

Esecuzione ed interpretazione delle prove d'acqua



17 Dicembre 2010



Le prove di pompaggio sono utilizzate per ricavare alcuni parametri idrogeologici fondamentali, come la **TRAMISSIVITA'** ed il **COEFFICIENTE DI IMMAGAZINAMENTO**, oltre che per chiarire la tipologia ed i limiti degli acquiferi.

Con i dati acquisiti durante una prova si possono definire:

- 1) gli abbassamenti e l'estensione areale in una falda emunta;
- 2) l'efficienza di un sistema di captazione (sistema acquifero-pozzo);
- 3) le direzioni di propagazione di certi inquinanti;

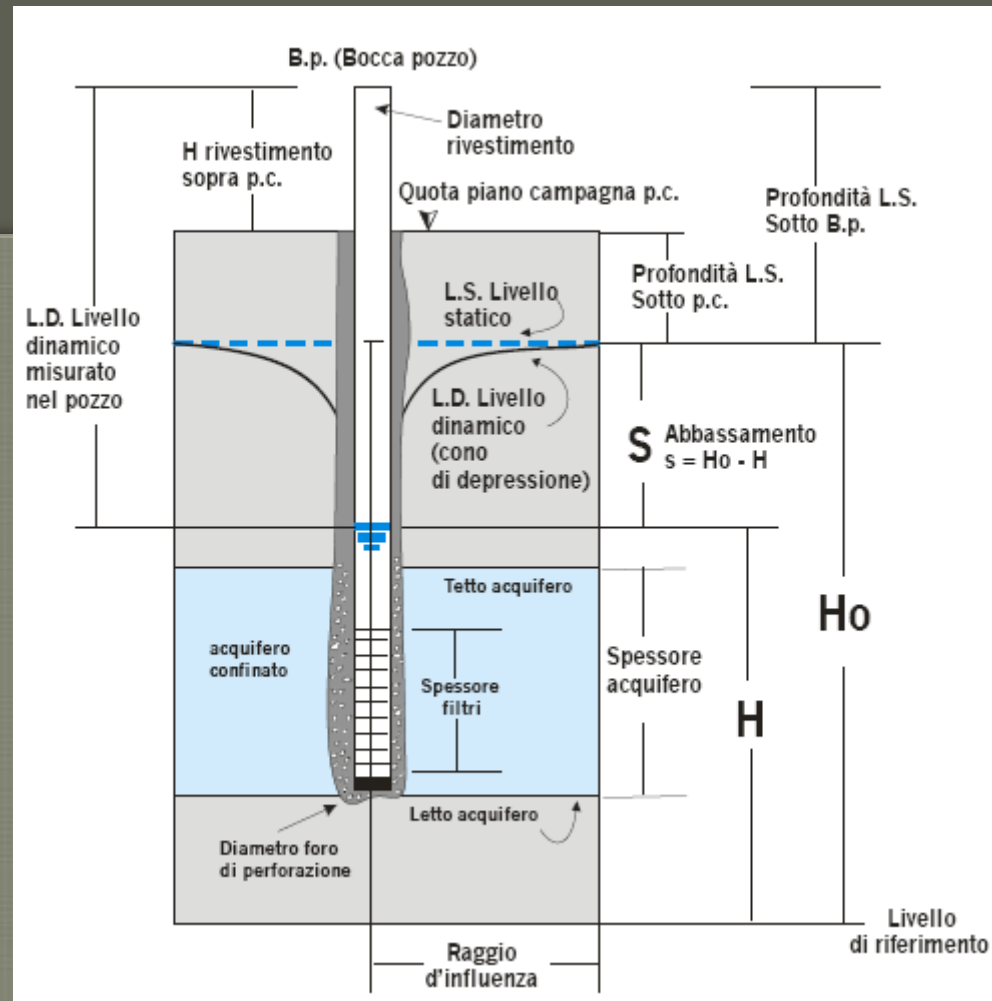
TEORIA

La procedura generale prevede il pompaggio di un volume d'acqua da un pozzo e la misura dei livelli dinamici della falda sia nel pozzo principale sia in uno o più piezometri circostanti.

PRATICA

La procedura generale prevede il pompaggio di un volume d'acqua da un pozzo e la misura dei livelli dinamici della falda nel pozzo MEDESIMO.

Grandezze che caratterizzano un pozzo durante una prova di portata

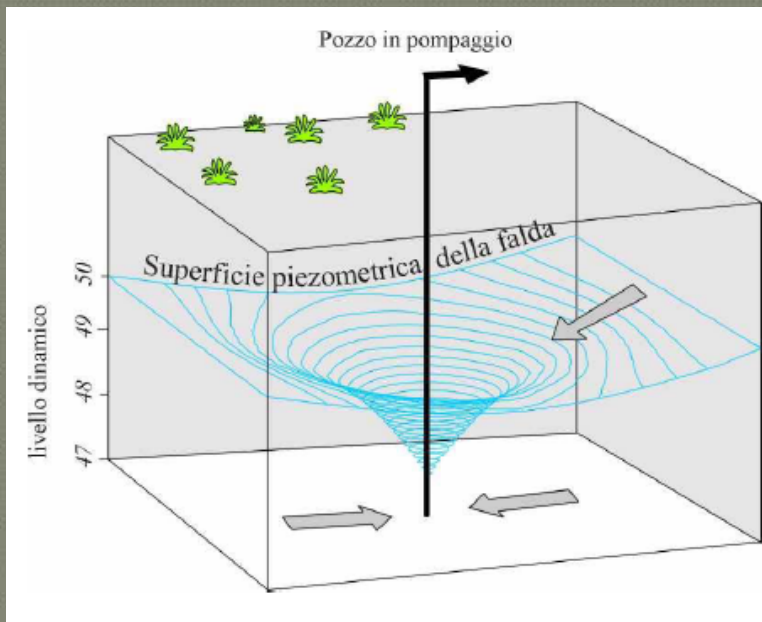


Le prove consistono nel sottoporre un pozzo ad emungimento, tramite una pompa sommersa, e nel misurare gli abbassamenti di falda provocati nello stesso pozzo e/o in piezometri vicini.

I dati ricavati durante le fasi di pompaggio permettono di costruire grafici di correlazione quali:

Tempo - Abbassamento
Portata - Abbassamento

Abbassamento Specifico - Portata
Abbassamento - Distanza



E' importante ricordare che la geometria della prova ed il metodo di interpretazione scelto, variano a seconda delle caratteristiche del pozzo e dell'acquifero (freatico, confinato, semiconfinato, vicino ad un limite alimentante od impermeabile, ecc.).

Nel caso in cui la prova è effettuata in un unico pozzo viene indicata come prova in pozzo, se invece le misure sono effettuate anche in uno più piezometri vicini si parla di prova su acquifero.

Prova in pozzo

Parametri ricavabili

Pompaggio Regime di equilibrio - Q specifica

Pompaggio Regime di non equilibrio - T , Q specifica

Risalita Regime di non equilibrio – T

Prova a gradini - T , Q specifica, Q critica, efficienza pozzo

Prova su acquifero (con uno o più piezometri)

Parametri ricavabili

Pompaggio Regime di equilibrio - T , Q specifica, **Raggio di influenza**

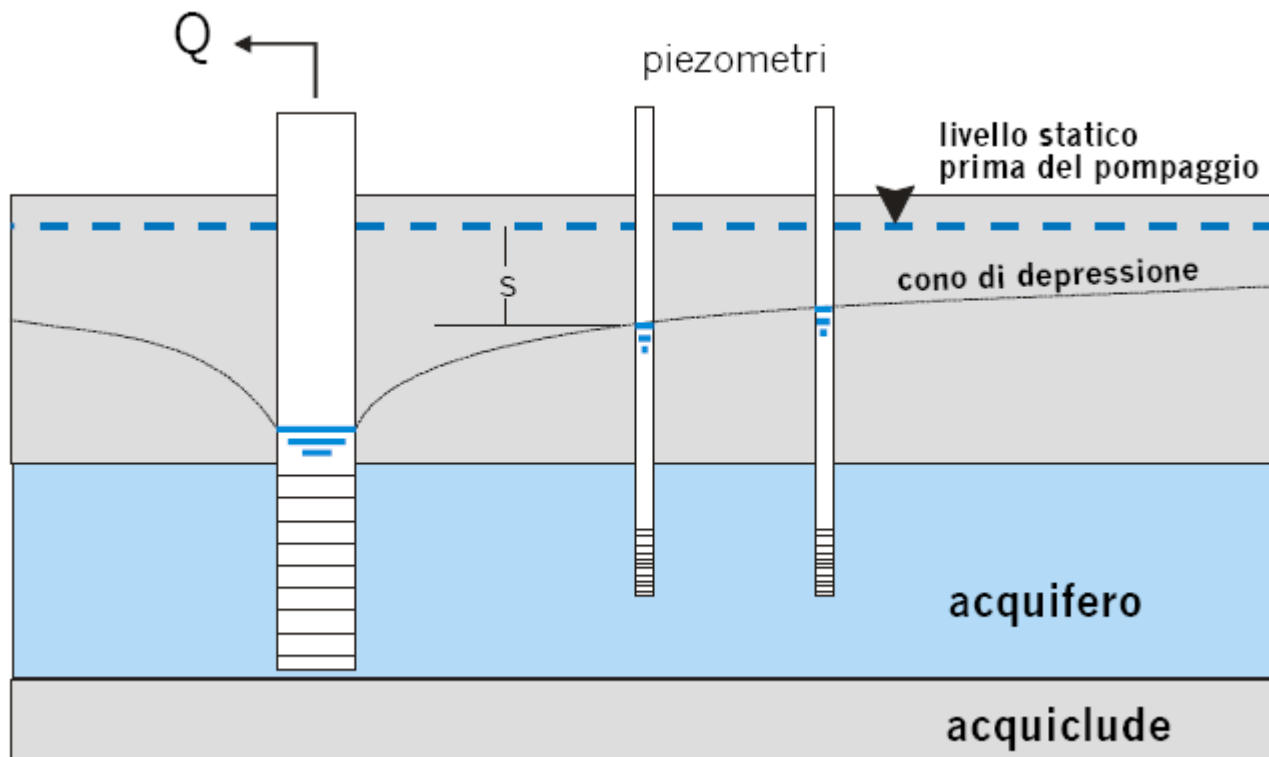
Pompaggio Regime di non equilibrio - T , Q specifica, S , **Raggio di influenza**

Risalita Regime di non equilibrio - T , **Raggio di influenza**

Prova a gradini - T , Q specifica, efficienza pozzo, S , **Raggio di influenza**

Regime di equilibrio = Portata Costante

Regime di non equilibrio = Portata Variabile



Caso teorico

Lo scopo dei piezometri è misurare il progressivo abbassamento della falda distante dal pozzo in pompaggio, di ricavare il coefficiente d'immagazzinamento (S) oltre che il raggio d'azione. L'utilità dei piezometri si rivela nel fatto che gli abbassamenti non sono influenzati dalle perdite di carico, presenti invece nel pozzo. Con le sole misure nel pozzo in pompaggio non è possibile ricavare un valore attendibile di S .

Caso Reale

Prima di iniziare una prova è necessario ottenere quanti più dati possibile effettuando un sopralluogo tecnico utile per acquisire:

- 1) informazioni stratigrafiche del sito;
- 2) ricostruzione geometrica dell'acquifero;
- 3) superficie piezometrica;
- 4) punti d'acqua nelle vicinanze e loro regime di funzionamento.

Per quanto riguarda il pozzo i parametri fondamentali da analizzare sono:

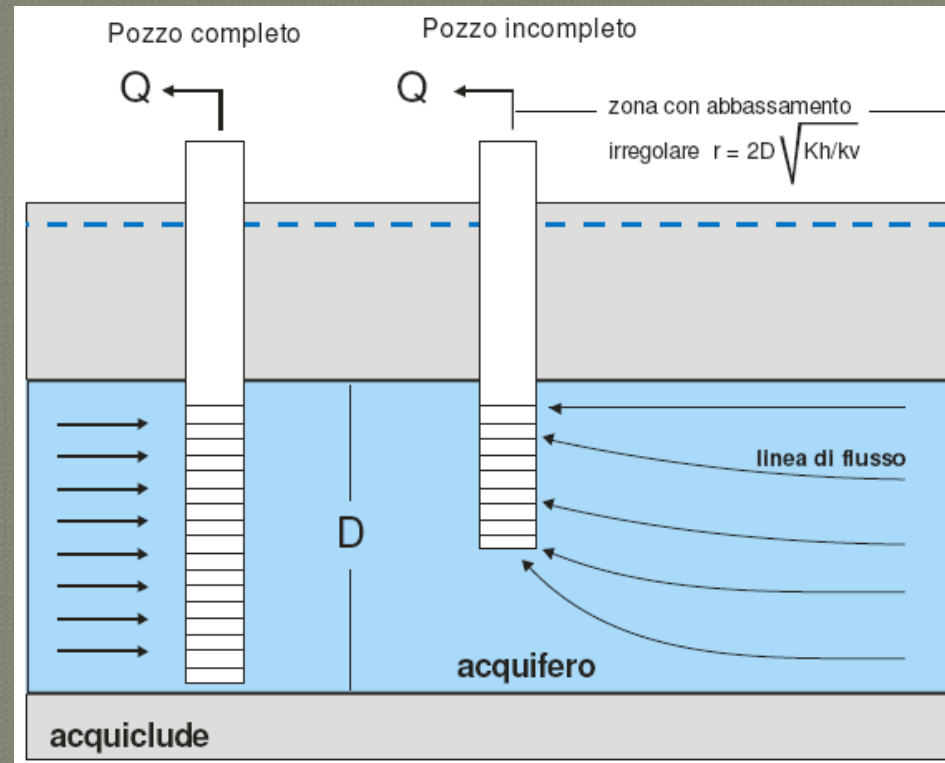
- 1) diametro;
- 2) capacità della pompa;
- 3) profondità, lunghezza e tipo di filtro;
- 4) profondità, lunghezza e tipo di dreno;
- 5) durata del tempo di pompaggio;
- 6) senilità del pozzo.



Flusso sotterraneo verso il pozzo (Pozzo completo – Pozzo incompleto)

Quando il flusso idrico si muove in modo laminare, le linee di corrente si spostano lentamente lungo traiettorie pressoché rettilinee, senza particolari variazioni, dalle zone di ricarica a quelle di recapito. Questo è quello che si verifica in un acquifero confinato ideale, in cui domina la conducibilità idraulica orizzontale ($K_h \gg K_v$).

Un pozzo in pompaggio che filtra solo una parte dell'acquifero, meno del 85 % secondo Todd, è un **pozzo incompleto** e produce una distorsione delle linee di corrente che vengono deviate verso l'alto.



RICHIESTA DI NUOVA CONCESSIONE PER PICCOLE DERIVAZIONI DI ACQUA PUBBLICA AI SENSI DELL'ART. 7 DEL R.D. 11.12.33 N. 1775 IN OTTEMPERANZA ALL'ART. 144 c.1 DEL D.Lgs 152/06 Parte Terza ED ALL' ART. 17 DEL R.D. 1775/33.

DOCUMENTAZIONE DA PRESENTARE

Relazione Idrogeologica che deve contenere:

Profondità e diametro del pozzo, portata emungibile, livelli statici e dinamici della falda, potenza e caratteristiche dell'elettropompa sommersa ed indicazione della profondità alla quale è ubicata, n.1 prova di portata con tracciamento della configurazione geometrica del conoide di depressione relativamente alla portata di massimo emungimento (tale prova non deve essere stata effettuata anteriormente a 2 anni della presentazione della domanda);

- Curve di risalita della falda; verifica dell'eventuale presenza di derivazione di acqua dalla falda entro il raggio di influenza del conoide di depressione di massimo raggio.

La prova deve essere eseguita mediante prove a scalini.

Devono inoltre essere riportati:

- La curva abbassamenti (m) in funzione del tempo (h);
- La curva abbassamenti (m) in funzione della portata (m³/s);
- L'individuazione della portata critica Q_c;
- La curva abbassamenti specifici (m/m³s) in funzione della portata (m³/s);
- La curva abbassamenti (m) in funzione della portata specifica (m³/s);
- Dovranno inoltre essere calcolati i coefficienti B, C della relazione di Jacob: $A/Q=B+C*Q$ essendo BQ la perdita di carico lineare nell'acquifero e CQ^2 la perdita di carico quadratica del pozzo;
- Il raggio di influenza del pozzo in funzione dell'emungimento richiesto;
- Coordinate UTM fuso 33 ED50 che identifichino l'ubicazione del pozzo.

PROVA A GRADINI – CASO POZZO SENZA PIEZOMETRI

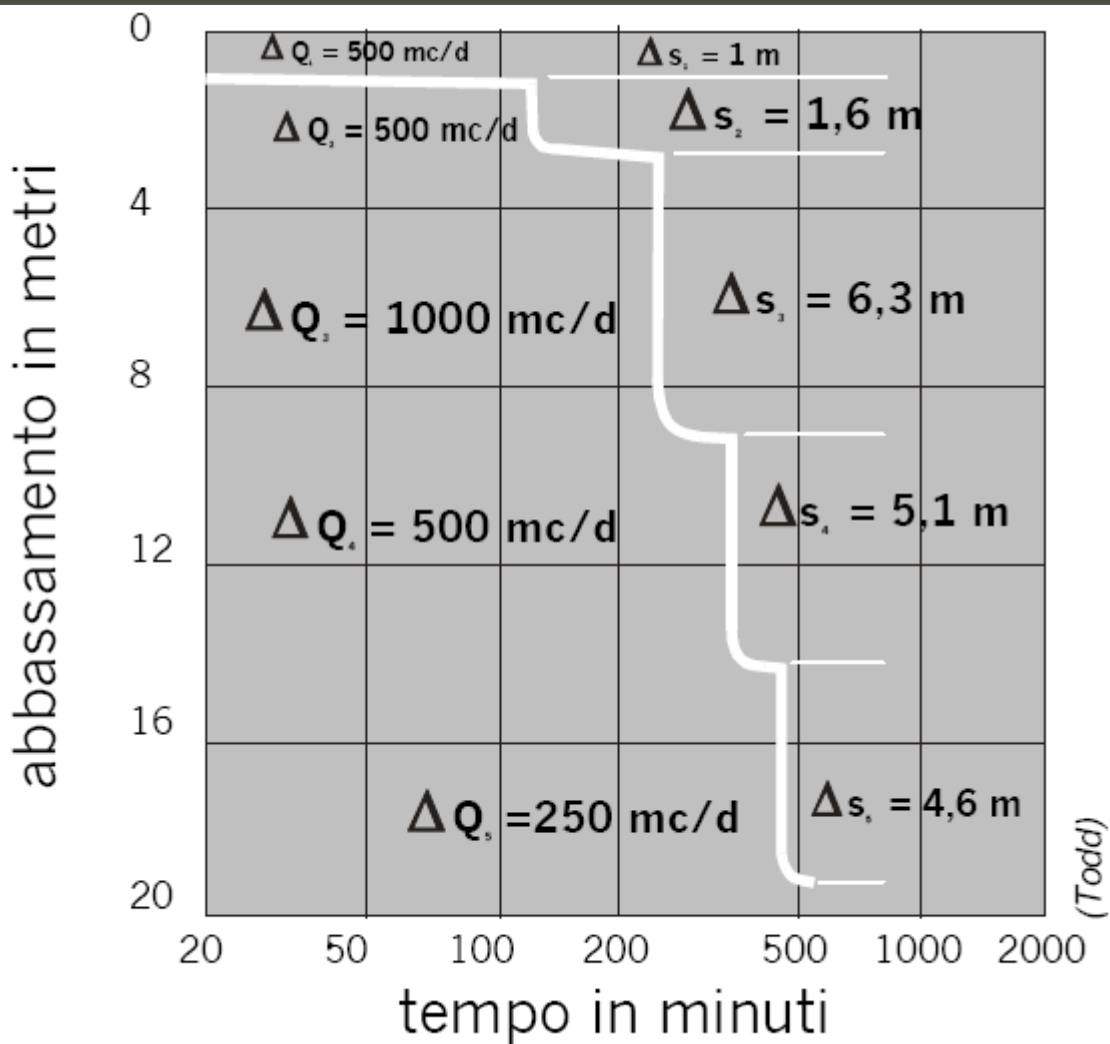
Lo scopo di una prova di portata è quello di valutare le caratteristiche idrauliche di un pozzo al fine di ricavare la portata ottimale di emungimento. In particolare, tale prova permette di determinare la relazione che lega la portata di acqua estratta (Q) all'abbassamento prodotto (Δ) dal prelievo. La relazione fra i due parametri è espressa dalla formula di Jacob, per la quale il delta dell'abbassamento nel pozzo è dato dalla somma di due componenti:

- 1) componente lineare: riferibile alla Q estratta
- 2) componente quadratica: riferibile a quello che avviene nei filtri, cioè alle modalità costruttive.

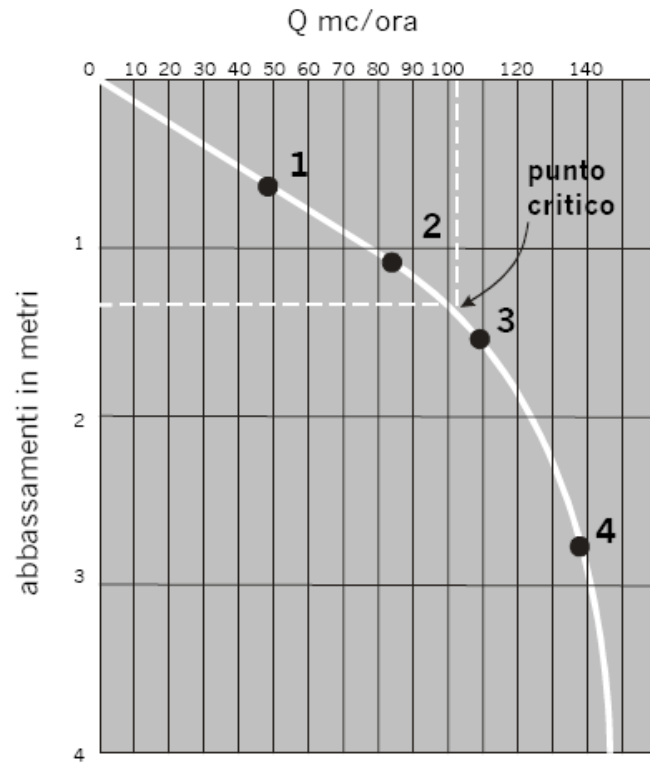
La prova individua un campo di portate compatibili con l'acquifero dal quale si vuole estrarre acqua, indicando per il **sistema acquifero-pozzo**, una soglia critica al di sopra della quale la quantità di acqua estratta del pozzo non verrà riequilibrata dalla ricarica naturale dell'acquifero. Tale portata nota come portata critica, indicherà il valore da non raggiungere in fase di esercizio per evitare così di non depauperare la risorsa idrica.

FREQUENZA DI MISURA DEL LIVELLO PIEZOMETRICO CONSIGLIATA			
POZZO ATTIVO		PUNTI DI OSSERVAZIONE	
TEMPO DI PROVA	INTERVALLO DI MISURA	TEMPO DI PROVA	INTERVALLO DI MISURA
<i>minuti</i>	<i>minuti</i>	<i>minuti</i>	<i>minuti</i>
0-2	0,5	0-2	0,25
2-10	1	2-5	0,50
10-20	2	5-10	1
20-40	5	10-20	2
40-60	10	20-40	5
60-180	15	40-60	10
180-300	30	60-180	15
300-480	60	180-300	30
Oltre i 480	120	300-720	60
		720-2880	180
		Oltre 2880	480

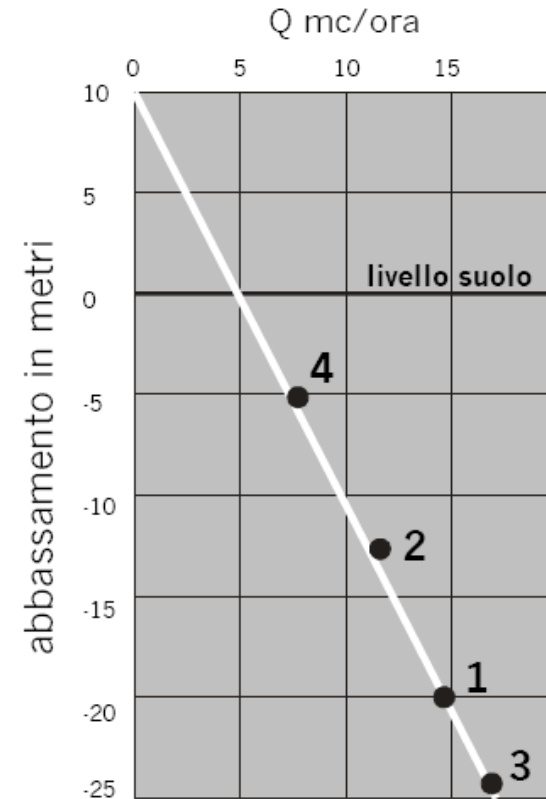
Durante ogni gradino di portata vengono effettuate misure della variazione del livello dell'acqua nel pozzo sino al raggiungimento di un livello "stabile" (*livello dinamico del gradino di portata*); tale condizione può essere raggiunta in tempi differenti per ogni diverso gradino di portata. Raggiunto il livello stabile relativo al gradino di portata si procede ad emungere la portata relativa al successivo gradino. Al termine dell'ultimo gradino, si interrompe il pompaggio e si registrano i livelli piezometrici di recupero fino al recupero piezometrico.



Curva caratteristica di un pozzo in falda freatica (Q variabile)



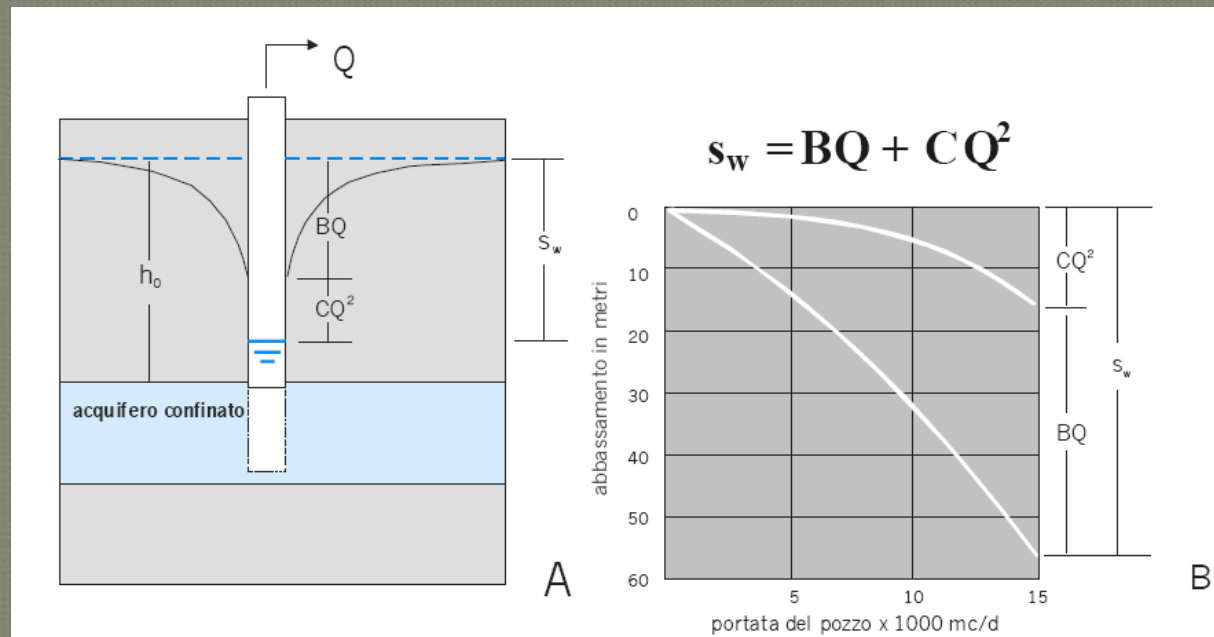
Curva caratteristica di un pozzo in falda artesianica (Q variabile)



L'elaborazione della curva caratteristica del pozzo (curva portata-abbassamenti) consente di stimare la **portata critica Q_c** di un sistema **acquifero-pozzo** (determinata in ascissa alla coordinata del punto di massima curvatura) oltre la quale gli abbassamenti divengono elevati riducendo drasticamente l'efficienze del sistema pozzo. La **portata massima di esercizio non dovrà superare il 90 % della Q_c**

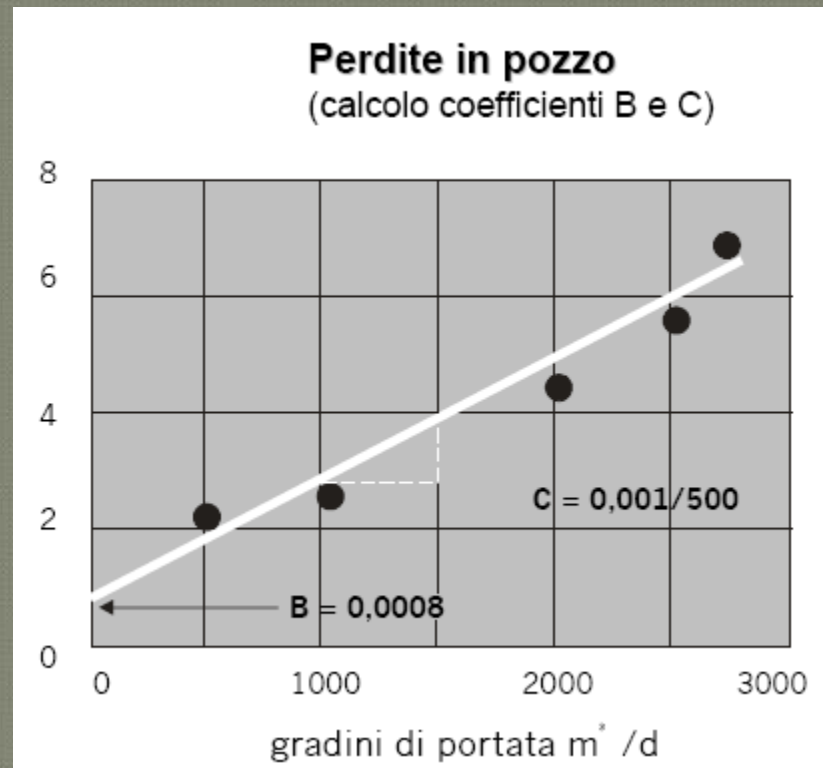
La curva caratteristica di un pozzo fornisce le seguenti informazioni:

- 1) portata ottimale;
- 2) tipo di acquifero captato;
- 3) specifiche tecniche della pompa da installare;
- 4) stato del pozzo;
- 5) deterioramento del pozzo nel tempo.



Dal grafico abbassamenti specifici - portata si possono determinare i valori C e B della relazione di Jacob: $S_w = BQ + CQ^2$ dove: S_w è l'abbassamento totale Q è la portata
B è il coefficiente della perdita di carico lineare
C è il coefficiente della perdita di carico quadratica del pozzo

La perdita di carico lineare BQ è funzione dei parametri idrodinamici dell'acquifero in prossimità del pozzo ed è dovuta al deflusso laminare dell'acqua, mentre la perdita di carico quadratica CQ^2 dipende dalle modalità costruttive e dall'attrezzatura tecnica del pozzo ed è dovuta all'affluenza in regime turbolento dell'acqua attraverso i filtri, il dreno ecc.



Considerando l'equazione di Jacob modificata $s/Q = B + CQ$ dove s/Q è l'abbassamento specifico dal grafico abbassamenti specifici - portata si ottiene:

il **coefficiente B** come dall'intersezione della retta interpolata con l'asse degli abbassamenti specifici

il **coefficiente C** corrisponde alla pendenza della retta.

Valutazione delle condizioni del pozzo in base al **coefficiente C**

C < 0,5 Ben progettato e sviluppato

C 0,5 – 1 Leggero intasamento od invecchiamento

C 1 – 4 Grave intasamento od invecchiamento

C > 4 Difficile da recuperare ai valori iniziali

Per valutare la validità delle scelte tecniche adottate nella realizzazione del pozzo (filtri coassiali ed inghiaimento), si è sviluppato un calcolo per definire il **grado di efficienza del pozzo** alle diverse portate di esercizio. La relazione di riferimento è la seguente:

$$WE = \frac{BQ}{(BQ+CQ^2)} \times 100$$

con:

WE = grado di efficienza del pozzo espresso in %

BQ = termine della relazione di Jacob proporzionale alle perdite di carico lineari del pozzo

CQ² = termine della relazione di Jacob proporzionale alle perdite di carico quadratiche del pozzo

Portata (l/s)	BQ	CQ ²	WE (%)
1	1,51	0,09	94,67
2	3,02	0,34	89,88
3	4,53	0,77	85,55
4	6,04	1,36	81,62

Calcolo dell'Indice di Turbolenza (T.I.)

La valutazione del **T.I.** permette di valutare se esiste linearità e coerenza tra velocità di pompaggio e ricarica dell'acquifero. L'Indice di Turbolenza è valutabile attraverso la relazione proposta da Gorla (2003):

$$T.I. = \frac{100 CQ^2}{s}$$

s

(s abbassamento)

- T.I. 30% - 65 % indica un pozzo non idoneo
- T.I. < 30% flusso turbolento ridotto
- T.I. > 60% flusso turbolento elevato

Stima della Trasmissività T - Metodo semplificato Thiem-Dupuit

T = esprime la “facilità” di trasferimento del flusso idrico, cioè la portata della falda per unità di lunghezza e per gradiente idraulico unitario

Per la stima della T è possibile utilizzare i dati ricavati dalla prova a gradini, inserendoli nella relazione:

$$T = a \frac{Q}{s}$$

a = costante, il cui valore è compreso tra 1 (acquiferi non confinati) e 1,22 (acquiferi semi-confinati e confinati)

Q = portata del pozzo in pompaggio (m³/s)

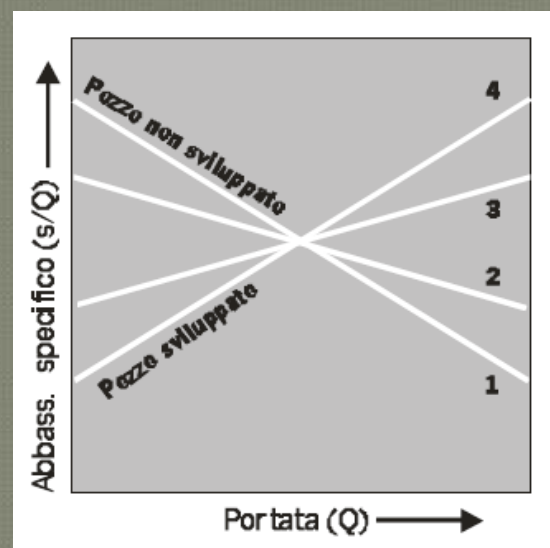
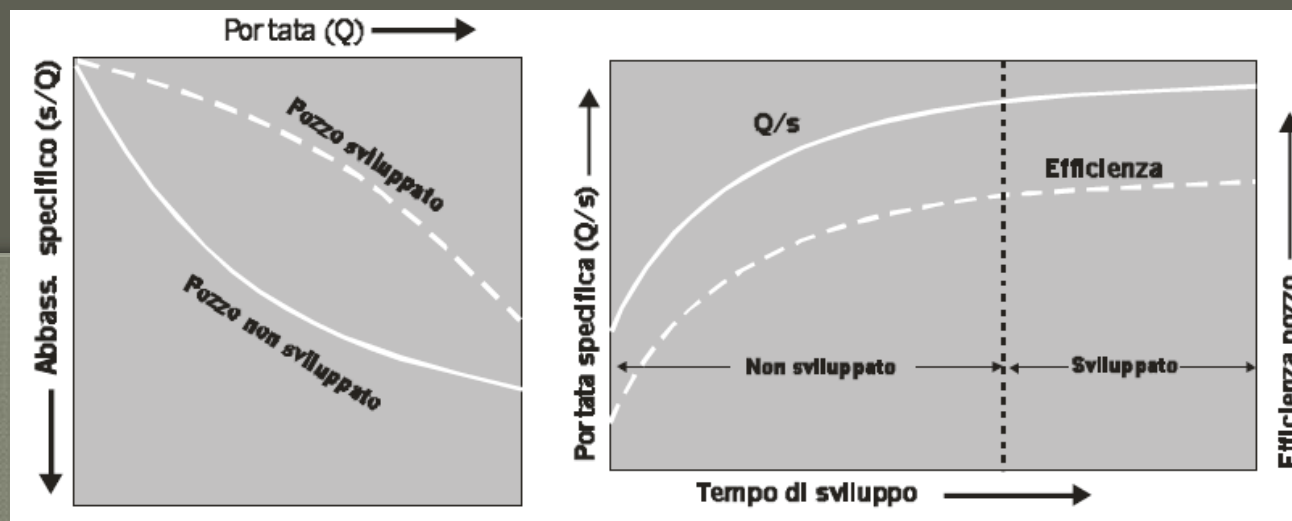
s = abbassamento in pozzo (m)

Questa relazione può essere applicata sia in caso di falde confinate che libere.

Per una stima quanto più possibilmente appropriata nel calcolo si dovrà far uso della coppia di valori di Q e s relativa al primo “step” di prova, corrispondente alla portata più bassa, al fine di poter considerare dominanti, entro il pozzo, le condizioni di flusso laminare.

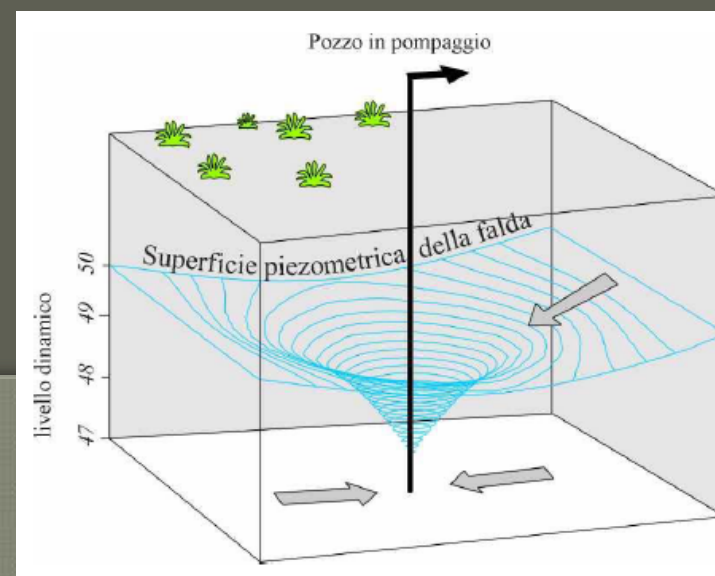
Un pozzo risulta correttamente sviluppato quando:

- 1) i valori di s/Q crescono linearmente con la portata
- 2) la curva sperimentale $s/Q - Q$ non ha una concavità verso l'alto
- 3) la portata specifica ha un andamento asintotico rispetto al tempo di sviluppo



STIMA DEL RAGGIO D'INFLUENZA DEL POZZO

L'instaurarsi di un pompaggio in falda comporta una modifica locale dell'assetto idrodinamico dell'acquifero. In condizioni di riferimento (a pozzo fermo) il moto dell'acqua nella falda avviene secondo il naturale gradiente idraulico J e le linee di flusso e quelle equipotenziali (che rappresentano rispettivamente la direzione del moto e il carico piezometrico) in condizioni di moto laminare in un mezzo omogeneo e isotropo, sono due insiemi di rette parallele che si intersecano ortogonalmente. Il pompaggio, d'altro canto, considerato a sé stante, genera una serie di curve equipotenziali corrispondenti a cerchi con centro nel pozzo idrico e linee di flusso identificate con raggi che hanno origine anch'essi dal pozzo. La combinazione di questi due sistemi di flusso in seno all'acquifero dà luogo alle effettive condizioni del moto in una falda dotata di gradiente idraulico J e soggetta a pompaggio. Si viene quindi a determinare una **“zona di influenza”** del pozzo cioè un'area dove l'acqua contenuta nello strato saturo del terreno viene via via richiamata verso il pozzo stesso. Per studiare il fenomeno in termini applicativi è assolutamente necessario poter disporre oltre che di un'opera di emungimento anche di almeno un piezometro di verifica dello svasamento del cono d'influenza generato dal pompaggio.



In termini analitici, quindi è possibile attraverso una relazione quantitativa che lega alcuni parametri fondamentali dell'acquifero, definire una stima assolutamente indicativa del raggio d'influenza del pozzo. Per procedere in tal senso occorre essere in possesso dei parametri che caratterizzano il moto nell'acquifero, in particolare bisogna conoscere la portata emunta dal pozzo (**Q**), la quota del tetto della falda in condizioni di flusso indisturbato nel punto ove insiste il pozzo (**H**), il raggio del pozzo (**r**), il coefficiente di permeabilità (**K**).

Inoltre devono essere soddisfatte alcune condizioni che consentono di approssimare il problema analitico, consentendone una soluzione relativamente semplice:

- 1) la conducibilità idraulica entro il cono di depressione è uniforme
- 2) il terreno non è stratificato, cioè la conducibilità orizzontale è uguale a quella verticale
- 3) lo spessore della falda è costante
- 4) il pozzo ha un'efficienza idraulica del 100%
- 5) il pozzo è completo, cioè filtra tutta la falda
- 6) la superficie d'acqua è orizzontale prima del pompaggio
- 7) il flusso è laminare
- 8) il cono di depressione ha raggiunto lo stato di equilibrio

Q portata del pozzo (espressa in m³/s)

h₀ livello statico nel pozzo (espresso in metri)

h₁ livello dinamico nel pozzo (espresso in metri)

K coefficiente di permeabilità (m/s)

R raggio d'influenza del pozzo (espresso in metri)

r raggio del pozzo (espresso in metri)

$$h_0^2 - h_1^2 = \frac{Q}{\pi \times K} \times \ln \frac{R}{r}$$

Raggio di influenza del pozzo

Valutazione attraverso l'esecuzione di una prova supplementare a portata costante applicando il metodo di Jacob Cooper

L'abbassamento prodotto in un punto qualsiasi dello spazio intorno al punto di prelievo di portata Q è dato dalla relazione:

$$\Delta = \frac{0.183 Q}{T} \log t + \log \frac{2.25 T}{x^2 S}$$

Nel nostro caso reale in cui non possediamo un piezometro per la determinazione del cono di emungimento, possiamo ragionare imponendo che alla distanza x che è la nostra incognita il Δ sia uguale a 0 assumendo quindi anche che il t della nostra equazione sia coincidente ad un Δ uguale a 0.

Così procedendo posso estrarre dalla relazione il fattore sotto logaritmo che lega la T , S e la nostra incognita x . Per ottenere $\Delta = 0$ gli argomenti dei log devono essere uguali ad 1, da cui deriva:

$$\frac{2.25 T t}{x^2 S} = 1$$

$S = 10^{-3} - 10^{-6}$ per acquiferi confinati $S = 10^{-2}$ per acquiferi liberi

T = Trasmissività (Metodo semplificato Thiem-Dupuit)

t = tempo di pompaggio definito

x = distanza dal pozzo con $\Delta = 0$ (fine del raggio di influenza)

Riepilogo per l'esecuzione di una corretta prova in pozzo

- 1) Il diametro del pozzo deve essere tale da alloggiare una pompa di portata sufficiente a provocare un abbassamento di almeno qualche decina di cm
- 2) Nella colonna di rivestimento la parte terminale di 2-3 m deve essere cieca e tappata al fondo, eventualmente intestata in un livello fine
- 3) Tra pompa e rivestimento deve rimanere uno spazio libero di almeno 3 cm
- 4) La pompa va calata ad una profondità tale da non rimanere asciutta durante la prova, non essere in corrispondenza del filtro e più in basso possibile (ad esempio davanti al tratto cieco di fondo)
- 5) L'acquifero deve essere filtrato almeno al 70-80 %
- 6) In acquiferi a grana fine (sabbia) o mista (sabbia – ghiaia) va usato un dreno in ghiaia alle spalle del filtro
- 7) Il filtro deve avere una luce tale da mantenere una velocità di ingresso dell'acqua inferiore a 3 cm/sec, ed avere una permeabilità maggiore dell'acquifero (scelto quindi in base alla sua granulometria)
- 8) Nella colonna va inserito un tubo in plastica ad una profondità di poco superiore a quella della pompa e di diametro interno di almeno 2,5 cm per alloggiare le sonde e/o il freatometro
- 9) Va predisposta una tubatura per allontanare l'acqua pompata evitando che si infiltri nel terreno vicino al pozzo di prova
- 10) La pompa deve essere dotata in testa di un sistema di misurazione e regolazione della portata con sensibilità fino al litro/secondo
- 11) La prova a gradini deve avere una durata di almeno 6-8 ore ed al termine vanno misurati i livelli in risalita nel pozzo fino al raggiungimento del livello naturale precedente la prova (qualche ora)





