



POLITECNICO
DI TORINO

Groundwater
Engineering



Rajandrea Sethi

TECNICHE AD ALTA RISOLUZIONE PER LA CARATTERIZZAZIONE DI ACQUIFERI CONTAMINATI

Geofisica e geognostica per la bonifica ambientale – XVIII Workshop di Geofisica
Rovereto, 2 dicembre 2022

1

A rischio per effetto di:

- Riscaldamento globale
- Aumento eventi estremi
- Contaminazioni antropiche

1.200.000 siti potenzialmente contaminati in EU
(JRC, 2014)

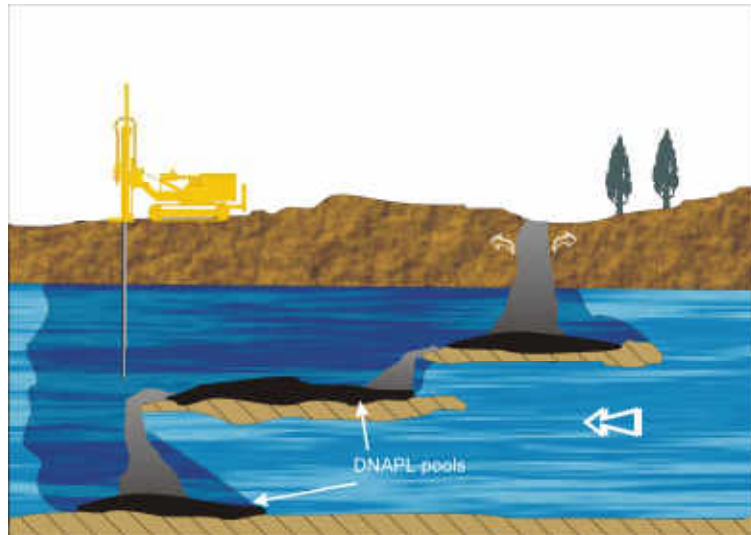
**Proteggere e Bonificare
i sistemi Acquiferi**

Resource	Percentage
ice	69.8%
GW	29.1%
soil moisture	0.9%
surface water	0.3%

Ungheria 2010 marea rossa, fanghi di lavorazione della Bauxite

2

The Invisible...



3

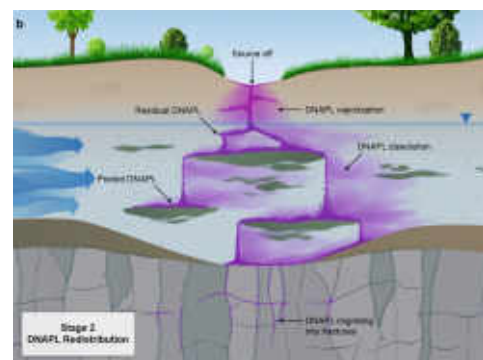
Caratterizzazione e bonifica di sistemi acquiferi

Campo di moto -> Caratterizzazione idrodinamica

- Tipologia idraulica
- Coefficiente di immagazzinamento
- Gradiente
- **Distribuzione della conducibilità idraulica K**
- Altri parametri.

Inquinamento -> Caratterizzazione della contaminazione

- **Distribuzione e della C dei contaminanti accumulati:**
 - liquida
 - solida (adsorbiti)
 - segregata (LNAPL, DNAPL)



Distribuzione spaziale di **K** e **C**

4



Approcci classici

A. Conducibilità idraulica:

- Prove di falda e slug test
- Correlazione con la litologia
- Analisi in laboratorio (granulometrie, permeametro)
- Approcci geofisici (anche innovativi)



B. Concentrazione

- Piezometri e pozzi completi
- Piezometri multilivello
- Approcci geofisici (anche innovativi)



Verso HRSC: direct push + slug test

Avanzamento per infissione mediante matello oleodinamico (es. Geoprobe)

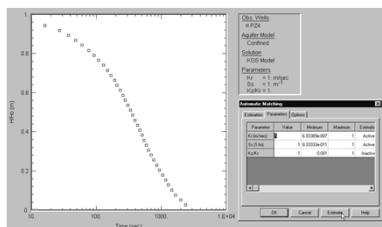
Slug test pneumatico all'interno delle aste di strumentazione ad infissione diretta (Geoprobe) per determinazione quantitativa di K lungo la verticale.



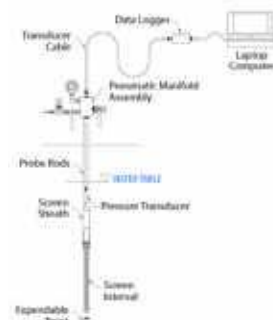
Carsico s.r.l.



ST pneumatico



Aqtesolv

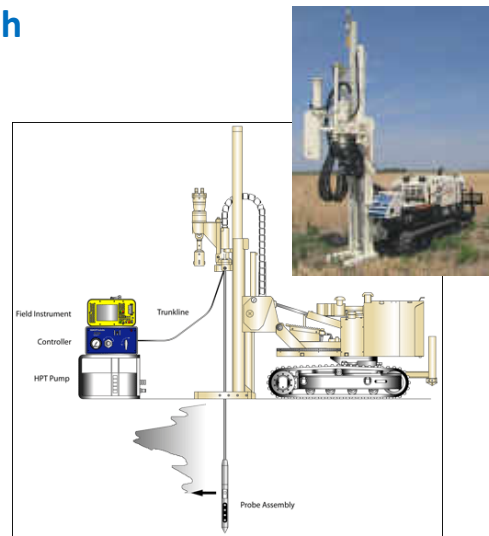


<https://geoprobe.com/videos/geoprobe-pneumatic-slug-test>



Sonde ambientali + direct push

- Strumentazione di superficie (controller, sistema di acquisizione e rilevatori)
- Sensori:
 - Conducibilità idraulica:
 - EC: electrical conductivity (Geoprobe)
 - HPT: hydraulic profiling tool (Geoprobe)
 - Concentrazione (contaminanti):
 - MIP: membrane interface probe (Geoprobe)
 - LIF: laser induced fluorescence (Dakota)
 - OIP: optical image profiler (Geoprobe)



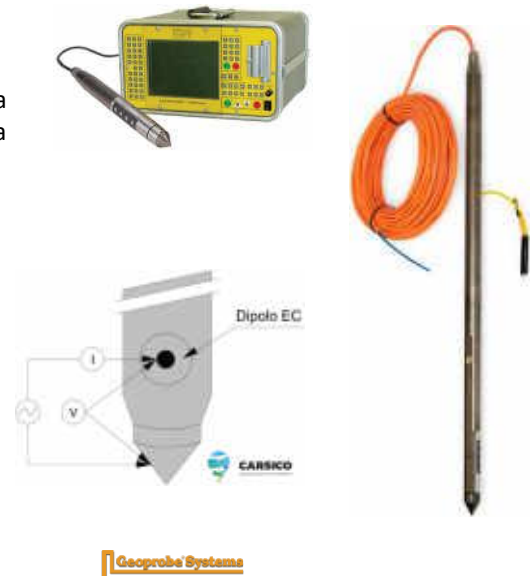
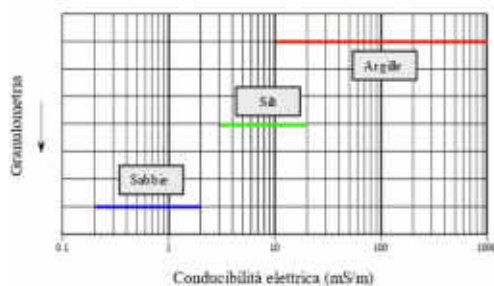
Infissione diretta: avanzamento a percussione tramite martello oleodinamico (52 kN - 160 kN)



Conducibilità elettrica

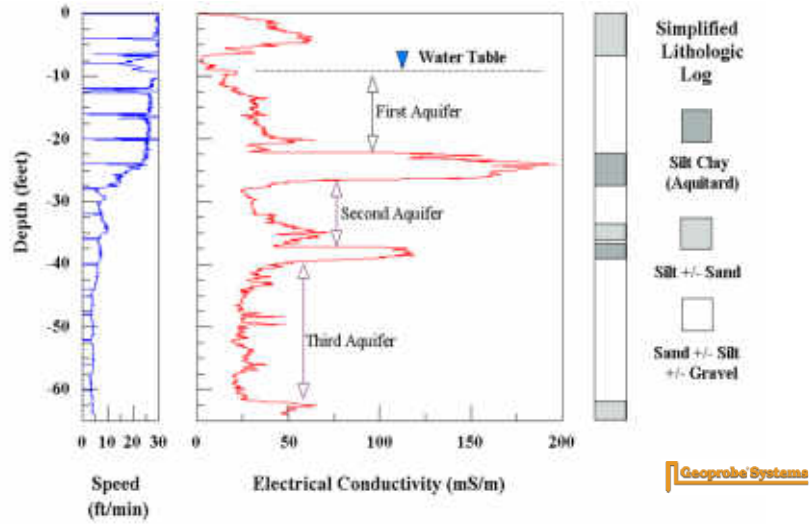
Dipolo o quadrupolo per la misura DIRETTA della conducibilità elettrica del terreno e correlazione con la litologia (e poi con la K idraulica)

Frequenza di acquisizione 5 Hz

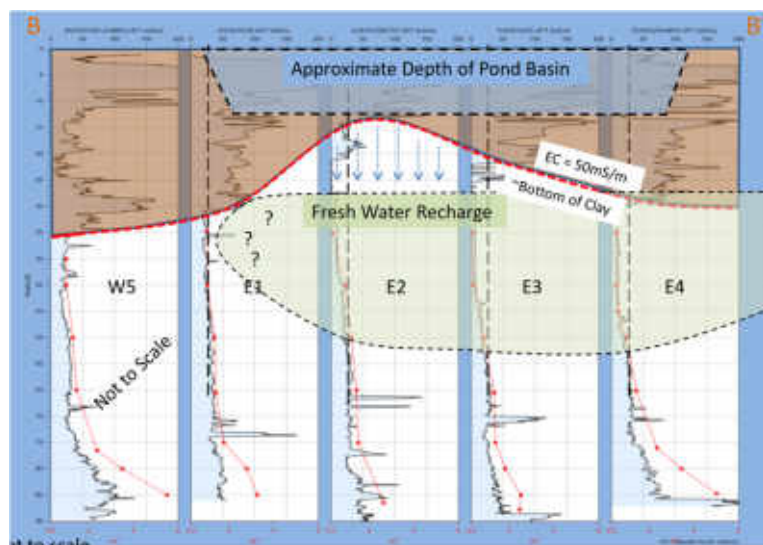
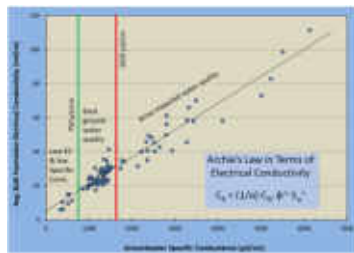




Conducibilità elettrica



EC case study – City of Salina KS - USA





Conducibilità idraulica (HPT Tool)

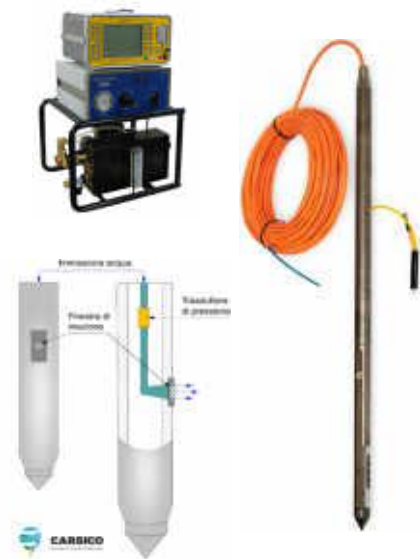
Hydraulic Profiling Tool

Legge di Darcy:

$$Q=K i A$$

Portate assegnata 0-1 l/min

Pressioni 0-6 atm



Metodi di interpretazione semi- o quantitativi

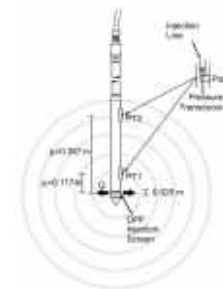
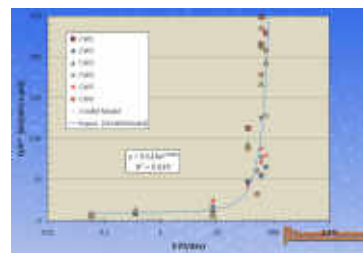
2 approcci:

1. Misura della pressione e della portata di iniezione nella stessa porta

$$\log K = a + b \log \left(\frac{Q}{p} \right)$$

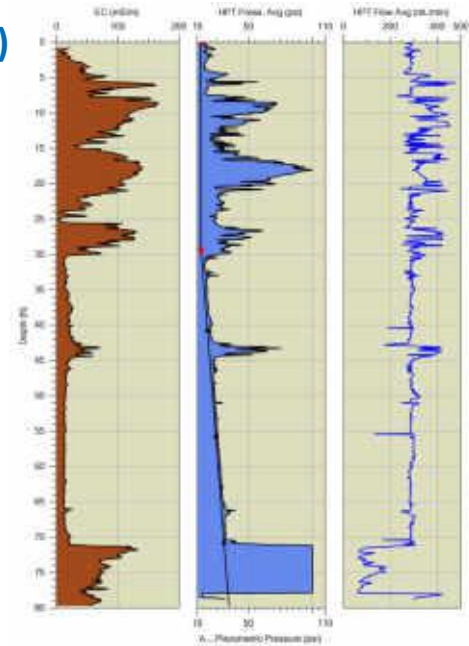
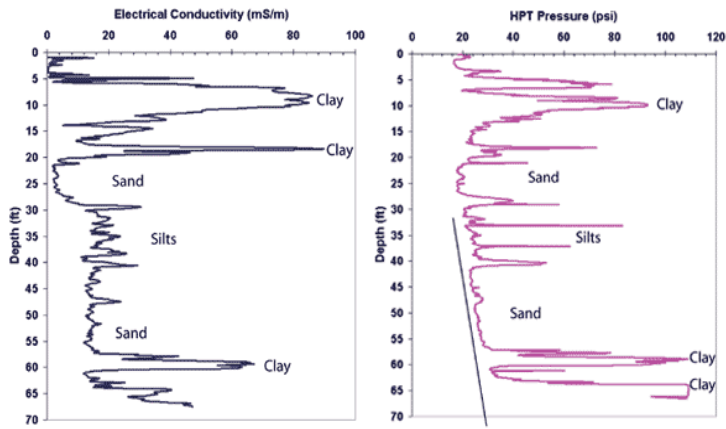
2. Iniezione e misura delle pressioni in porte distinte, secondo la legge di Darcy in geometria sferica:

$$K = \frac{Q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}{4\pi \Delta h}$$





Profili verticali (metodo qualitativo)

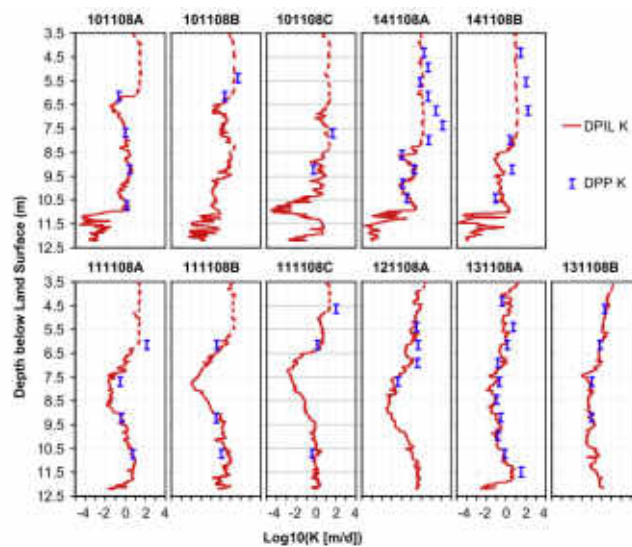


2022 Politecnico di Torino – Groundwater Engineering

13



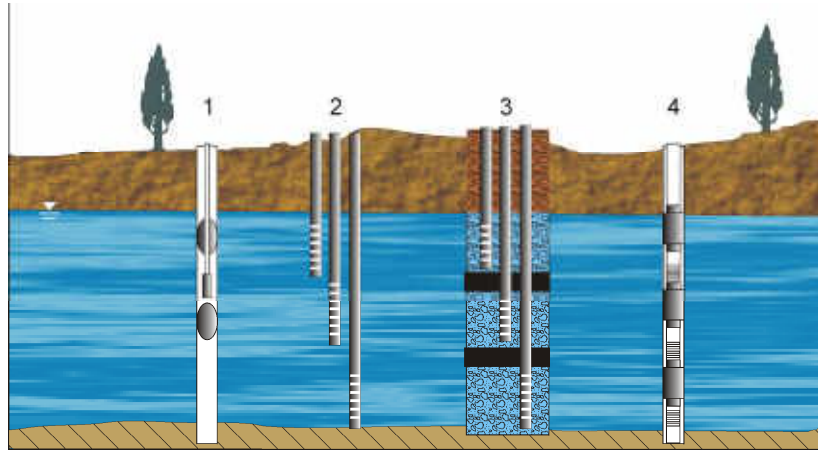
Profili verticali di conducibilità (calibrazione con slug tests)



2022 Politecnico di Torino – Groundwater Engineering

14

B: Contaminazione: campionamento lungo la verticale



Sistemi di campionamento multilivello:

1) packer doppio, 2) cluster in perfori separati, 3) cluster in un singolo perforo, 4) sistemi multilivello.

Campionamento lungo la verticale: CMT Solinst

Tubazione flessibile:

- del diametro esterno di 1.7" suddivisa in 7 canali interni a nido d'ape
- diametro esterno di 1.1" suddivisa in 3 canali (per sistemi GEOPROBE)

Packer per isolare i vari livelli

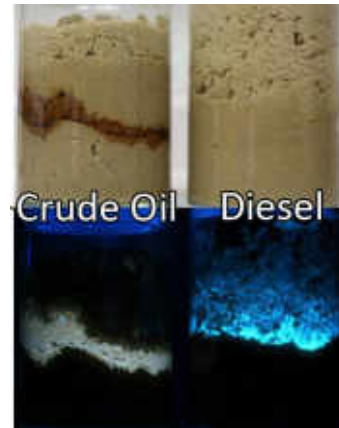
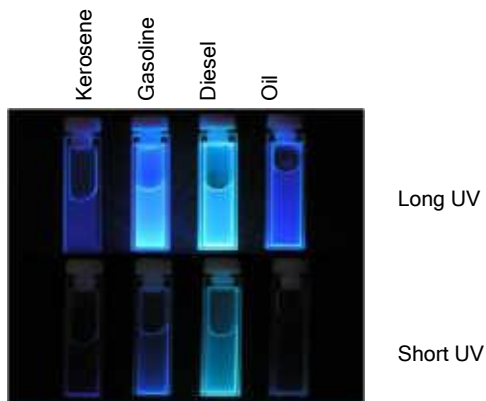
Questo sistema è spesso utilizzato all'interno di perfori realizzati con sistemi ad infissione diretta





Fluorescenza dei contaminanti

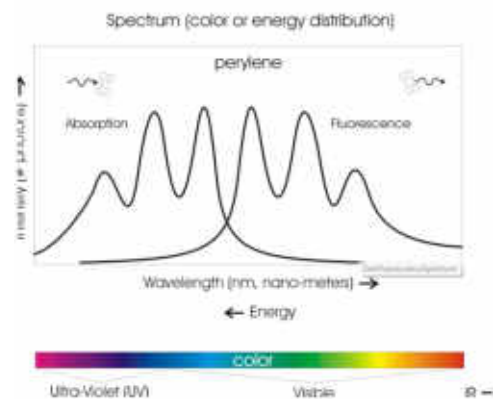
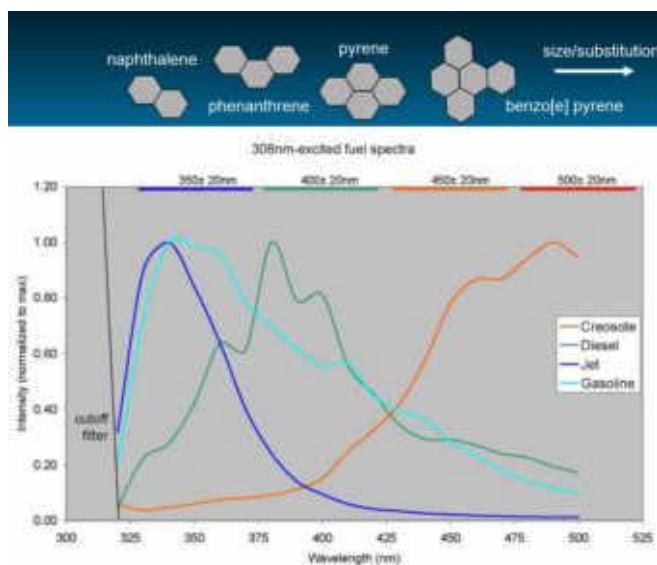
Gli IPA contenuti nei combustibili sono fluorescenti!



17



Fluorescenza stazionaria



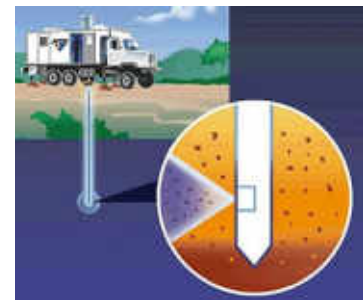
18



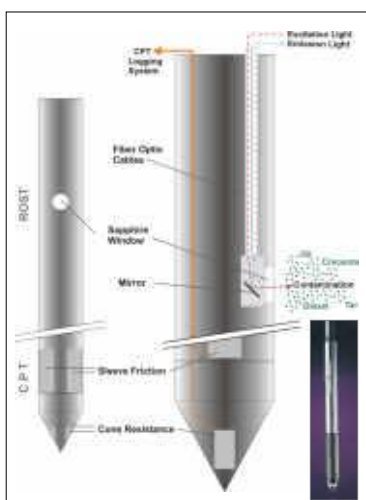
Laser induced fluorescence (LIF)

Sensore ad iniezione diretta

Fluorescenza indotta da raggio laser che raggiunge il sottosuolo attraverso una fibra ottica posta all'interno delle aste. La risposta del NAPL (composti aromatici) è trasportata in superficie da una seconda fibra ottica e lo spettro misurato da un rivelatore in superficie



Laser Induced Fluorescence (LIF)

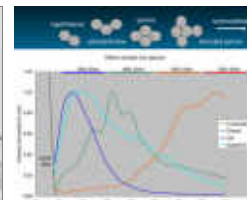


- Semi-quantitative detection of hydrocarbons (fuels, crude oil and tar) in saturated/unsaturated
- Waveform product identification

TarGOST™
(Tar-Specific Green Optical Screening Tool)
Green laser especially and solely designed for Tar DNAPL (Coal Tar, Creosote etc.)

ROST™ (CPT)
(Rapid Optical Screening Tool)
Nd-YAG-Laser/Dye-Laser
Excitation 290 nm
Emission Wavelengths
340 - 390 - 440 - 490 nm

UVOST™ (CPT/DP)
(UltraViolet Optical Screening Tool)
Excimer Laser
Excitation 308 nm
Emission Wavelengths
350 - 400 - 450 - 500 nm

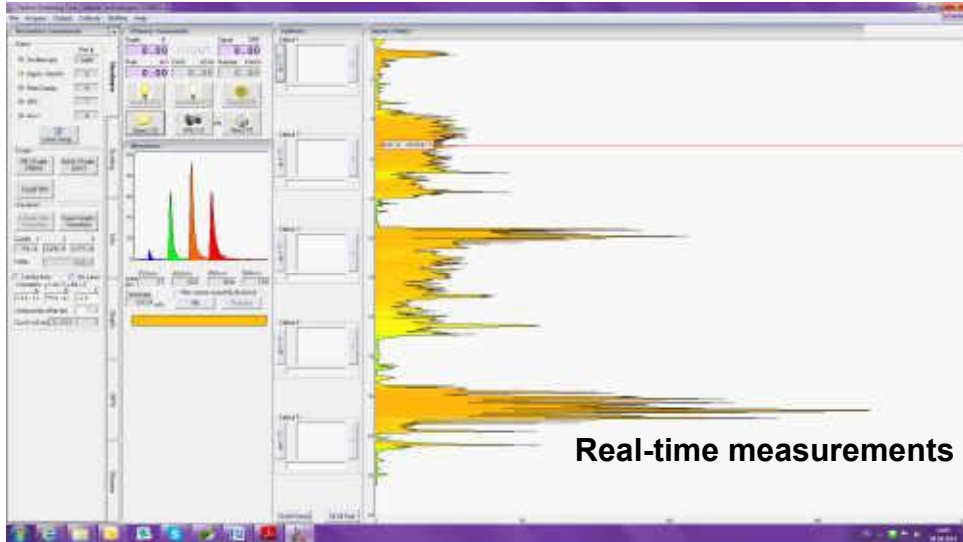


- Low levels of detection (approx. 0.5 ppm)
- Contaminant identity via spectroscopy

E. MARTAC



Profili LIF lungo la verticale



E. MARTAC

2022 Politecnico di Torino – Groundwater Engineering

21

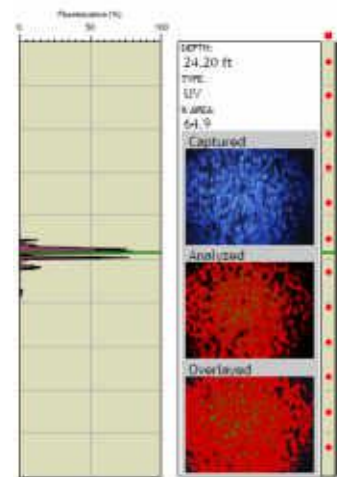
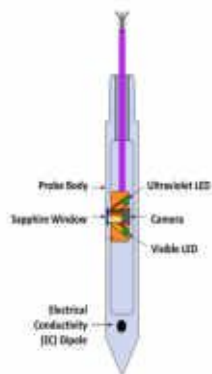


Optical Image Profiler – OIP Geoprobe

Camera (30 fps) + visible & UV (275 nm) led light sources

Detects PAHs contained in LNAPLs

OIP-G(reen): 520 nm for heavier products



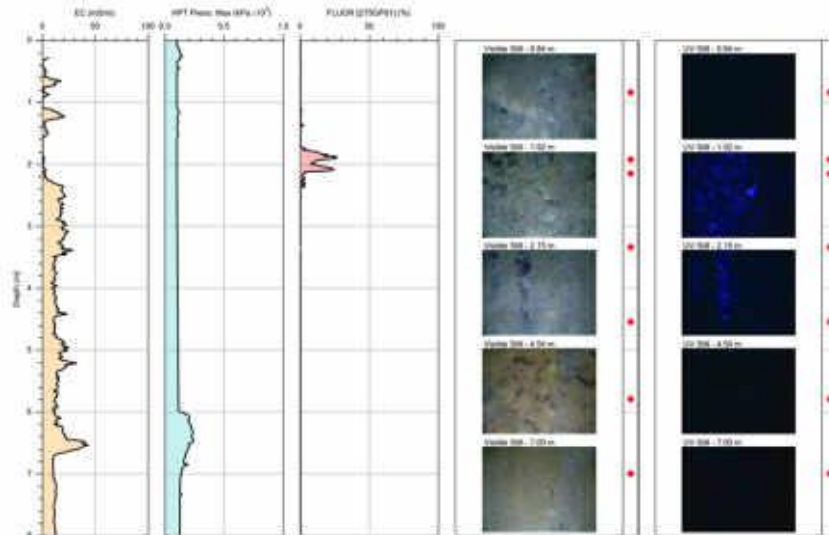
<https://geoprobe.com/videos/di-viewer-reviewing-oihpt-log>

2022 Politecnico di Torino – Groundwater Engineering

22



Optical Image Profiler – OIP Geoprobe



2022 Politecnico di Torino – Groundwater Engineering

23



Membrane Interface Probe (MIP)

Sensore ad infissione diretta
Commercializzato dalla Geoprobe
Una membrana semipermeabile riscaldata permette lo stripping (o volatilizzazione) e il successivo passaggio dei VOC dal sottosuolo ad un gas di trasporto. La concentrazione del contaminante viene in superficie mediante strumentazione analitica.
Velocità di avanzamento 30 cm/min



Strumentazione di acquisizione e controllo MIHPT. a) gas-cromatografo, b) rilevatore XSD, c) MIP controller, d) HPT controller, e) sistema di acquisizione (Geoprobe®).

<https://geoprobe.com/videos/mip-membrane-interface-probe-overview>
<https://www.youtube.com/watch?v=WoL5iZ1GXeg>



2022 Politecnico di Torino – Groundwater Engineering

24

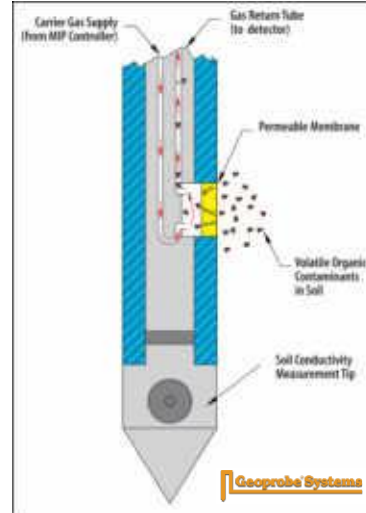
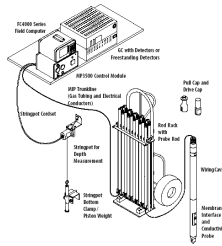


Membrane Interface Probe (MIP)

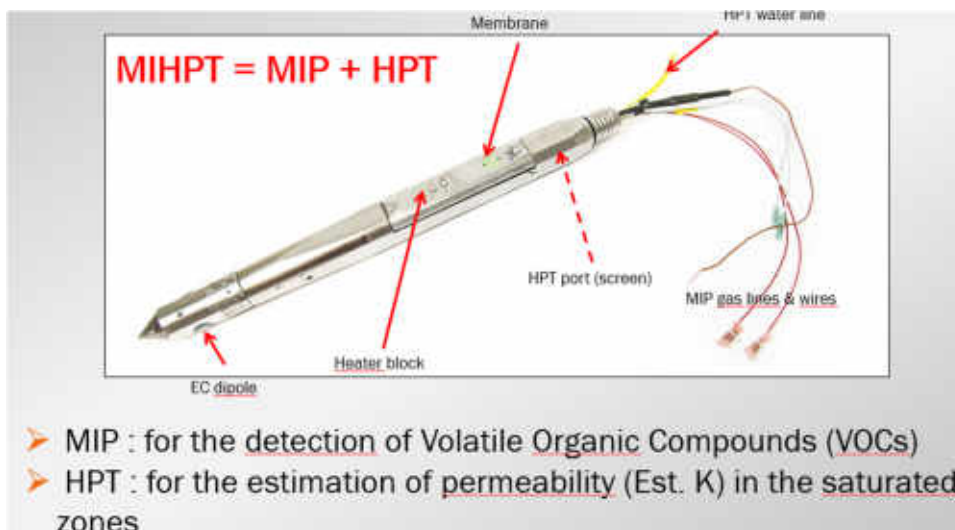
Volatilizzazione dei VOC grazie alla temperatura della membrana (80-125 °C)
 Adsorbimento sulla membrana
 Diffusione molecolare fino a raggiungere il gas di trasporto
 Il contaminante si muove nelle tubazioni alla velocità di circa 1 m/s

Sensibilità:

- 0.1-1 ppm standard MIP
- 0.01-0.1 ppm LL MIP



MiHPT – Membrane Interface Hydraulic Profiling Tool





Detectors

FID (Flame Ionization Detector):

- general detector (flame)
- → excellent for light HC ($C_1 - C_3$ in MIP configuration)
- far less sensitive than other detectors to most VOCs
- good for HC (ethenes, BTEX...)
- needs H_2 and Air (1:10)



PID (Photo Ionization Detector):

- UV - Vis lamp (10.6eV - 121 nm)
- sensitive to compounds with $IP < 10.6$ eV
- → excellent for aromatics (BTEX...)
- → good for lots of unsaturated HC (including VOCs)
- needs carrier gas (MIP is enough)

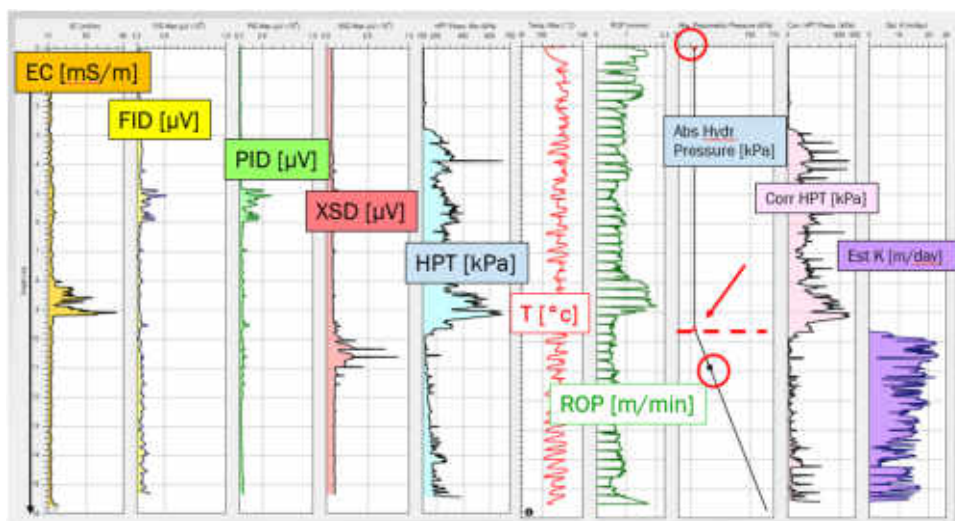
XSD (Halogen-Specific Detector):

- low baseline noise
- very stable
- very good sensitivity to VOCs
- Selective
- needs +/- 20ml/min of AIR
- best alternative to ECD & DELCD detectors

	Contaminates	Detection Limit*	Carrier Gases
PID	BTEX	1 ppm	Nitrogen, Helium, Compressed Air
FID	Methane, Butane	N/A	Nitrogen, Helium, Compressed Air
ECD	Chlorinateds (TCE, PCE)	250 ppb	Nitrogen, 95% Argon, 5% Methane
XSD	Chlorinateds (TCE, PCE)	1 ppm	Nitrogen, Helium, Compressed Air
DELCD	Chlorinateds (TCE, PCE)	1 ppm	Nitrogen, Helium, Compressed Air

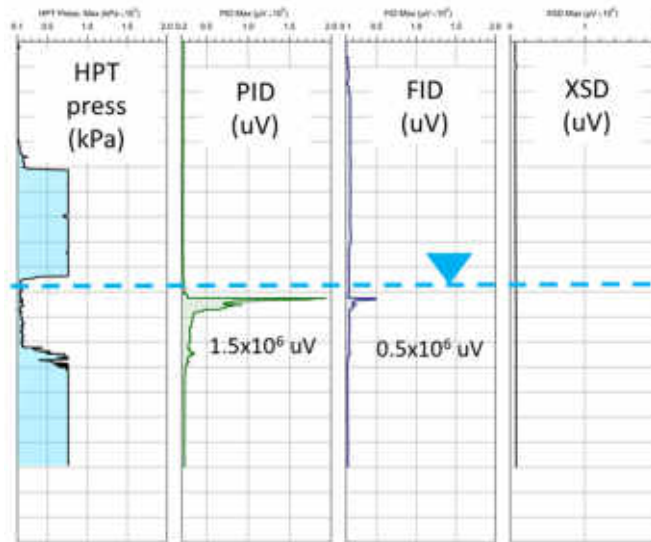


MiHPT Log





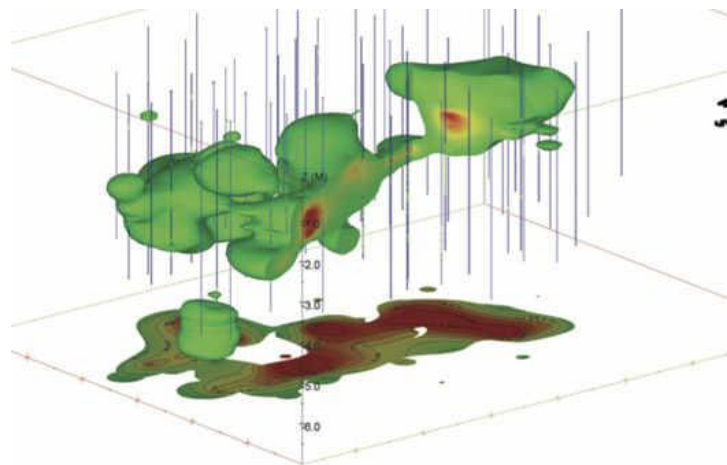
MiHPT



29

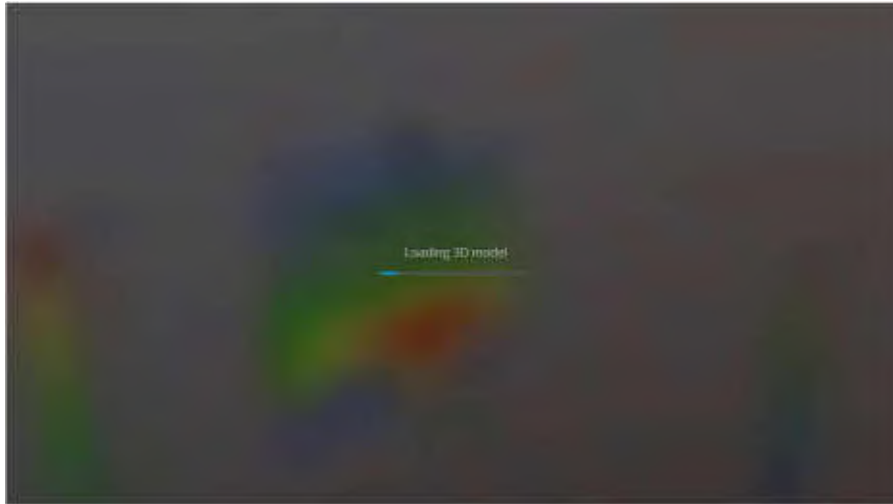


«Making the invisible visible»



30

«Making the invisible visible»



<https://sketchfab.com/3d-models/mihpt-survey-xsd-response-with-estimated-k-fea01beeb4364b59ae20a6fc2884a720>

31

Conclusioni

Vantaggi:

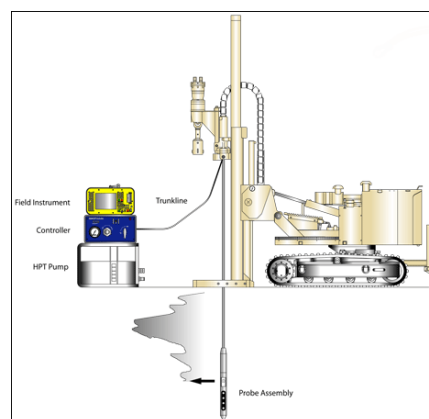
- Analisi in tempo reale e continua
- Nessuna manipolazione del campione
- Nessuna generazione di rifiuti

Le tecniche ad alta risoluzione spaziale consentono di:

- determinare l'eterogeneità di EC e di conducibilità idraulica;
- ricostruire accuratamente la distribuzione spaziale dei contaminanti

e pertanto permettono di:

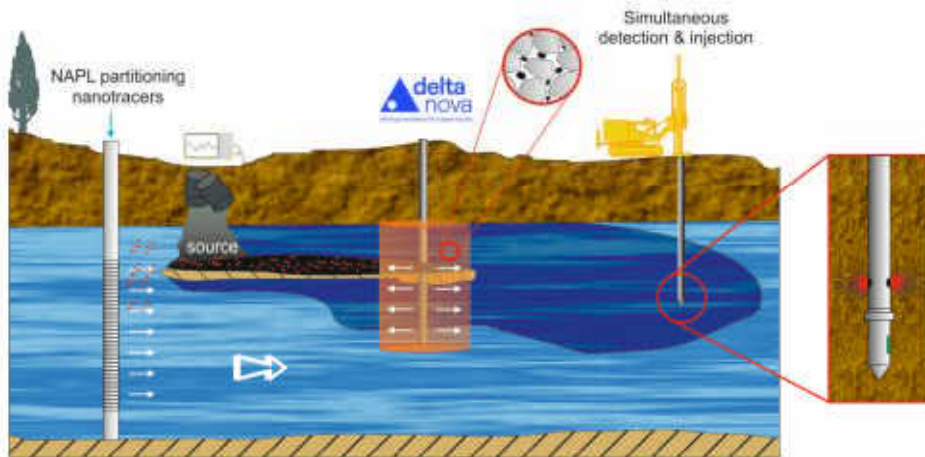
- quantificare masse e flussi di contaminanti
- ottimizzare gli interventi di bonifica e ridurre i costi.



32



To be continued...



2022

Politecnico di Torino – Groundwater Engineering

33

33



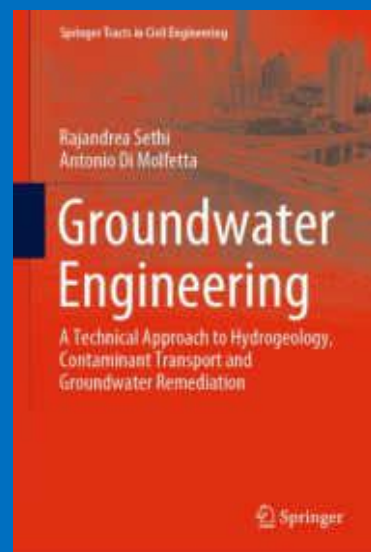
POLITECNICO
DI TORINO

Groundwater
Engineering



Rajandrea Sethi

TECNICHE AD ALTA RISOLUZIONE PER LA CARATTERIZZAZIONE DI ACQUIFERI CONTAMINATI



34



Prof. Rajandrea Sethi

rajandrea.sethi@polito.it

35



Prof. Rajandrea Sethi

rajandrea.sethi@polito.it

36