



***Associazione dei Geologi
Ordine dei Geologi
Regione Friuli Venezia Giulia***



RISORSA ACQUA SOTTERRANEA PROVE DI EMUNGIMENTO

Prove in pozzo

Palmanova 24 maggio 2019



Pietro Zangheri - *Geologo libero professionista - Docente presso l'Università degli Studi di Padova*

Prova a gradini di portata

SCOPO

- **Caratterizzazione opera di captazione - acquifero**
- **Curva caratteristica**
- **Efficienza del pozzo in funzione della portata**
- **Portata critica**

Curva caratteristica – cos'è

$$s = BQ + CQ^2$$

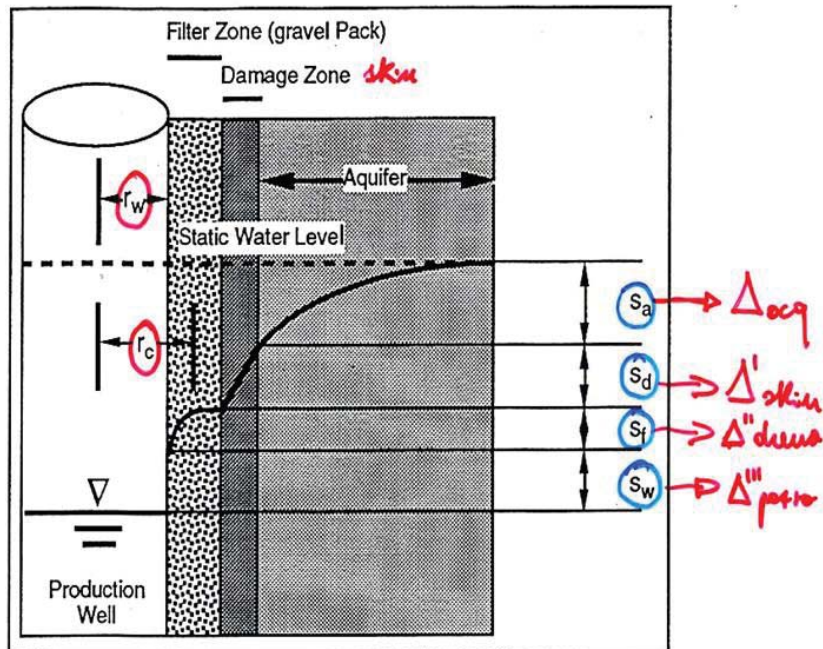
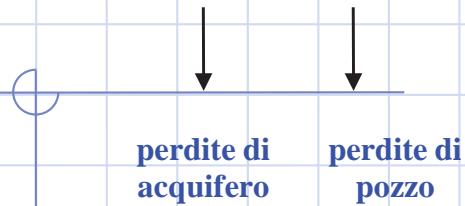
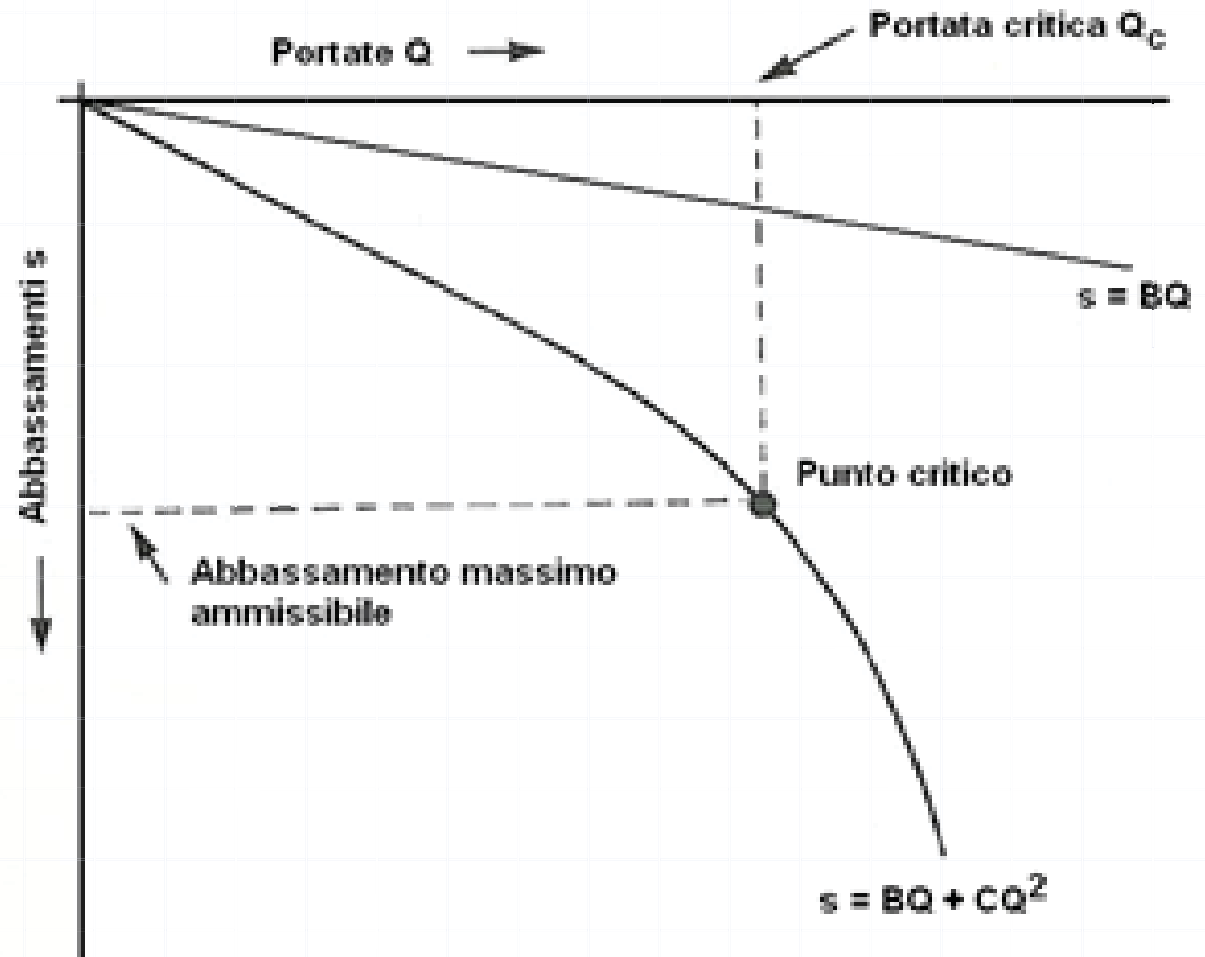


Figure 3.1. Drawdown components that can occur in a production well that has been poorly constructed or developed.



Da ANIPA, 1996

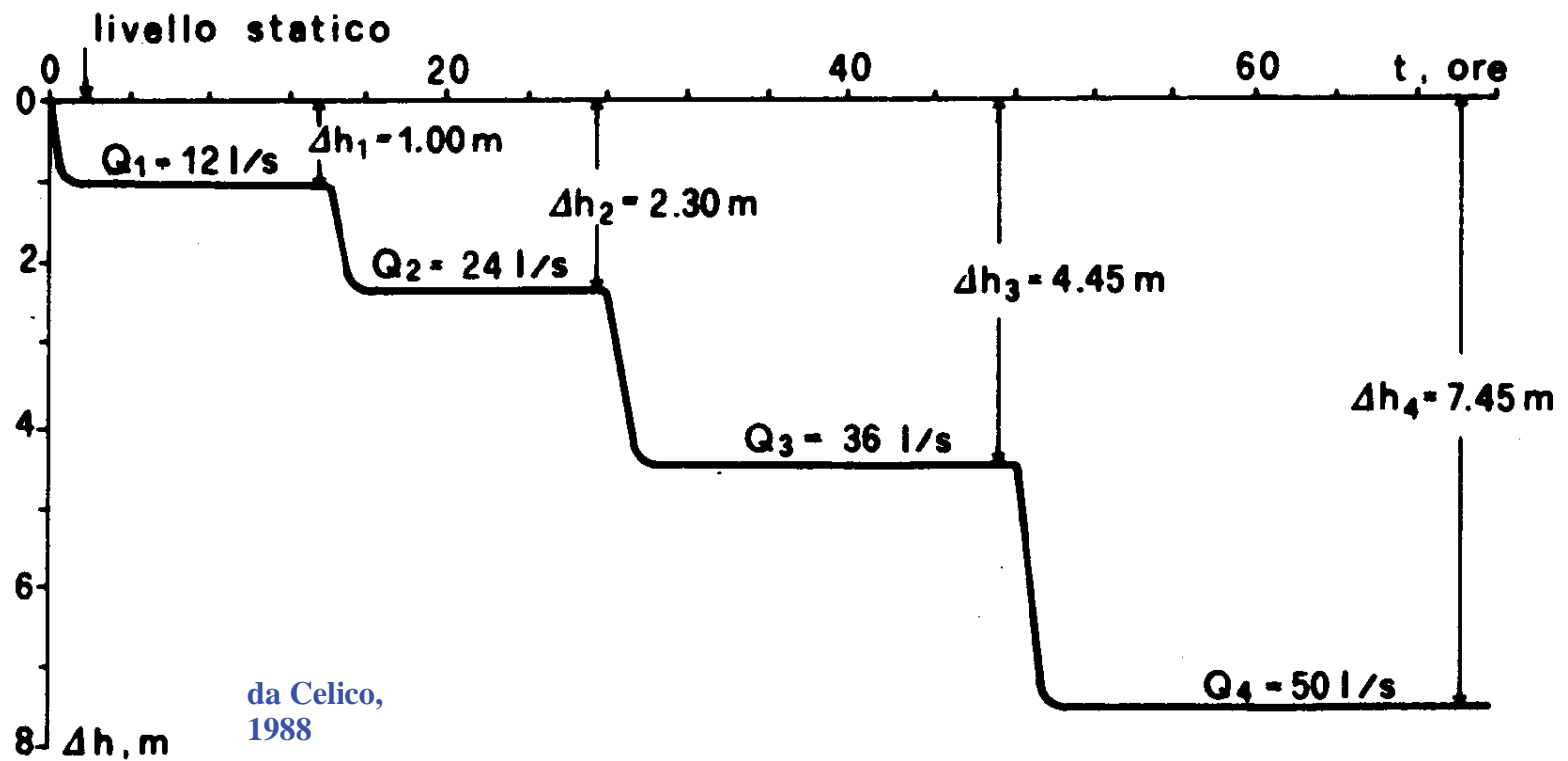
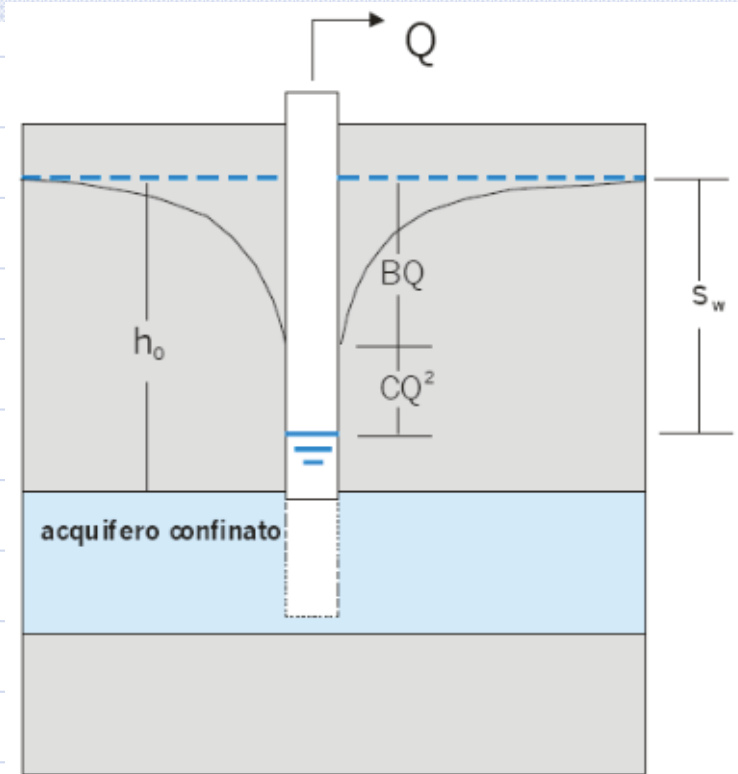
Diagramma portata – abbassamenti in pozzo - ottenuta tramite una prova a gradini di portata SDT (Step Drawdown Test)

Curva caratteristica – cos'è

$$s = BQ + CQ^2$$

perdite di
acquifero

perdite di
pozzo



Curva caratteristica – come si ottiene

Parametri richiesti

- **Abbassamenti in pozzo**
- **Portata (gradini di portata)**



Curva caratteristica – come si ottiene

Strumentazione

- Misuratore di livello (freatimetro e sonda di livello o multiparametrica con registrazione su data logger o PC portatile)
- Misuratore di portata (metodo volumetrico, contatori elettronici, a ultrasuoni, stramazzo tarato...)

Volume noto

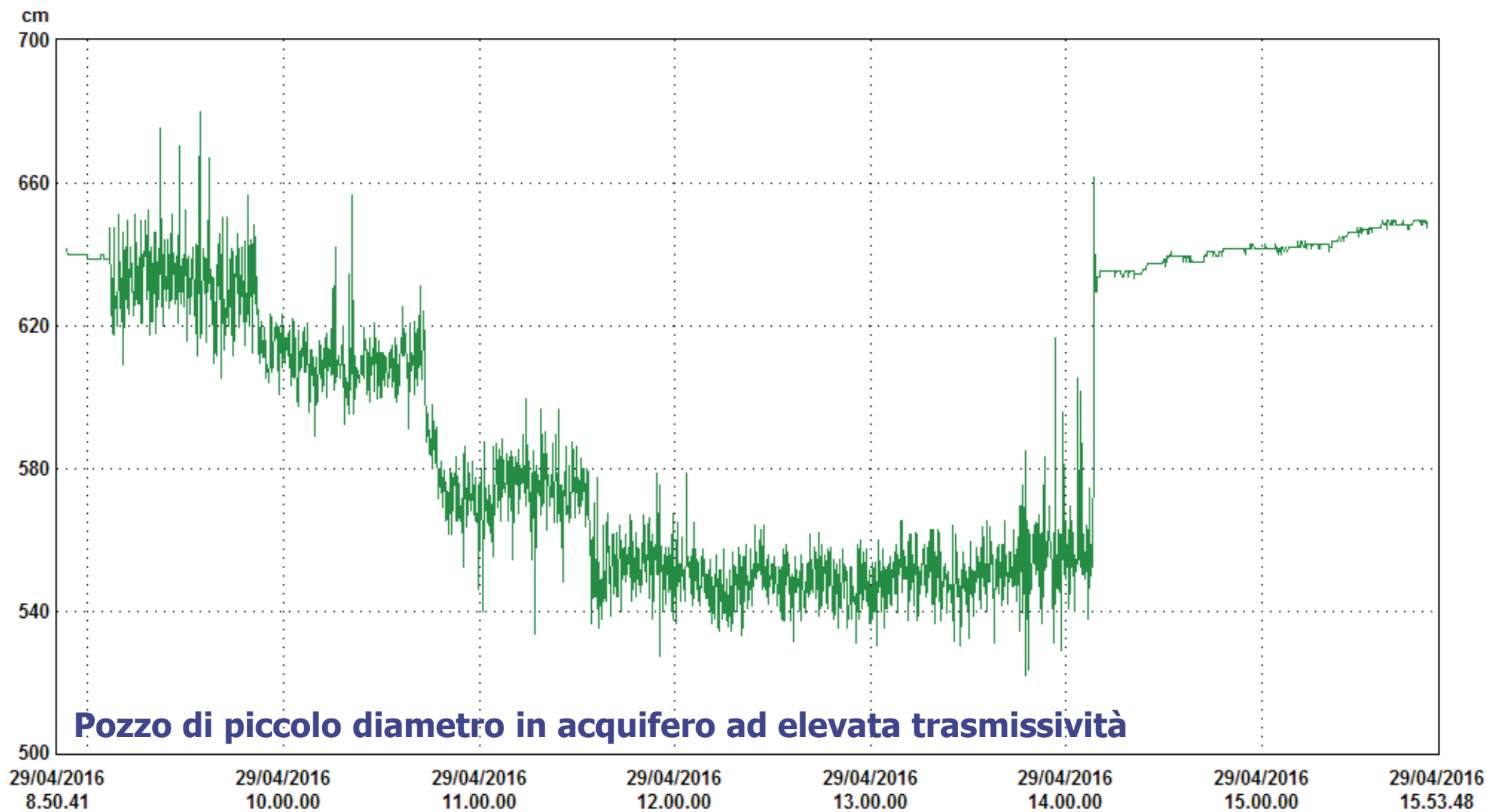


cronometro



Contatore elettronico

Curva caratteristica – importanza della strumentazione di registrazione dei livelli



Pozzo di piccolo diametro in acquifero ad elevata trasmissività

29/04/2016 8.50.41 29/04/2016 10.00.00 29/04/2016 11.00.00 29/04/2016 12.00.00 29/04/2016 13.00.00 29/04/2016 14.00.00 29/04/2016 15.00.00 29/04/2016 15.53.48

1 hour/div 07.03.07 (dd/MM/yyyy H.mm.ss)

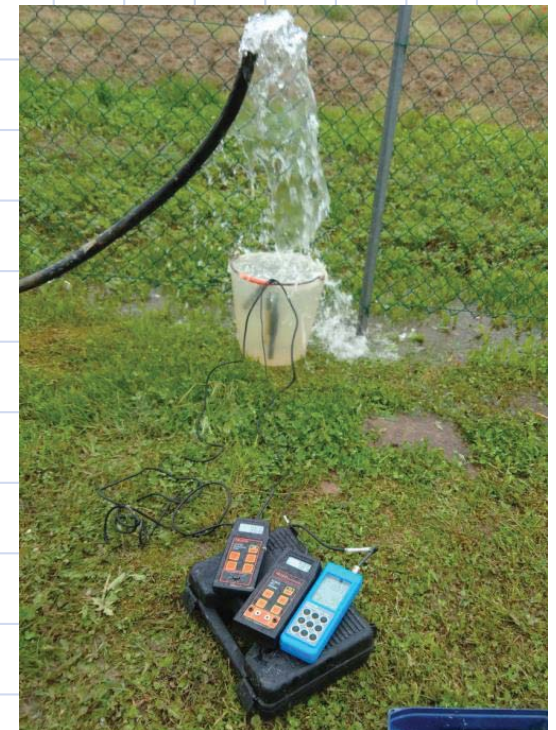
Graph file: D:\lavoro\Zangheri\Dueville\Grafico.spg

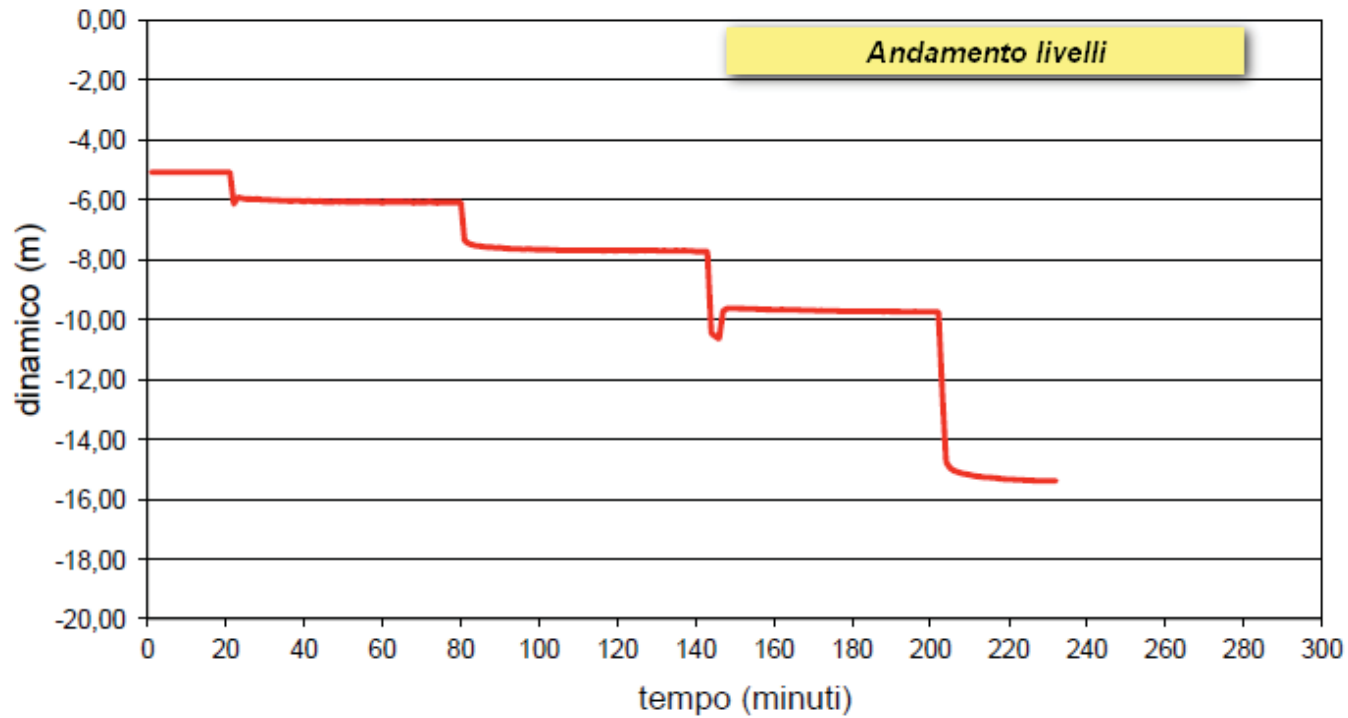
LN Serial# CH Units Description Logger file

Logger description

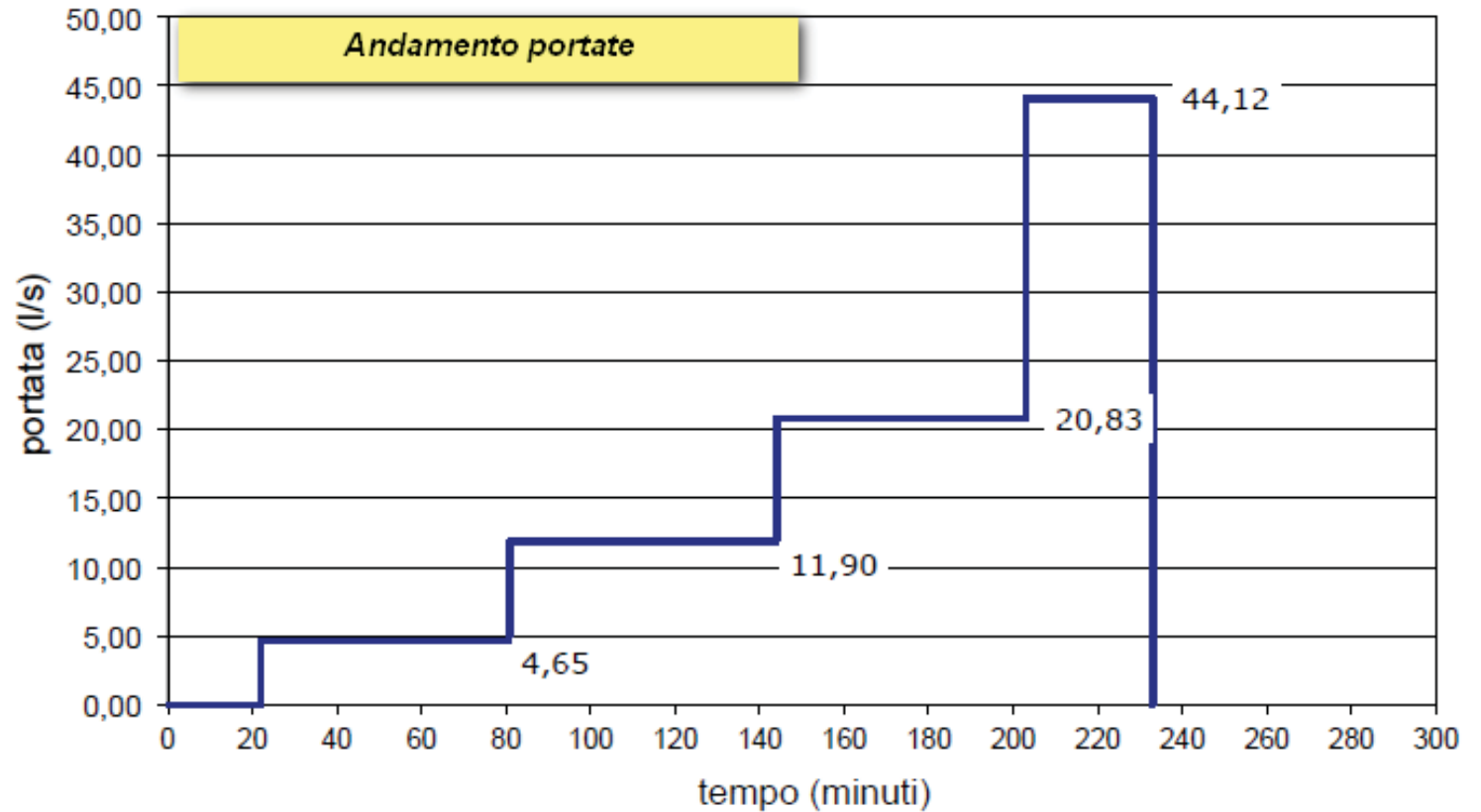
Prova a gradini di portata – misura di parametri integrativi

Ad esempio: temperature – conducibilità elettrica – pH – Redox...



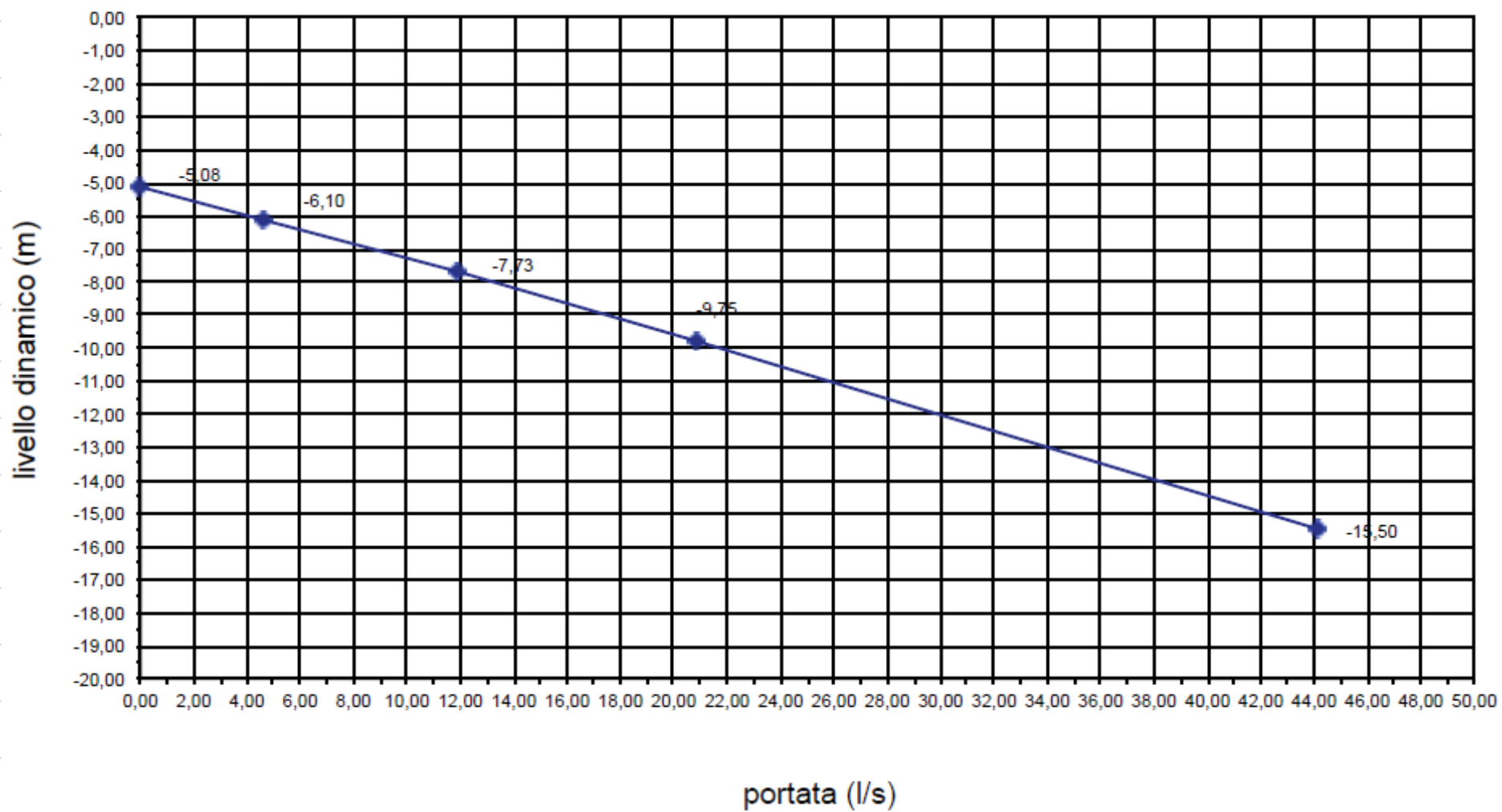


**Curva
caratteristica –
come si ottiene**

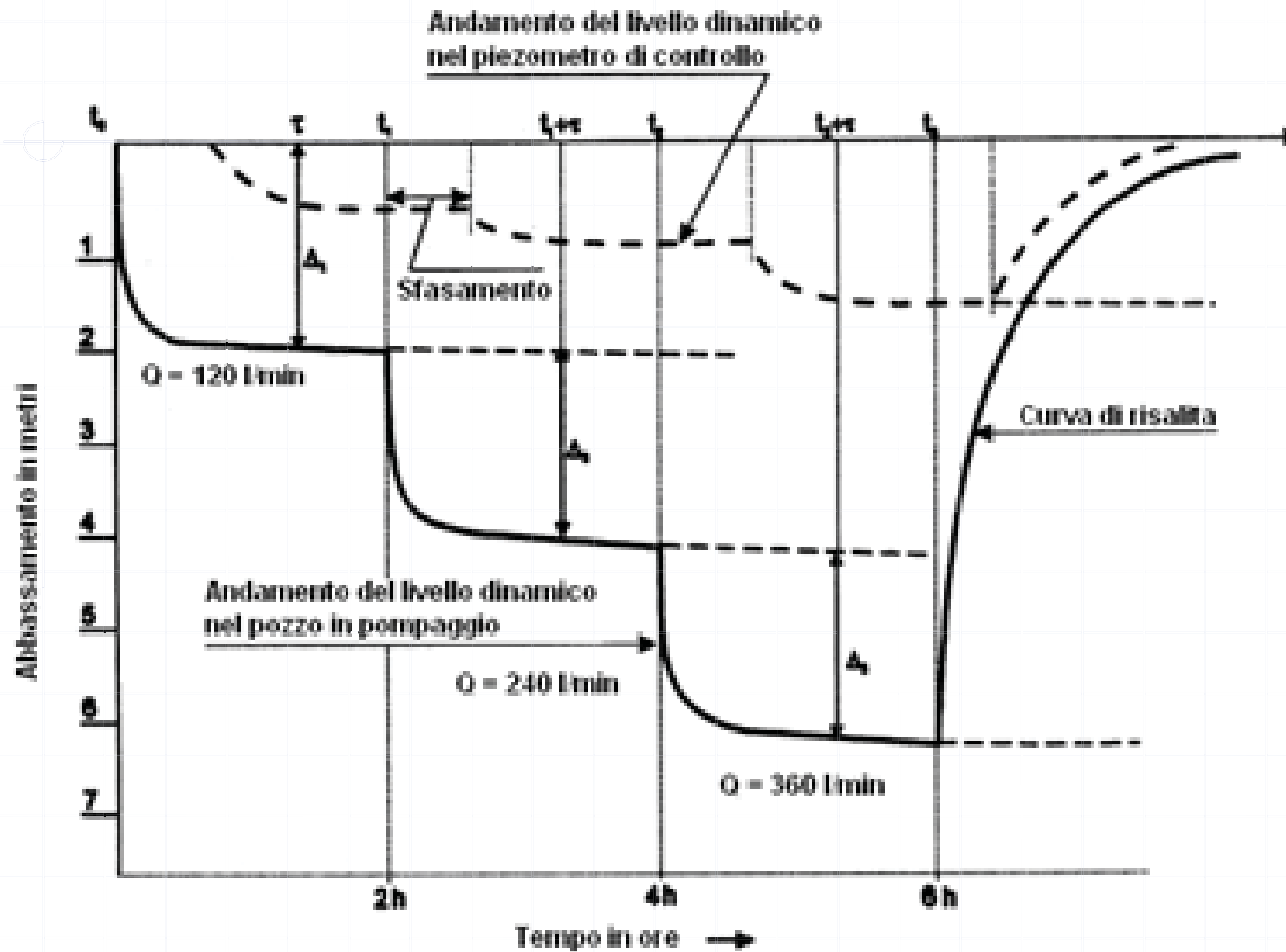


Curva caratteristica – come si ottiene

Curva caratteristica



Curva caratteristica – come si ottiene



t : durata del gradino di pompaggio
 τ : intervallo di lettura delle depressioni
di ogni gradino di pompaggio

Progettazione della prova di pozzo - elementi da indicare in progetto

Elementi da precisare che:

- incidono sulla qualità
- incidono sul costo

ATTIVITA'	Geologia "nota"	Geologia non "nota"
Condizioni precedenti alla prova	X	
Numero dei gradini	X	X
Portata singoli gradini	X	
Durata dei singoli gradini	X	
Modalità di esecuzione delle misure	X	X
Modalità di allontanamento/gestione delle acque emunte	X	X
Eventuali prove di lunga durata e l'utilizzo di piezometri	X	X

Progettazione della prova di pozzo - elementi da indicare in progetto

Esempi

ATTIVITA'	
<i>Condizioni precedenti alla prova</i>	completamento delle operazioni di spurgo; pozzo a riposo da almeno 24 ore; verifiche piezometriche antecedenti la prova
<i>Numero dei gradini</i>	almeno 4 con un optimum di 6
<i>Portata singoli gradini</i>	portata crescente con incrementi lineari
<i>Durata dei singoli gradini</i>	in grado di dare un livello pseudo-stabilizzato (eventuale riequilibrio tra i gradini)
<i>Modalità di allontanamento/gestione delle acque emunte</i>	importante in particolare per acquiferi non confinati
<i>Altri dispositivi di prova</i>	valvola di fondo, diametri...
<i>Eventuali prove di lunga durata</i>	tempi, percentuale di risalita da recuperare...

Il progetto del pozzo deve quindi comprendere la progettazione della prova di pompaggio a gradini di portata

Art. 57

PROVA DI PORTATA FINALE

L'Appaltatore predisporrà in pozzo una pompa delle caratteristiche (portata e prevalenza) pari o superiori a quelle indicate in progetto ed eventualmente confermate dopo lo sviluppo.

L'impianto di sollevamento sarà completo della pompa, della tubazione di mandata dell'avviatore elettrico. della tubazione per l'allontanamento dell'acqua dal pozzo al più vicino ricettore di acque superficiali.

L'Appaltatore dovrà altresì predisporre un adeguato e preciso sistema di misurazione della portata, di regolazione della portata, di misurazione del livello in pozzo agevolato da un tubo piezometrico del DN 40 fino alla pompa.

Il compenso per la prova di portata si intende comprensivo del noleggio del generatore di corrente e l'assistenza necessaria.

Il progetto del pozzo deve quindi comprendere la progettazione della prova di pompaggio a gradini di portata

PROVE DI PORTATA E COLLAUDI (Cap 12)							
11 12.001	Allestimento della pompa sommersa con tubazione di mandata affiancata da un piccolo tubo destinato ad agevolare la discesa della sondina per la misura del livello; la saracinesca per la regolazione del flusso, un sistema di misura di portata, la tubazione di scarico fino al ricettore idoneo più vicino (max m 50)					1,00	
	SOMMANO n.					1,00	1'800,00
12 12.002.3	Prova di emungimento del pozzo eseguita mediante l'utilizzo dell'impianto di pompaggio e misura sopra descritto nonché il noleggio di un gruppo elettrogeno di adeguata potenza, i carburanti e lubrificanti, l'assistenza per il corretto funzionamento delle macchine. per pompa da Kw 80 e generatore					8,00	
							1'800,00

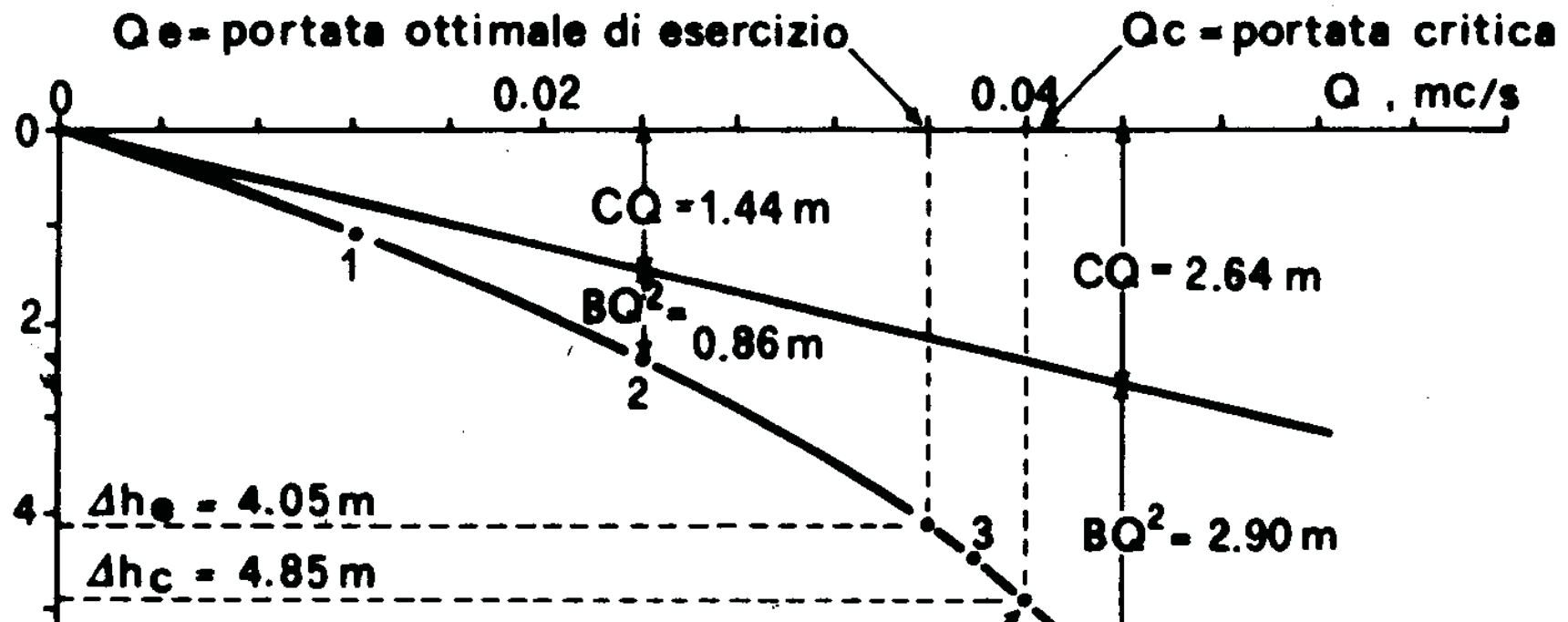
Perché è così importante la curva caratteristica?

- 1. E la "carta d'identità" dell'opera.**
- 2. Valuta l'efficienza del pozzo in funzione della portata**
- 3. Permette la scelta corretta della pompa e della portata di esercizio in relazione alla "portata critica"**
- 4. Necessaria per verifiche successive (sviluppi ed intasamenti) e programmare i lavori di manutenzione**
- 5. Caratterizzare l'acquifero ??????**

"La curva caratteristica è un documento fondamentale. Eseguita al tempo del collaudo del pozzo, è una vera scheda di identificazione che deve figurare obbligatoriamente nel dossier dell'opera. Essa sarà utilizzata, ulteriormente, per rilevare i miglioramenti (sviluppi) o i peggioramenti (intasamento), seguiti allo sfruttamento dell'opera (invecchiamento)."

1. Curva caratteristica

Portata critica: *livello del prelievo idrico oltre il quale si innescano fenomeni di moto turbolento, e di conseguenza abbassamenti in pozzo, così elevati da non essere più sostenibili dal complesso acquifero-opera di captazione*



1. Curva caratteristica

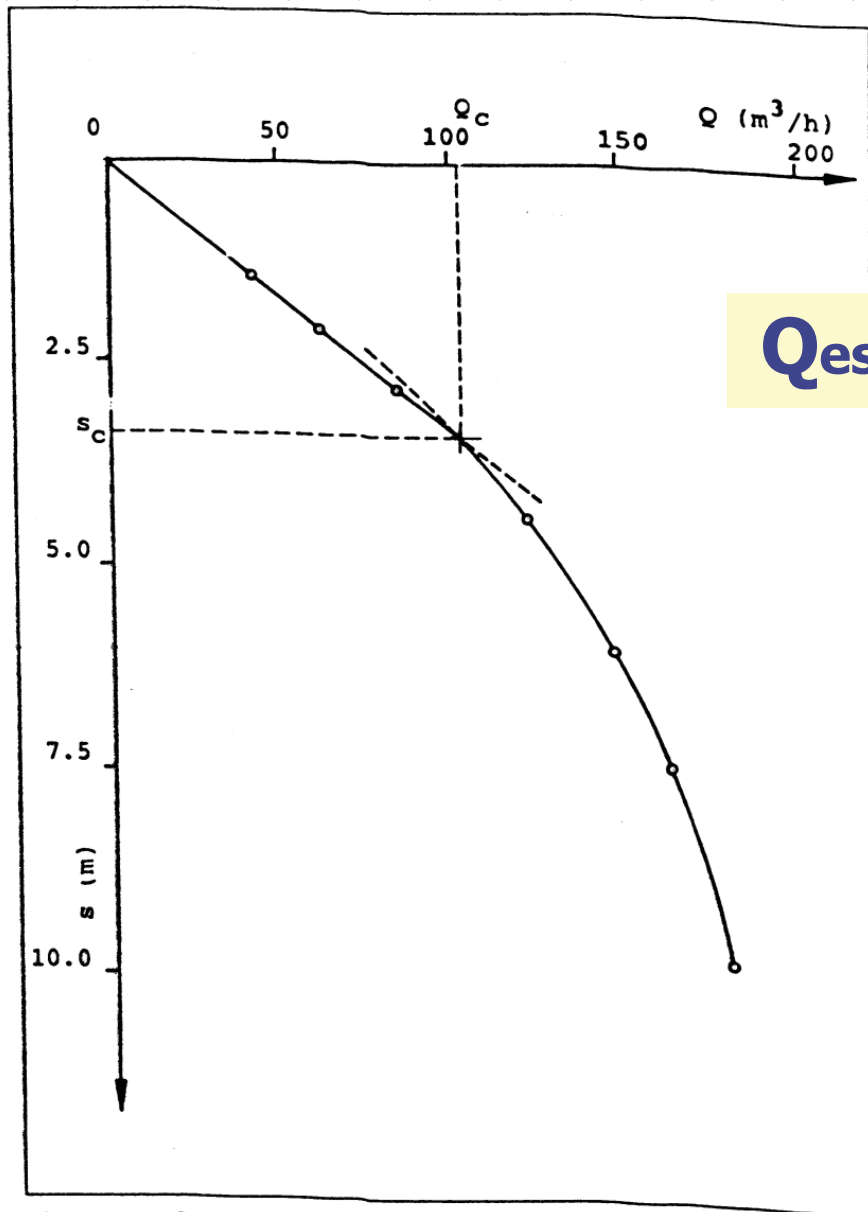


Figura 5.56. Curva caratteristica e portata critica Q_c di un pozzo in falda confinata.

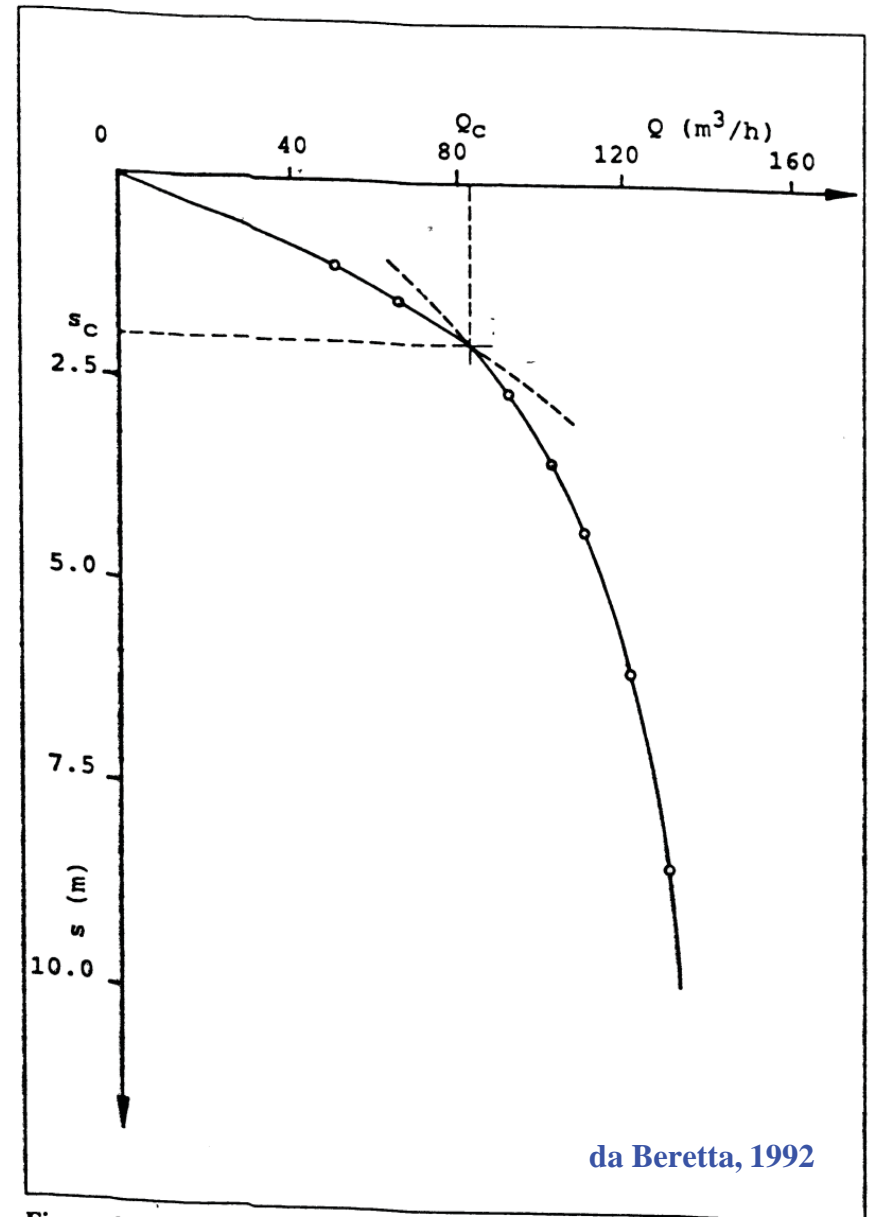


Figura 5.57. Curva caratteristica e portata critica Q_c di un pozzo in falda libera.

1. Curva caratteristica

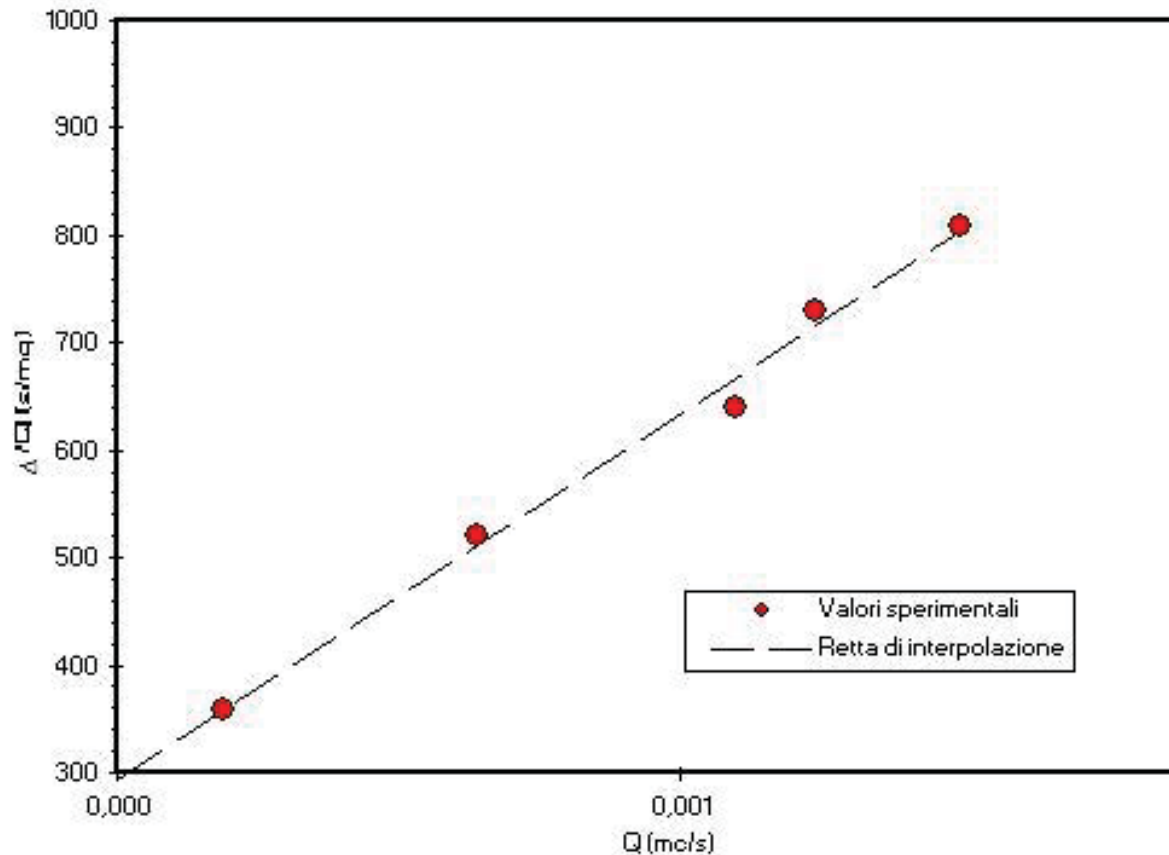
ELABORAZIONE DELLE PROVE DI POZZO

Prova su pozzo singolo a gradini di portata

Ricavare l'abbassamento per ogni gradino

Ricavare il Δ/Q per ogni gradino

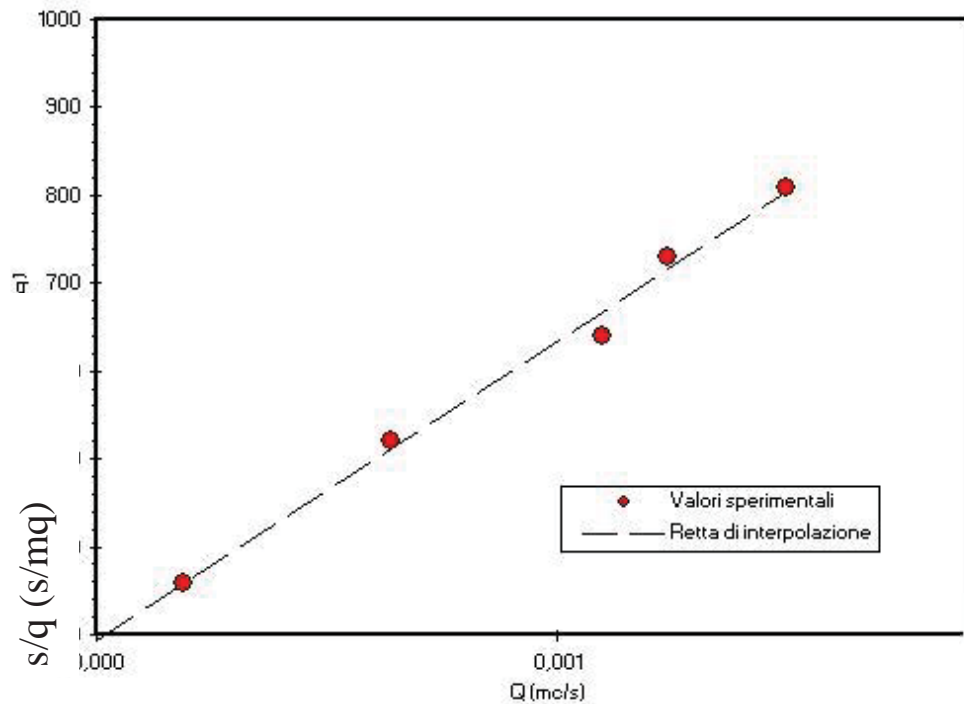
Ricavare l'equazione della retta di regressione lineare (retta di interpolazione)



$$\Delta = \mathbf{B}Q + \mathbf{C}Q^2$$

intercetta pendenza

1. Curva caratteristica

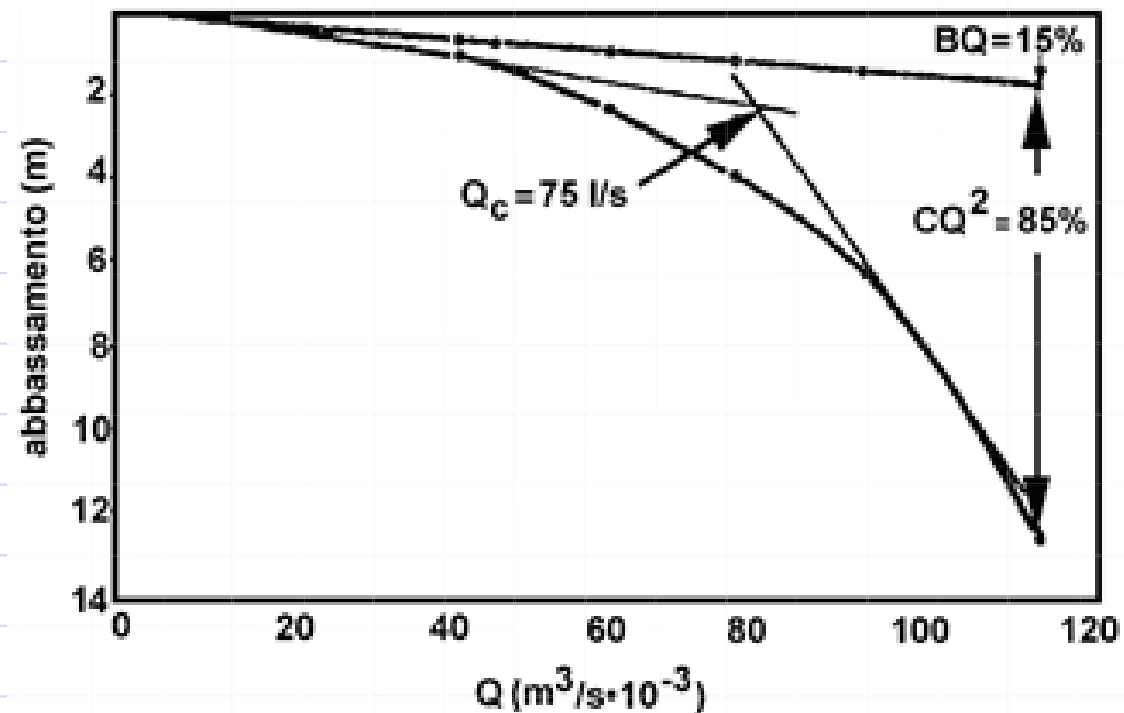


$$\Delta = BQ + CQ^2$$

intercetta

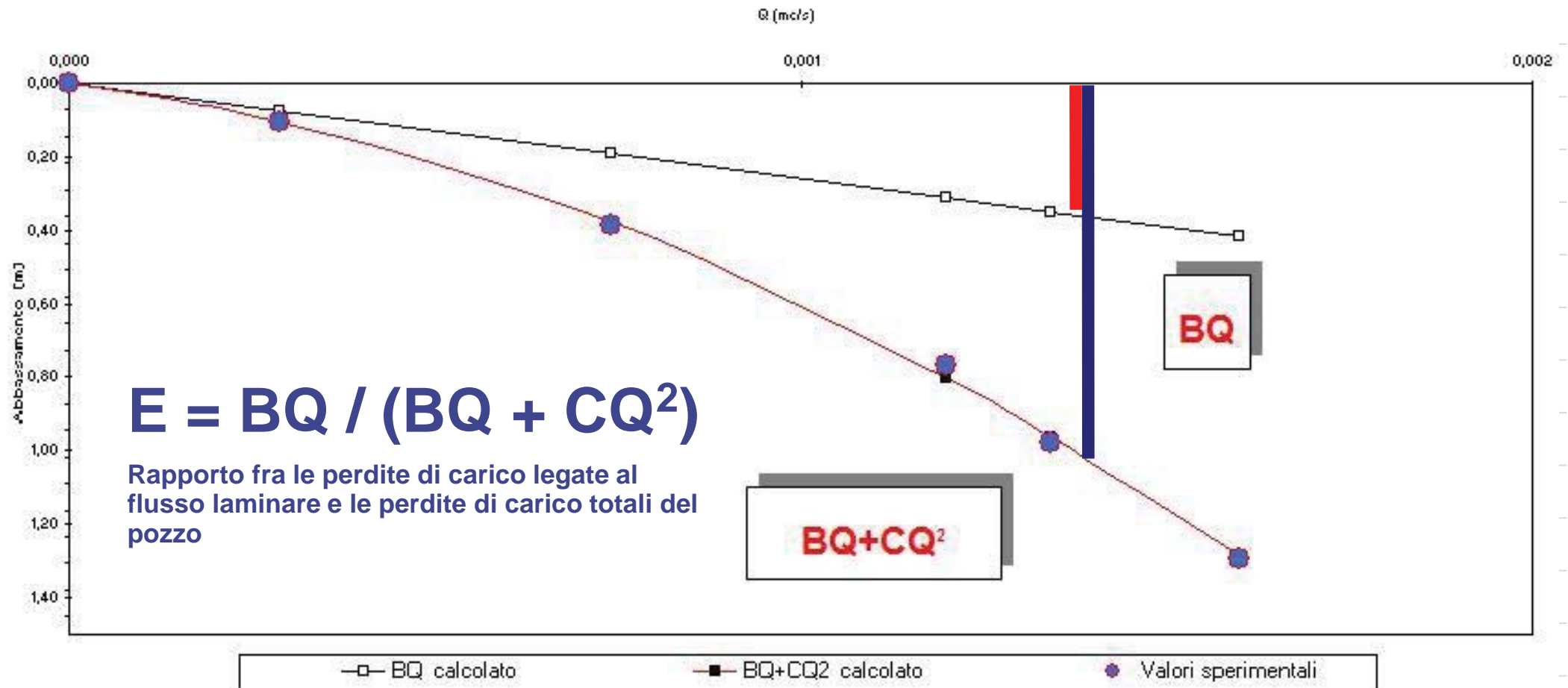
pendenza

CURVA CARATTERISTICA DEL POZZO



2. Curva caratteristica ed efficienza del pozzo

CURVA CARATTERISTICA DEL POZZO



2. Efficienza del pozzo

(in funzione della portata)

$$E = BQ / (BQ + CQ^2)$$

Non è quindi un valore che in assoluto fornisce necessariamente il "grado di qualità" con cui è stato svolto il lavoro da parte della ditta di perforazione ma è piuttosto un dato utile a definire le condizioni di utilizzo del pozzo

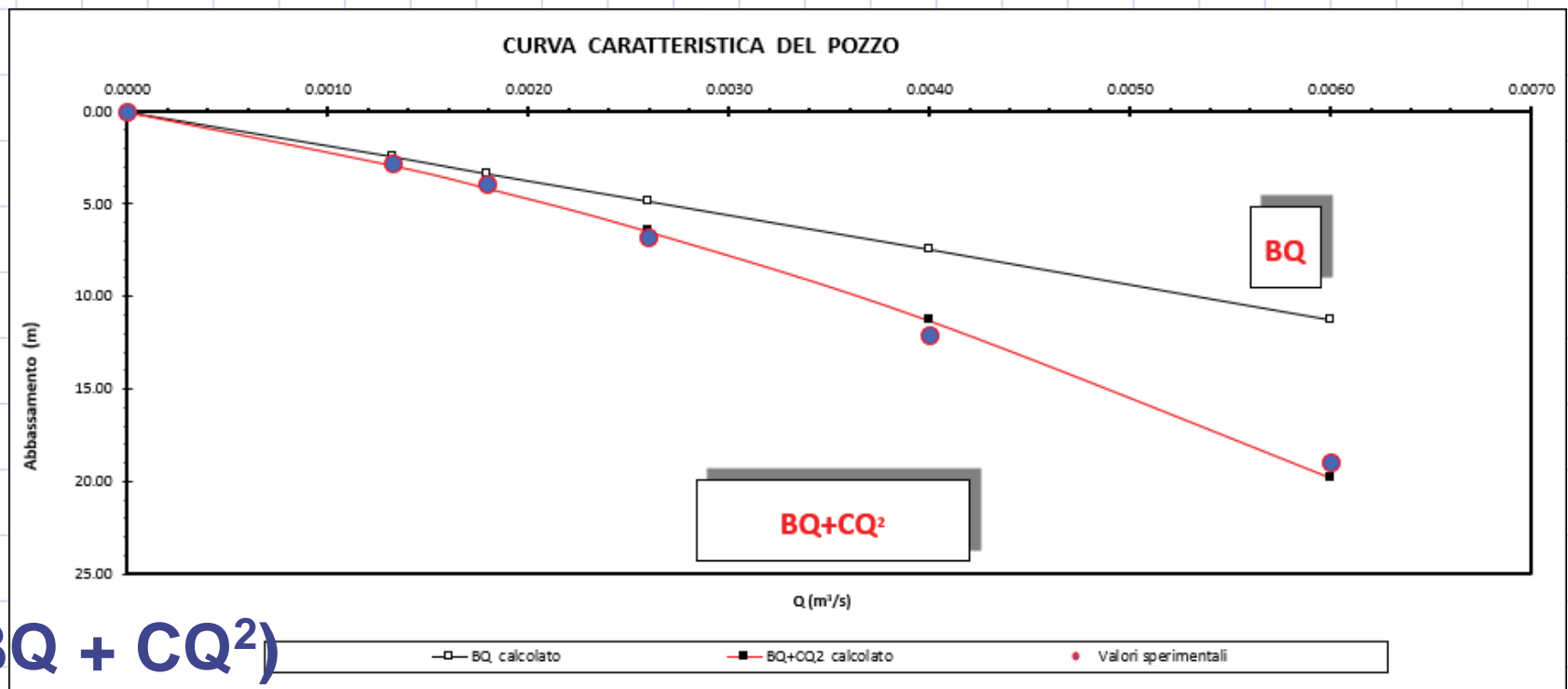
Il raggiungimento di una predefinita efficienza per una predefinita portata dovrebbe essere indicata in capitolato solo nel caso di condizioni idrogeologiche ben conosciute o per confrontare diverse soluzioni progettuali

2. Efficienza del pozzo

(in funzione della portata)

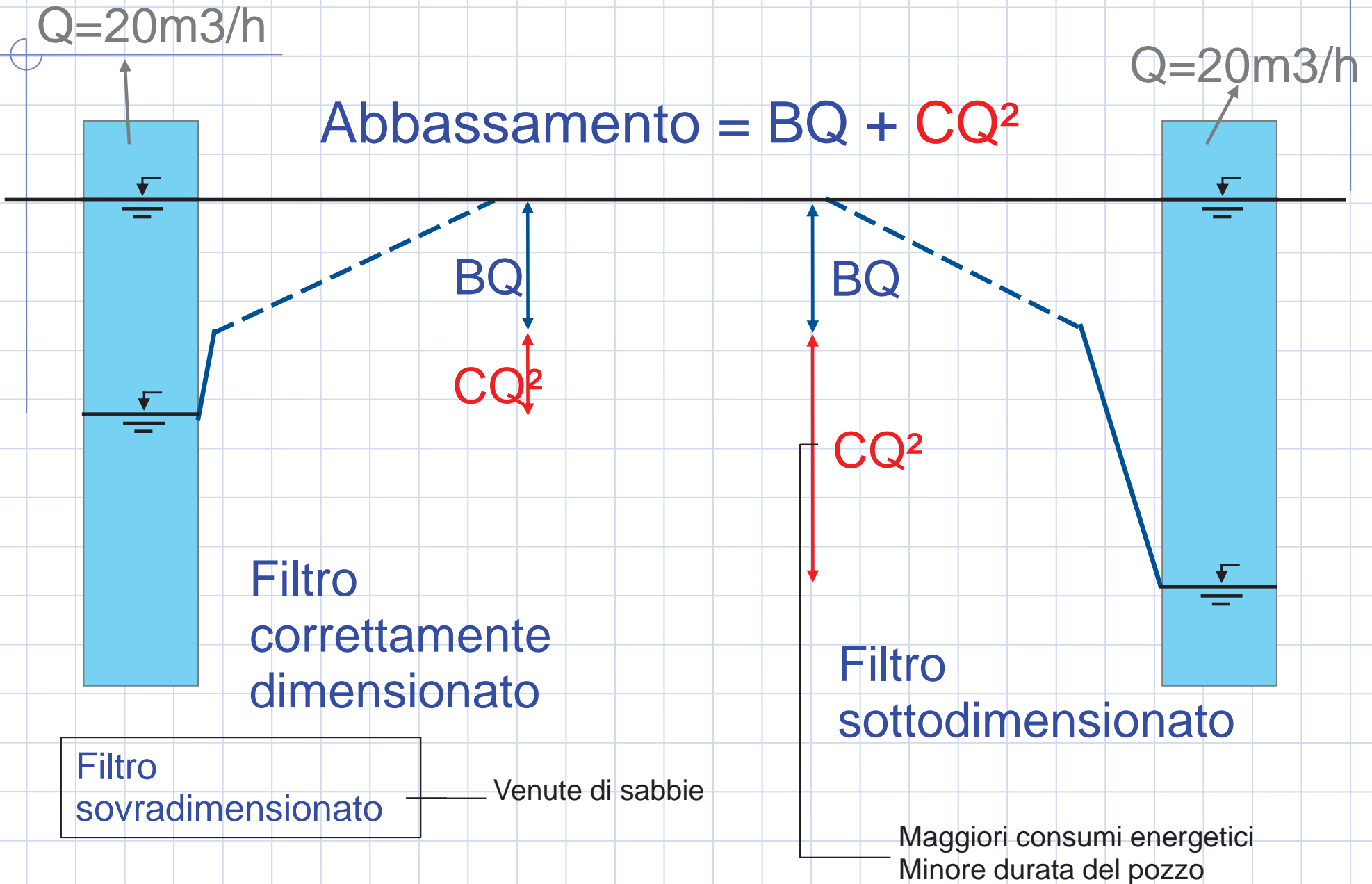
Gradino	W.E	Q	Abbassam.
	(%)	(l/s)	(m)
Step 1	85.6%	1.3	2.82
Step 2	81.5%	1.8	3.94
Step 3	75.3%	2.6	6.82
Step 4	66.4%	4.0	12.11
Step 5	56.9%	6.0	18.99

<65% non
accettabile



$$E = BQ / (BQ + CQ^2)$$

2. Efficienza del pozzo

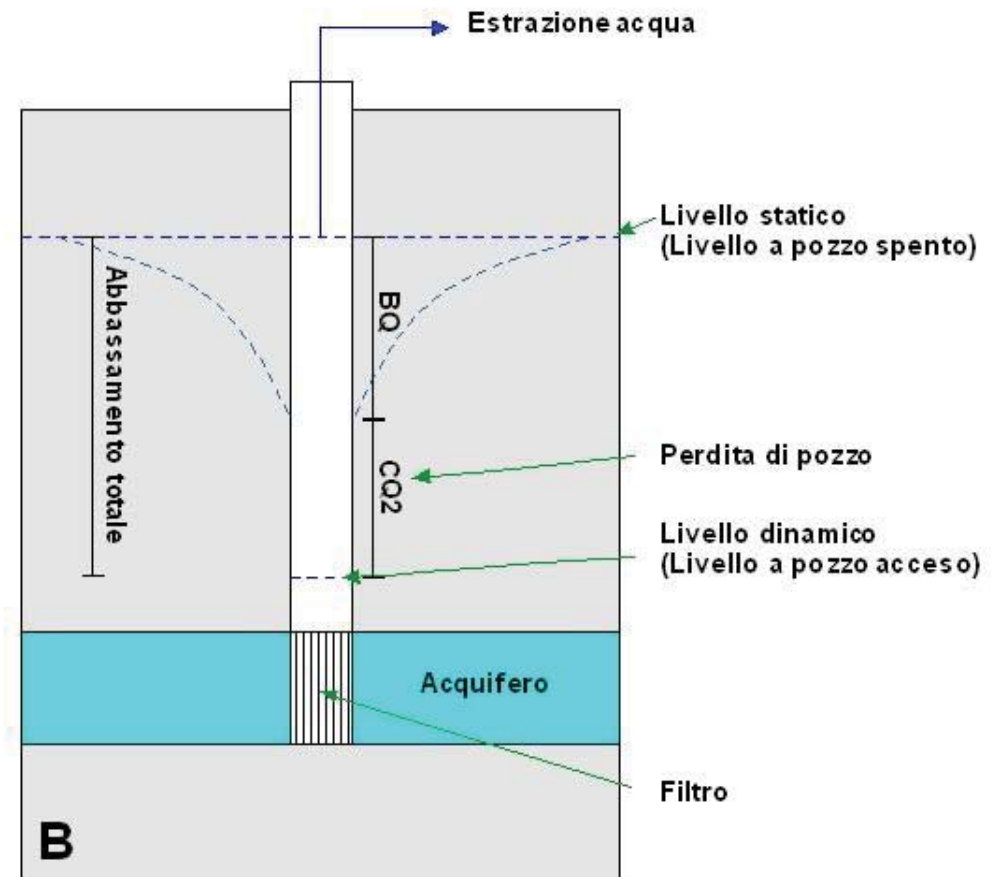
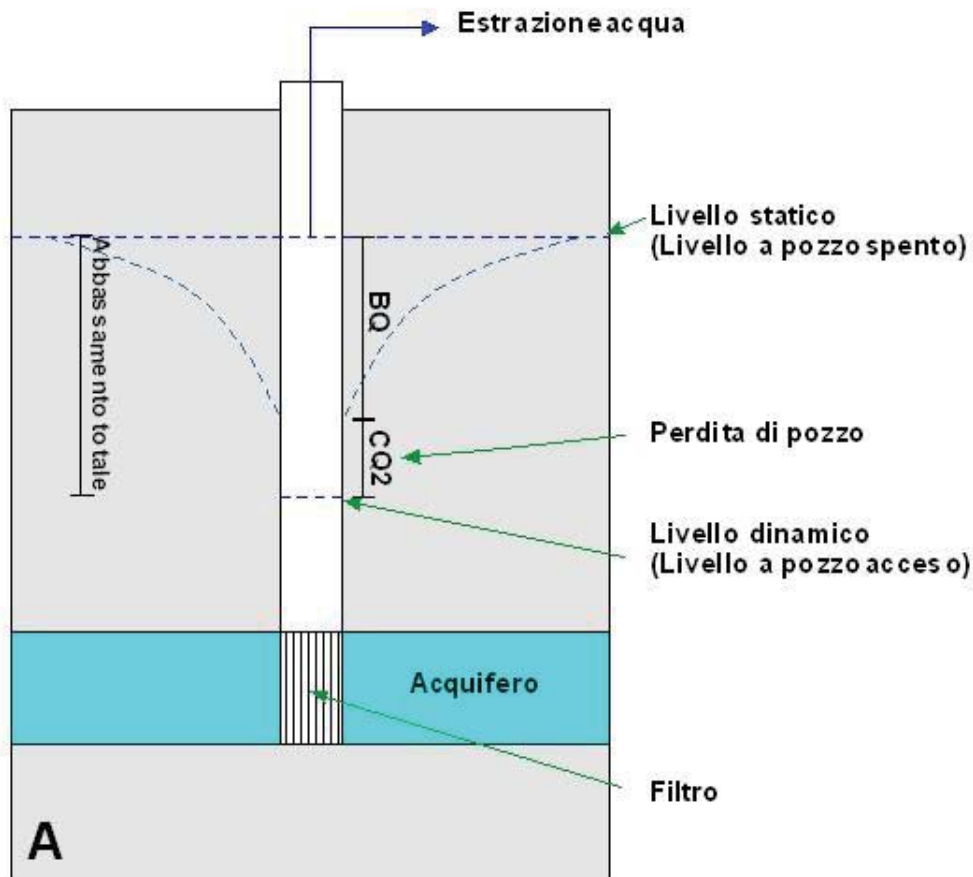


2. Efficienza del pozzo

$$s = BQ + CQ^2$$

Nella scelta e messa in opera del filtro devo cercare di minimizzare il valore di CQ^2

(ovvero aumentare l'efficienza del pozzo) tenendo conto della possibile perdita di efficienza nel tempo



$>CQ^2 = > \text{costo}$

3. Efficienza del pozzo

(in funzione della portata)

Indice di turbolenza

(Gorla, 2004)

$$T.I. = (CQ^2 / s) 100$$

APPENDICE H EFFICIENZA (informativa)

Il criterio di valutazione dell'efficienza del pozzo denominato metodo dell'indice di turbolenza (Turbulence Index Method - T.I.M.) si basa sul calcolo di un indice di turbolenza TI , che è calcolato mediante l'equazione H.1:

$$TI(\%) = 100 \times (C \times Q^n) / S \quad (H. 1)$$

dove:

- C è il fattore delle perdite di carico per moto turbolento, espresso in $[s^2/m^5]$, il cui valore si ricava come coefficiente angolare della retta relativa al diagramma $S/Q - Q$ [l] oppure tramite la formula di Castany [2];
- n è l' esponente delle perdite di carico in regime turbolento, assunto pari a 2;
- Q è la portata del pozzo, espressa in $[m^3/s]$, ossia il volume di acqua estratta nell'unità di tempo, misurabile mediante gli usuali sistemi di cantiere (vasca di volume noto, flussi metro, contatore Woltmann ecc.);
- s è l'abbassamento rilevato in pozzo, espresso in metri, ovvero la differenza tra il livello statico, con pozzo a riposo, ed il livello dinamico, con pompa in esercizio.

Il prospetto H.1 fornisce i valori di TI per la valutazione dello stato del pozzo.

3. Efficienza del pozzo

(in funzione della portata)

Indice di turbolenza

(Gorla, 2004)

$$T.I. = (CQ^2 / s) 100$$

Valori di T.I. (%)	Valutazione
<10	Perdite per flusso turbolento fortemente ridotte; pozzo molto efficiente
11 - 20	Perdite per flusso turbolento limitate; pozzo efficiente
21 - 30	Perdite per flusso turbolento apprezzabili; pozzo discretamente efficiente
31 - 50	Perdite per flusso turbolento sensibilmente elevate; pozzo ai limiti dell'efficienza; possibile necessità di rispurgare il pozzo per tentare di abbassare il 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

3. Efficienza del pozzo

Indicazioni norme UNI

Nell' esecuzione della prova si deve tenere presente che:

- a) la prova di portata deve essere realizzata effettuando almeno 4 gradini di portata;
- b) il primo gradino di portata deve essere dimensionato sia in termini volumetrici sia di portata;
- c) se la curva $T.I. - Q$ ha un andamento di tipo sinusoidale, ossia con due massimi separati da un valore più basso di tale indice, il collaudo è da ritenersi poco affidabile (per esempio, per un'insufficiente durata degli step di emungimento).

3. Efficienza del pozzo

Valutazione in funzione del parametro C (Walton)

Valore di C (s^2/m^5)	Valutazione
< 2000	Pozzo efficiente, ben sviluppato
2000 - 4000	da leggermente inefficiente a mediocre
4000 - 14000	decisa inefficienza; pozzo intasato o deteriorato
> 14000	Pozzo gravemente inefficiente; non recuperabile

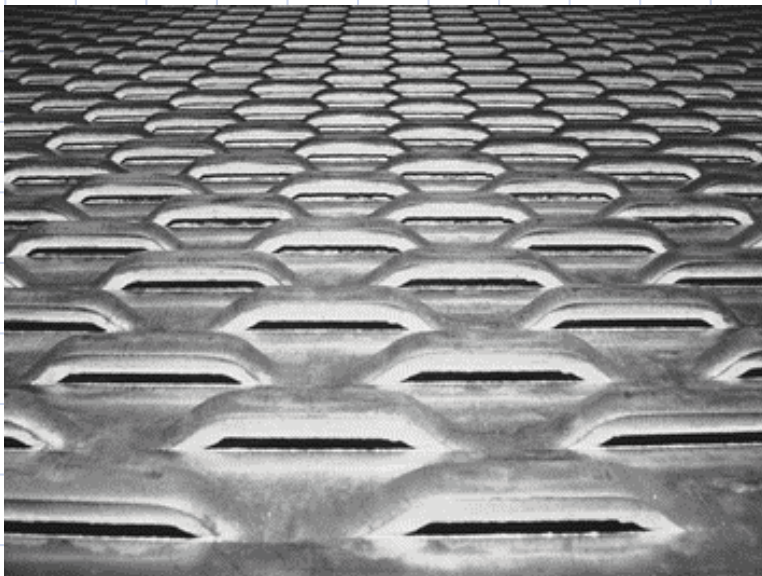
3. Efficienza del pozzo

Bassa efficienza alla portata prevista (se non dipende dalle condizioni geologiche) è teoricamente dovuta a:

- 1. errata progettazione**
- 2. errata realizzazione**
- 3. insufficiente sviluppo**

3. Elementi che influenzano l'efficienza

- **Filtro**
- **Dimensionamento del pozzo**
- **Stato di manutenzione del pozzo**



Portata di un filtro

$$Q_f = \pi \cdot D \cdot F \cdot 0,030 \cdot 3600$$

dove:

Q_f = portata per metro lineare (m^3/h)

D = diametro esterno filtro (m)

F = coefficiente di apertura

$$Q = Q_f \cdot C_r$$

C_r = coefficiente di riduzione (0,50-0,75)

3. Scelta della pompa

PROCEDURA

realizzazione di una prova di pozzo a gradini di portata ("prova di pozzo") mediante l'utilizzo di una pompa provvisoria (o, in casi semplici, definitiva);

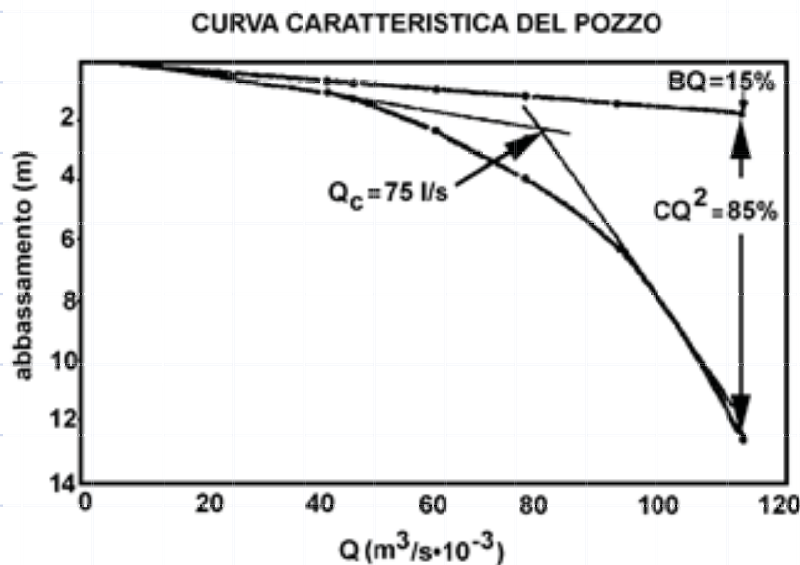
definizione sperimentale della curva caratteristica con la determinazione della "portata critica" e il calcolo dell'efficienza in funzione della portata;

scelta o verifica della tipologia di pompa (portata di picco e di esercizio) e della profondità di installazione.

3. Scelta corretta della pompa e della portata di esercizio in relazione alla "portata critica"

La portata di picco deve essere minore della portata di esercizio (evitare "overpumping")

La portata di esercizio deve garantire "elevati" valori di efficienza (valutazione costi-benefici)



$$Q_{es} < Q_c$$

3. Scelta corretta della pompa e della portata di esercizio in relazione alla “portata critica”

Overpumping

- Incremento dei tassi di corrosione, incrostazione e biofouling
- trascinamento di particelle fini in foro, con progressiva occlusione delle tratte filtranti e quindi con rapido declino della produttività del pozzo;
- Aumento del grado di compattazione dei sedimenti costituenti la falda oggetto del pompaggio

Il fenomeno viene accelerato quando i filtri, anche per brevi periodi, risultano “scoperti”.

3. Scelta corretta della pompa e della portata di esercizio in relazione alla "portata critica"

CONSUMO ELETTRICO

- CAS n°1 :

- 48 318 Kwh/year with SP60-7

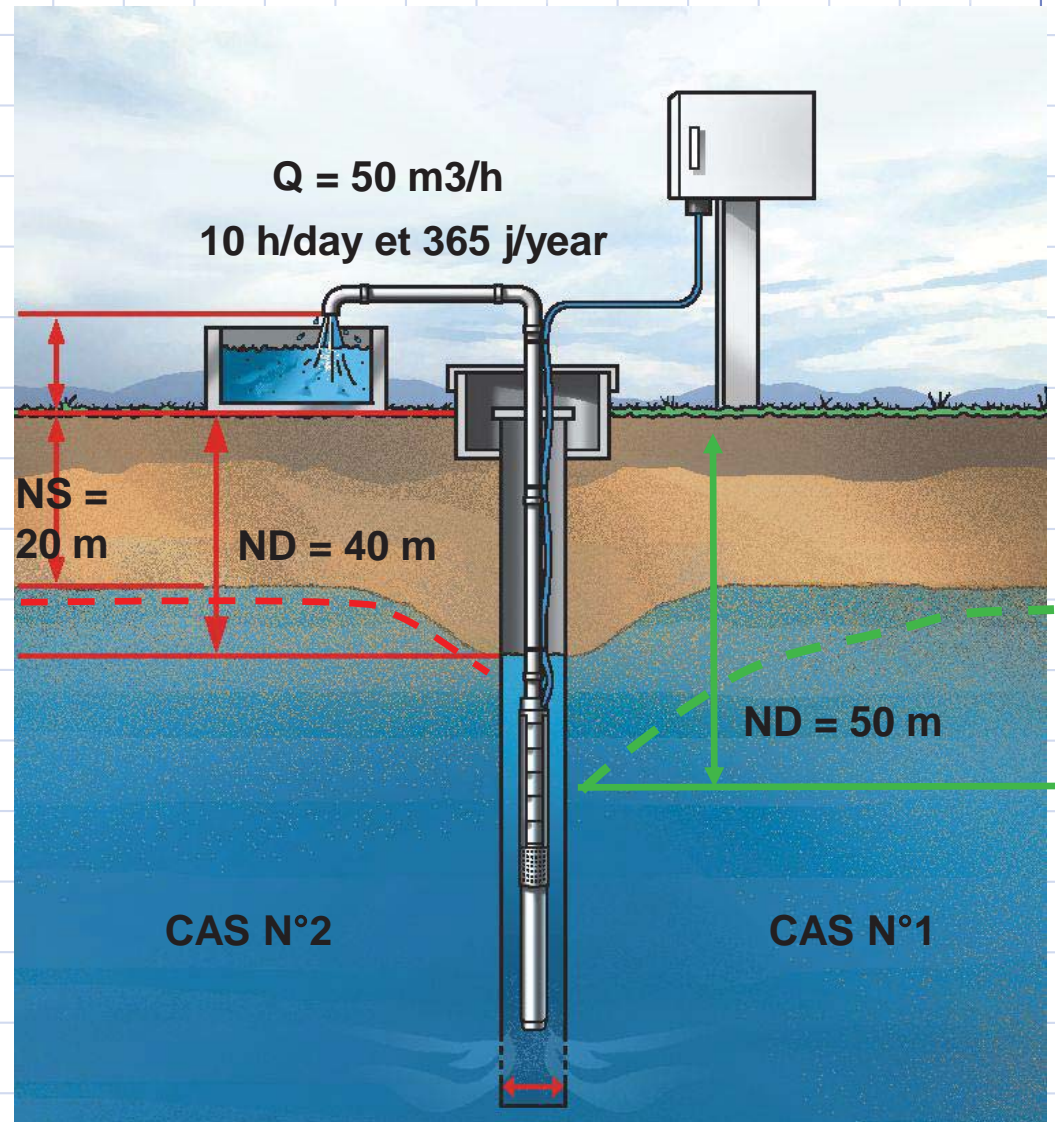
- CAS n°2 :

- 43 561 Kwh/year with SP60-7

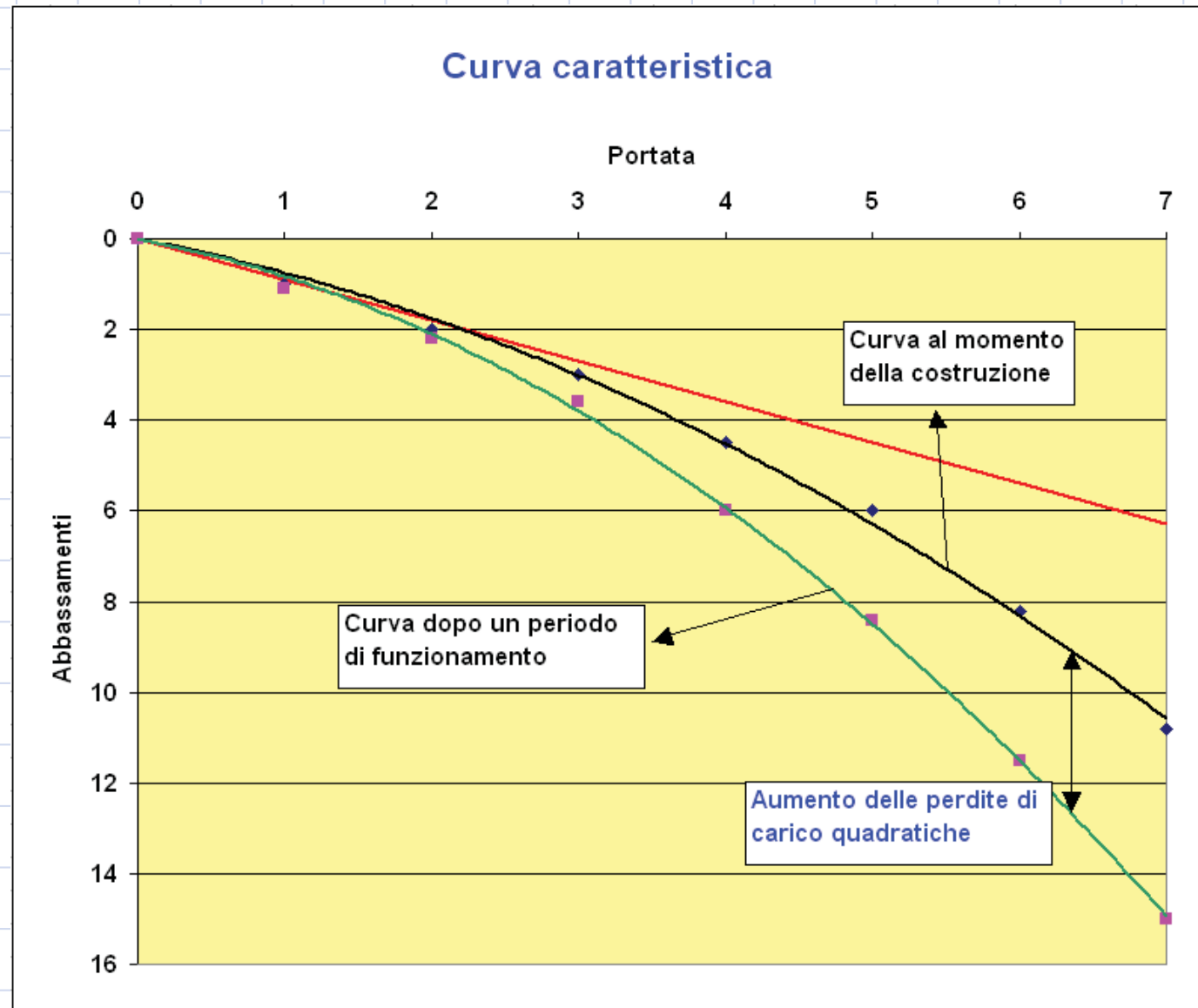
- 39 080 Kwh/year with SP60-5

Difference 10 to 20%

(Fonte: Grundfoss study)

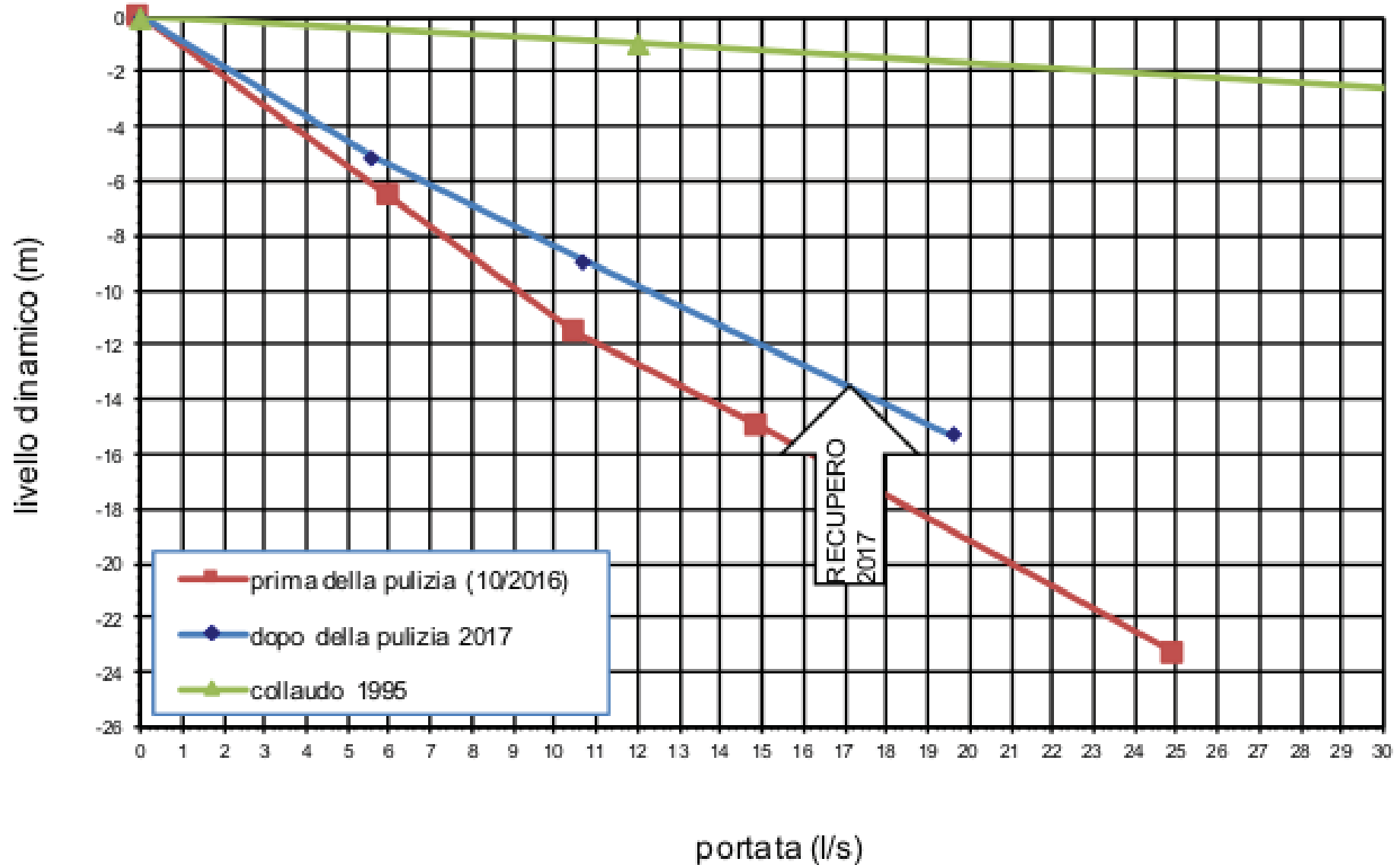


4. Curva caratteristica – valutazione nel tempo del pozzo



- **Verifica di intasamenti o sviluppi**
- **definizione di interventi di manutenzione**

4. Curva caratteristica e manutenzione dei pozzi



- Valutazione dell'opportunità di interventi di manutenzione
- Valutazione efficacia interventi di manutenzione

5. La prova a gradini di portata serve (anche) a caratterizzare l'acquifero?

No o forse si...

Formule empiriche per il calcolo della Trasmissività:

% compatibilità con prove di falda

$T=15,3*(Q/BQ)^{0,67}$	Razak, Huntley, 1991	27%
$T=22,9*(Q/BQ)^{0,66}$	Srivastav et al, 2006	38%
$T=(0,95-\ln(r)/2/\pi)*Q/BQ$	Di Molfetta, 1992	14%
$T=1,4*(Q/BQ)$	Custodio, 1983	13%
$T=1,16*(Q/BQ)$	Galofrè, 1983	11%
$T=1,22*(Q/BQ)$	Boonstra, De Ridder, 1981	11%

RELAZIONE SPERIMENTALE

Formula ricavata correlando le prove pozzo-piezometro con le prove a gradini di portata eseguite sul pozzo in pompaggio. (equazione lineare)

$$T = m \frac{Q}{\Delta} + b$$

65%

T= trasmissività (m²/s) Q= portata (m³/s) Δ= BQ = perdite di acquifero

5. La prova a gradini di portata serve (anche) a caratterizzare l'acquifero?

ELABORAZIONE DELLE PROVE DI POZZO

Prova su pozzo singolo a gradini di portata

Formule empiriche per il calcolo della Trasmissività:

% compatibilità con prove di falda

$T=15,3*(Q/BQ)^{0,67}$ Razak, Huntley, 1991	27%
$T=22,9*(Q/BQ)^{0,66}$ Srivastav et al, 2006	38%
$T=(0,95-\ln(r)/2/\pi)*Q/BQ$ Di Molfetta, 1992	14%
$T=1,4*(Q/BQ)$ Custodio, 1983	13%
$T=1,16*(Q/BQ)$ Galofrè, 1983	11%
$T=1,22*(Q/BQ)$ Boonstra, De Ridder, 1981	11%

ELABORAZIONE DELLE PROVE DI POZZO

Prova su pozzo singolo a gradini di portata

Formule empiriche per il calcolo della Trasmissività:

RELAZIONE SPERIMENTALE Formula ricavata per l'area dell'AATO laguna di Venezia (media pianura Veneta) correlando le prove pozzo-piezometro con le prove a gradini di portata eseguite sul pozzo in pompaggio. (equazione lineare)

% compatibilità con prove di falda

$$T = m \frac{Q}{\Delta} + b$$

65%

T= trasmissività (m²/s) Q= portata (m³/s) Δ= BQ = perdite di acquifero

5. La prova a gradini di portata serve (anche) a caratterizzare l'acquifero?

- **No** per determinazione rigorosa valore di T e K
- **Si** per stima preliminare ed applicando formulazioni adeguate al contesto geologico

Pozzo n°	Tipo di prova	T (m ² /s)	Tipo di prova	T (m ² /s)	S
12327	Prova di pozzo	4,4E-02			
14167	Prova di pozzo	1,9E-02	Prova di falda	3,8E-01	7,6E-04
16090	Prova di pozzo	8,5E-02			
16092	Prova di pozzo	3,5E-02	Prova di falda	5E-02	1,3E-04
16097	Prova di pozzo	6,8E-02			
16509	Prova di pozzo	2,6E-02			
16685	Prova di pozzo	4,4E-02			
18043	Prova di pozzo	9,6E-02			
18178	Prova di pozzo	9,6E-02			
18179	Prova di pozzo	6,8E-02	Prova di falda	1,8E-01	2,5E-07
18286			Prova di falda	6,4E-01	8,0E-07
4191	Prova di pozzo	2,3E-02			

5. La prova a gradini di portata serve (anche) a caratterizzare l'acquifero?

Quando non è possibile eseguire prove di falda → prove di pozzo

VANTAGGI

Possibilità di eseguire numerose prove

Possibilità di caratterizzare vaste aree

Possibilità di ripetere facilmente le prove

Tipologia di prova poco dispendiosa

SVANTAGGI

Dato approssimativo

6. Curva caratteristica: obbligo amministrativo o buona pratica?

La curva caratteristica è parte del collaudo di un pozzo

Committente

Scheda tecnica dell'opera
Limiti e modalità di utilizzo

Ditta esecutrice

"Garanzia" del lavoro svolto o dei limiti (costruttivi o derivanti dalle condizioni geologiche) dell'opera

Ente concedente

Collaudo (o Certificato di Regolare Esecuzione) dell'opera

A scopo di collaudo o di emissione del Certificato di Regolare Esecuzione (C.R.E.), la prova dovrebbe essere seguita ed elaborata da un Geologo, esterno alla ditta costruttrice, in quanto nel momento in cui certifica la prova, assume il ruolo di garante della corretta esecuzione dei lavori, sia per la ditta di perforazione, che per il committente dell'opera e gli Enti.

GRAZIE DELL'ATTENZIONE



**Prove in
pozzo**

**Palmanova
24 maggio 2019**