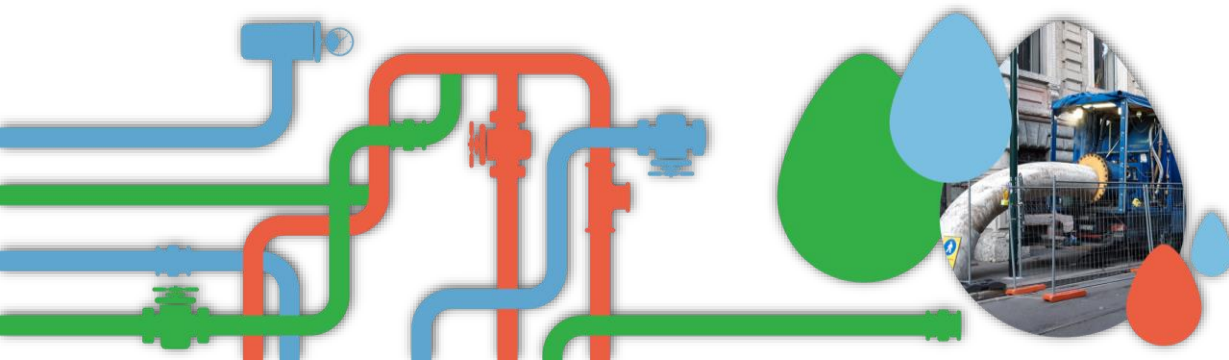


GIORNATA DI FORMAZIONE
12 Maggio 2022



MANUTENZIONI DI CONDOTTE INTERRATE E POZZI D'ACQUA:

**Soluzioni di intervento a basso impatto ambientale
per il mantenimento della piena efficienza idraulica e strutturale**
Quadro normativo, progettazione, case history, vantaggi



**La perdita di efficienza delle opere di
captazione: l'importanza del
monitoraggio**

Prof. Giovanni Pietro Beretta

La perdita di efficienza delle opere di captazione: l'importanza del monitoraggio

Sommario

Elementi costitutivi di un pozzo

Filtri e dreno

Prove di portata

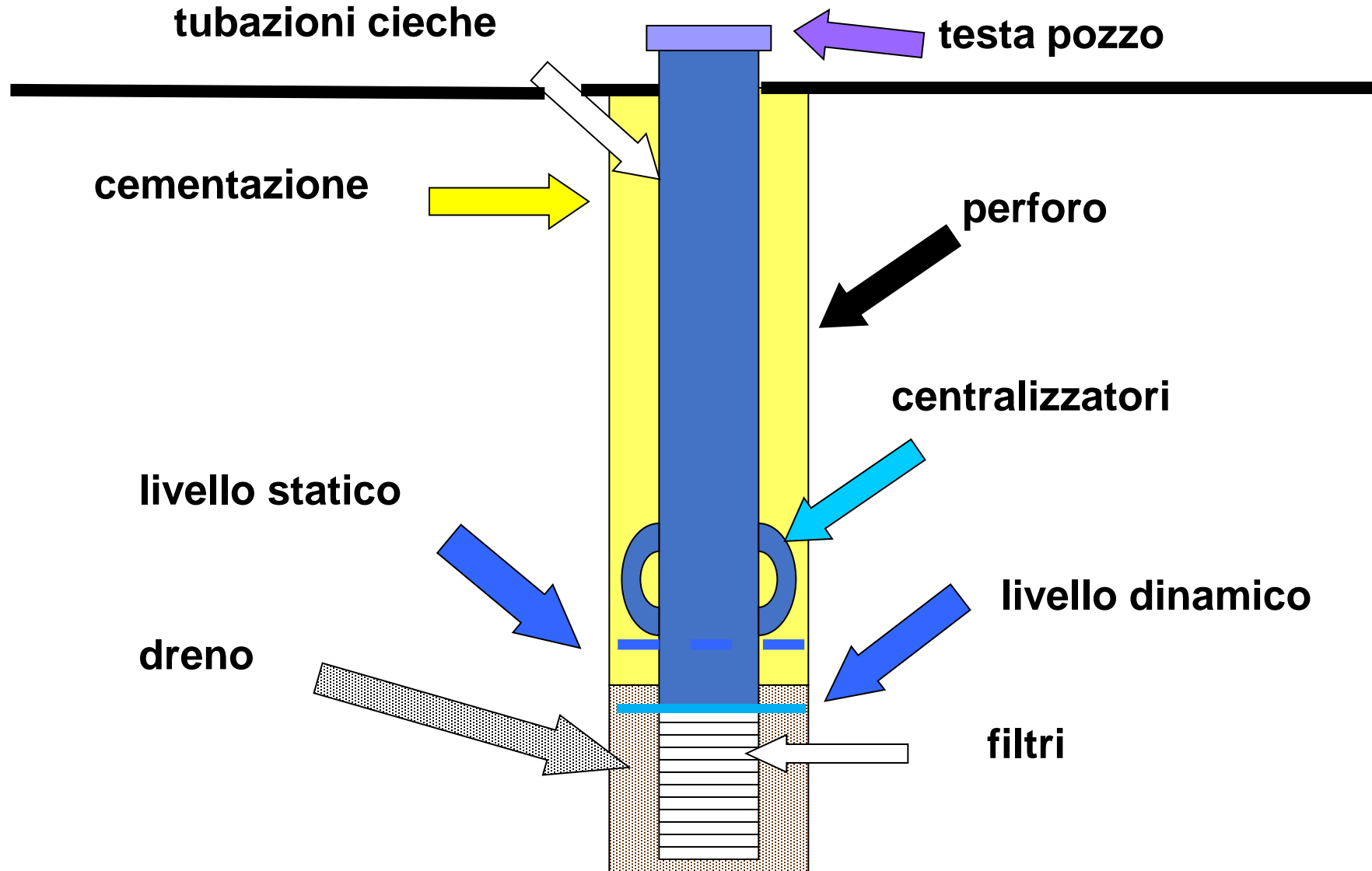
Tenuta cementazioni e isolamento falde

Monitoraggio efficienza pozzo

Cause perdita efficienza pozzo

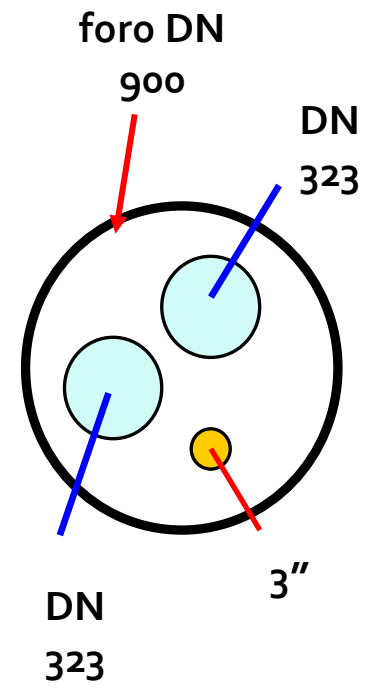
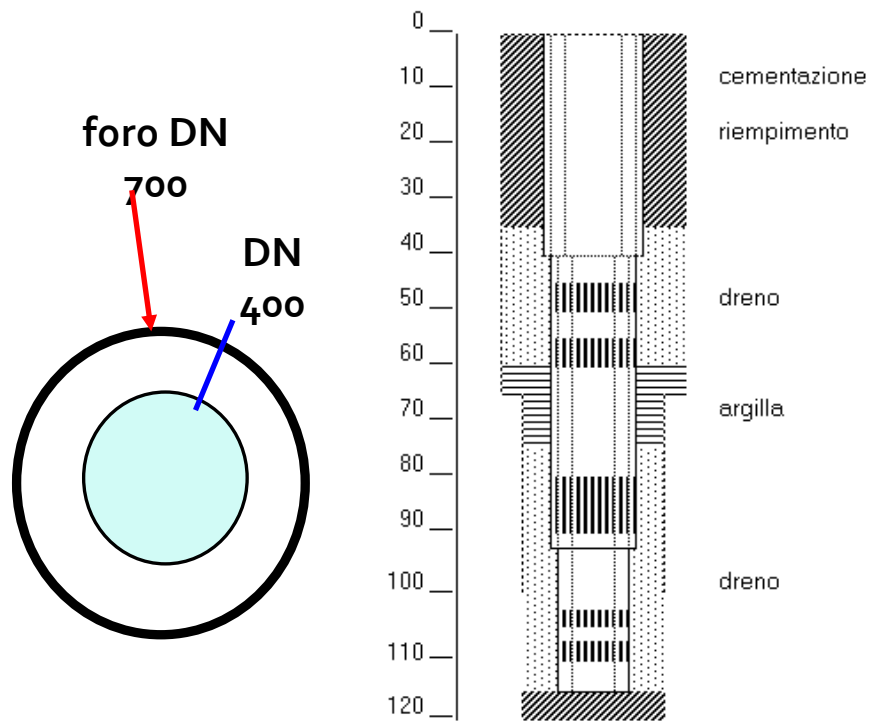
Trattamenti per ripristino efficienza pozzo

Principali elementi costitutivi di un pozzo per acqua

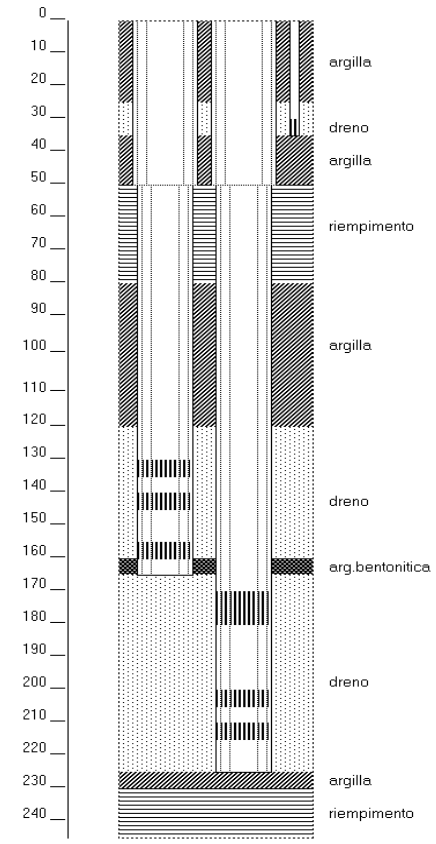


Struttura dei pozzi per acqua

colonna unica



multicolonna (a grappolo, cluster)



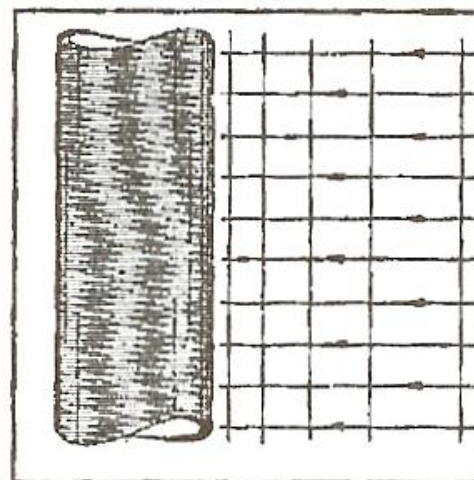
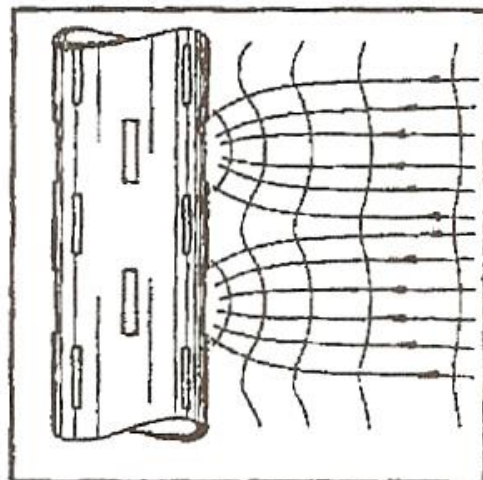
Tipologie di filtri e perdite di carico



A ponte

A spirale

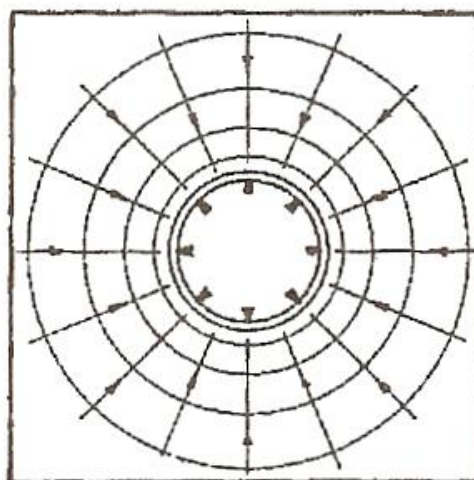
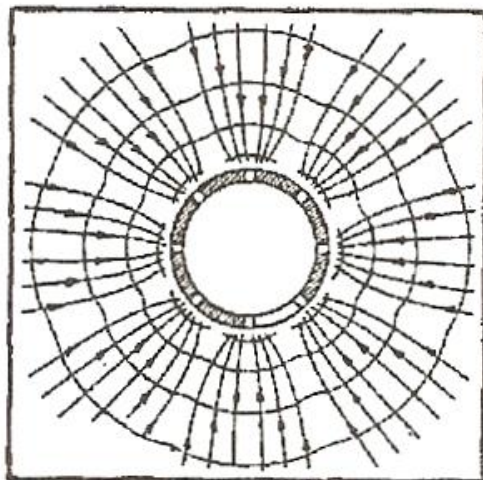
Sezione



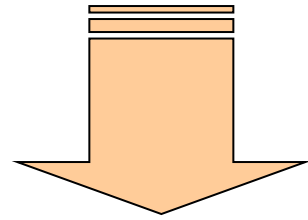
a

b

Pianta

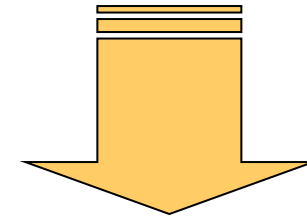


Sistema di filtri con o senza dreno



Sviluppo naturale

Filtri in materiali geologici naturali (sabbie e ghiaie) già presenti nel sottosuolo



Drenaggio con materiale

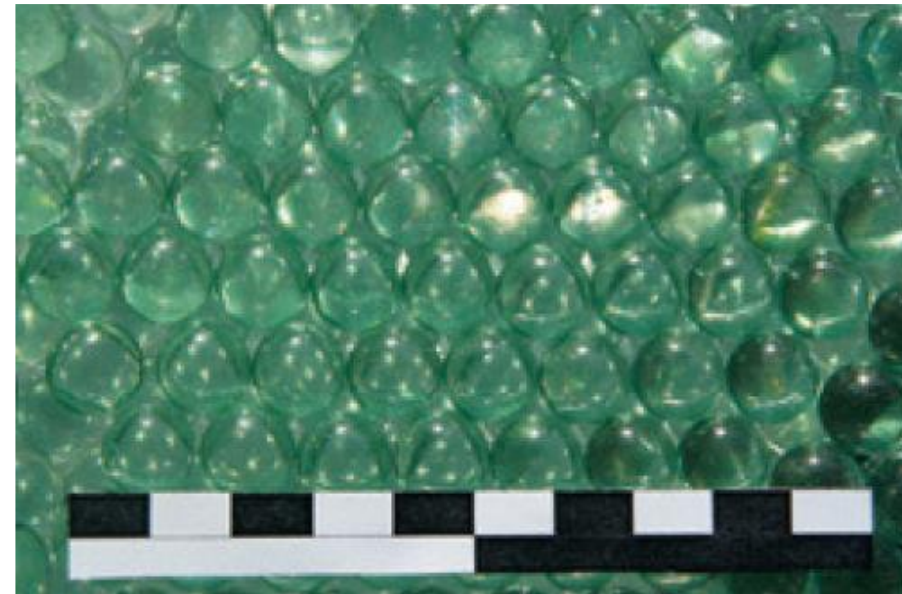
Filtri in ghiaie e sabbie lavate e gradate posizionate all'esterno dei filtri



DRENO TRADIZIONALE IN GHIAIETTO E DRENO IN SFERE DI VETRO COMPATTATE (Herrmann F., Stiegler X., 2008)



ghiaietto

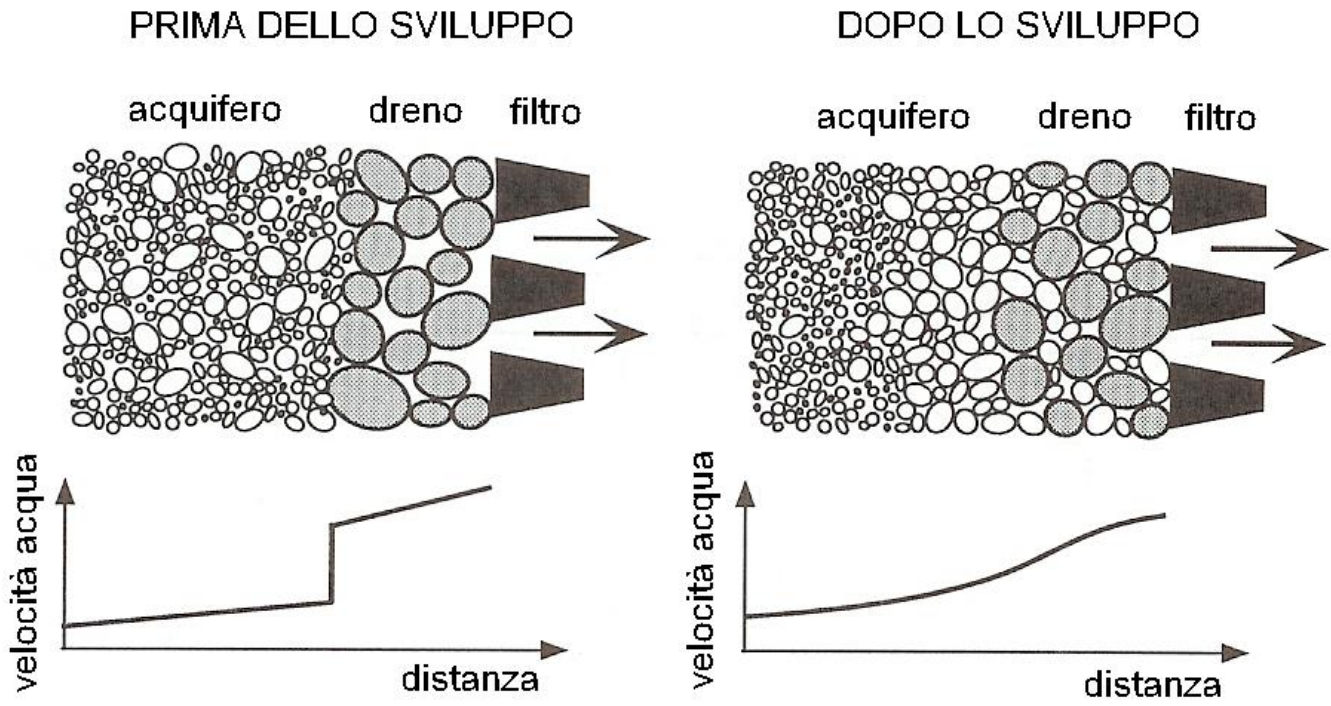


sfere di vetro

Velocità delle acque sotterranee in vicinanza dei filtri di un pozzo

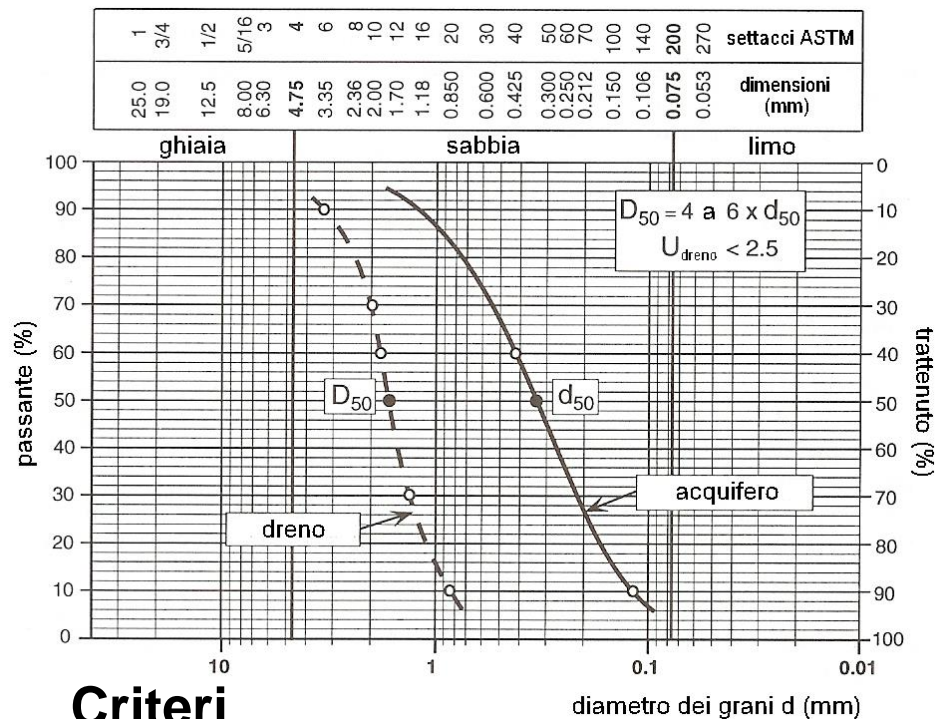


Spessore acquifero (m)	Lunghezza filtri (%)
7.5	70
7.5-15	75
>15	80



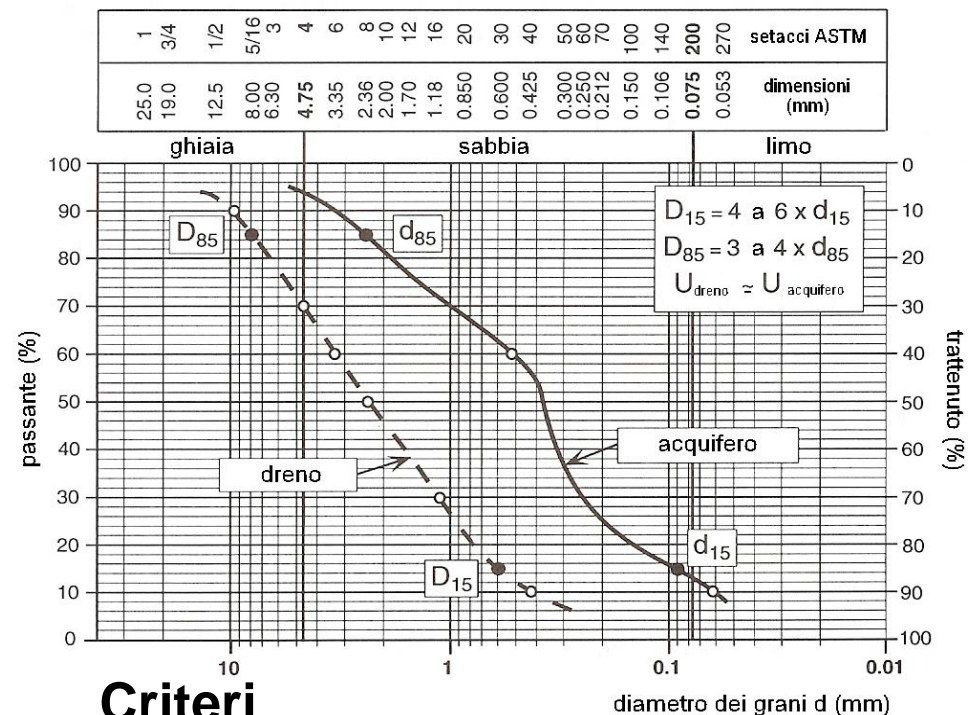
Dimensionamento granulometria del dreno

Dreno uniforme



- D_{50} 4-6 volte d_{50}
- $U_{\text{dreno}} < 2.5$

Dreno gradato



- $D_{15} \geq 4-6 d_{15}$
- $D_{85} \leq 4 d_{85}$
- $U_{\text{dreno}} \approx U_{\text{acquifero}}$

Prove di pompaggio a portata variabile



La prova ha la seguente finalità:

1. Definire la **curva caratteristica del pozzo**
2. Stabilire il **tipo di falda captata**
3. Determinare la **portata critica**
4. Individuare l'**efficienza della captazione**

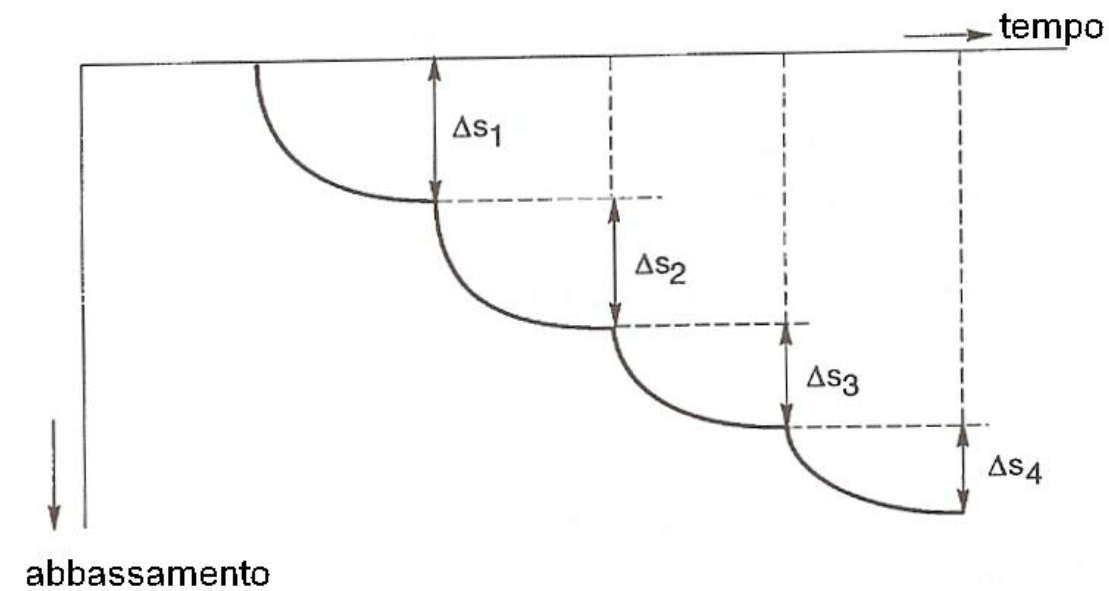
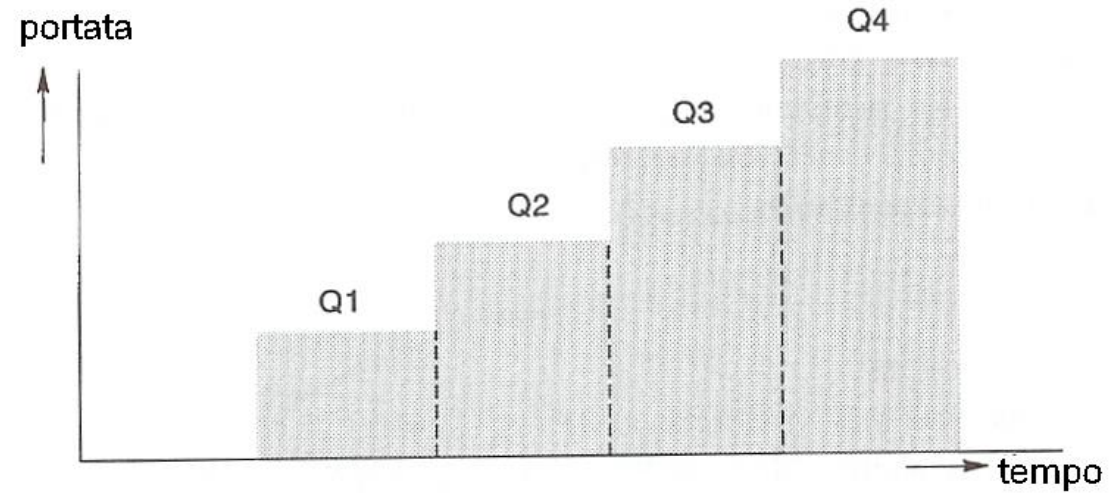
Curva caratteristica del pozzo

Rappresentazione del rapporto esistente tra portata prelevata ed abbassamenti indotti del livello piezometrico.

Essa viene definita mediante una **prova di pompaggio a portata variabile a gradini**:

- Sono prefissati un numero di intervalli di tempo (in genere ≥ 4) della durata costante (in genere > 30 minuti): $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$;
- Si incomincia con una portata Q_1 e si misurano gli abbassamenti nel tempo;
- Alla scadenza dell'intervallo Δt_1 , nel quale si è raggiunto un abbassamento Δs_1 , si incrementa la portata a Q_2 e si misurano gli abbassamenti nel tempo;
- Alla scadenza di Δt_2 , nel quale si è raggiunto un abbassamento Δs_2 , si incrementa la portata a $Q_3 \dots$

Schema di prova



Minimo **n.4** gradini
Ottimale almeno **n.5** gradini

Curva caratteristica pozzo in falda confinata

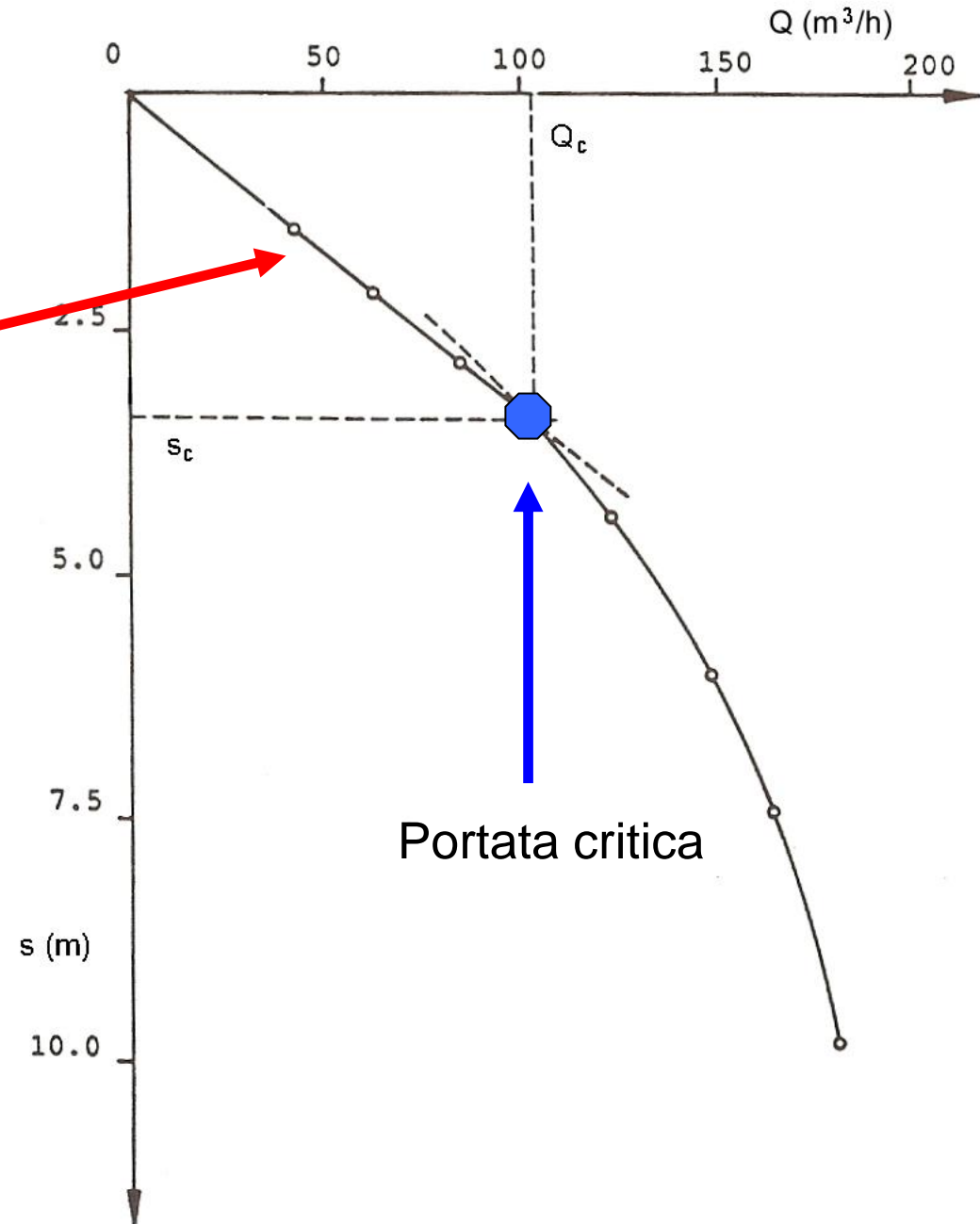
Variazione lineare

$$Q = a s$$

Q = portata

s = abbassamento

a = coefficiente



Curva caratteristica pozzo in falda non confinata

Variazione non lineare

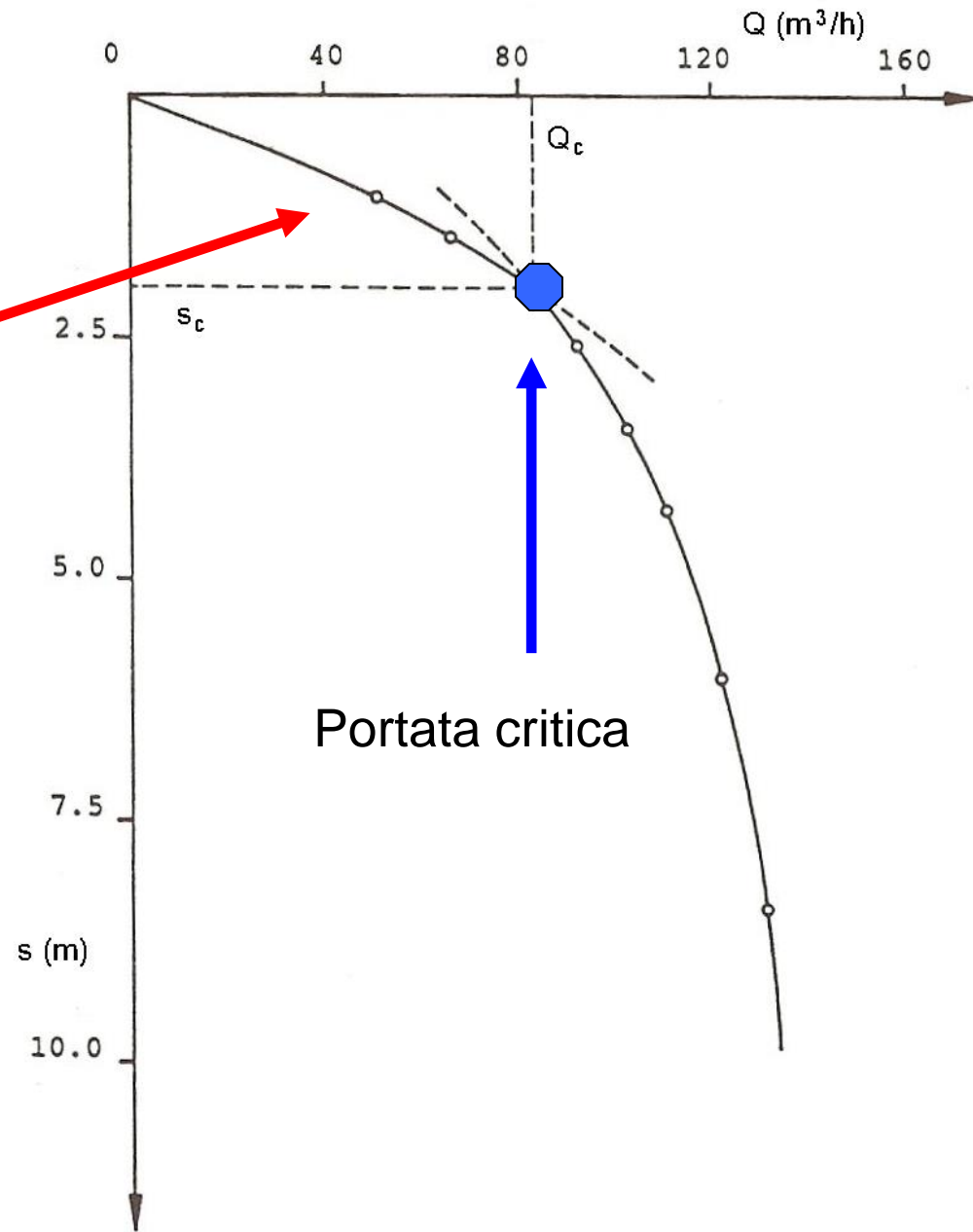
$$Q = c (2H - s) s$$

Q = portata

H = altezza piezometrica statica

s = abbassamento

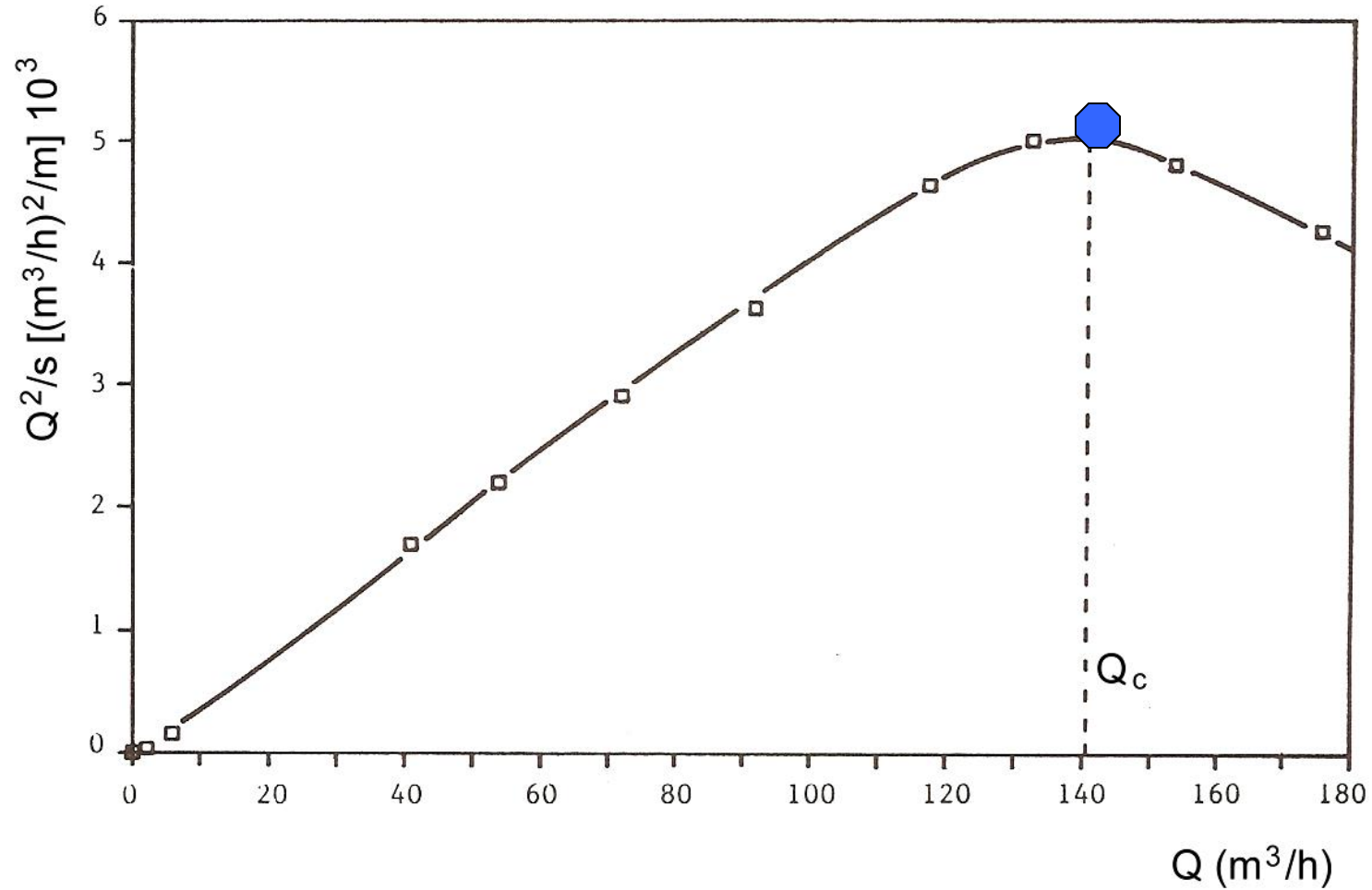
c = coefficiente



Portata ottimale di un pozzo



$$(Q^2/s)/Q$$



Portata ottimale $\cong 75-80\% Q_c$

Efficienza di un pozzo

La deformazione del reticolo di flusso in vicinanza di un pozzo in pompaggio è influenzato dalle **perdite di carico**, dovute al fatto che il pozzo introduce una diversa condizione al flusso delle acque sotterranee rispetto alle condizioni originarie.

Ciò consiste in pratica in un abbassamento aggiuntivo rispetto a quello teorico calcolabile con le relazioni di Dupuit-Thiem (regime stazionario) o Theis (regime transitorio).

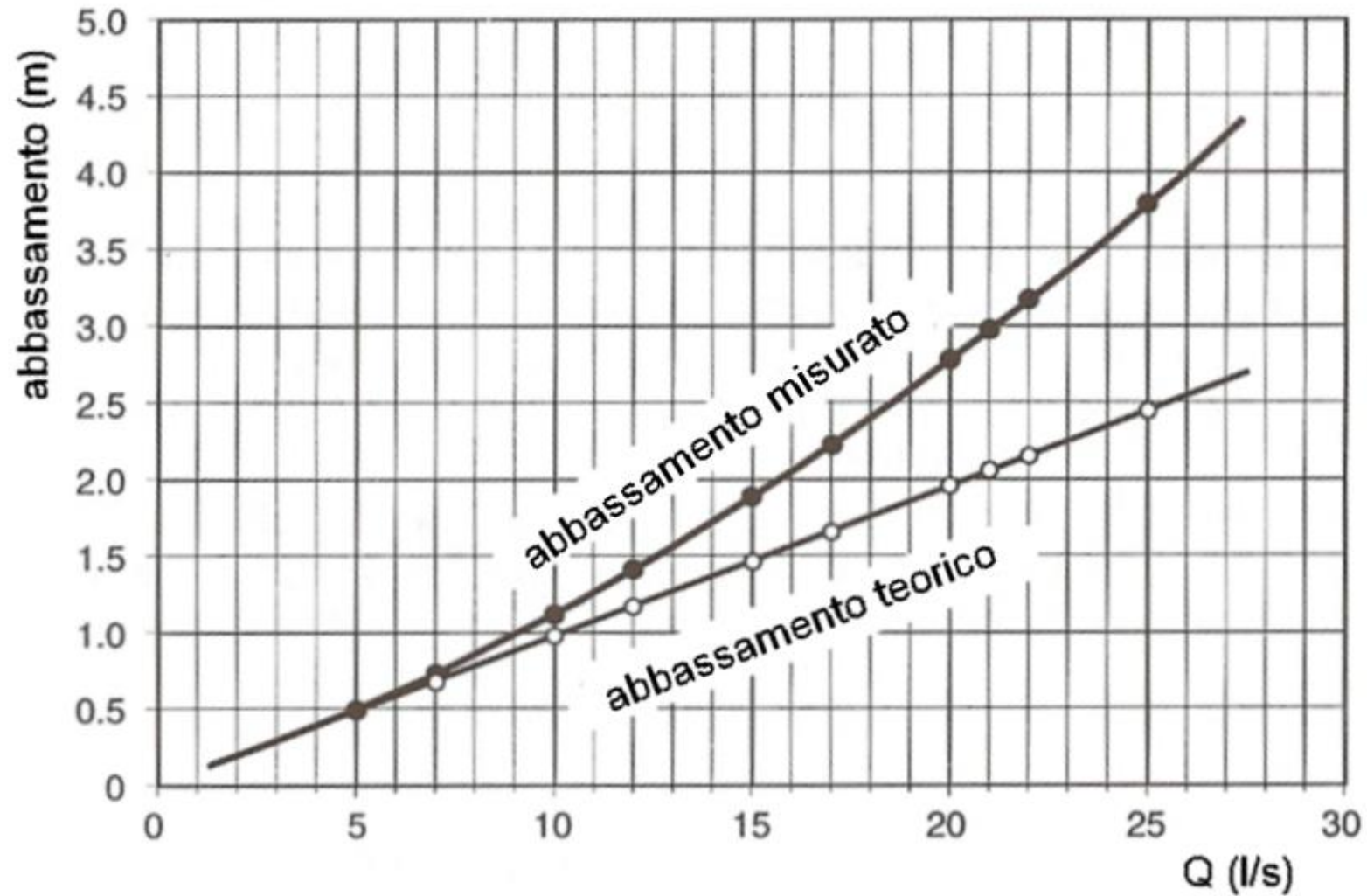
$$\text{Efficienza del pozzo} = \frac{\text{abbassamento teorico (m)}}{\text{abbassamento misurato (m)}} \cdot 100$$

I valori di efficienza sono da determinare per portate inferiori a quella critica

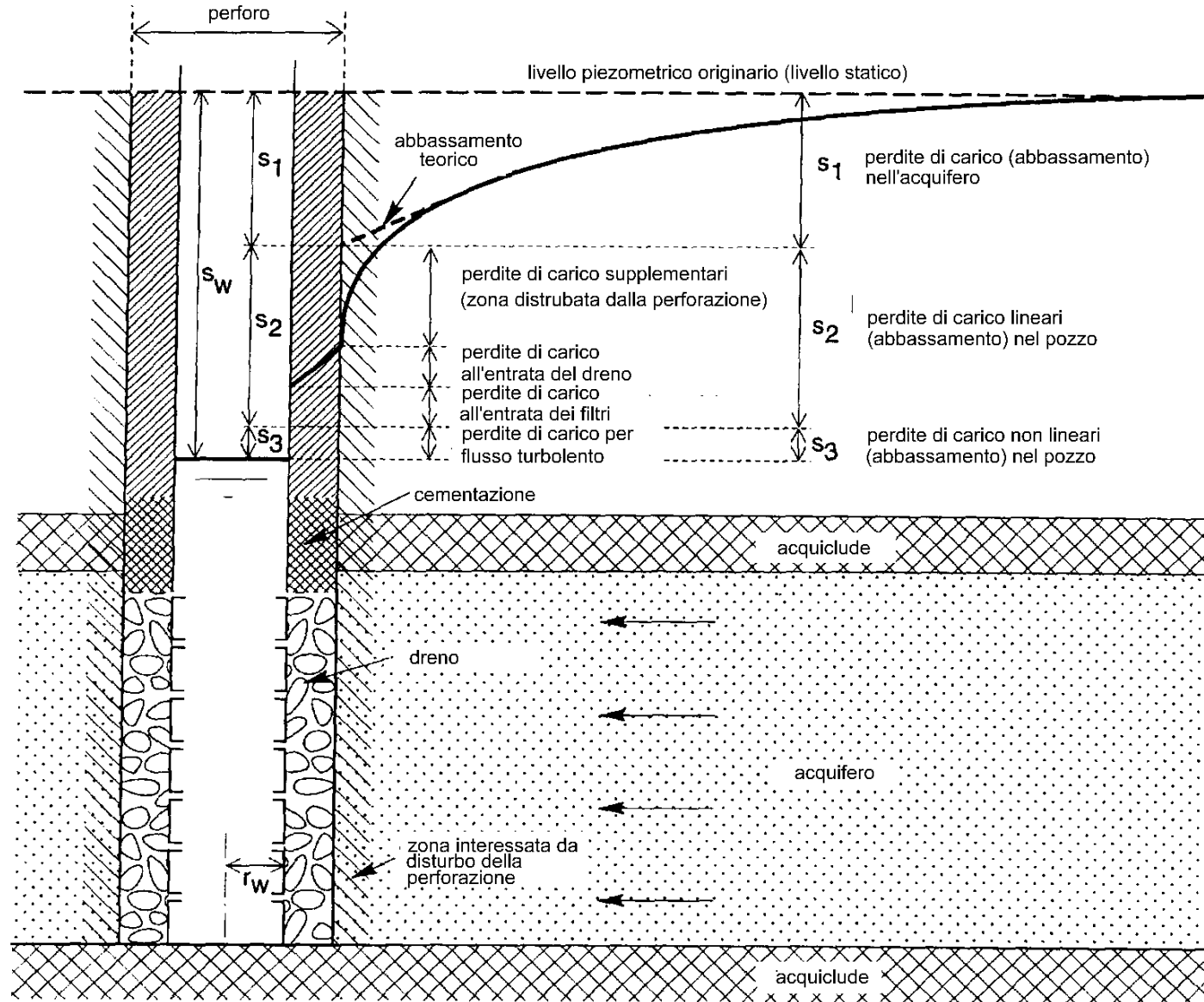
Abbassamento teorico rispetto all'abbassamento misurato



Efficienza di un pozzo



Perdite di carico in vicinanza di un pozzo in pompaggio



$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Perdite di carico dovute ai moti di filtrazione nell'acquifero - 1

$$s_1 = B_1 Q \quad \text{(perdite di carico lineari)}$$

in cui B_1 è un coefficiente che ha dimensioni di s^2/m , Q è la portata del pozzo (m^3/s), $W(u)$ la funzione del pozzo di Theis, T la trasmissività dell'acquifero (m^2/s), r_w (m) il raggio del pozzo e t il tempo (s).

$$B_{1(rw,t)} = \frac{W(u)}{4 \pi T}$$

Le perdite di carico dovute al flusso dell'acqua nel tratto di litotipi disturbati dalle operazioni di perforazione (ad esempio con presenza di residui di fanghi di perforazione), nel dreno e nei filtri, può essere riassunto dalla seguente relazione:

$$s_2 = B_2 Q \quad \text{(perdite di carico lineari)}$$

in cui B_2 è un coefficiente che ha dimensioni di s^2/m .

Perdite di carico dovute ai moti di filtrazione nell'acquifero - 2

Le ulteriori perdite di carico dovuti ai flussi turbolenti che si possono instaurare all'entrata dell'acqua nel pozzo sono esprimibili tramite una relazione:

$$s_3 = CQ^n \quad \text{(perdite di carico non lineari)}$$

in cui C è un coefficiente che ha dimensioni di $s^n/m^{(3n-1)}$ e l'esponente n varia secondo la letteratura da 1.5 a 3.5.

L'approccio comunemente utilizzato di Jacob prevede $n=2$, ma tale assunzione si rivela spesso inefficiente per rappresentare il fenomeno.

Valore del parametro C $m/(m^3/s)^2$	Condizioni del pozzo
<675	Eccellente efficienza
675 ÷ 1350	Buona efficienza
>1350	Intasamento
>5400	Non utilizzabile

Equazione generale

Relazione che descrive l'abbassamento in un pozzo reale
In funzione delle perdite di carico nell'acquifero e nell'opera
di captazione delle acque sotterranee

$$s = (B_1 + B_2)Q + CQ^n = BQ + CQ^n$$

Metodi di risoluzione:

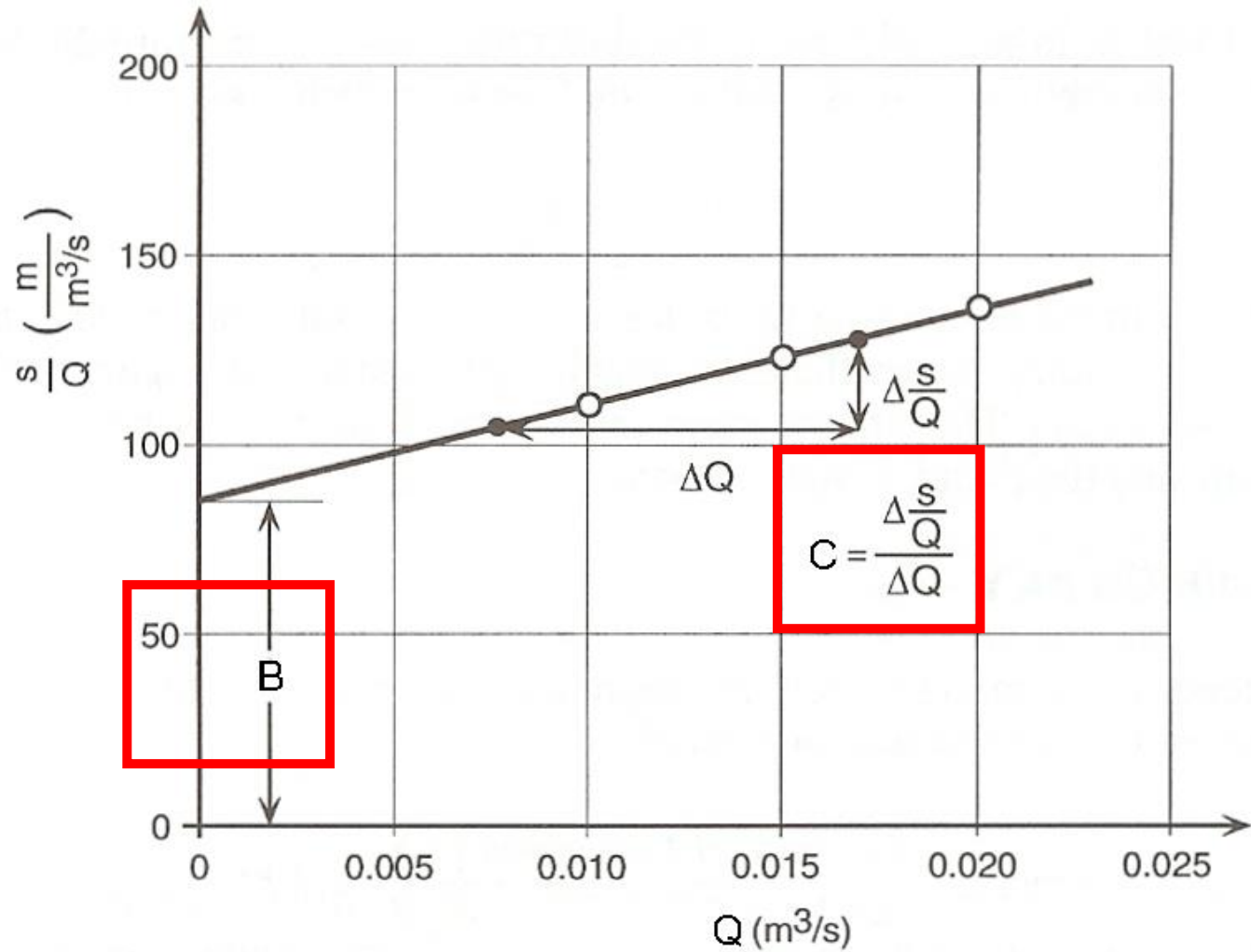
1. **Jacob**
2. **Rorabough**
3. **Dragoni**

Metodo di JACOB

$$n = 2$$

$$s = BQ + CQ^2$$

$$\frac{s}{Q} = B + CQ$$



Metodo di RORABOUGH 1

Considerando che l'esponente n può essere in qualche caso diverso da 2, come si osserva ad esempio dall'andamento curvilineo di un grafico $s/Q - Q$, viene modificata l'equazione che descrive il rapporto tra portate e abbassamenti nel modo seguente:

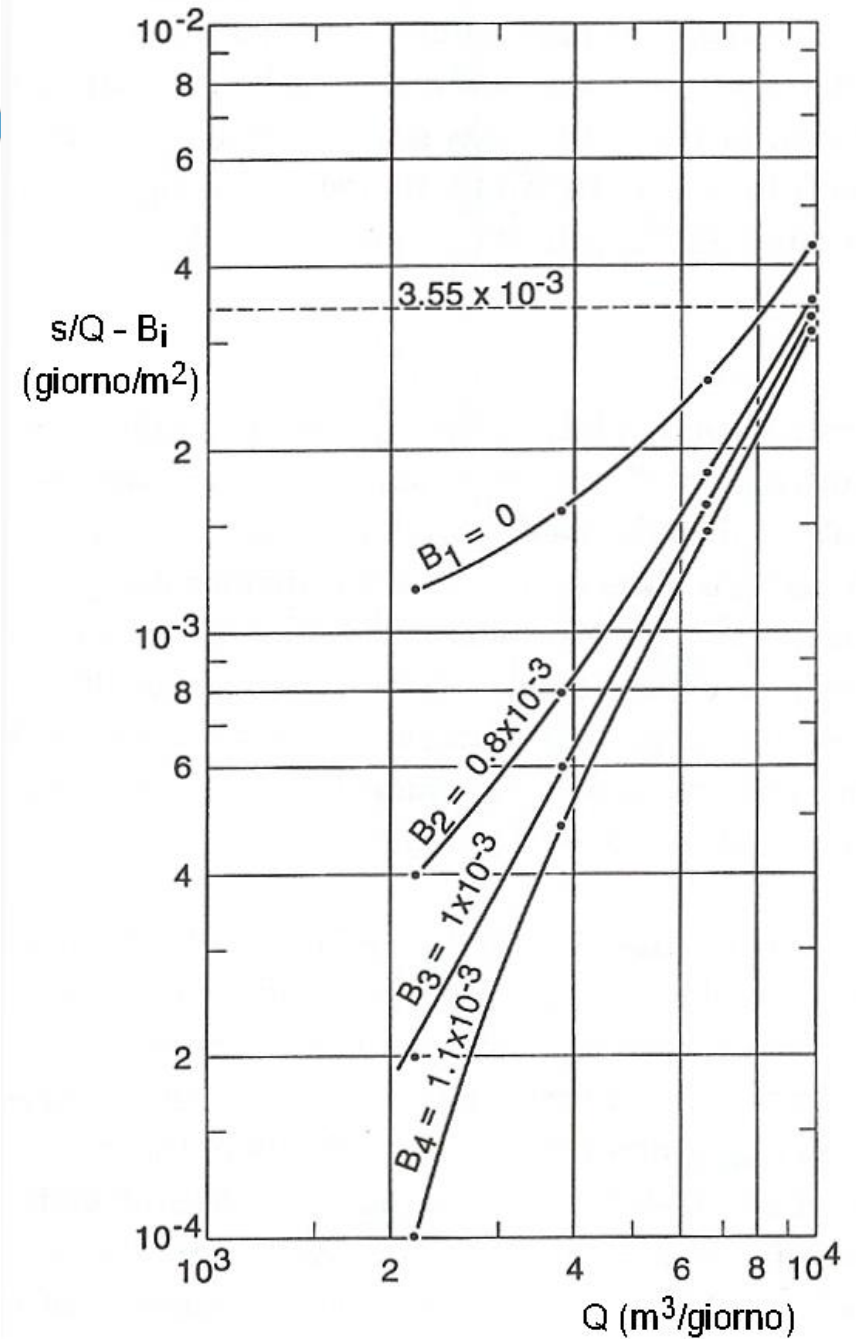
$$\frac{s}{Q} = B + CQ^{n-1}$$

e passando ai logaritmi si ha:

$$\log \left(\frac{s}{Q} - B \right) = \log C + (n-1) \log Q$$

Metodo di RORABOUGH 2

Rappresentando l'equazione in un diagramma bilogarithmico si ha una parte rettilinea che ha una pendenza $(n-1)$, mentre il valore di C può essere determinato prolungando il tratto rettilineo fino ad intercettare $Q=1$ sull'asse delle ascisse.



Metodo di DRAGONI

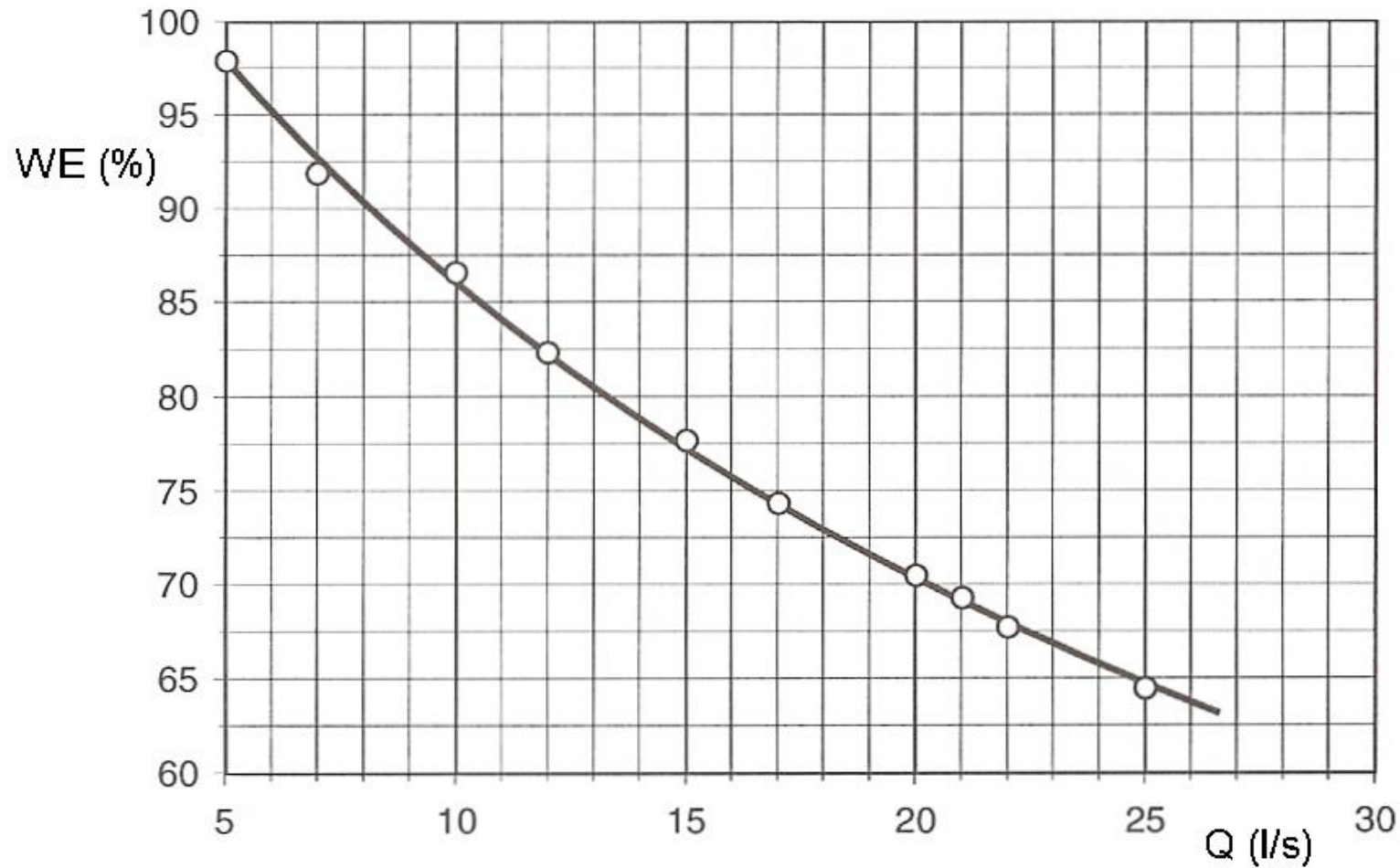


Determinazione di B, C ed n mediante regressione di potenza sui dati sperimentali misurati.

Il metodo è definito anche MQO - Minimi Quadrati sulla formula Originaria.

Dal punto di vista operativo la regressione di potenza è in dotazione a diversi software generali (Es. Excel®), oltre ad un software specifico per l'interpretazione delle prove di pompaggio.

Curva di efficienza (WE-Well Efficiency) di un pozzo



$$WE = \frac{BQ}{BQ + CQ^n}$$

Ulteriore contributo alla conoscenza dell'efficienza di un pozzo

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

Turbulence Index Method - T.I. (Gorla, 2003)

T.I. (%)	Stato del pozzo
<10	Perdite per flusso turbolento fortemente ridotte, pozzo molto efficiente
11-20	Perdite per flusso turbolento limitate, pozzo efficiente
21-30	Perdite di flusso turbolento apprezzabili, pozzo discretamente efficiente
31-50	Perdite di flusso turbolento sensibilmente elevate, pozzo ai limiti dell'efficienza: possibile necessità di rispurgare il pozzo per tentare di abbassare il valore di T.I.
51-65	Perdite di carico per turbolenza notevoli, pozzo inefficiente: si rendono necessarie indagini ad hoc per stabilire le cause
66-80	Perdite per flusso turbolento non accettabili: pozzo difficilmente recuperabile
>81	Pozzo mal completato e sviluppato: non recuperabile con gli usuali metodi di sviluppo

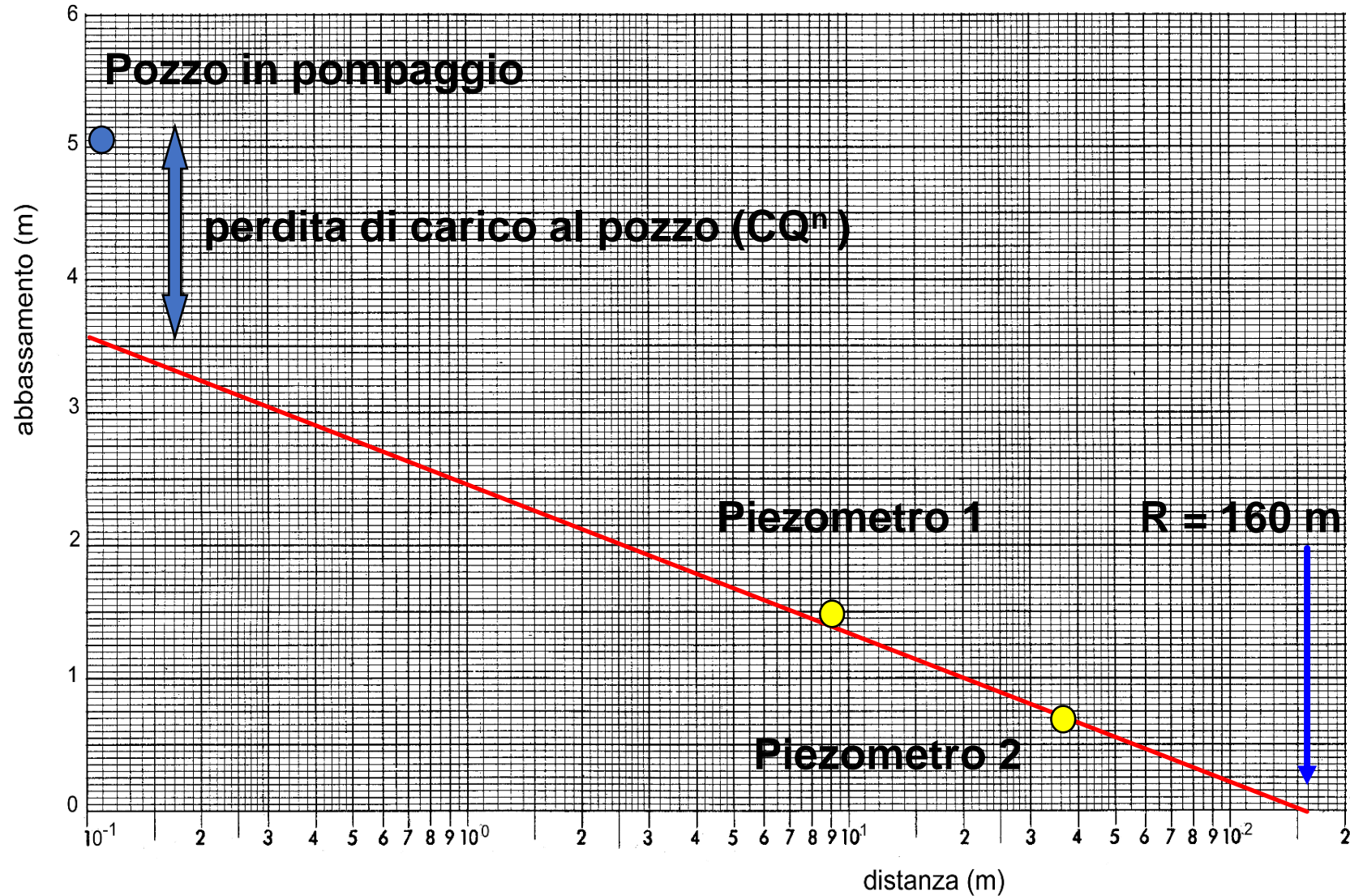
Gli approcci teorici illustrati relativi all'efficienza del pozzo hanno suscitato alcune critiche nel mondo scientifico circa la loro applicabilità e significatività e pertanto essi vanno utilizzati con estrema prudenza.

In alternativa l'efficienza di un pozzo può essere definita ad intervalli di tempo per verificare l'invecchiamento di un pozzo (diminuzione delle portate specifiche) o il miglioramento del pozzo (aumento delle portate specifiche), ad esempio a seguito di operazioni di spurgo, di pistonaggio, etc.. o più semplicemente una riduzione del materiale fine trasportato dalla matrice dell'acquifero.

Inoltre può essere effettuata una valutazione circa l'efficacia di interventi chimico-fisici realizzati per la manutenzione straordinaria dei pozzi.

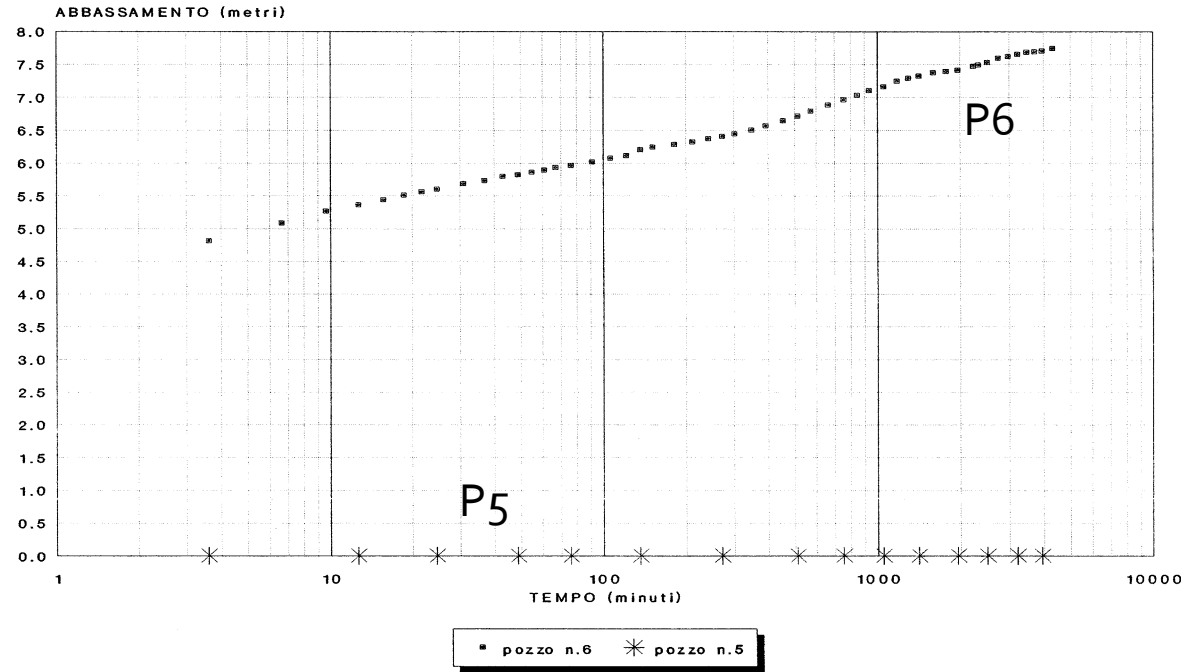
Raggio di influenza e perdite di carico sperimentali (CQⁿ)

n.1 pozzo + n.2 piezometri



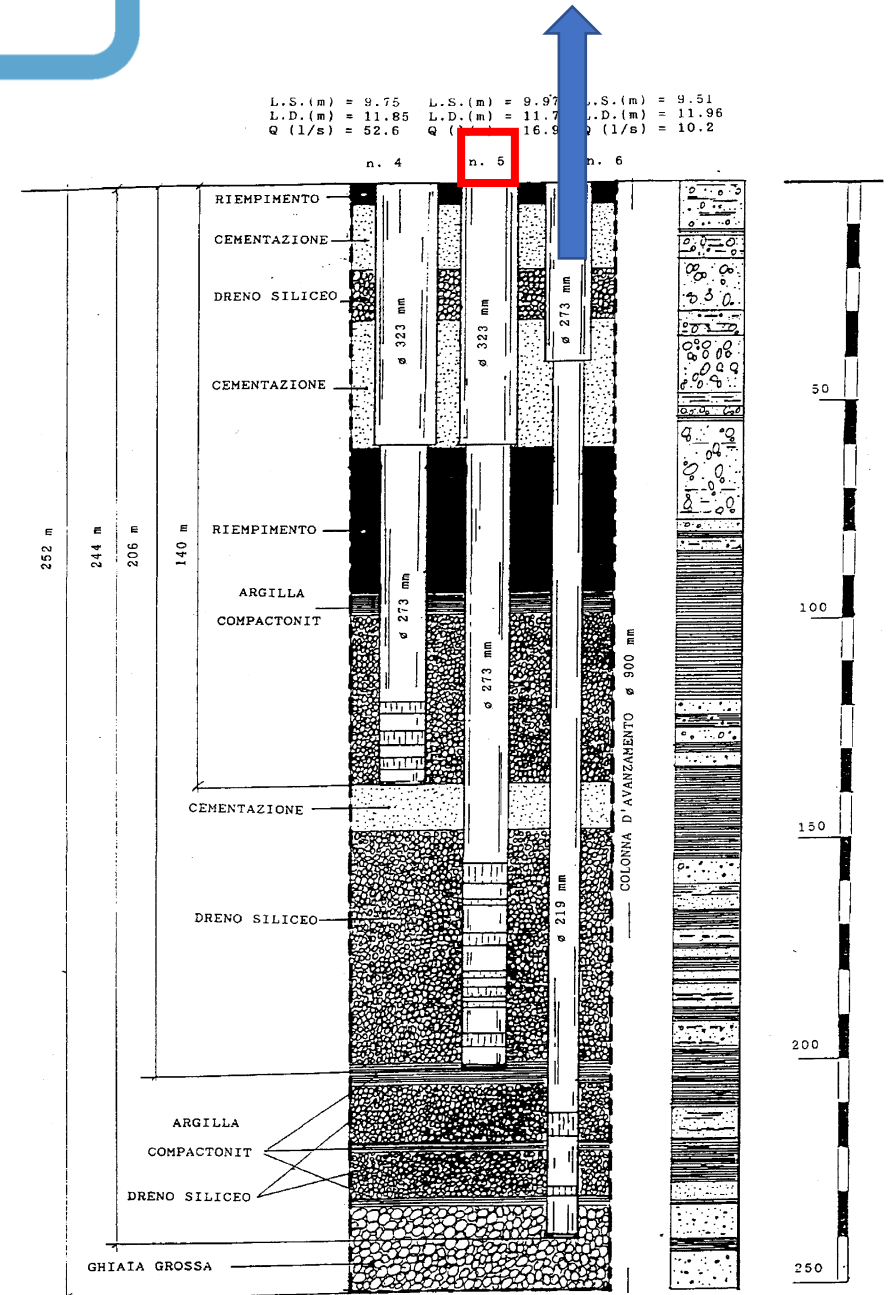
Monitoraggio efficienza per tenuta cementazioni

MARCALLO - POZZO C.A.P. N.6
 PROVA A PORTATA COSTANTE
 IN DISCESA DI LIVELLO (Q = 20.6 l/s)



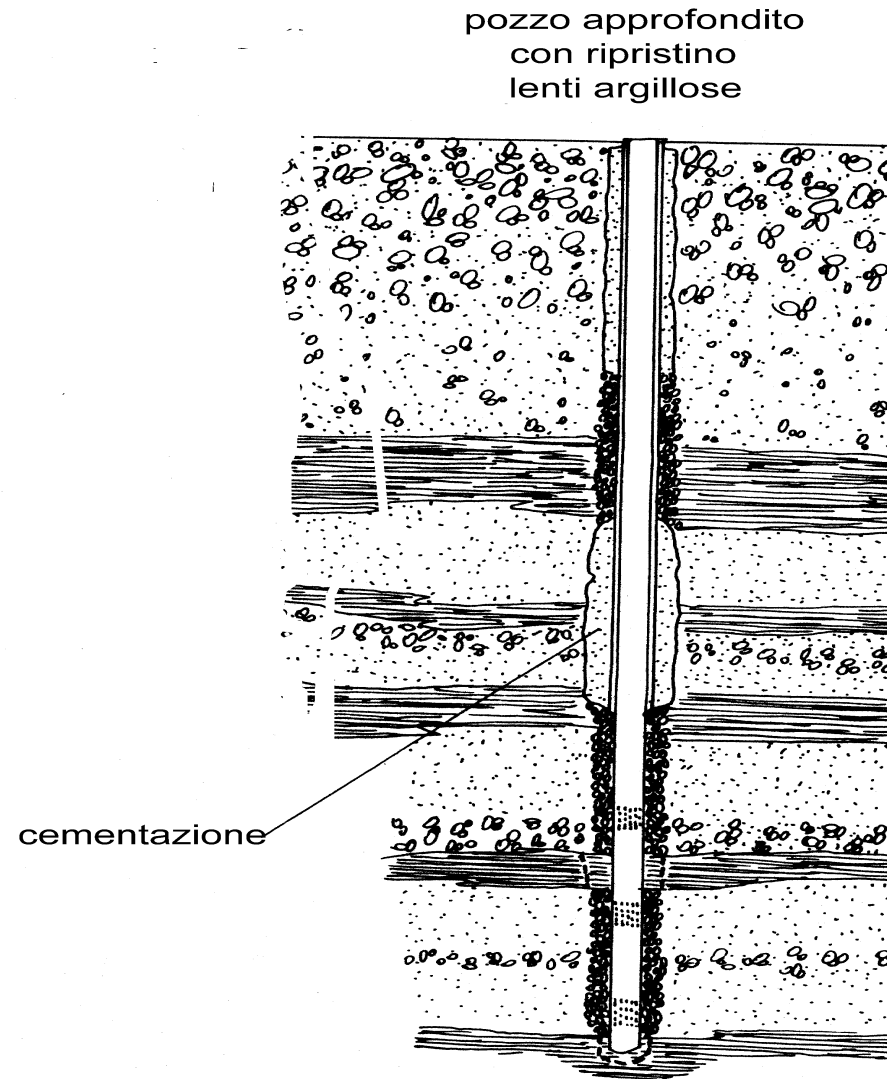
Prova in data: 10-9-1993
 Livello statico inizio prova: 6.72 m

L.S. (m) = 9.75 L.S. (m) = 9.97 L.S. (m) = 9.51
 L.D. (m) = 11.85 L.D. (m) = 11.7 L.D. (m) = 11.96
 Q (l/s) = 52.6 Q (l/s) = 16.5 Q (l/s) = 10.2



- Perforazione colonna cieca del pozzo
- Iniezione in pressione di miscela cementizia
- Ricostruzione dei livelli impermeabili che separano due falde differenti
- Esclusione dei filtri che captano la falda da noi utilizzare con Hydroreamer®

IDROJETGROUTING



Monitoraggio efficienza del pozzo



Sintomi	Cause	Azioni di ripristino
Abbassamento a scala regionale del livello delle acque sotterranee	Fattori regionali, ad es. siccità, sovrasfruttamento acque, terremoti, deforestazione su larga scala	Abbassamento della pompa, approfondimento pozzo, perforazione nuovo pozzo più profondo
Abbassamento localizzato del livello delle acque sotterranee	Pompaggio sovra-dimensionato Filtri o dreno intasati	Controllare/confrontare i dati di pompaggio di prove precedenti. Ridurre la velocità di pompaggio Riabilitare: ispezionare gli schermi, sviluppare picchi per pulire gli schermi e il pacco di ghiaia
Modifica chimica della qualità delle acque	Inquinamento chimico Intrusione salina Miscelazione falde	Analisi acque, se individuata situazione pericolosa sospendere la produzione di acqua e rivalutare la situazione
Modifica biologica della qualità delle acque	Contaminazione Modifica qualità chimica delle acque	Analisi acque, se individuata situazione pericolosa sospendere la produzione di acqua e rivalutare la situazione. Provvisoriamente prelievo delle acque e trattamento di disinfezione del pozzo
Corrosione/incrostazione insolita delle apparecchiature del pozzo	Qualità dell'acqua, ad es. durezza, acidità ferrobatteri	Rimozione pompa, videoispezione del pozzo, Ripristino
Riduzione della portata (senza modifica del livello delle acque sotterranee)	Pompa difettosa Tubazioni otturate (intasamento)	Rimozione e ispezione della pompa, sostituzione tubazioni se necessario
Rumore inusuale o vibrazioni (pompa elettrosommersa)	Danno, difetto della pompa	Rimozione e ispezione della pompa e della tubazione

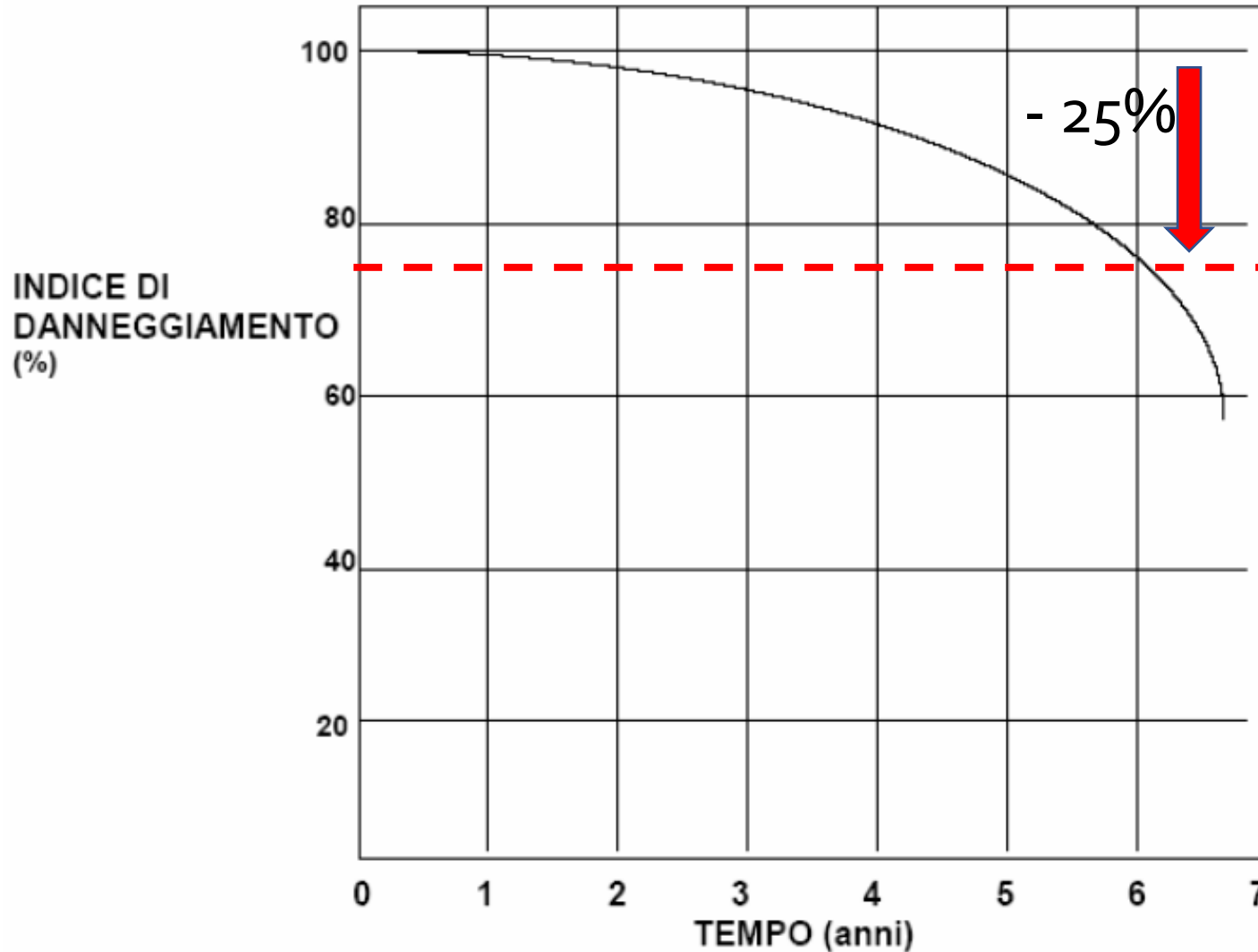


Monitoraggio: per rilevare il deterioramento delle prestazioni del pozzo è possibile:

- 1 - **Avere un punto di riferimento iniziale** costituito dalla prova di pompaggio a portata variabile a gradini effettuata alla conclusione della perforazione del pozzo.

- 2 – **Valutare cambiamenti nella gestione** (anche se manca il riferimento di cui al punto 1) dovuti a:
 - a) Diminuzione della portata di pompaggio
 - b) Diminuzione del livello dell'acqua (livello dinamico) nel pompaggio
 - c) Diminuzione della portata specifica
 - d) Aumento del contenuto di sabbia o di sedimenti nell'acqua prelevata (torbidità)
 - e) Riduzione della profondità del pozzo

Indice di danneggiamento di un pozzo



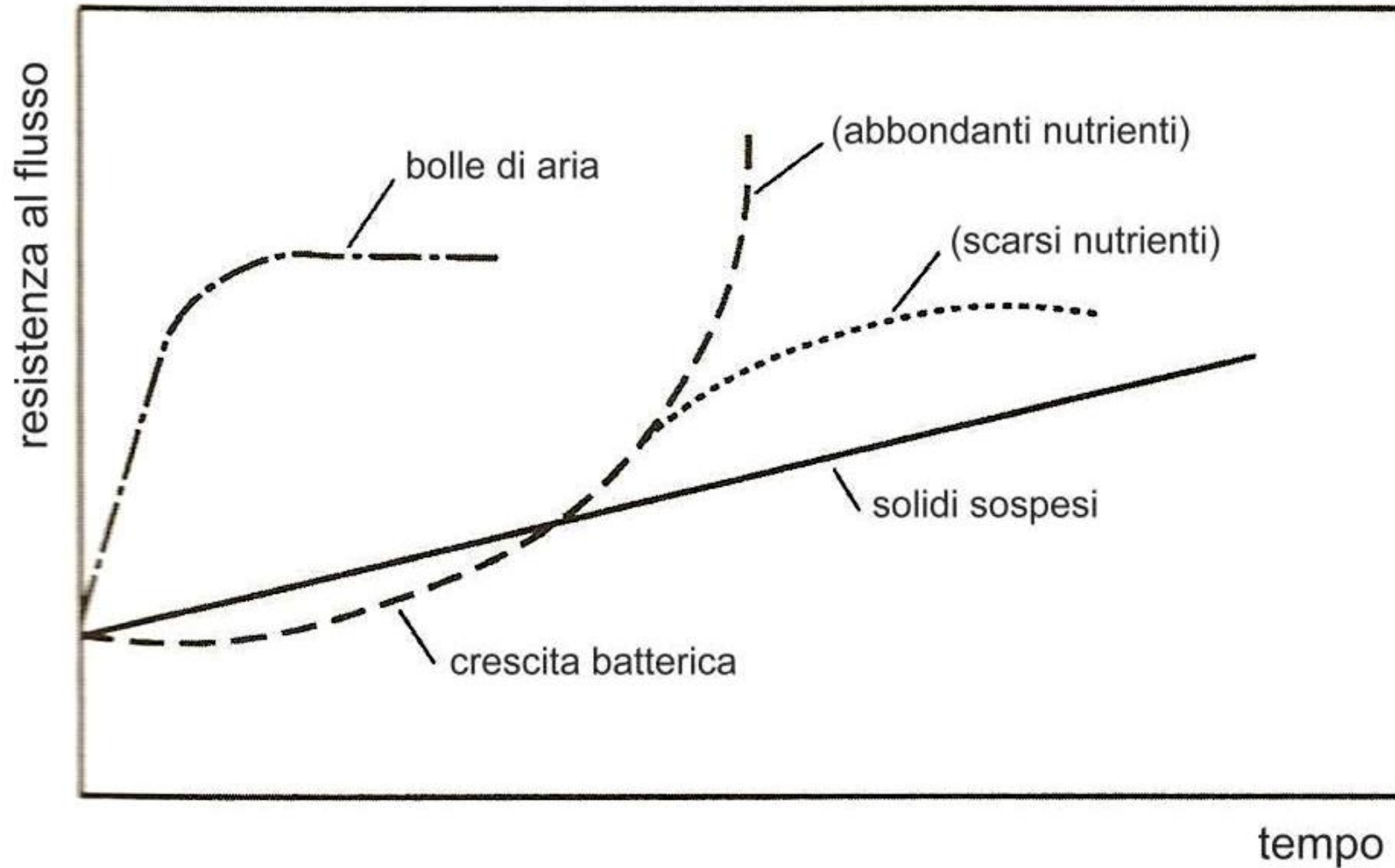
Rapporto percentuale tra la portata specifica del pozzo allo stato attuale e quella originaria

$$ID = \frac{Q_{st}}{Q_{s0}} 100$$

Q_{st} = portata specifica in un determinato tempo

Q_{s0} = portata specifica iniziale del pozzo

Resistenza al flusso causata da intasamento dei filtri di un pozzo per acqua

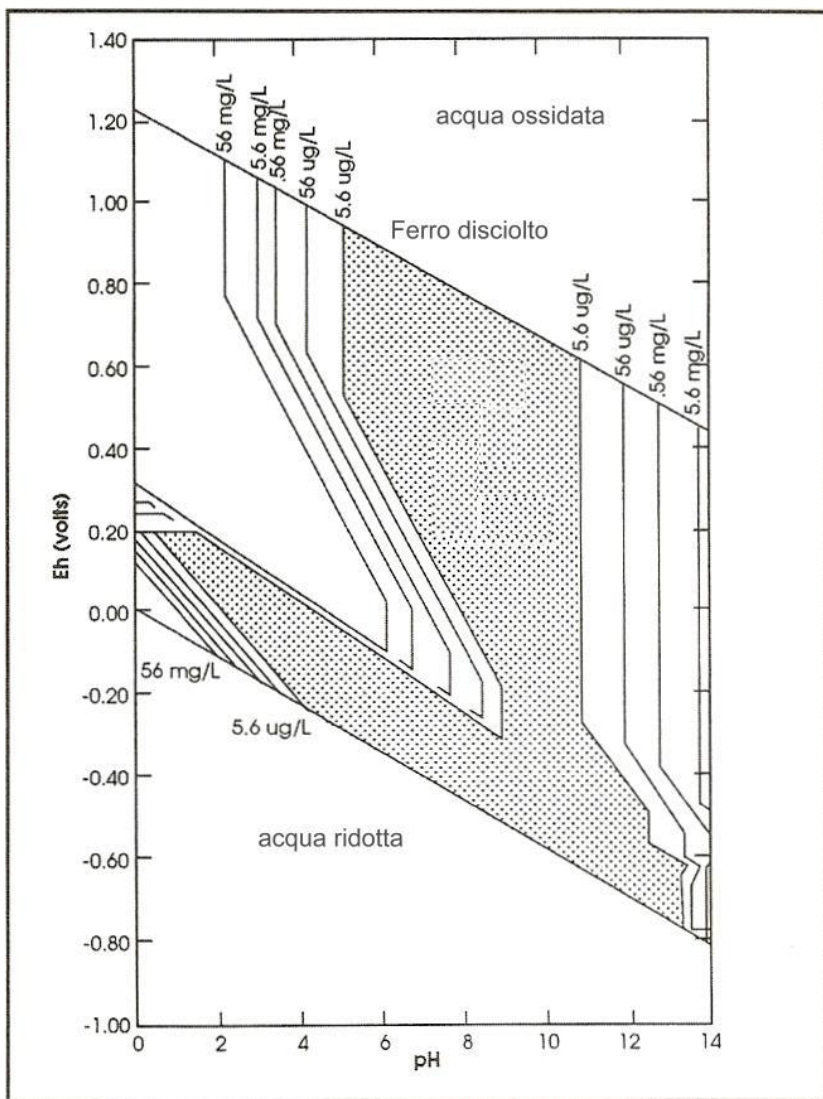


(Pyne R.D.G., 2005)

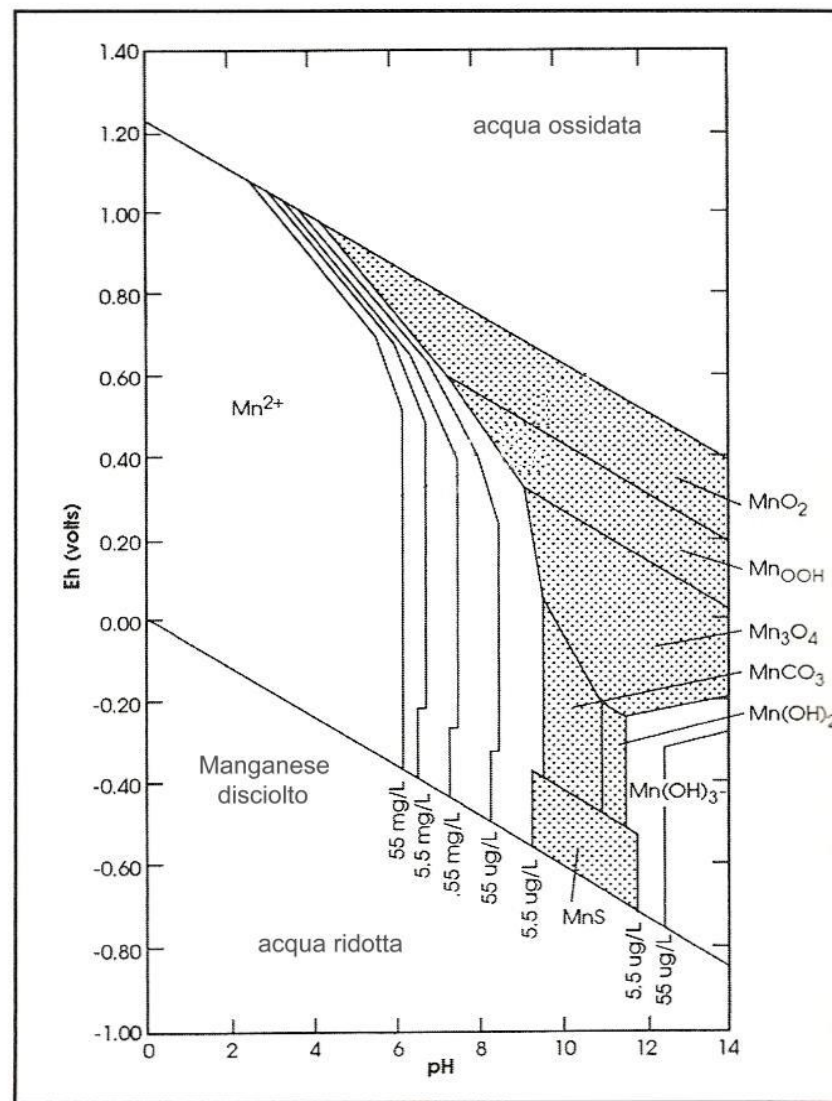
Riduzione efficienza per intasamento

Tipo di intasamento	Processo
Chimico	<ul style="list-style-type: none">-Reazioni geochimiche che provocano una precipitazione di minerali (ad esempio Ferro, Manganese, Alluminio) o crescita di carbonato di Calcio-Dissoluzione della matrice solida dell'acquifero (che può provocare un aumento della conducibilità idraulica)-Scambio ionico-Adsorbimento di ioni-Riduzione dell'Ossigeno-Formazione di Sali insolubili-Dissoluzione della formazione
Fisico	<ul style="list-style-type: none">-Accumulo/iniezione di solidi sospesi inorganici e organici:-Incremento della velocità che provoca danni (ad esempio migrazione di particelle fini come smectite e illie.-Rigonfiamento dell'argilla (es. montmorillonite)-Deflocculazione dell'argilla;-invasione del fango di perforazione in profondità all'interno della formazione-Temperatura
Meccanico	<p>Formazione trappole per aria o gas ((azoto e/o metano per attività microbiologica)</p> <ul style="list-style-type: none">-Carico idraulico causato che causa rottura nella formazione, nell'acquitardo o del rivestimento nei giunti o saldature
Biologico	<ul style="list-style-type: none">-Crescita algale o accumulo di flocchi di materia biologica-Produzione microbiologica di polisaccaridi-Produzione e crescita di batteri

Diagrammi di Pourbaix (pH-Eh)



Condizioni di equilibrio del **Ferro**

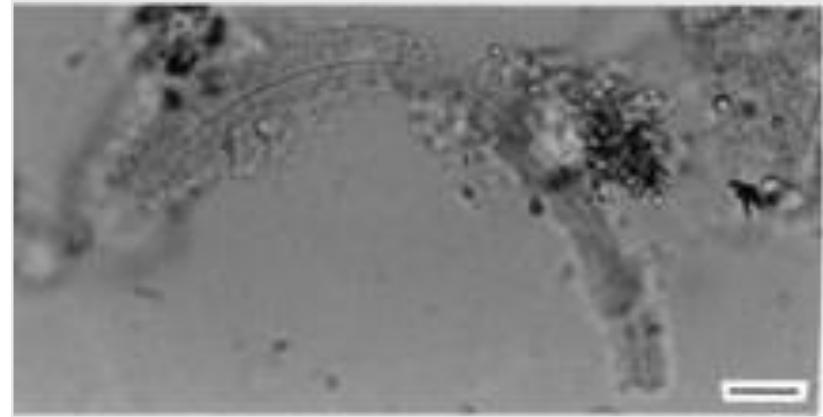


Condizioni di equilibrio del **Manganese**

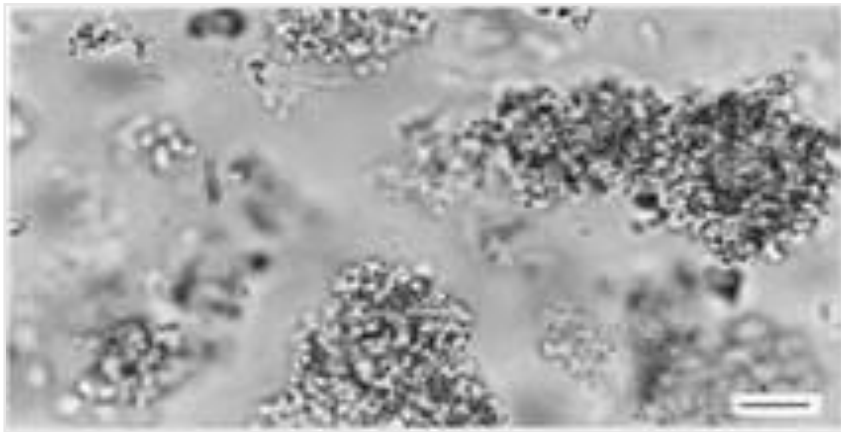
Batteri che favoriscono la precipitazione di Ferro e Manganese nei pozzi



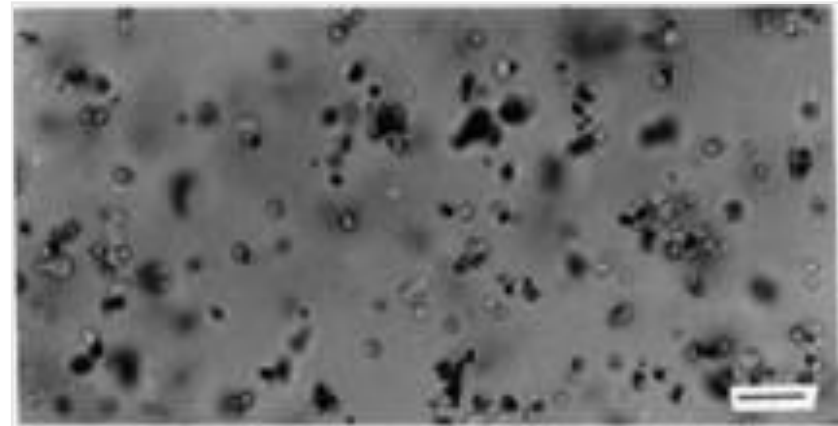
Gallionella ferruginea



Leptothrix cholodnii

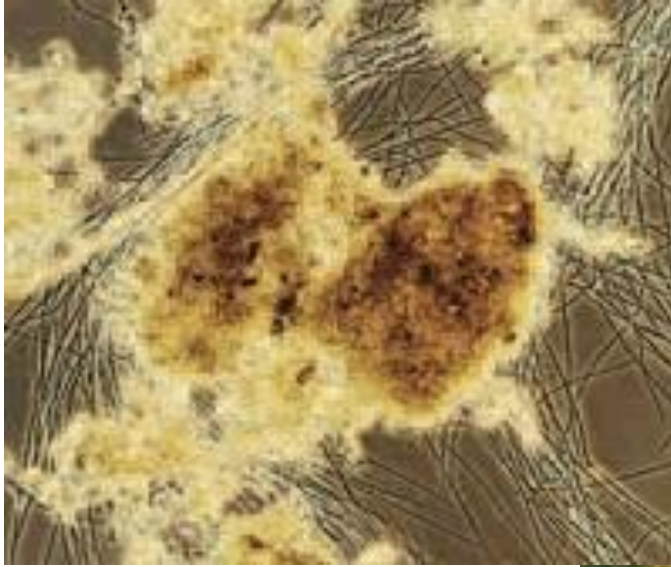


Thiobacillus

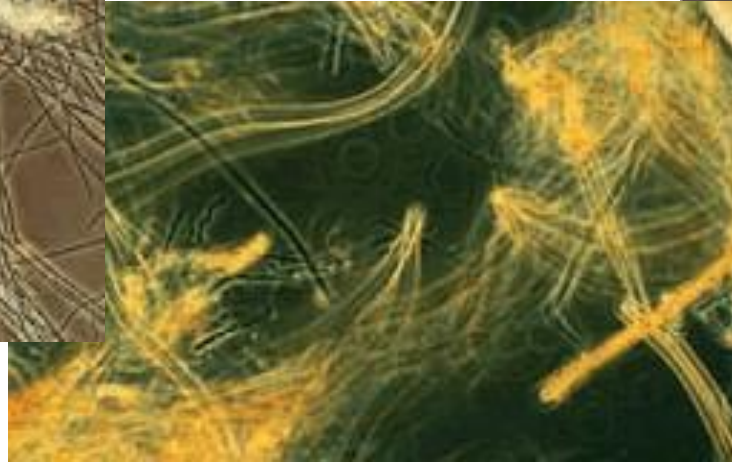


Siderococcus

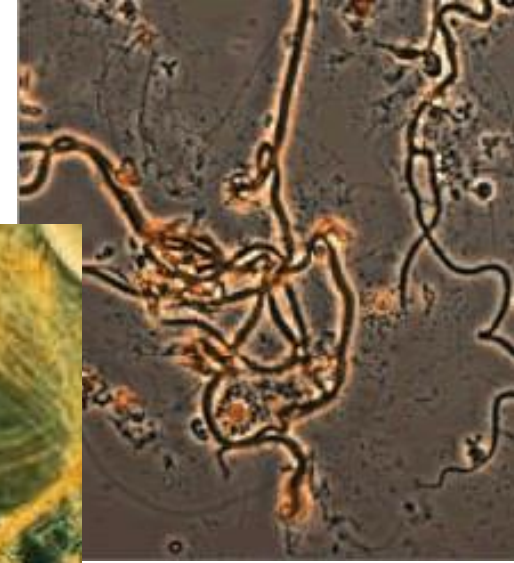
FERROBATTERI (specie che utilizzano Ferro, Manganese e solfati)



Sphaerotilus



Leptohrix



Galionella
Ferruginea

E-Coli



Possono favorire la crescita di microrganismi patogeni



Alcuni riferimenti bibliografici

AA.VV. (1992) – Norme per la costruzione dei pozzi per acqua. A.N.I.P.A., 204 pp.

Beretta G.P. (1992) – Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee. Pitagora Editrice, 813 pp.

Cerbini G. (1992) – Il manuale delle acque sotterranee. GEO-GRAPH s.n.c., 465 pp.

Chiesa G. (1991) - Pozzi per acqua. Hoepli, 562 pp.

Cooper H.H., Jacob C.E. (1946) - A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History. Eos. Trans. AGU, 27, 526–534

Custodio E., Llamas R. (1983) - Hidrologia subteranea. Tomo II, Omega Ediciones S.A., Barcelona, 2350 pp.

Domenico P.A., Schwartz F.W. (1998) - Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, 506 pp.

Dragoni W. (1990) – Contributo al calcolo ed alla interpretazione dei parametri della curva caratteristica di n pozzo. Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, Vol. 1, 185-195, Pitagora Editrice, Bologna

Fetter C.W. (2001) – Applied Hydrogeology, Prentice Hall, 598 pp.

Fletcher G.D. (1986) - Groundwater and Wells. Johnson Division, 1108 pp

Gorla M., (2003) – Proposta di un nuovo metodo di valutazione dell'efficienza del pozzo, Acque Sotterranee, fascicolo 98

Rorabaugh M.I. (1953) - Graphical and Theoretical Analysis of Step-Drawdown Test of Artesian Wells. Proc. Am. Soc. Civ. Eng., 19, 1–23