1985



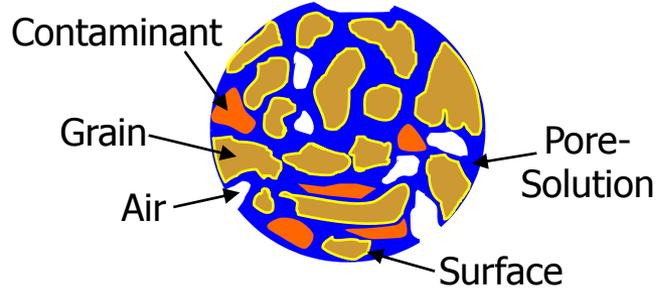
Cassiani and Medina, 1995



Cassiani et al., 1998



Diverse fattori contribuiscono al segnale geofisico. E' essenziale essere in grado di separare i diversi contributi.



GEOFISICA

Conduttività elettrica

Caricabilità IP

Costante dielettrica

⋮



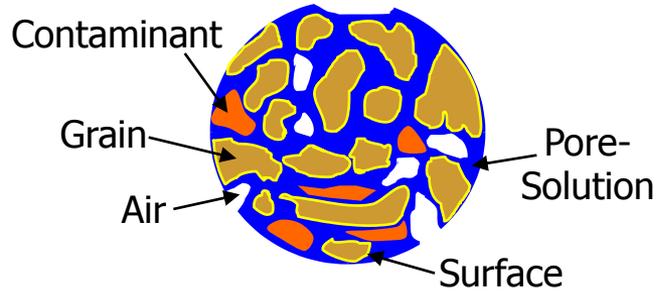
struttura del suolo {
tessitura
porosità
mineralogia

contaminazione {
fase libera
dissolta
assorbita

dinamica ambientale {
cont. idrico
temperatura



Diverse fattori contribuiscono al segnale geofisico. E' essenziale essere in grado di separare i diversi contributi.



GEOFISICA

Conduttività elettrica

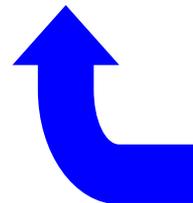
Caricabilità IP

Costante dielettrica

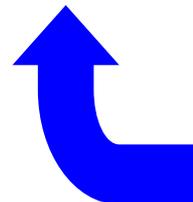
⋮



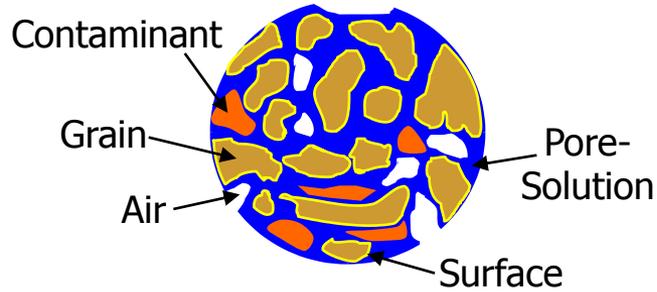
struttura del suolo {
tessitura
porosità
mineralogia



contaminazione {
fase libera
dissolta
assorbita



dinamica ambientale {
cont. idrico
temperatura



Diverse fattori contribuiscono al segnale geofisico. E' essenziale essere in grado di separare i diversi contributi.

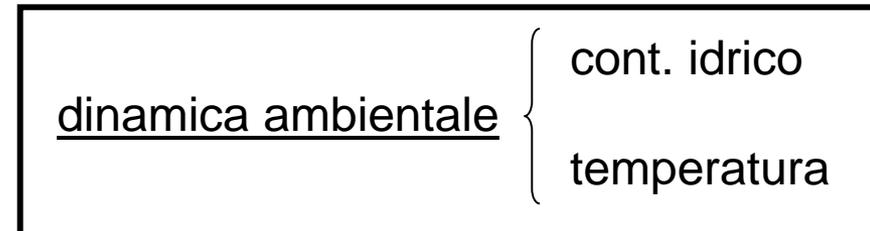
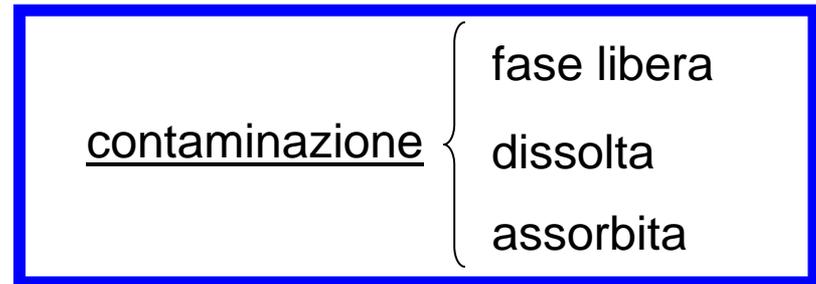
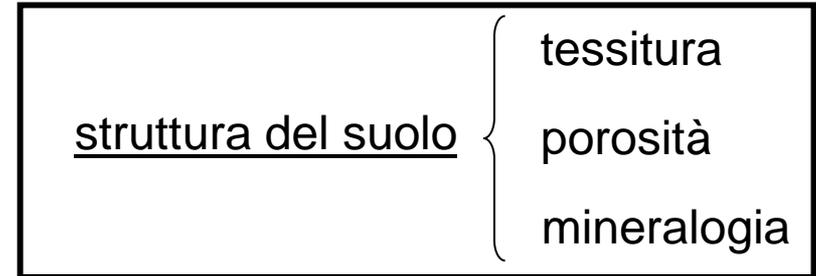
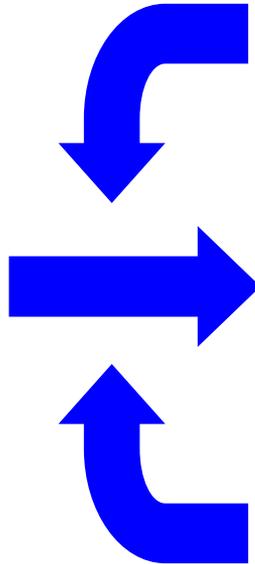
GEOFISICA

Conduttività elettrica

Caricabilità IP

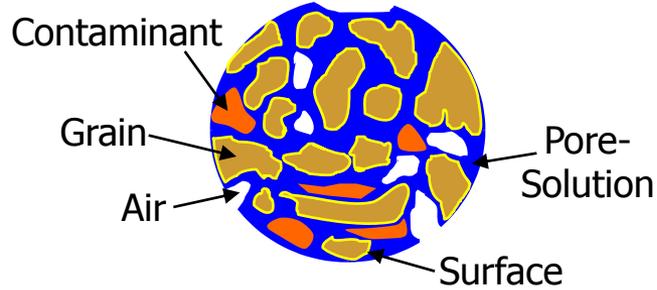
Costante dielettrica

⋮





Diverse fattori contribuiscono al segnale geofisico. E' essenziale essere in grado di separare i diversi contributi.



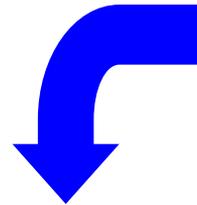
GEOFISICA

Conduttività elettrica

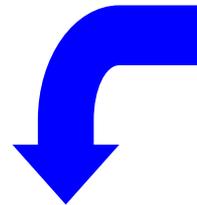
Caricabilità IP

Costante dielettrica

⋮



struttura del suolo {
tessitura
porosità
mineralogia



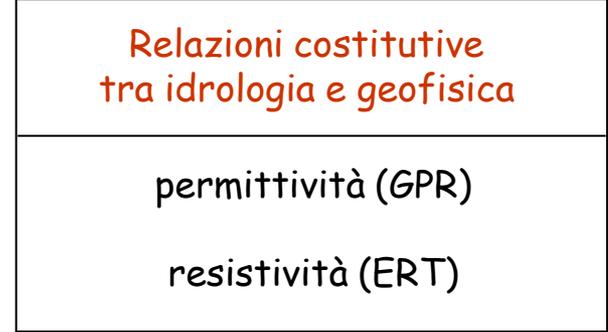
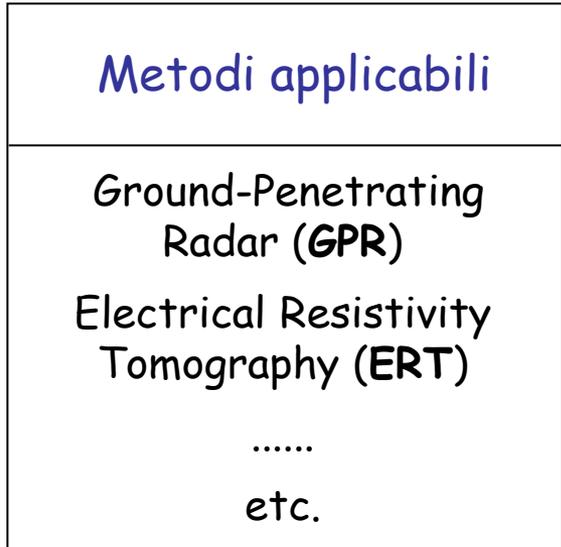
contaminazione {
fase libera
dissolta
assorbita



dinamica ambientale {
cont. idrico
temperatura



IDRO-GEOFISICA





Applicabilità ed utilità dei metodi geofisici di esplorazione per studi ambientali

	Struttura	Dinamica dei fluidi	Contaminazione
Gravimetria	+		
Metodi magnetici	+		
Sismica	+ +	+	
Geoelettrica	+ +	+ +	+
Metodi Elettromagnetici	+	+	+
Polarizzazione Indotta		+ +	+ +
Potenziale Spontaneo	+	+	+
GPR	+ +	+ +	+
NMR	+	+ +	
Spettrometria gamma	+ +		



Capita anche agli esperti !



ESEMPI



Struttura: ARGINI A SAN MICHELE AL TAGLIAMENTO



Dinamica: RISCHIO ALLUVIONE A MONTEMEZZO (Como)



Dinamica: SOLVAY A FERRARA



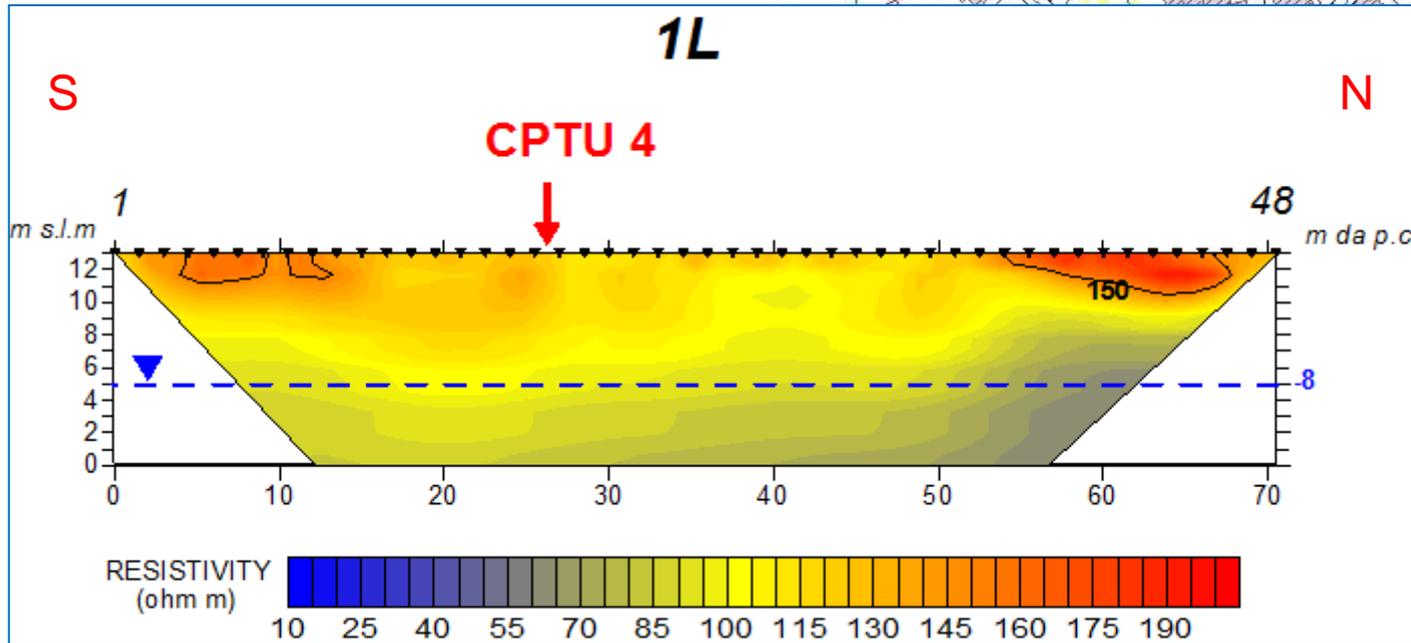
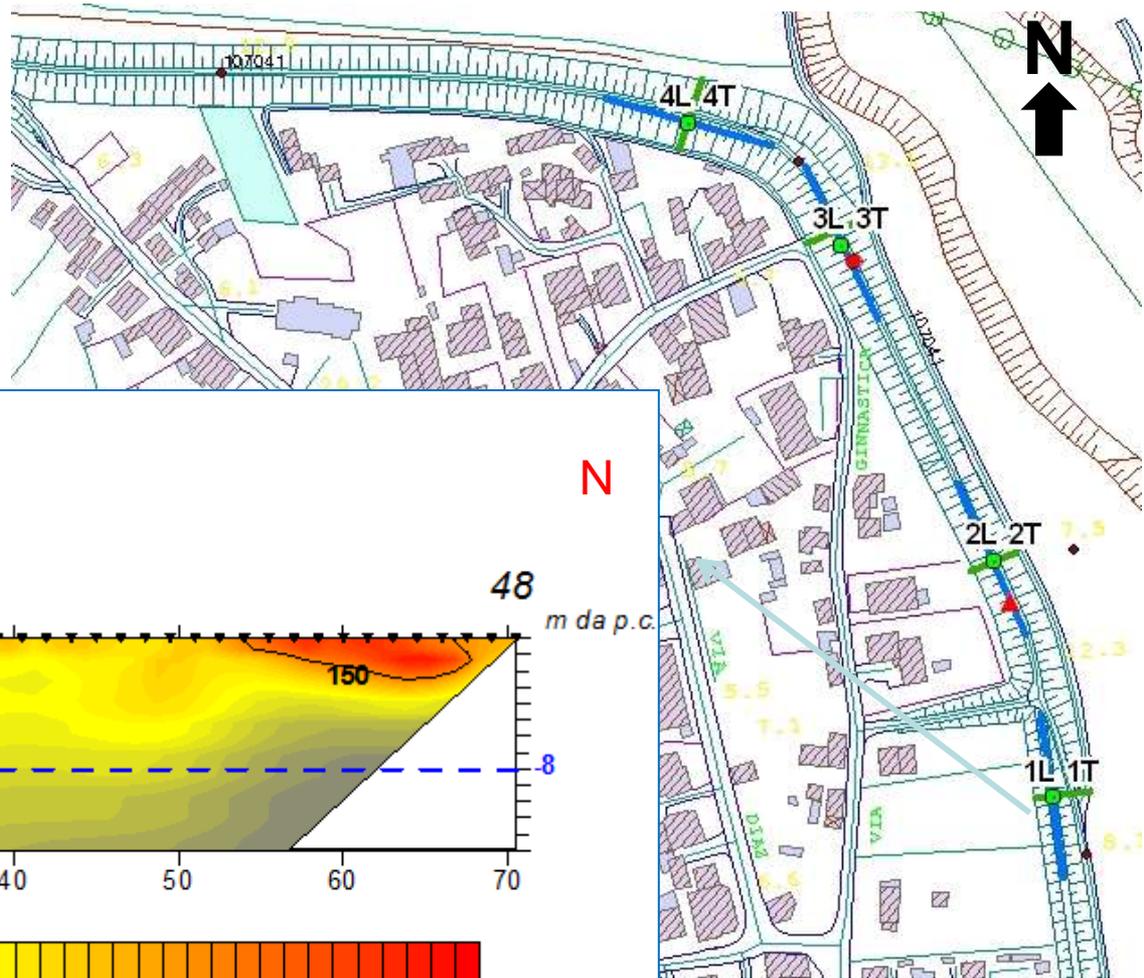
Contaminazione: CASO TRECATE (Novara)



Conclusioni



San Giorgio al Tagliamento

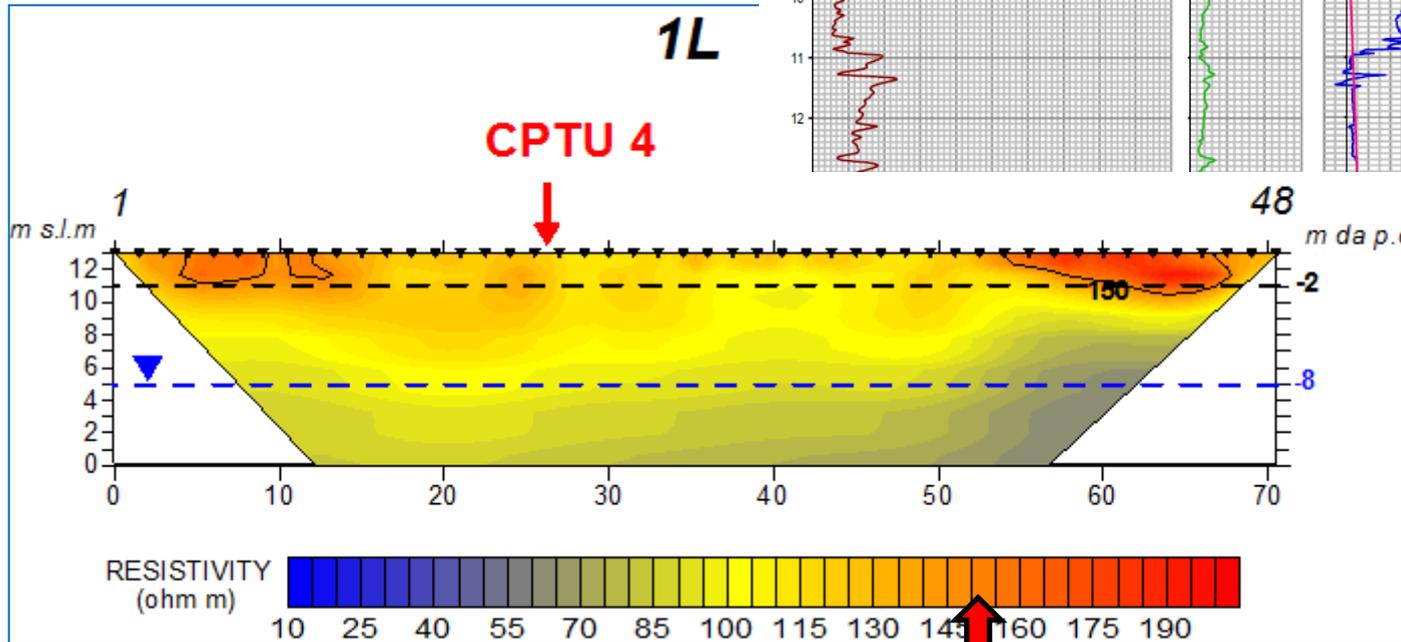
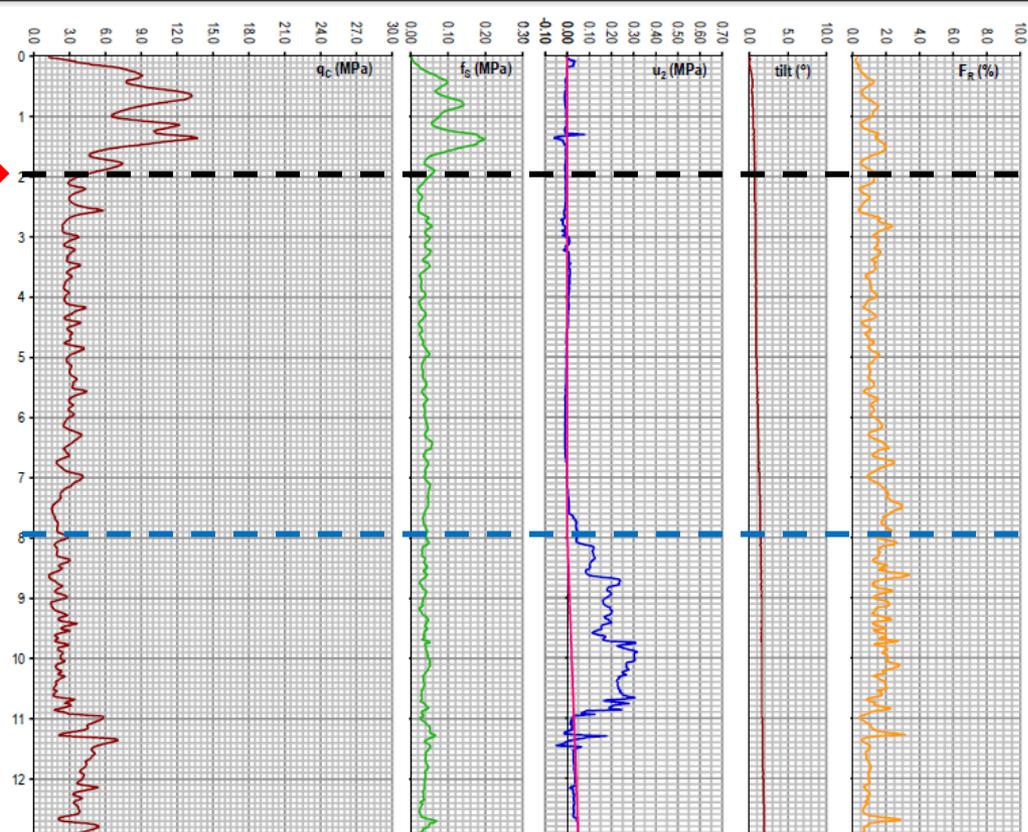


**QUOTA BASE RILIEVO ARGINALE = 8
m.s.l.m.**



**passaggio
limi sabbiosi/
limi debolmente sabbiosi**

quota falda



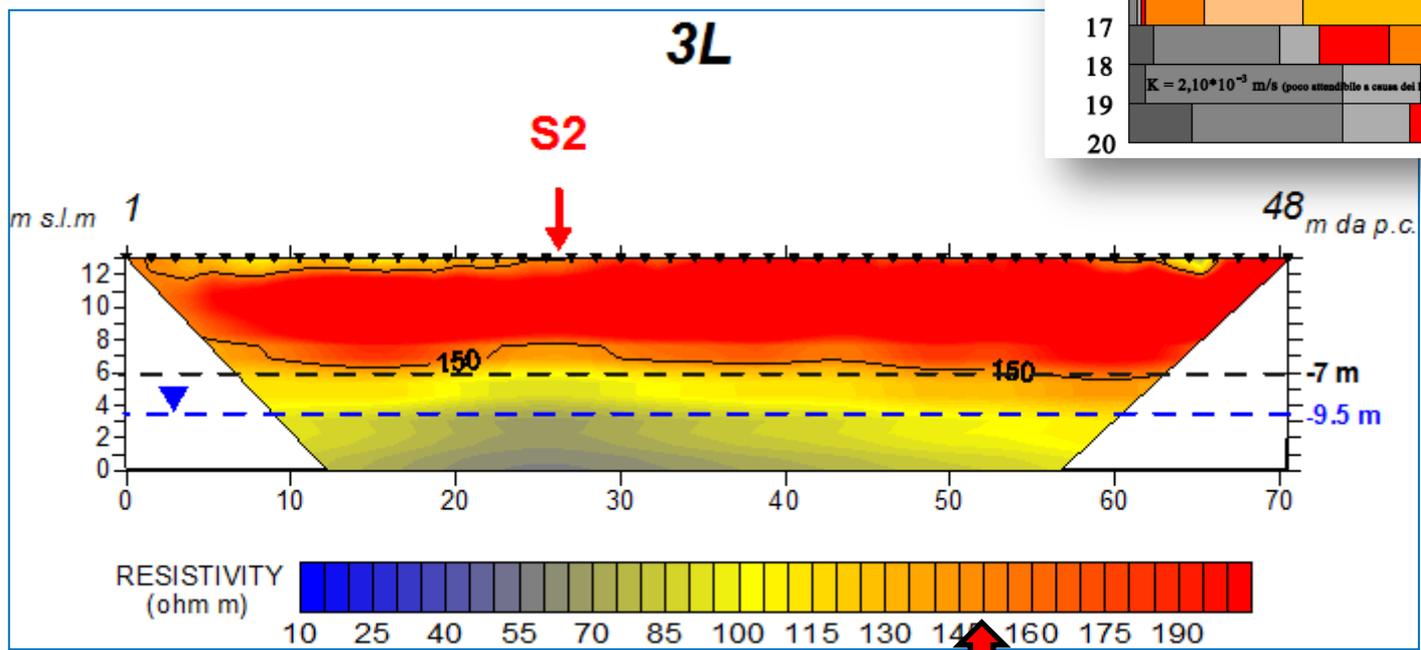
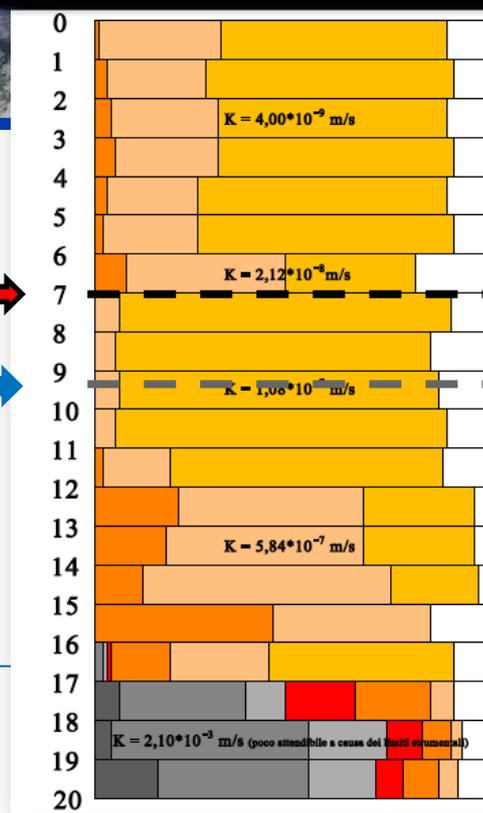
150 Ω m

passaggio limi sabbiosi/ limi deb sabbiosi



passaggio
limi sabbiosi/ limi debolmente sabbiosi →
quota falda →

LEGENDA	
	GHIAIA GROSSA
	GHIAIA MEDIA
	GHIAIA FINE
	SABBIA GROSSA
	SABBIA MEDIA
	SABBIA FINE
	LIMI

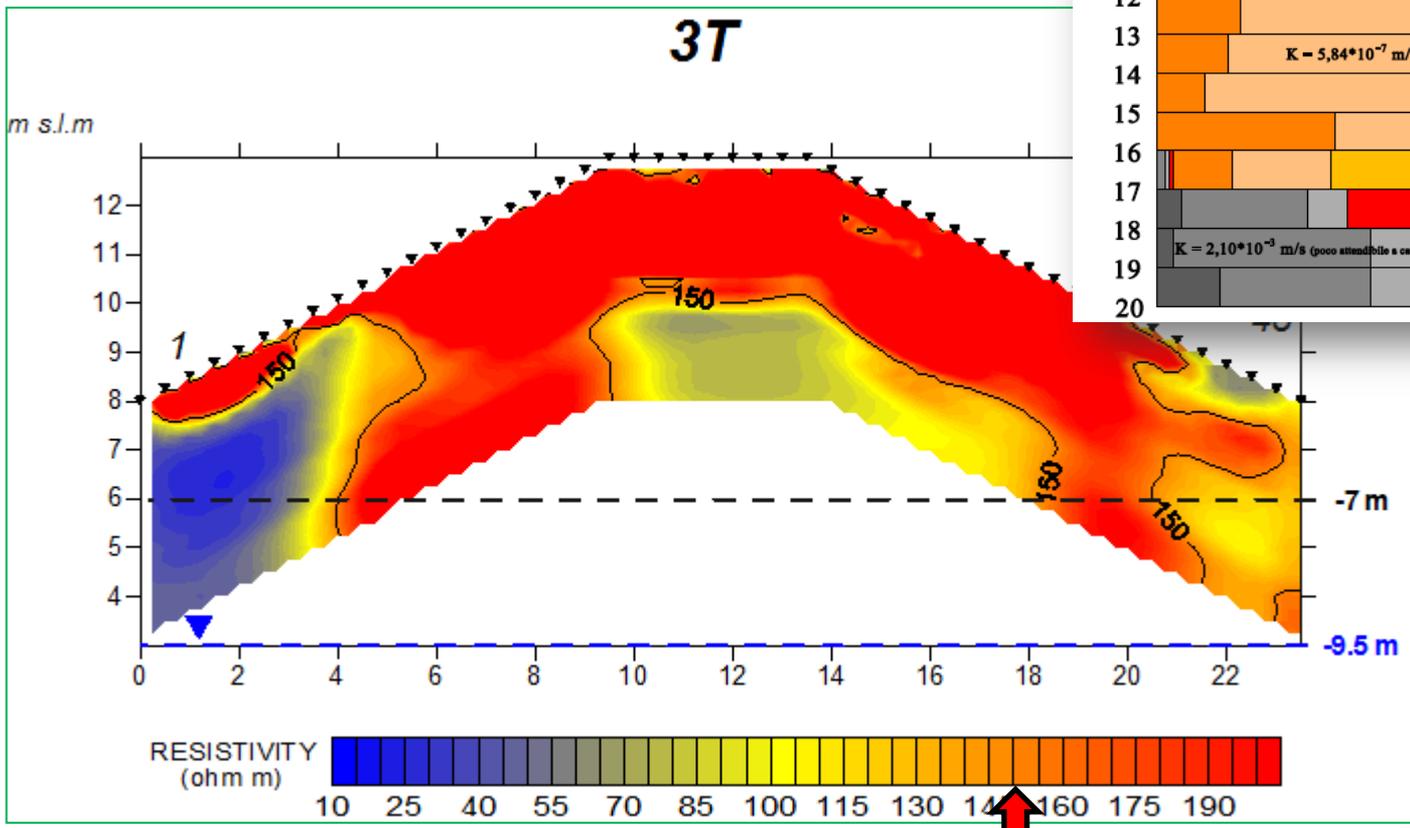
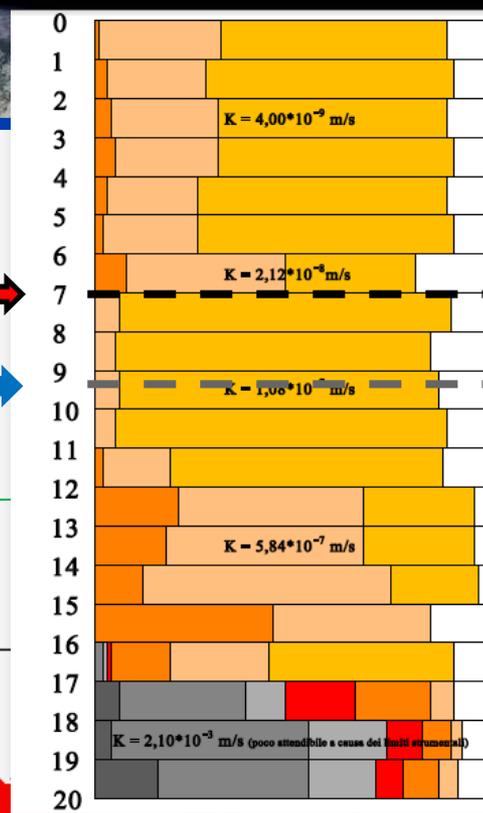


150 Ω m
passaggio limi sabbiosi/ limi deb sabbiosi



passaggio
limi sabbiosi/ limi debolmente sabbiosi →
quota falda →

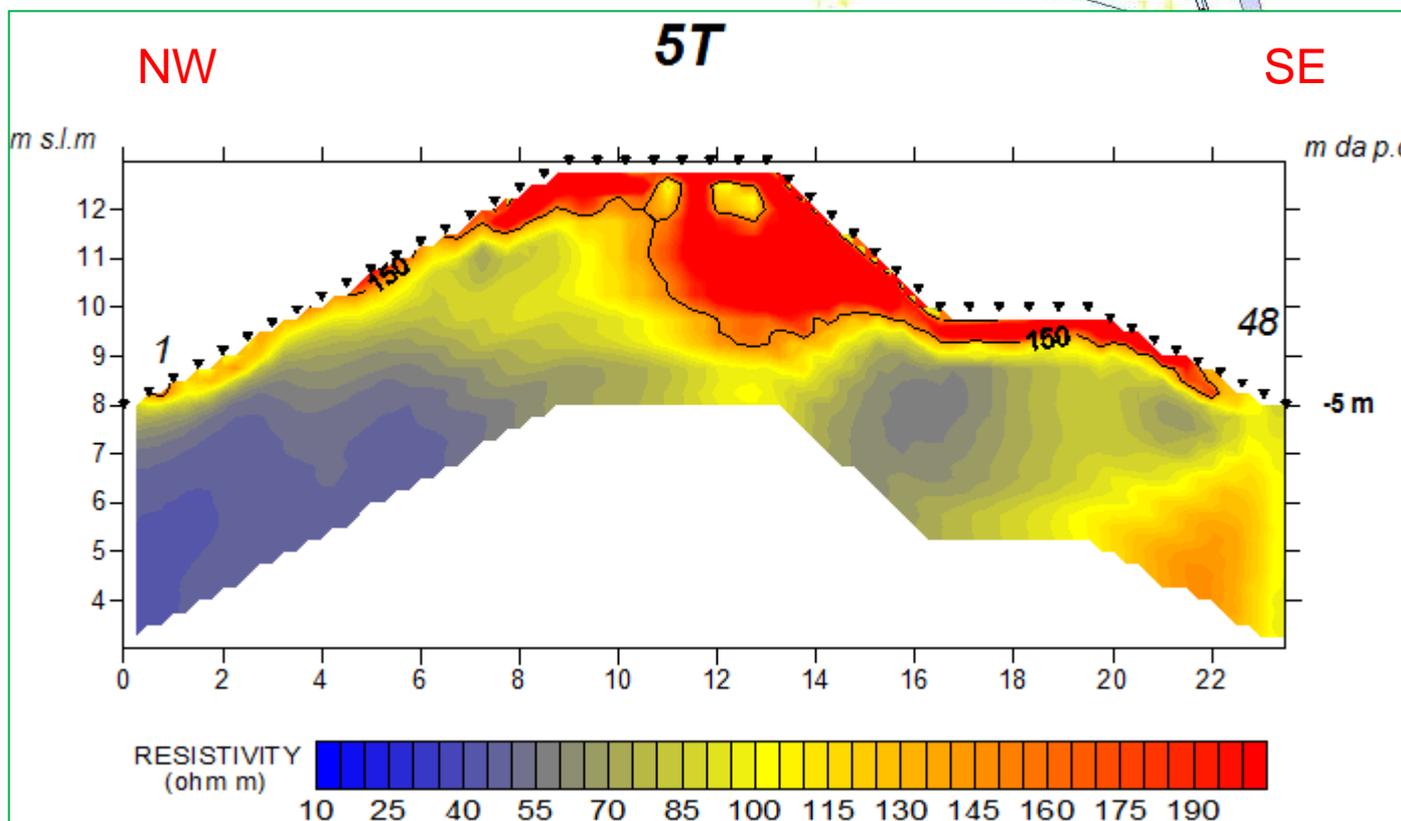
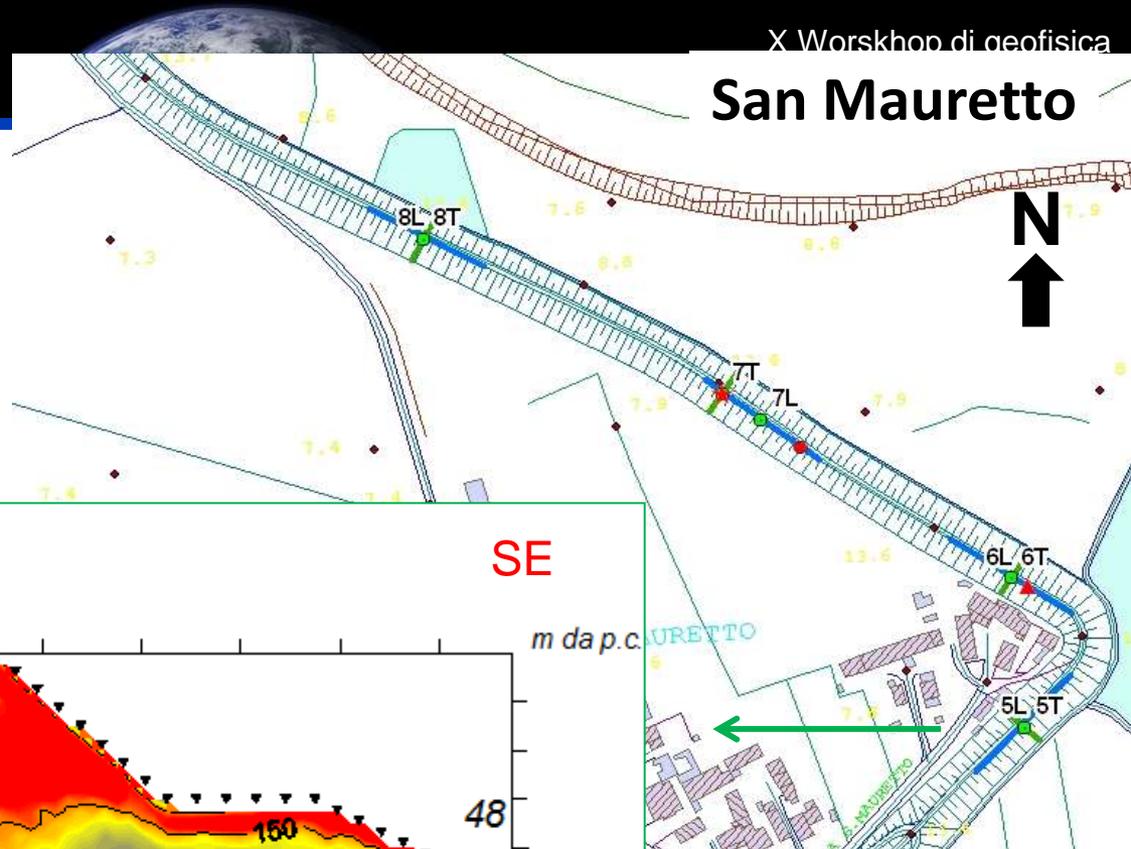
LEGENDA	
	GHIAIA GROSSA
	GHIAIA MEDIA
	GHIAIA FINE
	SABBIA GROSSA
	SABBIA MEDIA
	SABBIA FINE
	LIMI



150 Ω m
passaggio limi sabbiosi/ limi deb sabbiosi



San Mauretto

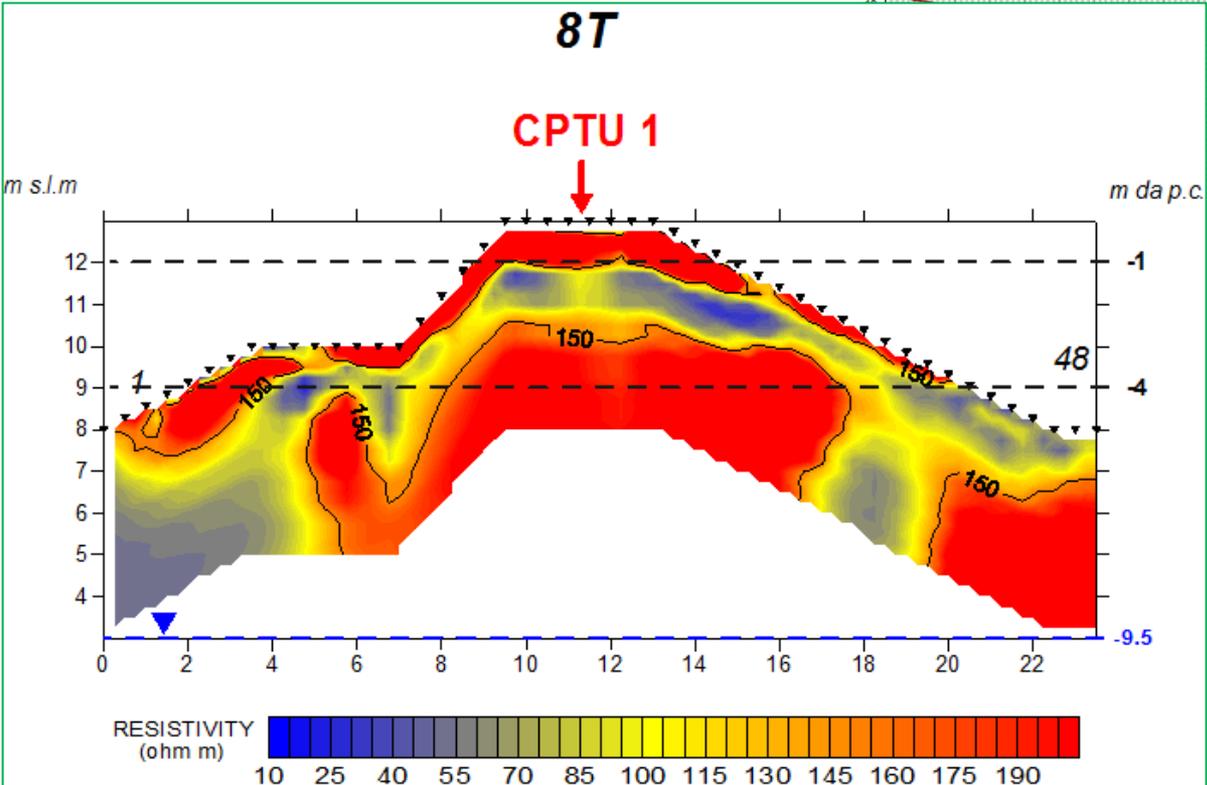
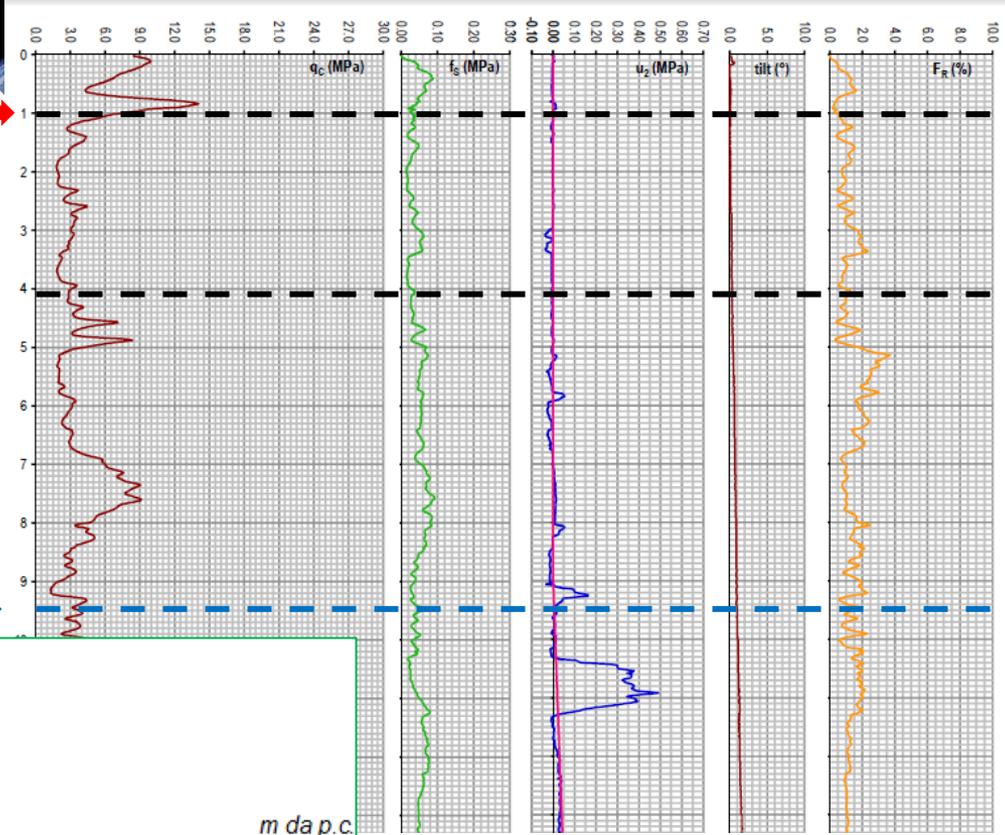


QUOTA BASE RILIEVO ARGINALE = 8
m.s.l.m.

**passaggio
limi sabbiosi/
limi debolmente sabbiosi**

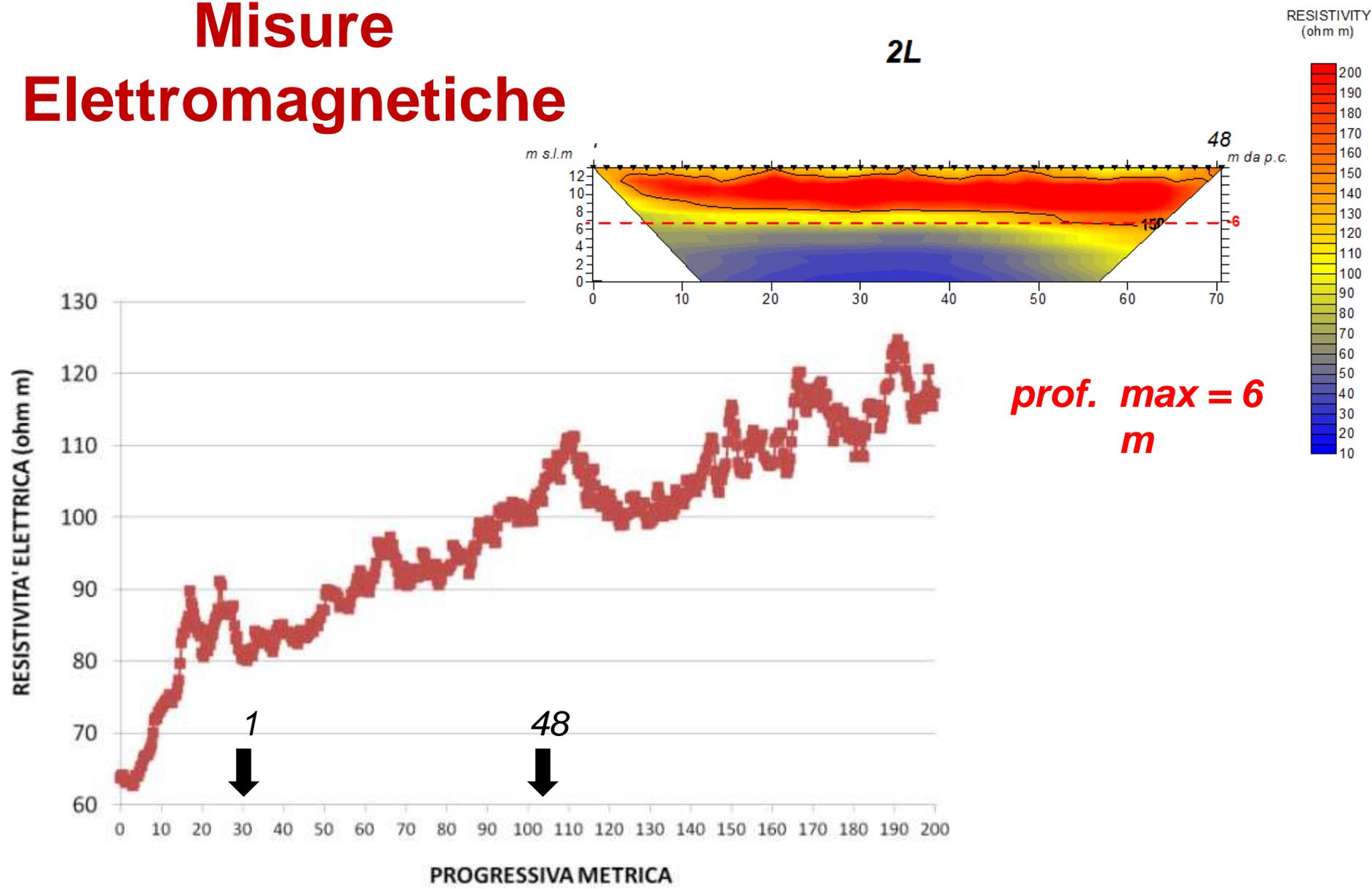


quota falda →





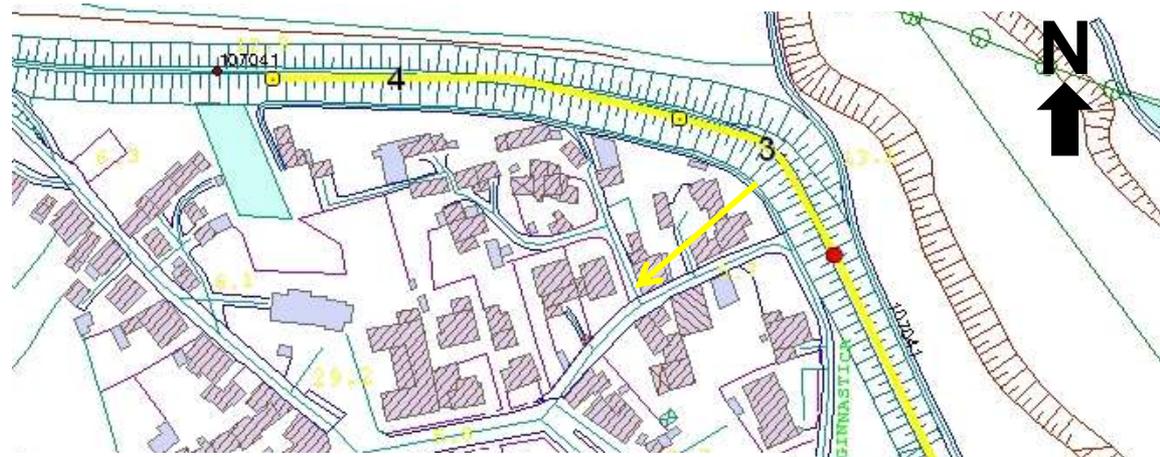
Misure Elettromagnetiche





San Giorgio al Tagliamento

GPR3
f = 50
MHz



S

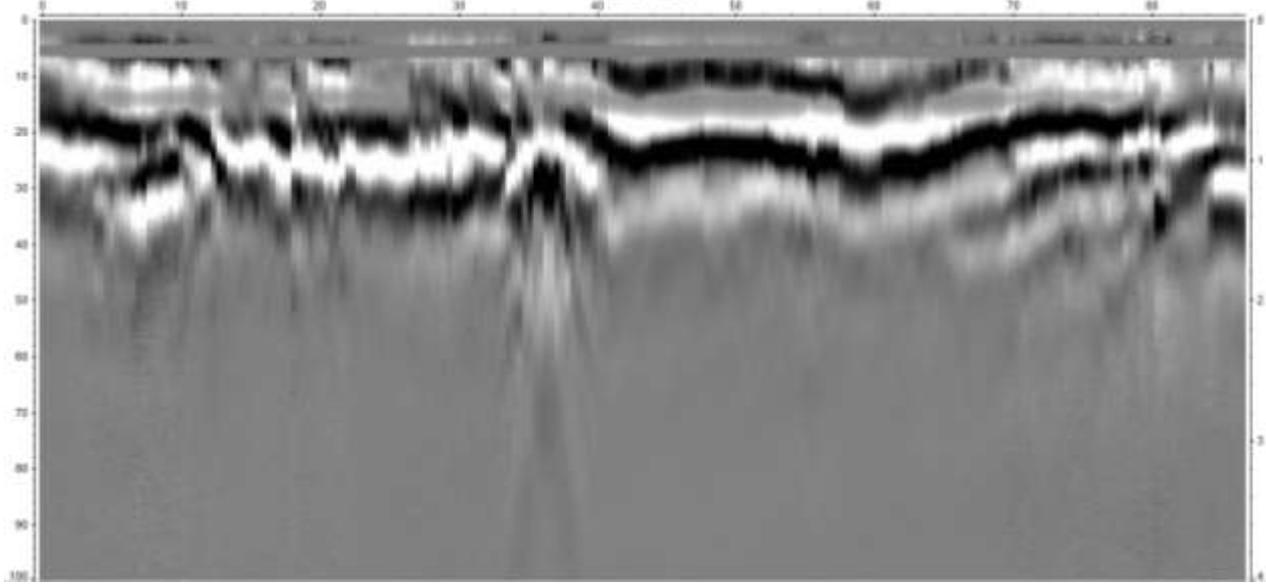
DISTANCE (m)

N

DEPTH ($v=0.08$ m/ns)

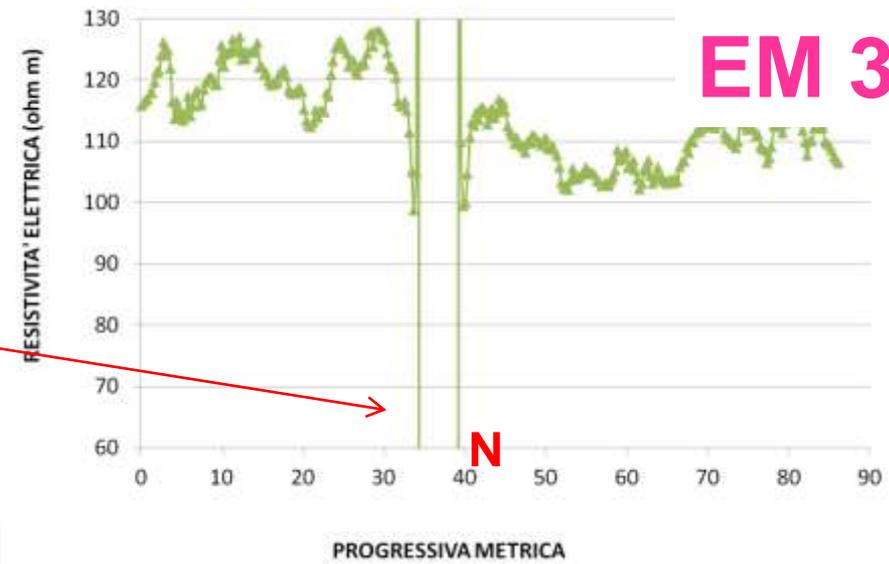
L = 90 m

TIME (ns)





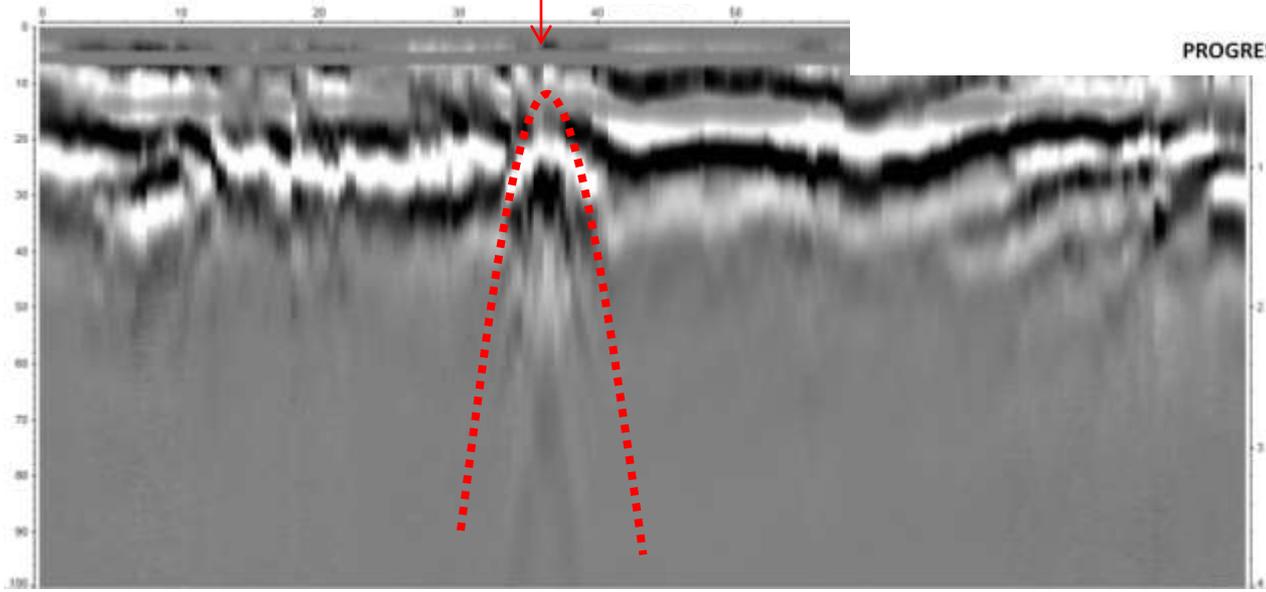
EM 3



Condotta sotterranea

S

DISTANCE (m)

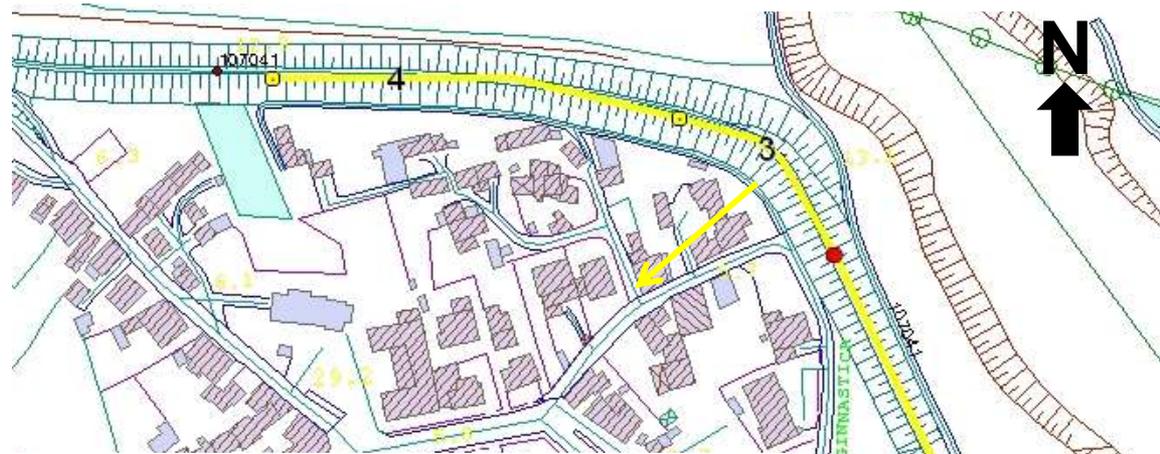


DEPTH (v=0.08 m/ns)



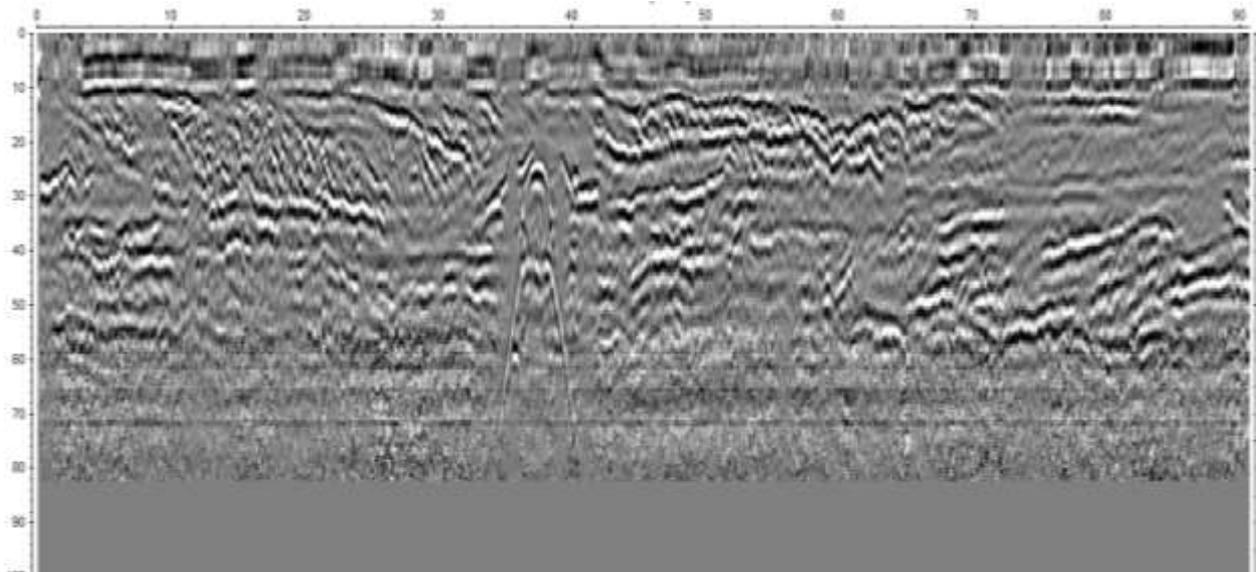
San Giorgio
al Tagliamento

GPR3
 $f = 200 \text{ MHz}$



S

DISTANCE (m)



N

DEPTH ($v=0.08 \text{ m/ns}$)

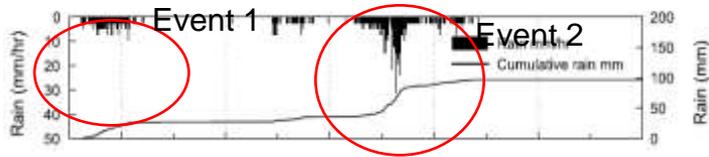


$L = 90 \text{ m}$



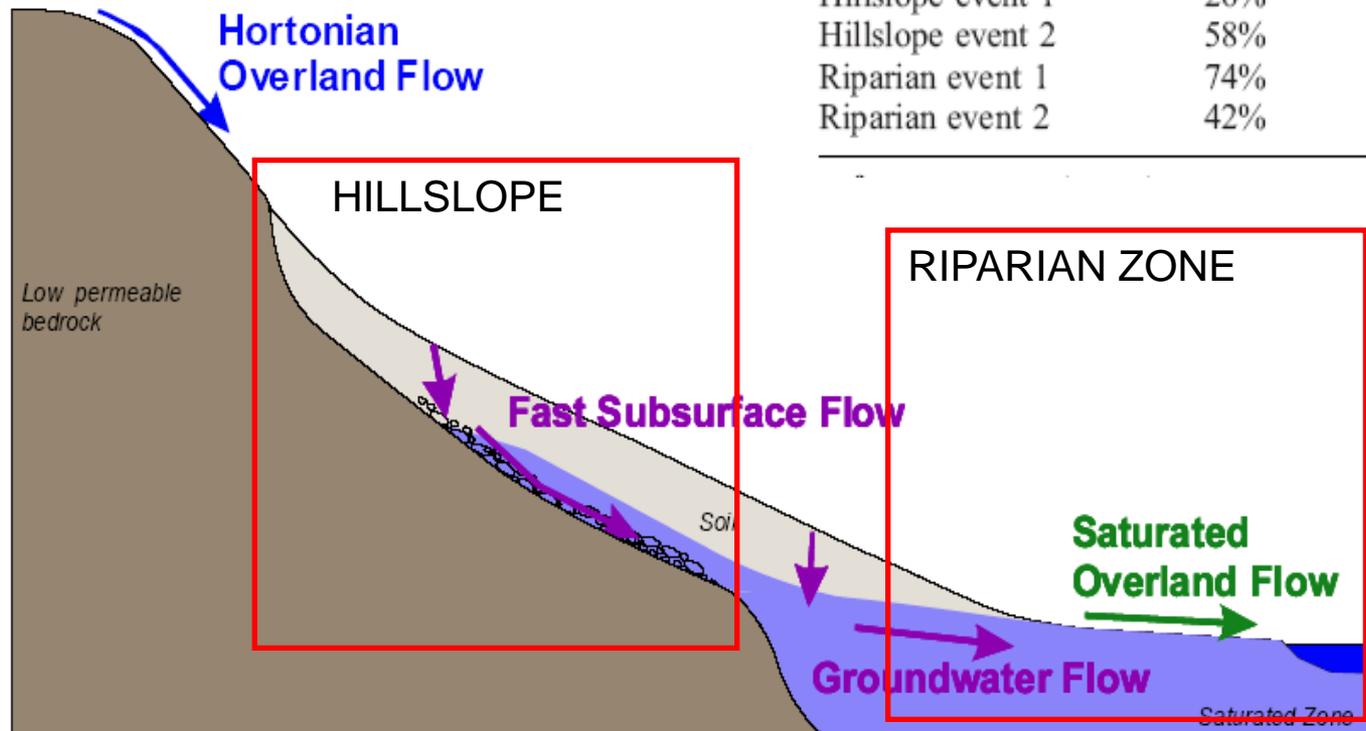


Acqua “vecchia” e acqua “nuova”



Three-Component Separation
New/Old Riparian/Old Hillslope)
(3CompHS)

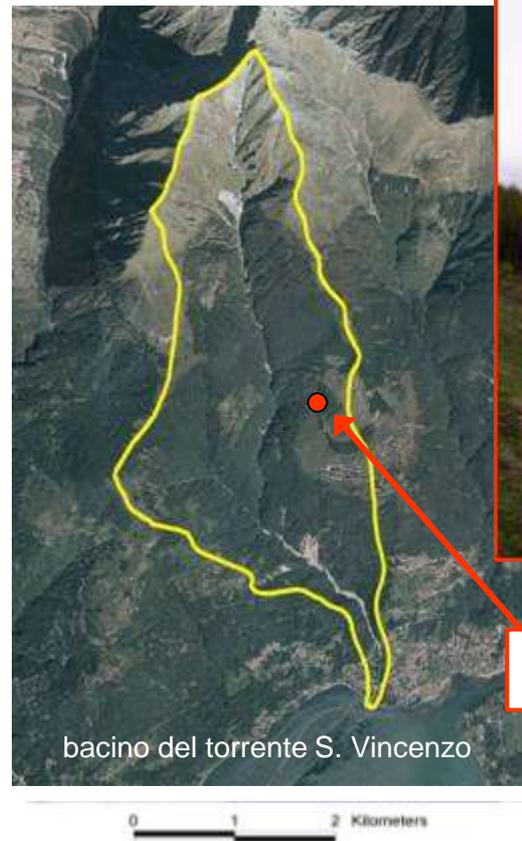
Event 1	19%/55%/26%
Event 2	21%/23%/56%
Hillslope event 1	26%
Hillslope event 2	58%
Riparian event 1	74%
Riparian event 2	42%





Sito sperimentale di Montemezzo (CO)

Obiettivo: caratterizzare la struttura e l'idrologia dei versanti di un piccolo bacino montano affetto da frane per scivolamento e soprattutto rischio alluvione



Sito sperimentale di Montemezzo

(Cassiani et al., 2009, *Near Surface Geophysics*
Strobbia and Cassiani, 2007, *Geophysics*)



Descrizione del sito



quota: 1150 m s.l.m.
pendenza: 30-40 gradi
copertura di suolo: spessore di 1-2 m, morena
sabbioso-ghiaiosa; conducibilità idraulica medio
bassa (10^{-6} m/s)
basamento: paragneiss con foliazione sub-verticale,
friabile.
vegetazione: erba, con bosco circostante di faggi e
betulle

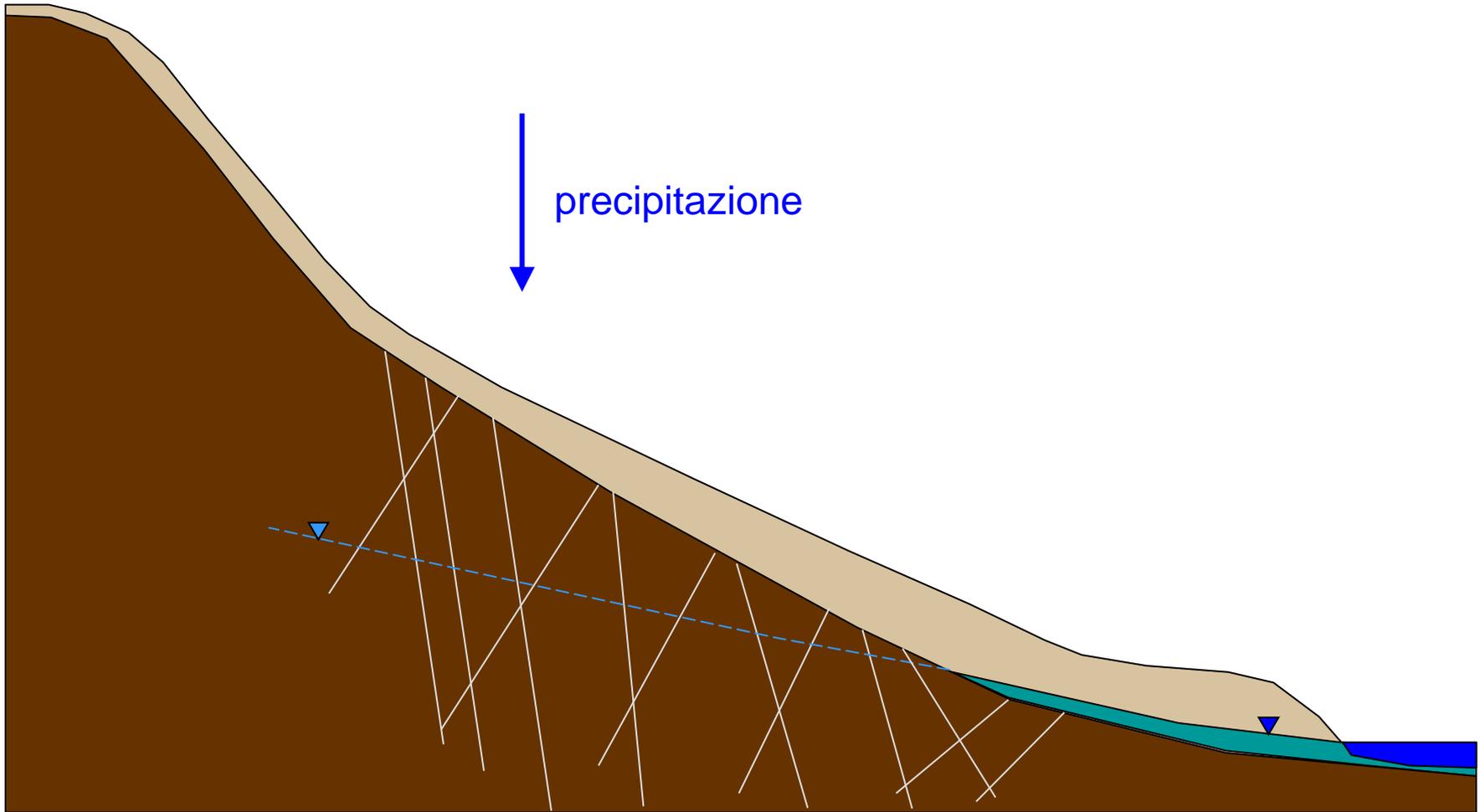
CAPPELLA
DELL' ALLUVIONE

8 AGOSTO 1951

Grave rischio di inondazione

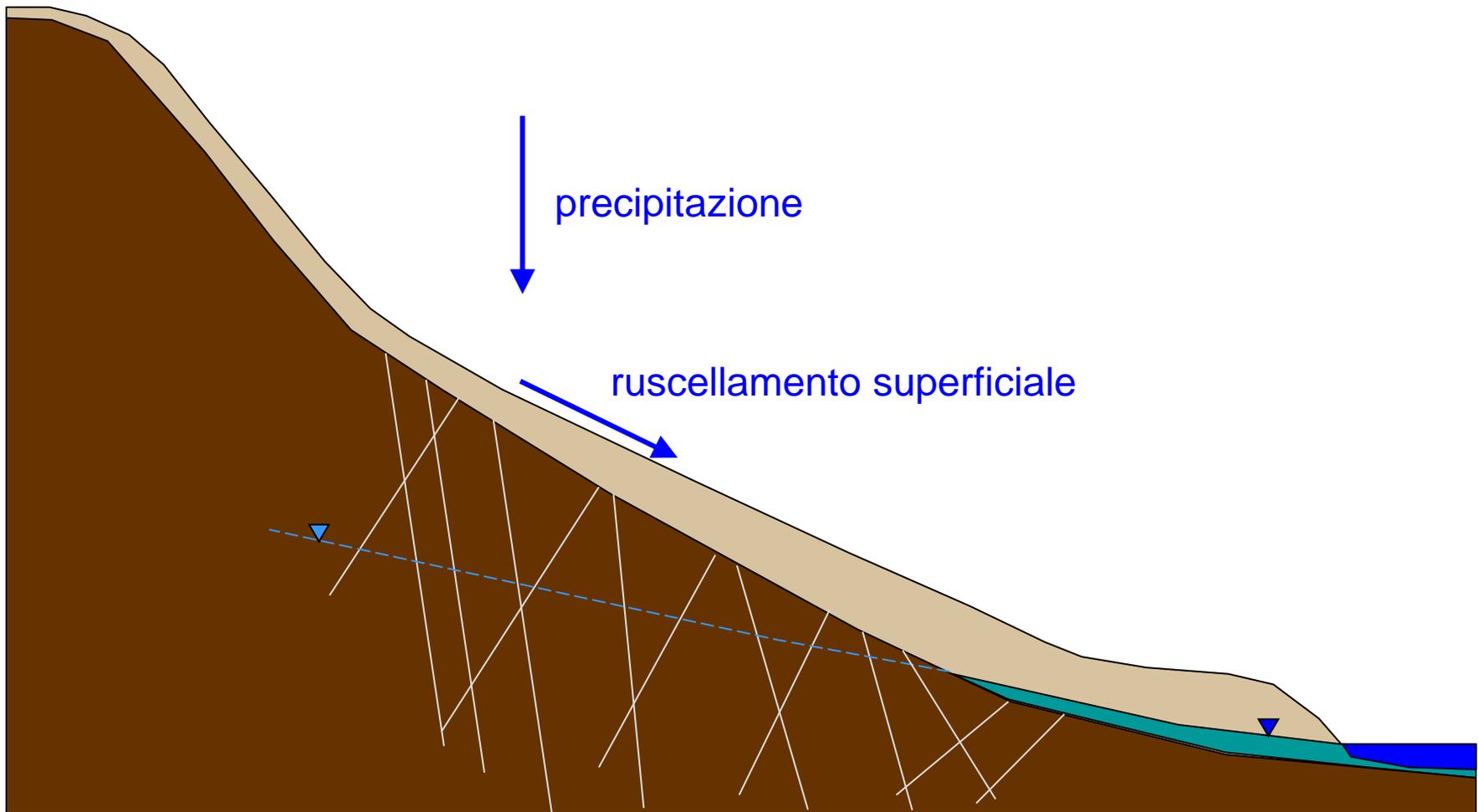


Acqua “vecchia” o acqua “nuova” ?



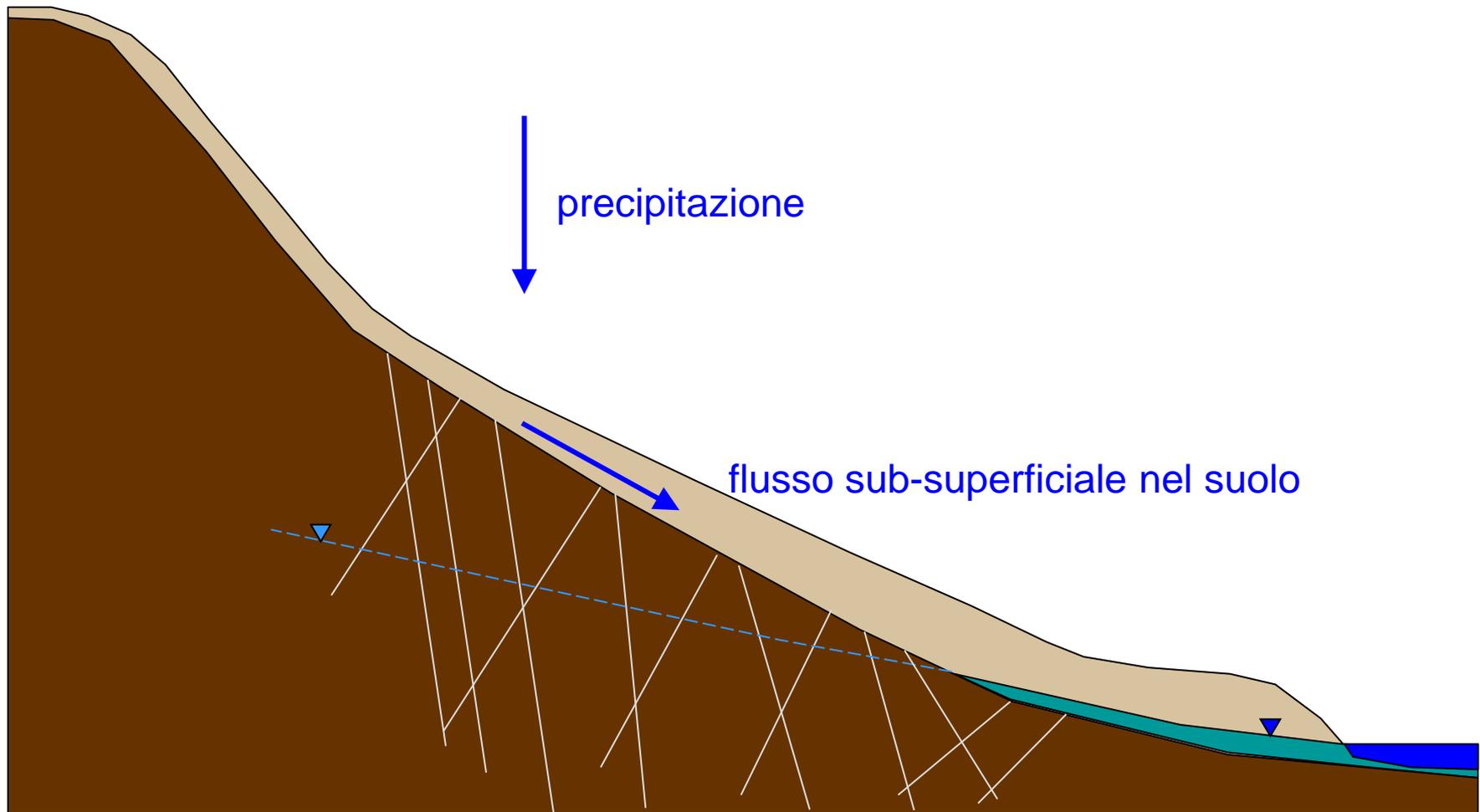


Acqua “vecchia” o acqua “nuova” ?



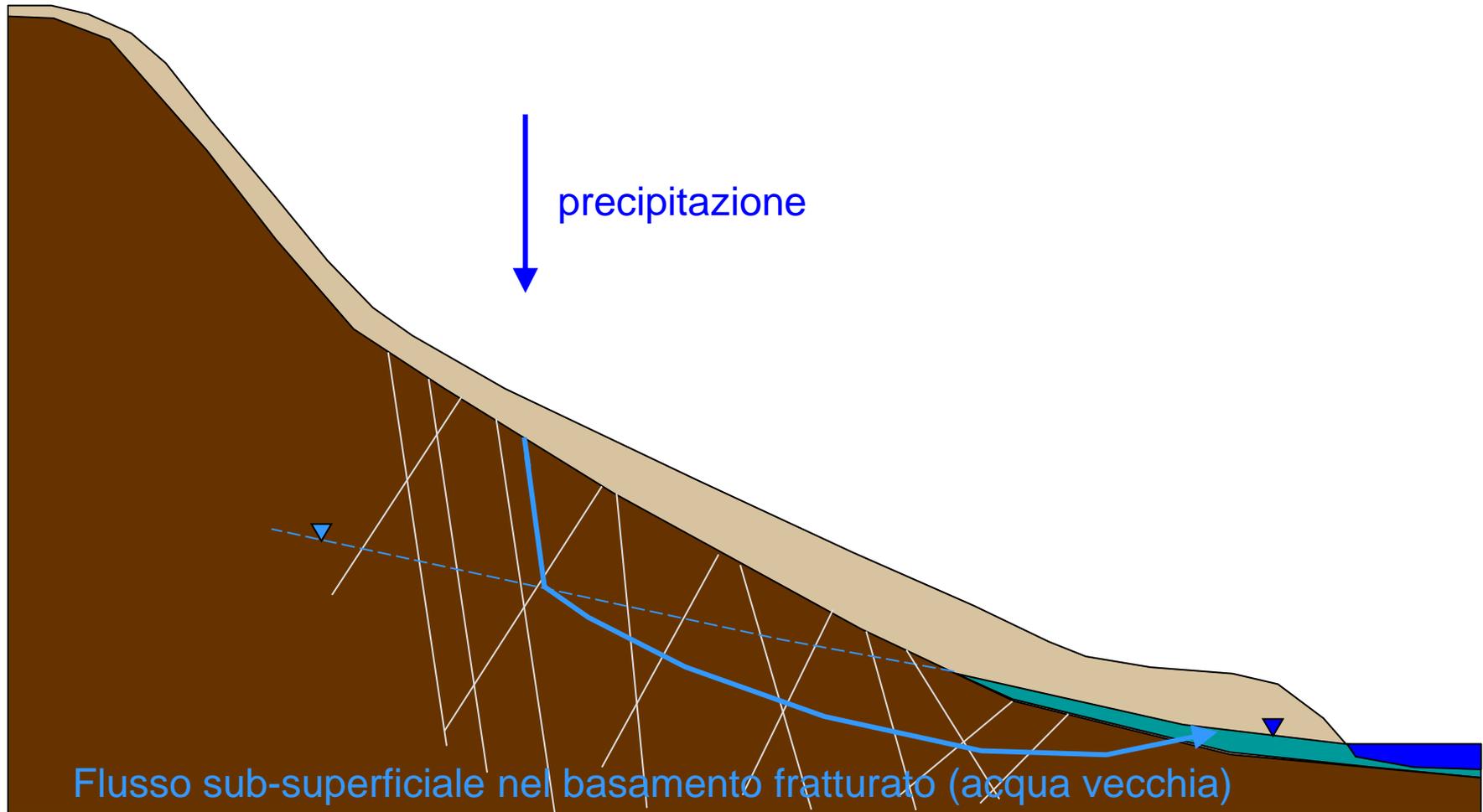


Acqua “vecchia” o acqua “nuova” ?





Acqua “vecchia” o acqua “nuova” ?





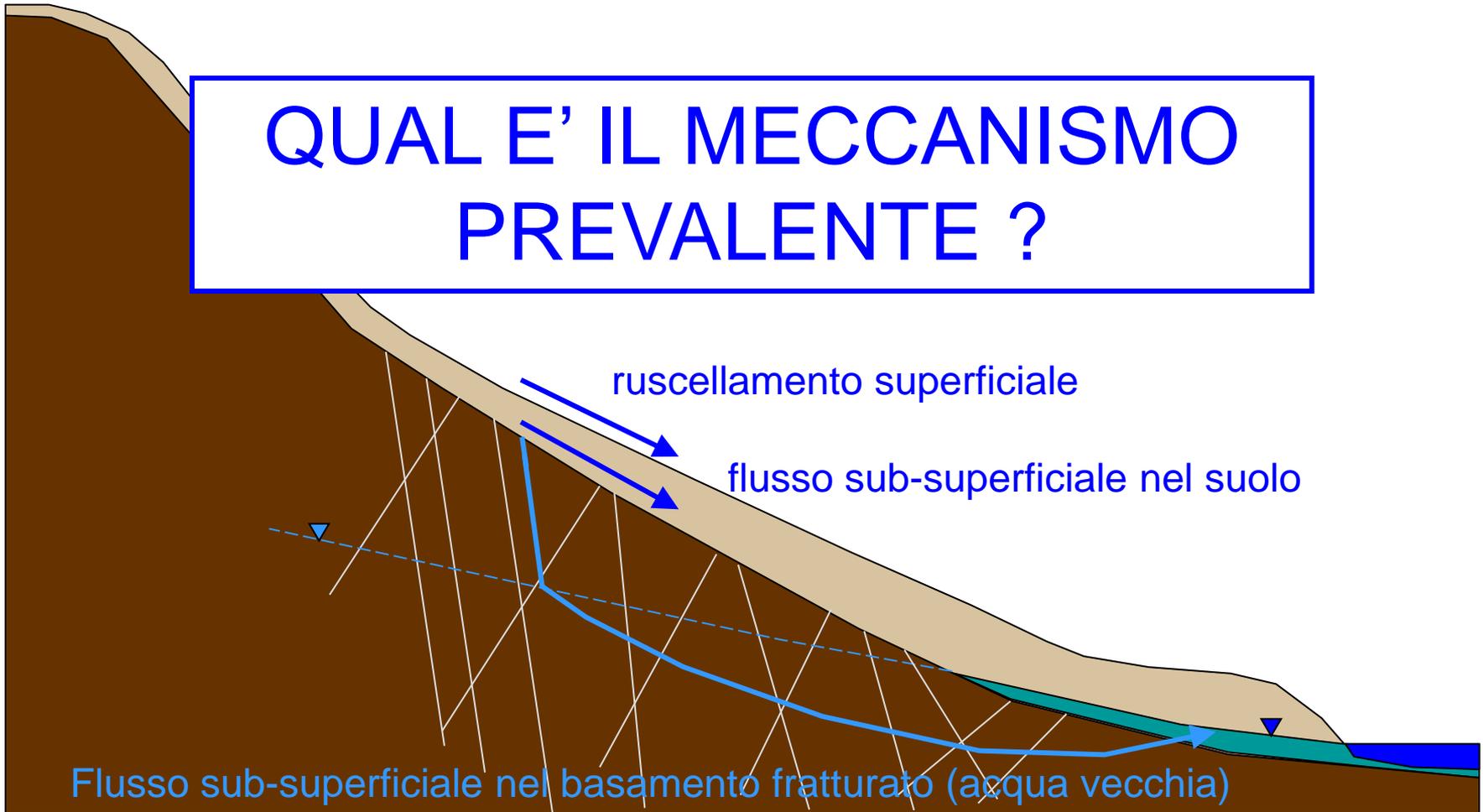
Acqua “vecchia” o acqua “nuova” ?

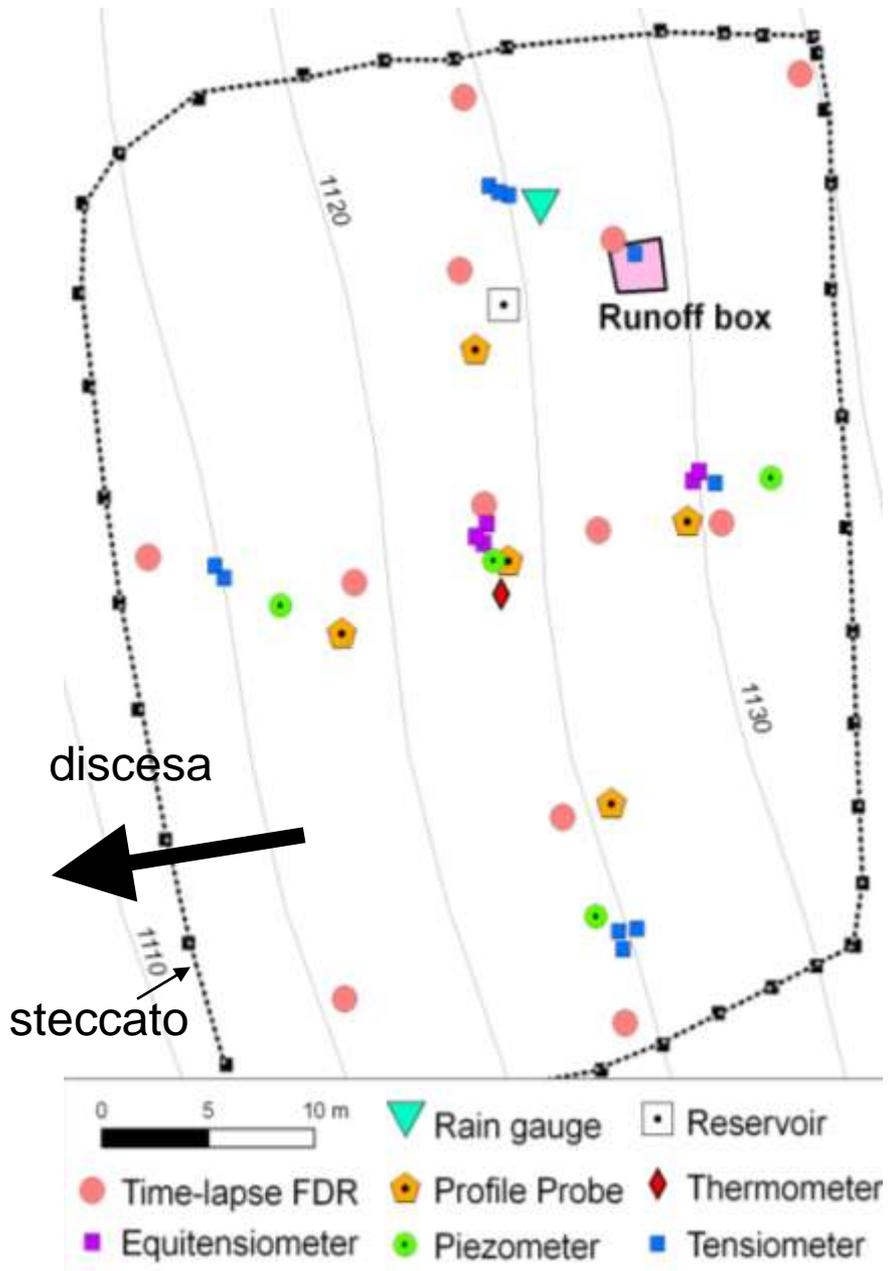
QUAL E' IL MECCANISMO
PREVALENTE ?

ruscellamento superficiale

flusso sub-superficiale nel suolo

Flusso sub-superficiale nel basamento fratturato (acqua vecchia)





Stazione di monitoraggio idrologico



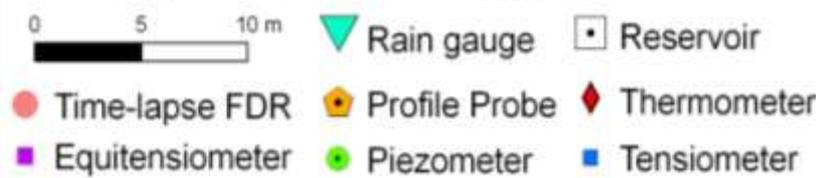
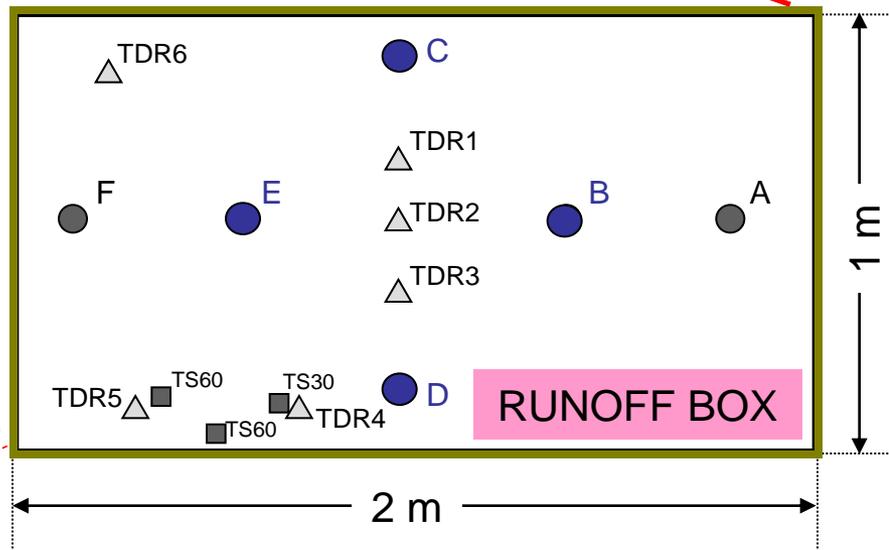
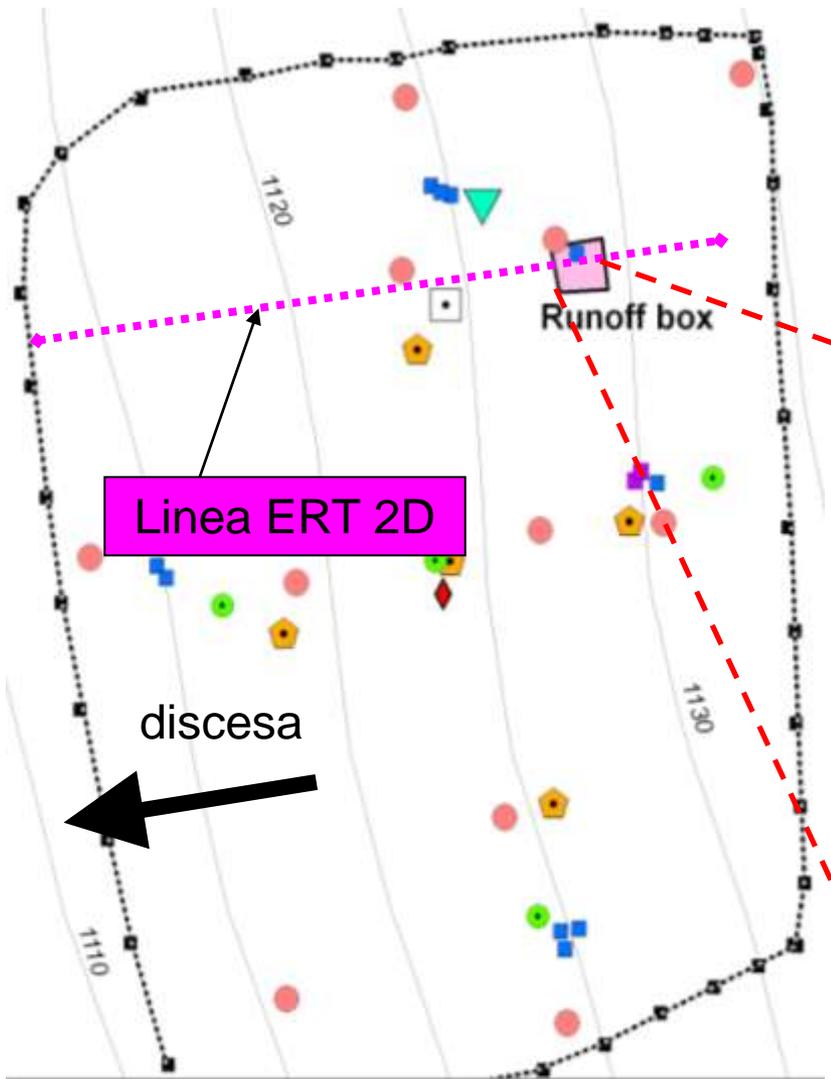
A partire dal 2003 è stata condotta una campagna di monitoraggio di lungo termine, con misure di:

- precipitazione,
- ruscellamento superficiale,
- temperatura del suolo,
- contenuto idrico del suolo.



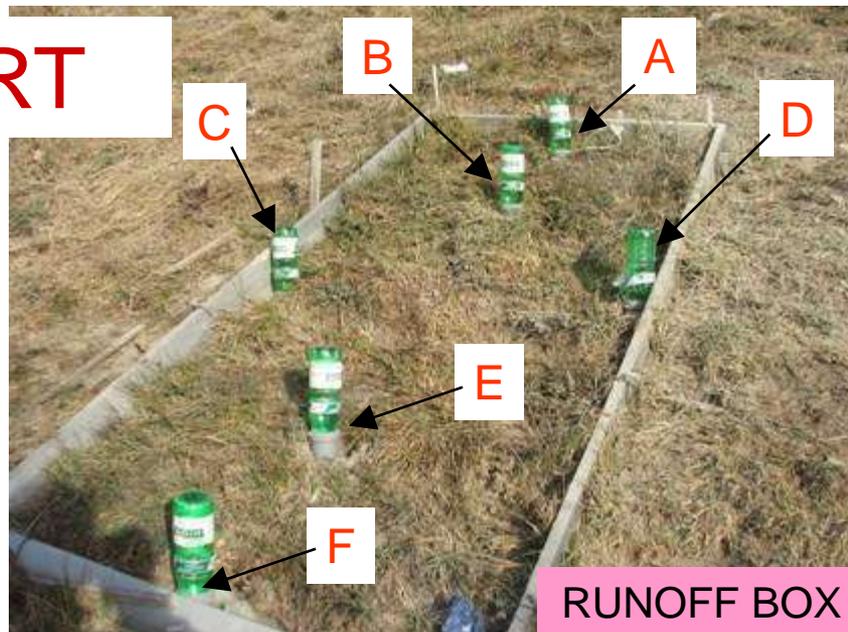
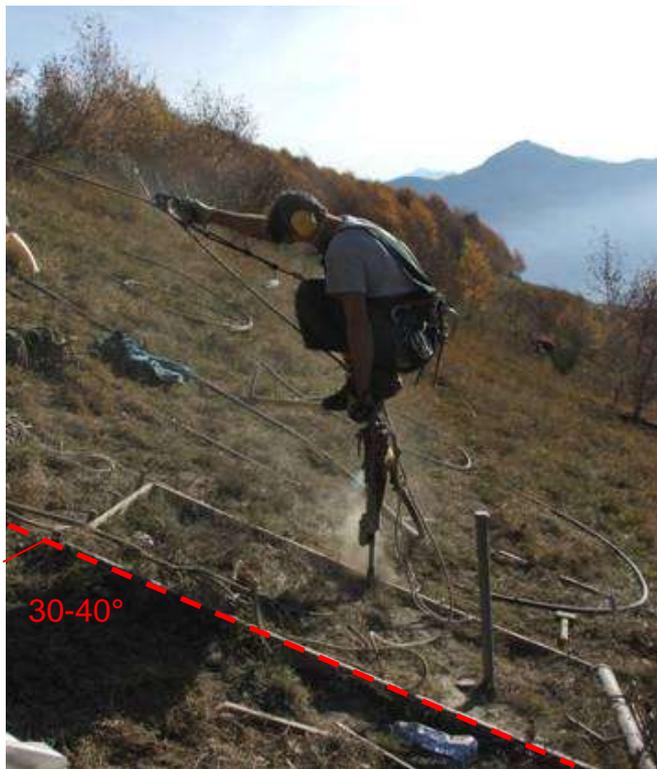
Test di irrigazione

Nel 2006 e nel 2007 sono stati condotti due test di irrigazione su una runoff box, equipaggiata con TDR, tensiometri e fori attrezzati con elettrodi per ERT.

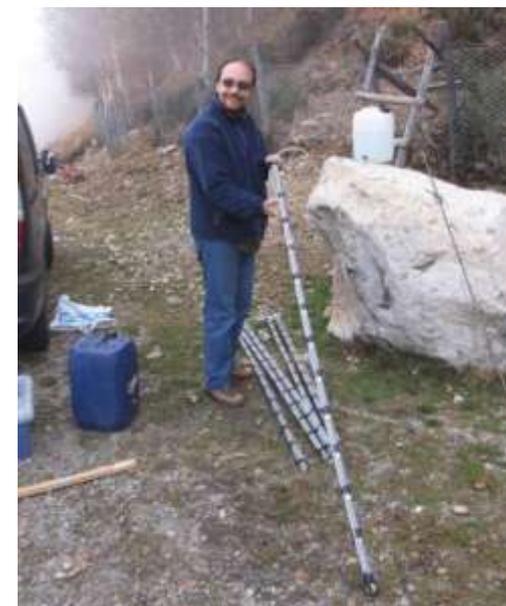




Istallazione dei fori ERT

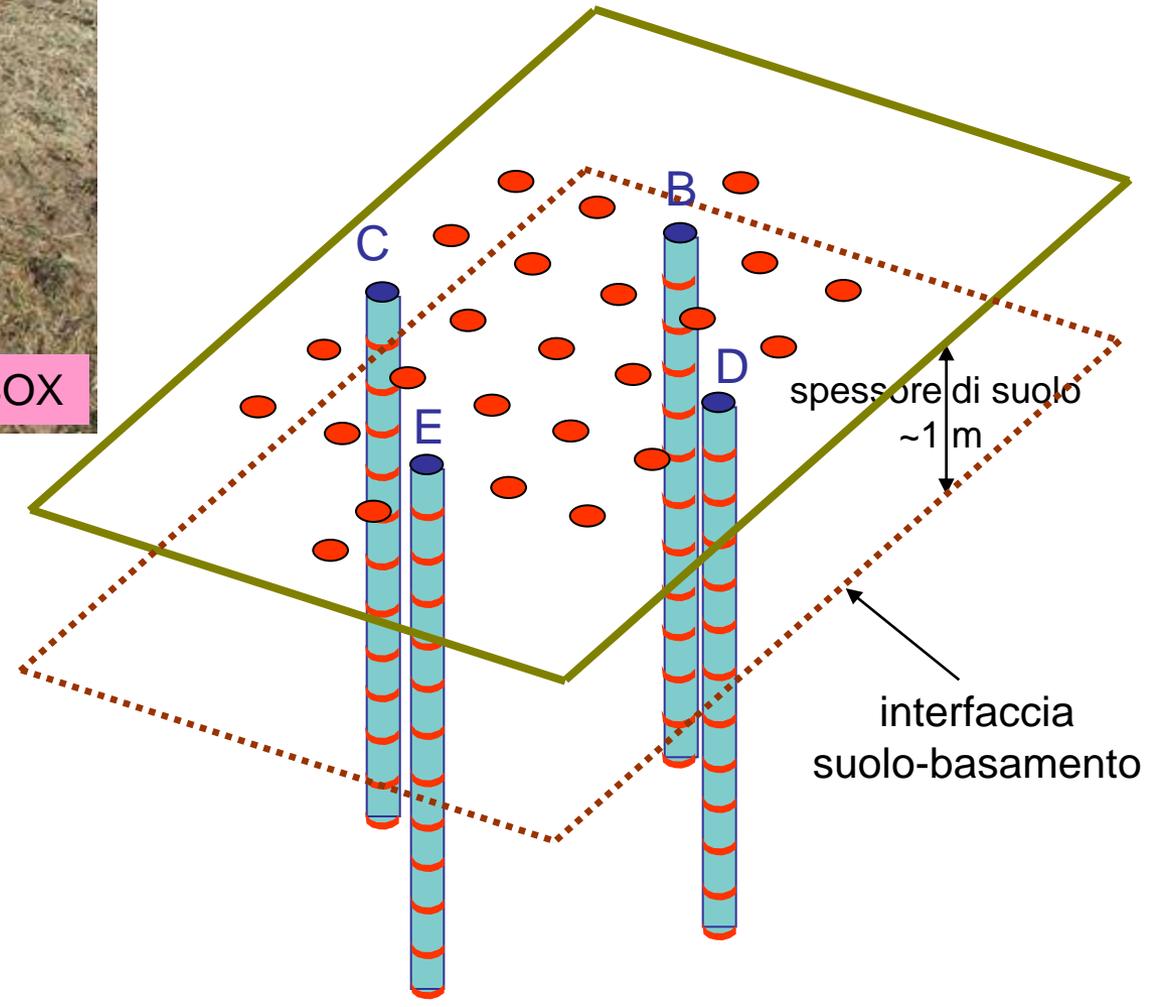
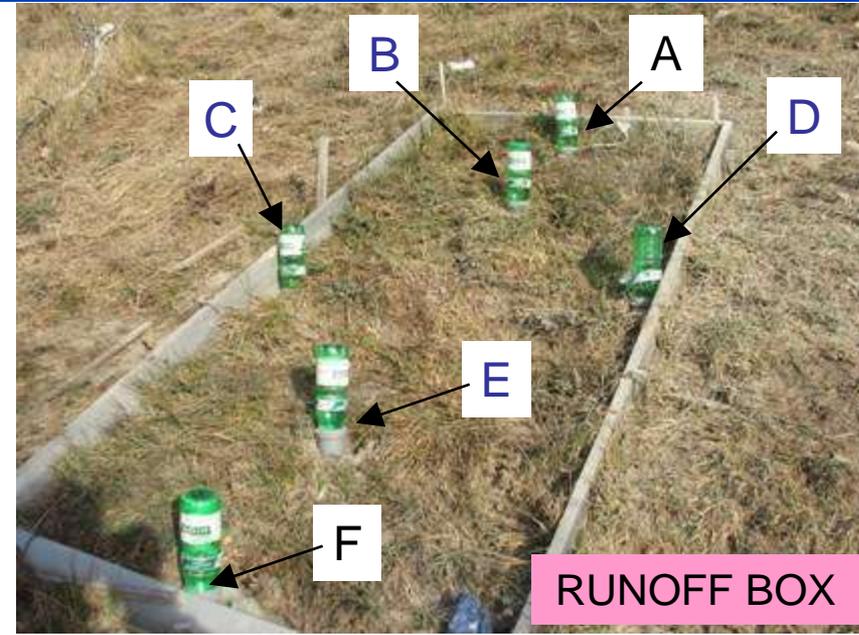


Sei fori profondi 2 m.
12 elettrodi in ciascun foro.





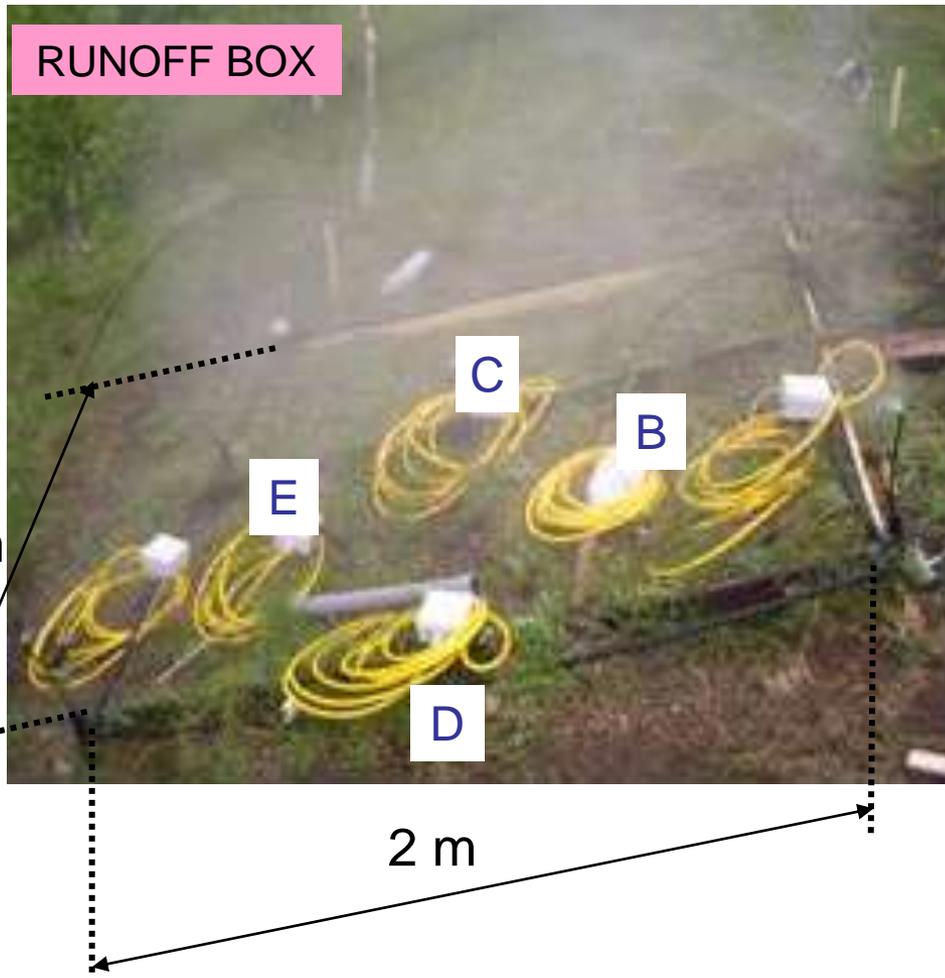
4D (time-lapse) ERT



- 72 elettrodi (12 in ognuno di 4 fori + 24 elettrodi da superficie)
- schema di acquisizione dipolo-dipolo skip 0, con reciproci
- tempo di acquisizione di circa 40 min per ogni time step con un IRIS Syscal Pro.
- per l'inversione è stato usato il codice R3 (A.M.Binley – Lancaster University)



Test di irrigazione

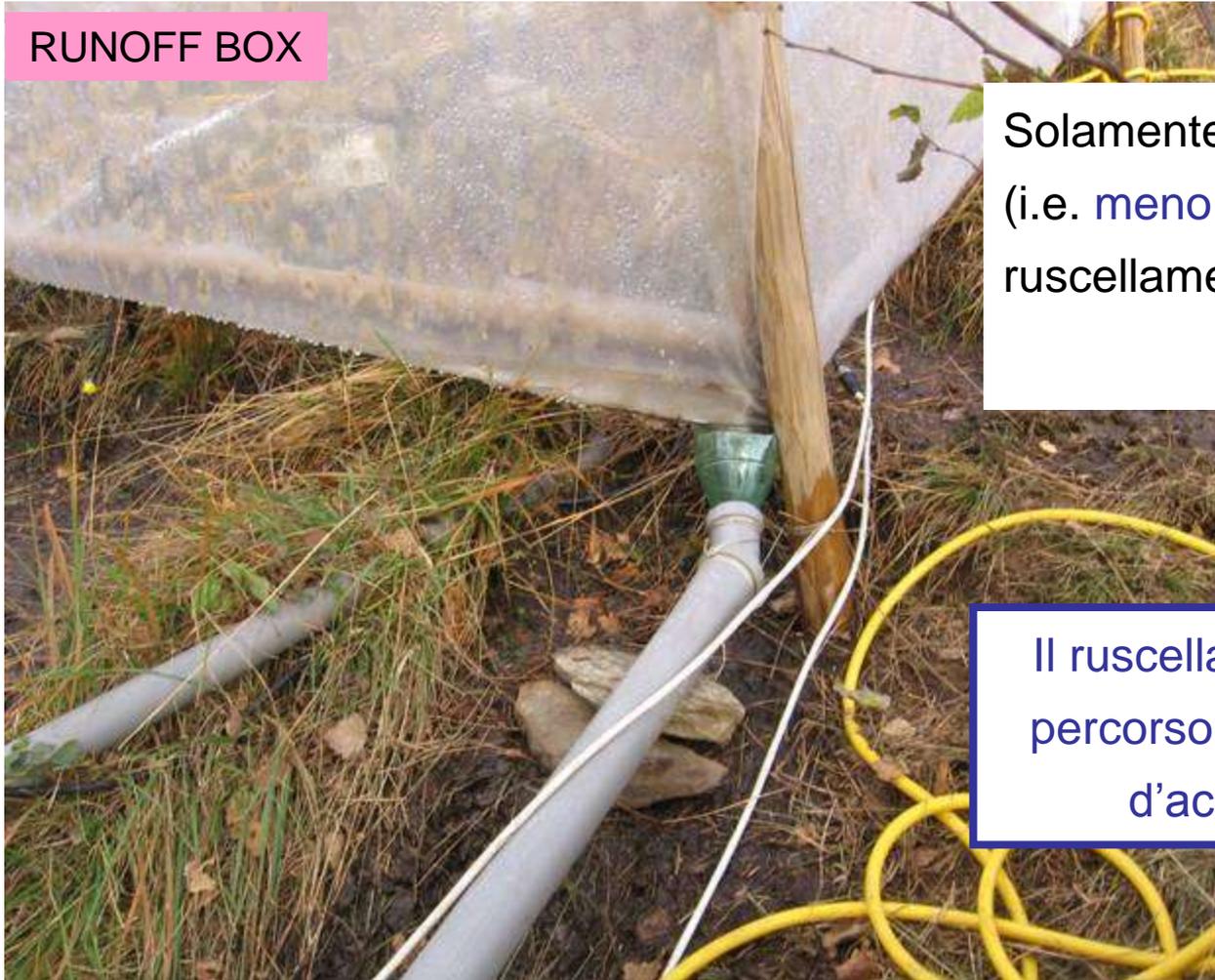


- Il 29 ottobre 2007, sono stati applicati 9330 litri di pioggia artificiale su un'area di 2 m x 2 m per 18 ore (equivalenti a una pioggia di 2500 mm).
- L'infiltrazione è stata stimata sottraendo il ruscellamento misurato.
- Date le condizioni meteo ed il ridotto periodo di irrigazione l'evapo-transpirazione è stata trascurata.



Misure di ruscellamento

RUNOFF BOX



Solamente 640 litri dei 9330 totali (i.e. meno del 7%) sono andati in ruscellamento superficiale.



Il ruscellamento superficiale è un percorso trascurabile per il flusso d'acqua lungo il pendio.



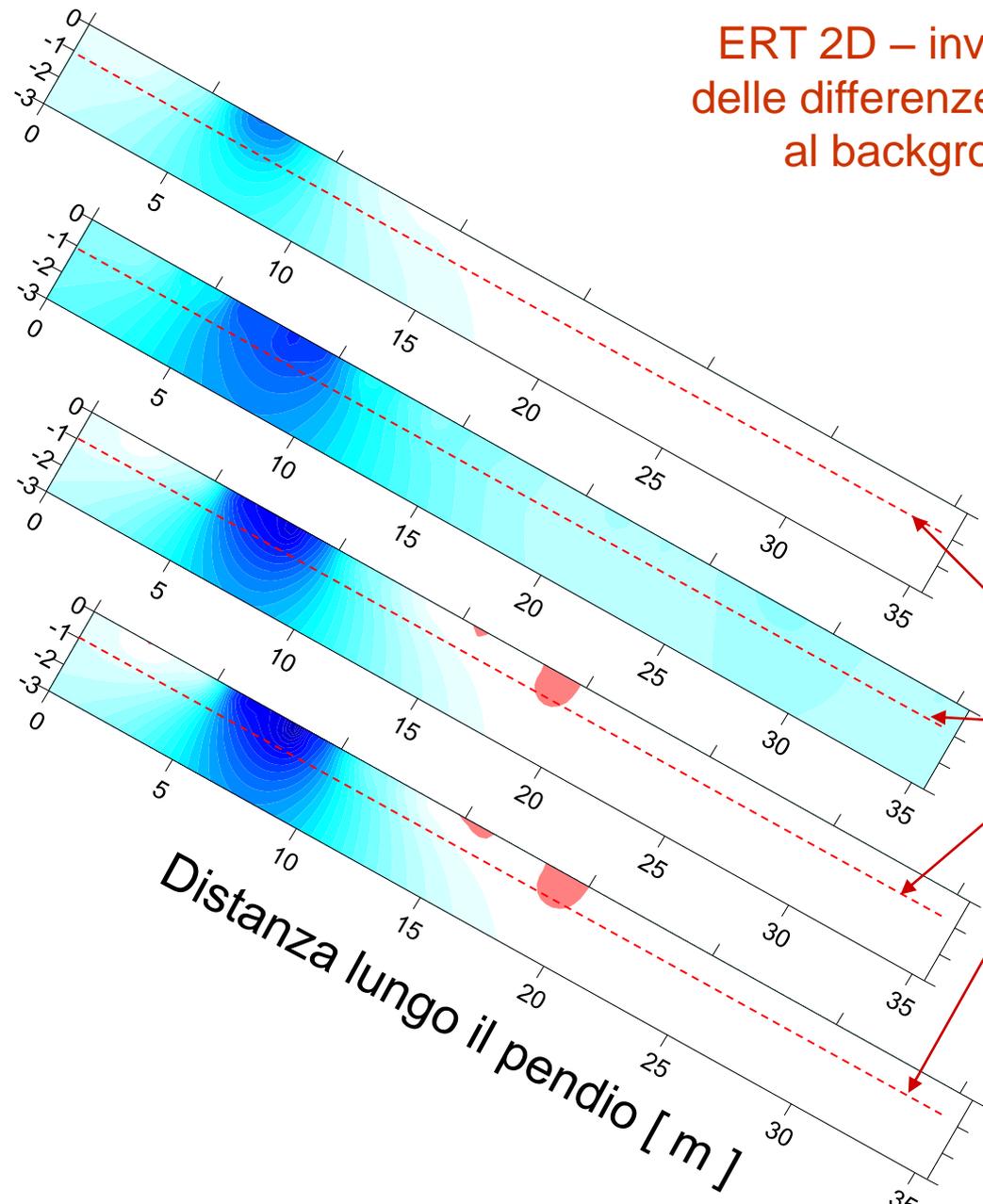
dopo 1.2 h

dopo 3 h

dopo 5 h

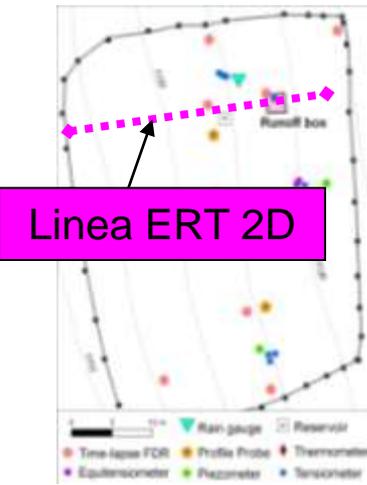
dopo 10 h

ERT 2D – inversione
delle differenze rispetto
al background



interfaccia
suolo-basamento

% di variazione
rispetto
alla resistività
di background



Linea ERT 2D

- 0 10 20 30 40
- Rain gauge
- Piezometer
- Time lapse FDR
- Profile Probe
- Tensiometer
- Equilibriummeter
- Pneumatometer
- Tensiometer



FINE IRRIGAZIONE

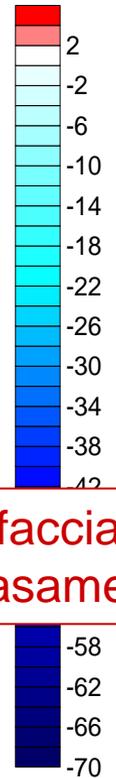
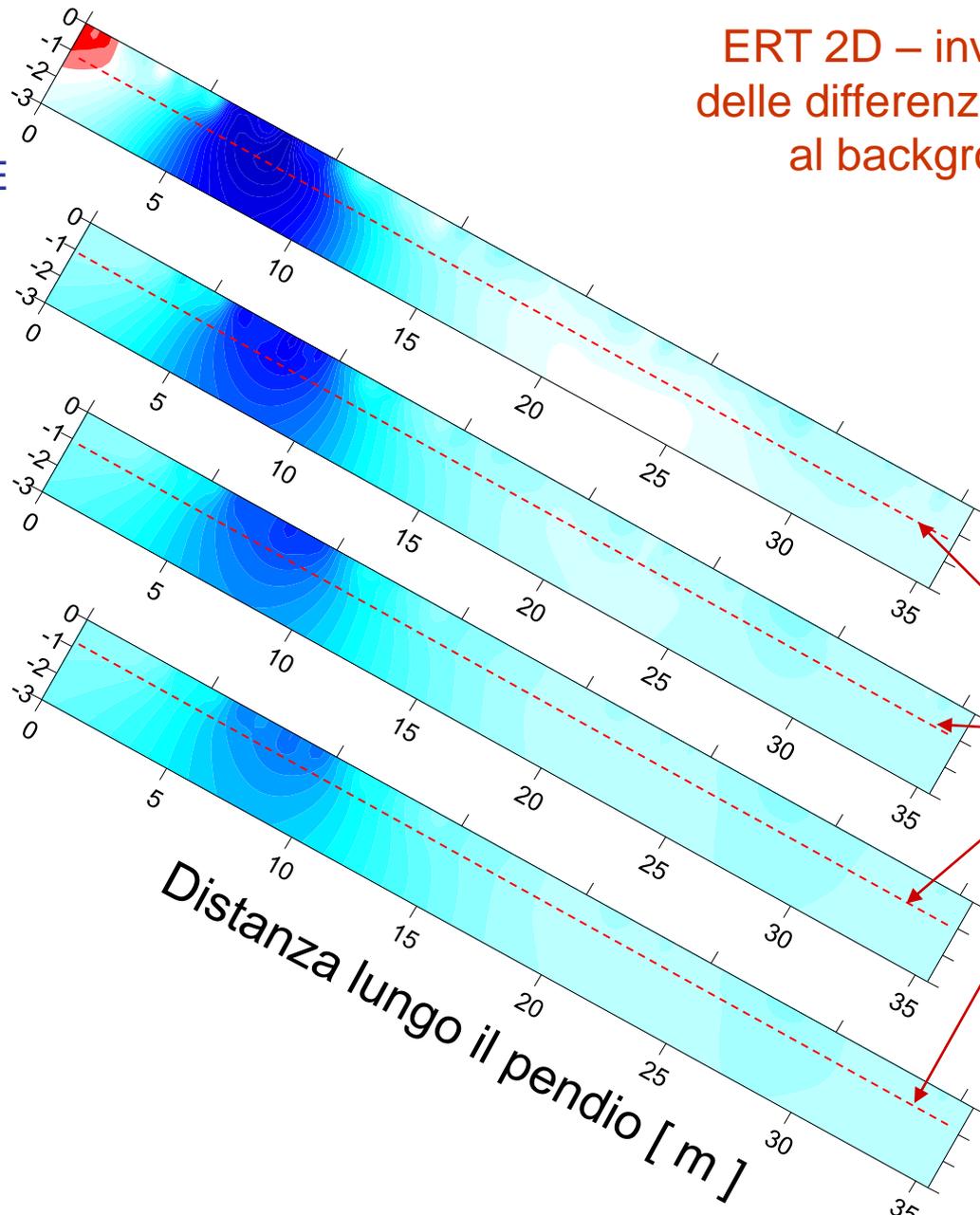
dopo 18 h

dopo 19 h

dopo 21 h

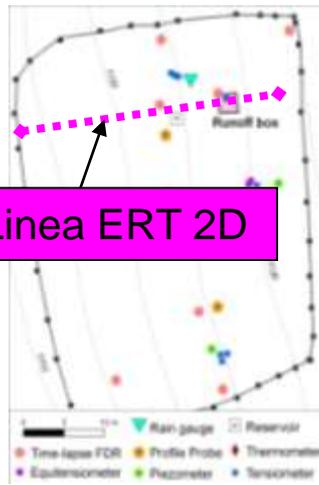
dopo 26 h

ERT 2D – inversione
delle differenze rispetto
al background



interfaccia
suolo-basamento

% di variazione
rispetto
alla resistività
di background



Linea ERT 2D



dopo 32 h

dopo 42 h

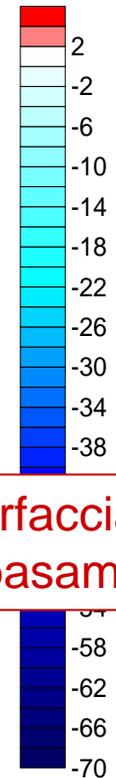
dopo 44 h

ERT 2D – inversione
delle differenze rispetto
al background

Il flusso subsuperficiale nel suolo è
un percorso trascurabile per l'acqua
lungo il pendio.

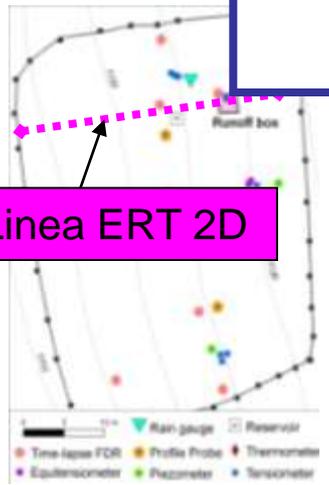
interfaccia
suolo-basamento

% di variazione
rispetto
alla resistività
di background



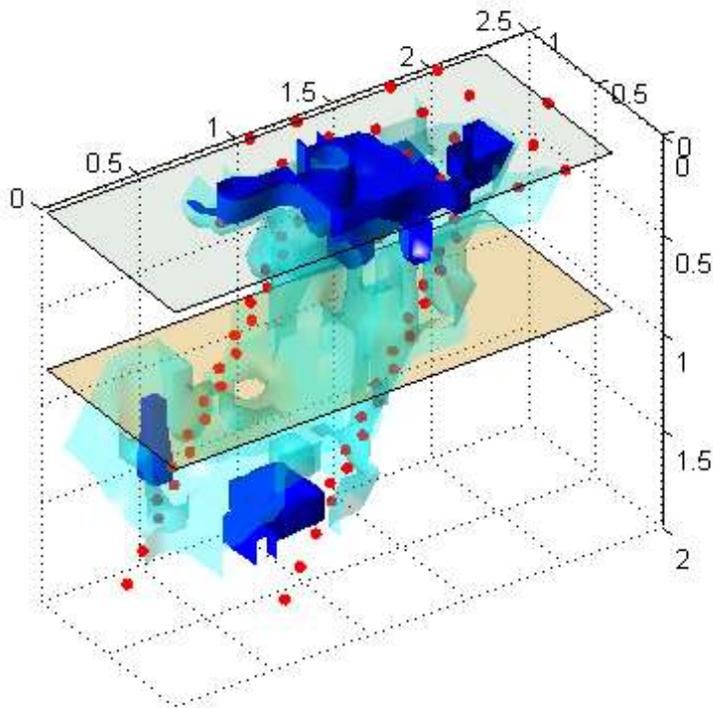
Distanza lungo il pendio [m]

Linea ERT 2D

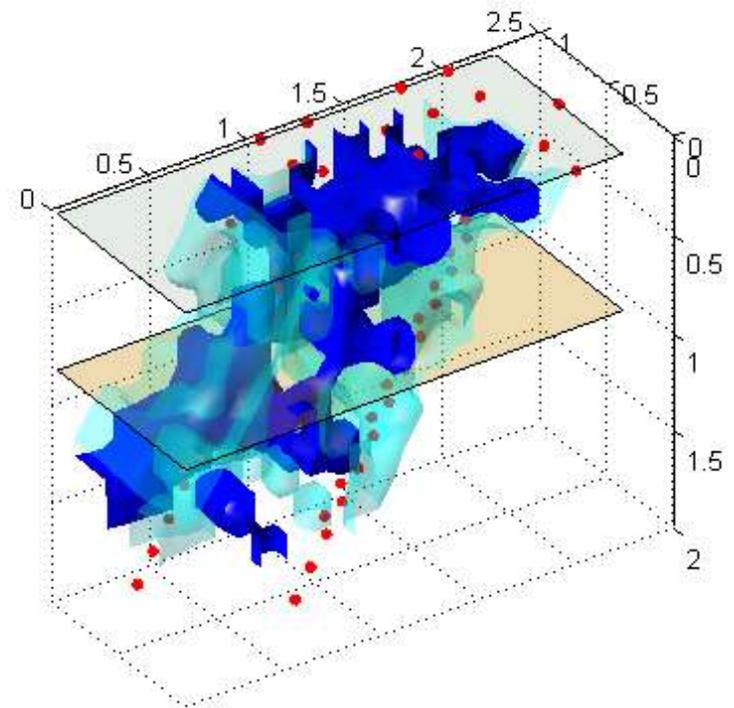




3D ERT inversione di resistività rispetto al background



dopo 0.8 h

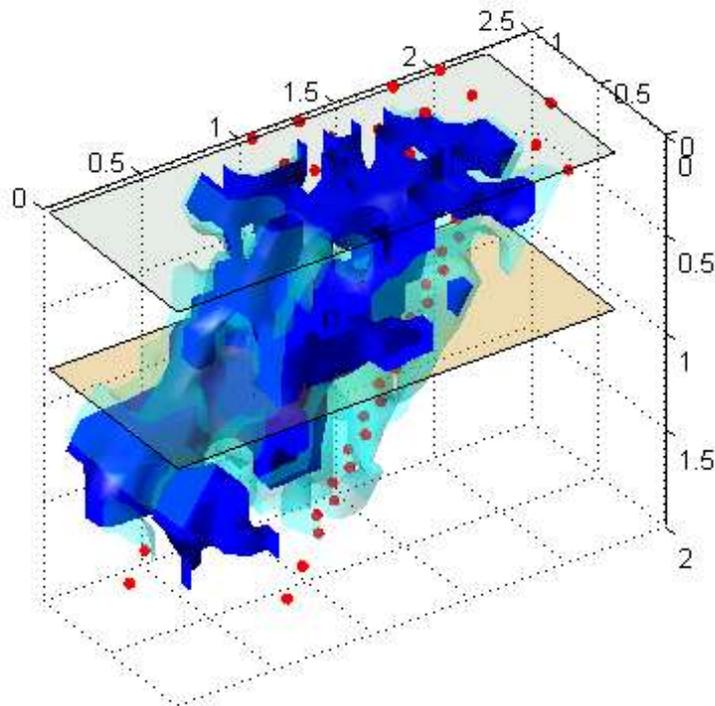


dopo 2.4 h

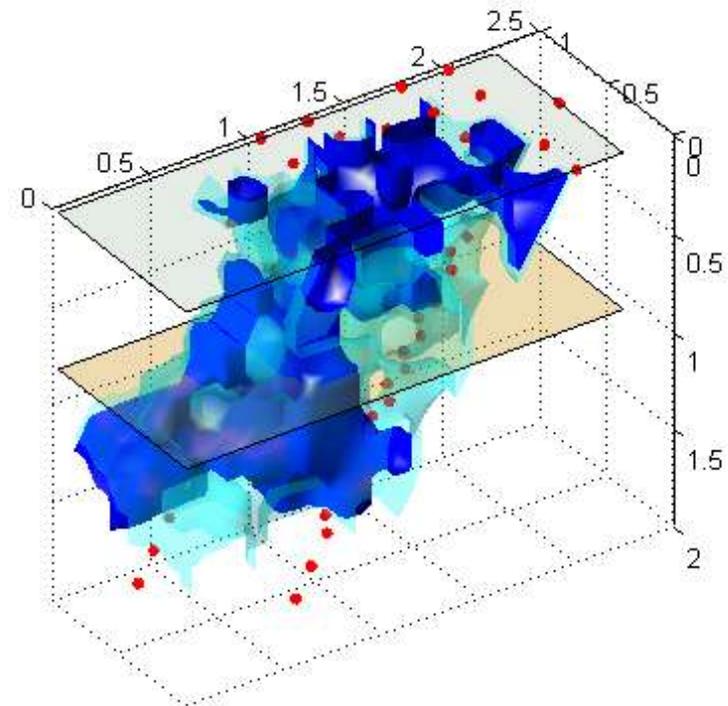
blu = 30% del background, azzurro = 70% del background



3D ERT inversione di resistività rispetto al background



dopo 4.2 h



dopo 9.5 h

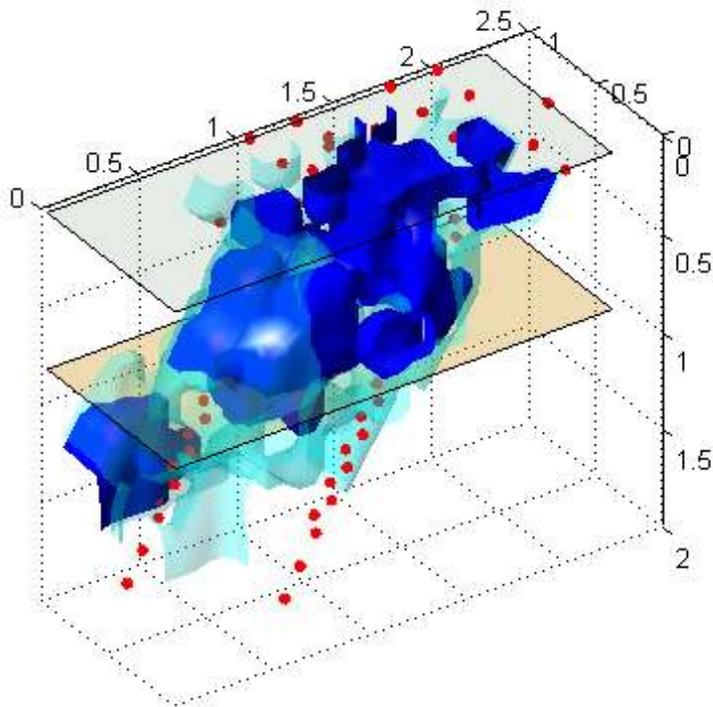
FINE IRRIGAZIONE

blu = 30% del background, azzurro = 70% del background

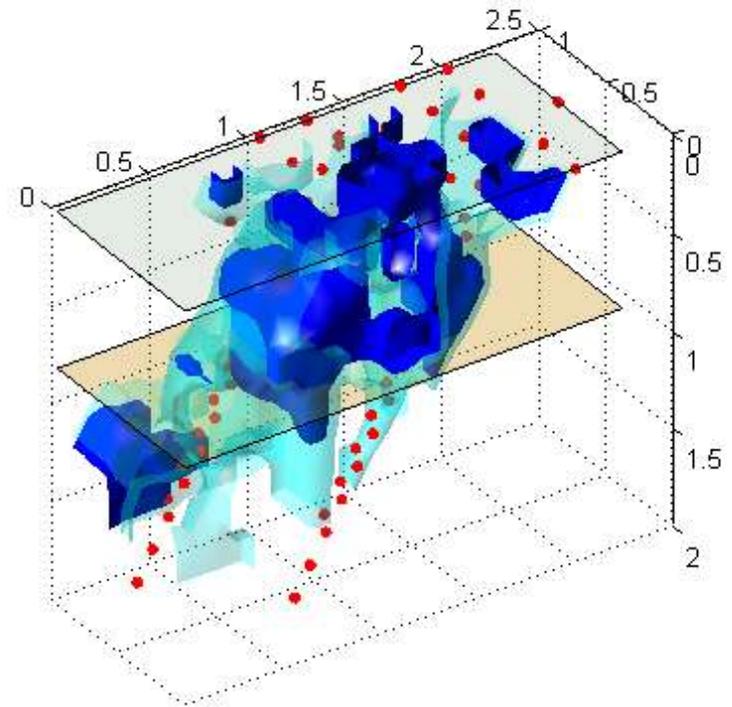


3D ERT inversione di resistività rispetto al background

FINE IRRIGAZIONE



dopo 19.0 h

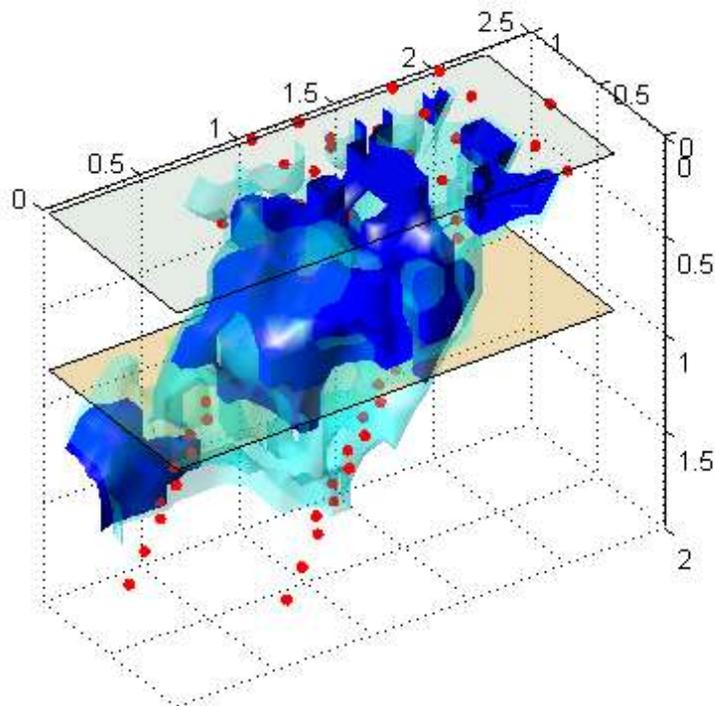


dopo 20.5 h

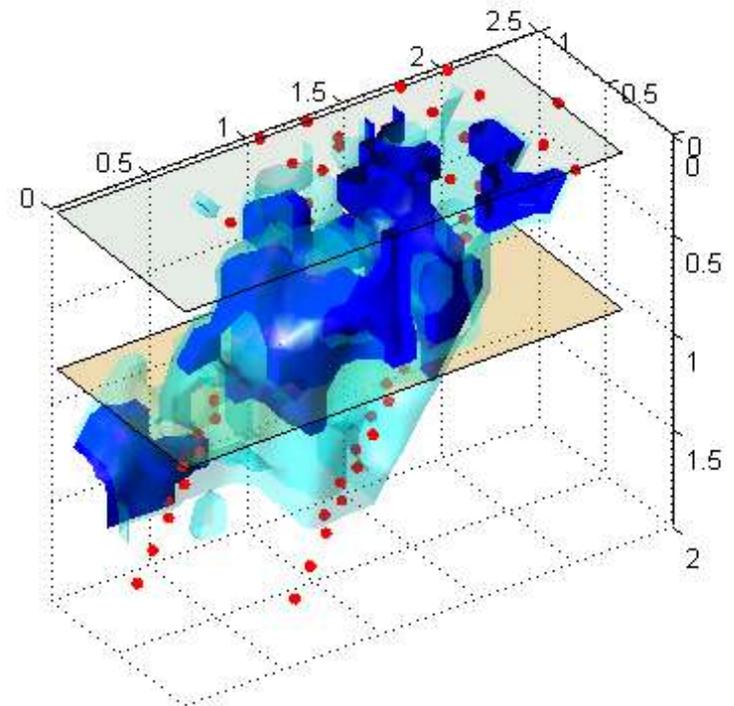
blu = 30% del background, azzurro = 70% del background



3D ERT inversione di resistività rispetto al background



dopo 23.6 h

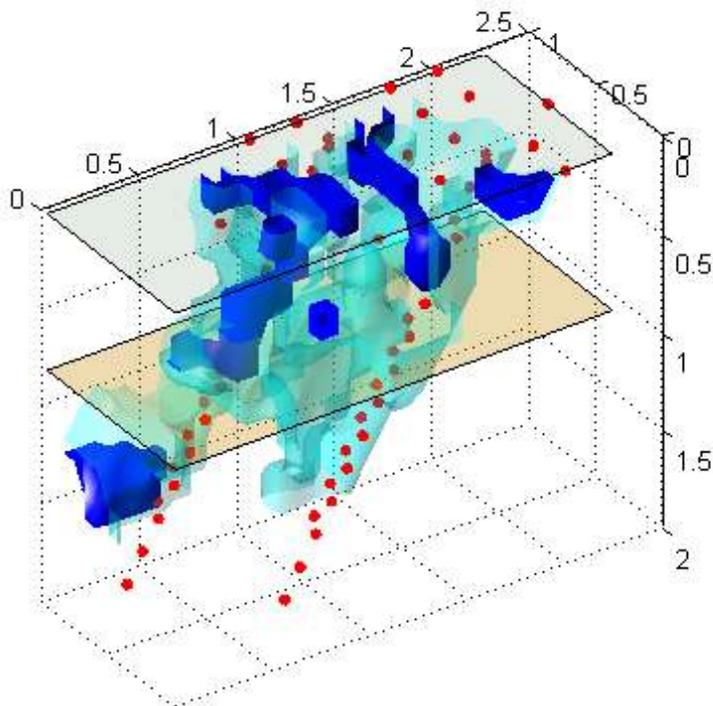


dopo 25.3 h

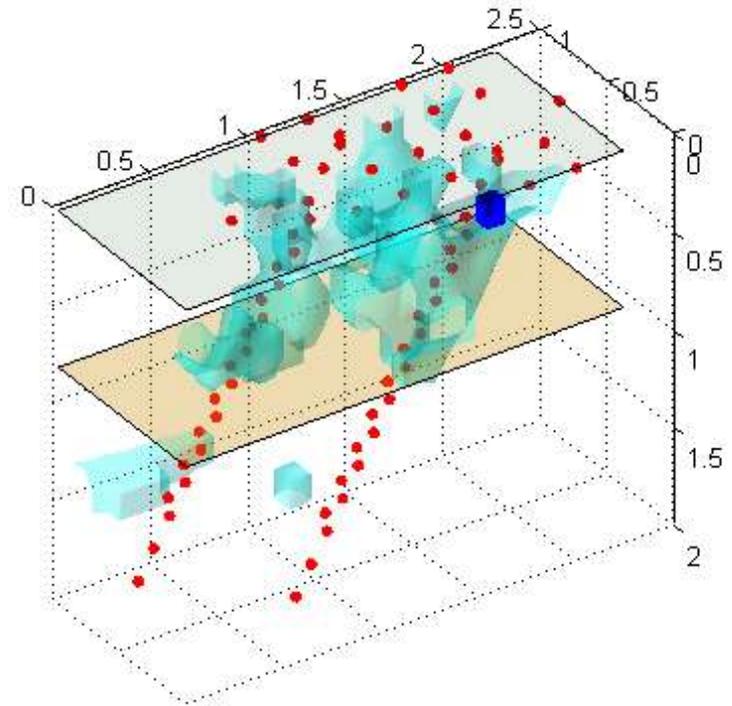
blu = 30% del background, azzurro = 70% del background



3D ERT inversione di resistività rispetto al background



dopo 47.2 h

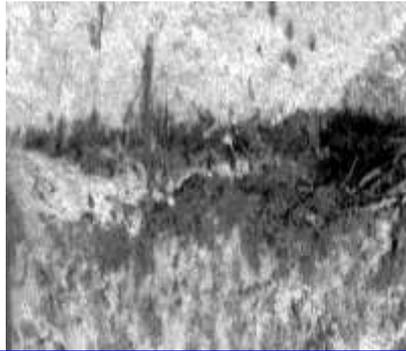


dopo 214 h

blu = 30% del background, azzurro = 70% del background



Test con traccianti colorati



LE VIE PREFERENZIALI HANNO
UN RUOLO IMPORTANTE
NEI PROCESSI DI INFILTRAZIONE
IN QUESTO SUOLO



original picture

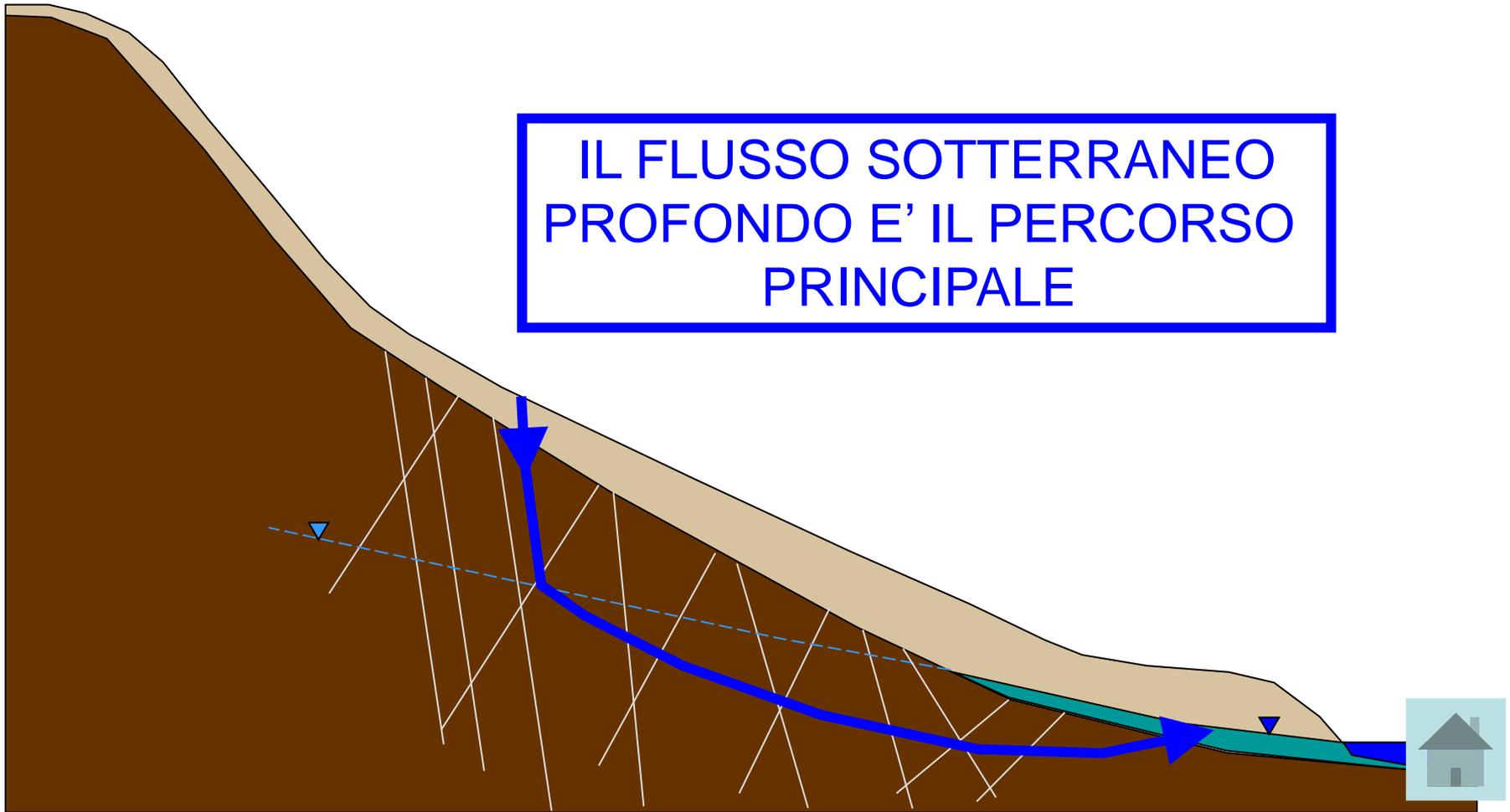
spectral analysis

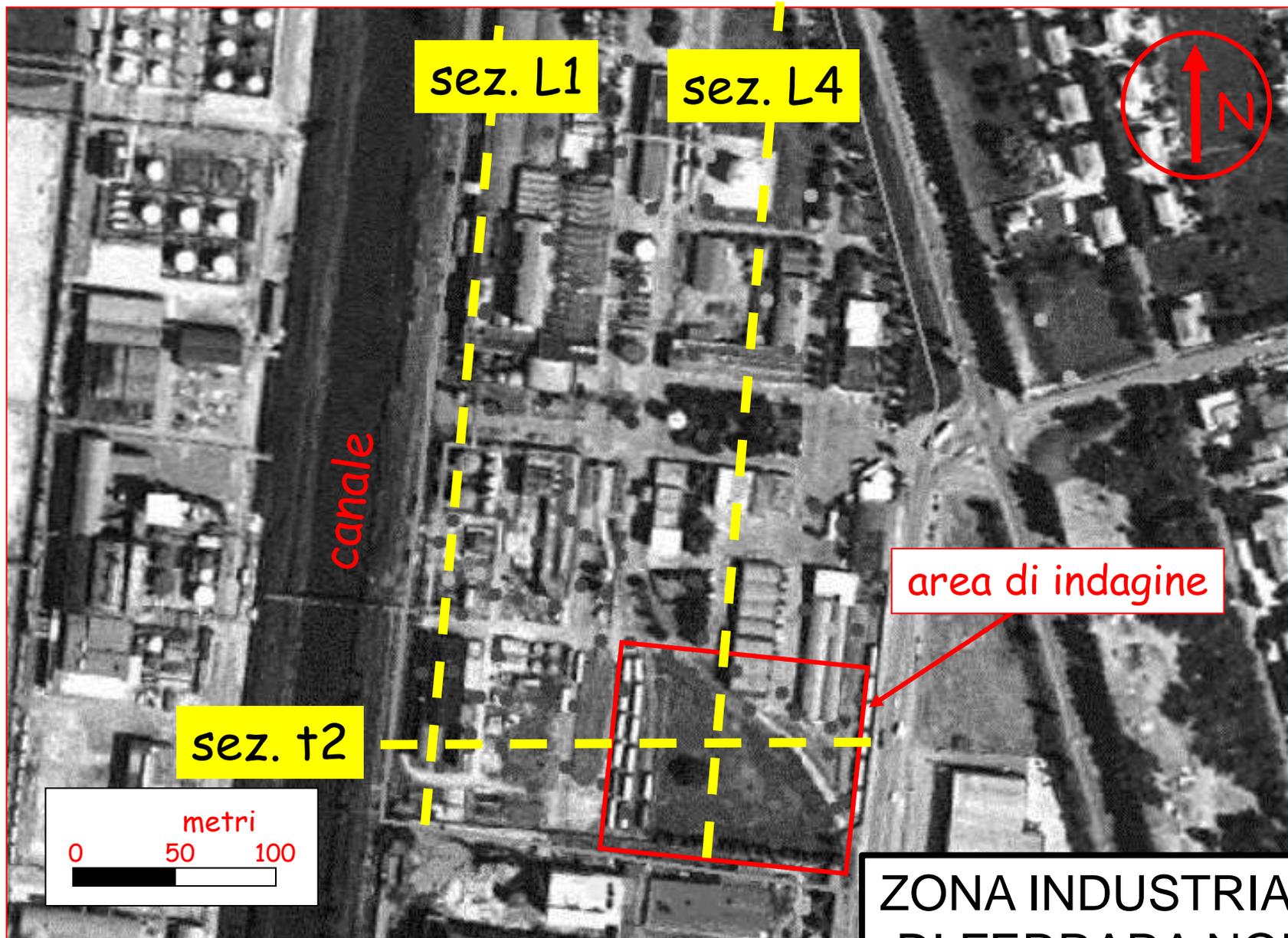
B/W thresholding



Acqua “vecchia” o acqua “nuova” ?

IL FLUSSO SOTTERRANEO
PROFONDO E' IL PERCORSO
PRINCIPALE

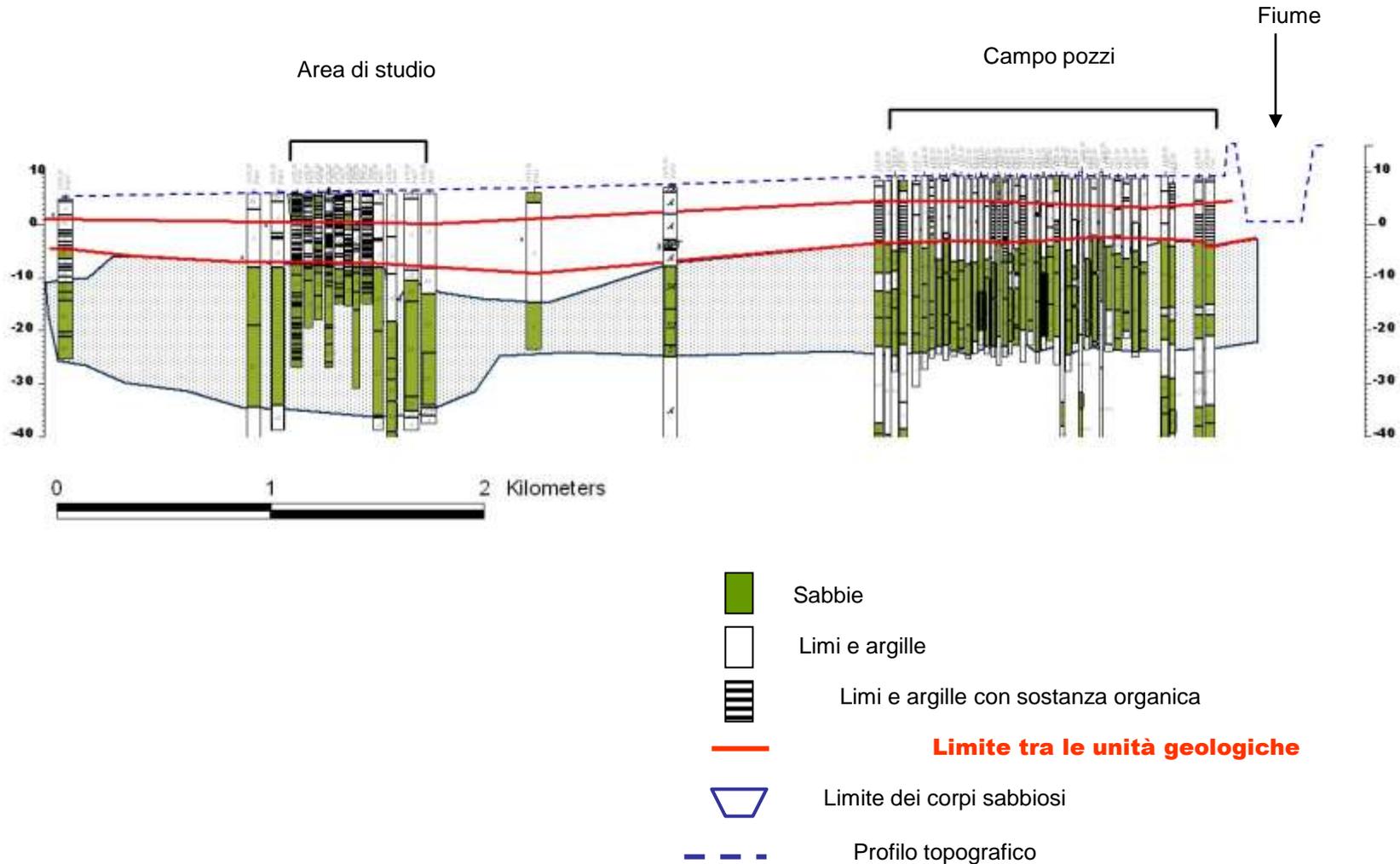


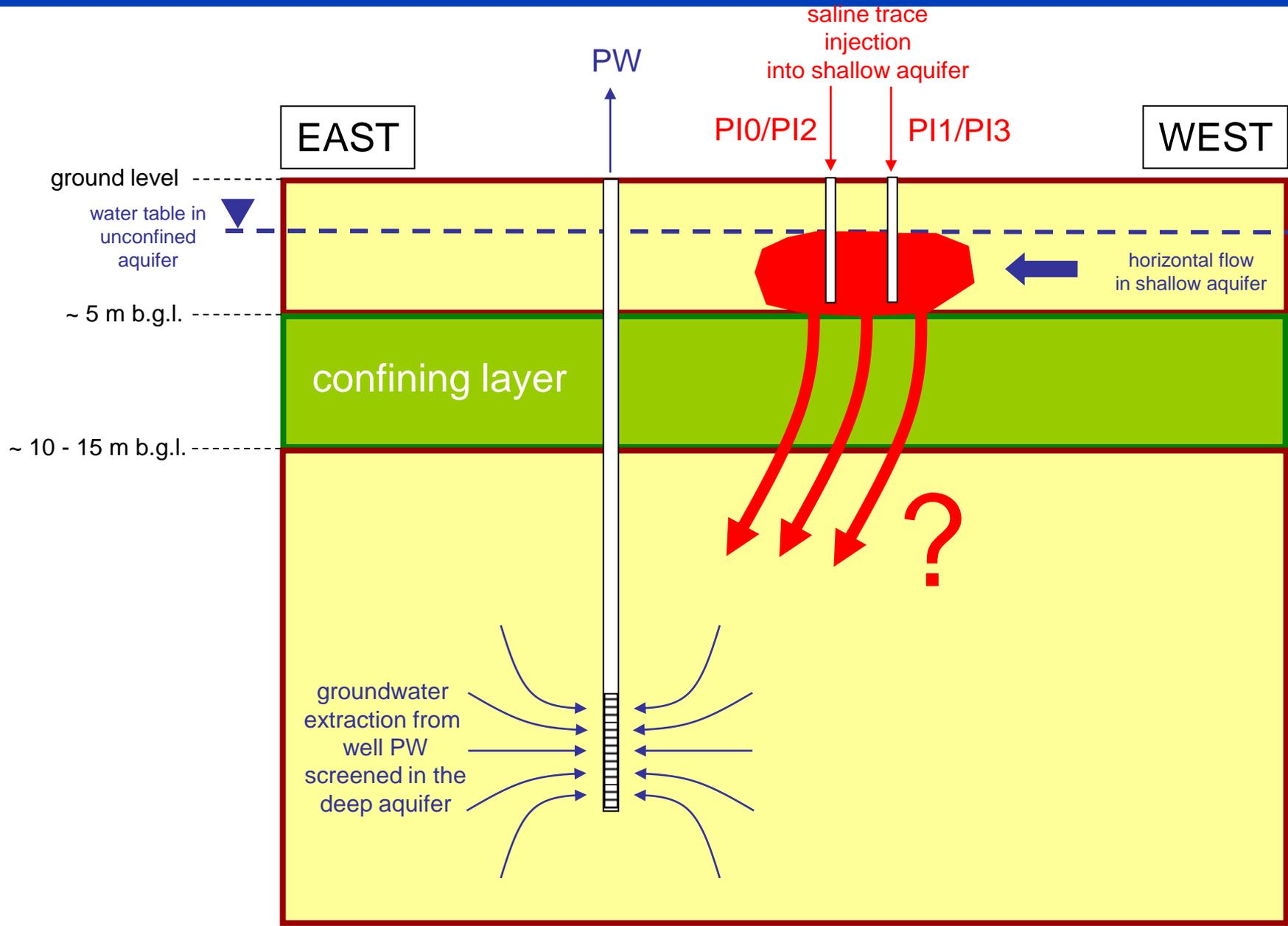


ZONA INDUSTRIALE
DI FERRARA NORD



Estensione regionale delle formazioni di interesse

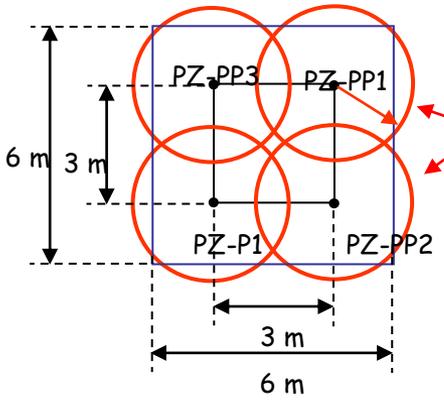






Test con tracciante

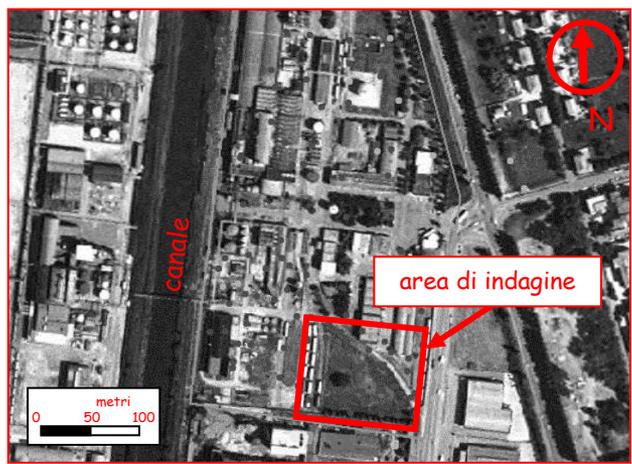
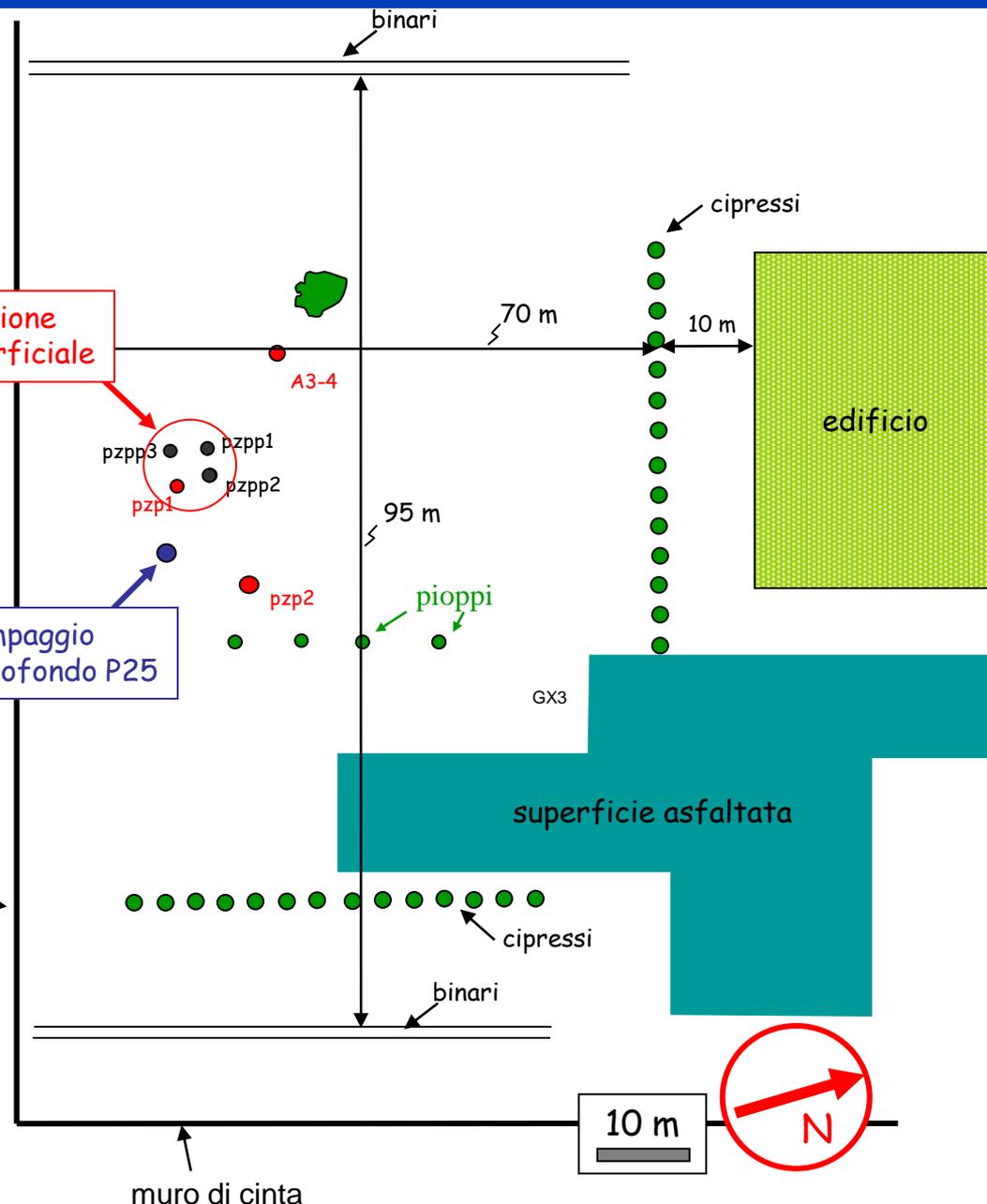
volume d'acqua iniettato = 20 m³
concentrazione NaCl = 6 g/litro
conduttività della soluzione ≈ 11 mS/cm
conduttività dell'acqua in sito ≈ 1-2 mS/cm
durata dell'iniezione ≈ 22 ore



pozzetti di iniezione nell'acquifero superficiale

raggio di iniezione di ciascun pozzo

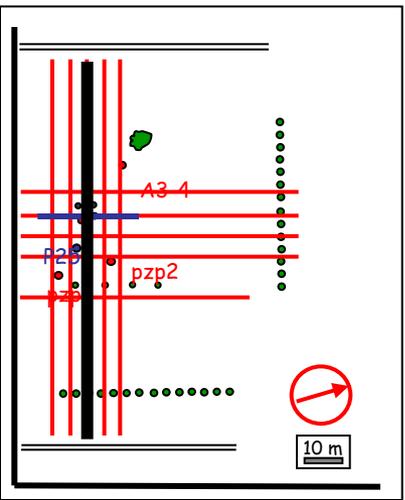
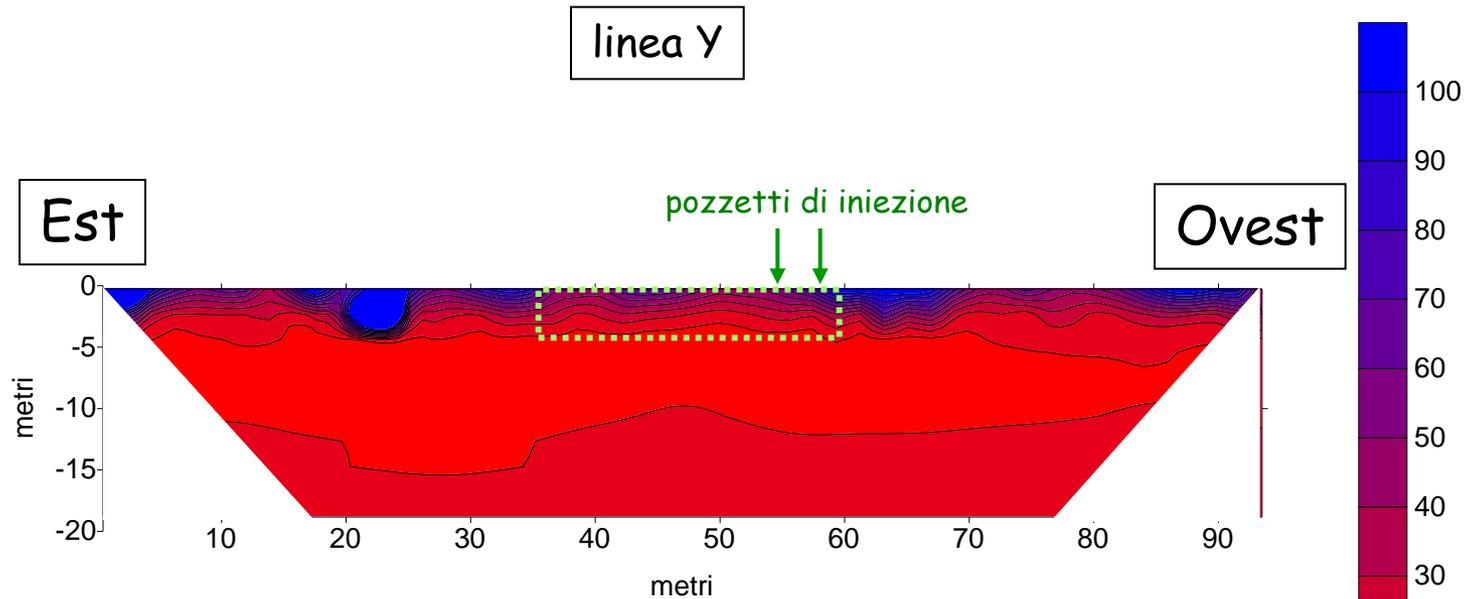
pozzo di pompaggio dall'acquifero profondo P25





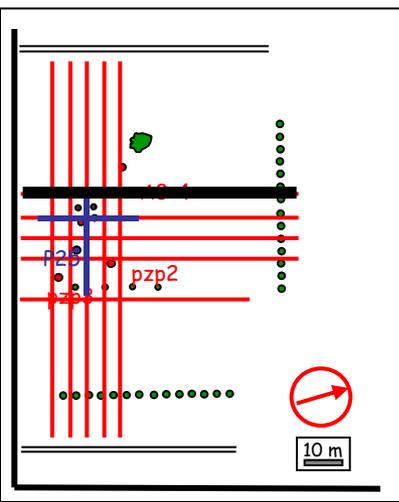
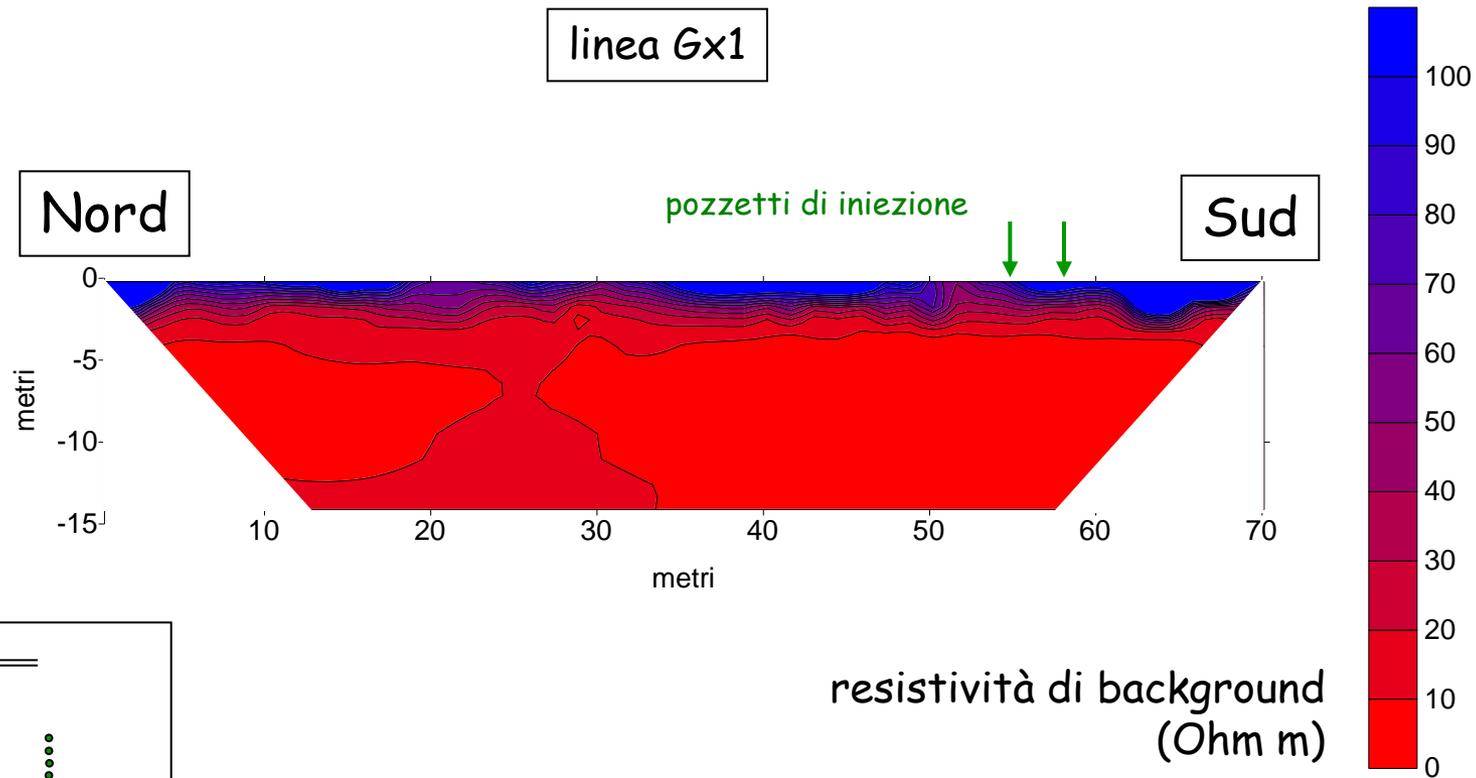


Survey di base (pre-iniezione)



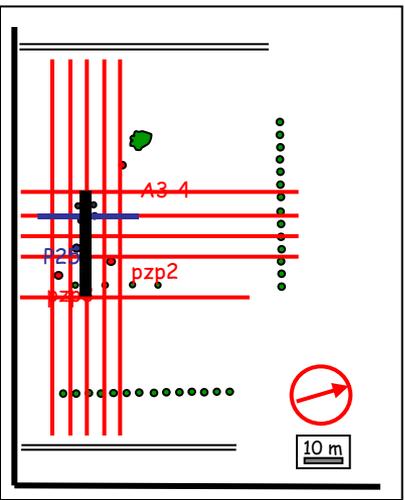
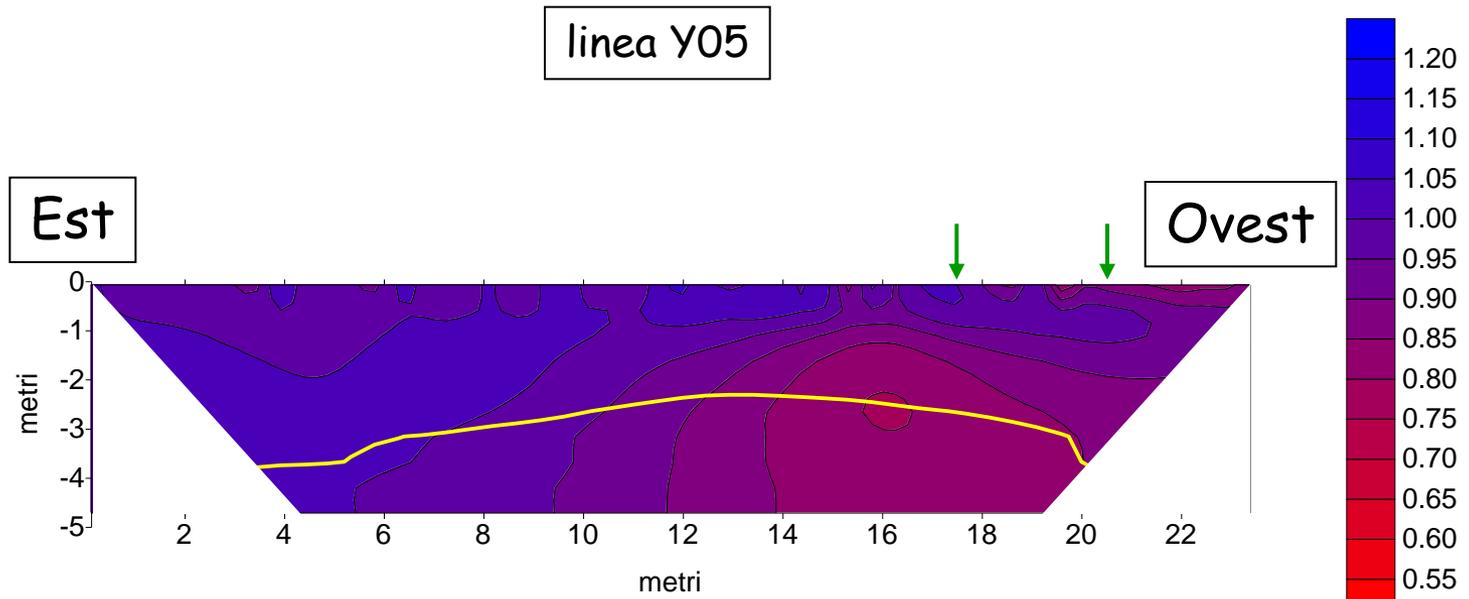


Survey di base (pre-iniezione)



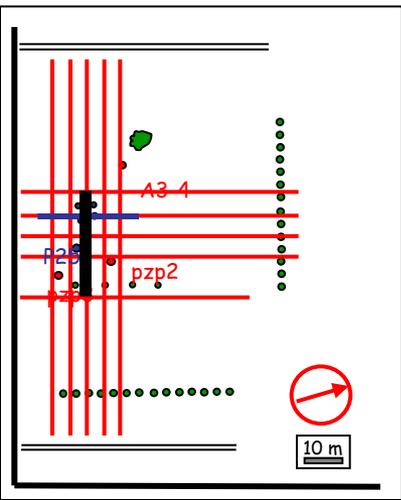
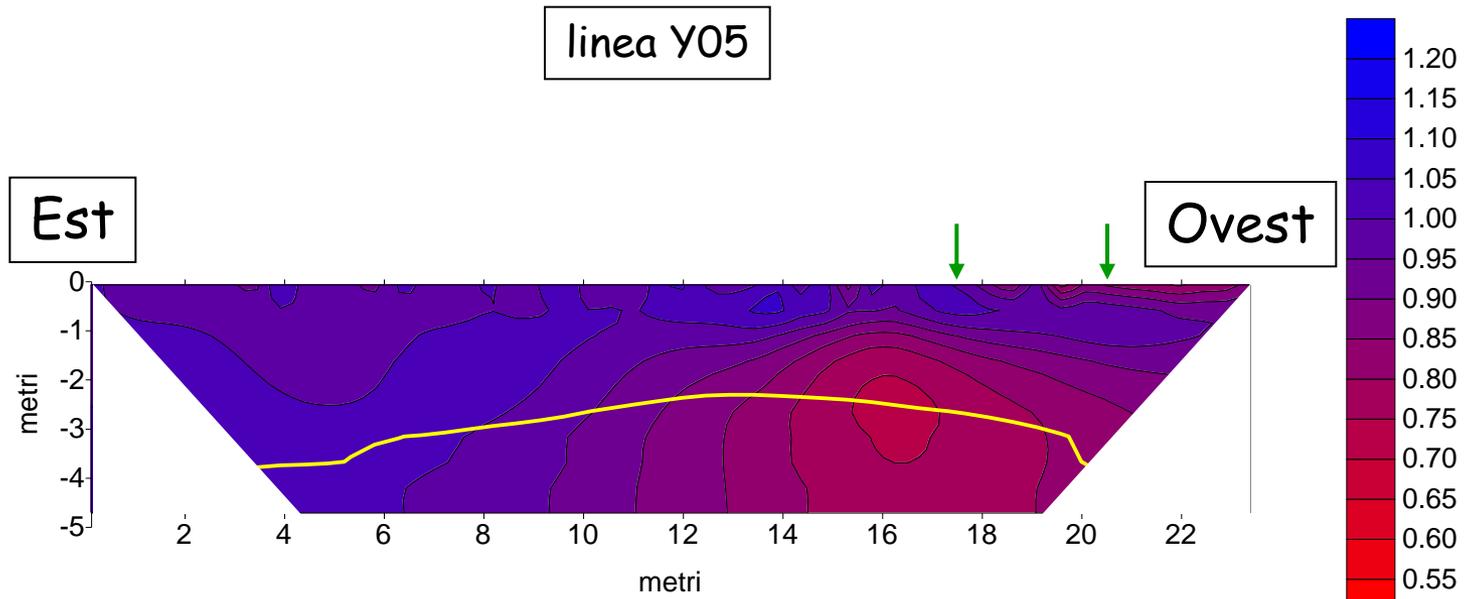


Iniezione del tracciante



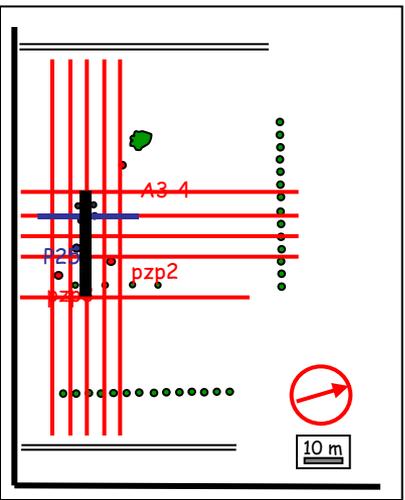
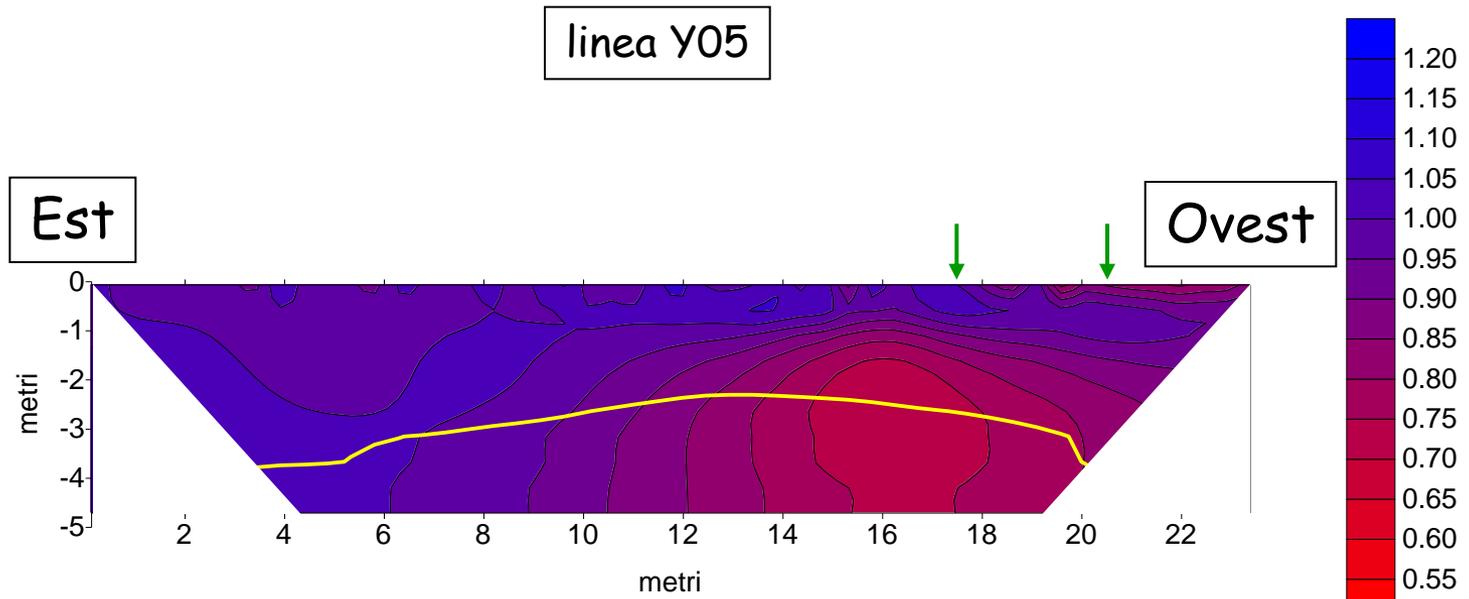


Iniezione del tracciante



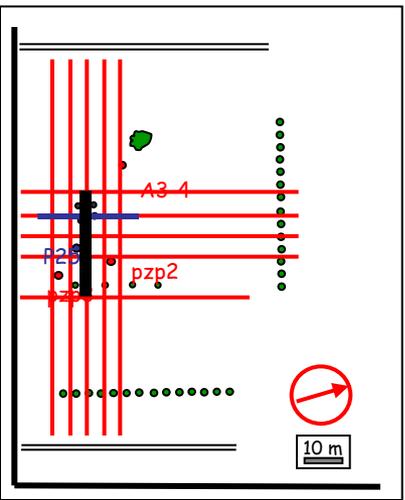
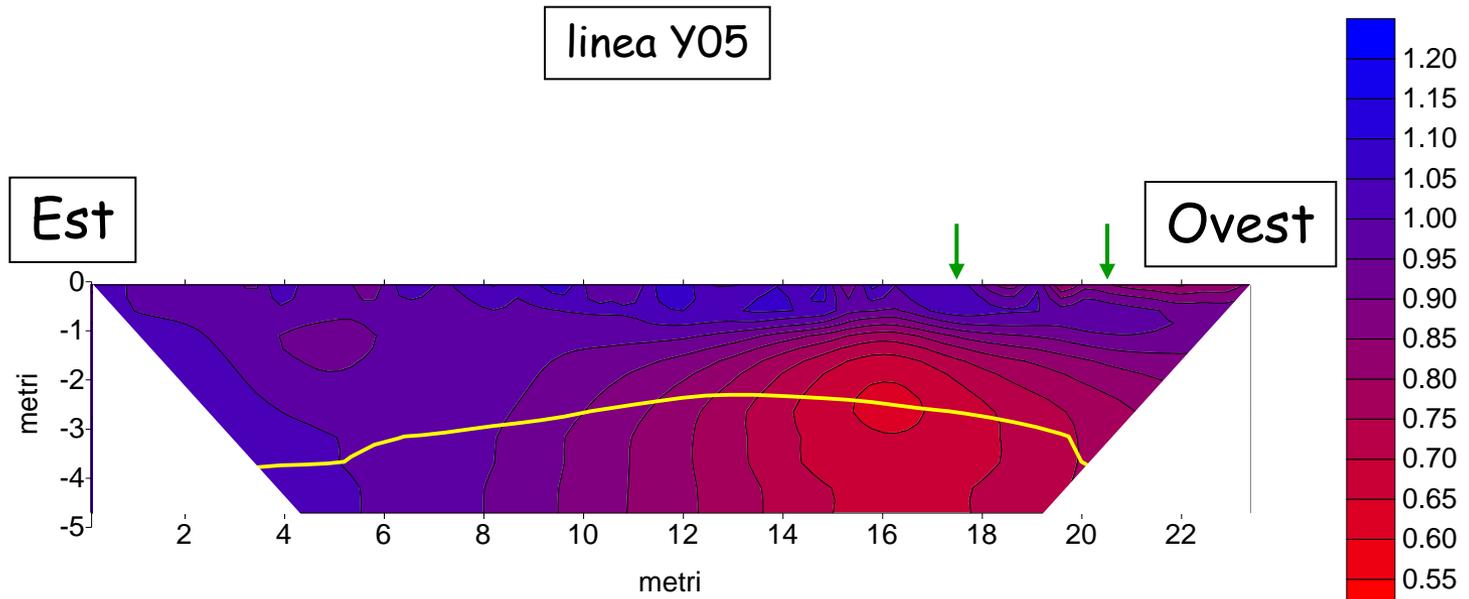


Iniezione del tracciante



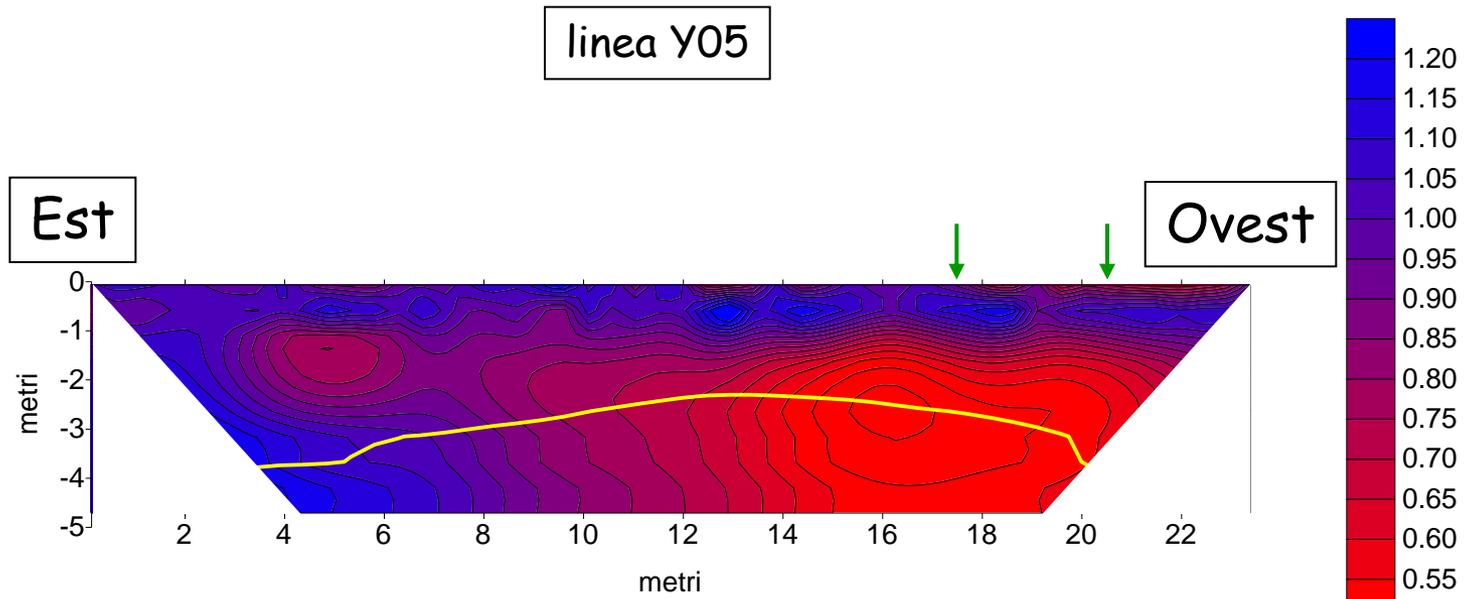


Iniezione del tracciante

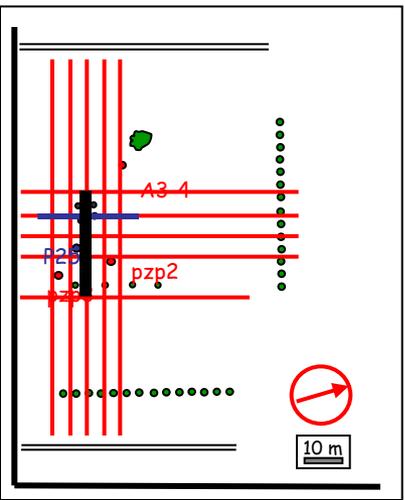




Iniezione del tracciante

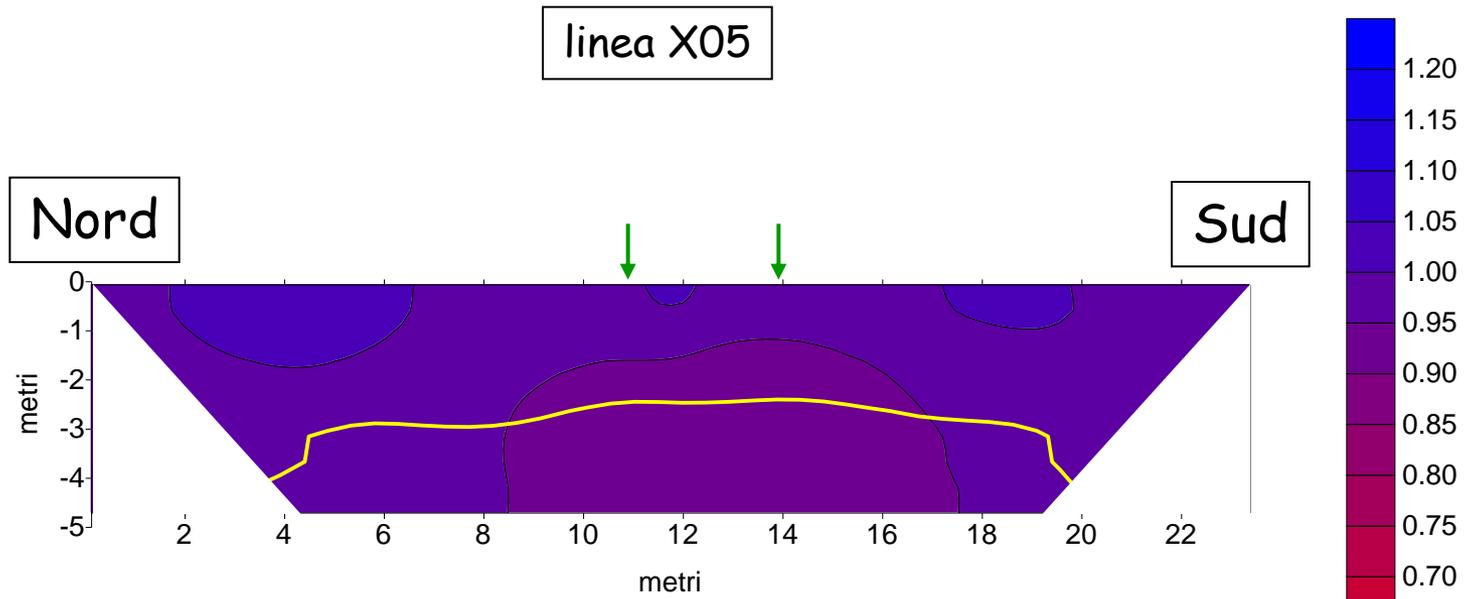


rapporto di resistività
rispetto al background

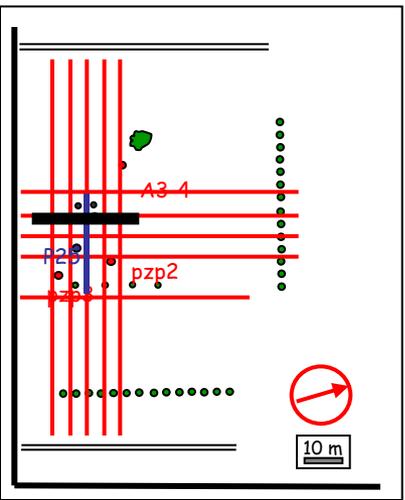




Iniezione del tracciante

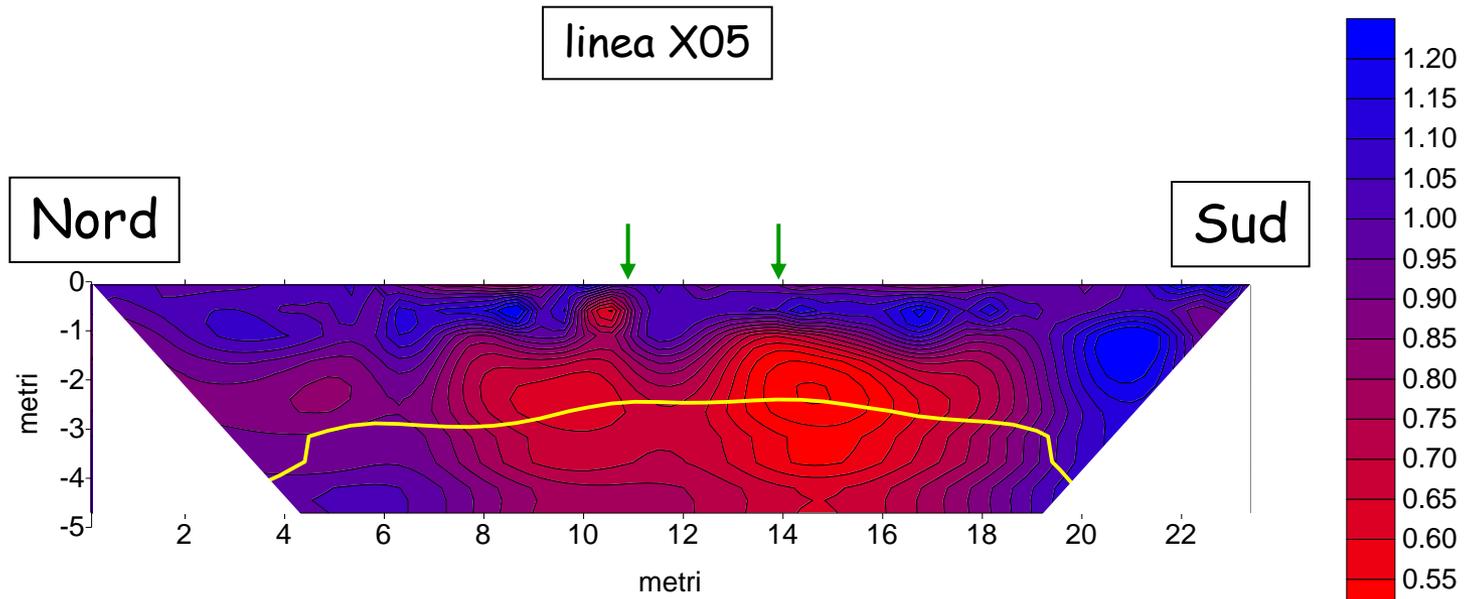


rapporto di resistività
rispetto al background

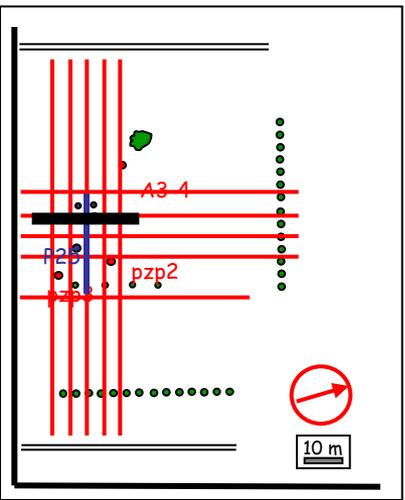




Iniezione del tracciante

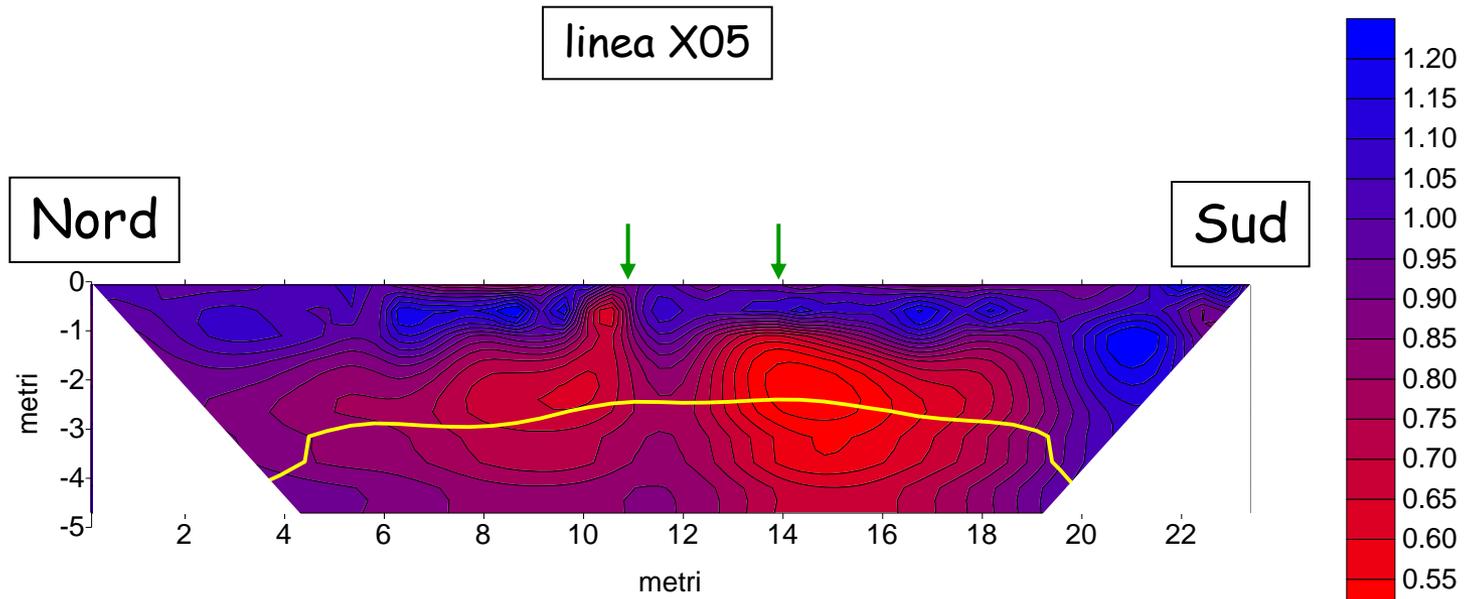


rapporto di resistività
rispetto al background

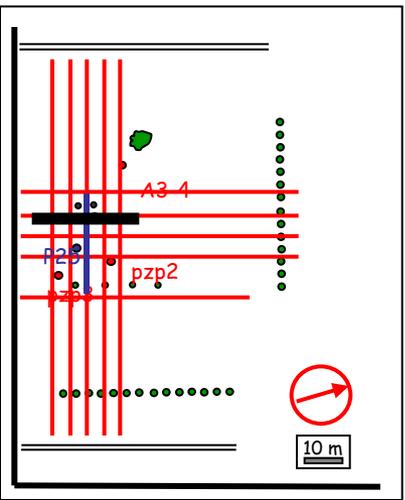




Iniezione del tracciante

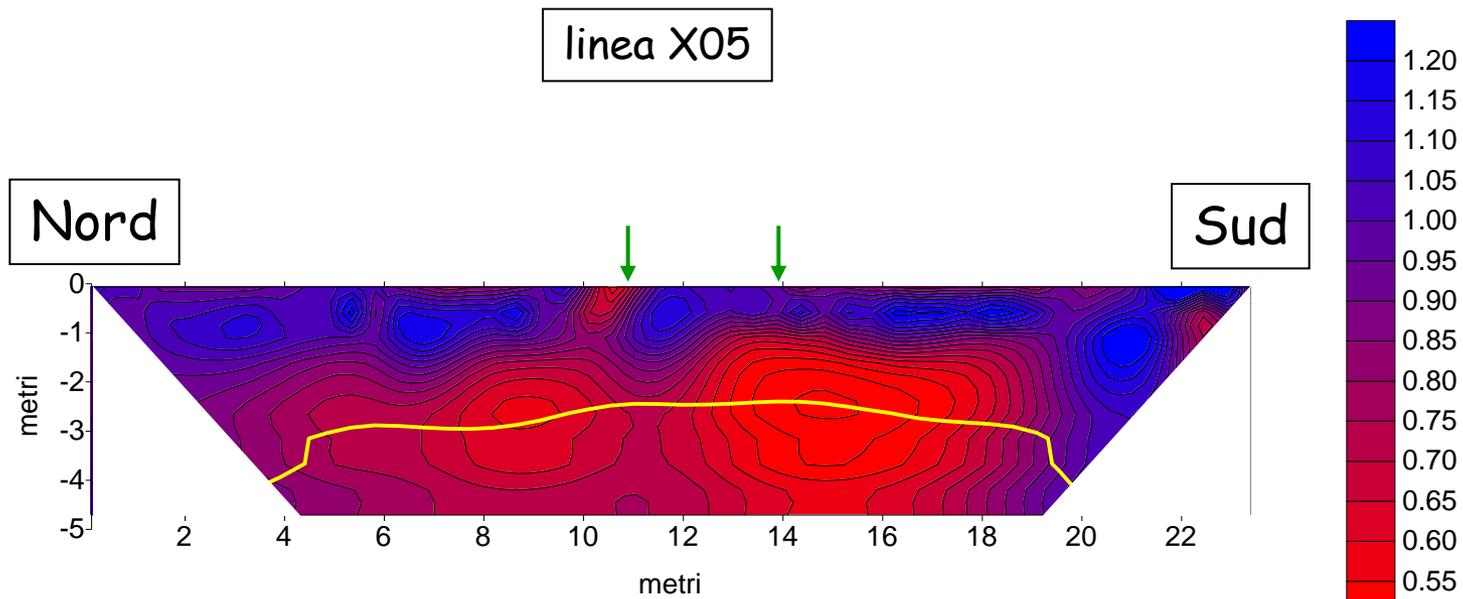


rapporto di resistività
rispetto al background

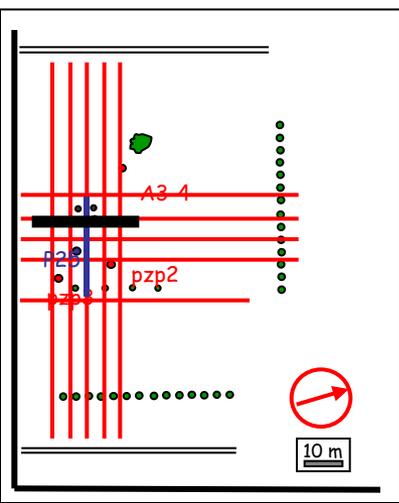




Iniezione del tracciante



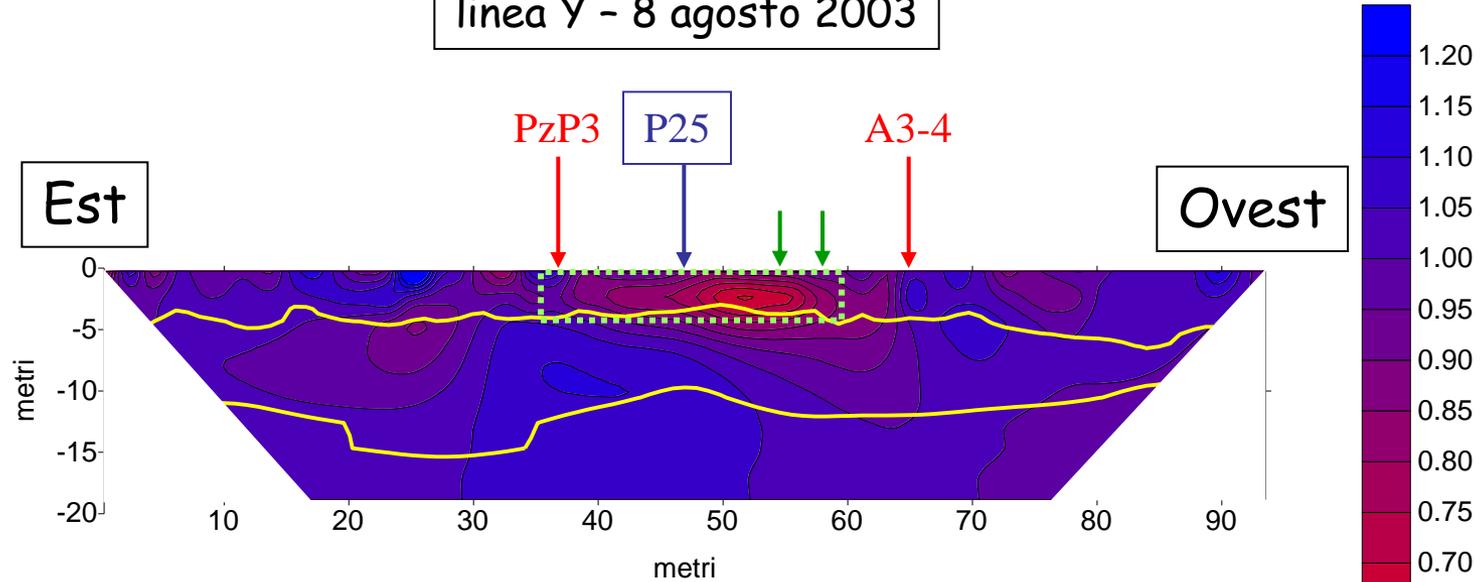
rapporto di resistività
rispetto al background



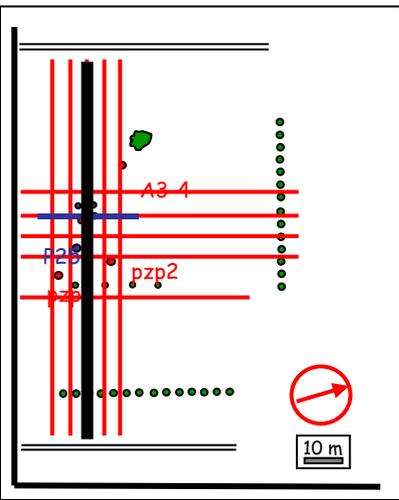


Surveys post-iniezione

linea Y - 8 agosto 2003



rapporto di resistività
rispetto al background

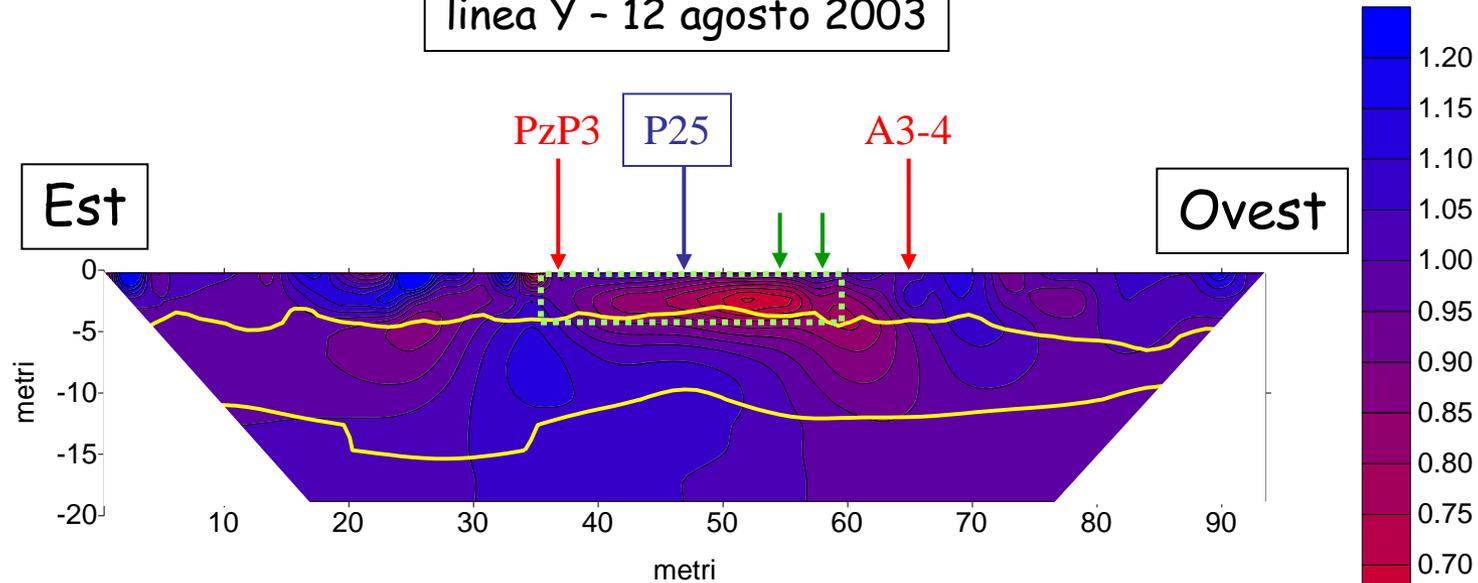


←
direzione prevalente della faldina superficiale

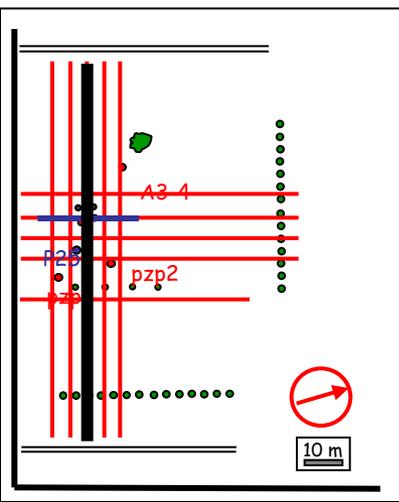


Surveys post-iniezione

linea Y - 12 agosto 2003



rapporto di resistività
rispetto al background

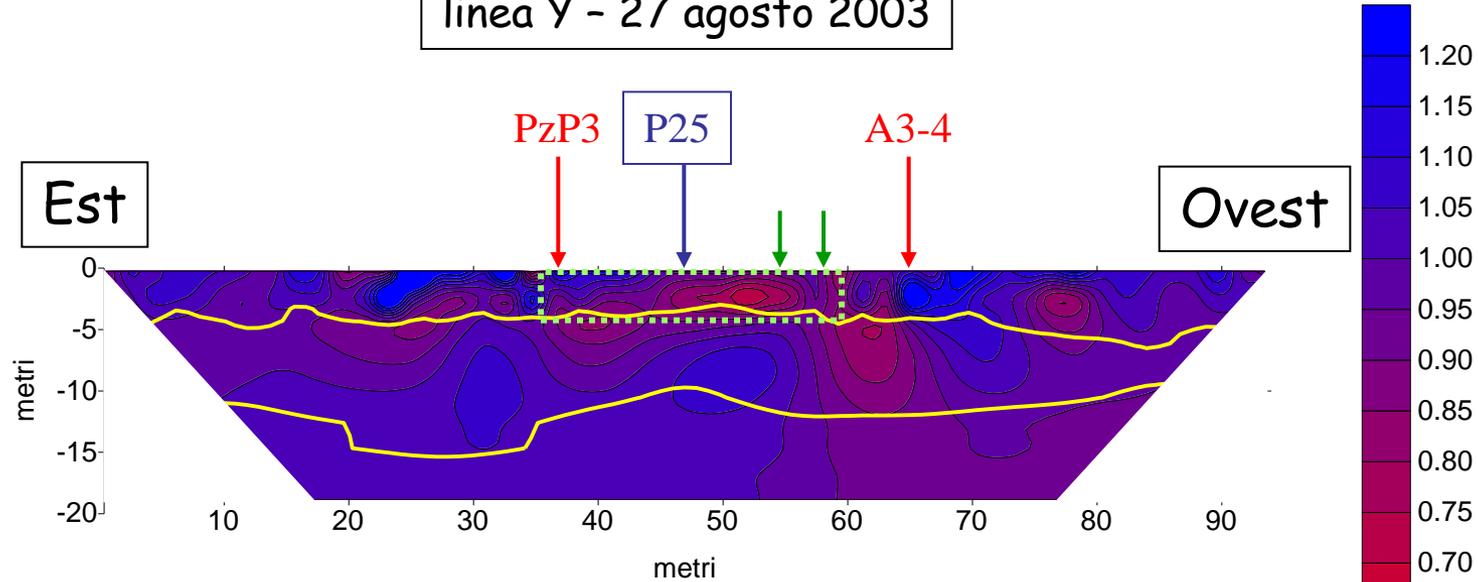


←
direzione prevalente della faldina superficiale

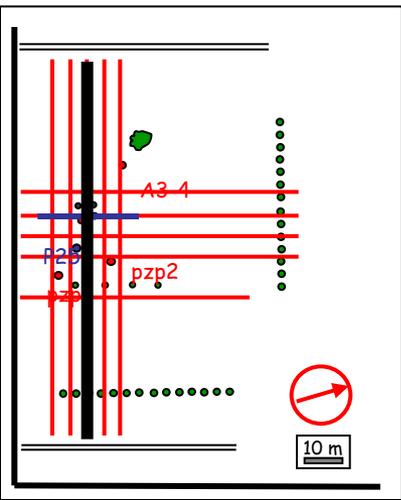


Surveys post-iniezione

linea Y - 27 agosto 2003



rapporto di resistività
rispetto al background

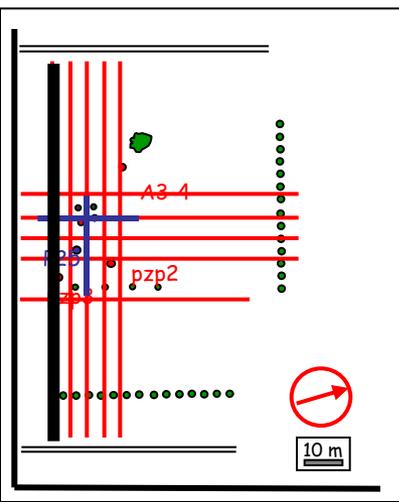
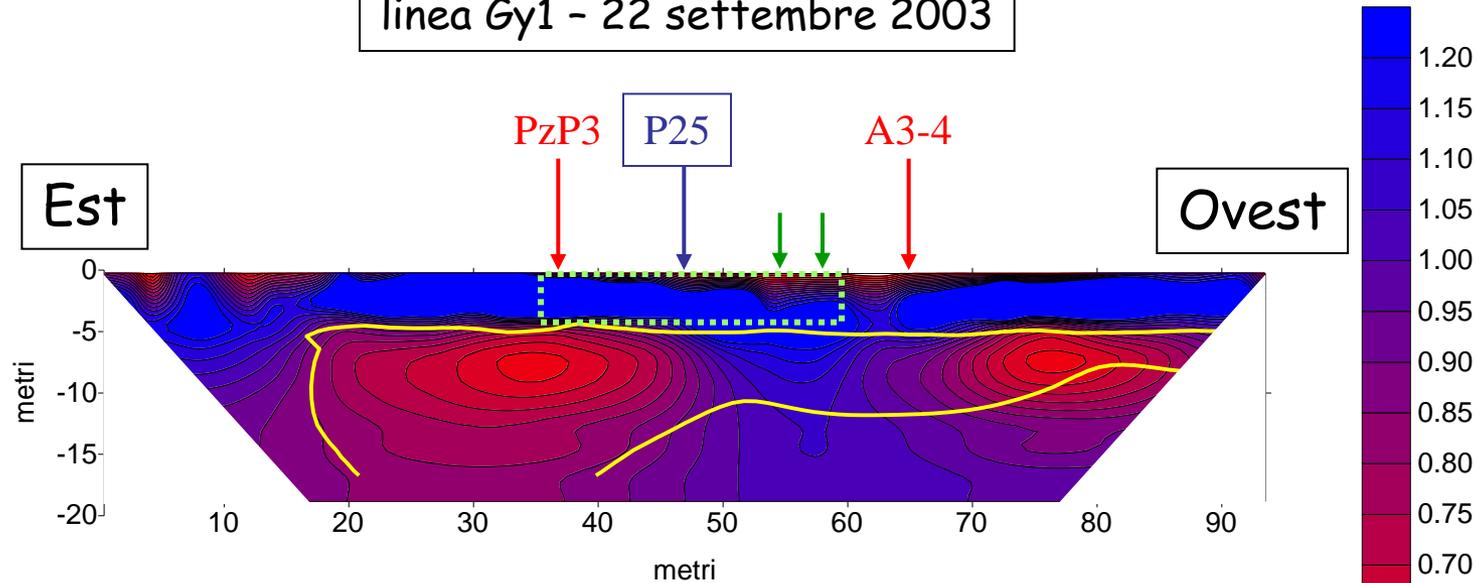


←
direzione prevalente della faldina superficiale



Surveys post-iniezione

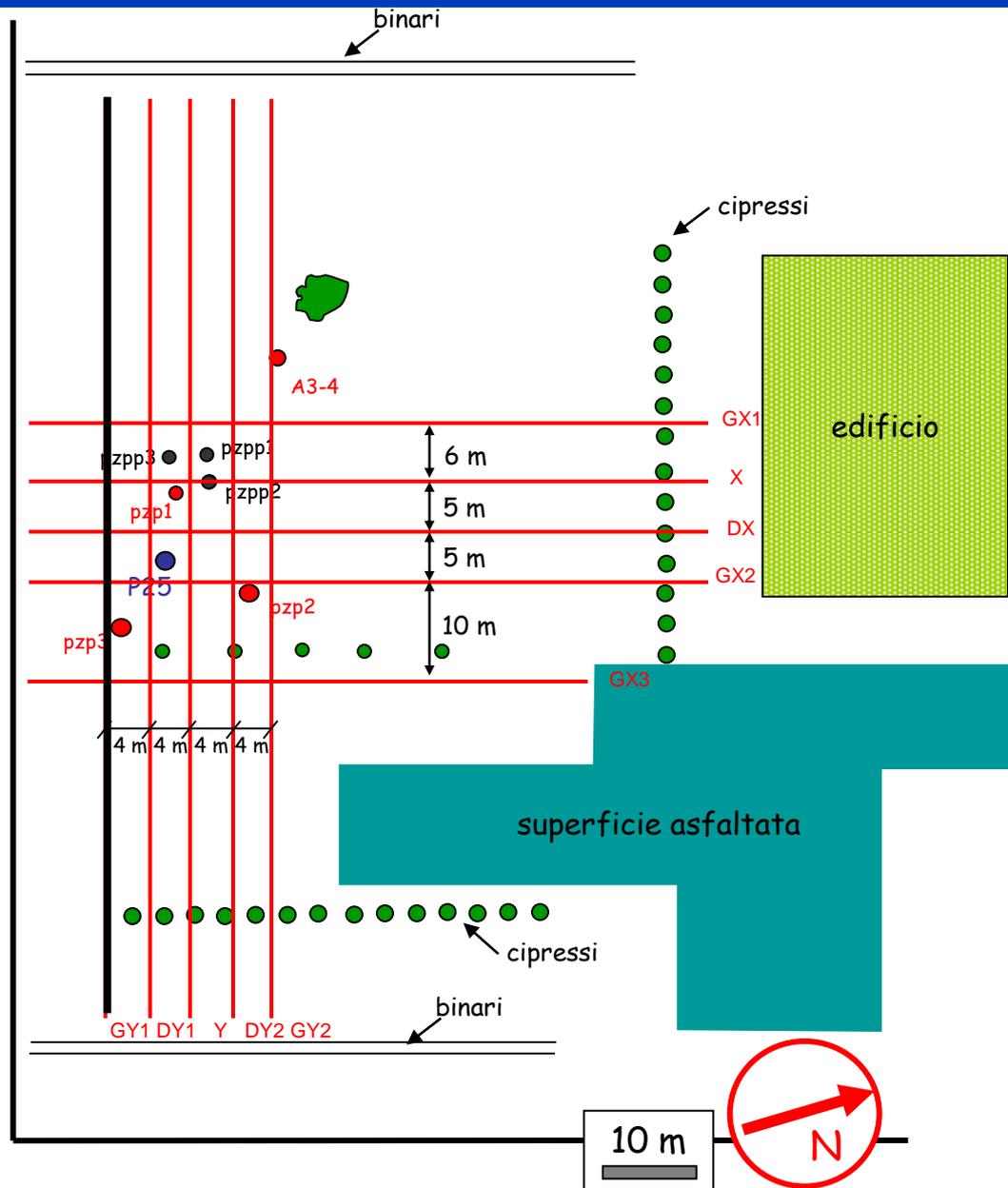
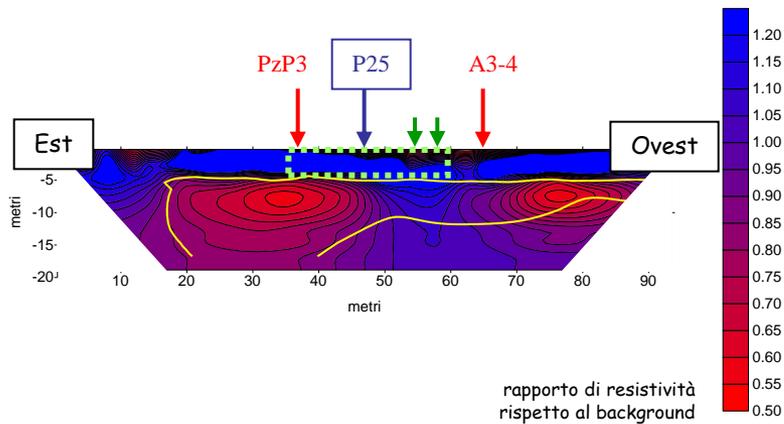
linea Gy1 - 22 settembre 2003





Surveys post-iniezione

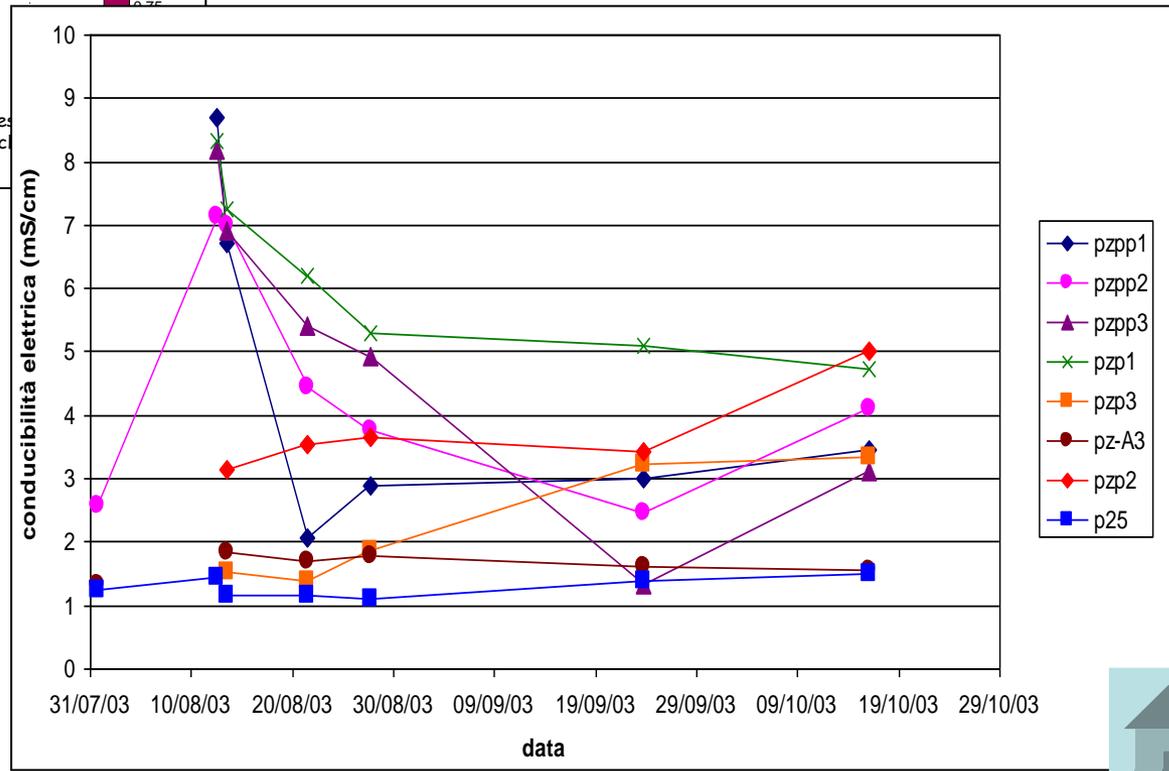
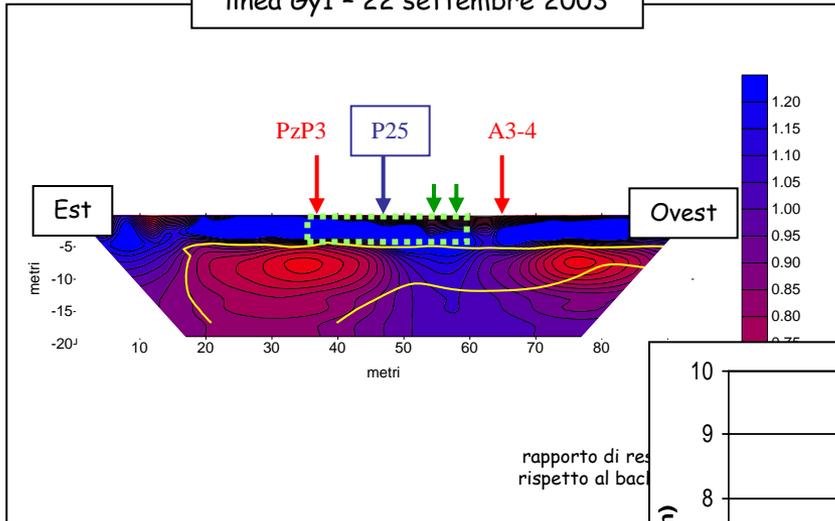
linea Gy1 - 22 settembre 2003





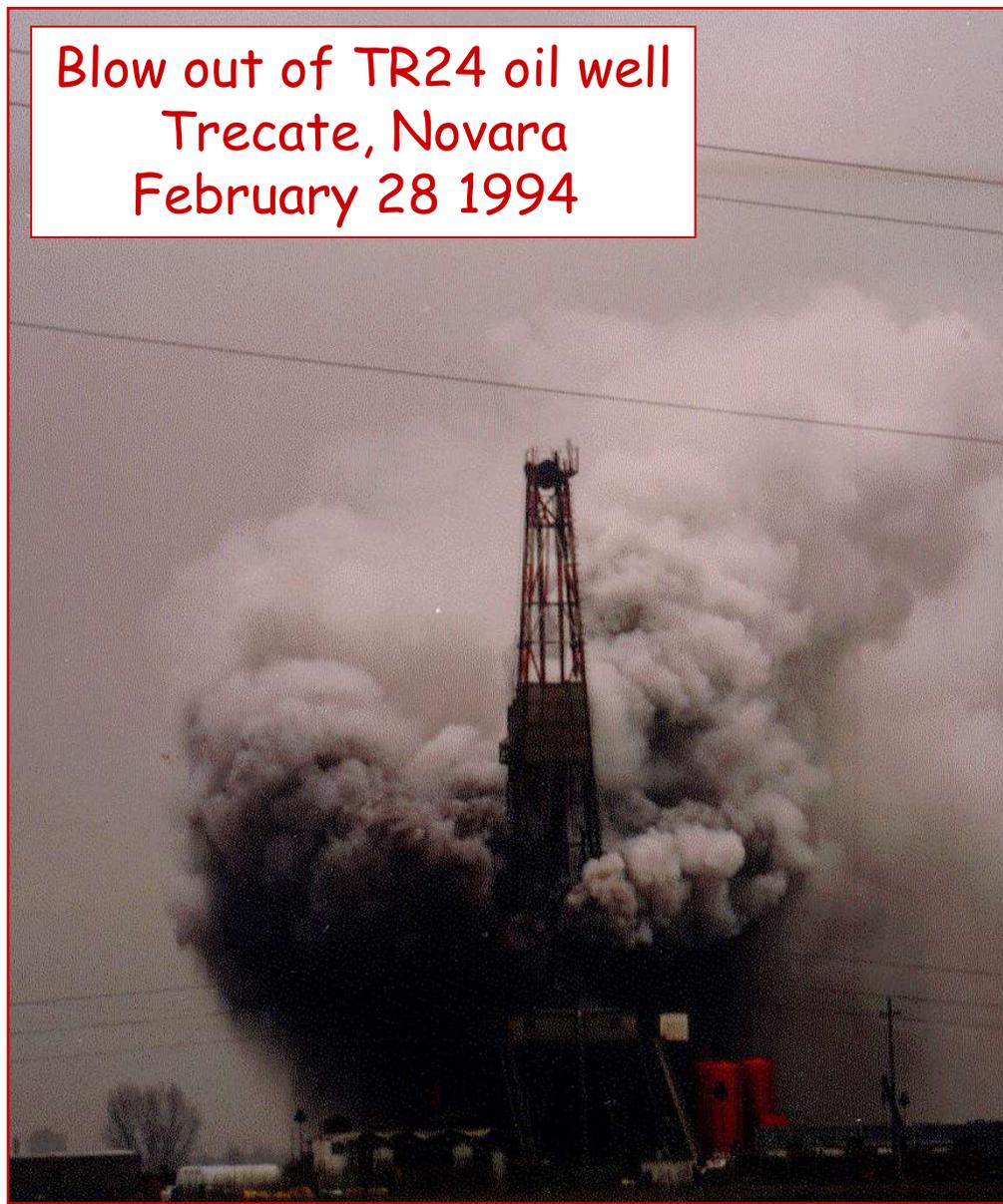
misure dirette di conducibilità elettrica

linea Gy1 - 22 settembre 2003





Blow out of TR24 oil well
Trecate, Novara
February 28 1994





18 years afterwards



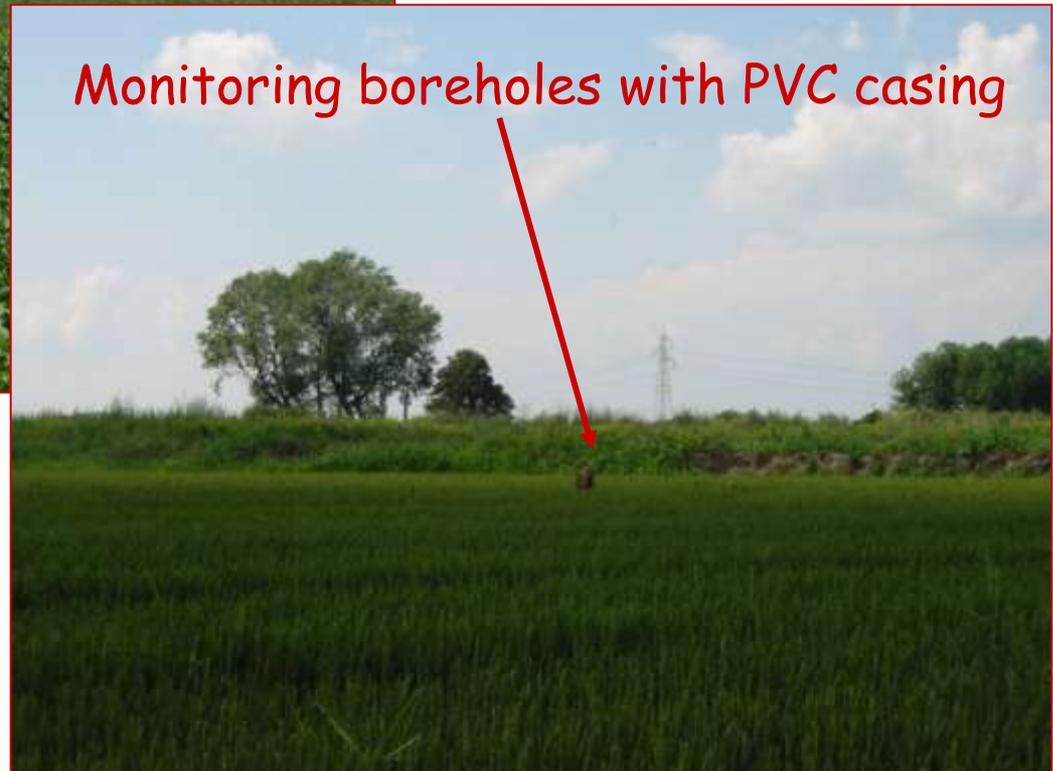


18 years afterwards



Rice, soy and corn fields

Monitoring boreholes with PVC casing



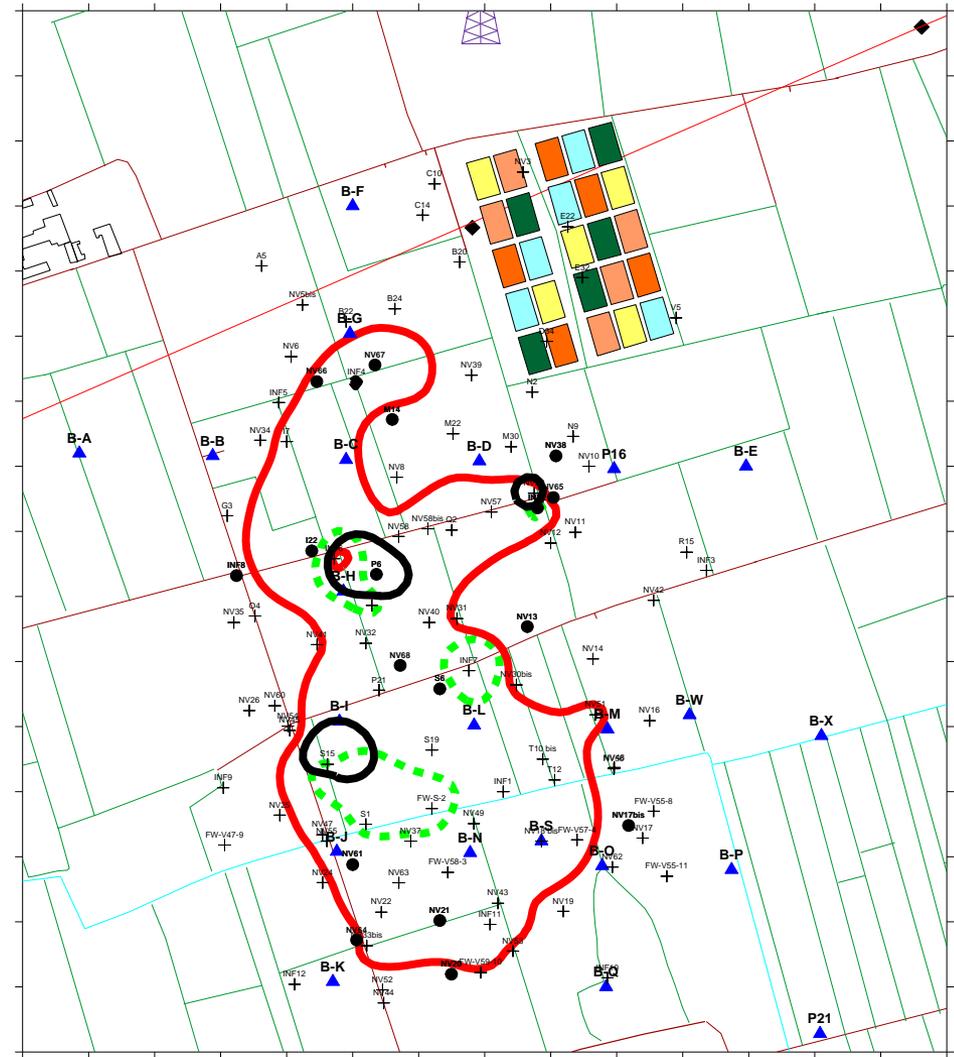


The subsoil is made of silty
and sandy gravel
(fluvio-glacial deposits)





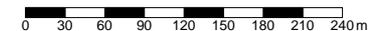
Oil contamination in
the Treocate subsoil
(from Geoprobe samples)



Extent of >500 mg/kg TPH  4 m

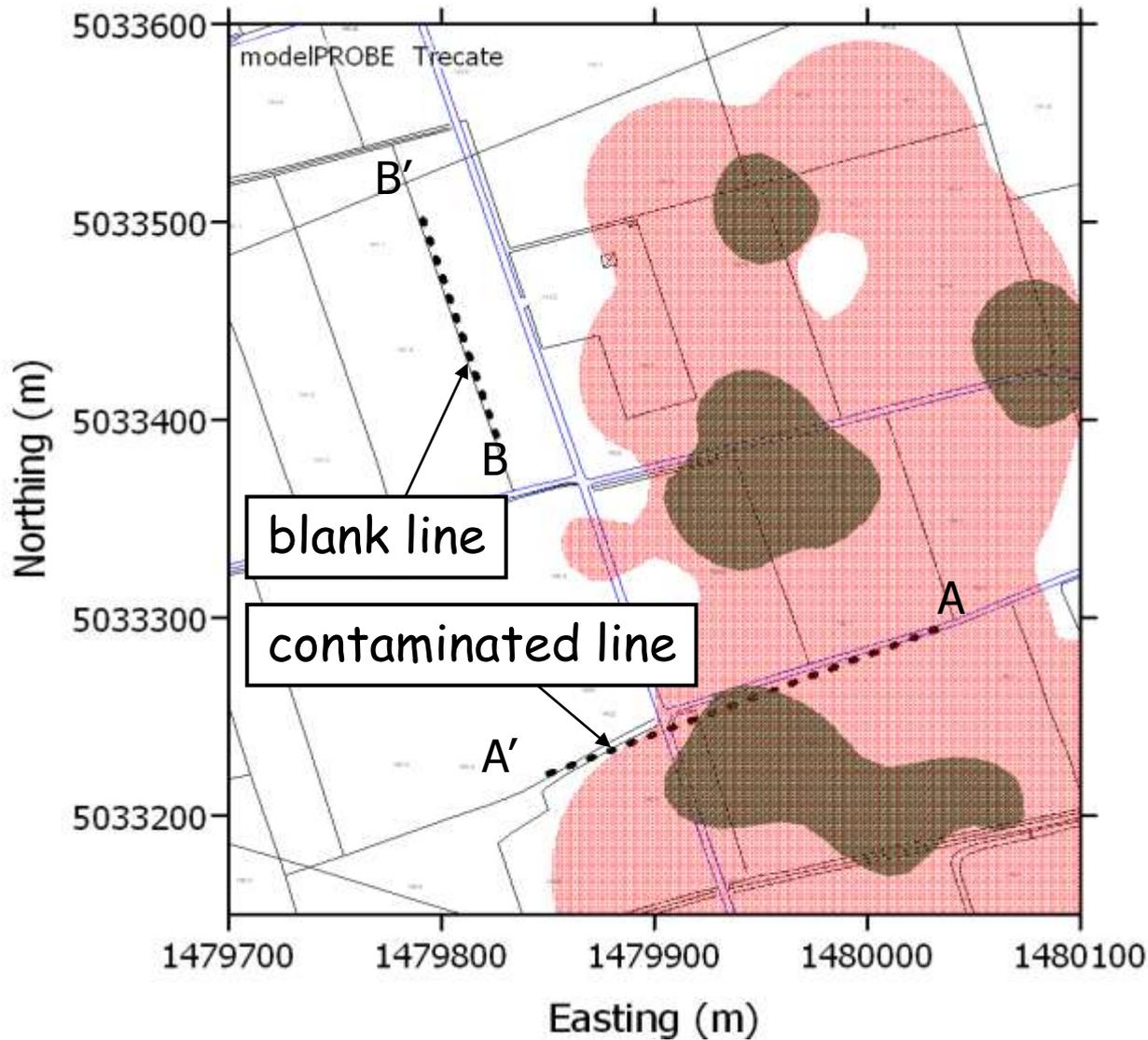
 6 m

 10 m

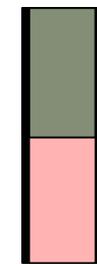




Residual soil contamination



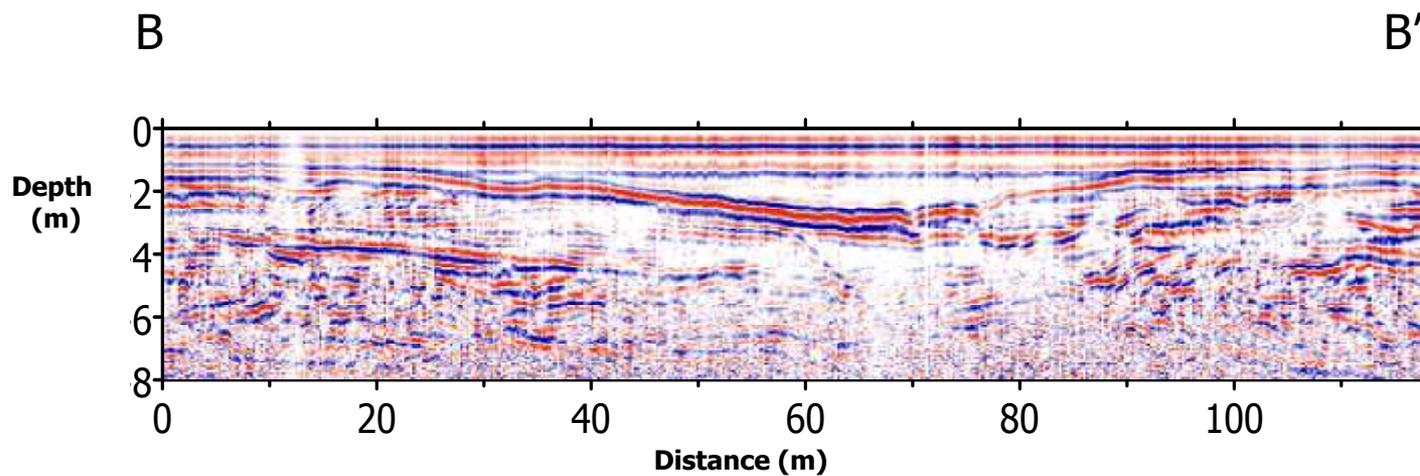
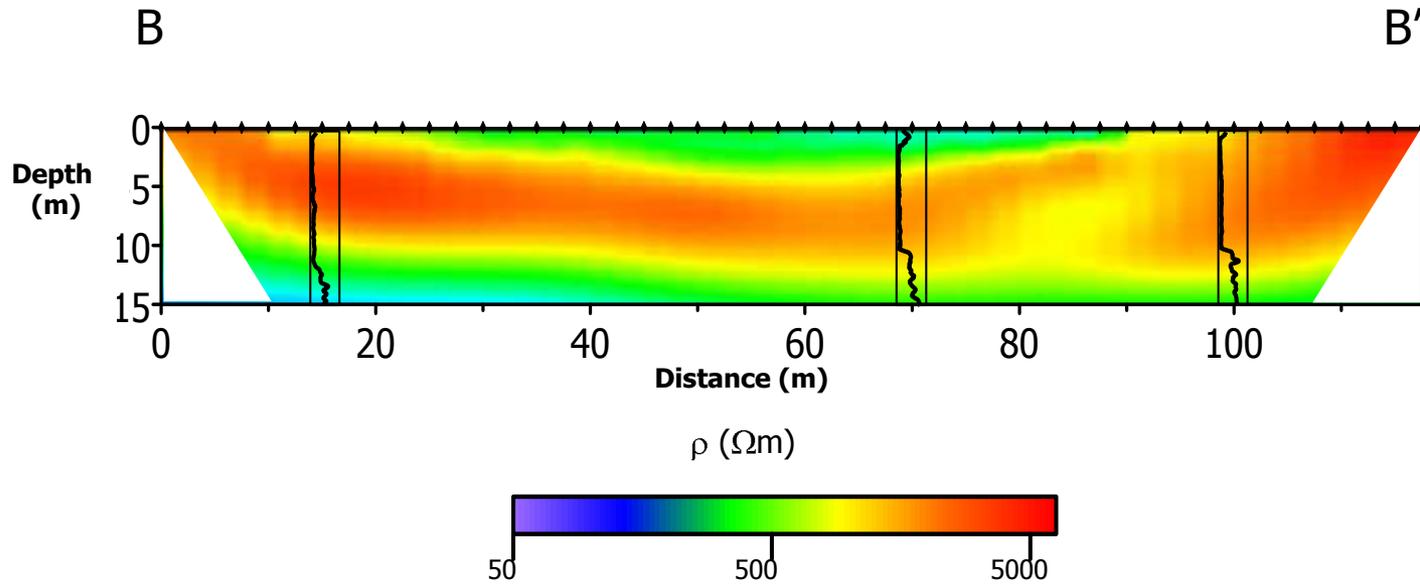
Extent of >500 mg/kg
TPH



4m
10m

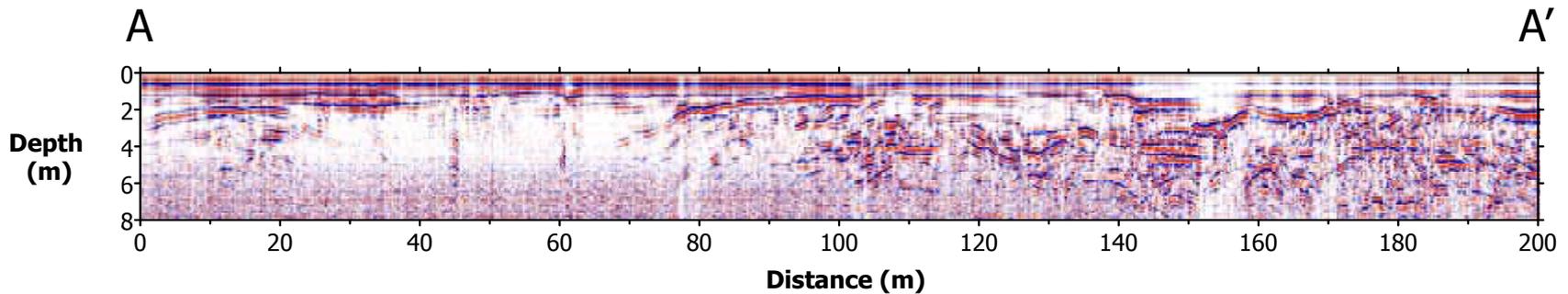
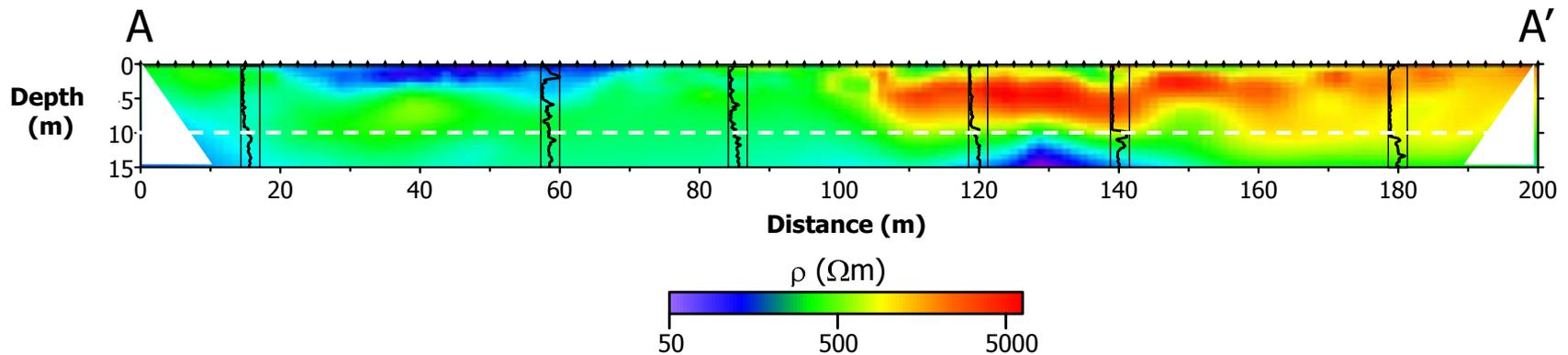
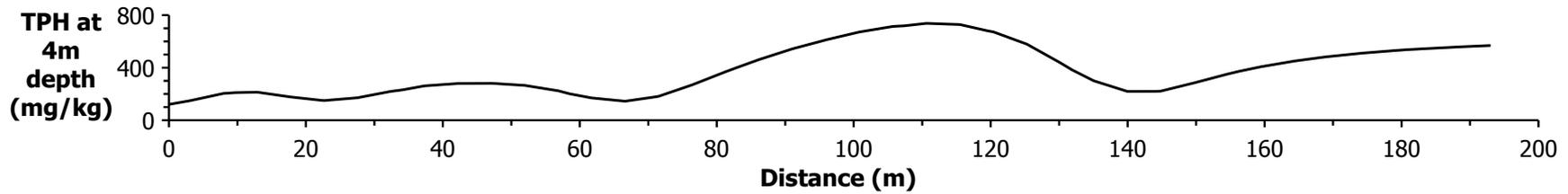


ERT and GPR on blank line B



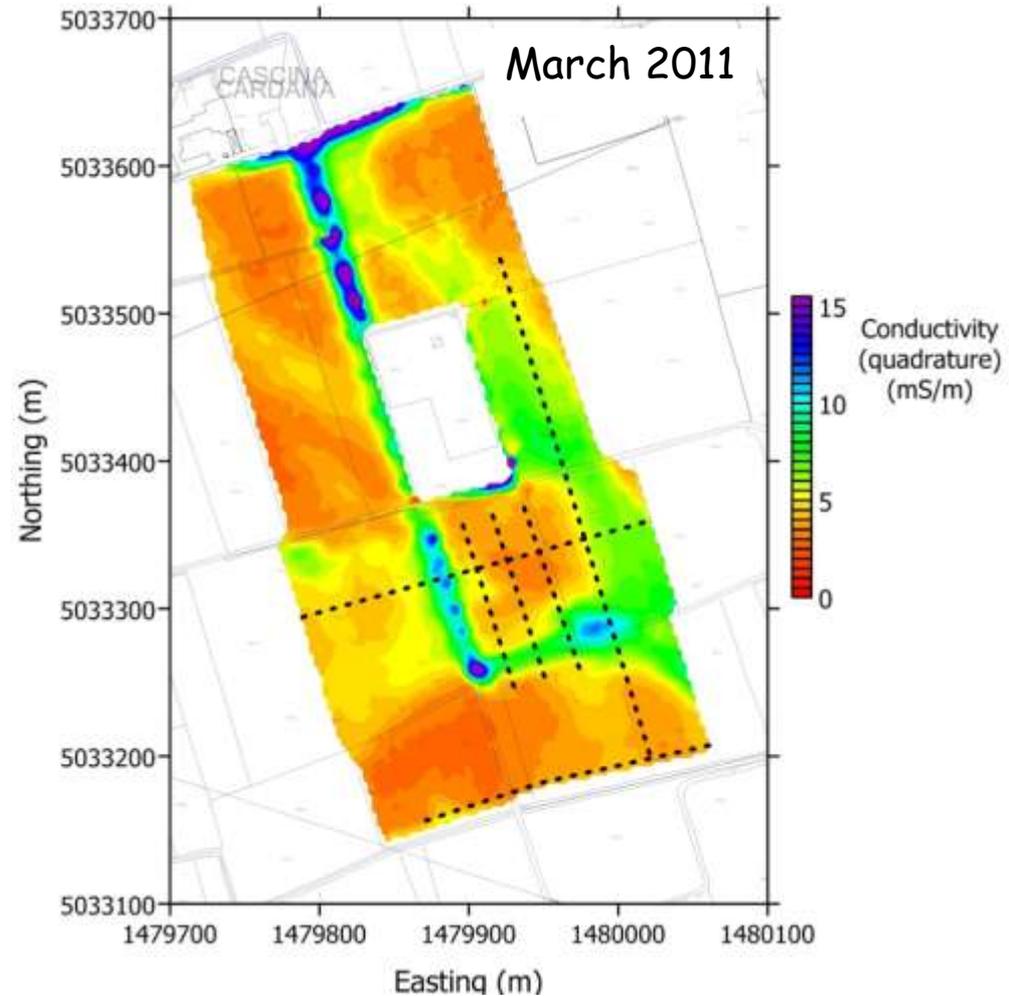
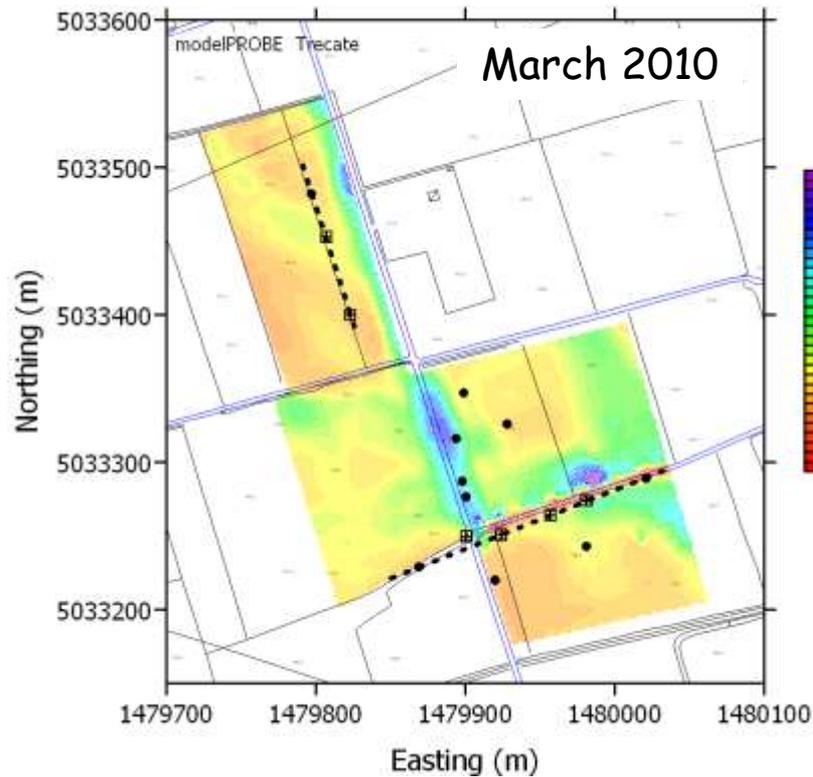


ERT and GPR on contaminated line A



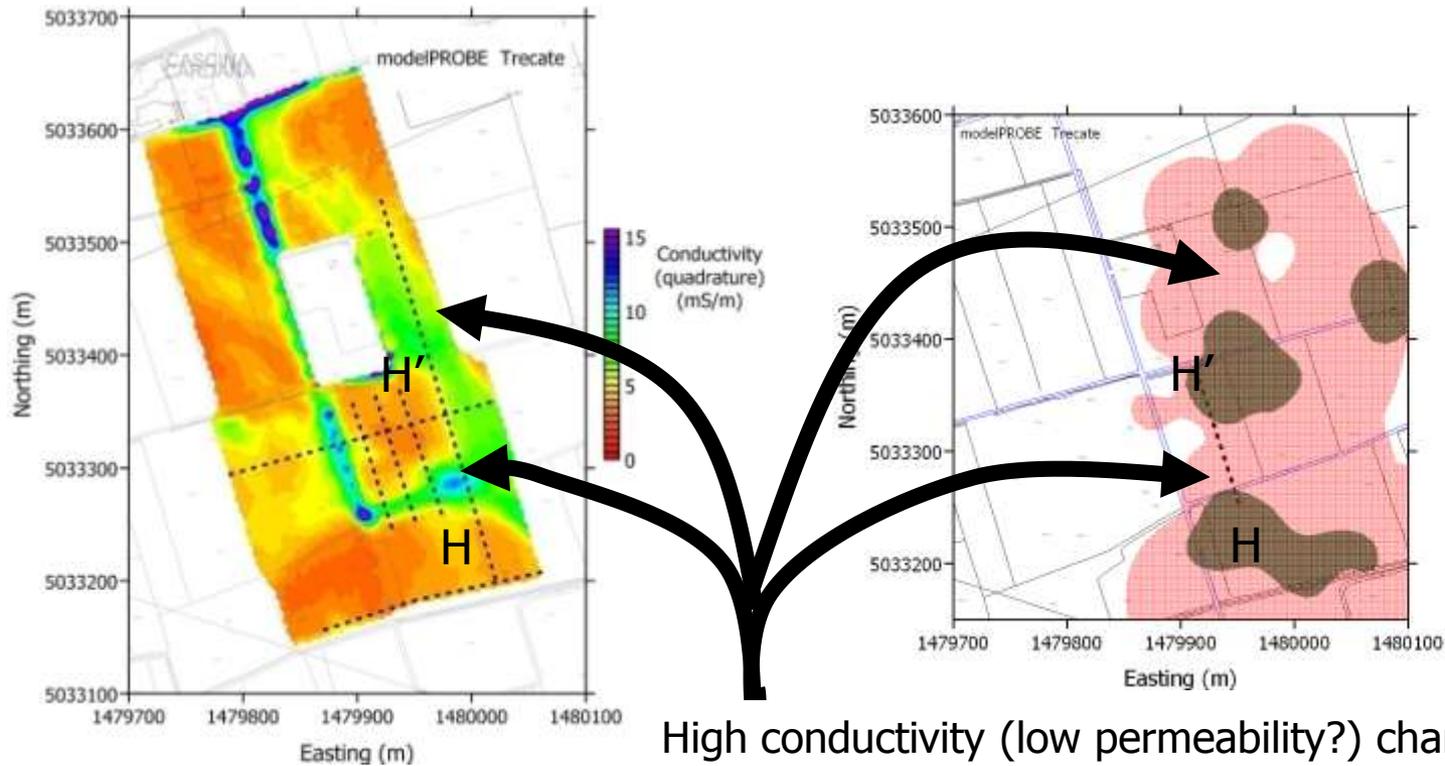


FDEM electrical conductivity maps (6 m depth)

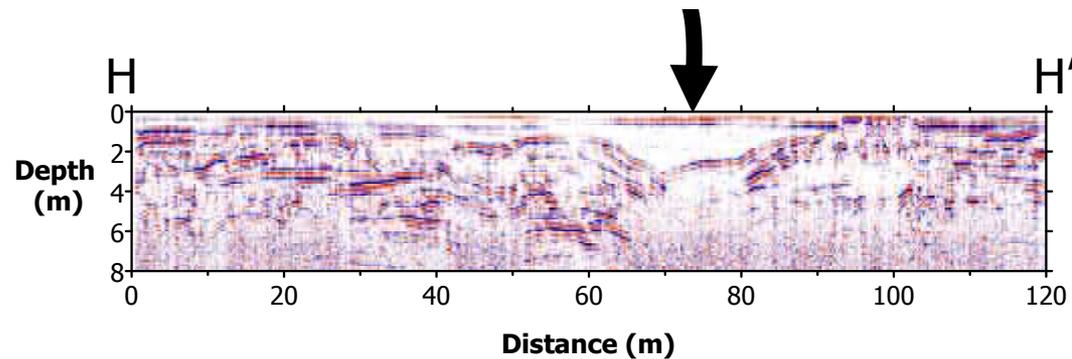


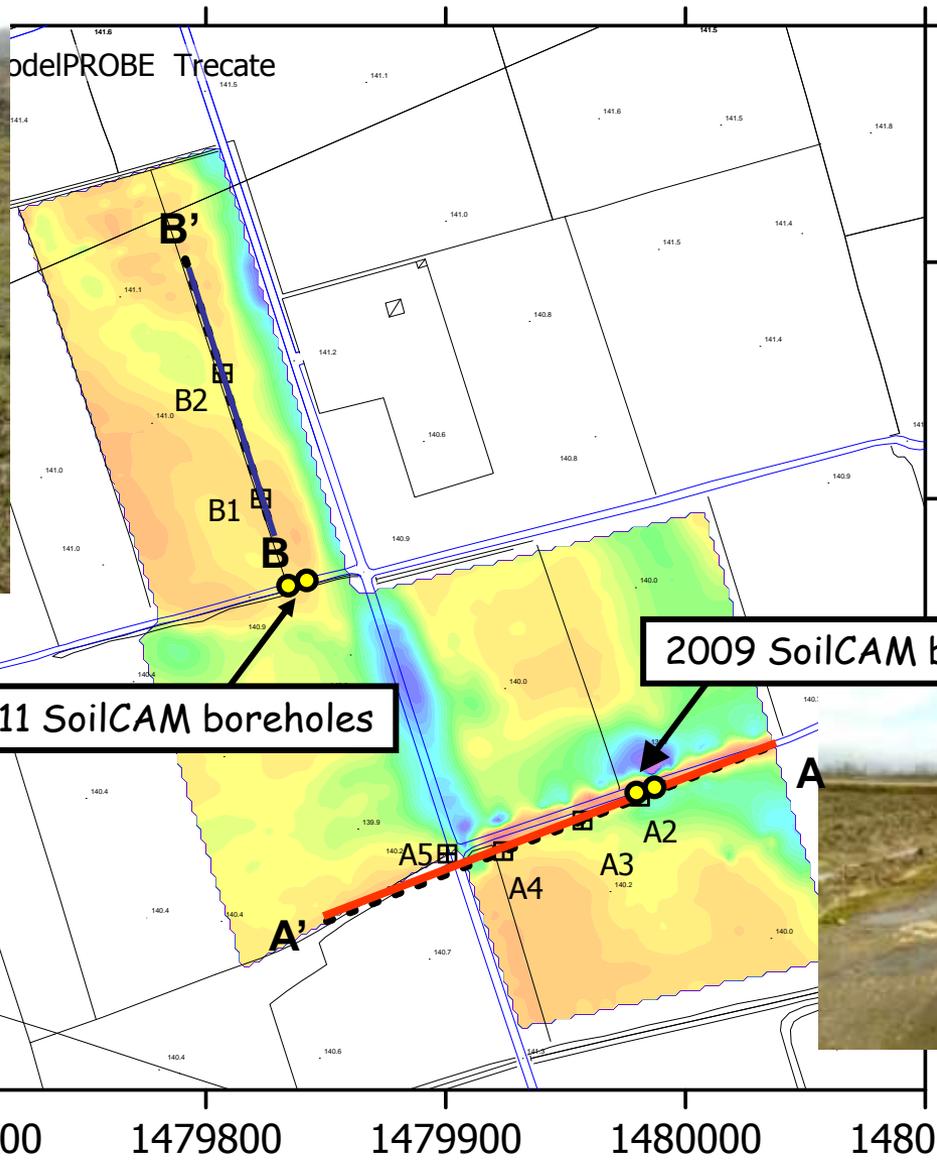


Structural control on contamination

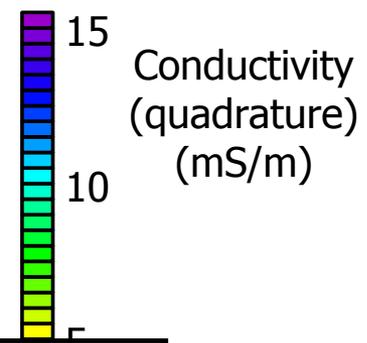


High conductivity (low permeability?) channels acting as barriers for oil vertical migration





TRECATE



North

2011 SoilCAM boreholes

2009 SoilCAM boreholes

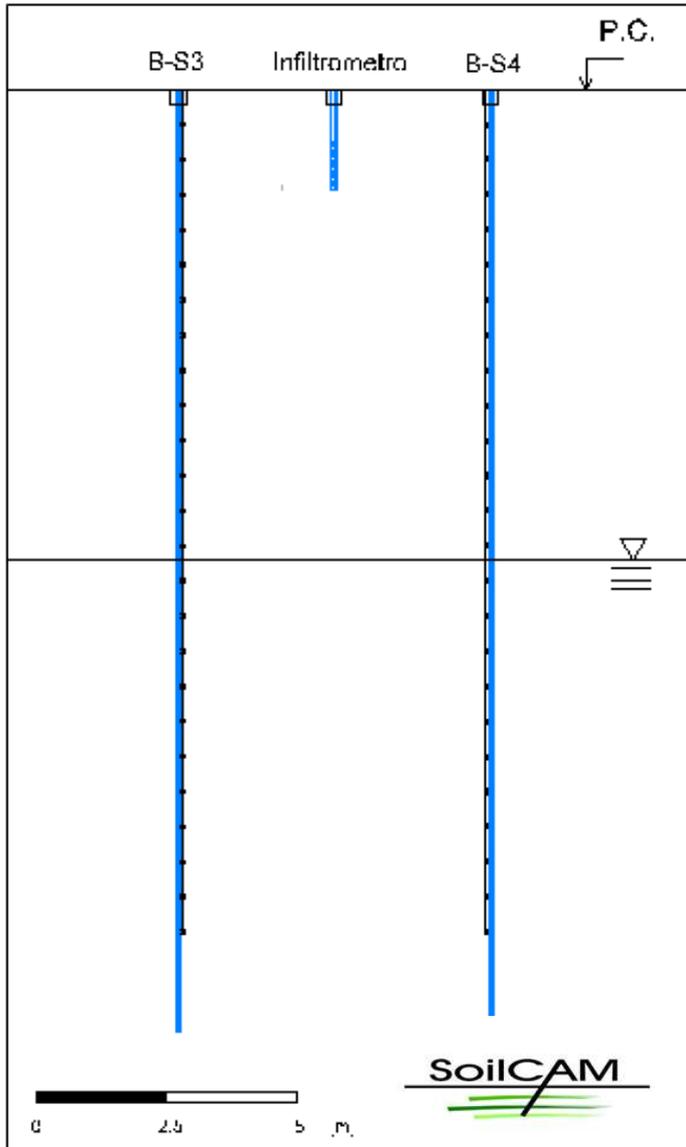


503330
503320

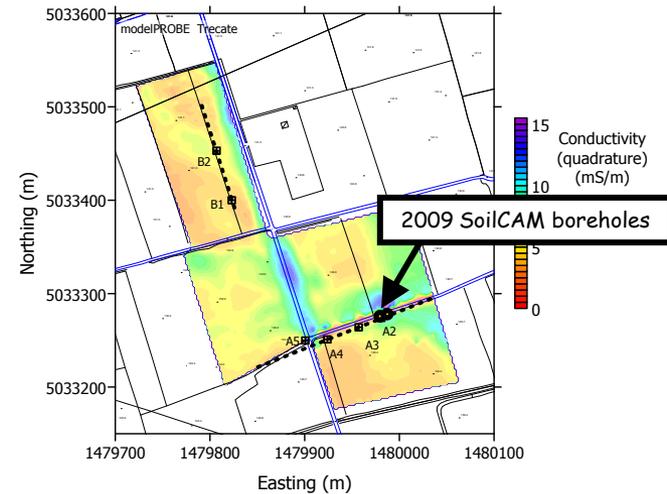
1479700 1479800 1479900 1480000 1480100

Easting (m)

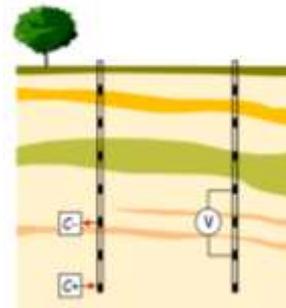




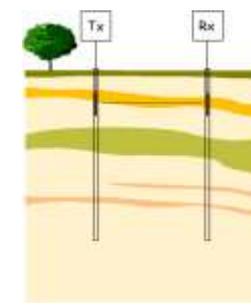
Boreholes permanently equipped with electrodes for ERT, Used also for cross-hole GPR



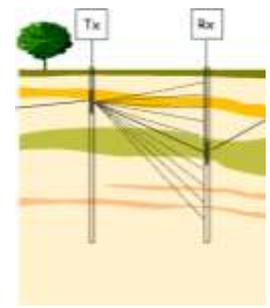
ERT



ZOP GPR



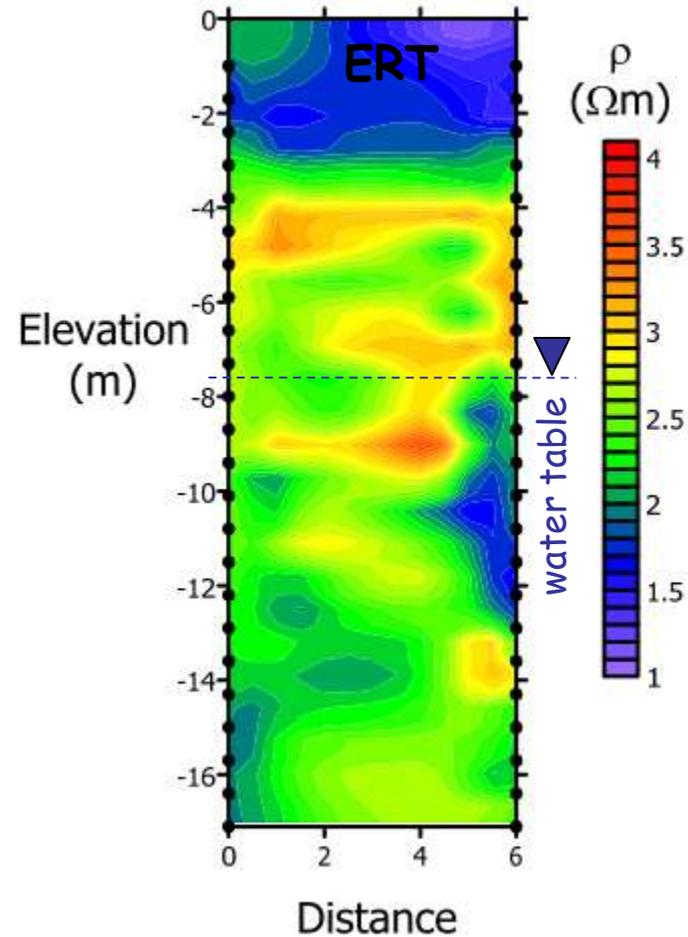
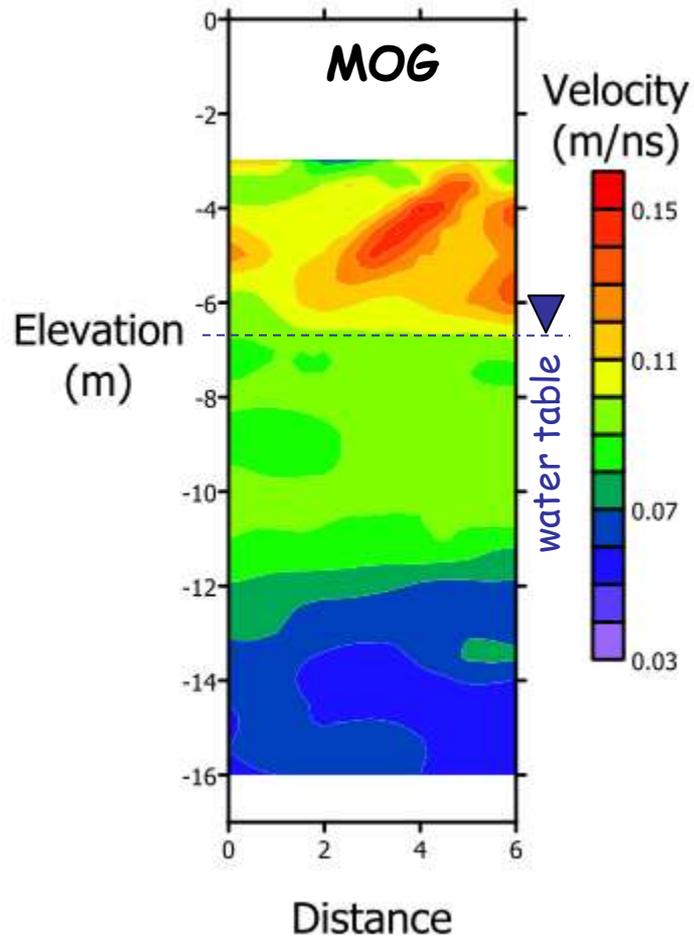
MOG GPR

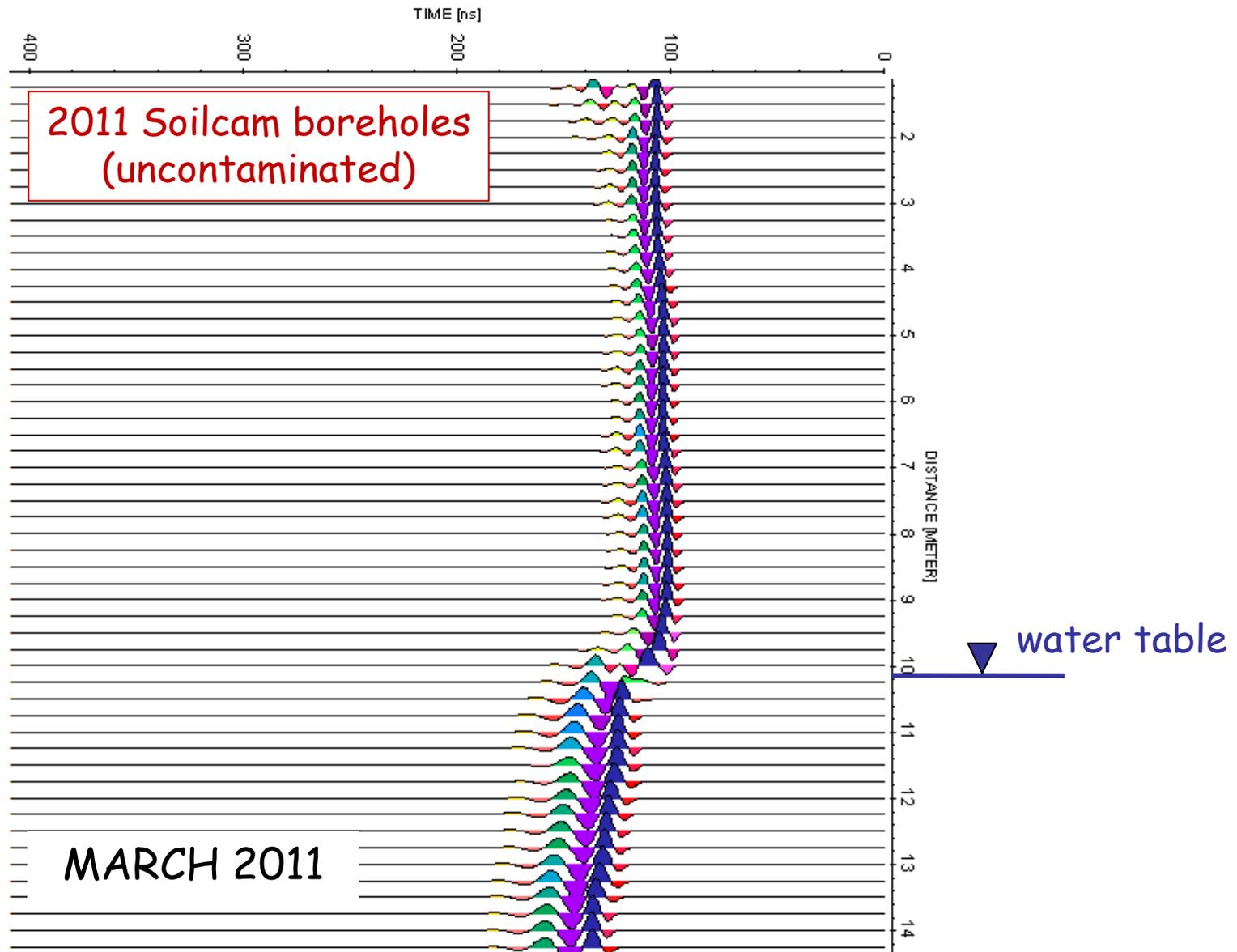
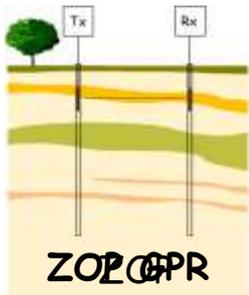




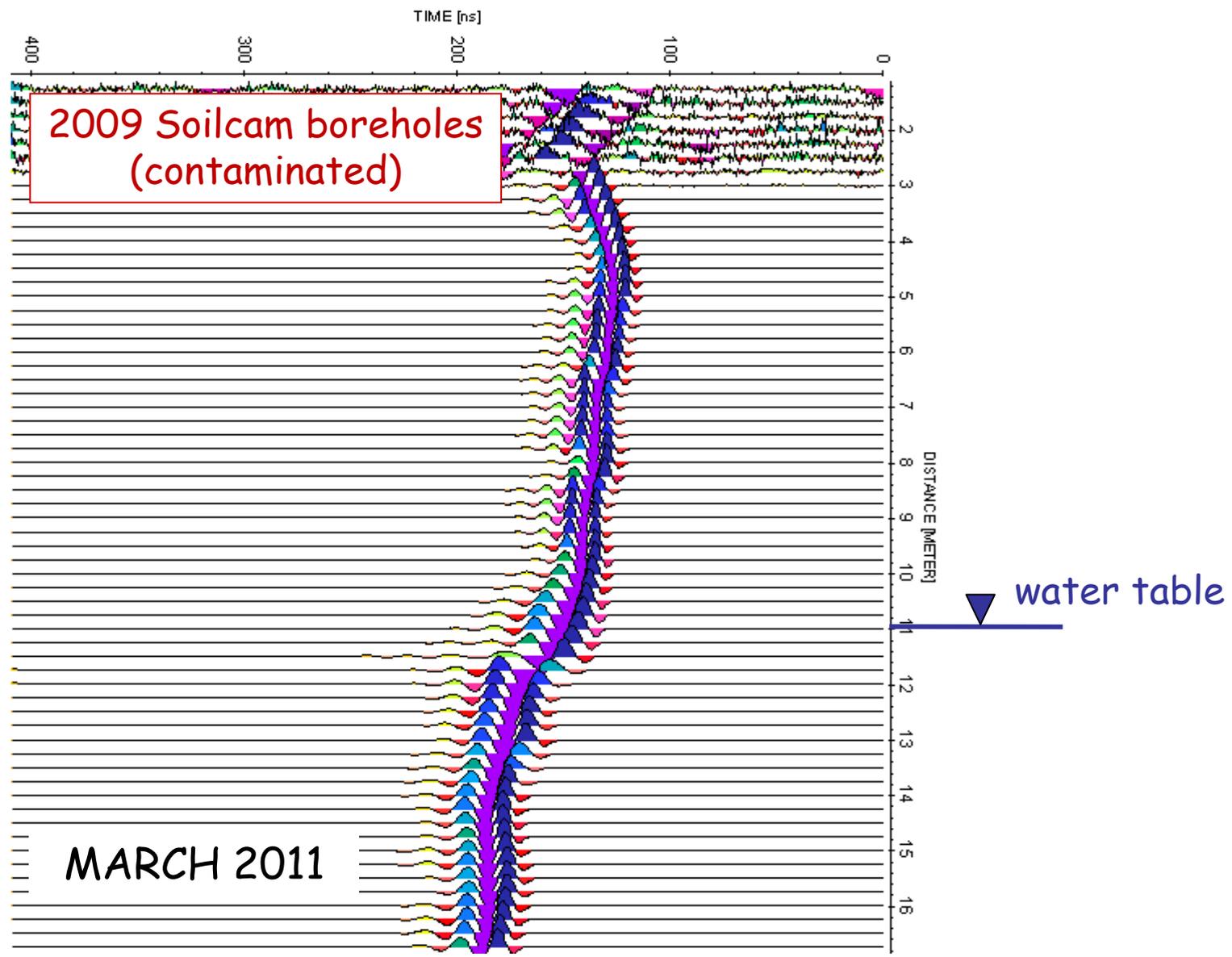
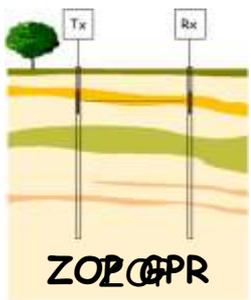
2009 Soilcam boreholes

Cross borehole radar (Sep 2009) and ERT (June 2009)





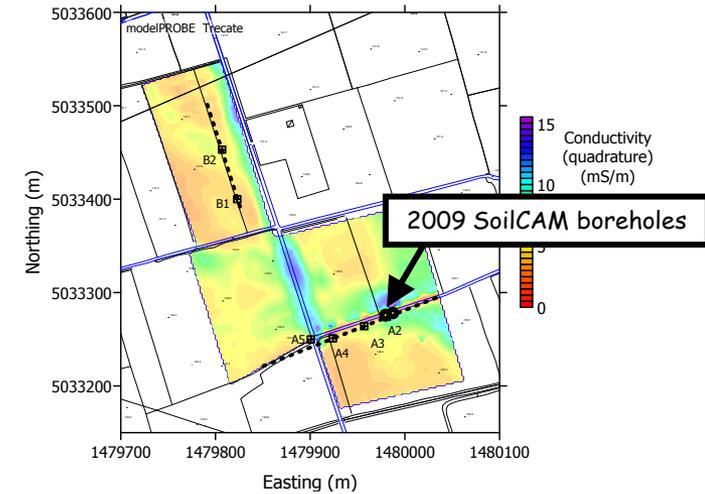
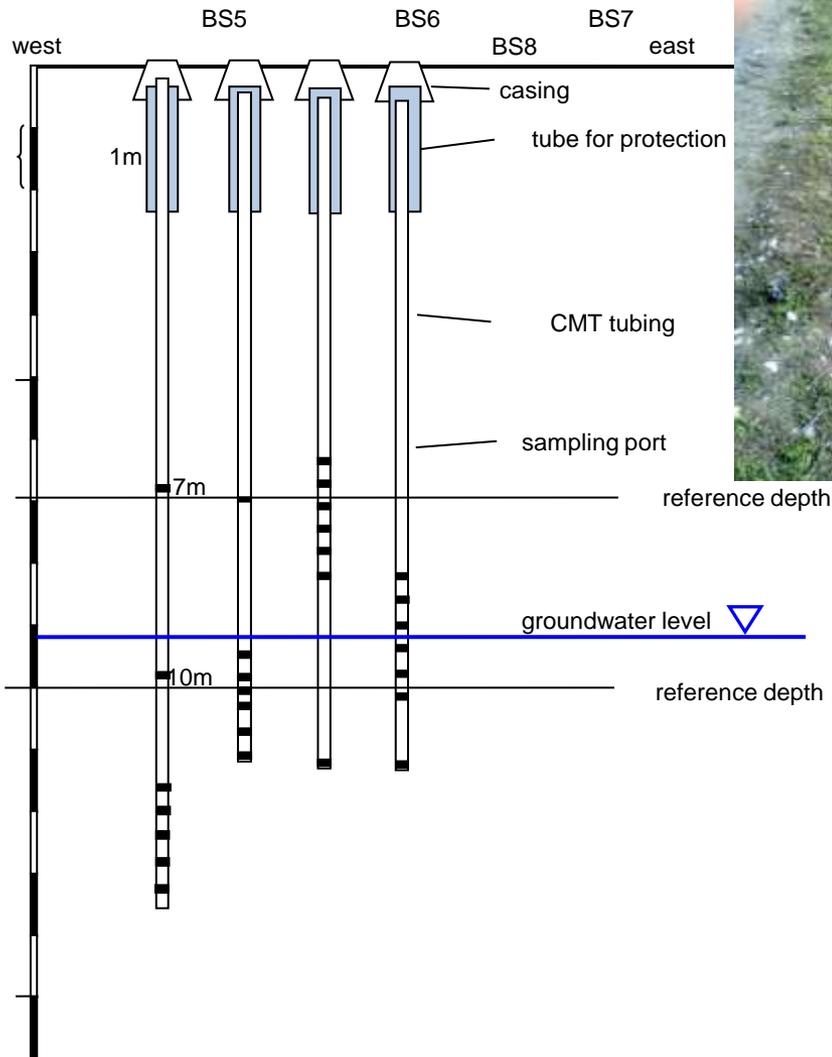
2011 SOILCAM BOREHOLES (distance = 3.95 m)



2009 SOILCAM BOREHOLES (distance = 6 m)



SoilCAM multilevel samplers (Markus Wehrer - Univ of Jena)



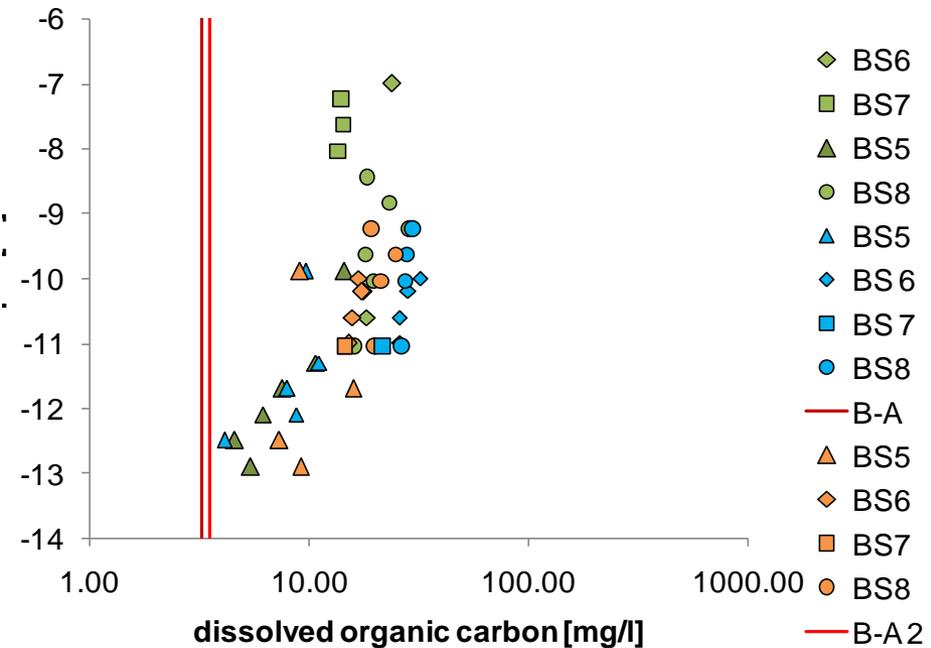
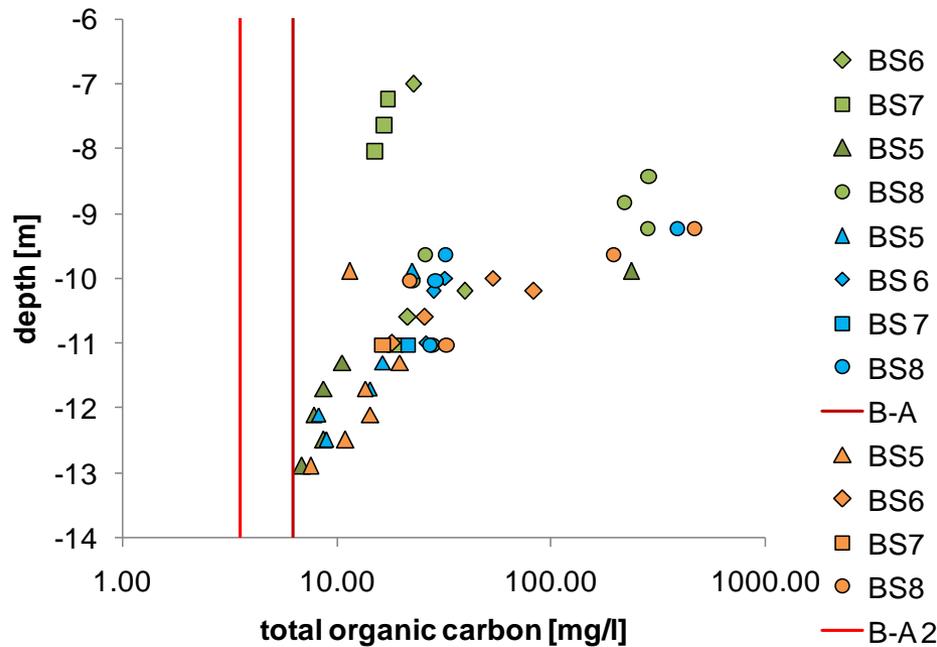


SoilCAM multilevel samplers (*Markus Wehrer - Univ of Jena*)

Green 1st campaign: 30.08.-04.09.2010: water table \approx - 6.5 m bgl

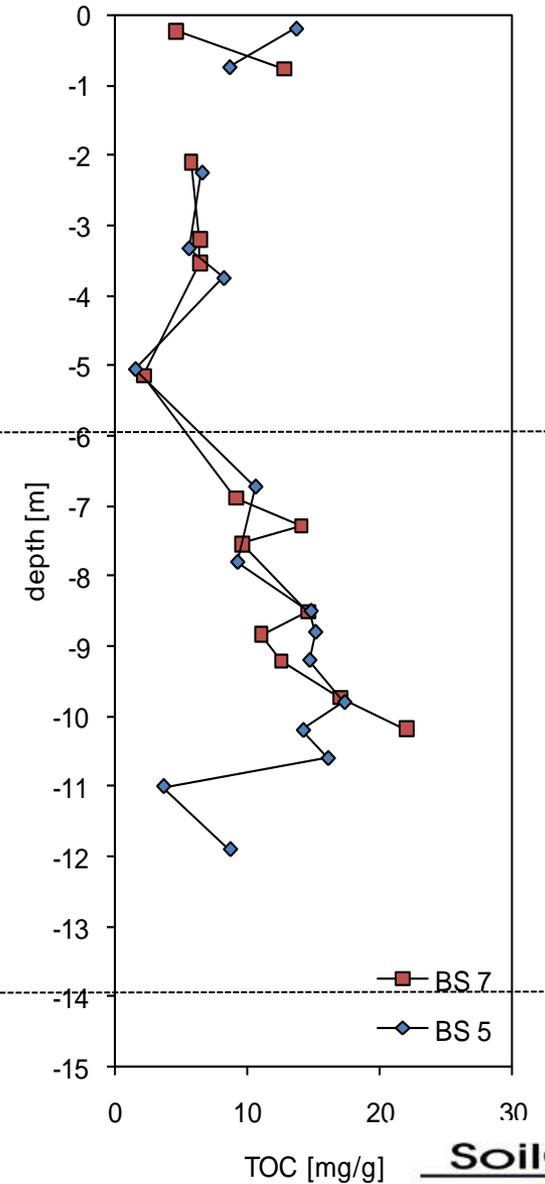
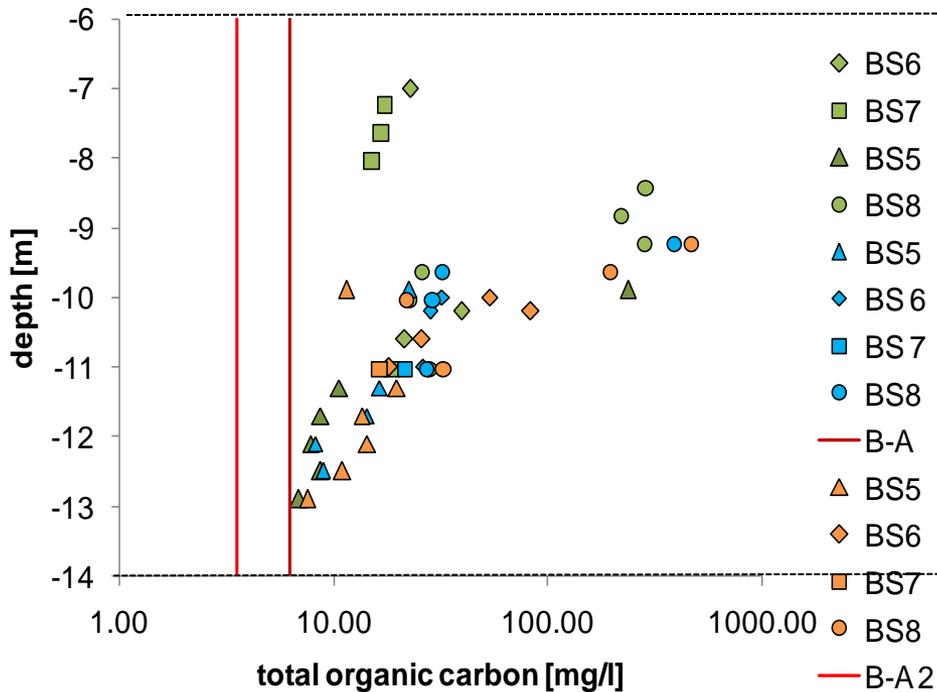
Blue 2nd campaign: 11.10-15.10.2010: water table \approx - 8.5 m bgl

Yellow: 3rd campaign: 10.05.-12.05.2011: water table \approx - 8.5 m bgl



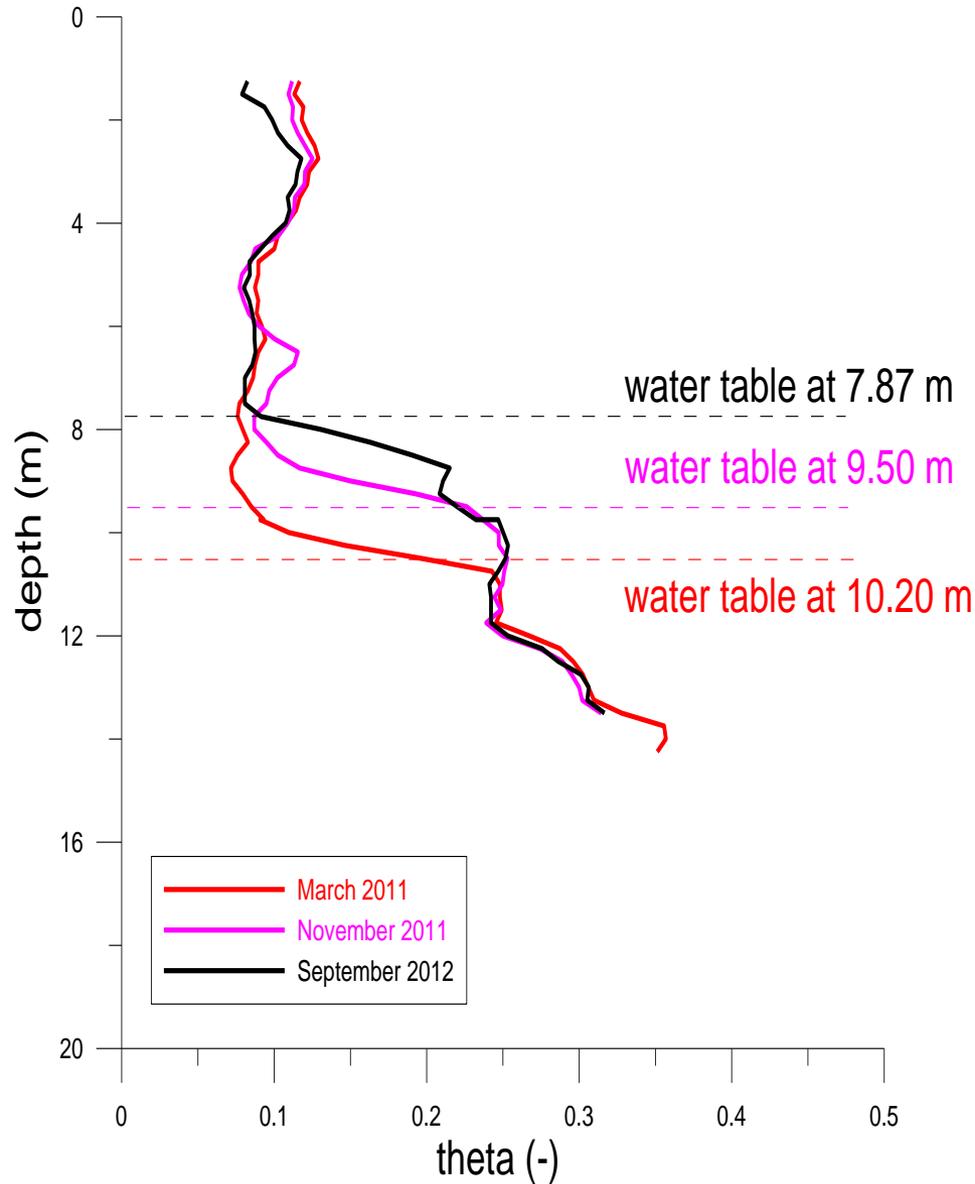


SoilCAM multilevel samplers vs concentration in soil (liners) *(Markus Wehrer - Univ of Jena)*

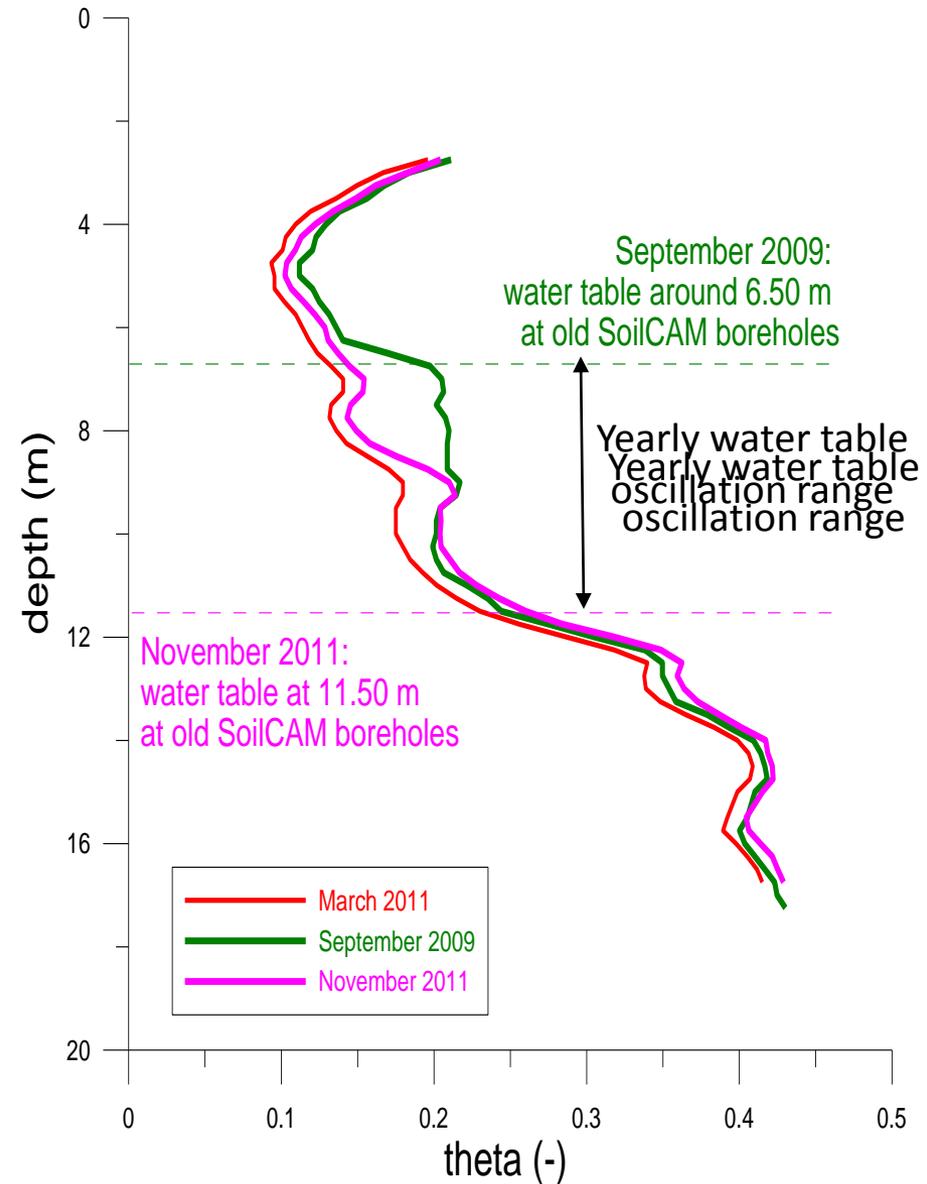




uncontaminated



contaminated





Contamination at 2009 Soilcam boreholes





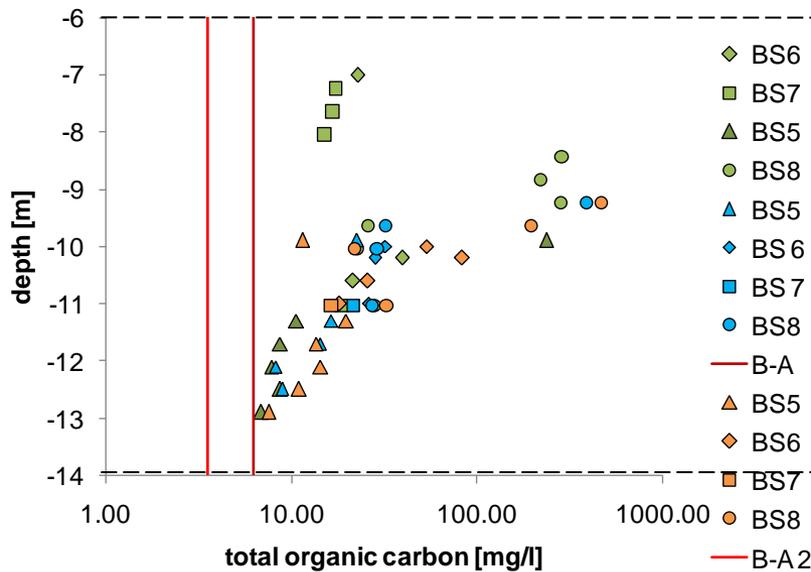
Contamination from multilevel samplers



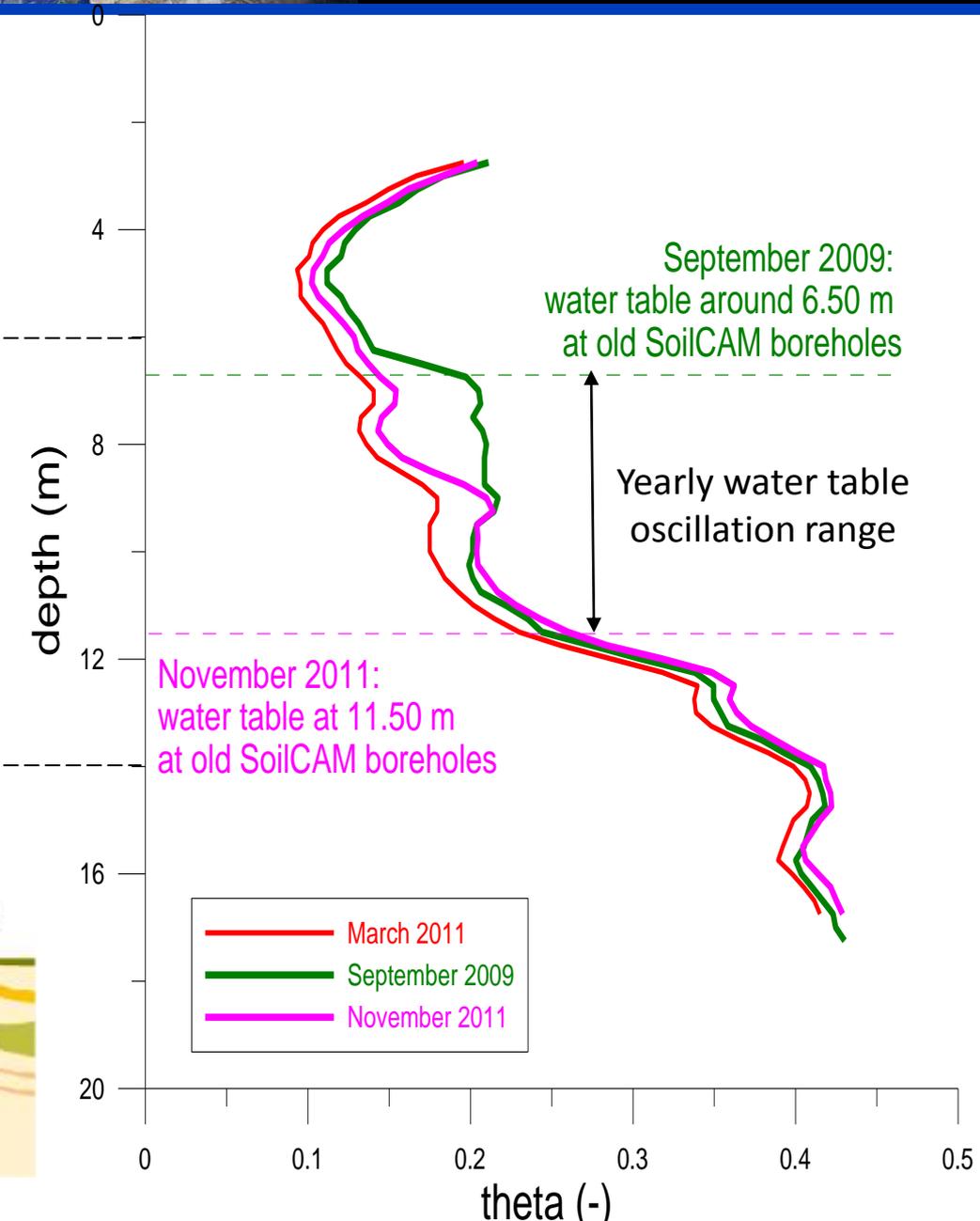
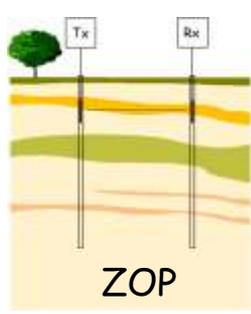
The sample in the plastic bottle left is not filtered, it has a thin floating oilphase and the brown aqueous phase below is an emulsion.

The sample in the tube on the right (which is the same sample but filtered at $0.45 \mu\text{m}$), is tranparent

courtesy: Markus Wehrer - Univ of Jena

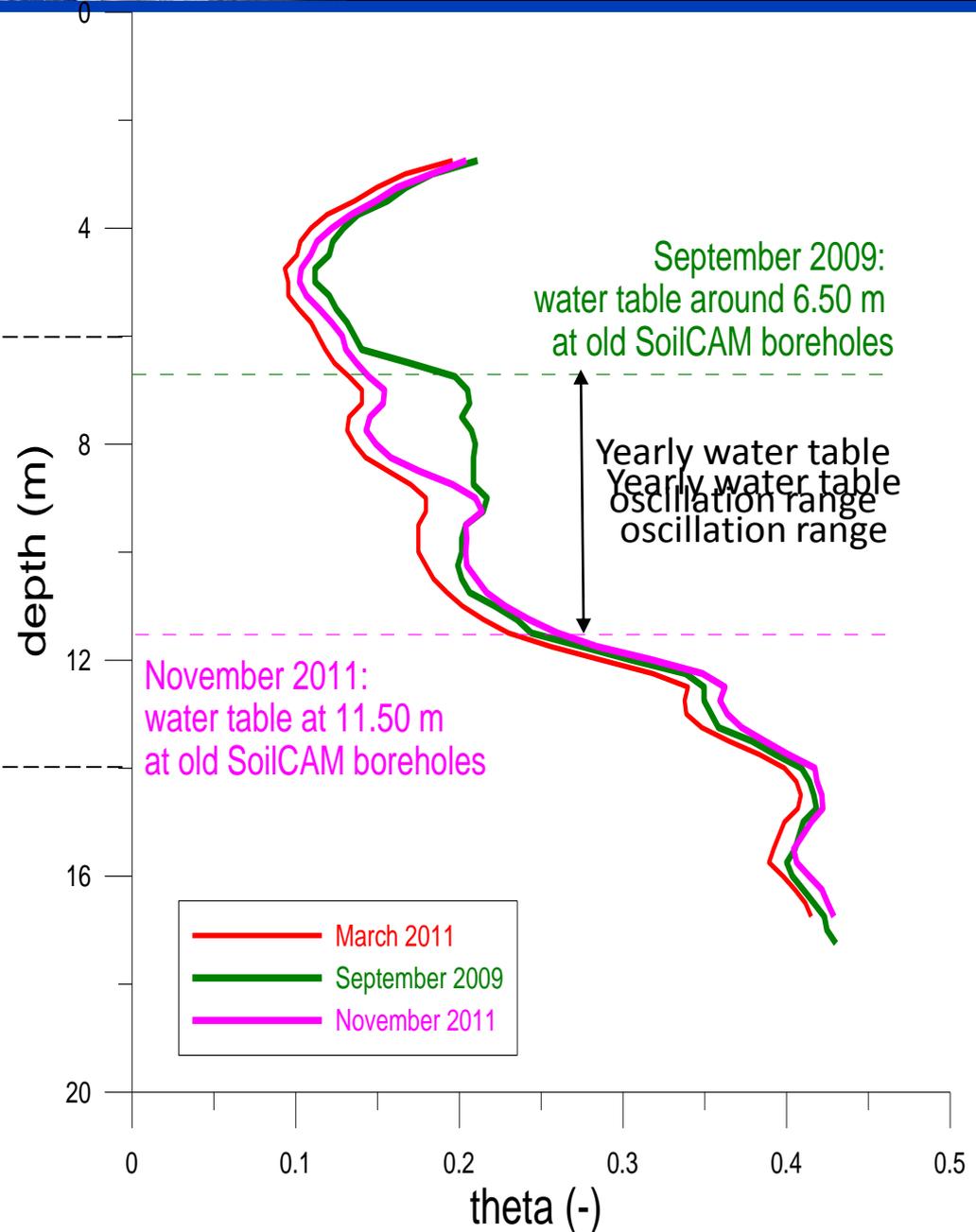
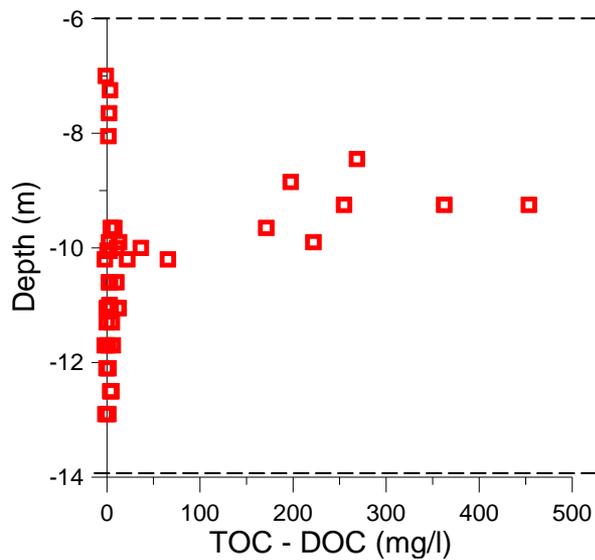


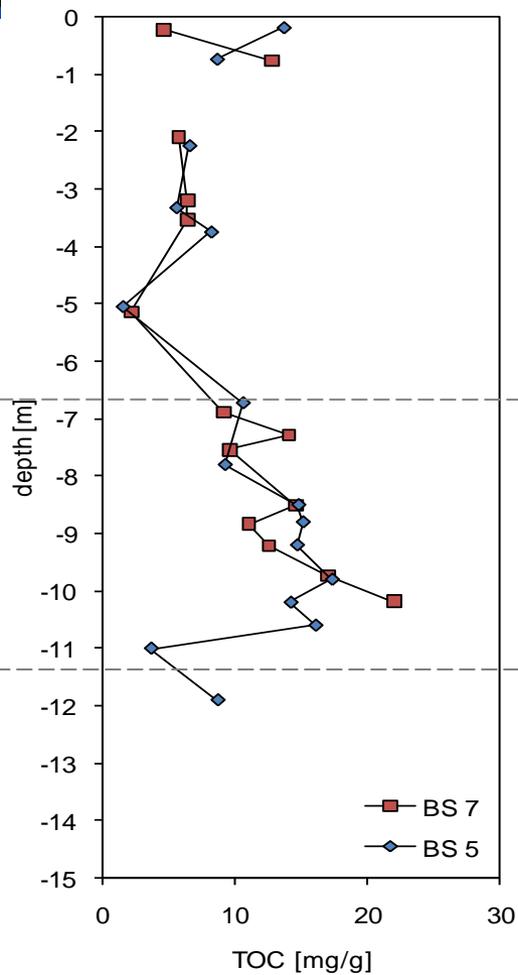
ZOP GPR
VS
multilevel samplers



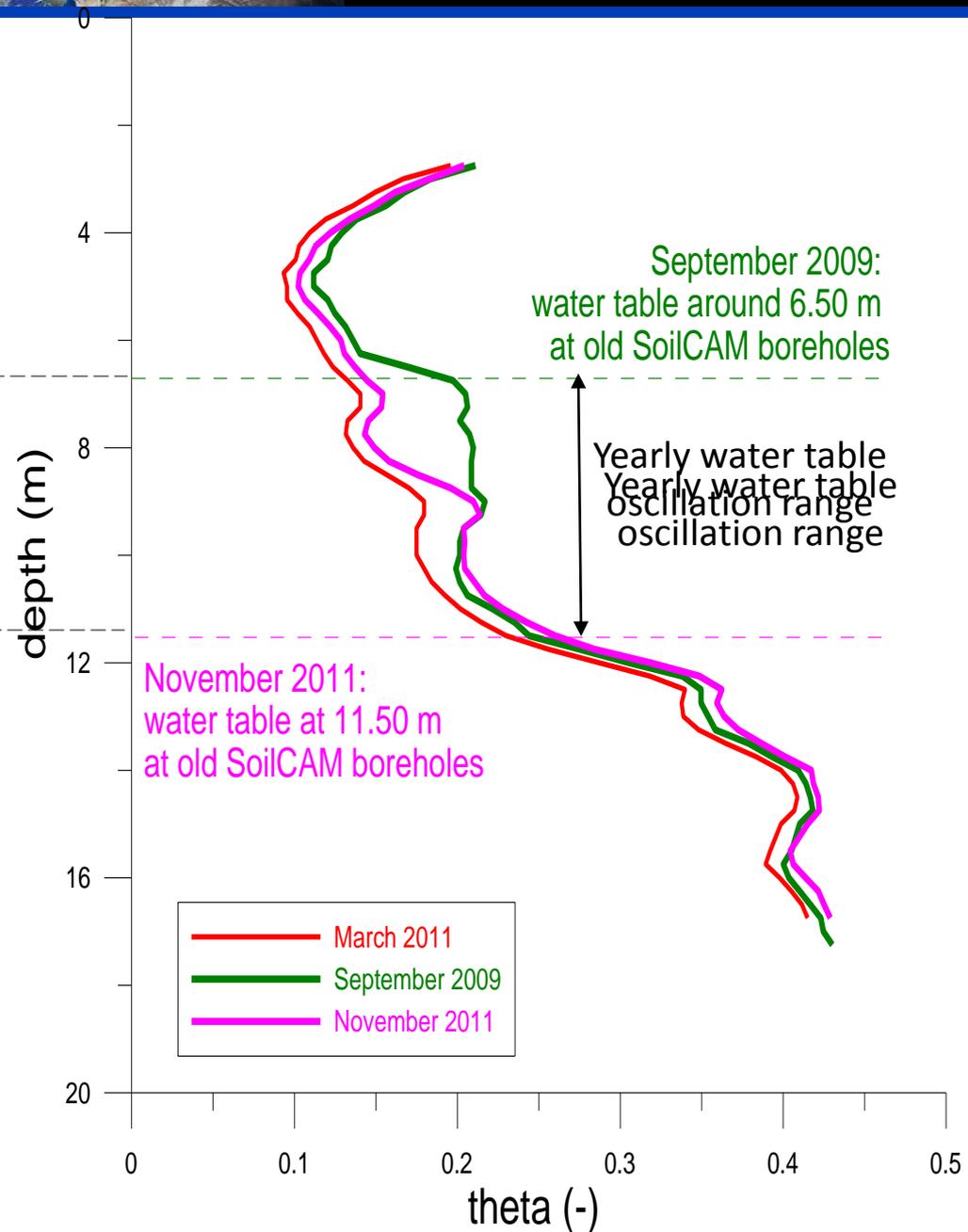


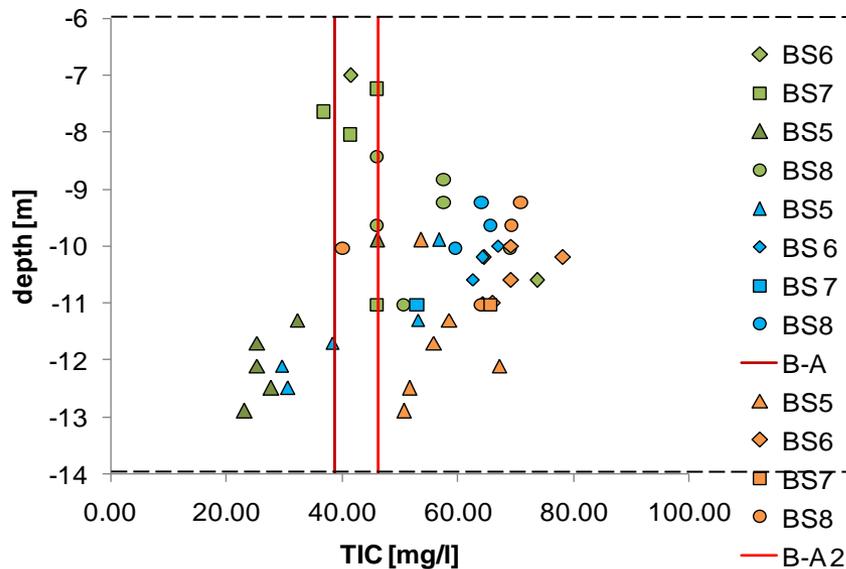
**ZOP GPR
VS
multilevel samplers**



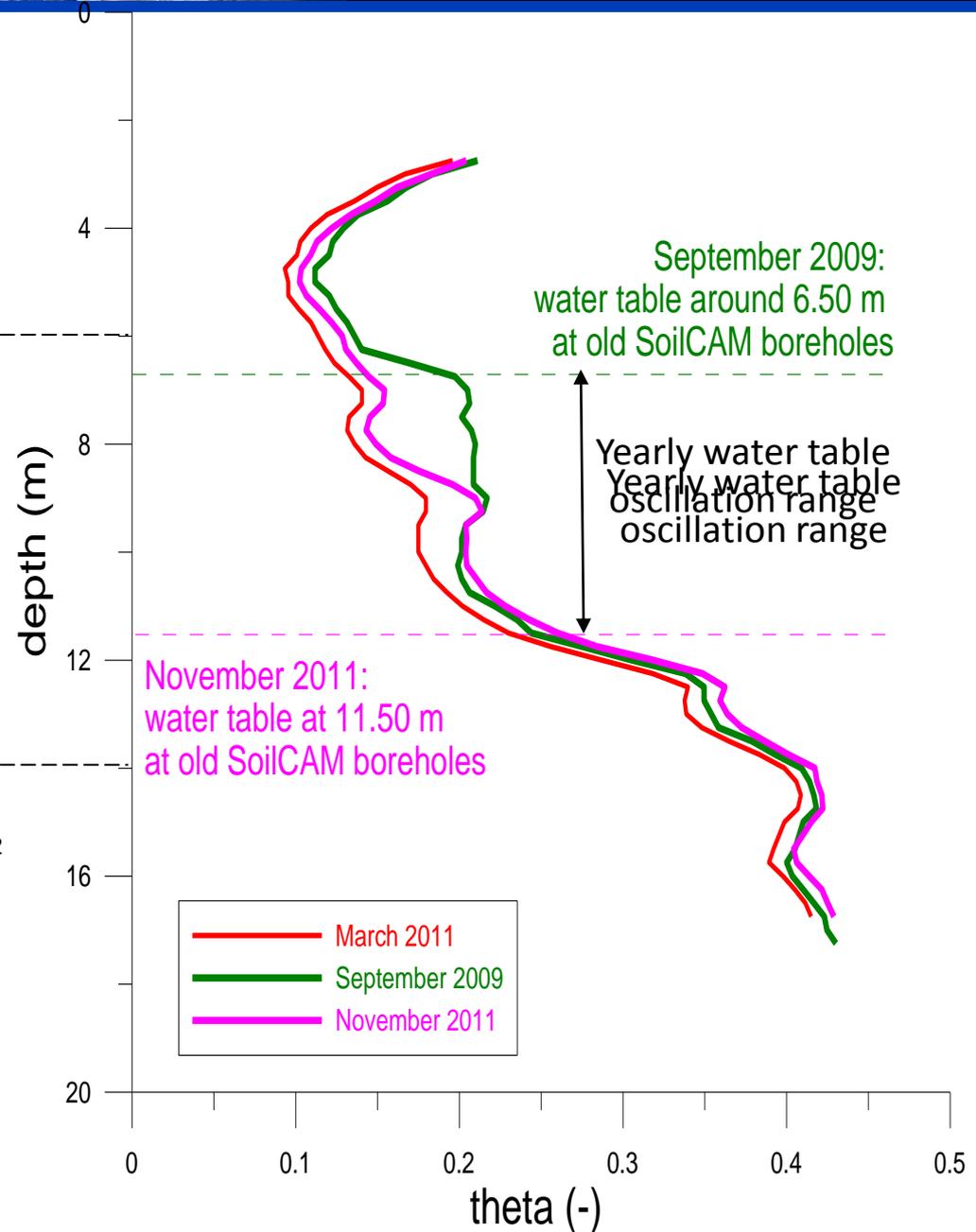


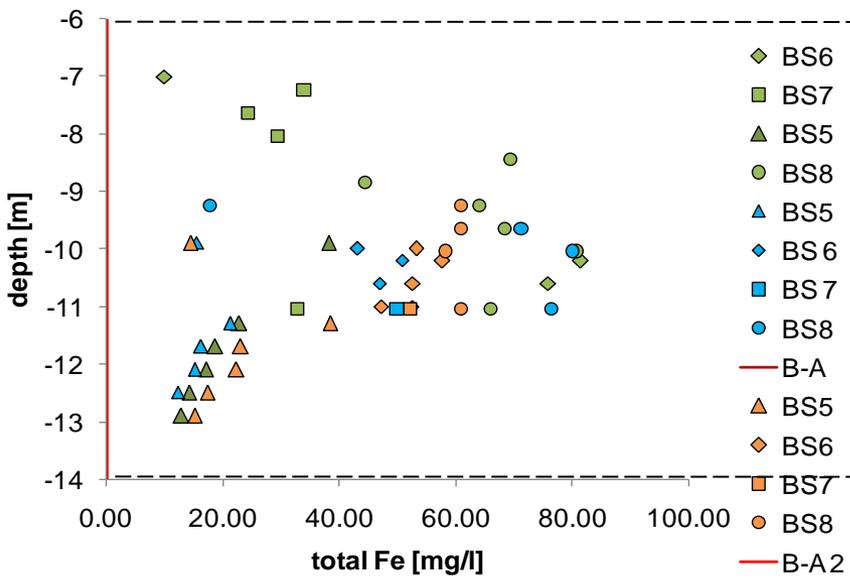
ZOP GPR
VS
concentration in soil (liners)



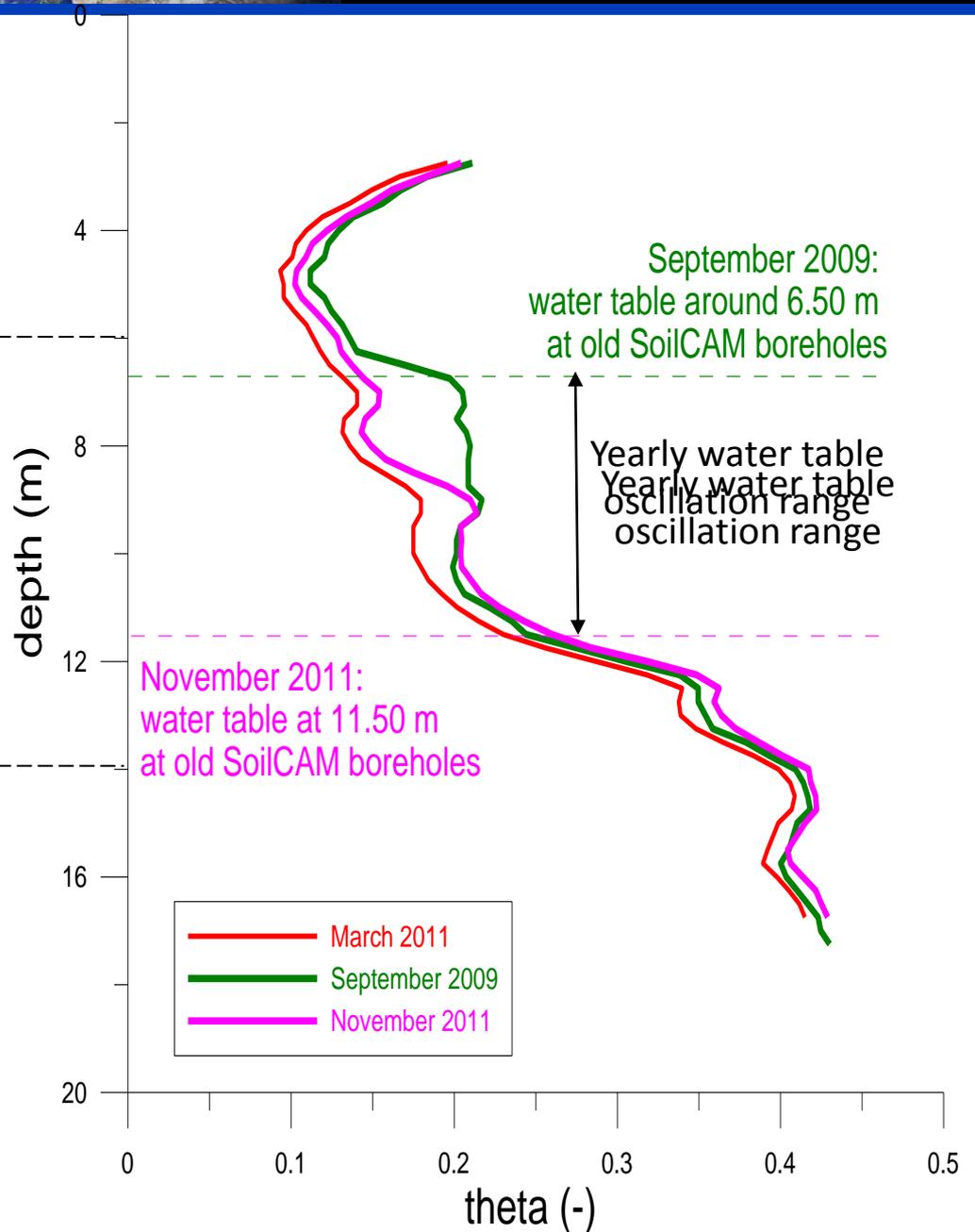


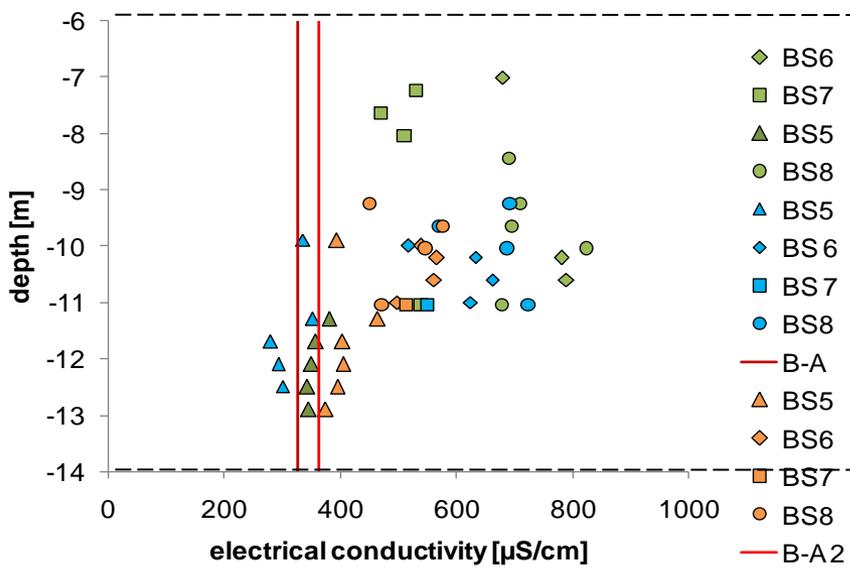
ZOP GPR
VS
multilevel samplers



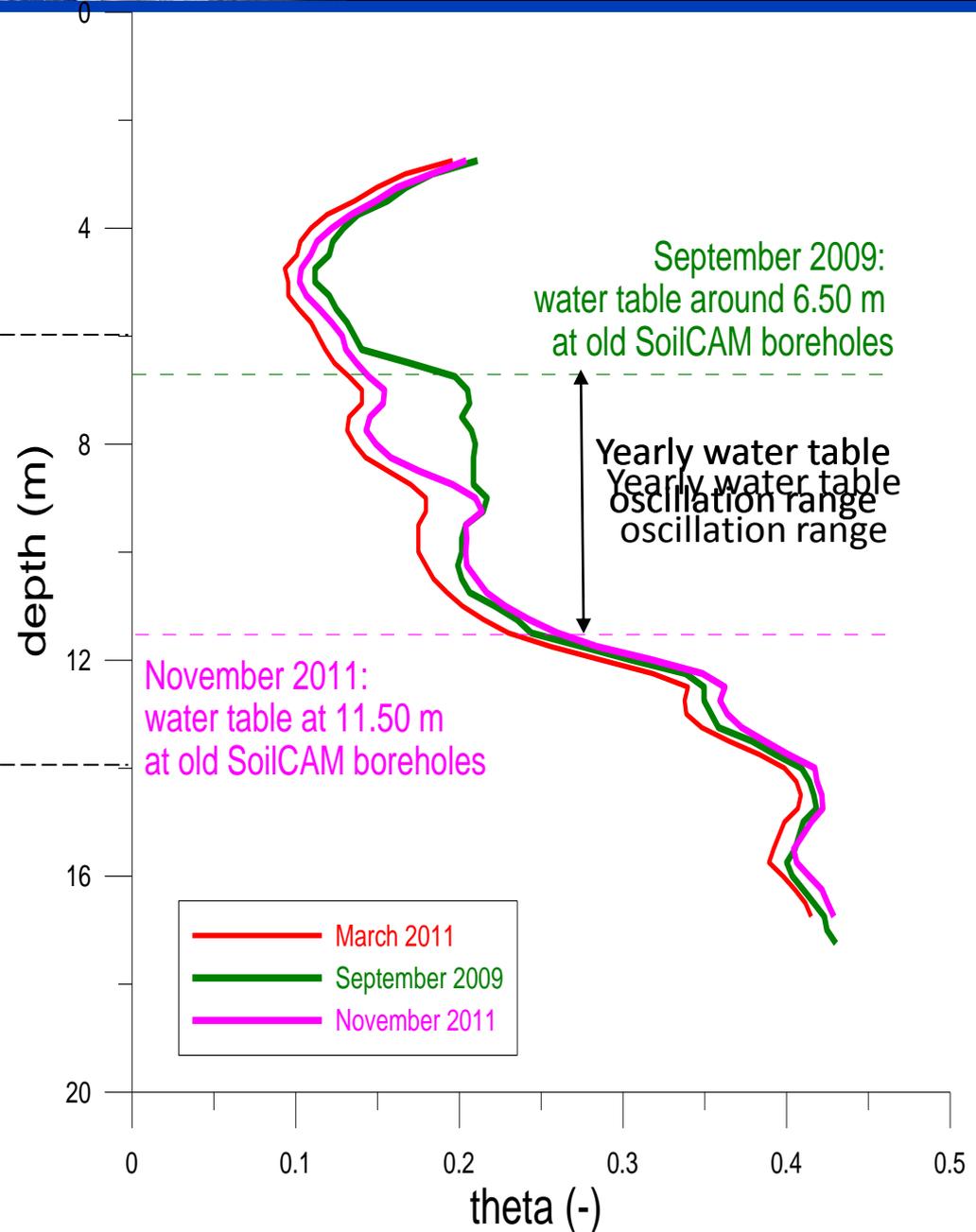


**ZOP GPR
VS
multilevel samplers**



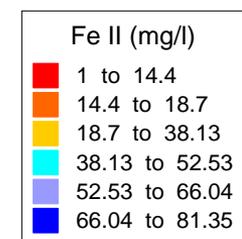
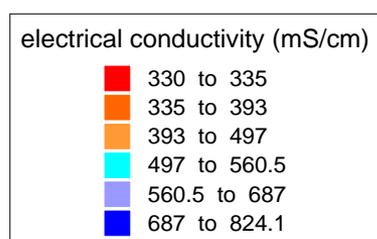
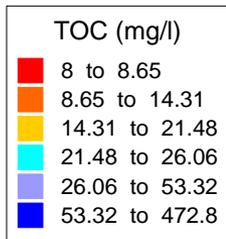
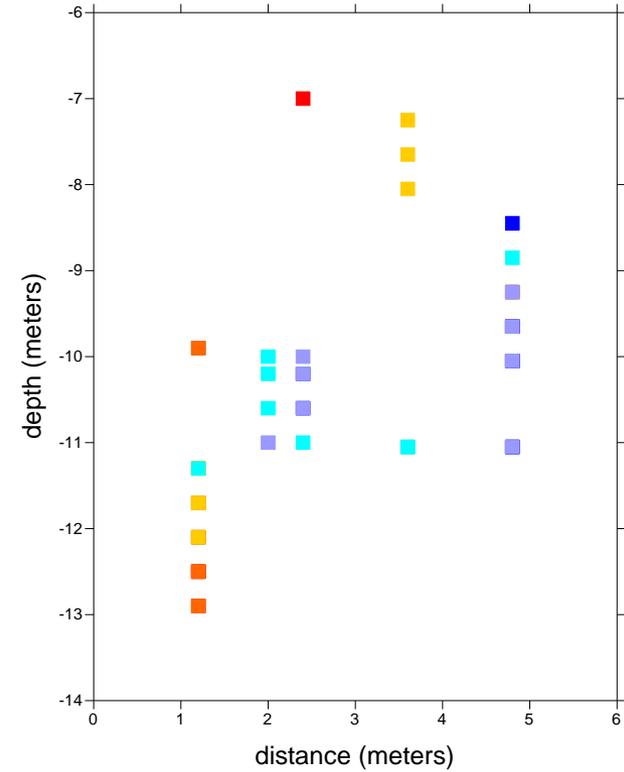
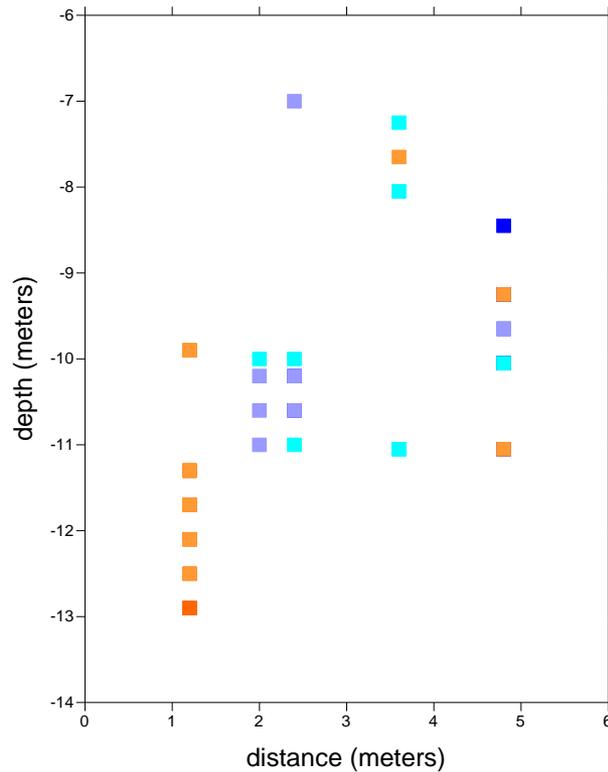
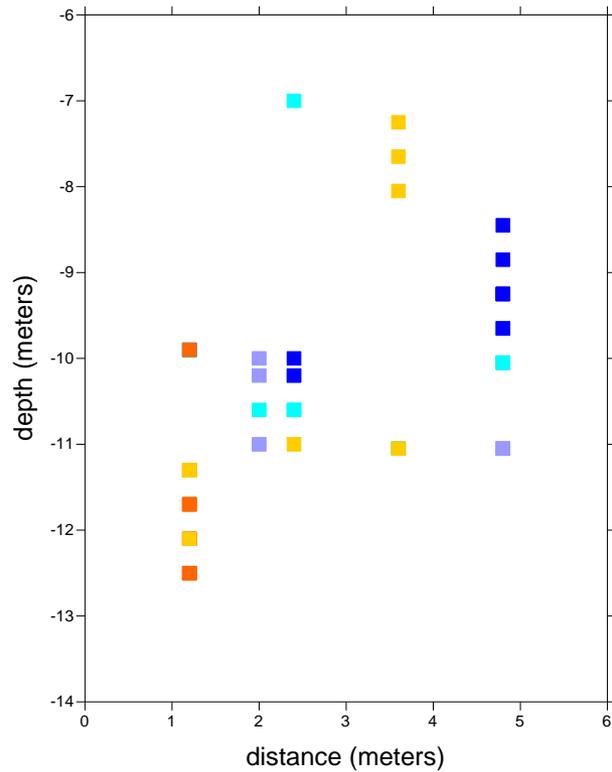


ZOP GPR
VS
multilevel samplers



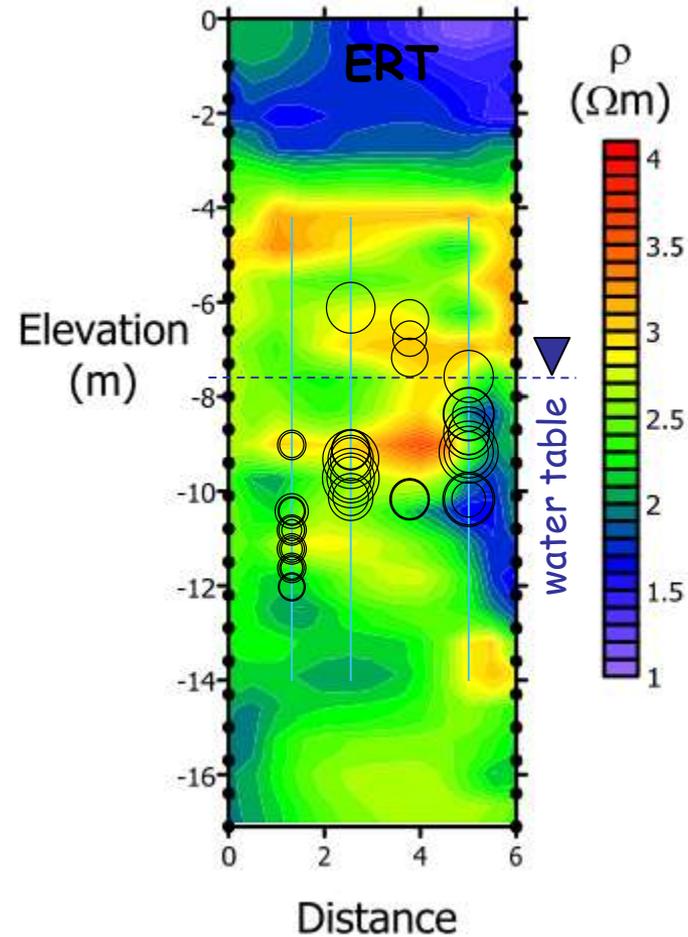
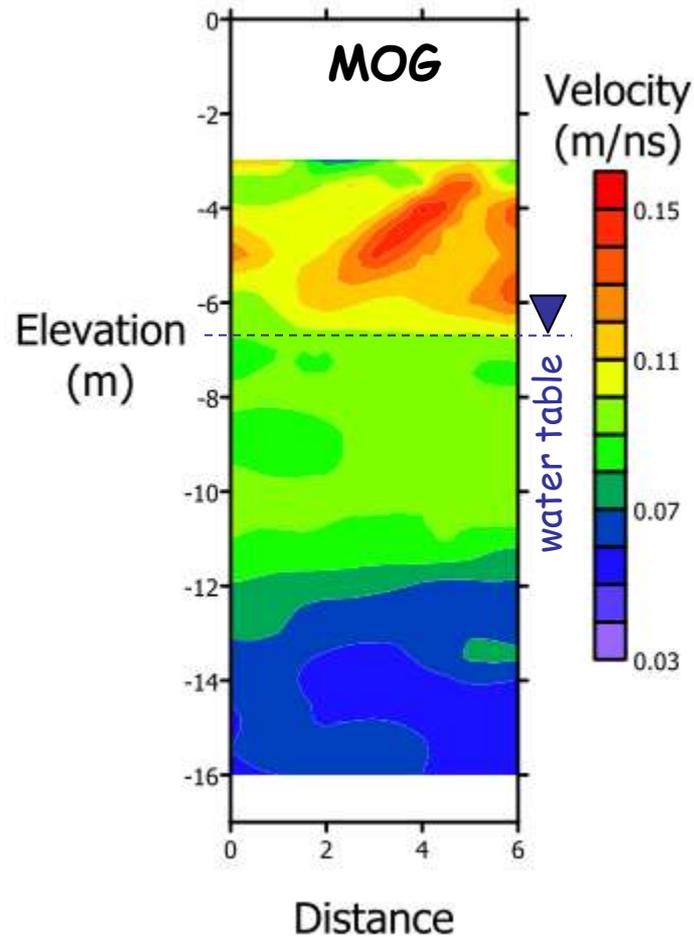


SoilCAM multilevel samplers (*Markus Wehrer - Univ of Jena*)



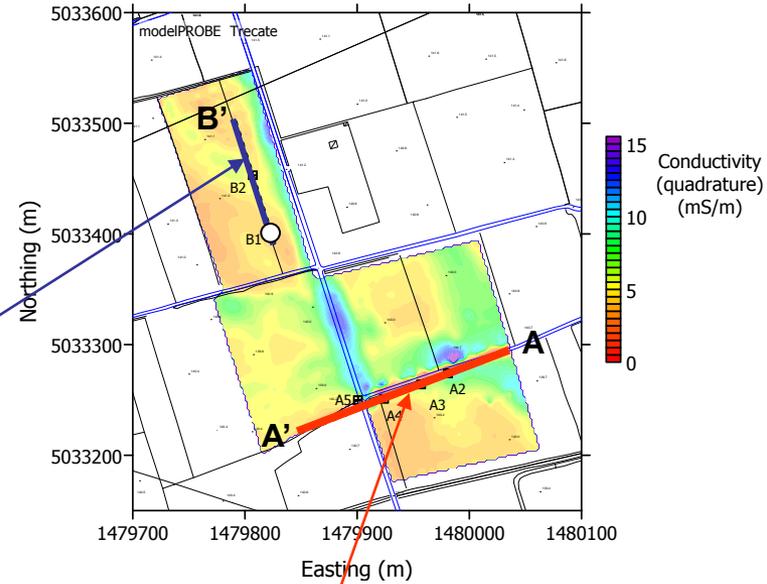


Cross borehole radar (Sep 2009) and ERT (June 2009)





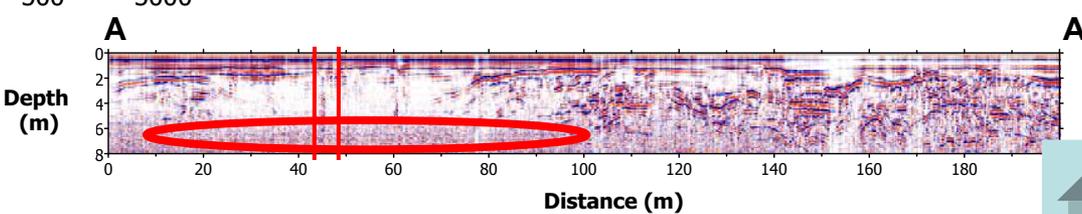
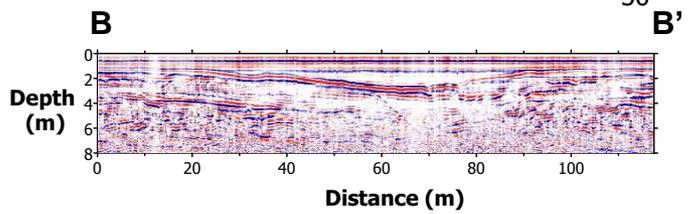
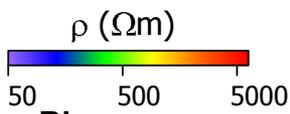
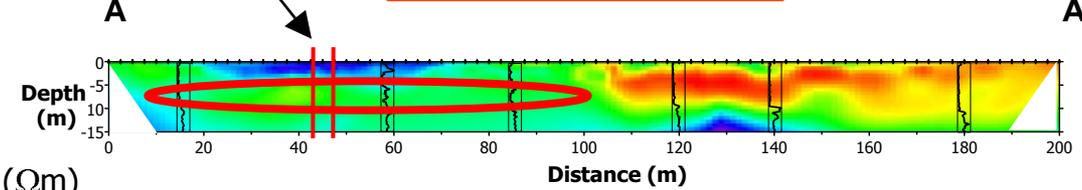
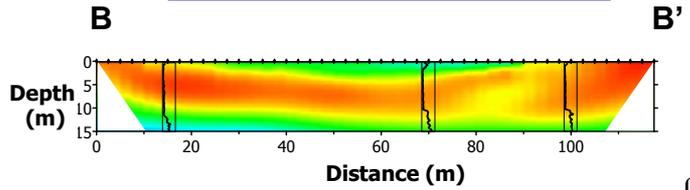
Trecate site: reconsider surface measurements



uncontaminated line B

SoilCAM holes

contaminated line A





Conclusioni

- ❑ Il rischio idrologico-ambientale va affrontato anche con una migliore comprensione dei processi fisici, chimici e biologici, e delle caratteristiche dei sistemi.
- ❑ La geofisica può dare un sostanziale aiuto in questo senso, specie perchè è fortemente affetta dalle caratteristiche statiche e dinamiche del suolo e sottosuolo.
- ❑ Questo fatto, se adeguatamente riconosciuto, offre un enorme contenuto di informazione sui processi e sulle strutture.
- ❑ L'informazione ottenibile si massimizza con misure ripetute nel tempo e integrazione con modelli predittivi dei fenomeni stessi.

Ringraziamenti: persone

Jacopo Boaga

Rita Deiana

Matteo Rossi

Maria Teresa Perri

Giulio Vignoli

Mario Putti

Università di Padova

Andrew M. Binley, *Lancaster University, UK*

Andreas Kemna, *University of Bonn, Germany*

Lee Slater, *Rutgers University, USA*

Alberto Godio, *Politecnico di Torino*

Alberto Bellin, *Università di Trento*

Claudio Strobbia, *Western-Geco, London*

Alberto Villa, Nicoletta Fusi *Università di Milano Bicocca*

Michela Giustiniani, *OGS Trieste*

Markus Wehrer, *University of Jena, Germany*

etc etc



Ringraziamenti: finanziamenti

Progetti EU FP7:

iSOIL

ModelPROBE

CLIMB

GLOBAQUA

Progetti Nazionali MIUR:

PRIN 2007

PRIN 2011

Progetto locali:

Fondazione CARIPARO

Finanziamenti industriali:

Eni SpA

etc..

