

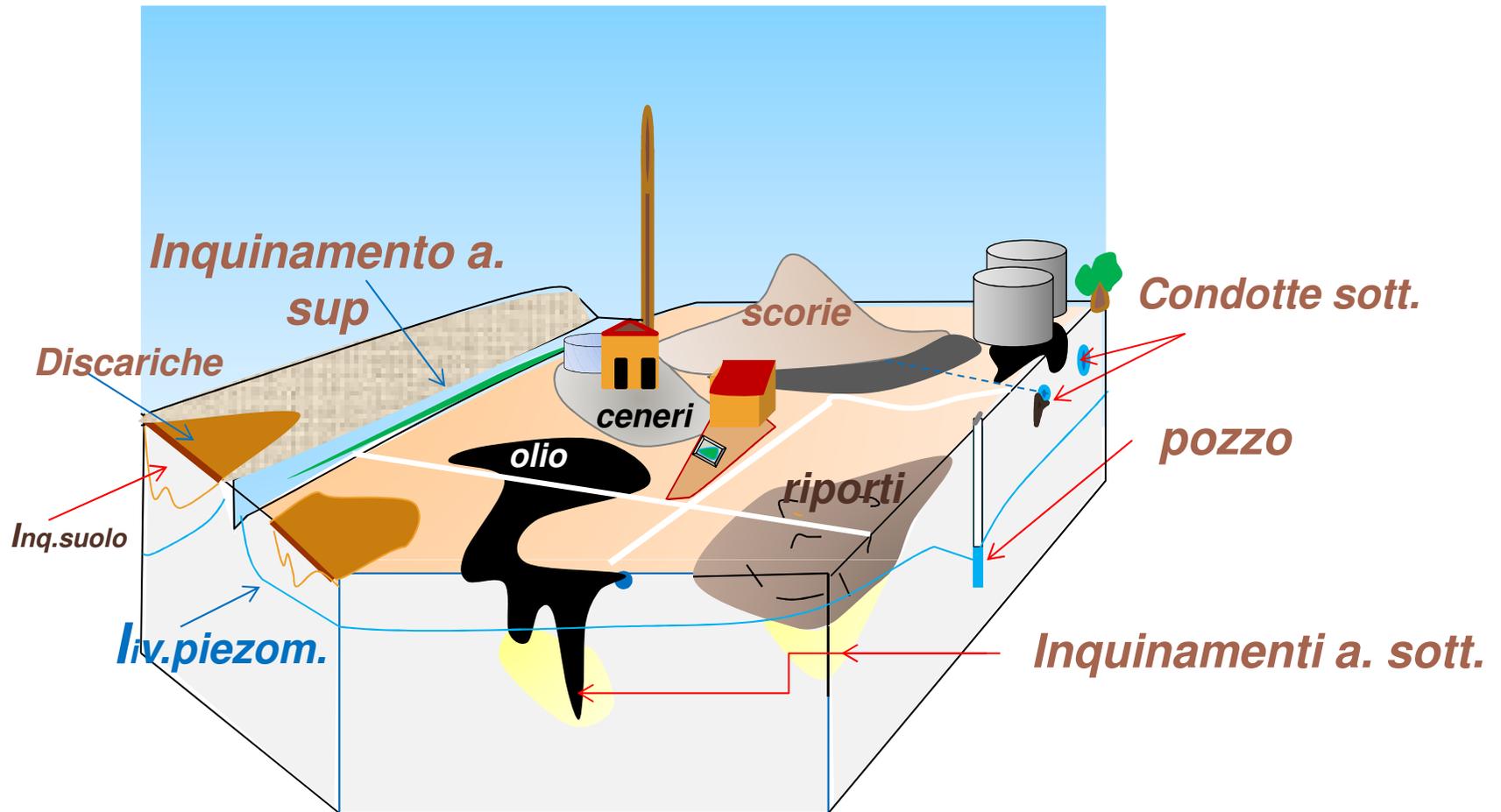
***Studi idrogeologici  
per le costruzioni  
nelle aree industriali***

***Il caso di Rho e Arese***

***V.Francani 10.12.2014***

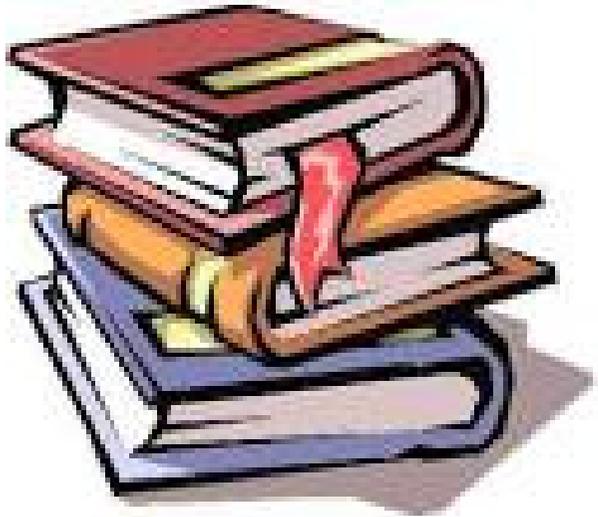
# Le aree industriali dismesse





**Schema delle contaminazioni dei suoli e delle acque sotterranee e superficiali nelle aree industriali dismesse**

# ***Come progettare le costruzioni nelle aree industriali dismesse***



*vanno identificate le fonti di inquinamento  
attive ed eliminate tramite prospezioni  
idrochimiche, geochimiche in superficie e in  
profondità*

***Vanno identificati e rimossi gli inquinamenti  
esistenti di suoli e acque***

***Si devono proporre progetti costruttivi che,  
tenendo conto dello stato di  
contaminazione, garantiscano la sicurezza  
per i nuovi utilizzatori delle aree***

# **Generalità sulle condizioni ambientali dell'area Rho-Arese-Milano**



***SETTORE NORD-OCCIDENTALE  
DI MILANO:  
CONTAMINAZIONE NELLA  
ZONA DI RHO - PERO***

Rilevante interesse sociale:  
area dell'ex raffineria Agip,  
oggi sede del nuovo polo  
fieristico milanese

# Descrizione del sito



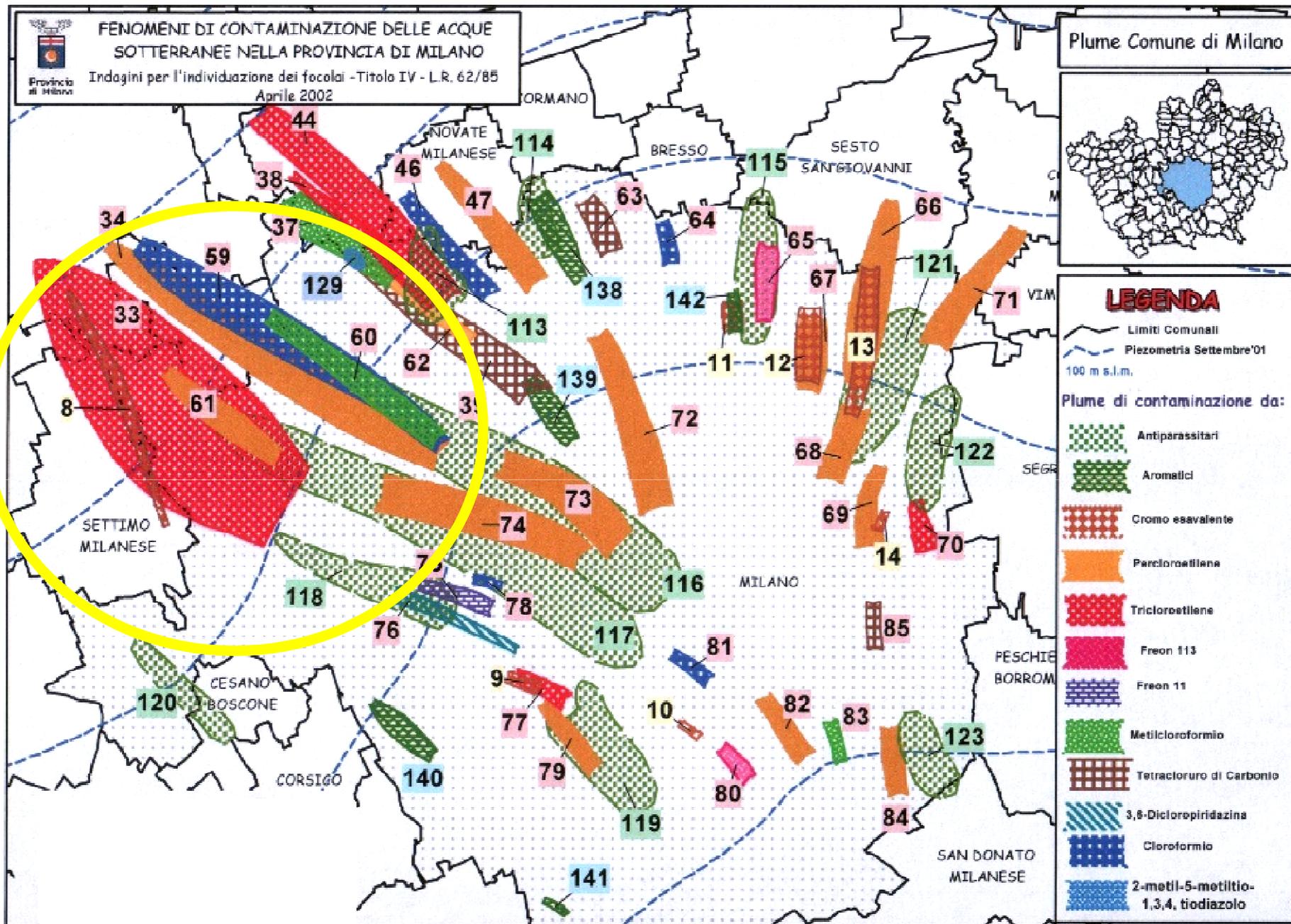
**Area di 130 ettari  
ubicata nei comuni di Rho e Pero (MI)**

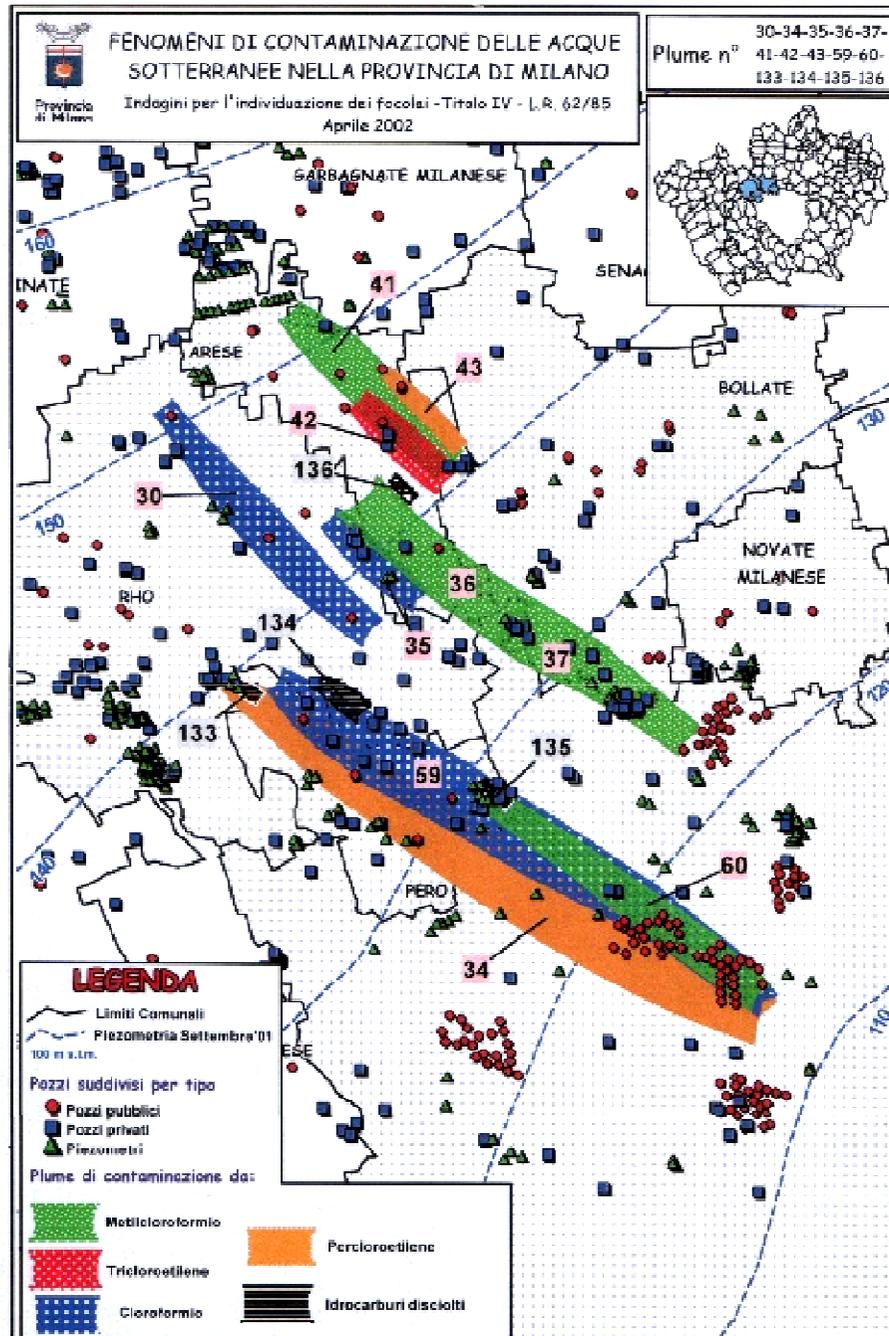
**IL TERRITORIO DI RHO E ARESE PRESENTA LE CARATTERISTICHE TIPICHE DELLE AREE INDUSTRIALI DISMESSE, NELLE QUALI L'INQUINAMENTO DEI SUOLI HA LASCIATO UNA SIGNIFICATIVA CONTAMINAZIONE DELLE FALDE.**

**Prima di dare vita a insediamenti abitativi è necessario cautelarsi da responsabilità nell'alterazione ambientale accertando lo stato qualitativo di acque e suoli su un'area estesa oltre i confini del sito**

***Questo è stato compiuto nel 2002 su scala provinciale, rivelando la presenza di una grave compromissione della falda milanese, con plumes di inquinamento fra Rho e Milano:***

- Prevalenza di solventi organo-alogenati
- Pennacchi di estensione sovracomunale (anche oltre i 3 km): Milano, Pero, Rho
- Sovrapposizione di fenomeni nello spazio (tipi di contaminanti, estensione dei pennacchi, falde inquinate)





## Plume 34, 59, 60

- Solventi organo-clorurati
- Elevato numero di pozzi pubblici a rischio
- Falde inquinate: prima e seconda
- **Plume 34** : PCE, in diminuzione
- **Plume 60** : in crescita
- **Plume 59** : stazionario

# **Le indagini da compiere nei progetti di costruzioni , esempi su casi reali**



# Procedura da seguire

**1. Caratterizzazione ambientale del sito**

**2. Progetto di bonifica**

**3. Analisi di rischio**

**4. Esecuzione lavori di bonifica**

**5. Attività costruttive con protezione ambientale**

## *Fase 1*

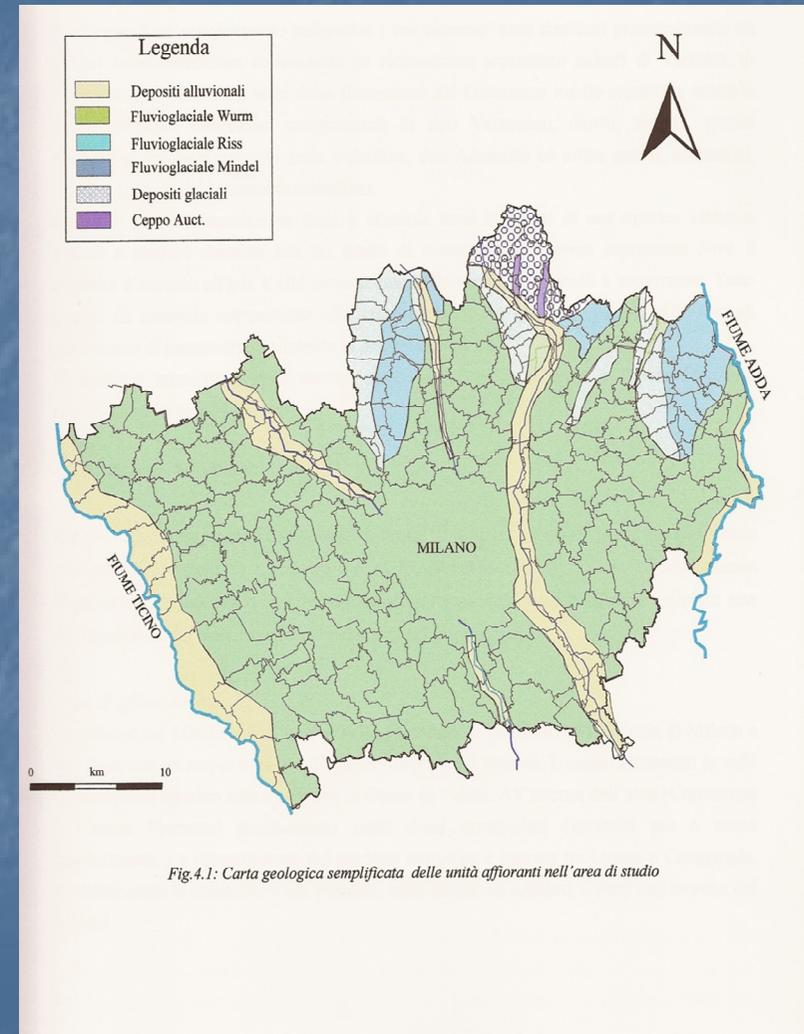
# Caratterizzazione Ambientale

### Modello Concettuale del Sito (MCS)

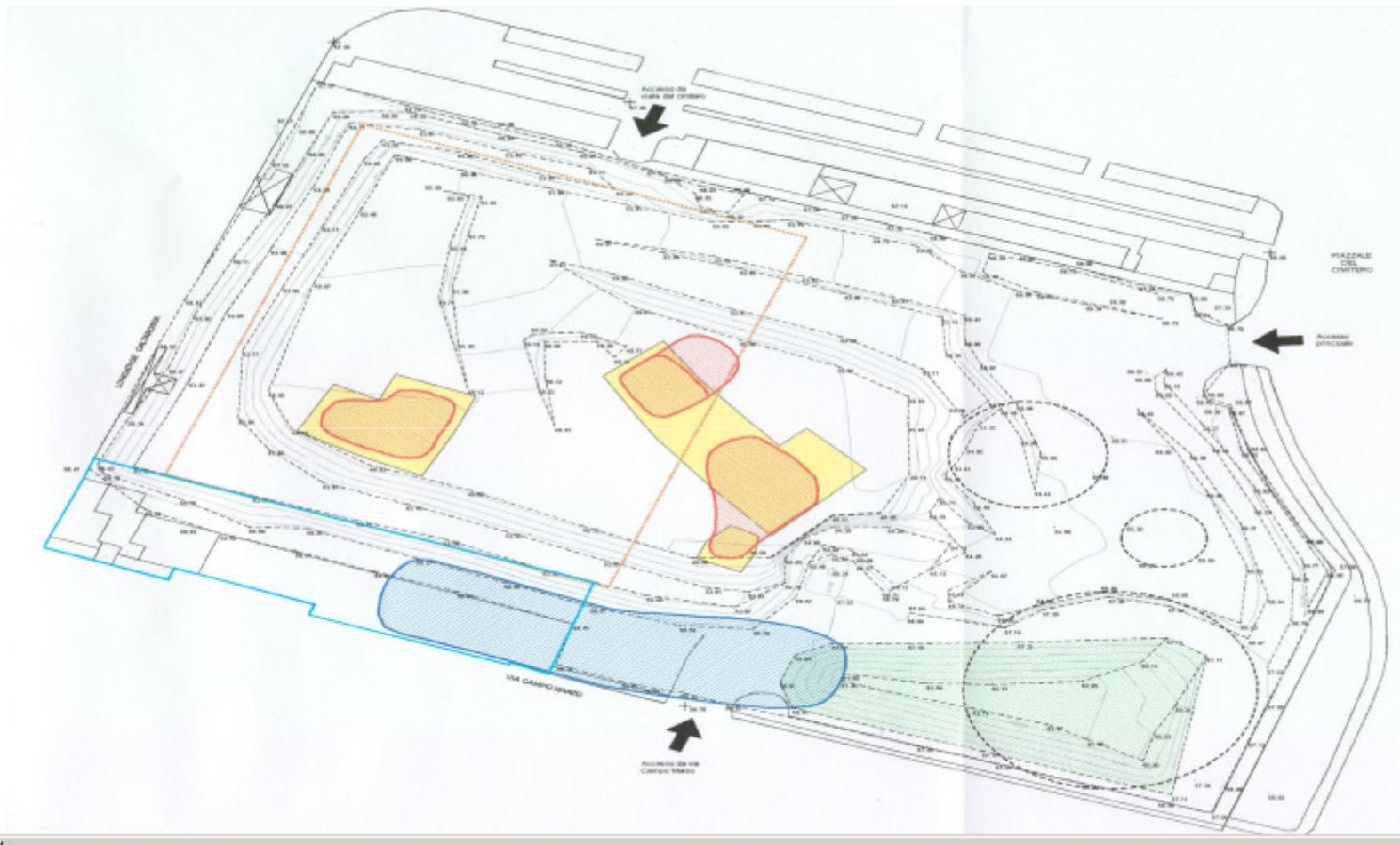
- Zona insatura diffusamente contaminata da idrocarburi di origine petrolifera
- Zona satura superficiale (acquifero freatico) contaminato da idrocarburi disciolti ed iniziali isolate evidenze di prodotto in libero galleggiamento
- Zona satura profonda (acquifero profondo) non contaminato

## Inquadramento geologico del territorio provinciale

- Pliocene superiore ed inferiore: ritiro del mare e sedimentazione di depositi continentali, fluvio - lacustri, deltizi e di pianura costiera (Unità Villafranchiana e Ceppo Autoctono);
- Pleistocene: tre grandi glaciazioni (Mindel, Riss e Wurm), con deposizione di sedimenti fluvio - glaciali (Diluvium antico, medio e recente);
- Olocene: Sedimentazione alluvionale e di erosione.



## ***Fase 2 Escavazione dei terreni e loro conferimento a discarica/decontaminazione***





***L'identificazione di alcune discariche risulta facile, perché superficiali. Altrimenti si ricorre a sondaggi e geofisica***



# Progetto di Bonifica



• Stazione VER



• Trincee

# Sovrapposizione Bonifica/Costruzione Polo Esterno

- Eseguita analisi di rischio igienico-sanitario per i lavoratori impegnati sul sito durante il periodo di sovrapposizione
- Risultati:
  - assenza di condizioni di rischio

# La protezione dell'ambiente nel corso della bonifica

Tenuto conto del fatto che le bonifiche non possono procedere speditamente, per le necessità di approvazione di ogni attività e delle correzioni dei lavori in corso o già compiuti che ne derivano, è necessario predisporre un piano di controllo ambientale.

1. Si deve quindi continuamente valutare con attenzione se gli interventi in corso determinano cambiamenti nelle condizioni dei terreni e della falda, cioè si deve continuamente **aggiornare l'analisi del rischio.**

**Questo si può fare calcolando, in base ai dati esistenti, quanto inquinante arriva in falda e studiando le misure opportune per impedire che la contaminazione che ne deriva esca dal sito**



il valore di  $C$  la concentrazione del contaminante che attraversa la porzione non satura del terreno. Per poter calcolare la concentrazione  $C_0$  dell'inquinante che si trasferisce con la falda, che deriva dalla miscelazione del flusso di infiltrazione  $F$  con concentrazione  $C$  proveniente dall'insaturo con la portata  $Q$  della falda avente concentrazione di contaminante  $C_0'$ , si procede alla valutazione utilizzando la nota formula (Custodio 1996) :

$$C_0 = \left[ \frac{CF + C_0'Q}{F + Q} \right]$$

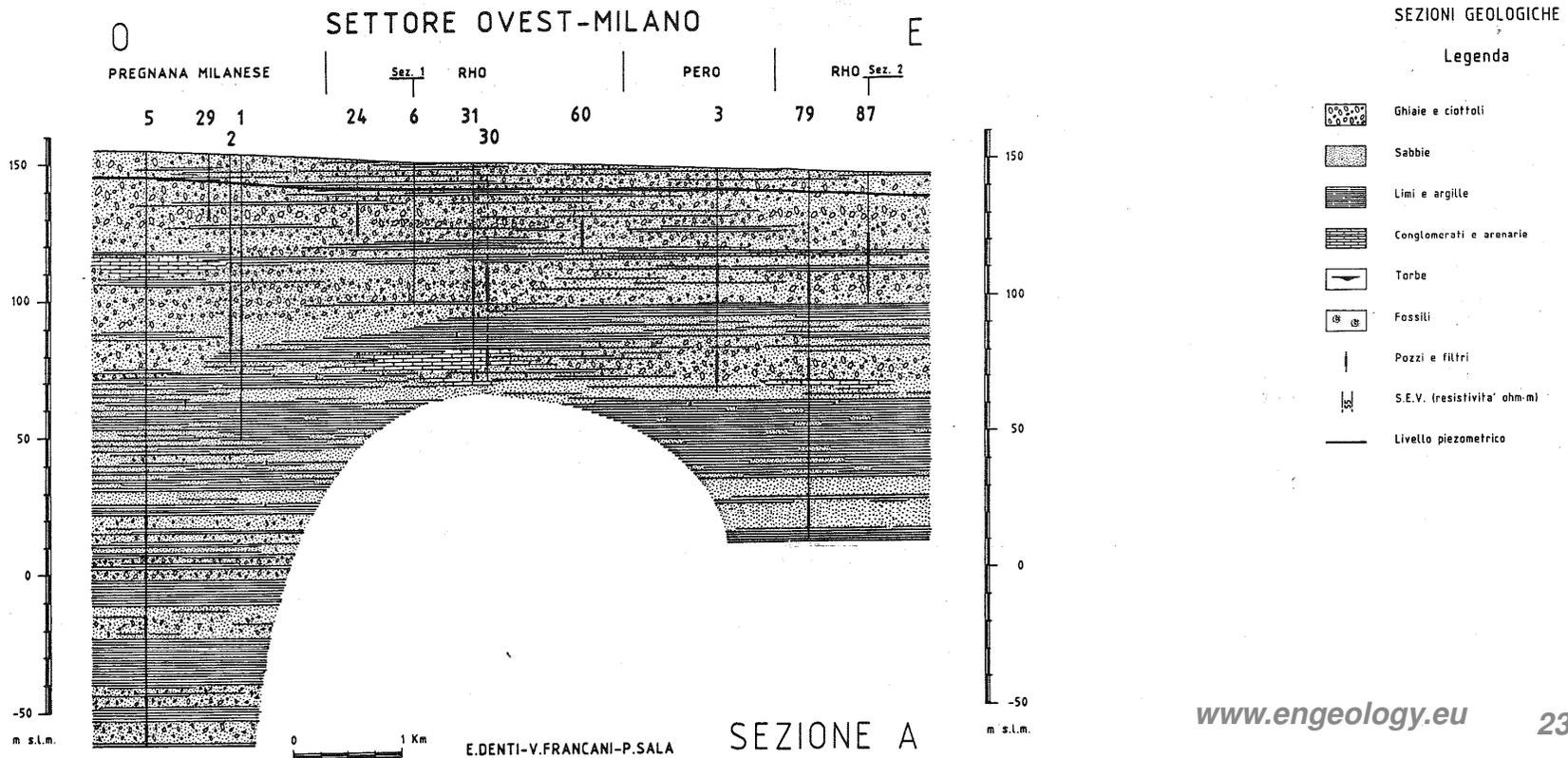
$C_0$  rappresenta la concentrazione della sorgente di contaminazione in falda.

**Per ogni contaminante viene eseguita una cartografia dei risultati analitici che ne riporta le concentrazioni in falda e nel suolo, associata alla carta della piezometria, che indica la posizione della superficie della falda e informa sulla direzione che seguiranno gli inquinanti in falda**

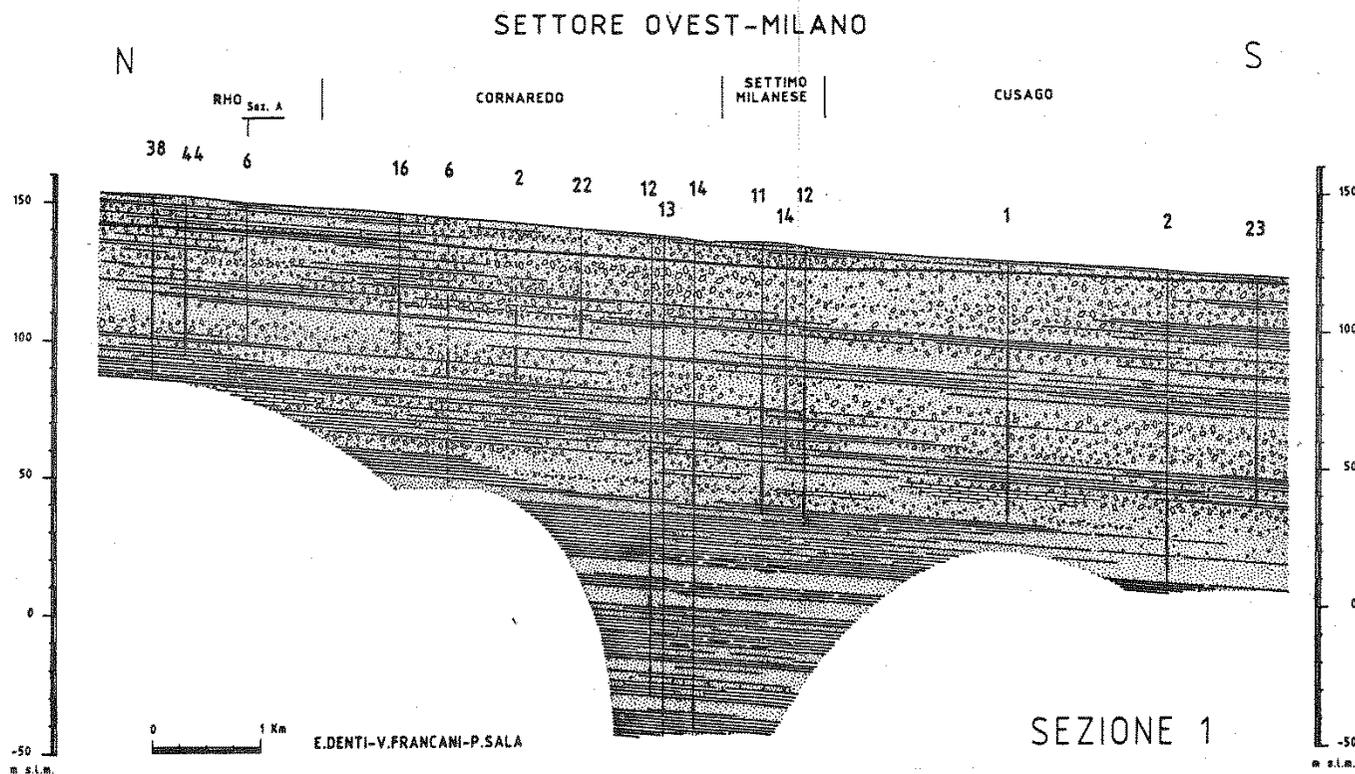
*Ad esempio questo settore risulta più contaminato*

**Si ha così un'idea dell'attuale situazione e dei pericoli futuri**

**E' quindi molto importante sapere la posizione delle falde e dove si trovano i livelli più permeabili e quelli non permeabili**



***A Rho il livello della falda si trova molto vicino alla superficie ed e' quindi molto esposto alla contaminazione***



## Se si conoscono le concentrazioni dei contaminanti nei suoli, e' possibile valutare la concentrazione che perviene alla falda tramite modelli di calcolo ben sperimentati

Secondo R. Charbeneau e D. E. Daniel (1992), ipotizzando un afflusso costante  $f$  dalla superficie e una concentrazione  $C_0$  dell'inquinante alla fonte, è possibile utilizzare la relazione di Ogata-Banks per calcolare la concentrazione  $C$  dell'inquinante alla profondità  $L$ :

$$C = 0,5C_0 \operatorname{erfc}\left(\frac{L - vt}{(4\alpha vt)^{0,5}}\right)$$

Il valore della velocità di infiltrazione dell'acqua  $v$  deve essere ottenuto dividendo il valore di  $F$  per il tempo  $t$  necessario a percorrere il tratto di lunghezza  $L$ , ricavabile da Green-Ampt, che fornisce il tempo di arrivo del fronte di infiltrazione alla profondità  $L$ . Il valore ottenuto rappresenta la velocità media dell'acqua, e per passare a quella del contaminante, bisogna tener conto del suo fattore di ritardo  $R$ , moltiplicando  $v$  per  $R$ .

Si ricorda che questo fattore si ricava da  $K_d$  (coefficiente di ripartizione  $L^3/m^{-1}$ ), che per le sostanze organiche deve tener conto della  $f_{OC}$  (frazione di carbonio organico che risulta presente).  $K_d$  è noto per ogni sostanza, mentre  $f_{OC}$  deve essere misurato.

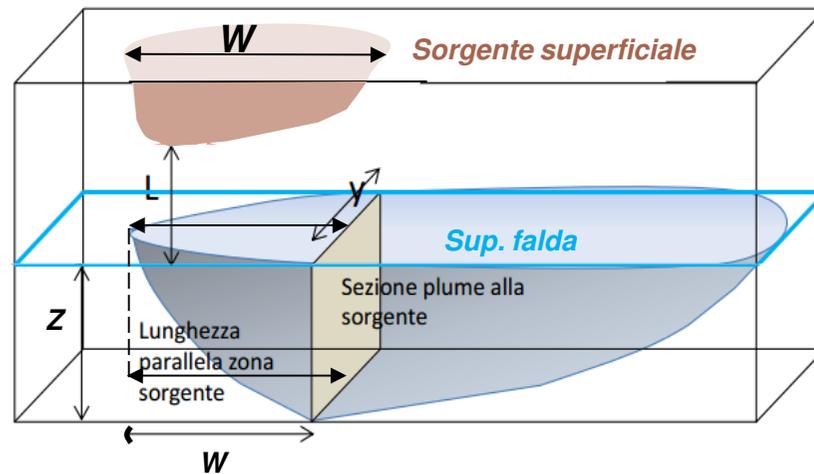
$$K_i = F - S_i(m - MI) \ln\left[1 + \frac{F}{S(m - MI)}\right]$$

$$C_s = \left[ \frac{CF + C_0'Q}{F + Q} \right]$$

$C_0$  rappresenta la concentrazione della sorgente di contaminazione in falda.

Si può ipotizzare che la sorgente abbia forma rettangolare, e con medesima larghezza  $Y$  del nucleo inquinante che impregna il terreno in superficie, e spessore verticale  $Z$  che dipende dalla relazione :

$$Z = (2W\alpha_e)^{0.5} + b \left[ 1 - \exp\left(\frac{-WF}{um_e b}\right) \right]$$



**Figura 3** Modello per le dimensioni iniziali dell'area contaminata della zona satura (YxZ)

In cui  $W$  rappresenta la lunghezza nel senso del flusso del nucleo inquinante in superficie,  $u$  la velocità del contaminante in falda,  $m_e$  la porosità efficace dell'acquifero e  $b$  lo spessore della zona satura

Codici di calcolo numerico per definire quanto inquinante arriva in falda , le concentrazioni attese in falda, nonché la loro evoluzione spazio-temporale ,sono stati approntati e sperimentati da oltre venti anni con successo, ma la loro correttezza deve essere confrontata con le concentrazioni realmente presenti in falda, risultanti da un accurato programma di analisi chimiche.

# Le condizioni di partenza possono però variare notevolmente e determinare varie forme di pericolo

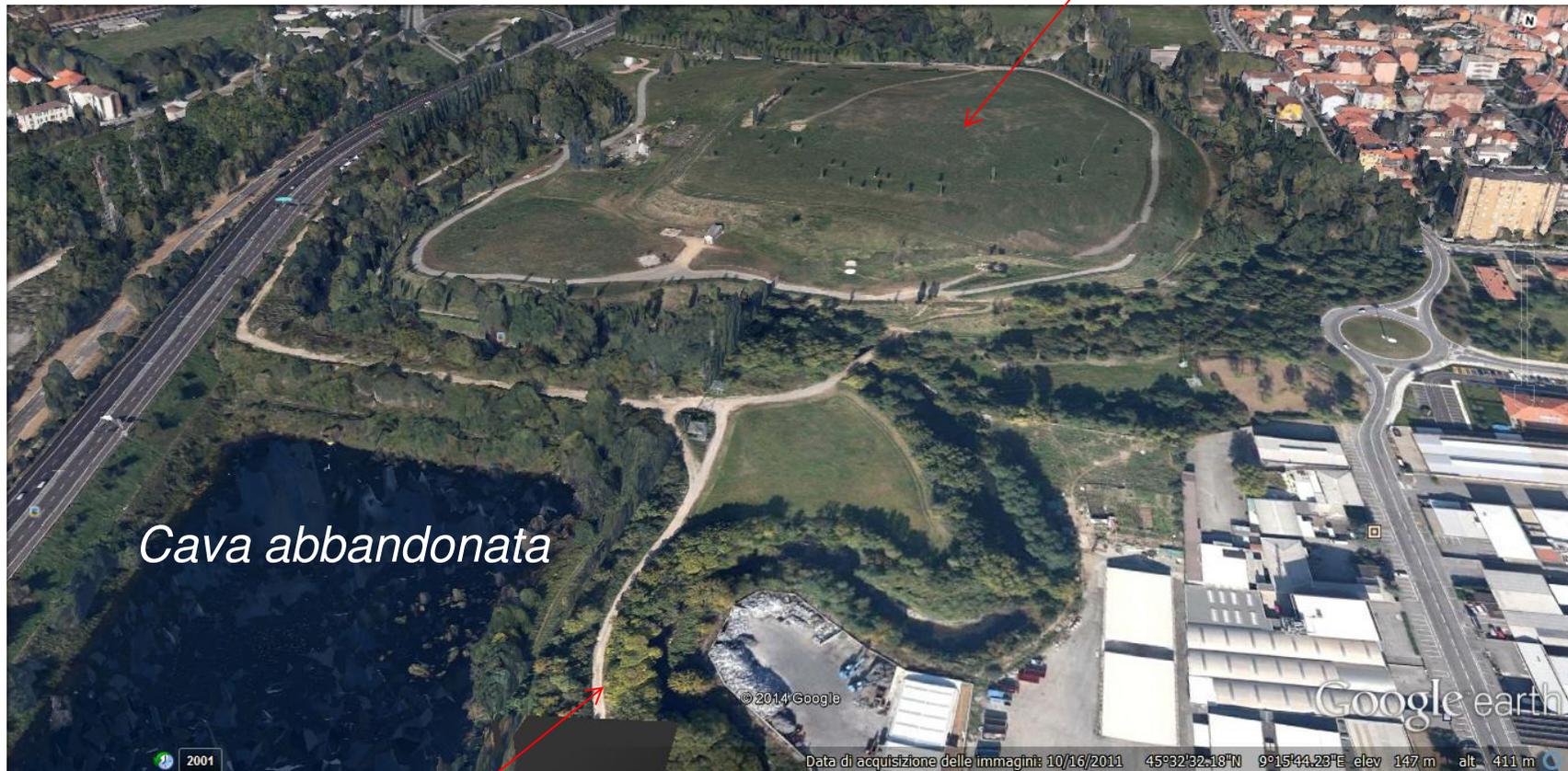
- 1) **Inquinanti sparsi sul terreno o in cumuli**
- 2) **contenuti in antiche discariche, misti a terriccio**
- 3) **Accumulati in cave dismesse**

**Se gli inquinanti non arrivano alla falda che in quantitativi limitati, i calcoli evidenziano che le concentrazioni in falda non supereranno mai le cosiddette concentrazioni soglia di contaminazione (CSC)**

**E' più frequente che questo accada in suoli di grande spessore e scarsa permeabilità, mentre in terreni permeabili e con falda vicina alla superficie , più facilmente avvengono i superamenti dei limiti.**

# Devono essere controllate le possibili fonti di inquinamento esterne e interne

*Collina ricavata dal rimaneggiamento di scorie e materiali inerti*



*Cava abbandonata*

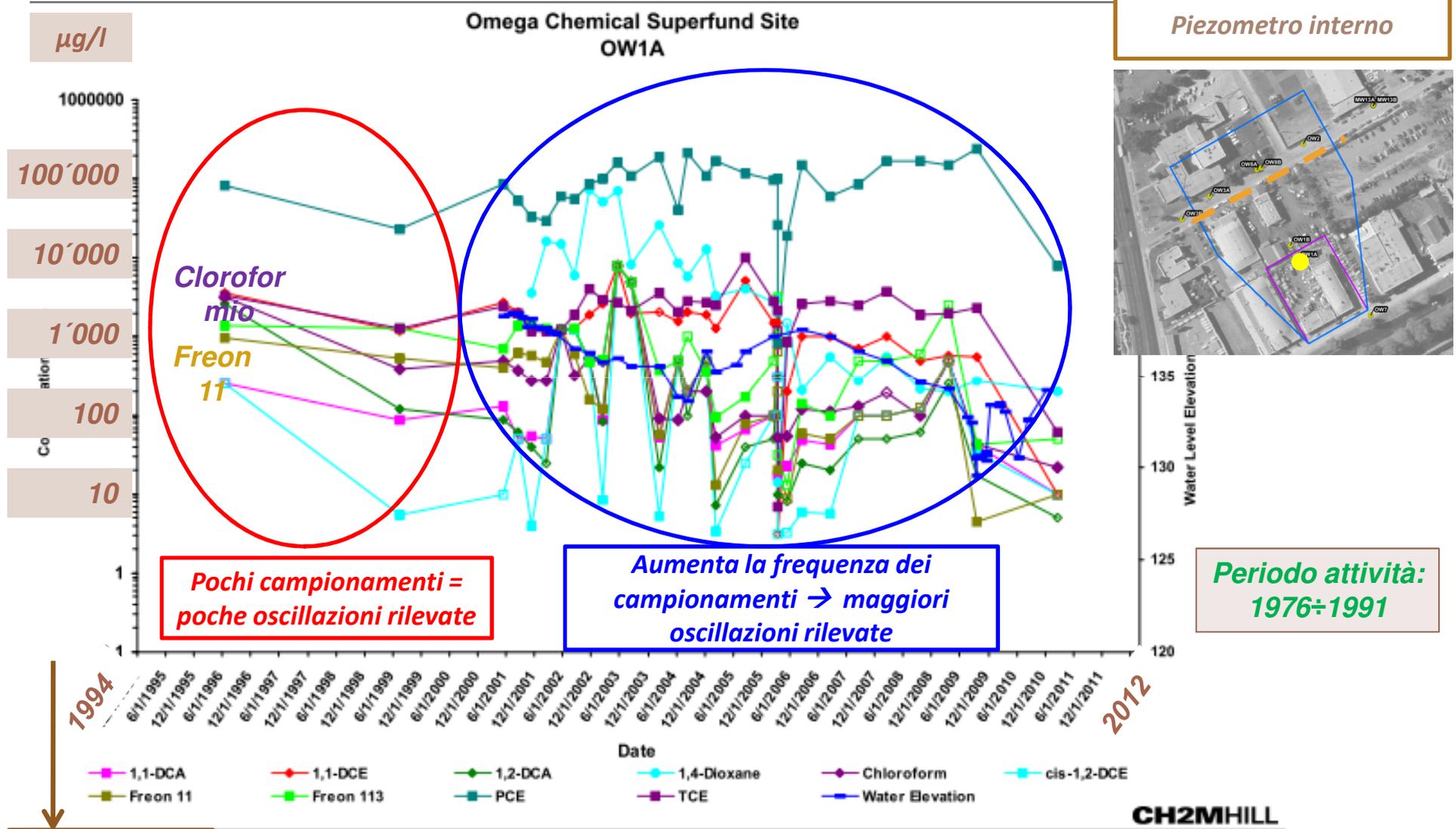
*Corso d'acqua inquinato*

**Nel corso dei lavori deve essere verificato che la qualità della falda non subisca danni. Questo si ottiene con una rete di rilevamento fatta con piezometri che captano la falda, in cui sono svolte periodicamente (ogni sei mesi ad es.) campagne di analisi.**

**Anche il giudizio sull'andamento delle concentrazioni in falda è difficile: spesso riscontriamo un loro andamento altalenante, con marcate oscillazioni dei valori nel medesimo punto. Ciò rende difficile stabilire con certezza lo stato dell'evoluzione dell'inquinamento**

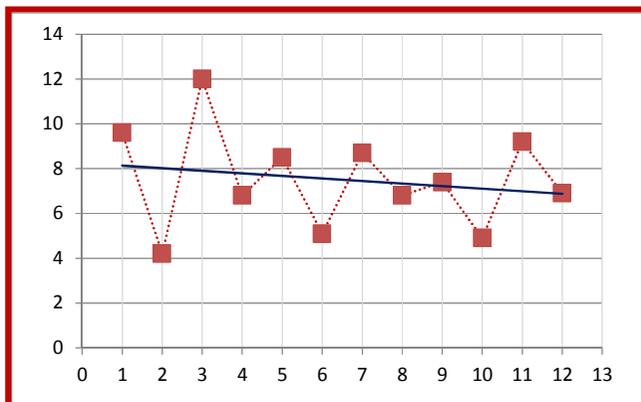
# COMPORTAMENTO DELLE CONTAMINAZIONI IN FALDA

## Casi di studio "Superfund Site information" - 2. Omega Chemical

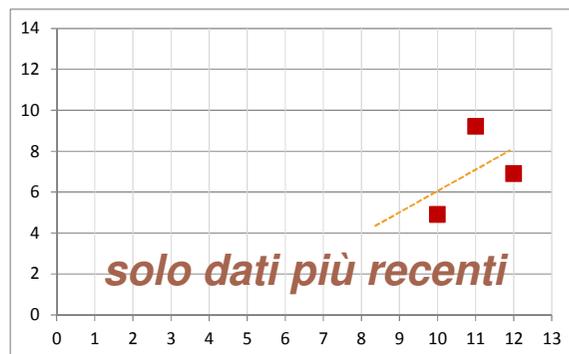
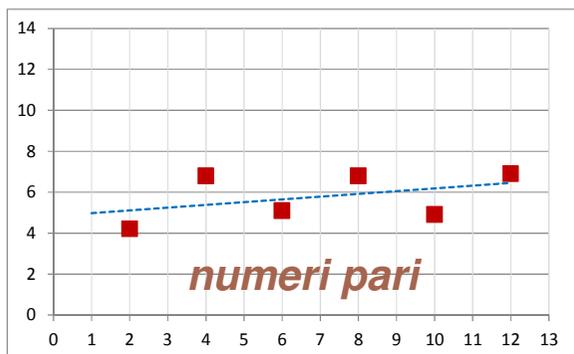
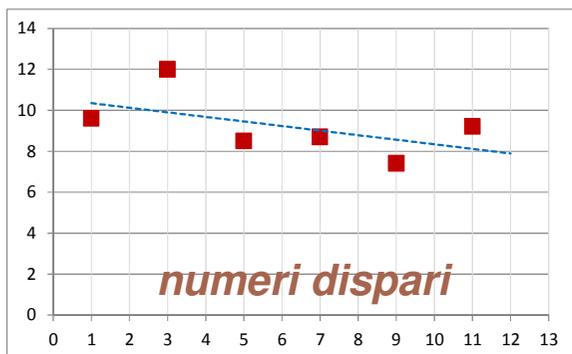
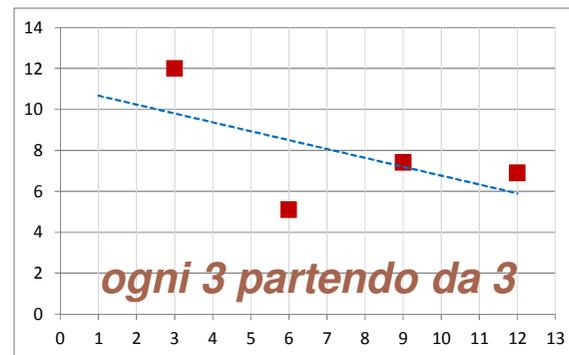
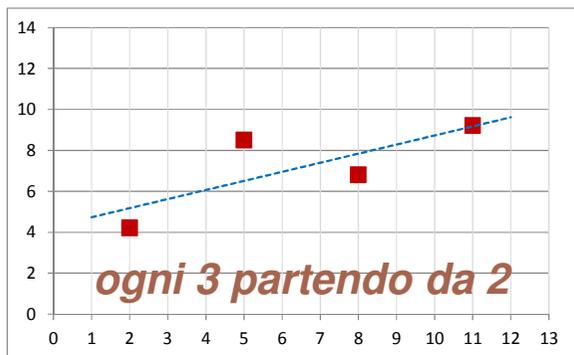
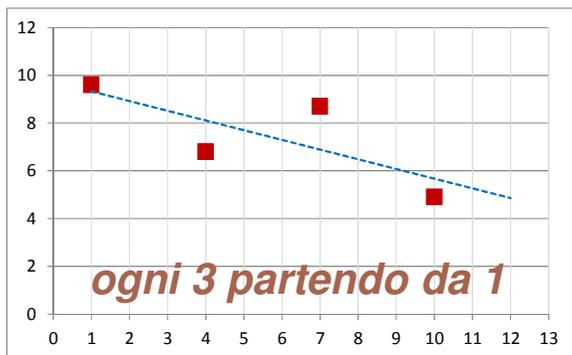


## FREQUENZA TEMPORALE DEI MONITORAGGIO: effetti sull'interpretazione dei fenomeni

*Medesimo fenomeno  
e dati di partenza  
Diversa frequenza  
di monitoraggio*



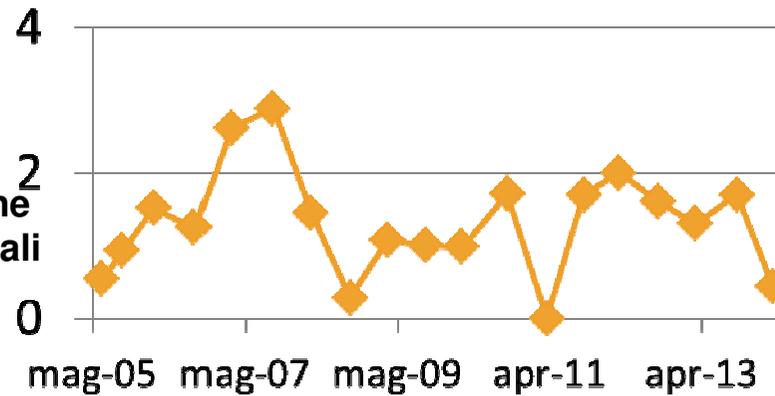
*All'aumentare  
dell'informazione  
non cambia il fenomeno,  
ma diviene più corretta la  
sua interpretazione*



Dobbiamo prima di tutto distinguere se gli inquinamenti sono :  
 stazionari, in espansione o in contrazione.

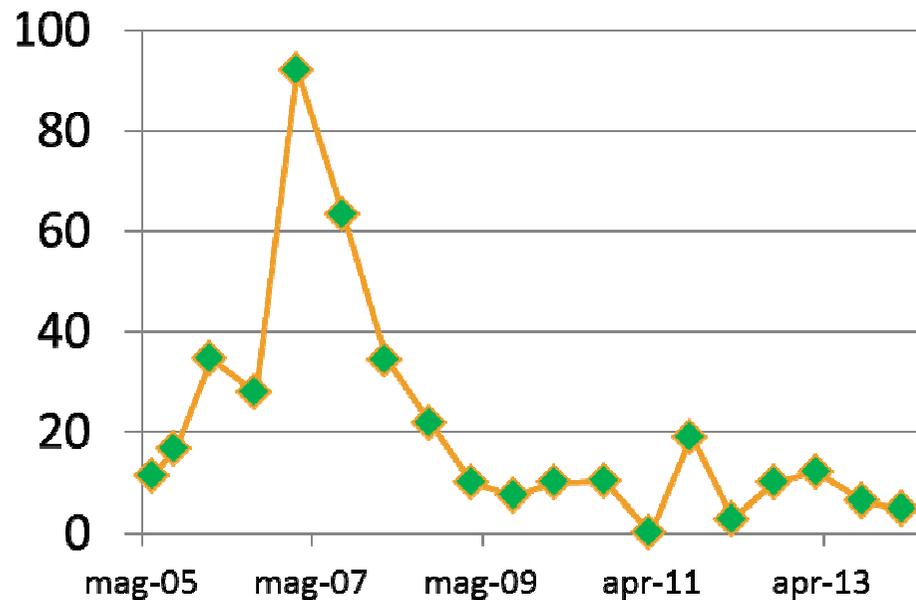
Per ciascun tipo ci sono tre categorie : evoluzione con marcate oscillazioni, regolare , con occasionali picchi o forti riduzioni.

### tricloroetilene



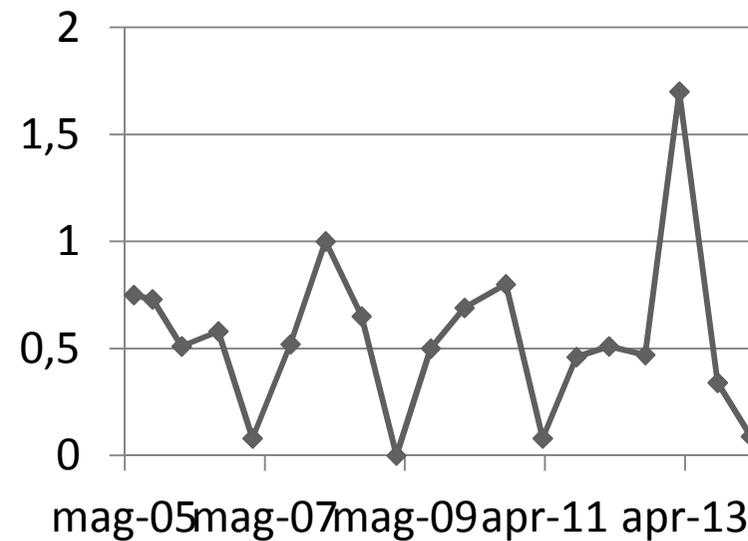
### Marcate oscillazioni

### tetracloroetilene



### Regolare

### triclorometano



### picco

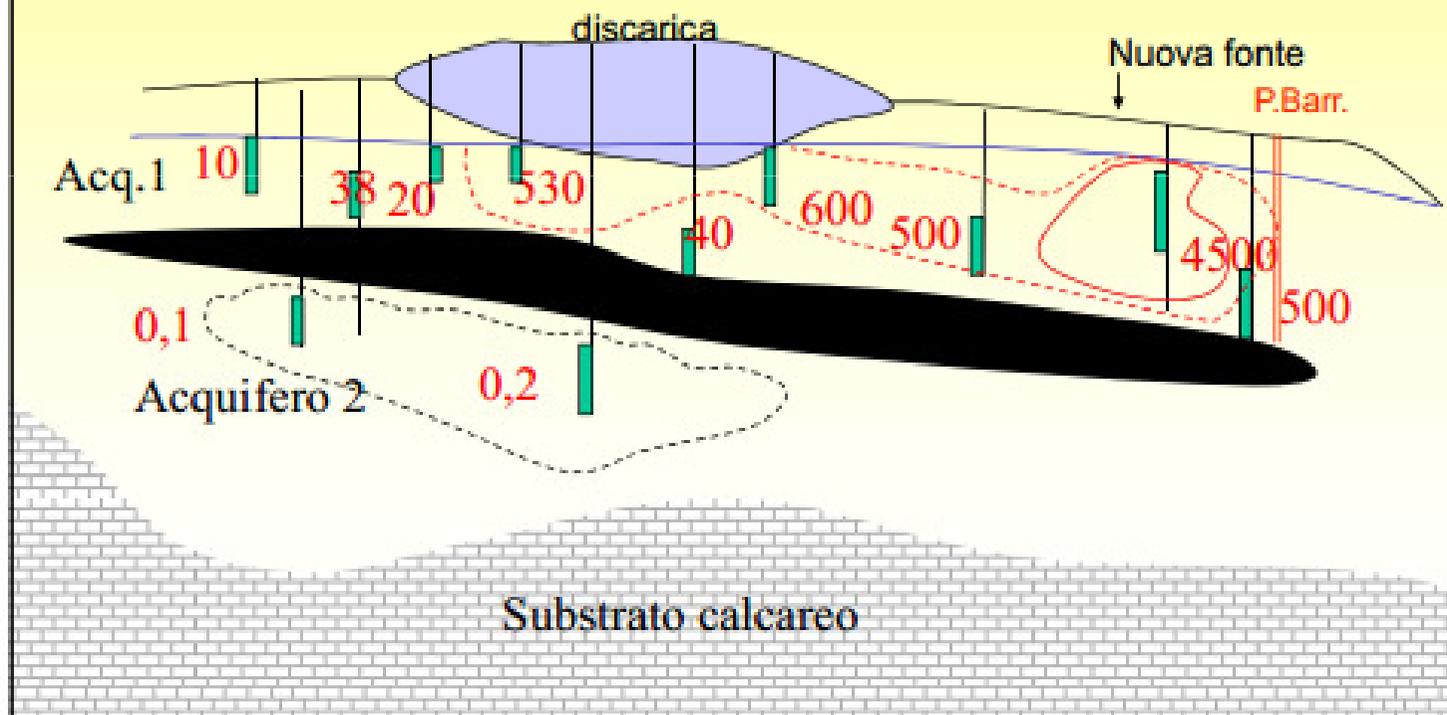
In base a questa rassegna, risulta evidente la necessità di provvedere a proteggere la falda dalle contaminazioni, e prima di tutto di evitare che l'inquinante esca dal sito in cui si sta attuando la bonifica.

Si agisce creando sbarramenti (**barriere idrauliche e diaframmi**) che impediscono l'uscita di inquinanti dai luoghi delle lavorazioni.

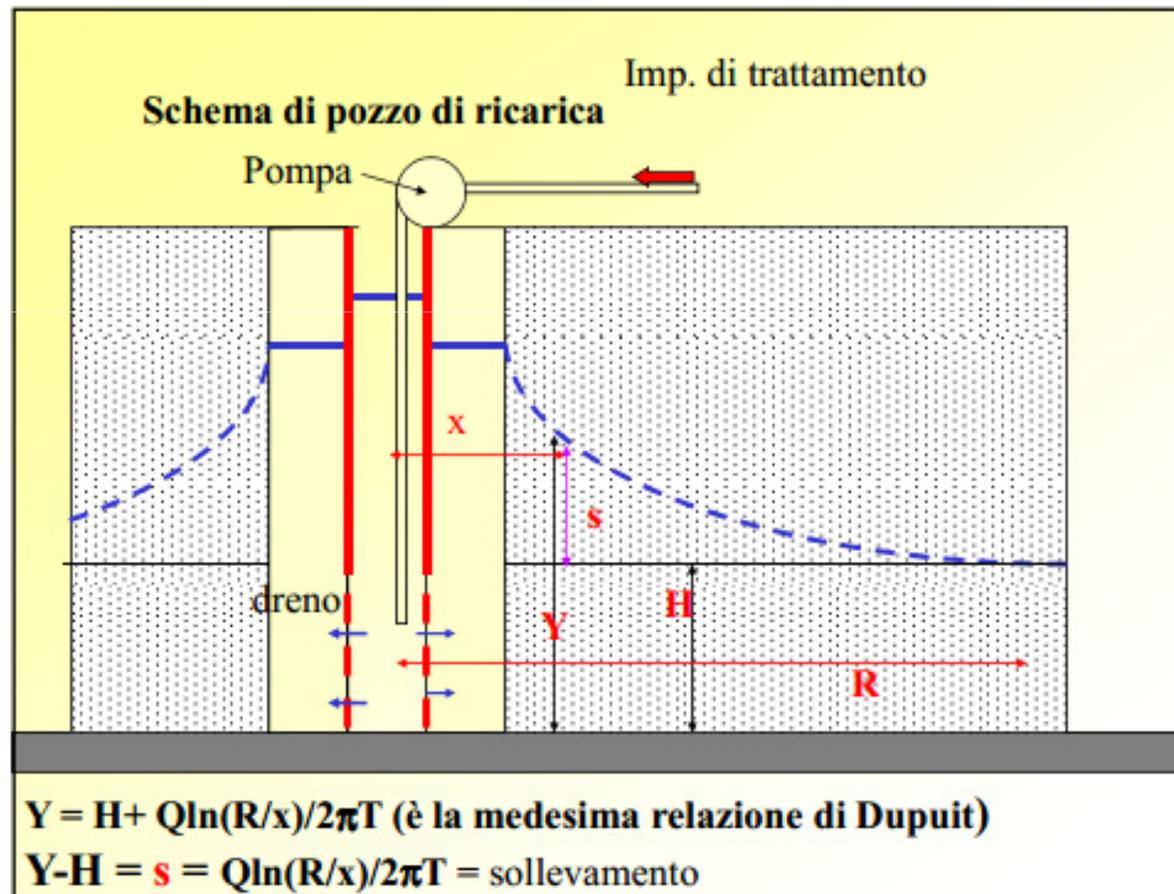
Questi sbarramenti possono essere anche limitati ad aree ristrette



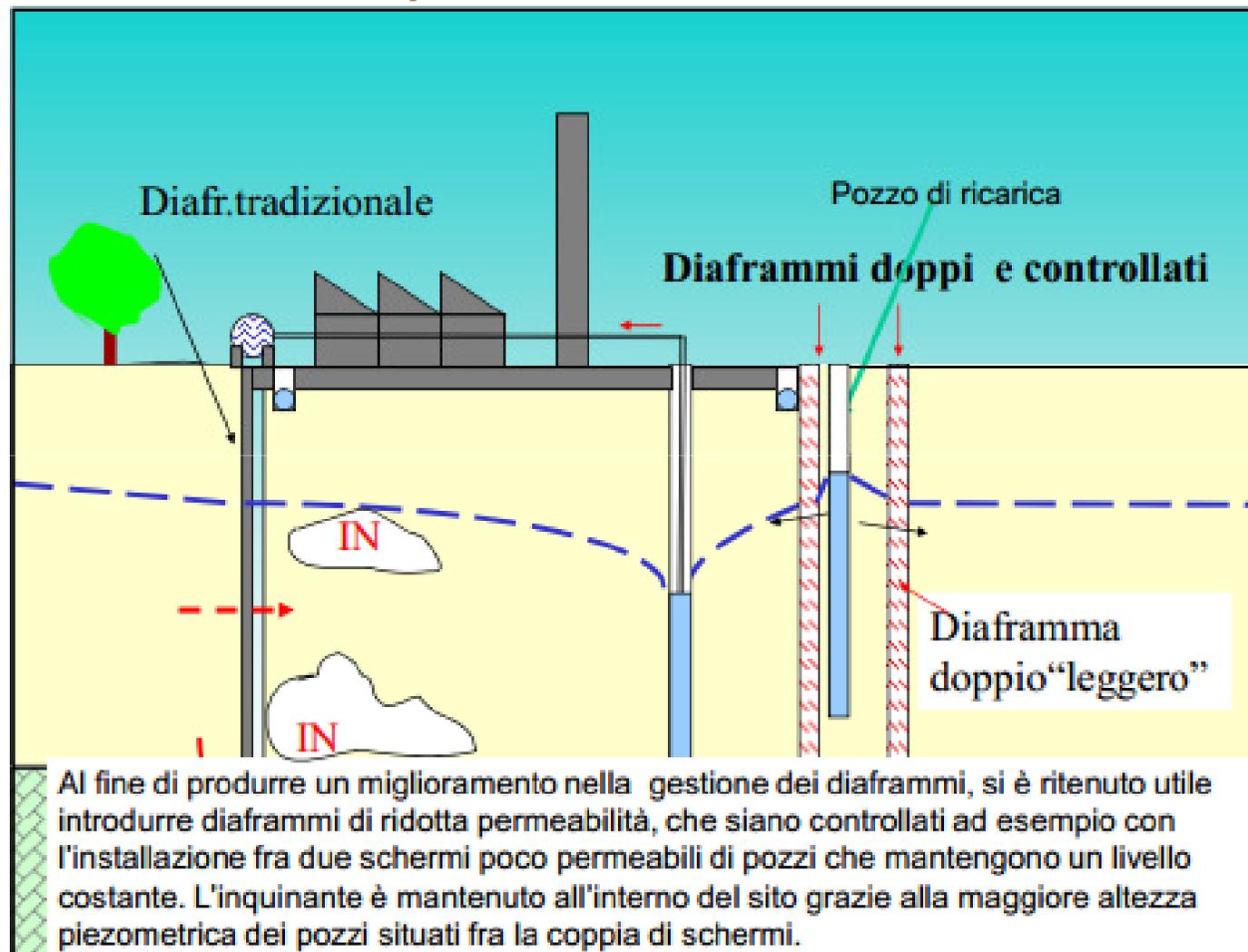
Il calcolo della depressione piezometrica deve essere preceduto dalla costruzione del modello concettuale dell'inquinamento; in questo esempio, si nota la presenza di un fonte di inquinamento posta a valle della discarica. La barriera va posizionata nel punto indicato.



In alcuni casi conviene confinare la falda con barriere di ricarica, facendo sollevare la falda a valle delle fonti di inquinamento, in modo da invertire il suo flusso e contenerlo all'interno del sito



## Diaframmi: muri verticali di cemento che chiudono da ogni parte la fonte di inquinamento



## Conclusioni

La costruzione di edifici nelle zone contaminate richiede un **preventivo esame** della situazione ambientale, anche al di fuori del sito, che deve essere sottoposto a un' **accurata caratterizzazione** . Fondamentale importanza ha la **prevenzione** di inquinamenti derivanti dai lavori di cantiere , da eseguire in seguito al monitoraggio della qualità delle acque e dei suoli in corso d'opera e con la realizzazione precauzionale di **sistemi di contenimento** degli inquinanti