

# Propagazione degli inquinamenti nel Milanese

A cura di V. Francani

[Vincenzo.francani@polimi.it](mailto:Vincenzo.francani@polimi.it)

## Indice

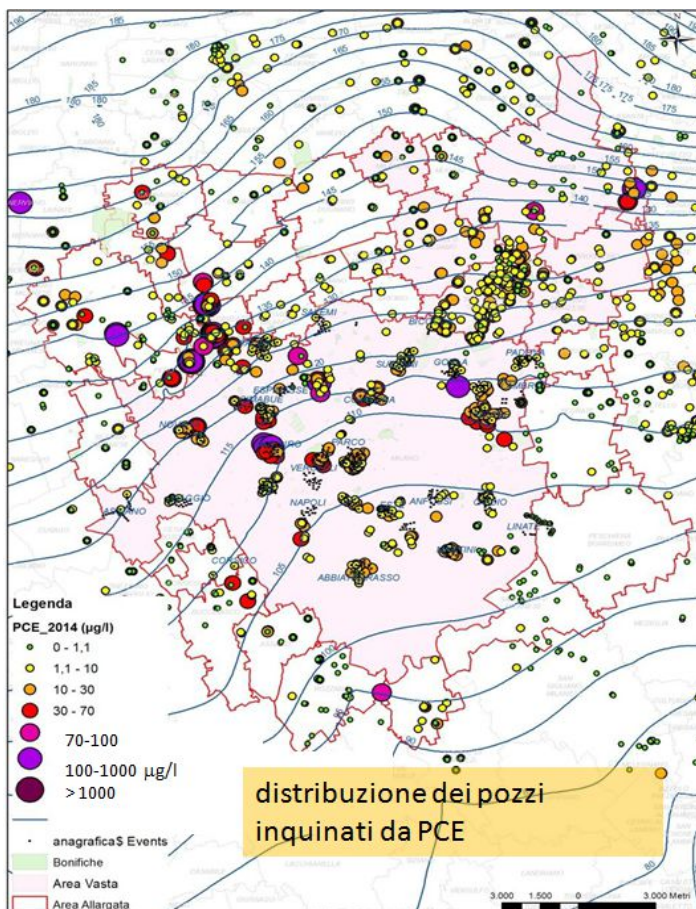
1. LA PROPAGAZIONE DEGLI INQUINANTI DELLE ACQUE SOTTERRANEE NEL MILANESE.....	PAG. 2
2. IDENTIFICAZIONE DI PLUMES E INQUINAMENTI DIFFUSI .....	PAG. 2
3. ESEMPIO DI RICOSTRUZIONE GEOLOGICA DELL'APPROFONDIMENTO DEGLI INQUINAMENTI .....	PAG. 6
4. ACCERTAMENTO DEGLI INQUINAMENTI ATTIVI .....	PAG. 8
5. PROBLEMI PER L'INTERPRETAZIONE DEI DATI E LORO POSSIBILI SOLUZIONI .....	PAG. 9
6. IDENTIFICAZIONE DI FONTI LOCALIZZATE .....	PAG. 11
7. CONCLUSIONI .....	PAG. 12
8. BIBLIOGRAFIA .....	PAG. 13

# 1 LA PROPAGAZIONE DEGLI INQUINANTI DELLE ACQUE SOTTERRANEE NEL MILANESE

Uno studio di ARPA Lombardia e del Politecnico ha permesso di identificare gli inquinamenti concentrati e diffusi, creando le basi per affrontare in modo razionale la necessità di evitare un loro sviluppo incontrollato. Si possono così mettere in evidenza gli inquinamenti più pericolosi e potenzialmente dannosi per le riserve idriche, che sono quelli che colpiscono il corpo idrico intermedio. Alcuni di questi provengono dal corpo idrico superficiale (diving plumes). Si è cercato per questa presentazione di definire un'ipotesi di come delimitare le aree dalle quali si originano questi inquinamenti e di come analizzarne le modalità di propagazione. Si è inoltre verificata la possibilità di seguire e comprendere l'evoluzione anche degli inquinamenti provenienti dalle aree che contengono fonti multiple di contaminazione, dalle quali provengono rilasci discontinui, non sempre chiaramente identificabili.

## 2 IDENTIFICAZIONE DI PLUMES E INQUINAMENTI DIFFUSI

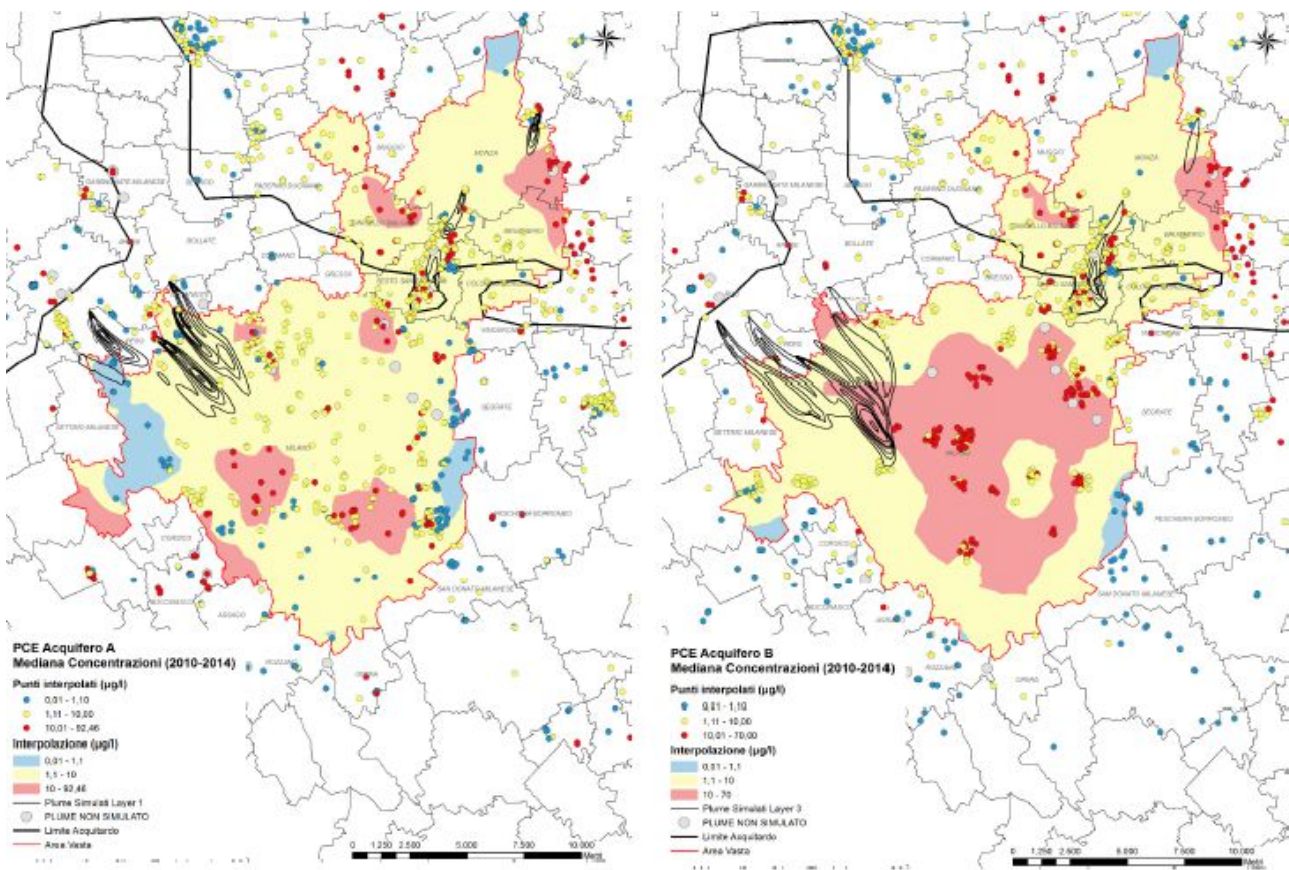
Lo studio di ARPA /RL e del Politecnico ha permesso di identificare e censire sia gli inquinamenti organizzati in plumes (inquinamenti concentrati), sia quelli diffusi. Lo studio è iniziato con il censimento delle contaminazioni rilevate in tutti i pozzi dell'area in esame



Per la separazione di inquinamenti concentrati e diffusi sono stati adottati due approcci:

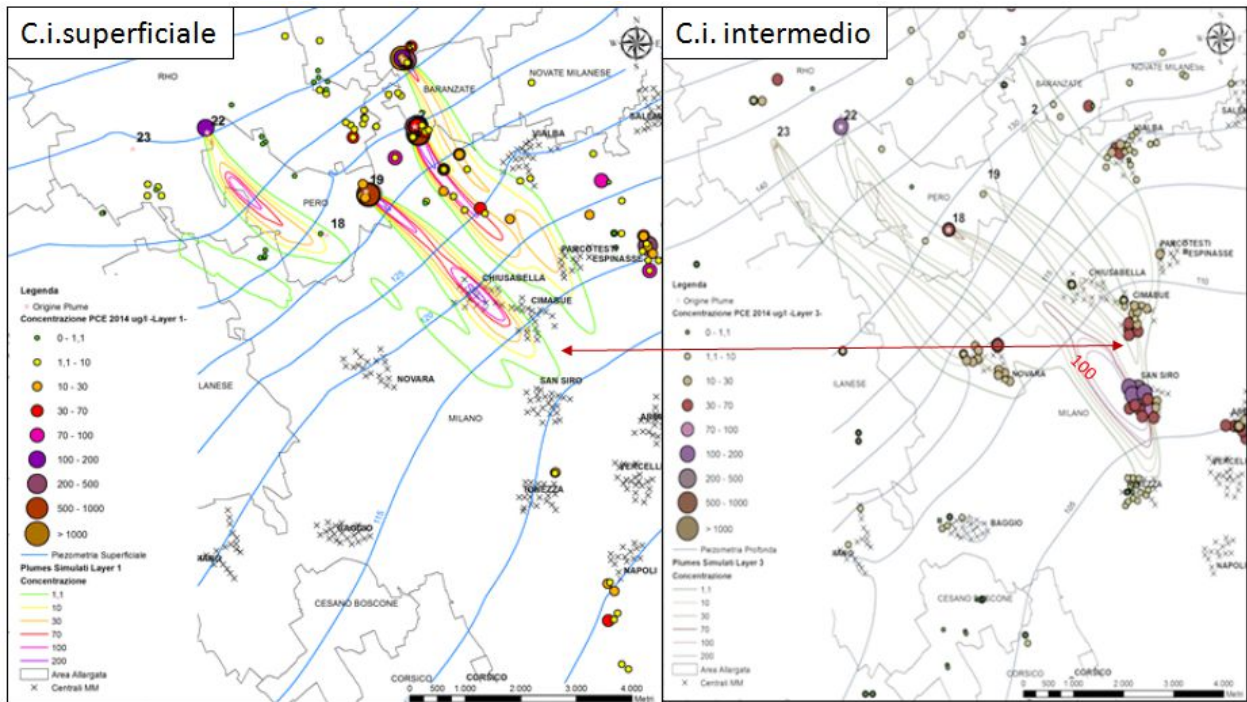
1) L'Analisi dei Cluster mono - parametro (es. il PCE) ha individuato le sorgenti dei plume su cui è stata focalizzata la modellazione. Tramite il modello di trasporto sono state delimitate le aree interessate dal passaggio di plume di origine puntuale, e, per differenza, le aree soggette ad una condizione di contaminazione di tipo diffuso, determinata da fonti non ascrivibili in modo univoco a una o più sorgenti puntuali, il cui contributo alla contaminazione non può essere chiaramente discriminato. La contaminazione diffusa è stata analizzata con metodologie geostatistiche.

2) L'Analisi multivariata ha messo in evidenza profili di contaminazione comuni. I dati disponibili sono stati analizzati con l'analisi delle componenti principali, l'analisi fattoriale (per rimuovere l'informazione non necessaria) e quella dei cluster (per identificare profili di contaminazione comuni).



Cartografia degli inquinamenti da PCE nel corpo idrico superficiale (a sinistra) e in quello intermedio.

Con un dettaglio maggiore, si può notare che il fronte del plume più profondo è più avanzato e presenta le maggiori concentrazioni. L'espansione in profondità delle contaminazioni nel Nord Milano è oggetto da tempo (almeno dalla fine degli anni 80) di accurati studi, anche modellistici, (es. G.S. Ponzini e al., 1989) e l'esperienza acquisita ha permesso di seguirne l'andamento fino ad oggi.

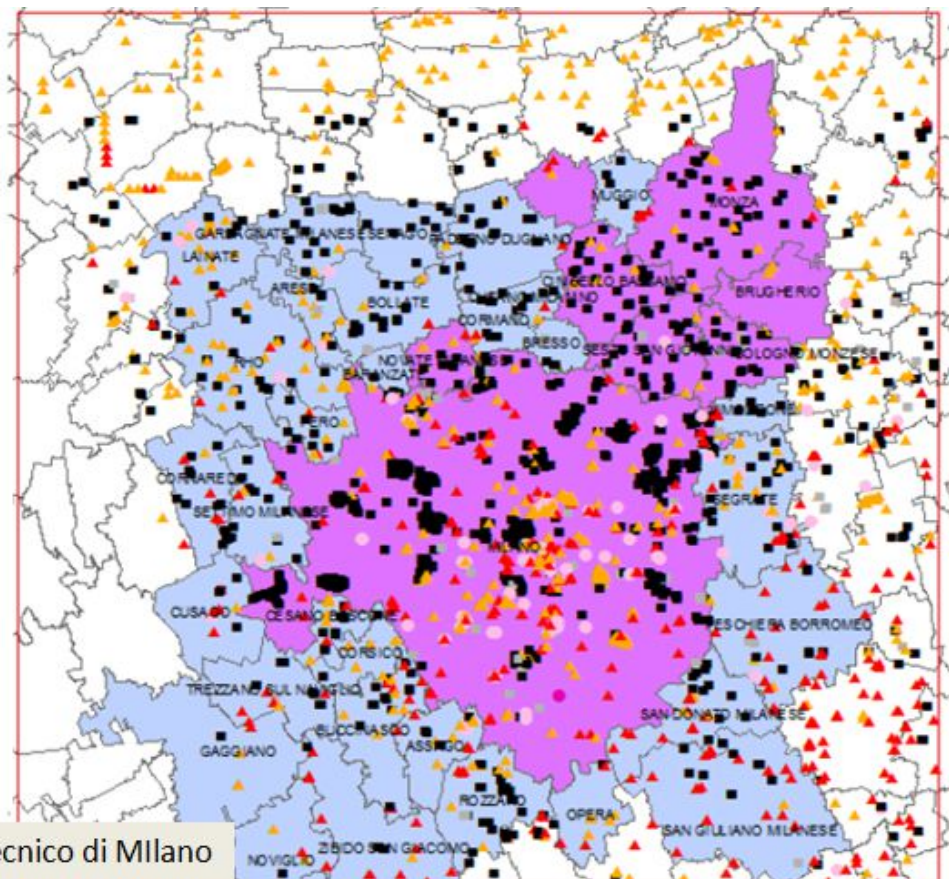


A causa della vulnerabilità del corpo acquifero superficiale, circa un terzo delle contaminazioni della Città Metropolitana insiste sul corpo idrico intermedio; si nota quindi una progressiva compromissione della disponibilità di acque potabili che vengono estratte prevalentemente dai pozzi perforati in questi acquiferi (punti più scuri della figura).

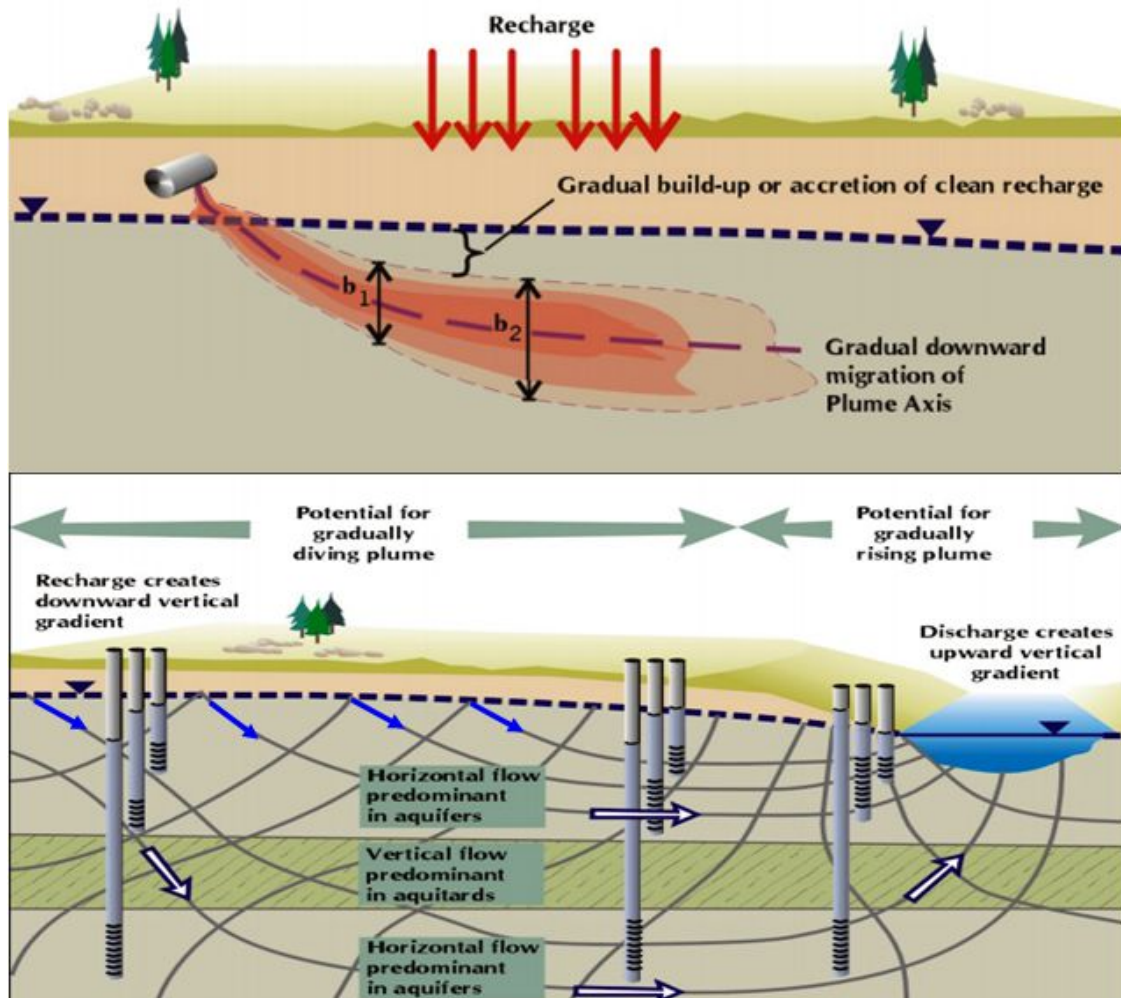
### Legenda

- # Layer 1 (406)
- | Layer 1-2 (94)
- # Layer 1-3 (637)
- | Layer 2 (1)
- Layer 2-3 (76)
- Layer 3 (981)
- █ Dominio\_Modello
- ▭ Area\_Allargata

Da ARPA/RL e Politecnico di Milano



Secondo l'Agencia Internazionale del Petrolio (API) in fenomeno interessa anche inquinanti «leggeri», come ad esempio i MTBE ( metil-t-butil etere) anche quando non esistono prelievi da pozzi profondi.



Infatti per la ricarica da piogge e corpi idrici superficiali, la lama d'acqua infiltrata preme su quella proveniente da monte, inclinando l'asse delle contaminazioni verso il basso. Secondo API (2006) si può determinare la pendenza  $J'$  dell'asse dei diving plumes:

$$J' = Dh/v = Inf/k$$

Tutte le grandezze sono espresse in m/anno

Dove:

$Dh$  = aumento annuo del livello piezometrico per la ricarica;

$v$  = velocità darciana della falda;

$Inf$  = infiltrazione efficace;

$k$  permeabilità darciana.

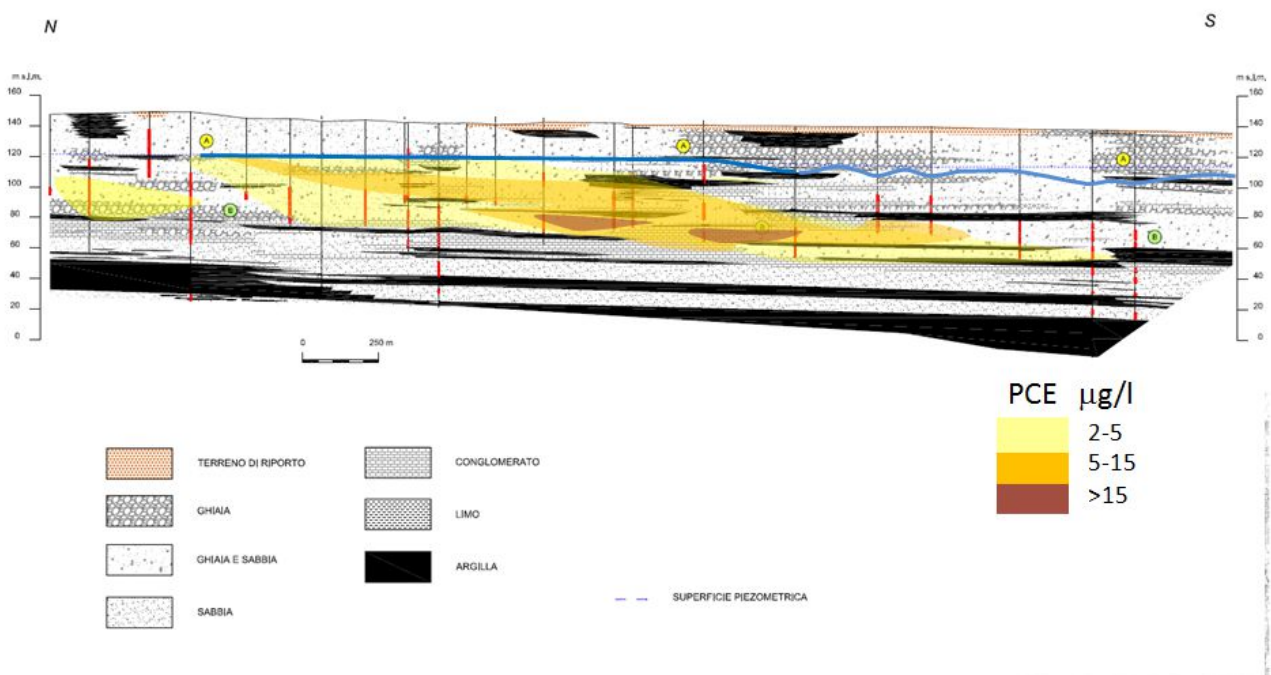
Quindi i caratteri distintivi delle aree esposte a diving plumes sono:

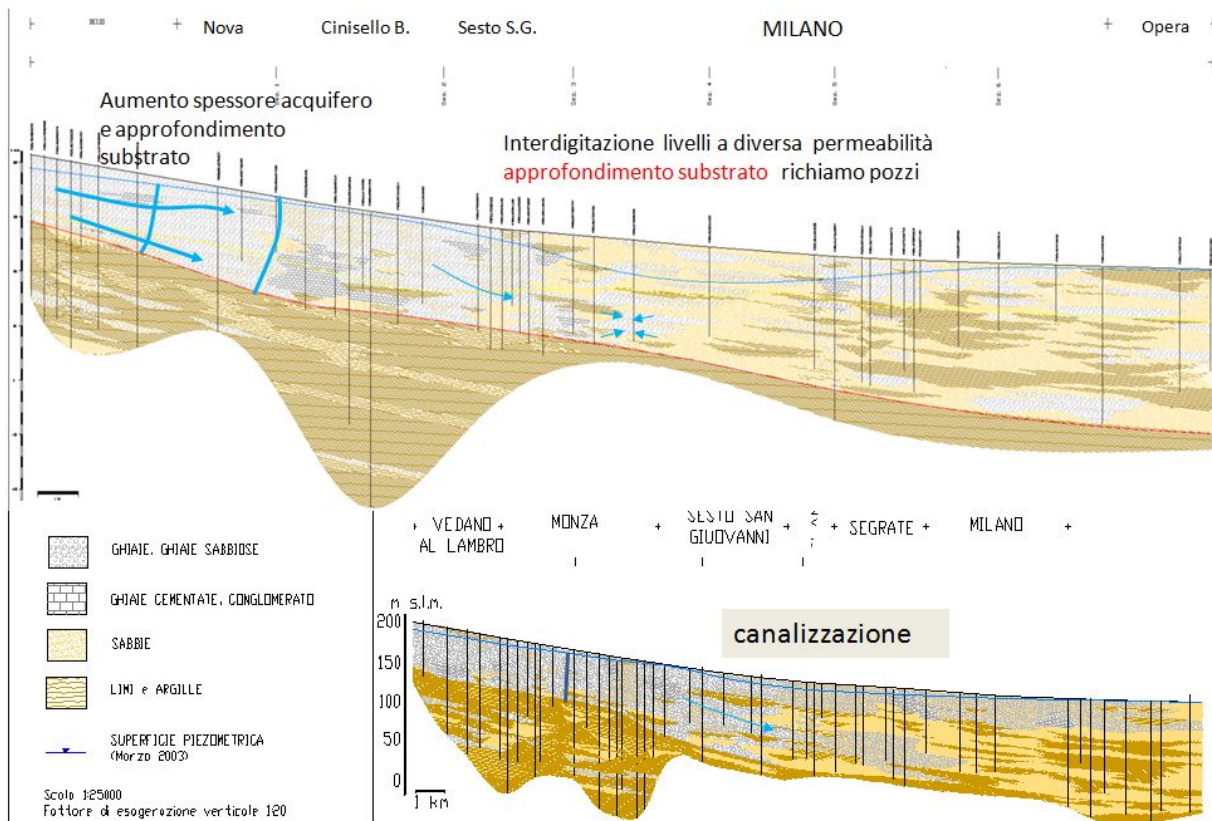
1. Elevato gradiente verticale, rilevabile anche con misure dirette (flowmeter) e con il confronto fra le piezometrie degli acquiferi sovrapposti per infiltrazione, richiamo da pozzi profondi ecc.
2. Strutture geologiche (es. incanalamento della contaminazione fra due aquicludes inclinati)
3. Squilibri nel bilancio: forti afflussi verso gli acquiferi inferiori
4. Aumento verso valle della profondità del tetto del substrato impermeabile del sistema acquifero

Sulla base di questi criteri è possibile identificare queste aree nel Foglio Milano a partire dalle sezioni idrogeologiche

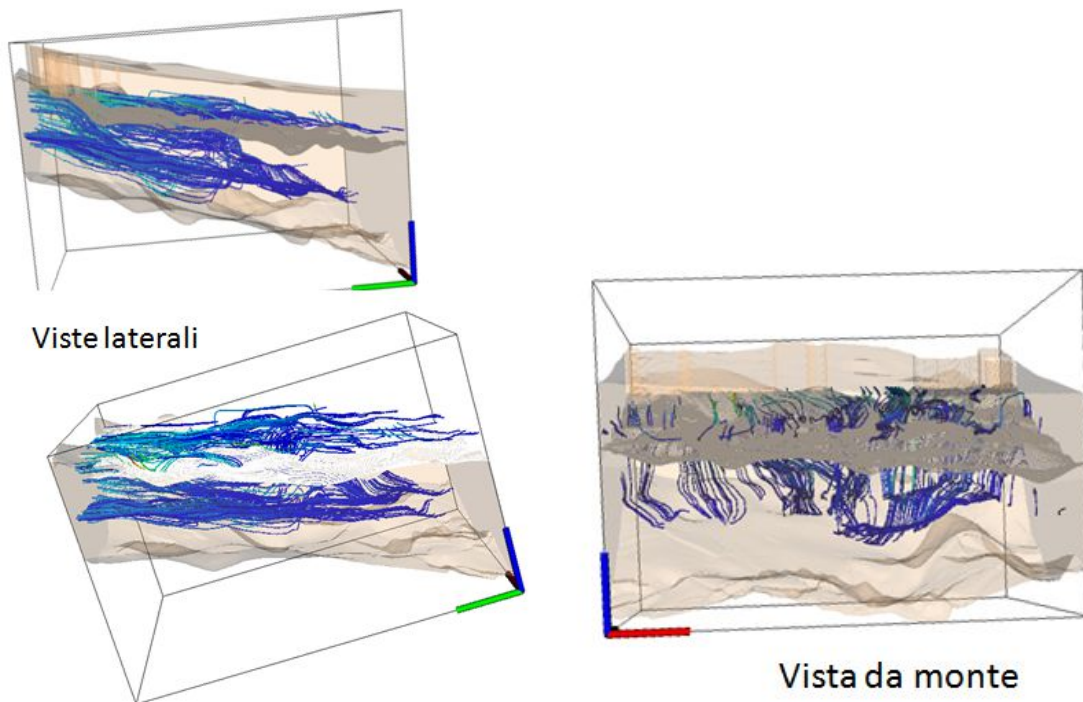
### **3 ESEMPIO DI RICOSTRUZIONE GEOLOGICA DELL'APPROFONDIMENTO DEGLI INQUINAMENTI**

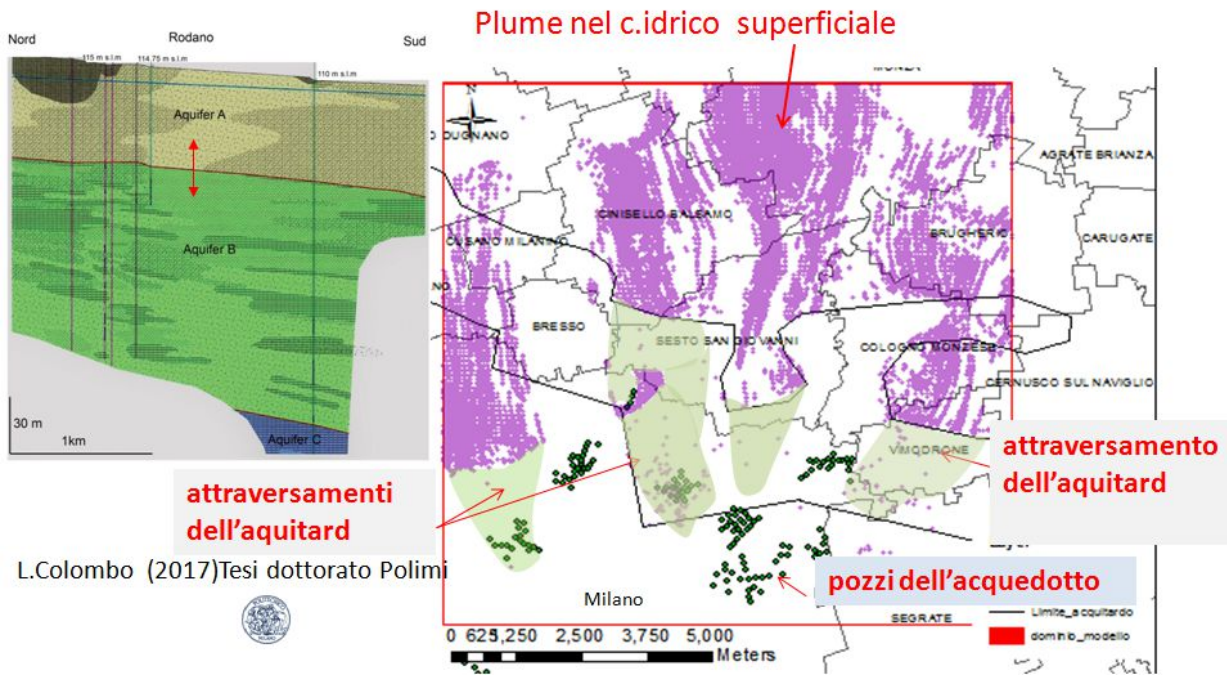
I prelievi da pozzi profondi, quando sono presenti discontinuità nei livelli di separazione fra i corpi idrici superficiale e intermedio, richiamano acque dal corpo idrico superficiale favorendo la formazione di diving plumes (esempio riferito al NE di Milano). Si nota come la disponibilità delle conoscenze idrogeologiche renda quasi immediata l'identificazione delle aree più esposte.





Dopo avere delimitato le aree esposte ai diving plumes, si può concentrare l'attenzione su di esse per modellare la propagazione degli inquinanti. La ricostruzione della contaminazione tramite particle tracking 3D consente di evidenziare i settori nei quali avviene il trasferimento verso l'acquifero profondo e decidere gli interventi.

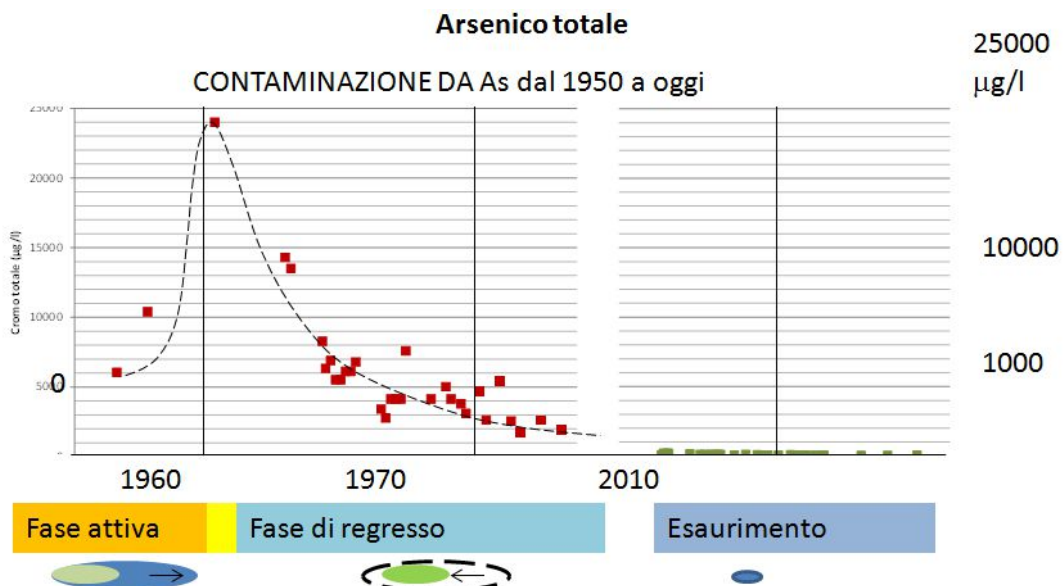




Le aree (in verde) di passaggio dell'inquinante agli acquiferi inferiori, corrispondono a quelle in cui le particelle viola, che indicano il percorso degli inquinanti del c.i. superficiale, attraversano l'aquitard attratte dai pozzi profondi degli acquedotti. E' opportuno intervenire nella fase iniziale almeno sulle contaminazioni pericolose, ad esempio alleggerendo l'afflusso verso il c.i. intermedio tramite un migliore drenaggio del c.i. superficiale. Sono quindi da preferire gli interventi sulle contaminazioni attive.

#### 4 ACCERTAMENTO DEGLI INQUINAMENTI ATTIVI

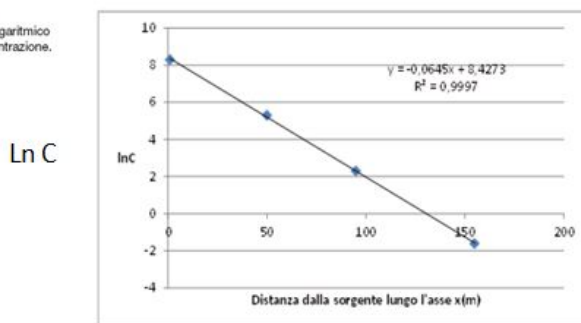
Rappresenta un passo fondamentale, in quanto consente di selezionare gli inquinamenti sui quali intervenire prioritariamente, considerata la loro pericolosità per i pozzi di valle.





Per valutare se gli inquinamenti sono in fase di espansione e quindi più degli altri pericolosi, si possono utilizzare in ordine decrescente di affidabilità i modelli matematici, oppure le note relazioni di Domenico e Schwartz (1990, Physical and Chemical Hydrogeology, Wiley) o anche metodi più semplici, ma meno precisi. Tra questi ad esempio la valutazione dei gradienti di concentrazione nel tempo e con la distanza suggeriti dal Washington State Dep. Of Ecology che sono utili tanto per avere un'informazione sulla lunghezza raggiunta dalla contaminazione quanto per prevederne il tempo di esaurimento nei singoli piezometri. Viene suggerito di disporre su grafici semilogaritmici il Ln delle concentrazioni C a diverse distanze dalla fonte o in tempi successivi, grandezza che vengono poste sulle ascisse dei grafici.

Grafico semi-logaritmico  
distanza concentrazione.

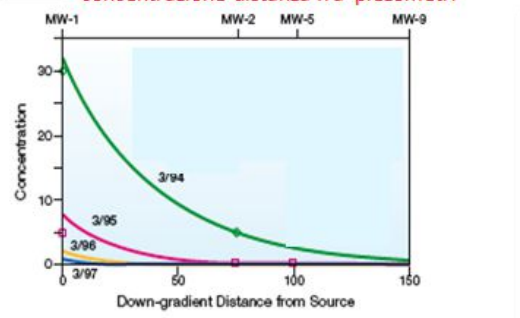


Distanza dalla sorgente

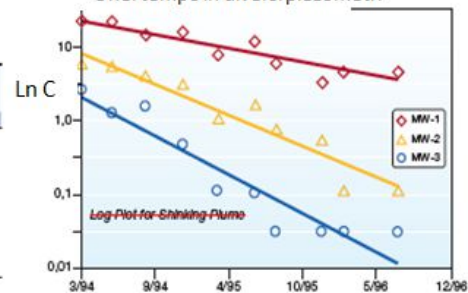
Concentrazione del benzene in funzione della distanza dalla sorgente lungo una direzione preferenziale.

Distanza dalla sorgente lungo l'asse x (m)	Concentrazione del benzene C (µg/l)	lnC
1	4000	8,29405
50	200	5,298371
95	10	2,302585
155	0,20	-1,60944

concentrazione-distanza fra piezometri



C nel tempo in diversi piezometri

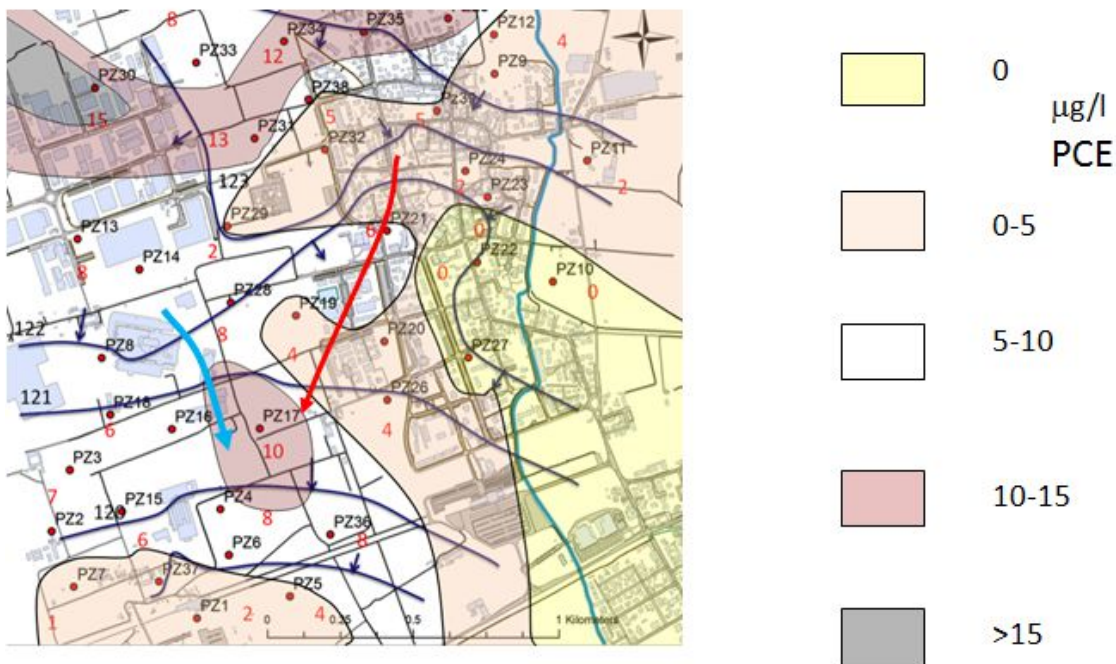


## **5 PROBLEMI PER L'INTERPRETAZIONE DEI DATI E LORO POSSIBILI SOLUZIONI**

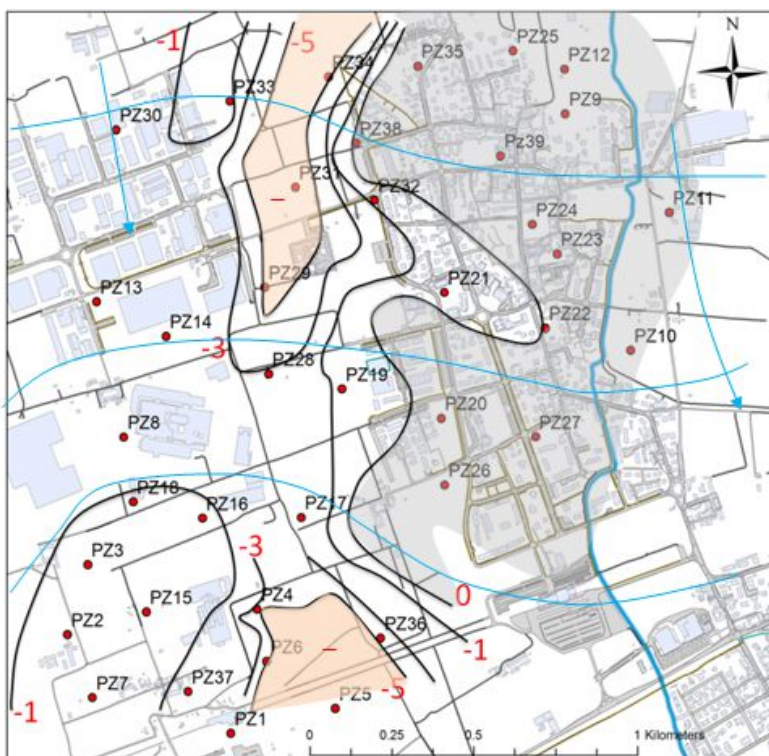
Le relazioni citate possono essere utilizzate solo se si ha una decrescita (o un aumento) delle concentrazioni lungo le linee di flusso e un regolare andamento delle concentrazioni nel tempo.

Quando invece intervengono fattori estranei, come ad esempio la sovrapposizione degli effetti di due fonti separate la cui posizione non è ben nota, o si verificano importanti fluttuazioni del carico inquinante, le concentrazioni aumentano (anziché diminuire) andando

verso valle. Nascono problemi di interpretazione ai quali si può porre rimedio con un raffittimento del monitoraggio e l'utilizzo di un idoneo tipo di cartografia idrochimica.



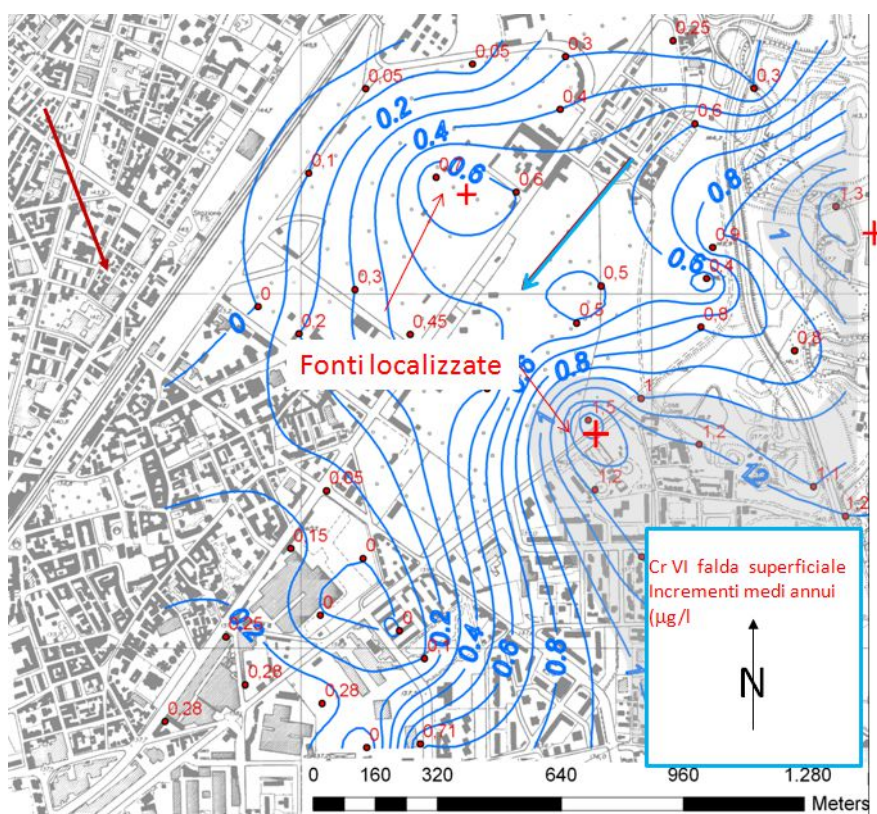
In questi casi, dove si può ipotizzare che le fonti siano multiple, necessita una rete di monitoraggio fitta e controllata di frequente, quanto basta per separare gli effetti delle singole fonti. Le tendenze generali delle contaminazioni nelle diverse parti dell'area esaminata si possono ricavare dalle carte del tasso medio di variazione annua che permette di evidenziare gli effetti sulle concentrazioni delle diverse fonti di contaminazione.



Nel caso in esempio si nota a N e a SE una accentuata regressione del fenomeno; si nota anche un decremento ridotto a S, mentre nella porzione orientale non si hanno variazioni sensibili. Questa marcata differenza di comportamento indica che i processi di inquinamento nelle tre aree possono avere fonti diverse.

## **6 IDENTIFICAZIONE DI FONTI LOCALIZZATE**

Le carte del tasso di variazione delle concentrazioni nel tempo rivelano direttamente i settori nei quali la contaminazione è in espansione (settore orientale), che corrispondono agli incrementi più elevati. Nella cartografia rappresentata, in cui la direzione di flusso è da NE a SO, questi includono le possibili sorgenti attive (segno + ) che si presentano come nuclei circoscritti nei quali la tendenza è in aumento, in aree in cui il trend è diverso.



Un altro problema al quale la cartografia del tasso di variazione annua delle concentrazioni può portare contributi, è rappresentato dalla ricostruzione dello sviluppo di inquinamenti intermittenti, dovuti a rilasci temporanei e sporadici dalle fonti, in particolare quando provengono da fonti multiple, che presentano una successione di frequenti picchi e azzeramenti.

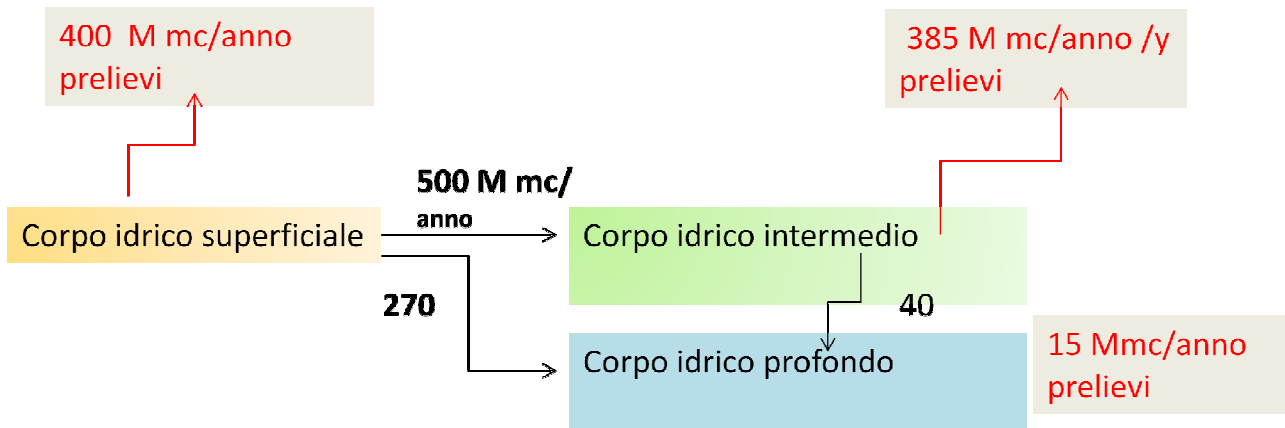
Quando le fonti di inquinamento sono multiple, si possono mettere in evidenza tramite una rilevazione continua dei dati di concentrazione. L'elaborazione statistica dei dati della rete di controllo, permette di riunire nella stessa "area omogenea" i piezometri nei quali avviene contemporaneamente l'incremento delle concentrazioni di una o più sostanze. Ogni carta dell'esempio rappresentato indica a colori le aree nelle quali è avvenuto un contemporaneo aumento delle concentrazioni per ogni anno. Si ha così la ricostruzione per fasi temporali dello sviluppo di queste contaminazioni.



## **7 CONCLUSIONI**

Lo squilibrio idrogeologico del Milanese ha conseguenze anche sulla qualità delle acque utilizzate per l'approvvigionamento degli acquedotti. Infatti il corpo idrico superficiale riceve notevole alimentazione da irrigazioni e precipitazioni, e i suoi livelli piezometrici risalgono. Questo rilevante incremento, con il favore di altri fattori idrogeologici, determina un rilevante

apporto verso il corpo idrico intermedio e determina produce un approfondimento delle contaminazioni.



Bilancio idrico annuale della pianura Ticino-Adda (L. Alberti e al.,2016)

- Il controllo delle contaminazioni in via di approfondimento:

E' possibile identificare le aree esposte alla propagazione degli inquinamenti verso i corpi idrici intermedi in base alle caratteristiche idrogeologiche, utilizzando l'ampia documentazione esistente. Questa prima fase può vantaggiosamente essere integrata con l'analisi delle modalità di propagazione degli inquinanti tramite modelli matematici.

- L'esistenza di fonti locali di inquinamento e di contaminazioni intermittenti produce ulteriori difficoltà, che possono essere adeguatamente superate con l'infittimento della frequenza dei controlli che consente la costruzione di specifiche cartografie dell'evoluzione dell'inquinamento.

Le ricerche in atto, che sono seguite dagli Enti pubblici interessati, sono dirette ad accertare lo sviluppo degli inquinamenti definiti nella prima fase di lavoro per una migliore definizione delle possibilità offerte da queste soluzioni.

## **8 BIBLIOGRAFIA**

- Alberti, Colombo, Oberto, Lombi, Cantone (2016). Flow modelling of Ticino-Adda basin for prediction of groundwater levels in climate change scenarios.
- Alberti Luca, Azzellino Arianna, Cantone Martino, Colombo Loris, Lombi Slivia (2016). Application of multivariate Statistical Analysis and transport modeling to assess PCE

diffuse pollution in Functional Urban Area of Milano (Italy) IAH 60 th International Conference, Montpellier 25-30 Sept 2016

- Domenico e Schwartz (1990), Physical and Chemical Hydrogeology, Wiley
- API - SOIL AND GROUNDWATER TECHNICAL TASK FORCE (2006). Downward Solute Plume Migration: Assessment, Significance, and Implications for Characterization and Monitoring of "Diving Plumes" Regulatory Analysis and Scientific Affairs API SOIL AND GROUNDWATER TECHNICAL TASK FORCE BULLETIN 24 APRIL 2006
- G Ponzini, G Crosta, M Giudici (1989) The hydrogeological role of an aquitard in preventing drinkable water well contamination: a case study. Environmental health perspectives 83, 77.
- Regione Lombardia-ARPA: Progetto Plumes Integrazione -Aprile 2016.
- Washington State Department of Ecology Toxics Cleanup Program (2005) :Guidance on Remediation of Petroleum-Contaminated Ground Water By Natural Attenuation.