

Idrogeologia delle aree urbane

A cura di V. Francani

Vincenzo.francani@polimi.it

Indice

1	LA RICERCA IDRICA	2
1.1	Classificazione delle permeabilità e trasmissività ai fini pratici.....	2
1.1.1	Permeabilità	2
1.1.2	Trasmissività.....	3
2	PROBLEMI IDROGEOLOGICI CREATI DALL'URBANIZZAZIONE	3
2.1	Progetti di drenaggio urbano superficiale per falde subaffioranti	4
2.1.1	Interventi tramite trincee.....	4
2.1.2	Drenaggio mediante gallerie (dreni) orizzontali.....	6
2.1.3	Drenaggio con pozzi.....	7
2.1.4	Barriere di pozzi in aree periferiche.....	8
2.2	Zone di rallentamento del flusso e di stagnazione.....	9

1 LA RICERCA IDRICA

Il principale problema delle aree urbane è la disponibilità di un volume di acque sufficiente per soddisfare i fabbisogni di acqua potabile, l'alimentazione delle attività industriali e i servizi, che consistono ad esempio nel lavaggio delle strade e nell'irrigazione di orti e giardini privati e pubblici. Principio fondamentale è la ricerca di siti in cui le acque siano pregevoli sia sotto l'aspetto quantitativo sia sotto quello qualitativo, e il loro prelievo non interferisca negativamente sulla consistenza delle riserve.

Per la ricerca di queste risorse, nelle aree alluvionali si procede a perforare pozzi, secondo il seguente schema di lavoro:

- Identificazione degli acquiferi produttivi, sulla base della valutazione della trasmissività.

In effetti, la relazione di Dupuit:

$$Q = \frac{2\pi T(H-h)}{\ln(R/r)} \quad (1.1)$$

indica chiaramente che la portata estratta a parità di abbassamento è proporzionale alla trasmissività dell'acquifero dove $H-h = s$ (abbassamento nel pozzo). Dai risultati delle prove sui pozzi, che forniscono portata e abbassamento in condizioni stazionarie, si può ricavare rapidamente questo parametro. Generalmente una buona indicazione è fornita in questo senso dalla portata specifica (portata estratta per metro di abbassamento nel pozzo Q/s), che fornisce valori molto vicini a quelli della T .

Il valore della portata specifica è fornito dalla relazione:

$$q = \frac{Q}{s} = \frac{2\pi T}{\ln(R/r)} \quad (1.2)$$

La relazione detta di Thiem (ma successivamente ripresa anche da altri autori, e migliorata), che vuole stabilire il rapporto fra q e T , è la seguente:

$$T = 1.21q \quad (1.3)$$

In cui s rappresenta l'abbassamento nel pozzo per il quale si ottiene la portata Q . Si è posto in evidenza come la relazione si adatti bene per valori di s pari a un solo metro.

- Collocazione dei pozzi nei punti in cui la falda riceve alimentazione da fonti di alimentazione rinnovabili (es. corpi idrici superficiali) non inquinati.
- Collocazione dei pozzi dove possono essere sfruttati acquiferi che dai dati esistenti dimostrano buona trasmissività e facilità di ri-alimentazione e non risultano impoveriti da altri prelievi

1.1 CLASSIFICAZIONE DELLE PERMEABILITÀ E TRASMISSIVITÀ AI FINI PRATICI

1.1.1 Permeabilità

- Fra 1 e 0.1 m/s permeabilità ottime, elevate portate dai pozzi e dalle sorgenti (Ghiaie grossolane pulite)
- Fra 0.1 e 0.001 m/s permeabilità buone, buona resa dei pozzi e delle sorgenti (Ghiaie sabbiose e sabbie grossolane)
- Fra 0.001 e 0.0001 m/s permeabilità mediocri o basse, resa dei pozzi inferiore al l/s (Sabbie medie e fini)

- Meno di 0.0001 m/s portate insignificanti dalle opere di captazione (Sabbie fini e sabbie limose, argille con $k = 10^{-8}$ m/s)

1.1.2 Trasmissività

- T maggiori di 0.01 m²/s ottime
- T < 0.001 m²/s le portate ottenibili dalle captazioni sono molto ridotte.

Per fare un esempio applicativo, si prenda in considerazione il caso di una pianura alluvionale percorsa da un fiume, dove siano state determinate portate q da 15 a 0.1 l/s per metro di abbassamento. Con vari colori sono indicati i pozzi, e i numeri corrispondono alle portate erogate con un metro di abbassamento.

Come descritto dalla Figure 1, conviene collocare il pozzo in corrispondenza dell'area in cui le portate specifiche sono maggiori (cerchietti rossi).

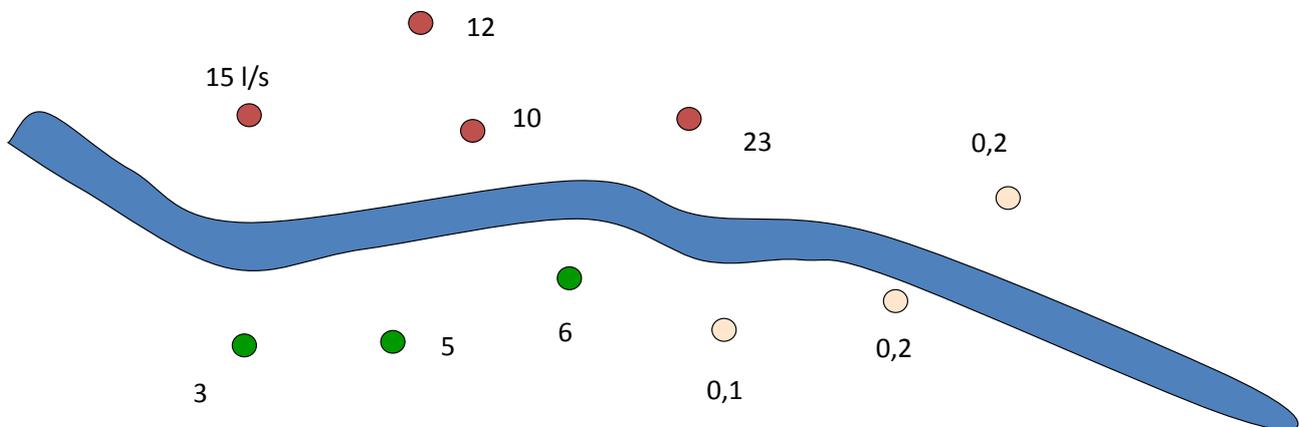


Figure 1 - Ubicazione pozzi in aree più produttive

Oltre alla trasmissività, l'altro parametro di fondamentale interesse è il grado di protezione dagli inquinamenti.

Per le grandi città, in cui il fabbisogno idrico è rilevante, sono interessati dalla ricerca soprattutto:

- 1) gli acquiferi profondi di elevata trasmissività e ben protetti dagli inquinamenti
- 2) gli acquiferi fratturati in roccia di aree montane non contaminate, dai quali le acque vengono derivate con acquedotti
- 3) gli acquiferi collegati con fiumi e laghi non contaminati

Le città, anche quelle di modeste dimensioni, danno luogo a problemi che per le grandi aree metropolitane, sono spesso insormontabili per l'imprevedibile comportamento della piezometria nel tempo.

2 PROBLEMI IDROGEOLOGICI CREATI DALL'URBANIZZAZIONE

La forte urbanizzazione ha causato problemi di eccesso di sollevamento e di pericoloso abbassamento del livello piezometrico. Alcuni problemi possono essere:

- a. Oscillazioni di falda annuali o stagionali, spesso con trend di variazione piezometrica pluriennali determinati da fattori socio-economici.
- b. Subsidenza, avanzamento del cuneo salino nelle città costiere.
- c. Aumento del degrado qualitativo

d. Dissesto idrogeologico in prossimità dei corsi d'acqua.

I cambiamenti nella piezometria possono essere molto rilevanti. Essi si presentano improvvisamente, e sono raramente prevedibili; è pertanto necessario conoscere bene almeno i principi fondamentali per affrontarli.

2.1 PROGETTI DI DRENAGGIO URBANO SUPERFICIALE PER FALDE SUBAFFIORANTI

Quando il livello della falda si alza in modo imprevisto, finisce quasi sempre per invadere infrastrutture (es. linee metropolitane), terreni di fondazione di edifici o addirittura scantinati o costruzioni interrato come silos per il parcheggio di automezzi; spesso si è costretti a procedere all'estrazione delle acque con sistemi di pompaggio. A queste operazioni si dà il nome di drenaggio, anche se un po' impropriamente: infatti questo termine indica nel suo significato più specifico l'allontanamento delle acque superficiali presenti in eccesso sul terreno in seguito alle precipitazioni.

L'intervento più comune consiste nel disporre pozzi e/o trincee che captano le acque da estrarre con portate sufficienti a produrre un abbassamento del livello piezometrico al di sotto delle opere da proteggere.

Non sempre tale intervento si può eseguire con facilità; ad esempio, il terreno può essere così poco permeabile da non consentire un buon funzionamento dei pozzi o delle trincee, e si deve ricorrere a metodi di più complessa realizzazione, quali ad esempio la perforazione di scavi sotto le aree da proteggere (gallerie drenanti o dreni orizzontali).

Per scegliere il tipo di intervento e individuare le modalità più corrette per il drenaggio della falda in prossimità della superficie del terreno, si provvede ad attuare:

- Rilievo e sezioni idrogeologiche di dettaglio dell'area
- Rapporti falda-corpi idrici superficiali, anche con ricostruzione 3D (isopiezometriche/equipotenziali)
- Rete di monitoraggio per ciascuno degli acquiferi individuati
- Dettagliata piezometria e sezioni geologiche dell'area da investigare, identificando gli acquiferi, la loro profondità e piezometria in risposta alle piogge sulla base dei dati pregressi, in occasione degli eventi pluviometrici significativi
- Sviluppo di uno scenario cautelativo ("worst case"), cioè di una valutazione dei risultati che si otterrebbero se le reali condizioni dei terreni fossero le peggiori fra quelle ragionevolmente attese.

2.1.1 Interventi tramite trincee

Il problema consiste, una volta definita la quota piezometrica y alla quale deve arrivare la falda in un punto posto alla distanza x dalla trincea, nel calcolare la portata necessaria per ottenere. Il livello di falda originario H deve subire quindi in corrispondenza di x , un abbassamento s in modo che $H-s$ sia uguale a y . Per risolvere il problema (ammesso che la trincea abbia una larghezza w molto grande, e che i calcoli vengano fatti al centro della trincea) si può utilizzare la relazione di Dupuit per le trincee (Figure 2).

$$Qx = \frac{Kw}{2} y^2 + c \rightarrow c = -\frac{Kw}{2} h^2 \Rightarrow Qx = \frac{Kw}{2} (y^2 - h^2)$$

Si ottiene la relazione di Dupuit per falda libera:

$$Q = \frac{Kw}{2x} (y^2 - h^2)$$

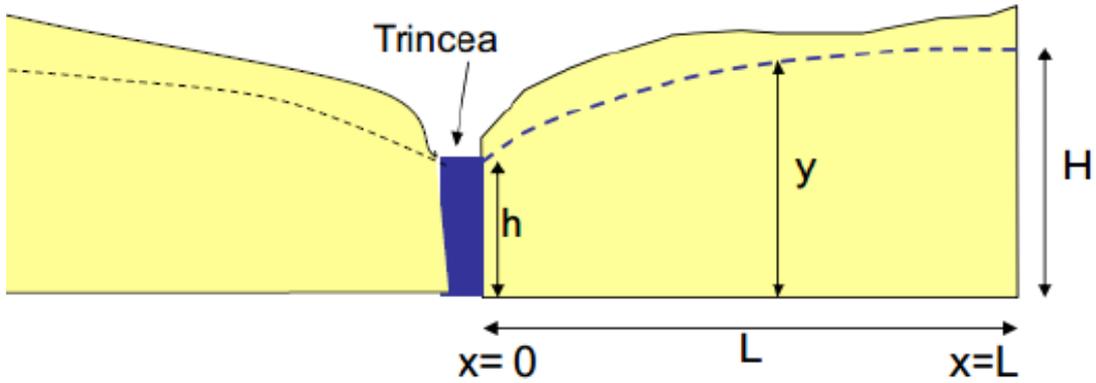


Figure 2 - Trincea in falda libera

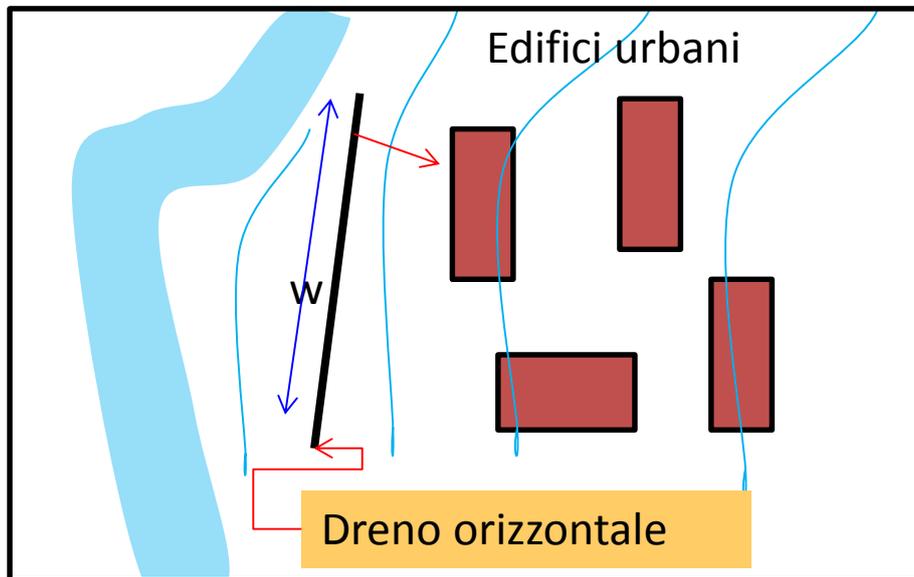


Figure 3 - Trincea drenante posta in difesa di edifici urbani di lunghezza w

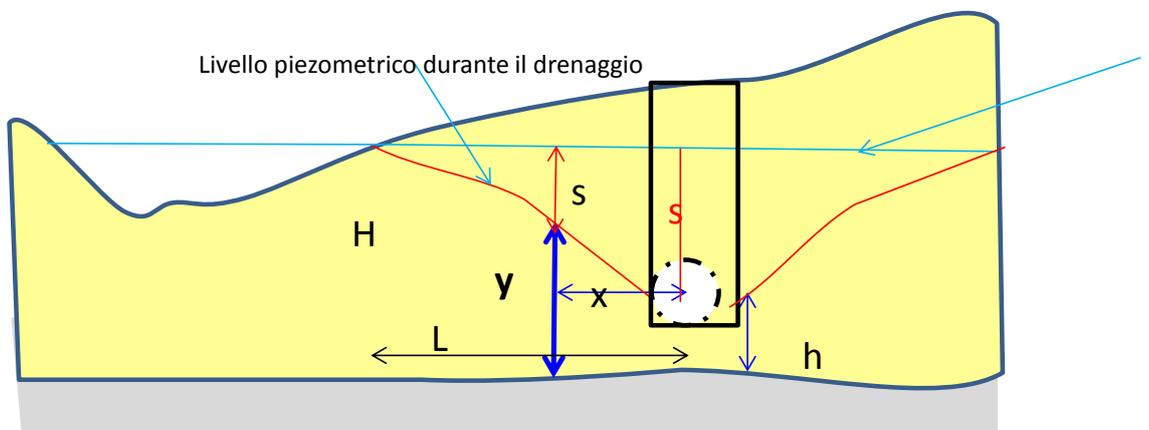


Figure 4 - La quota piezometrica y aumenta fino alla distanza L dove assume il valore H, indisturbato se non vi fosse la trincea in funzionamento.

Si osserva che terreni poco permeabili consentono di ottenere abbassamenti maggiori, a parità di portata estratta, rispetto a terreni più permeabili e trasmissivi (Figure 4).

Nella pratica tuttavia, pur risultando comprovato tale fatto, si nota che l'ampiezza della depressione piezometrica aumenta con la permeabilità e trasmissività degli acquiferi.

In sostanza, nei terreni poco trasmissivi abbiamo depressioni più accentuate, con elevato gradiente e forte abbassamento, ma con un'ampiezza ridotta a poche decine di metri.

Al contrario, le depressioni hanno gradienti meno accentuati e sono più ampie (anche un centinaio di metri) negli acquiferi più trasmissivi.

Ne consegue che è necessario eseguire preliminarmente prove di pompaggio per accertare la reale risposta degli acquiferi all'attivazione della trincea.

2.1.2 Drenaggio mediante gallerie (dreni) orizzontali

Lo scavo in falda di una galleria di modesto diametro (da qualche decimetro a un metro), eventualmente sostituita da un pozzo orizzontale, può produrre un discreto abbassamento dei livelli piezometrici (Figure 5). E' riportata la relazione comunemente utilizzata, valida anche nel caso in cui la portata possa variare nel tempo t.

$$Q(t) = 2\pi K \frac{s(x, t)}{\left(\frac{1}{b} + \sigma_z\right) z} \left(\frac{x'}{x}\right) \quad (1.4)$$

Con Q (m^3/s)= portata della galleria drenante, K (m/s)= permeabilità dell'acquifero, r (m)=raggio del pozzo, b (m)= spessore dell'acquifero confinato, h_w (m)=posizione del dreno rispetto al substrato impermeabile, L (m)= lunghezza della galleria drenante, σ_z (-)= fattore dipendente dalla profondità b , dalla posizione del dreno, dalla permeabilità.

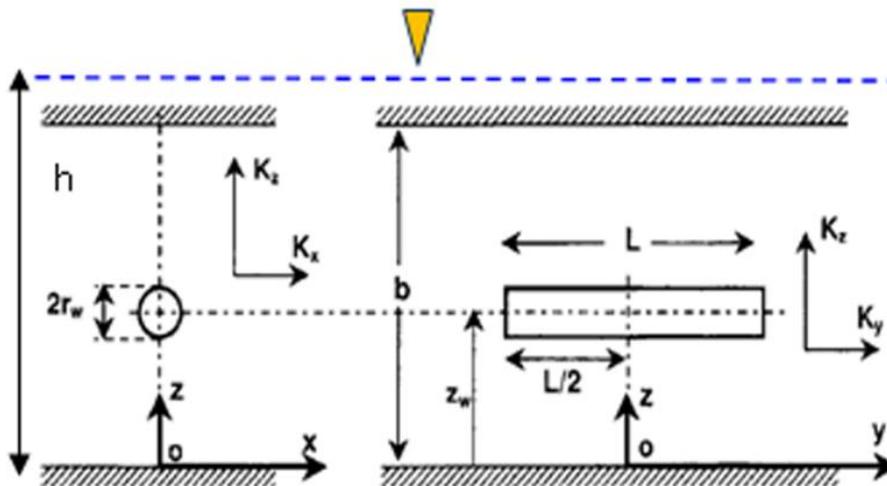


Figure 5 - Posizionamento di un dreno orizzontale rispetto al substrato impermeabile

La posizione ottimale della galleria drenante rispetto ad esempio un fiume è importante perché, quanto più si è in prossimità di esso quanto più le portate da drenare sono elevate (più in superficie che in profondità).

2.1.3 Drenaggio con pozzi

L'abbassamento s può essere derivato dalla relazione di Dupuit per i pozzi, come riportato nella Figure 6 che esamina il caso di una falda in pressione.

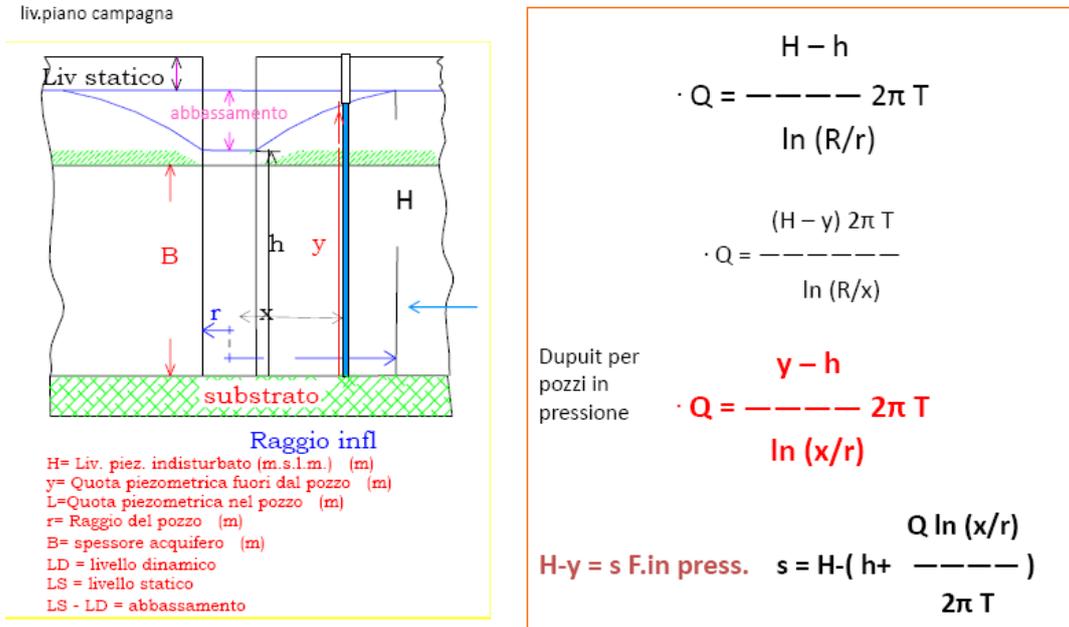


Figure 6 - Prove di trasmissività con pozzo in falda confinata

Questa relazione può consentire la costruzione di curve di uguale abbassamento intorno al pozzo, come riportato nella Figure 7.

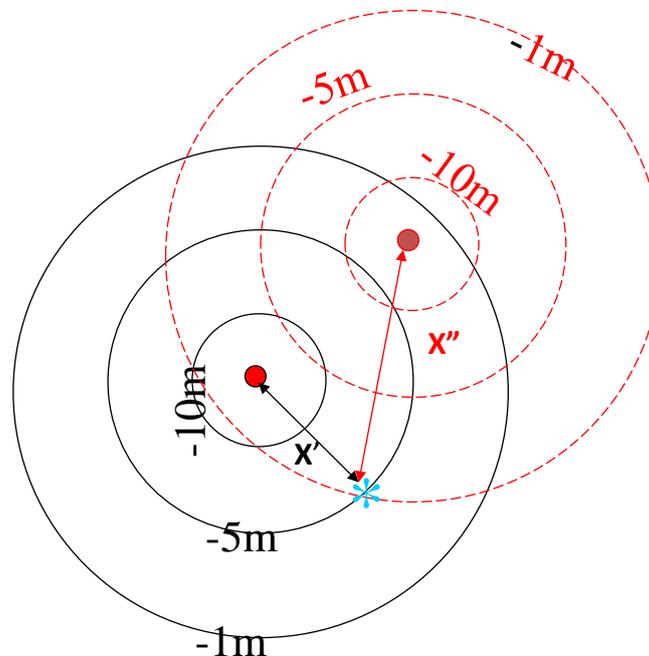


Figure 7 - Le curve di ugula abbassamento sono anche curve di uguale cadente piezometrica

Nel caso in cui siano in funzione più pozzi, si può facilmente calcolare l'abbassamento che si ottiene in un punto sommando gli abbassamenti ai quali i singoli danno luogo, in base al **principio della sovrapposizione degli effetti** come illustrato nella Figure 8.

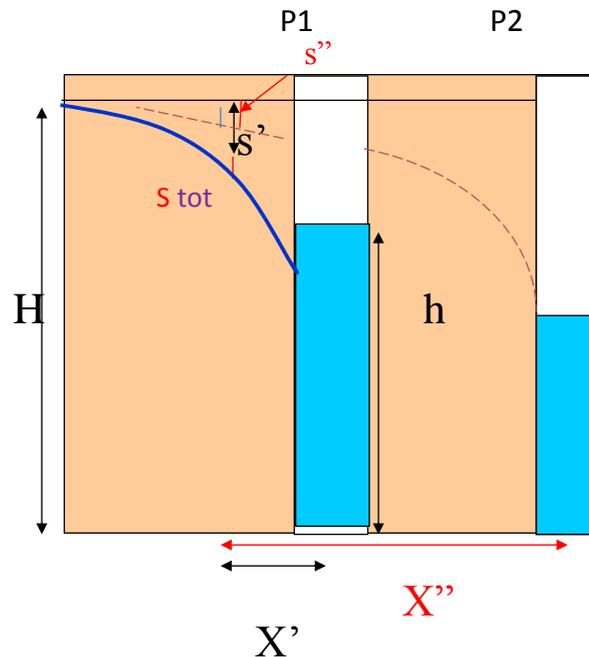


Figure 8 - Sovrapposizione degli effetti nel caso di funzionamento di due pozzi contemporaneamente

2.1.4 Barriere di pozzi in aree periferiche

In alcuni casi, dove le aree in cui devono essere sviluppati i prelievi per abbassare il livello piezometrico sono distanti da edifici ai quali l'eccessiva depressione piezometrica potrebbe arrecare danno (**subsidenza**), è possibile procedere al drenaggio operando con pozzi allineati o disposti intorno all'area da drenare.

Le operazioni da compiere sono le seguenti:

1. **Test idraulici** : slug test e prove di trasmissività , per verificare la K (m/s) dell'acquifero e la profondità ottimale del pozzo: aumentando la profondità del pozzo e la lunghezza del tratto filtrante, aumenta la portata specifica q , e aumenta quindi la portata necessaria per produrre l'abbassamento voluto (con eccessi nei costi e nell'impatto ambientale). Ottimizzare la profondità significa costruire pozzi dotati di una lunghezza di filtri sufficiente a produrre un'ampia e profonda depressione piezometrica senza eccessivi prelievi.
2. **Portata di esercizio controllo dei tratti filtrati**: si deve tenere conto del fatto che nel tempo i pozzi si deteriorano perché i filtri si intasano o si incrostano: è necessario sottoporre i pozzi a periodici test per verificare che la loro q rimanga costante nel tempo.
3. **Distanza tra pozzi**: dipende dall'effettivo spazio disponibile (tanto più difficile in aree fortemente urbanizzate) e dagli abbassamenti provocati dall'emungimento. Deve essere valutato l'impatto del drenaggio sui corpi idrici e sulle opere di presa

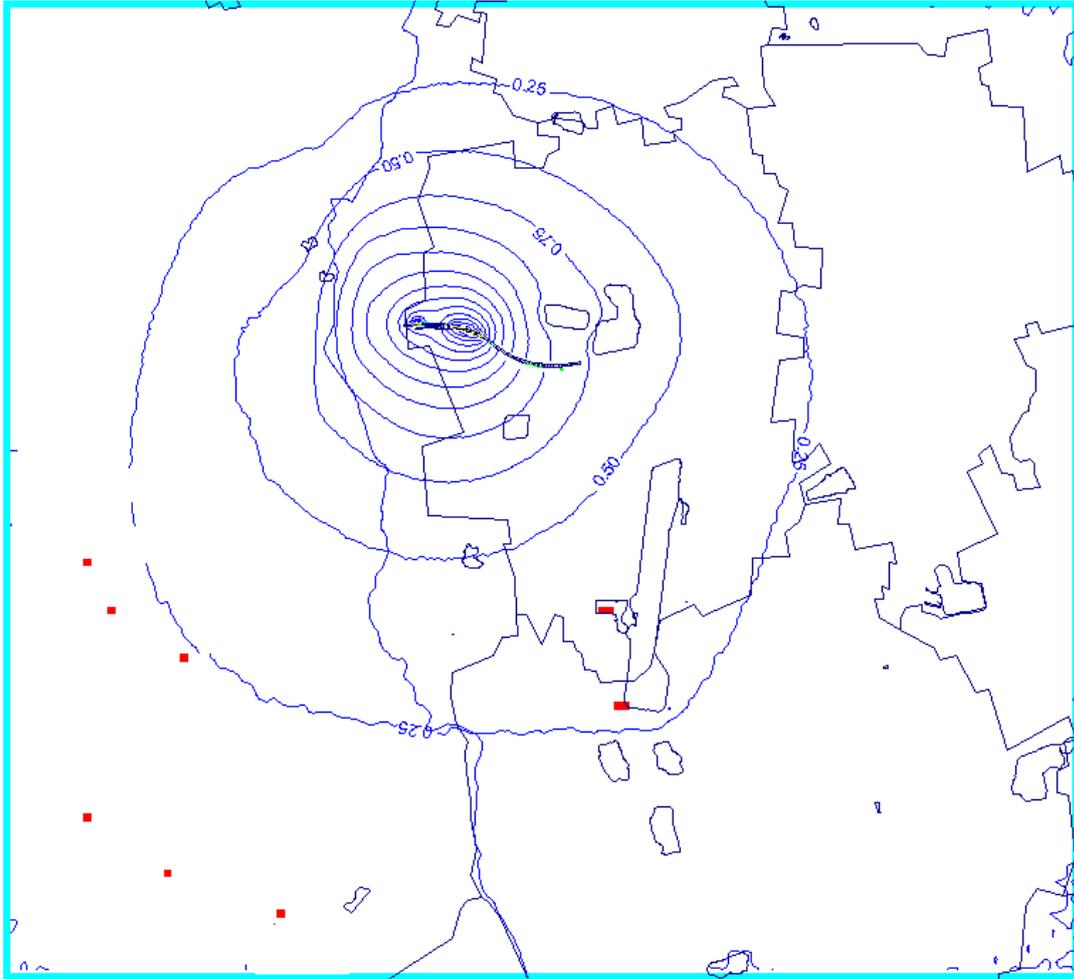


Figure 9 - Impatto del drenaggio sui corpi idrici e sulle opere di presa

2.2 ZONE DI RALLENTAMENTO DEL FLUSSO E DI STAGNAZIONE

Nei grandi centri urbani le centrali di pompaggio danno luogo al rallentamento del flusso in alcuni settori specifici.

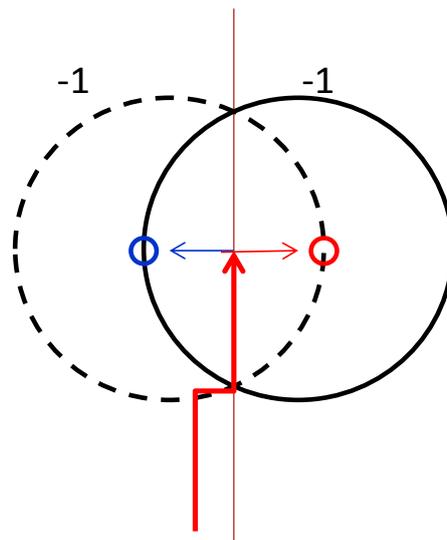


Figure 10 - Punto di stagnazione

In ambito cittadino molto spesso si possono avere le sovrapposizioni delle depressioni prodotte dai pozzi di prelievo limitrofi. Si vengono così a formare ampie depressioni (anche di kmq) , lungo il cui spartiacque piezometrico si osservano aree a circolazione lenta contenenti punti a velocità nulla.

Le linee di flusso diventano curvilinee e seguono cadenti piezometriche molto basse con il conseguente possibile ristagno delle acque sotterranee.

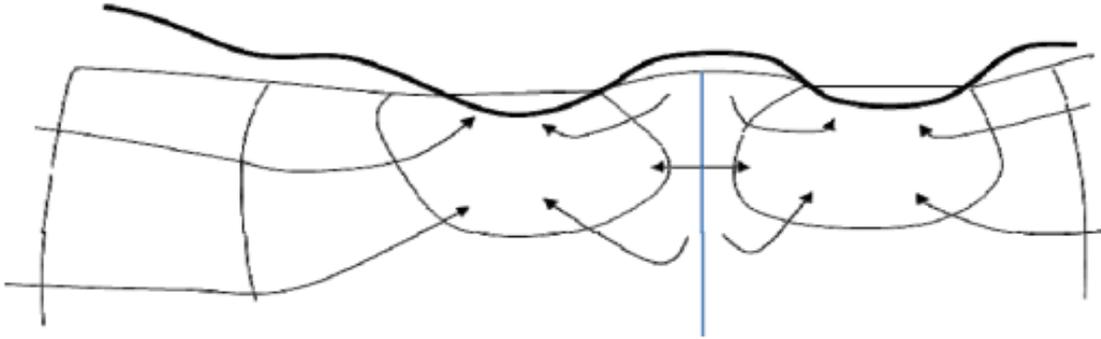


Figure 11 - Punti di stagnazione a seguito di chiusure della piezometria

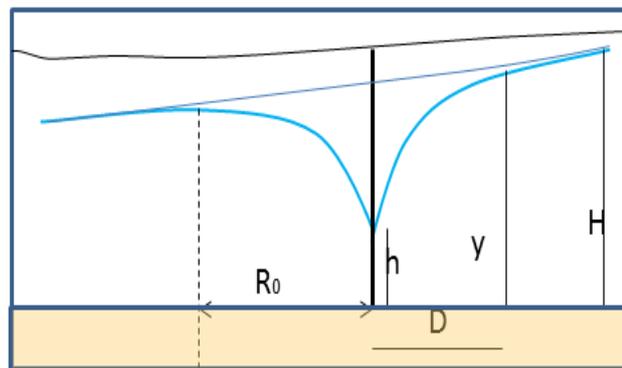
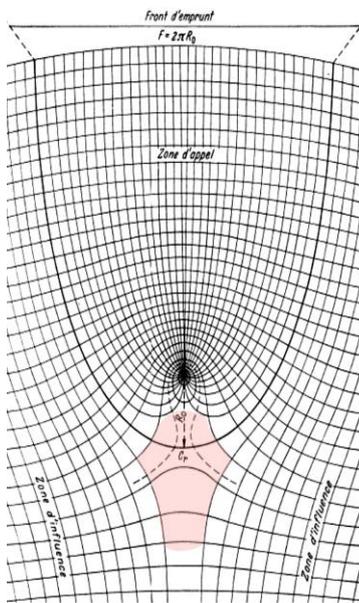


Figure 12 - Fronte di richiamo e zona di rallentamento con un pozzo in funzione in falda inclinata. In sezione il punto di stagnazione si trova a R_0 dal pozzo.

$$D \equiv \frac{Q}{\pi T J (A + 1)} \quad D \equiv \frac{Q}{\pi T J (1 - A)} \quad (1.5)$$

Dove D è la distanza dal pozzo alla quale si ha un valore J pari a JA , con A minore di 1. Quando KJA è molto minore di KJ allora la velocità della falda è molto inferiore a quella naturale. La relazione per determinare D a valle di R_0 è diversa da quella di monte.

Una zona di rallentamento si forma anche quando in pompaggio c'è un solo pozzo, e la falda è inclinata; nella Figure 12 è indicata con un'area in colore a cavallo dello spartiacque piezometrico.

Avendo i tubi di flusso tutti portata uguale, quelli caratterizzati da una minore velocità sono quelli che hanno sezione di flusso più larga; si osserva in Figure 12 che i tubi di flusso con minore velocità sono quelli inclusi nella zona colorata. Il rallentamento del flusso porta alla presenza di aree circoscritte all'interno dei centri urbani nei quali le concentrazioni di inquinanti sono più elevate e possono stazionare a lungo. Lo spostamento a valle degli inquinanti è infatti ostacolato dalla bassa velocità del flusso.

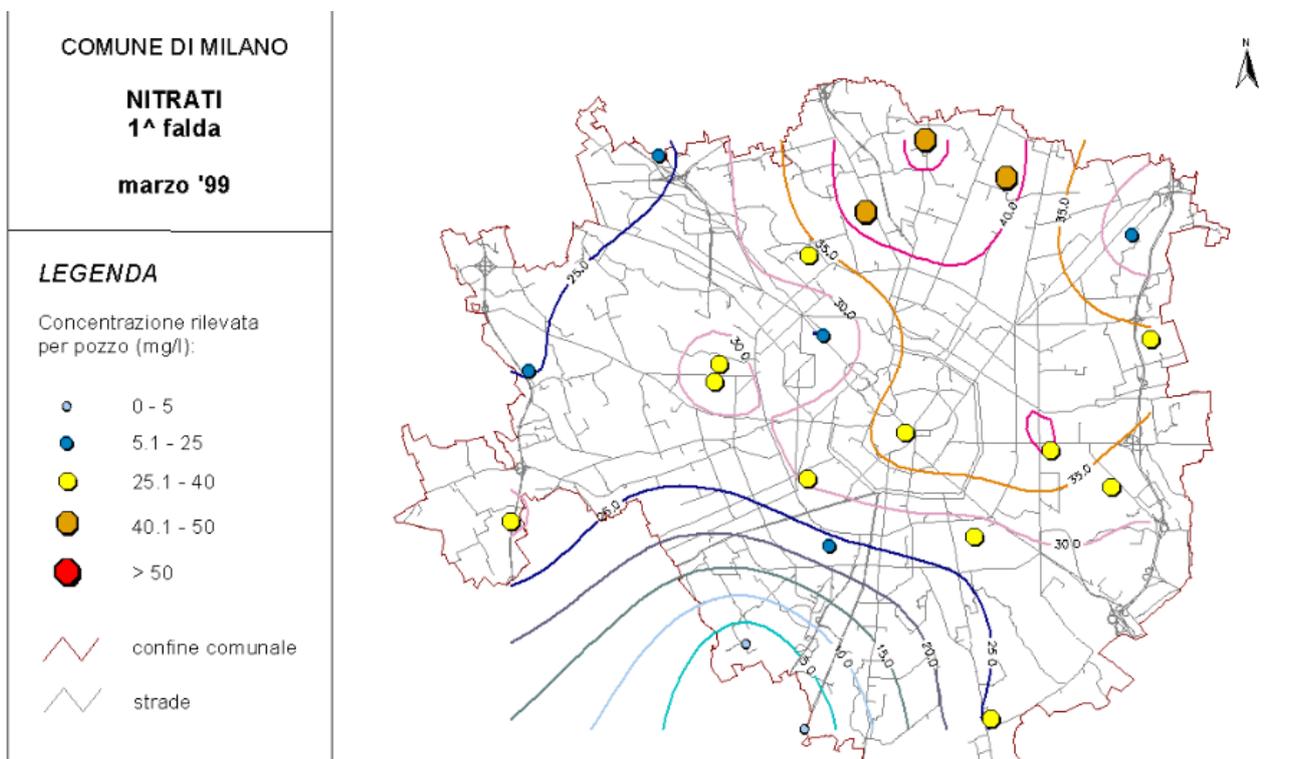


Figure 13 - Formazione di insaccature con maggiori concentrazioni di contaminanti

In tali condizioni, le contaminazioni anziché spostarsi lateralmente, vengono ad approfondirsi, determinando un fronte di inquinamento che nel tempo si trova a profondità sempre maggiori (Figure 13).

Il danno per le riserve idriche è pesante, perché quelle più profonde sono anche quelle di maggiore pregio qualitativo (Figure 14).

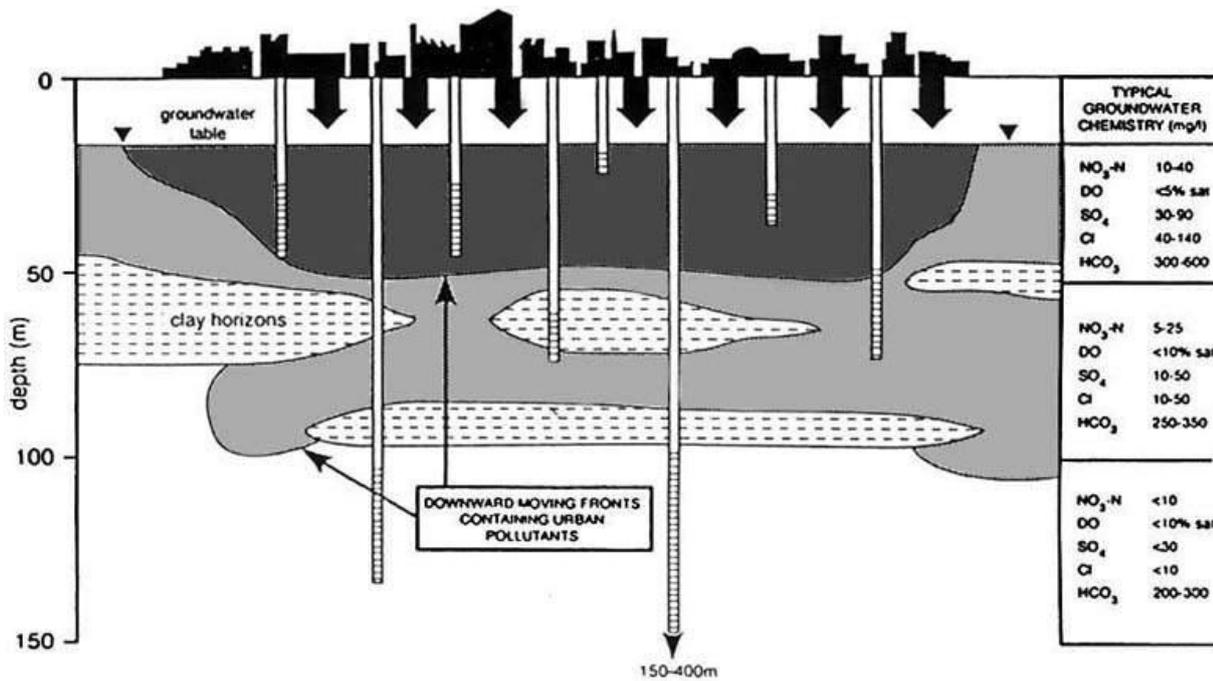


Figure 14 - Assenza o scarsità di flusso orizzontale nelle zone di stagnazione possono determinare l'approfondimento degli inquinanti

Il principale rimedio alle situazioni di inquinamento è l'eliminazione delle fonti: è quindi richiesto un censimento preventivo di tutte le potenziali sorgenti della contaminazione, che devono essere eliminate.

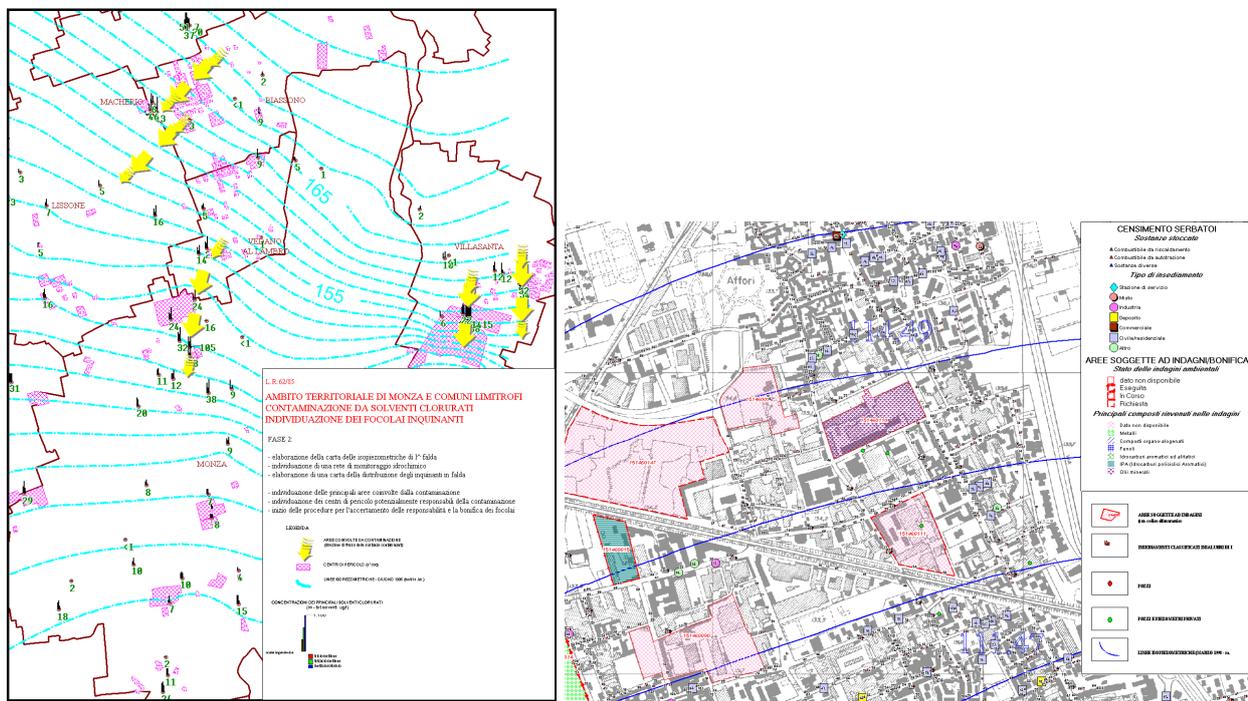


Figure 15 - Censimento delle produzioni potenzialmente inquinanti

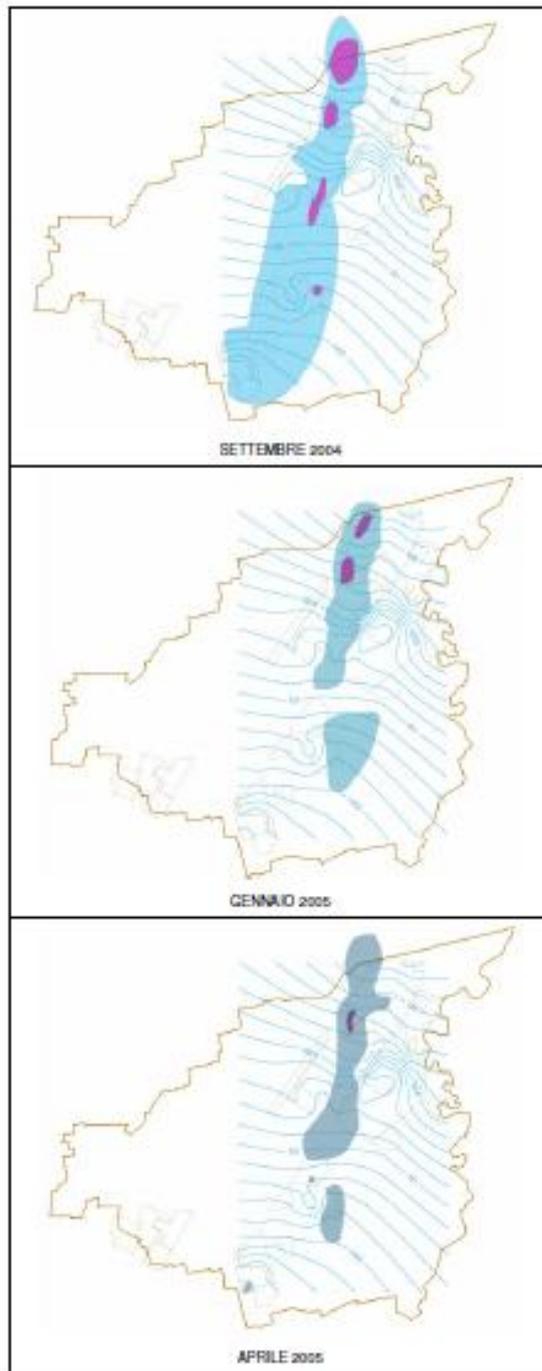


Figure 16 - Estinzione di un inquinamento per asportazione della fonte