

GLI STUDI IDROGEOLOGICI

principi di base

A cura di V. Francani e L. Alberti

vincenzo.francani@polimi.it, luca.alberti@polimi.it

1 LO STUDIO DELLA PIEZOMETRIA

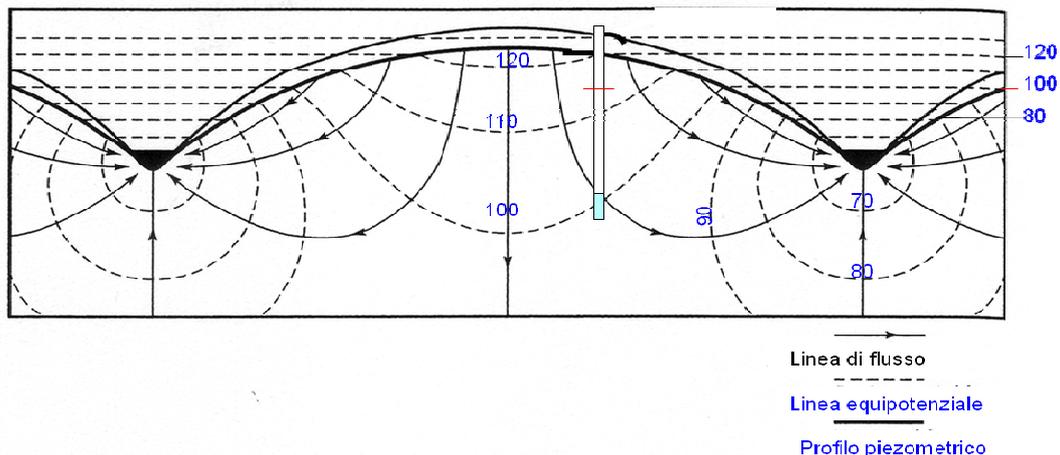
Lo studio della circolazione idrica nel sottosuolo richiede che le relazioni fondamentali delle quali si è discusso vengano adattate alle strutture geologiche, quindi a un mezzo eterogeneo che deve essere esaminato anche sulla verticale. Fortunatamente le relazioni idrogeologiche di Darcy e di Dupuit nei mezzi reali, permettono di spiegare la conformazione rete di flusso sotterranea anche in profondità.

La morfologia della rete di flusso dipende da diversi fattori:

- Posizione delle zone di alimentazione e di recapito
- Distribuzione della permeabilità
- Recapito e alimentazione

Esaminiamo ad esempio la seguente Figura 1, dalla quale si evince innanzitutto come con la profondità le superfici di uguale livello piezometrico (equipotenziali) abbiano la tendenza a variare per la presenza di recapiti (i corsi d'acqua della figura), verso i quali il flusso della falda rappresentato dalle linee normali alle equipotenziali viene a convergere. Nella figura è rappresentato un pozzo non in funzione, con livello piezometrico a m 100 s.l.m.

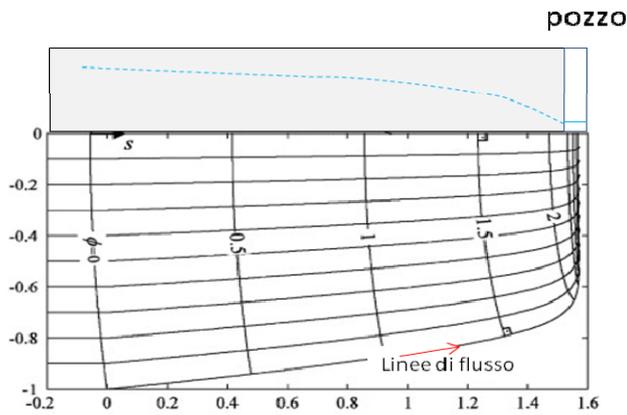
Sezione verticale della rete di flusso



Le equipotenziali rappresentano il livello piezometrico che si otterrebbe in un piezometro finestrato solo in loro corrispondenza

(Fonte: Fetter, 2001, da Hubbert, 1941.)

Figura 1 - Equipotenziali di un versante



L'infiltrazione proveniente alla falda dalla superficie viene posta in evidenza da Hubbert disegnando le linee di flusso provenienti dalla superficie, dove tale alimentazione avviene. La rete è composta da tubi di flusso a loro volta suddivisi in maglie a forma di trapezi curvilinei: il calcolo delle portate che attraversano le maglie può essere eseguito utilizzando le relazioni già viste (es. Kamenski).

Figura 2 : equipotenziali e linee di flusso di un pozzo in falda in pressione

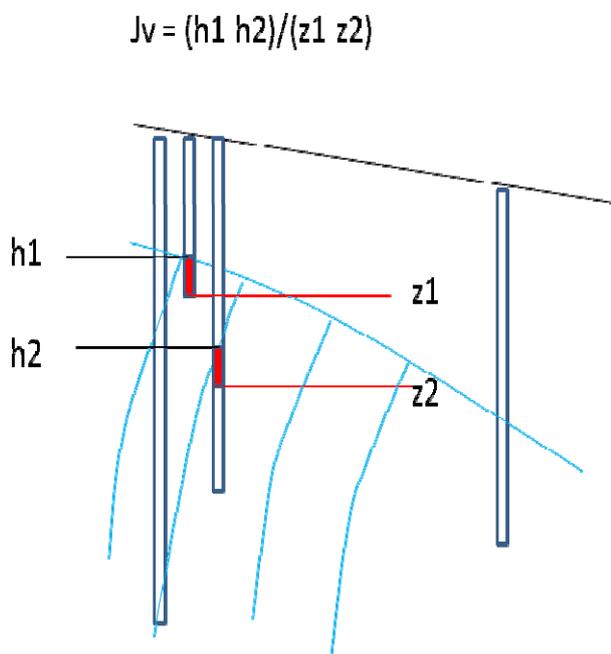


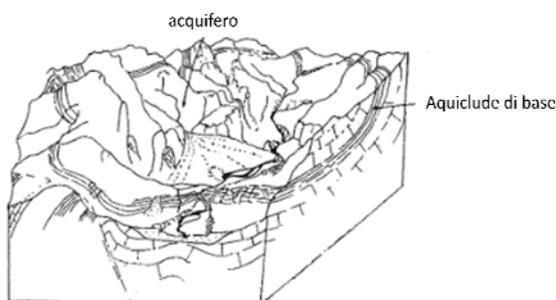
Figura 3 – Gradiente verticale fra le quote z1 e z2

quanto viene fatto per il gradiente orizzontale J del quale si è finora trattato discutendo delle carte piezometriche.

Esempio: il pozzo 1 abbia un livello piezometrico alla quota 101 m s.l.m. e il tratto finestrato sia compreso fra 16 e 14 m rispetto alla quota 0, mentre il pozzo 2 abbia un livello piezometrico 100,6 m s.l.m. e il tratto filtrato fra 11 e 9 m s.l.m.

Il gradiente verticale fra le quote 16 e 9 m s.l.m. è : $J_v = (101 - 100,6) \text{ m} / (16 - 9) \text{ m} = 0,4/7 = 0,057$

Lo studio idrogeologico per ogni caso in esame richiede un'analisi del bacino idrogeologico che alimenta gli acquiferi in esame. Il bacino idrogeologico è costituito dal territorio dal quale



proviene l'alimentazione dell'acquifero, ed è racchiuso da uno spartiacque che ha una funzione analoga a quello degli spartiacque dei bacini imbriferi. Questo limite può essere piezometrico o geologico. Nel primo caso si tratta di una struttura piezometrica (ad esempio una dorsale, detta talora "alto" o "duomo"), che separa le acque convergenti

verso l'interno del bacino da quelle che defluiscono esternamente ad esso. Nel secondo caso, il limite è costituito da una formazione impermeabile (es argilliti), o da una struttura tettonica (faglia o sovrascorrimento con cataclasi impermeabili). Le dorsali piezometriche sono alquanto frequenti nelle aree antropizzate, dove derivano generalmente da una fonte locale di alimentazione della falda (irrigazioni, condotte, perdite di impianti).

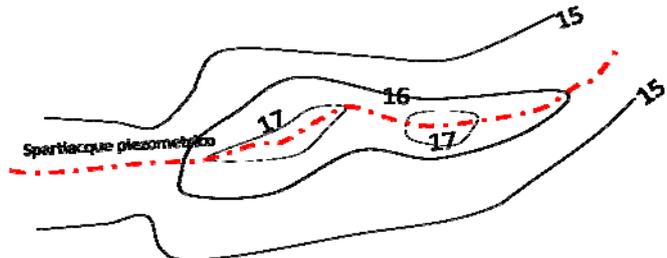


Figura 4 : Dorsale e spartiacque piezometrico

I limiti piezometrici sono soggetti a importanti variazioni, e in alcuni casi necessita il loro continuo controllo e aggiornamento.

Le cause di tali variazioni risiedono nel fatto che alcune strutture piezometriche dipendono molto dall'entità dell'alimentazione, che può imporre forti variazioni o in casi eccezionali o ricorrenti con frequenza. **Le analisi piezometriche richiedono quindi, per essere studiate e interpretate correttamente, la costruzione preventiva della struttura geologica dell'area in esame.**

I casi sono molti, e se ne presentano solo alcuni, che sottolineano l'importanza di cercare di evidenziare al meglio anche la piezometria della falda profonda e della caratteristiche del substrato (che può essere impermeabile o al contrario fornire alimentazione). Quello della figura a) descrive il fatto che un corso d'acqua può essere alimentato dalla falda in un certo

periodo dell'anno (LP1), durante il quale drena l'acquifero, mentre in un altro periodo può alimentare la falda, invertendo quindi il flusso delle acque come si nota in LP2.

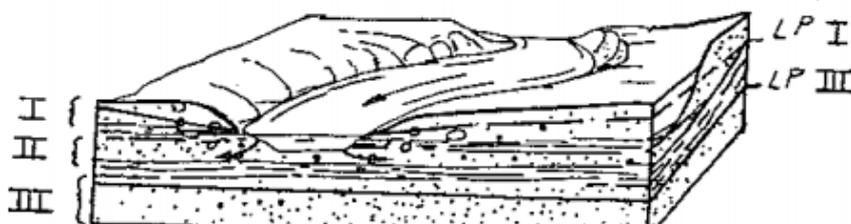


Figura 5

I casi descritti nella figura successiva, mostrano innanzitutto come la falda che scorre libera nella parte destra dell'immagine a), può venir meno se si riduce l'alimentazione della falda in pressione attraverso le interruzioni del substrato argilloso. Nella figura b) la falda riceve alimentazione da un sottile acquifero, e può quindi avere un brusco dislivello piezometrico all'approfondirsi del substrato impermeabile passando nella zona di pianura, dove può addirittura estinguersi nella stagione in cui l'alimentazione si riduce anche di poco.

L'immagine b) che rappresenta questa struttura, sottolinea il fatto che il raccordo fra versante e zona di pianura comporta un aumento della cadente piezometrica che occorre identificare. Altrimenti, essendo il dislivello piezometrico talora di diversi metri, si può erroneamente concludere che quella di versante e quella di pianura sono due falde diverse e non intercomunicanti.

Il caso C rappresenta una condizione analoga, in cui il substrato è costituito da un deposito fluvio-glaciale più antico. A differenza della precedente struttura, all'acquifero della pianura può quindi pervenire

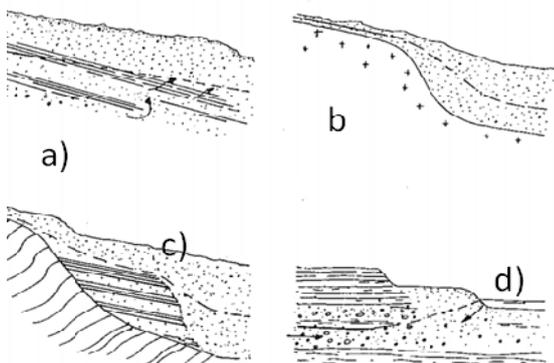


Figura 6 : cambiamenti nelle modalità di alimentazione della falda

alimentazione anche dal corpo idrico sotterraneo contenuto nel fluvioglaciale; quando questa alimentazione diviene preponderante, si verifica il caso descritto dall'immagine d), che evidenzia come il fiume può alternativamente alimentare o ricevere acqua anche da una falda profonda.

Tutti questi esempi indicano chiaramente la necessità di sviluppare sezioni idrogeologiche capaci di identificare l'eventuale presenza di aquitard e aquicludes, nonché il loro andamento e continuità laterale.

Solo a tale condizione è possibile conoscere la geometria degli acquiferi e i loro rapporti reciproci, come nella Figura 7, e quindi selezionare i punti nei quali porre i filtri dei piezometri, in modo da avere piezometrie separate per ogni acquifero.

È condizione fondamentale per la ricostruzione di una attendibile piezometria, disporre di un buon numero di dati piezometrici. Le carte piezometriche devono essere costruite con i valori dei livelli misurati in un solo acquifero: infatti molti errori interpretativi, con gravi conseguenze per la loro rappresentatività, sono dovuti al fatto di aver mescolato inavvertitamente livelli piezometrici di falde diverse. Nella figura 7 a sinistra, che rappresenta la cartografia piezometrica, viene evidenziato con diversi colori l'assetto piezometrico, dei quali uno radiale, di due acquiferi sovrapposti. Quello che mostra i livelli piezometrici minori risulta soggetto alla depressione creata da due pozzi (P1 e P2). Si osserva che la mancata distinzione dei due acquiferi, riportata nella sezione schematica, impedirebbe la corretta interpretazione della cartografia piezometrica.

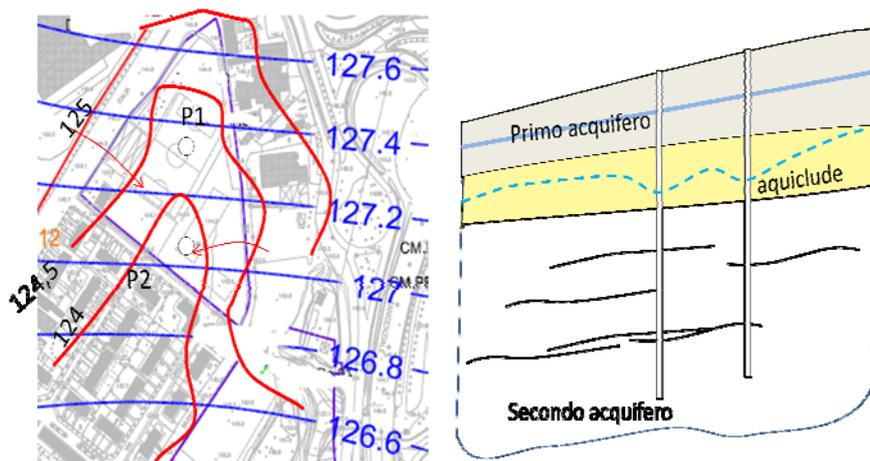


Figura 7

2 LE VARIAZIONI TEMPORALI DELLA PIEZOMETRIA

Quanto descritto nel precedente capitolo evidenzia la necessità di disporre di strumenti per lo studio delle variazioni della piezometria nel tempo, in conseguenza di prelievi o di immissioni di acqua tramite pozzi o canali, o per i cambiamenti conseguenti nelle portate delle fonti di alimentazione naturali (es. fiumi, precipitazioni, fusione delle nevi).

I pozzi in pompaggio producono, come si è constatato, una depressione piezometrica che si stabilizza se si mantiene la portata per diverse ore. Cambiando la portata, la depressione si adatta alle nuove condizioni e torna a stabilizzarsi dopo qualche tempo. Quando il pozzo è fermo, e inizia il pompaggio, nell'intervallo di tempo occorrente per l'acquisizione del regime stazionario, la depressione piezometrica si allarga ampliando il proprio raggio d'influenza R secondo la relazione, sperimentalmente validata da numerosi autori:

$$R = 1,15 (Tt/S)^{0,5}$$

Dove t è il tempo in secondo dall'inizio del pompaggio, T la trasmissività in m^2/s e S il coefficiente di immagazzinamento quando la falda è in pressione. La relazione si adatta anche al caso in cui la falda sia libera, sostituendo a S il valore della porosità efficace, anche se la validità di questo adattamento non è sempre giudicata perfetta. Si invita a questo proposito a leggere la rilevante letteratura esistente su questi argomenti nei testi specializzati di idrogeologia o di idraulica sotterranea, ai quali si rimanda per una corretta esposizione della teoria delle prove di pompaggio, che qui non può essere contenuta. Si desidera qui sottolineare che questo metodo ha rilevanti pregi ai fini applicativi, come di seguito si può constatare.

Ai fini di interpretare i risultati delle prove sul campo per determinare la T e la k , si osserva infatti che, introducendo il valore del raggio d'influenza così ricavato nella relazione di Dupuit, in luogo della distanza x alla quale vengono rilevati i livelli piezometrici y , si ottiene l'espressione:

$$y-h = (0,183Q/T) \cdot [\log(2,25Tt/Sx^2)]$$

che può essere anche formulata, se si possiedono solo i dati di abbassamento (s , in m) nel pozzo:

$$s = (0,183Q/T) [\log(2,25Tt/Sr^2)]$$

Questa relazione, detta di Jacob- Cooper, o di approssimazione logaritmica presenta alcune limitazioni, per le quali si invita ancora ad esaminare la letteratura scientifica in materia.

Essa consente tuttavia di eseguire prove di pompaggio per durate di tempo relativamente limitate (24 ore per gli acquiferi più trasmissivi, almeno 72 per quelli limoso-sabbiosi) ottenendo soddisfacenti approssimazioni nei valori cercati.

2.1 PROVE A PORTATA COSTANTE CON MISURAZIONE DEGLI ABBASSAMENTI E DEI TEMPI DI POMPAGGIO

Un metodo rapido per arrivare a questi valori consiste nel misurare gli abbassamenti a intervalli di tempo tali da avere una buona precisione su valori di t corrispondenti ai diversi ordini di grandezza (es. 1000, 10.000, 100.000 secondi).

Infatti, si nota che la relazione di approssimazione logaritmica è risolta in funzione del logaritmo decimale dei tempi ($\log t$). Esprimendo il termine sotto logaritmo come somma e sottrazione di logaritmi si ha:

$$\log(2,25Tt/Sx^2) = \log(2,25) + \log T + \log t - 2\log S - \log t$$

Si nota che sottraendo due valori di abbassamento ottenuti a istanti che si differenziano per un ciclo logaritmico (es dopo 1000 e dopo 10000 s dall'inizio dei prelievi), la loro differenza è:

$$s'' = (0,183Q/T) [\log(2,25Tt''/Sr^2)]$$

$$s' = (0,183Q/T) [\log(2,25Tt'/Sr^2)]$$

$$s'' - s' = 0,183Q/T$$

relazione da cui si ricava la T senza altri calcoli:

$$T = 0,183Q / (s'' - s')$$

Il valore della T si può quindi ottenere semplicemente conoscendo due valori di abbassamento in istanti della prova che si differenziano per un ciclo logaritmico.

Il test viene definito, per le modalità con le quali si svolge: **prova abbassamenti/tempi a portata costante**.

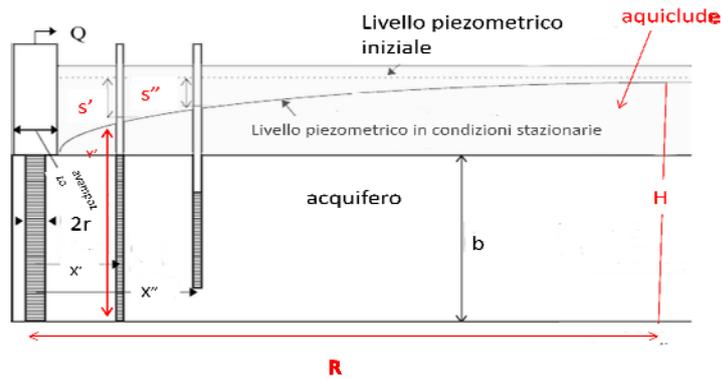


Figura 8

2.1.1 Prove di risalita

Quando i pozzi vengono utilizzati per alimentare la falda, la portata viene immessa nel pozzo; il sollevamento della falda è simmetrico all'abbassamento, e le relazioni da impiegare sono identiche a quella di Dupuit.

Ad esempio alla distanza x , il livello piezometrico y è dato da :

$$y = H + Q \ln(x/r) / 2\pi T$$

Si nota che l'unico cambiamento rispetto alla relazione di Dupuit usata per il pozzo drenante consiste in un cambiamento di segno: al livello della falda indisturbata i sollevamenti devono essere aggiunti, mentre gli abbassamenti devono essere sottratti.

Per calcolare nella fase transitoria i sollevamenti, è sempre utilizzabile il metodo di Jacob- Cooper, con l'avvertenza di provvedere al cambiamento di segno. Applicando questo criterio, l'espressione del sollevamento nel tempo è:

$$(h-y) = +s = (0,183Q/T) [\log(2,25Tt/S r^2)]$$

Questa considerazione rende agevole calcolare la variazione di livello piezometrico alla distanza x nel tempo, quando nel pozzo avvengono cambiamenti di portata.

Ad esempio, se nel pozzo si opera un pompaggio per un tempo t' , e contemporaneamente si immette acqua, la variazione di livello alla distanza x si ottiene sommando algebricamente gli effetti dei prelievi e delle immissioni al livello h nel pozzo.

Si avrà infatti :

$$+s' = (h-y') = (0,183Q'/T) [\log(2,25Tt'/S x^2)]$$

$$-s'' = (y''-h) = (0,183Q''/T) [\log(2,25Tt''/S x^2)]$$

Sommando si ottiene che la differenza di livello $y''-y'$ alla distanza x è:

$$y''-y' = [(0,183(Q''-Q')/T) [\log(2,25Tt/S x^2)]].$$

Da questa relazione si ricava l'evidenza che se le portate di immissione e di estrazione sono identiche, e iniziano nello stesso momento (t è uguale nelle due espressioni), il livello rimane invariato a qualsiasi distanza dal pozzo, come se il pozzo non fosse in funzione, perché $Q'' = Q'$.

Si sottolinea che, quindi, Immettere ed estrarre contemporaneamente la stessa portata equivale ad estrarre o immettere una portata nulla, quindi a tenere il pozzo spento.

Se le portate sono identiche e opposte ma i tempi diversi, ad esempio se per un certo periodo t' il pozzo estrae acque e da un certo momento in poi fino al tempo t'' mantiene la sua portata di estrazione e riceve un'identica immissione (cioè per quanto detto prima si spegne il pozzo nel periodo $t''-t'$), le relazioni che esprimono questo fatto saranno:

$$+s' = (h-y') = (0,183Q/T) [\log(2,25Tt'/S r^2)]$$

$$-s'' = -(h-y'') = -(0,183Q/T)[\log(2,25Tt''/S r^2)]$$

Sommandole si ottiene l'effetto alla distanza r :

$$y''-y' = (0,183Q/T)\log(t''/t')$$

Si nota che da questa relazione è possibile ottenere immediatamente il valore di T.

Il test viene definito **prova di risalita**.

2.1.2 Determinazione del valore di S

Il metodo di approssimazione logaritmica consente anche di determinare S con un'espressione altrettanto semplice. Infatti, tenendo conto del fatto che il momento in cui inizia l'abbassamento in un piezometro a distanza x dal pozzo è contrassegnato da un valore pari a zero, si osserva che la relazione:

$$y-h = (0,183Q/T)*[\log (2,25Tt/Sx^2)]$$

può essere nulla solamente se $\log (2,25Tt/Sx^2)$ è pari a zero, essendo Q e T per costruzione diverse da zero.

L'azzeramento del logaritmo decimale si ha solamente in un caso: quando $2,25 Tt$ è uguale a Sx^2 . Nell'istante iniziale dell'abbassamento in x, si ha quindi che è possibile ricavare S dalla relazione:

$$S = 2,25 Tt_0 / x^2$$

Nella quale con t_0 si esprime il tempo trascorso dall'inizio del pompaggio all'inizio dell'abbassamento alla distanza x.

2.2 IL PRINCIPIO DI SOVRAPPOSIZIONE DEGLI EFFETTI E IL METODO DELLE IMMAGINI

Questi principi, anch'essi trattati esaustivamente dalla letteratura idrogeologica e nell'Idraulica sotterranea, consentono di valutare le deformazioni piezometriche in molti casi di interesse applicativo. Ci si limita in questa sede ad alcune definizioni essenziali .

2.2.1 Sovrapposizione degli effetti

E' applicabile in condizioni di regime stazionario al caso in cui due fonti di sollevamento o di abbassamento del livello piezometrico agiscono contemporaneamente su una porzione della falda.

Lo spostamento del punto della falda soggetto alla duplice azione avviene secondo la risultante dei vettori applicati; ad esempio, se agiscono sullo stesso punto due pozzi, l'abbassamento del livello piezometrico si traduce nella somma degli abbassamenti. Se un pozzo invece estrae l'acqua e l'altro la immette, la risultante è uno spostamento verticale pari alla differenza fra sollevamento e abbassamento.

Il metodo delle immagini utilizza questi concetti per consentire il calcolo della piezometria quando un corpo idrico naturale o una formazione geologica di permeabilità diversa ricadono nella zona di influenza di un'opera di captazione (pozzo o trincea).

Questo approccio deve la sua denominazione al fatto che questi risultati vengono ottenuti applicando il principio di sovrapposizione degli effetti a due fonti di deformazione piezometrica

identiche, disposte simmetricamente rispetto a una superficie verticale corrispondente alla discontinuità geologica o al corpo idrico naturale.

Ad esempio, quando un pozzo si colloca in prossimità di un corso d'acqua che arriva fino al substrato impermeabile, la depressione piezometrica prodotta dal pozzo viene ad arrestarsi, per il contributo (uguale al prelievo, ma di segno opposto) che il fiume offre alla depressione piezometrica.

Queste tecniche sono di grande utilità pratica, e verranno esposte nei dettagli nell'esaminare alcuni problemi di interesse applicativo.

ESERCIZI DI IDROGEOLOGIA GENERALE

ESERCIZIO 1

LETTURA DELLA CARTA PIEZOMETRICA

La carta mostra una forte curvatura delle isopieze lungo un versante. Le isopse sono tratteggiate. Tracciare le linee di flusso, seguendo il criterio di condurle ortogonalmente alle isopieze e indicare approssimativamente in base alla piezometria e alle isopse dove la falda può affiorare sul versante e rispondere alle altre domande.

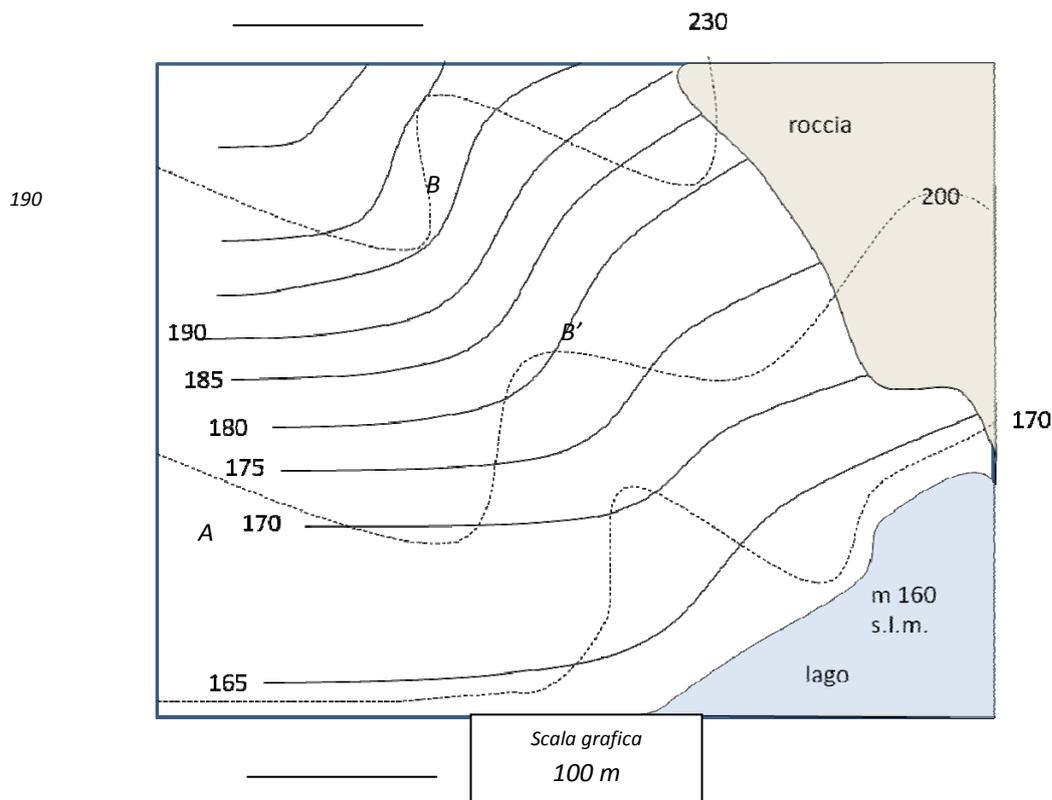


Figura 1 : descrizione della piezometria su un versante montano

Gradiente idraulico

Calcolare dalla figura 1 il gradiente idraulico fra i punti A e A' (distanza 100 m). Disegnare la congiungente fra i due punti (segmento di retta ortogonale alle isopieze). Calcolare il gradiente fra i punti B e B' (la congiungente è curvilinea).

Velocità darciana

Calcolare la velocità darciana della falda nei due tratti AA' e BB', sapendo che $k=0,001\text{m/s}$

Velocità reale

Calcolare la velocità reale fra i medesimi punti, considerando anche una porosità efficace di 0,1.

ESERCIZIO 2

UNITA' LITOLOGICHE <i>Mazzarella S. – Martinis B.</i>		UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE <i>Francani V. – Pozzi R.</i>		UNITA' STRATIGRAFICHE <i>AGIP</i>	ETA'	UNITA' IDROGEOLOGICHE <i>Avanzini M. et Altri</i>	ENI & Regione Lombardia (2001)
Litozona ghiaioso - sabbiosa	Acquifero Tradizionale	Fluvioglaciale wurm auct. (Diluvium recente)	I acquifero	Alluvione	Pleistocene Superiore	Unita' Ghiaioso - sabbiosa	A
		Fluvioglaciale Mindel - Riss - Wurm (Diluvium medio - antico)	II Acquifero		Pleistocene medio	Unita' Ghiaioso - sabbiosa - limosa	B
		Ceppo auct.			Pleistocene Inferiore	Unita' a conglomerati ed arenarie basali	C
Litozona sabbioso - argillosa	Acquiferi Profondi	Villafranchiano	III Acquifero	Sabbie d'Asti		Unita' sabbioso - argillosa (facies continentali e di transizione)	D
Litozona Argillosa					Calabriano	Unita' argillosa (facies marina)	

Utilizzando la tabella delle unità idrostratigrafiche riportate nella letteratura, riferita ai depositi alluvionali e fluvioglaciali del Quaternario nella parte superiore, rispondere alla seguente domanda:

i conglomerati indicati come "Ceppo Auct.", a quale unità corrispondono nella classificazione ENI-Regione Lombardia del 2001?

Risposta: C

ESERCIZIO 3

Una falda in pressione a filetti paralleli senza cambiare forma, passa da un più antico deposito fluvioglaciale (con questo termine viene qui inteso il sedimento prodotto da un fiume pleistocenico) a permeabilità mediocre a un deposito più recente a permeabilità medio-alta.

Calcolare la portata che attraversa un tubo di flusso lungo 200 m e largo 500 m, sapendo che il livello piezometrico 100 m a monte del limite fra i due depositi risulta di 150 m s.l.m. e di 125 m s.l.m. 100 m a valle dello stesso. La trasmissività del deposito antico è di 0,005 m²/s e quella del deposito recente di 0,02 m²/s.

Soluzione

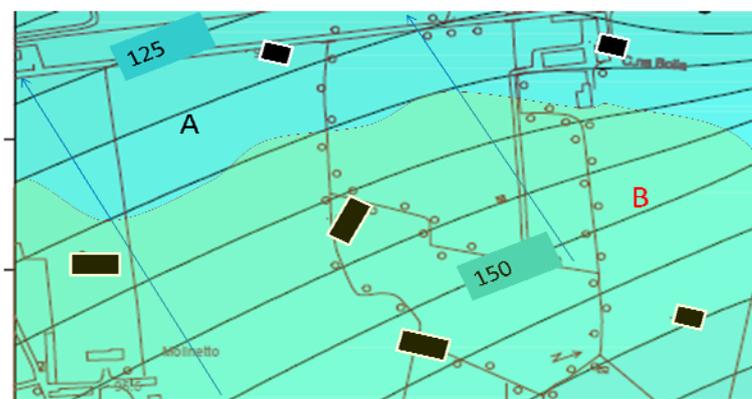
Per risolvere il problema è sufficiente applicare la relazione

$$Q = w(H-h)/[(L'/T')+(L''/T'')]$$

Sostituendo alle lettere i termini noti si ha:

$$Q = 500m(150m-125m)/[(100m/0,005m^2/s)+(100m/0,02m^2/s)]$$

Unità Idrogeologica A (ghiaie e sabbie con rari limi, Pleistocene superiore)

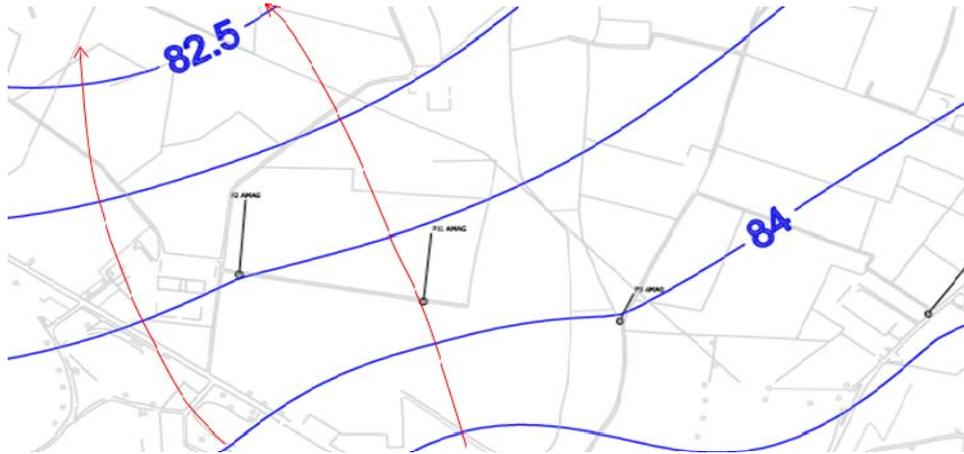


Unità Idrogeologica B (ghiaie e sabbie con frequenti livelli limoso-sabbiosi, Pleistocene medio)

che permette di calcolare il valore di Q ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$).

ESERCIZIO 4

Calcolare la portata della porzione di una falda in pressione che percorre un tubo di flusso in cui l'isopieza 82,5 m s.l.m. presenta lunghezza di 180 m e l'isopieza 83,5 di 200 m; essa sia posta a 200 m di distanza lungo la linea di flusso che costituisce il limite laterale del tubo di flusso considerato, nel quale la trasmissività sia costantemente pari a $0,02 \text{ m}^2/\text{s}$.



Soluzione

Partendo dalla relazione di Dupuit:

$$Q = 2\pi T(H-h)/\ln(R/r)$$

che descrive le modalità di afflusso a un pozzo di una falda in pressione, e dalla relazione di Kamenski:

$$Q = T(H-h)(a-b)/L\ln(a/b)$$

una volta sostituiti i valori noti, si ottiene:

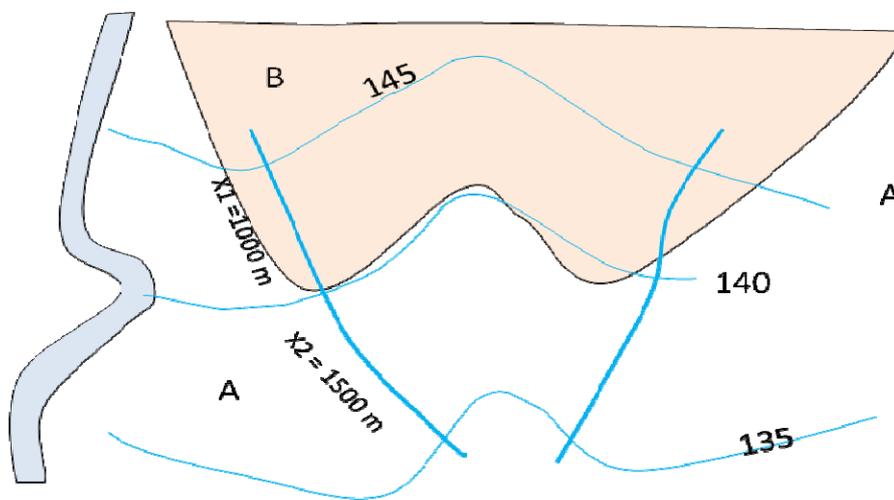
$$Q = 0,02 \text{ m}^2/\text{s} \cdot 1 \text{ m} \cdot 20 \text{ m} / 200 \text{ m} \cdot \ln(10/9)$$

che fornisce direttamente il valore di Q ($0,01892 \text{ m}^3/\text{s}$).

ESERCIZIO 5

In un settore dell'alta pianura milanese il limite fra i depositi fluvio-glaciali più recenti (indicati con A e databili al Pleistocene superiore) e quelli più antichi (databili al Pleistocene medio, indicati con B) corre lungo l'isopiezia 140 m s.l.m.

Nel tratto x1, lungo 2000 m, la falda presenta un andamento radiale convergente, che prosegue più a valle: infatti, spostandosi lungo la linea di flusso che limita lateralmente il tubo di flusso, si osserva che 1500 m a valle dell'isopiezia 140, in corrispondenza dell'isopiezia 135 m s.l.m., il tubo di flusso è largo solamente 800 m. In questo settore di lunghezza x2 pari a 1500 m, che si colloca interamente nei depositi ghiaiosi A, la trasmissività è di 0,02 m²/s.



Risalendo a monte dell'isopiezia 140, si osserva che il tubo di flusso in corrispondenza dell'isopiezia 145 ha una larghezza di 2500 m. Questo settore cade interamente nei depositi B. Ipotizzando che non vi siano in questo intervallo apporti di acqua o estrazioni di acqua, calcolare la trasmissività del settore B.

Soluzione

Si deve dapprima calcolare la portata che attraversa il tubo di flusso, utilizzando i dati del settore A (in cui è nota anche la T); la portata si ricava da:

$$0,02 \text{ m}^2/\text{s} \cdot 5 \text{ m} \cdot 200 \text{ m} / 1500 \text{ m} \cdot \ln(5 \text{ m} / 4 \text{ m}) = 0,05975 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = T(H-h)(a-b) / L \cdot \ln(a/b)$$

Introducendo questo valore nella relazione di Kamenski, risolta in funzione di T:

$$T = QL \ln(a/b) / (H-h)(a-b)$$

$$\text{Si ottiene } T = 0,05975 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ m} \cdot \ln(2000 \text{ m} / 2500 \text{ m}) / 5 \text{ m} \cdot 500 \text{ m} = 0,00533 \text{ m}^2/\text{s}.$$

ESERCIZIO 6

Con riferimento al caso precedente, ipotizzando di non conoscere la quota piezometrica 140 che in questo settore viene a coincidere con il limite fra i depositi A e B, indicare il procedimento che consente di determinarne il valore (140 m s.l.m.) noti tutti i valori della larghezza delle maglie, delle distanze L e delle trasmissività.

Soluzione

Il valore della quota piezometrica non nota (h), si può ricavare dalla relazione di Kamenski, risolta in funzione di h, detta H la quota di 145 m, e y quella di 135 m .

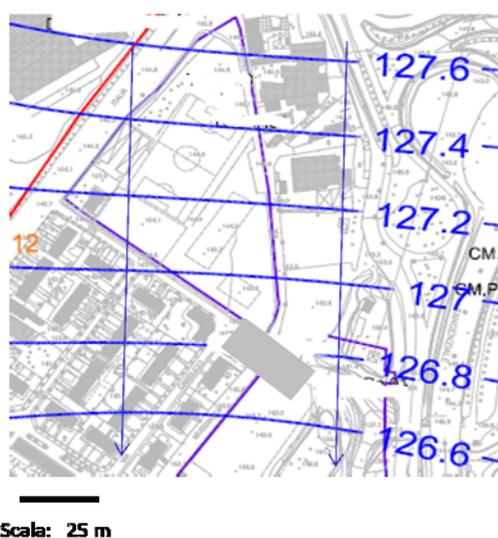
È necessario risolvere h in funzione della Q nota e della T'' (0,00533 m²/s); si può poi controllare risolvendola in funzione della T'' (0,005975 m²/s).

ESERCIZIO 7

Con riferimento al caso della falda a filetti paralleli di seguito rappresentata, calcolare la quota piezometrica, 50 m a valle della isopieza 127,20 m s.l.m, nota T(0,004 m²/s).

Soluzione

Una volta calcolata la portata, risulta facile la valutazione della quota cercata, che dipende in questo caso unicamente dalla relazione di Darcy: $y = H - Qx/wT$



Sapendo che $Q = 2 \text{ l/s}$, $x = 50 \text{ m}$, posto w (larghezza del tubo di flusso) pari a 65 m , si ha
 $h = 127,2\text{m} - 0,002\text{m}^3/\text{s} \cdot 50\text{m} / 65\text{m} \cdot 0,004 \text{ m}^2/\text{s} = 126,8 \text{ m}$

ESERCIZIO 8

Si deve calcolare il valore di y a una distanza di 50 m a valle dell'isopieza 127,2 m s.l.m.

Soluzione

Il livello piezometrico nel punto indicato dipende dalla deformazione arrecata nella piezometria dal passaggio in depositi di trasmissività diversa. Per evitare di fare ricorso alla relazione che esprime h in funzione delle trasmissività di due mezzi, risulta possibile utilizzare nuovamente l'espressione di Darcy, una volta conosciuto il valore ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) della portata.

Infatti, essendo noto il valore dell'altezza piezometrica dell'estremo inferiore del tubo di flusso (125 m s.l.m.), si può scrivere:

$$h = y + Qx/Tw$$

$$\text{e quindi: } h = 125\text{m} + 0,5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (200\text{m} - 110\text{m}) / 0,02\text{m}^2/\text{s} \cdot 500\text{m} = 129,5 \text{ m}$$

Si osserva che, applicando questa relazione a un punto situato 100 m a monte dell'isopieza 125 m s.l.m., si ottiene una quota piezometrica di 130 m s.l.m.

ESERCIZIO 9

Valutare la trasmissività di un acquifero in pressione, data la portata specifica (portata per metro di abbassamento) di 15 l/s.

Soluzione

Da questo dato, la relazione di Logan consente di ricavare un'indicazione empirica:

$$T = 1,22 Q/s$$

dove s rappresenta l'abbassamento corrispondente alla portata Q .

Nel caso specifico si ha che

$$T = 1,22 \cdot 0,015 \text{ m}^2/\text{s} = 0,0183 \text{ m}^2/\text{s}$$

ESERCIZIO 10

In un tubo di flusso composto da tre maglie, i prelievi risultano concentrati nella maglia centrale.

Determinare il valore della trasmissività, che si ipotizza costante per le tre maglie, una volta note le lunghezze a, b, c, d dei lati corrispondenti alle isopieze A, B, C, D, sapendo la lunghezza x' e x'' dei lati delle maglie nelle quali non avvengono i prelievi, e la quantità di acqua estratta dalla maglia centrale.

Nel caso in esame, si deve determinare il valore della trasmissività in un settore della pianura milanese in cui i prelievi sono di 10 l/s, e i valori di a, b, c, d , sono rispettivamente di 200, 180, 100 e 80 m, mentre x' e x'' misurano rispettivamente 500 e 320 m.

I valori di A, B, C, D sono di 120, 115, 110, 105 m s.l.m.

Soluzione

In questi casi è possibile applicare la relazione:

$$T = P / [(A-B)(a-b)/x' \ln(a/b) - (C-D)(c-d)/x'' \ln(c/d)]$$

Sostituendo ai simboli i valori noti si ottiene:

$$T = 0,01\text{m}^3/\text{s} / [(120-115)(200-180)/500 \cdot \ln(200/180) - (110-105)(100-80)/320 \ln(100/80)] = 0,01\text{m}^3/\text{s} / 0,4978\text{m} = 0,02 \text{ m}^2/\text{s}$$

ESERCIZIO 11

Nel corso di una prova di risalita di un pozzo in cui la portata a regime permanente è di $0,01 \text{ m}^3$, vengono misurati i seguenti valori di abbassamento (differenza fra il livello misurato e il livello statico):

$$T = 0,183 \cdot 0,01 / 0,0366 = 0,05 \text{ m}^2/\text{s}$$

tempo (secondi)	abbassamento (m)
10	5,00
100	4,94
1000	4,93
10000	4,90
100000	4,86

Calcolare la trasmissività dell'acquifero utilizzando il metodo di Jacob Cooper.

Soluzione

La media dell'abbassamento in un ciclo logaritmico ($t''/t'=10$) risulta prossima a $0,035 \text{ m}$. Introducendo questo valore nella relazione:

$$T = 0,183Q / (s'' - s')$$

Si ha

$$T = 0,183 \cdot 0,01 / 0,035 = 0,523 \text{ m}^2/\text{s}$$

ESERCIZIO 12

Nel corso di una prova di risalita di un pozzo in cui la portata a regime permanente è stata di $0,004 \text{ m}^3$, vengono misurati i seguenti valori di abbassamento (differenza fra il livello misurato e il livello statico):

$$T = 0,183 \cdot 0,01 / 0,0366 = 0,05 \text{ m}^2/\text{s}$$

tempo (secondi)	abbassamento (m)
10	3,00
100	2,84
1000	2,68
10000	2,52
100000	2,36

Calcolare la trasmissività dell'acquifero.

Soluzione

La media dell'abbassamento in un ciclo logaritmico ($t''/t'=10$) risulta di $0,16 \text{ m}$. Introducendo questo valore nella relazione:

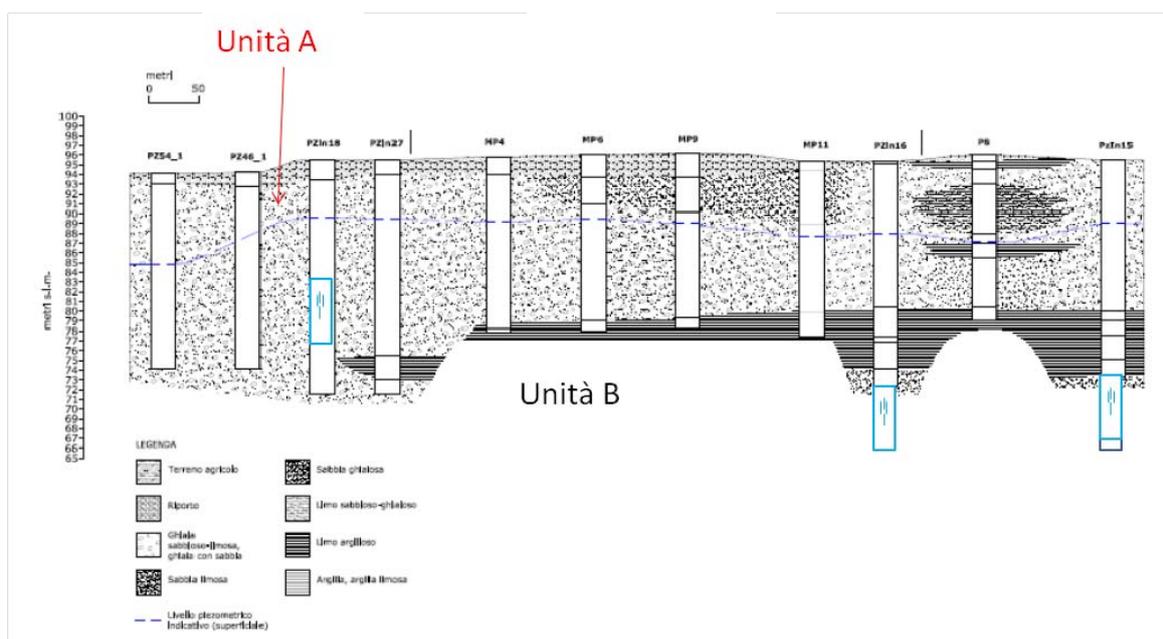
$$T = 0,183Q / (s'' - s')$$

Si ha

$$T = 0,183 \cdot 0,004 / 0,16 = 0,0458 \text{ m}^2/\text{s}$$

ESERCIZIO 13

Con riferimento alla sezione idrogeologica, indicare in quale tratto convenga procedere alla costruzione di un nuovo pozzo che conferisca 5 l/s, avendo constatato che le prove di pompaggio eseguite a distanza di tempi pari a un ciclo logaritmico rivelano differenze di livello piezometrico di circa 20 cm, con portate di 10 l/s nei depositi A, e di 15 cm con portate di 15 l/s nei depositi B, che risalgono al Pleistocene medio.



Soluzione

La collocazione del nuovo pozzo dipende dalla possibilità di estrarre acqua in misura sufficiente per un tempo indefinito senza incidere sulla depressione piezometrica in modo sensibile. Si deve quindi collocare il pozzo in un'area produttiva e fare in modo da non determinare un aggravio eccessivo (contenendo l'abbassamento in meno di un metro) della depressione già esistente intorno ai pozzi. Deve quindi essere calcolata la trasmissività dei depositi A e dei più antichi sedimenti B.

a) A

Si può direttamente impiegare la relazione :

$$T = 0,183Q/(s''-s')$$

che peraltro è valida solo per falde in pressione.

Quando si accertasse che l'abbassamento del livello nel pozzo è molto ridotto (nel caso in esame inferiore a un metro), la relazione rimane valida anche per falde libere.

Ipotizzando di trovarsi in questo caso favorevole, si determinerebbe una trasmissività di 0,009 m²/s.

b) B

dalla sezione si evince che le falde sono in pressione; si può quindi applicare direttamente la relazione suddetta, ottenendo una trasmissività di 0,018 m²/s.

ESERCIZIO 14

Dopo il calcolo della T, è necessario verificare la distanza minima fra i pozzi compatibile con l'estrazione dei 5 l/s e con la necessità di non determinare un aggravio della depressione piezometrica superiore al metro. Come si deve procedere?

Soluzione

Si deve a tal fine applicare la relazione di Dupuit per le falde in pressione nel caso dei depositi B e quella per le falde libere nel caso dei depositi A.

Dal momento che il raggio d'influenza non risulta noto (richiederebbe una prova di pompaggio con piezometri), non è possibile applicare la relazione:

$$H - y = Q \ln(R/r) / 2\pi T$$

che fornisce immediatamente l'abbassamento H-y. Può invece essere conosciuto rapidamente il valore di h (livello piezometrico nel pozzo) che si può misurare. Ipotizzando di avere effettuato questa misura già nel corso delle prove per il calcolo della T, ottenendo per le portate di 10 l/s nei pozzi A e 15 l/s in quelli B rispettivamente 1,20 e 1,00 m di abbassamento nel pozzo (H-h = 1,2 e 1 m).

Tenendo conto del fatto che il raggio dei pozzi in questo caso è di 30 cm, si risolve quindi in funzione di y-h a partire dalla relazione :

$$y - h = Q \ln(x/r) / 2\pi T$$

ottenendo per i pozzi i seguenti valori :

dist (m)	pozzi A	pozzi B
30	0,40	0,20
40	0,43	0,21
50	0,45	0,22

Considerando il fatto che per portate piccole la curva portate-abbassamenti abbia un andamento rettilineo, i valori di H-h per le portate di 5 l/s sarebbero rispettivamente la metà e un terzo di quelle rilevate nei pozzi dei due settori, quindi pari a 60 cm e a 33 cm rispettivamente. I valori corretti di H-y saranno quindi forniti dalla relazione $H - y = H - h - (y - h)$ e risulteranno :

dist (m)	pozzi A	pozzi B
30	0,20	0,13
40	0,17	0,12
50	0,15	0,11

Risulta abbastanza evidente che il posizionamento dei pozzi nell'unità B darebbe migliori risultati, ma che non si riscontrano problemi a collocare pozzi anche nei depositi dell'unità A distante oltre 30 m dai pozzi già esistenti.

ESERCIZIO 15

Con riferimento al medesimo problema precedentemente esposto, verificare la possibilità di operare con prelievi di 20 l/s.

Soluzione

In questo caso, i valori di abbassamento nel pozzo (H-h) risulterebbero almeno raddoppiati nel caso dell'unità A rispetto a quelli risultanti dal prelievo di 10l/s e almeno pari a 5/4 di quelli ottenuti con 15 l/s. Sarebbero quindi di 2,40 m e di 1,25 m rispettivamente.

I valori di y-h sarebbero aumentati nella medesima proporzione. Si avranno, quindi, dalla relazione $H-y = H-h - (y-h)$, i seguenti risultati:

dist. (m)	pz unità A	pz unità B
30	0,80	0,25
40	0,86	0,265
50	0,90	0,275

dist. (m)	pozzi A	pozzi B
30	1,60	1,00
40	1,54	0,985
50	1,50	0,975

Si osserva quindi che non è possibile utilizzare pozzi nei depositi A se non dove si dispone di grandi distanze dai pozzi già in funzione, mentre è ancora possibile sfruttare le adiacenze dei pozzi B.

Anche in questo caso conviene spostarsi ad almeno 100 m da essi, dove l'abbassamento, calcolato con il medesimo metodo, sarebbe di soli 25 cm.