

La progettazione dei pozzi a norma U.N.I.  
per la salvaguardia degli acquiferi costieri;  
esperienze di ricarica



Associazione **ACQUE**  
**SOTTERRANEE**



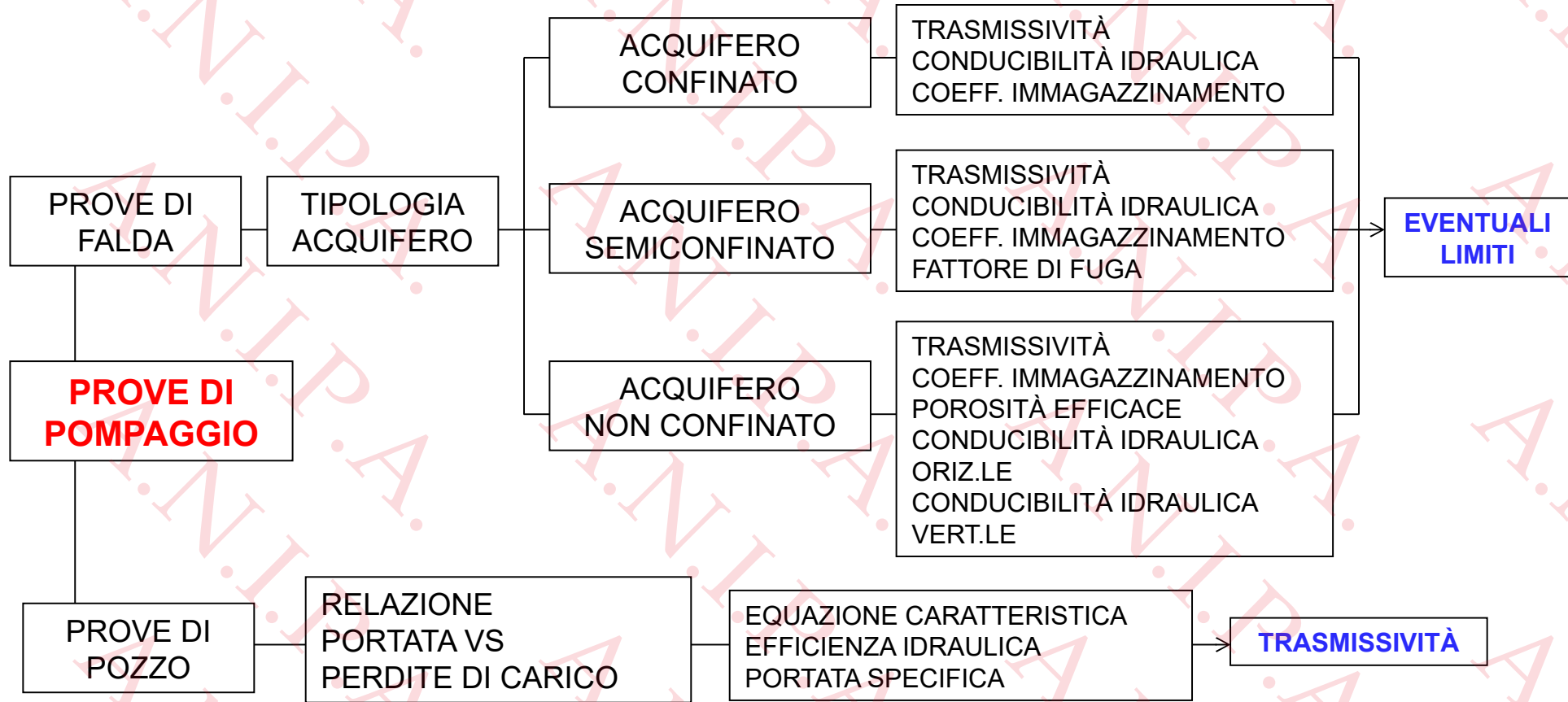
**ogt**  
ORDINE dei  
GEOLOGI della  
TOSCANA

**Gianfranco Gardenghi**

## **Le prove di pompaggio: modalità esecutive ed applicabilità**

[gfgtor@gmail.com](mailto:gfgtor@gmail.com)

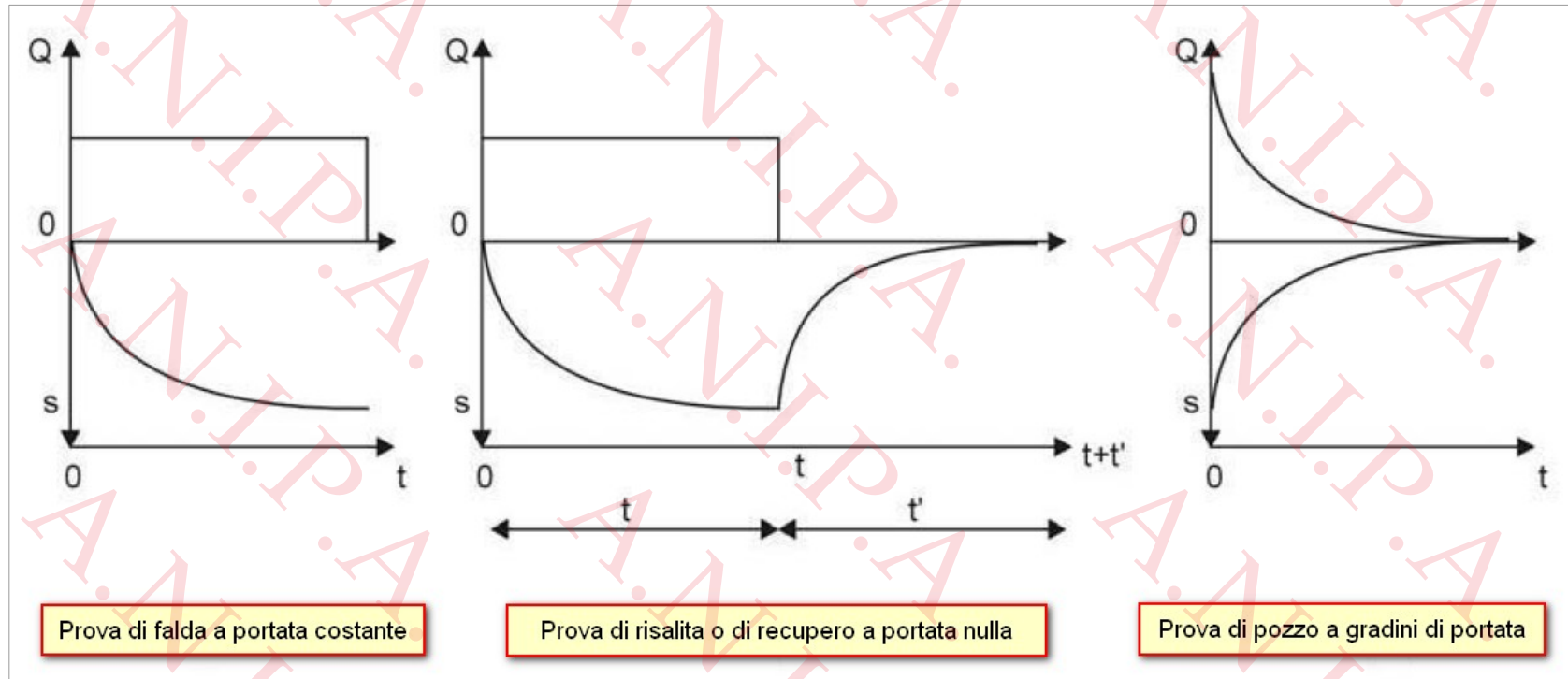
# PROVE DI POMPAGGIO E OBIETTIVI CONSEGUIBILI



# MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE PROVE

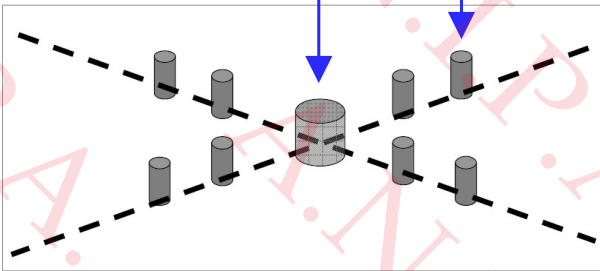
Le prove di pompaggio rappresentano lo strumento più efficace per:

- caratterizzare il **sistema acquifero** indagato
- quantificare la **produttività** di un'opera di captazione
- costituire base-dati per la realizzazione di **modelli di simulazione** del flusso idrico sotterraneo, del trasporto di contaminanti, della propagazione del calore, ecc.



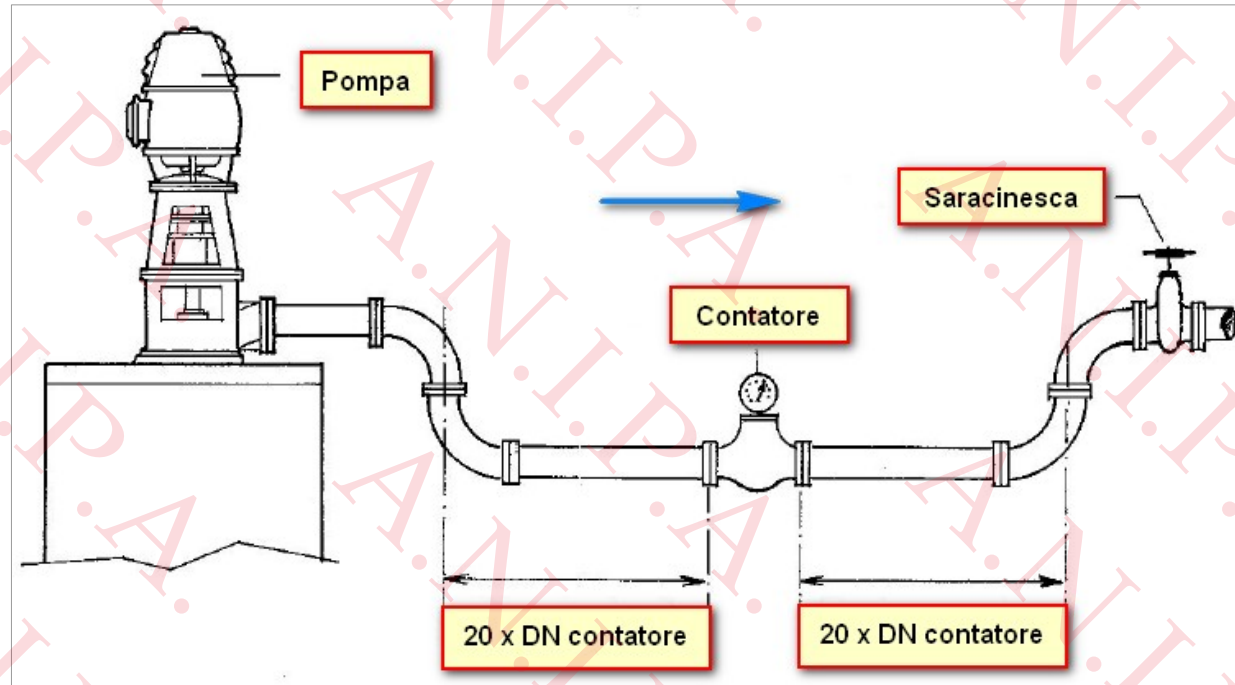
# PIANIFICAZIONE DELLE PROVE

Pozzo  
Piezometro



- Verificare l'**idoneità del sito** (generalmente già condizionato dalla presenza del pozzo) per quanto riguarda soprattutto le possibilità di allontanamento dell'acqua emunta a distanza superiore al raggio di influenza della prova per evitare che l'infiltrazione nel sottosuolo alimenti la falda influenzando il cono di depressione.
- Verificare la **presenza di disturbi** che possono influire i segnali registrati durante la prova: altri pozzi in esercizio, fonti di vibrazione (strade a forte traffico, ferrovie, ecc.).
- Se il pozzo è di nuova realizzazione, la sua progettazione dovrà ricercare la condizione di **"pozzo completo"** al fine di facilitare l'interpretazione della prova.
- Se il pozzo è preesistente o non è possibile raggiungere tale condizione per motivi tecnici o economici, è indispensabile conoscere la **geometria del completamento** per le necessarie correzioni in fase di interpretazione.
- Nel caso delle prove di falda, l'**ubicazione** dei punti di osservazione (piezometri meglio se a tubo aperto e diametro da 2-4", altri pozzi purché completati nel medesimo acquifero) deve tener conto dei limiti spaziali di acquisizione di dati significativi: **non oltre 100 m** per acquiferi non confinati, **non oltre 400 m** per acquiferi confinati.
- I punti di misura possono distare **10-20 m** dal pozzo attivo nel caso di acquiferi non confinati e **50-70 m** per gli acquiferi confinati.
- Evitare di eseguire le prove in concomitanza di forti **escursioni barometriche** (acquiferi confinati), intense **precipitazioni** o forti variazioni del **livello dei fiumi** se in prossimità di limiti alimentanti (acquiferi non confinati).
- Le prove **NON DEVONO** essere eseguite se il pozzo non è stato **sviluppato** appieno (erogazione di acqua chiara senza soluzione di continuità).

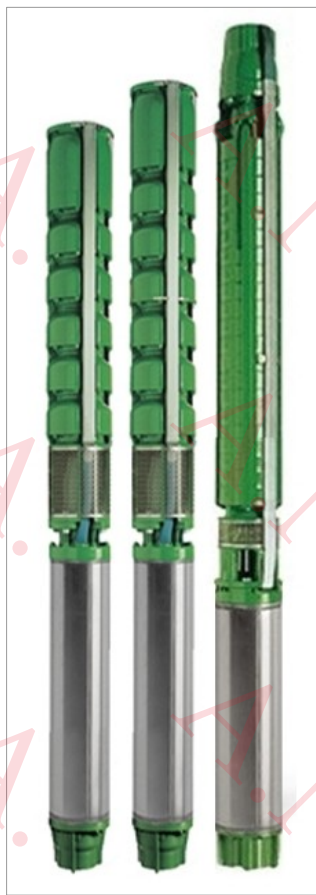
# DISPOSIZIONE DEL SISTEMA DI POMPAGGIO



- La lunghezza della tubazione a monte e a valle del contatore deve essere almeno **20 volte** il diametro dello stesso per evitare fenomeni di turbolenza.
- La saracinesca di manovra va posizionata **a valle del contatore** per avere sempre il flusso a sezione piena.

# SISTEMA DI SOLLEVAMENTO DELL'ACQUA

## Elettropompa centrifuga sommersa



Per facilitare la discesa del cavo del freatimetro è preferibile installare un apposito tubo guida.



Le testate spesso solidali con la testa pozzo non permettono la discesa del freatimetro a meno di non forare il basamento.

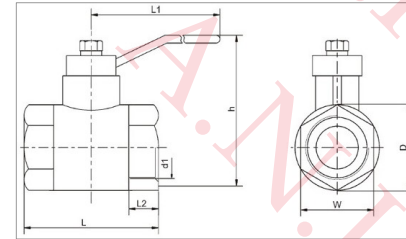


Pompa ad asse  
verticale

# MODULAZIONE DELLE PORTATE

PORTATA DELLE TUBAZIONI

DN	D int.(mm)	V (m/s)	Q (l/sec)	Q (l/min)
50	53	2,5	5,52	<b>331,2</b>
65	68,8	2,5	9,29	<b>557,4</b>
80	80,8	2,5	12,81	<b>768,6</b>
100	105,3	2,5	21,76	<b>1305,6</b>
125	130	2,5	33,16	<b>1989,6</b>
150	158,6	2,5	49,35	<b>2961</b>
200	207,3	2,5	84,3	<b>5058</b>
250	260,4	2,5	133	<b>7980</b>
300	309,6	2,5	188	<b>11280</b>

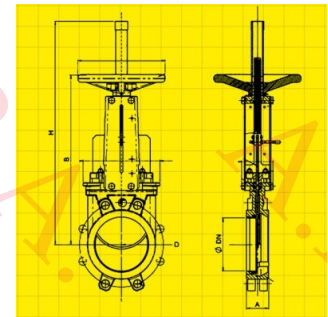


Valvola a sfera

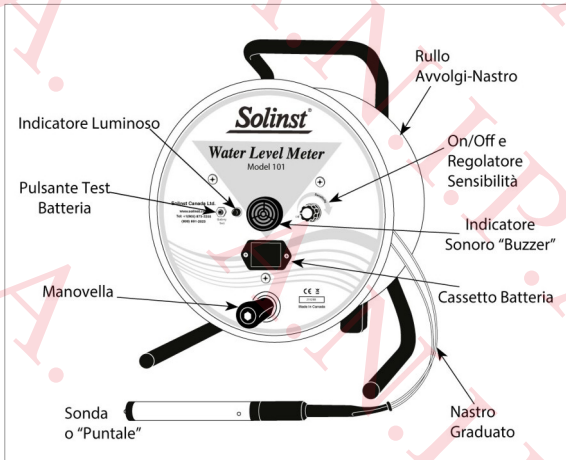
- E' raccomandabile effettuare una **prova preliminare** prendendo nota del numero di giri e/o del posizionamento del volantino di manovra, fissando già la **posizione** corrispondente al **primo gradino** di portata (prova di pozzo) o alla **portata di esecuzione** (prova di falda).



Valvola a saracinesca



# MISURA DEI LIVELLI IDRICI E DEI TEMPI



- L'avvio del cronometro deve avvenire in corrispondenza dell'effettivo **inizio del declino** del livello idrico.
- Se si interrompe l'alimentazione della pompa si deve **ripetere** la prova dopo aver lasciato il pozzo in quiete fino alla **stabilizzazione** del livello idrico.



- Il segnale acustico/luminoso raggiunge il massimo di intensità in un tempo che può corrispondere ad una imprecisione di **1 centimetro**.
- I freatimetri più precisi sono quelli dotati di **amperometro** perché la misura viene presa in corrispondenza del valore massimo del quadrante segnato dalla lancetta (fondo scala).
- La precisione dei trasduttori di pressione è **inversamente** proporzionale al loro campo di misura per cui è meglio utilizzarli nei piezometri più **distanti** dove le variazioni di livello sono minori.



# MISURA DELLE PORTATE



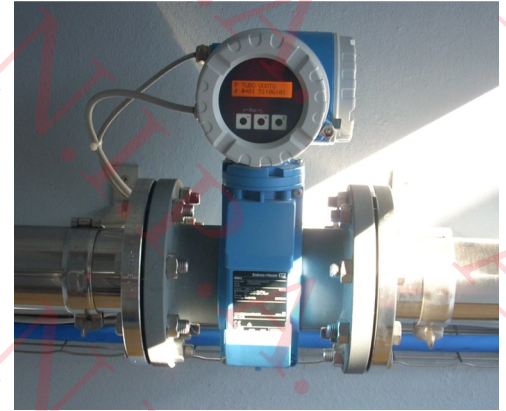
Contatore volumetrico



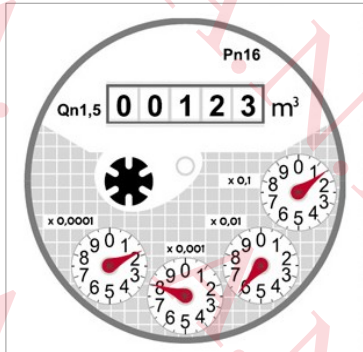
Contatore Woltmann



Contatore a impulsi elettromagnetici



Postazione fissa in cabina pozzo



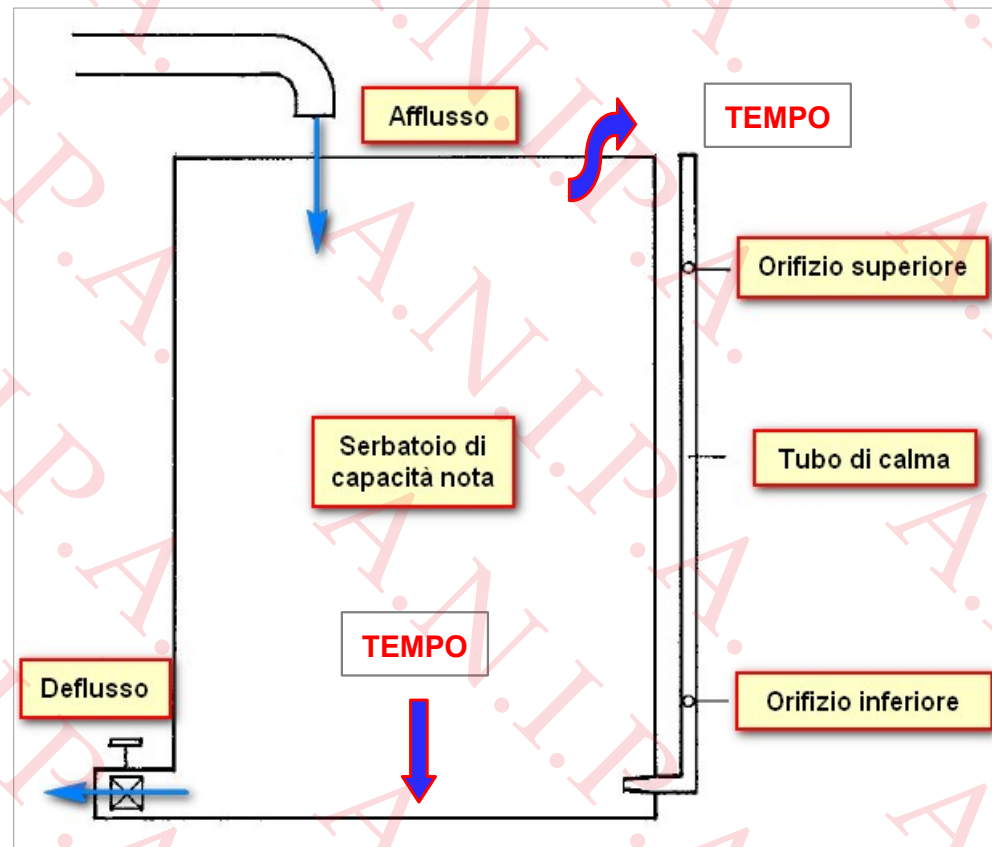
# MISURA DELLE PORTATE



Secchio graduato



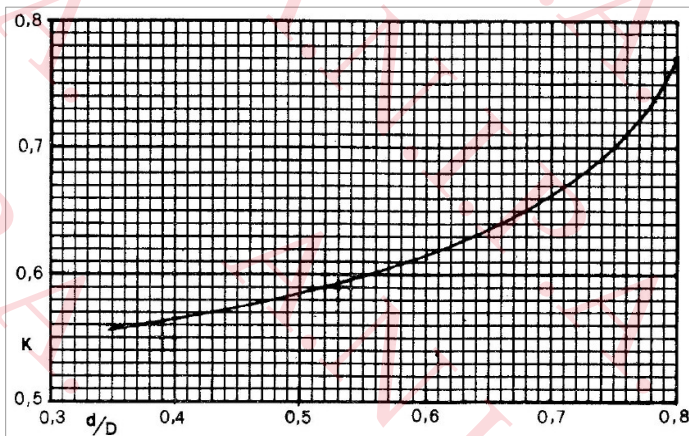
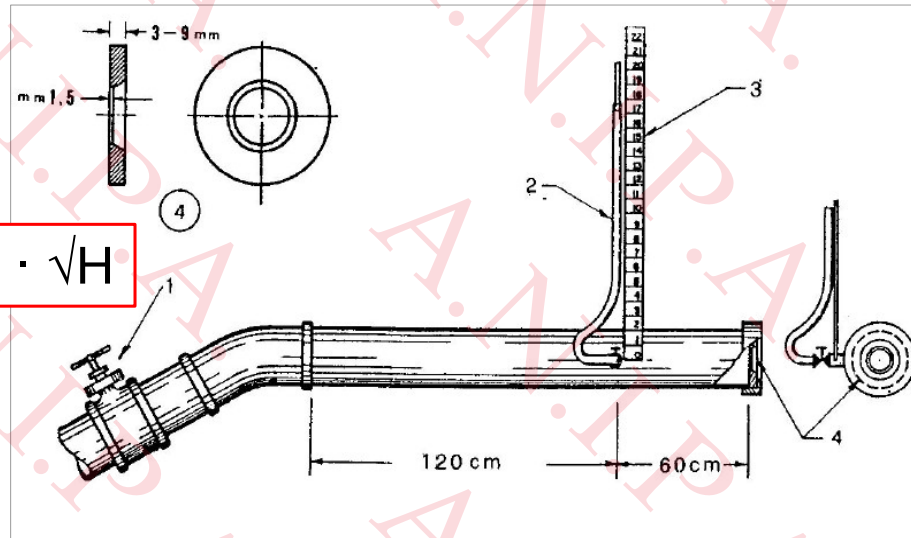
Fusto da 200 litri



Si avvia il cronometro al cadere dell'acqua sul **fondo** del recipiente e lo si arresta al **superamento** del bordo.

# MISURA DELLE PORTATE

$$Q = 0,012 \cdot K \cdot d^2 \cdot \sqrt{H}$$

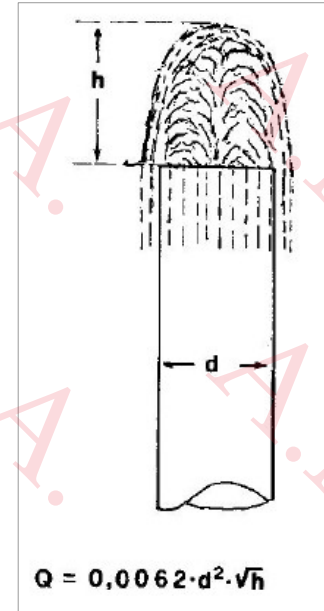
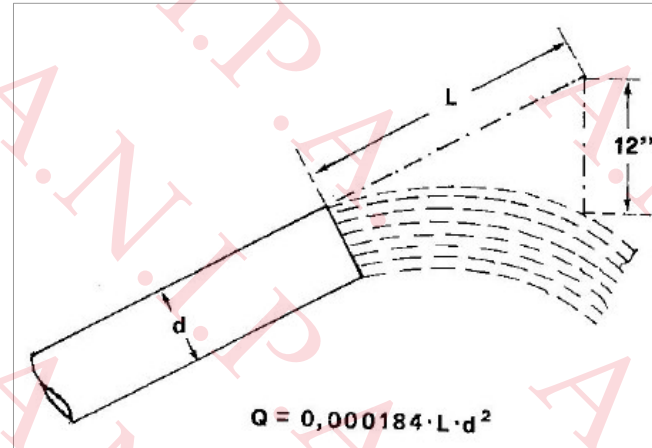
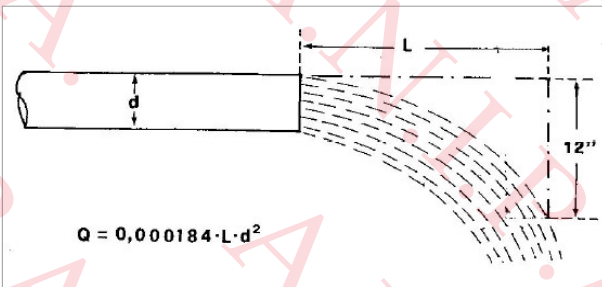
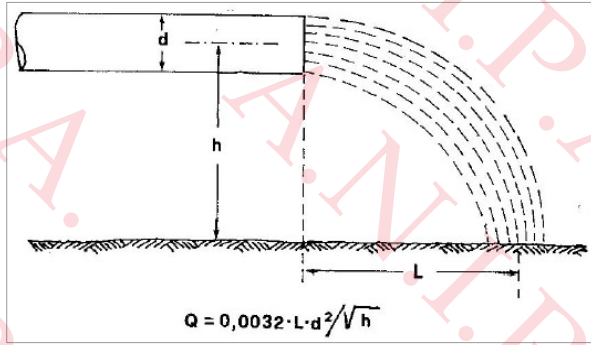


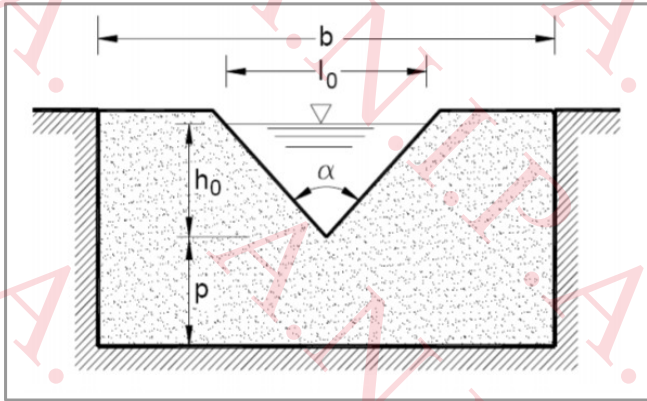
$Q$  = portata, l/min  
 $H$  = altezza dell'acqua, mm  
 $d$  = diametro del foro, mm  
 $K$  = costante (si veda il diagramma)  
 $D$  = diametro interno del tubo

Tubo con diaframma

# MISURA DELLE PORTATE

## Lunghezza del getto





$$Q = 1,42 \cdot h_0^{1,5}$$

valida per

$$h_0 \geq 0,06 \text{ m e } p > 0,1 \text{ m}$$

con

$$l_0 = 2 \cdot h_0 \text{ e } \alpha = 90^\circ$$

### Precisione delle misure:

- contatore volumetrico 2%
- serbatoio tarato 1-2%
- stramazzo 1.5-2.5%
- tubo con diaframma 5%
- misura del getto 10%

## MISURA DELLE PORTATE



Stramazzo

# DURATA DELLE PROVE FREQUENZA DELLE MISURE

- Prova di pozzo: solitamente 3-4 gradini da 1 ora.
- Prova di falda: da 6 a 72 ore a seconda del tipo di prova, del regime di flusso e delle caratteristiche dell'acquifero (tipologia, parametri idrodinamici, limiti).
- Acquifero confinato: non meno di 24 ore, 8-10 ore se si utilizza solo il pozzo di emungimento.
- Acquifero non confinato: 72 ore minimo.
- Il pozzo deve essere spento da almeno 24 ore.

Tempo di prova	Intervallo di misura
min	min
0-2	0.25
2-5	0.50
5-15	1
15-60	5
60-120	10
120-360	30
360-720	60
720-2880	180
>2880	480

**PROVA DI POMPAGGIO** N° \_\_\_\_\_

A portata variabile  gradino n. \_\_\_\_\_ Q = \_\_\_\_\_ l/s

A portata costante  In discesa  In risalita  Q = \_\_\_\_\_ l/s

Pozzo \_\_\_\_\_ Diametro \_\_\_\_\_ mm

Inizio prova \_\_\_\_\_ ore Rilievo livello statico ls = \_\_\_\_\_ m

Fine prova \_\_\_\_\_ ore

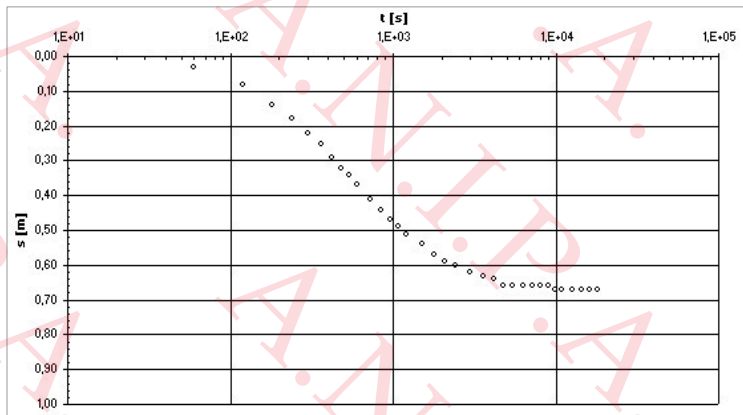
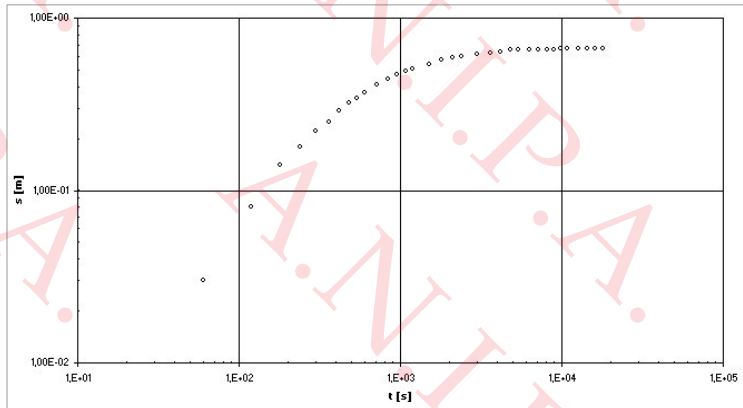
Arresto \_\_\_\_\_ ore Piano di riferimento \_\_\_\_\_

Equipaggiamento \_\_\_\_\_

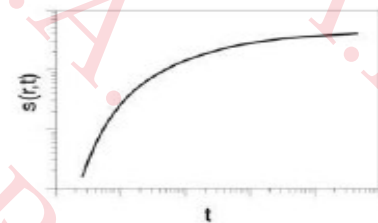
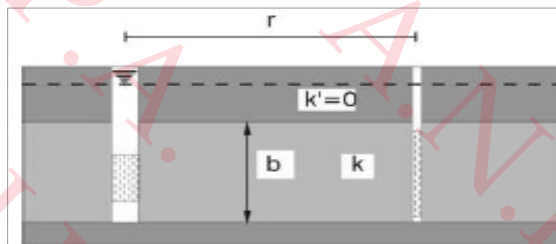
t (min)	ld (m)	s (m)	Q (l/s)	t (min)	ld (m)	s (m)	Q (l/s)
1				135			
2				150			
3				165			
4				180			
5				210			
6				240			
7				270			
8				300			
9				360			
10				420			
12				480			
14				600			
16				720			
18				840			
20				960			
25				1080			
30				1200			
35				1320			
40				1440			
50				1560			
60				1680			
70				1800			
80				1920			
90				2040			
105				2160			
120				2280			

Contatore: Iniziale \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup> finale \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup> Portata estratta \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>

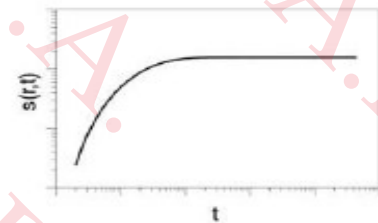
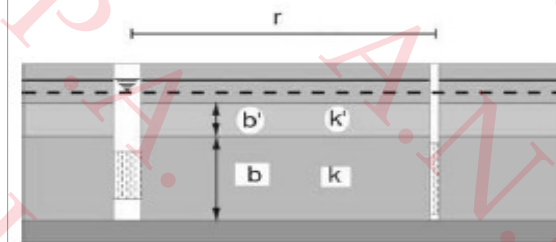
# PROVA DI FALDA



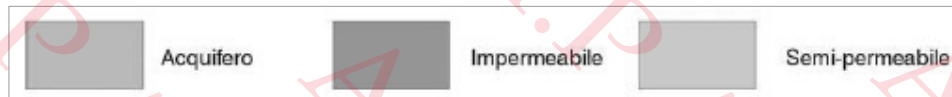
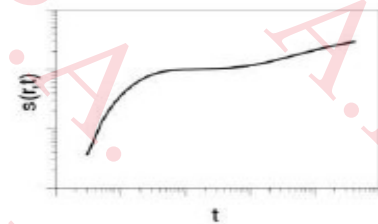
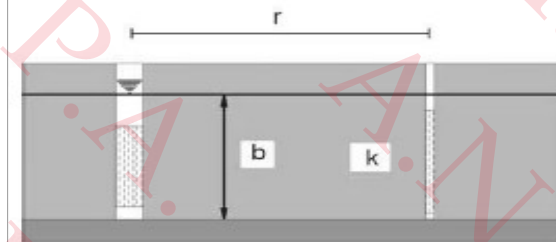
Acquifero  
confinato



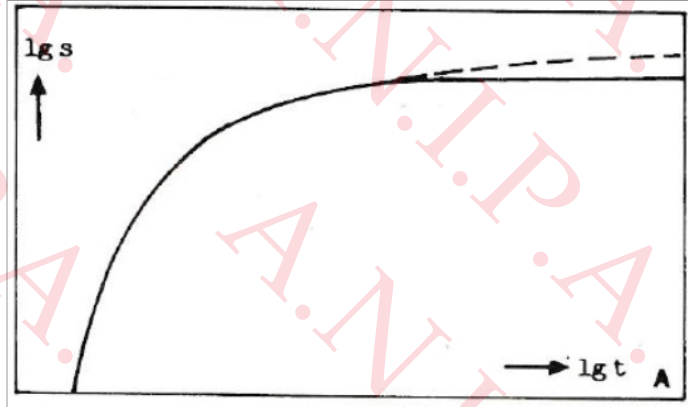
Acquifero  
semiconfinato



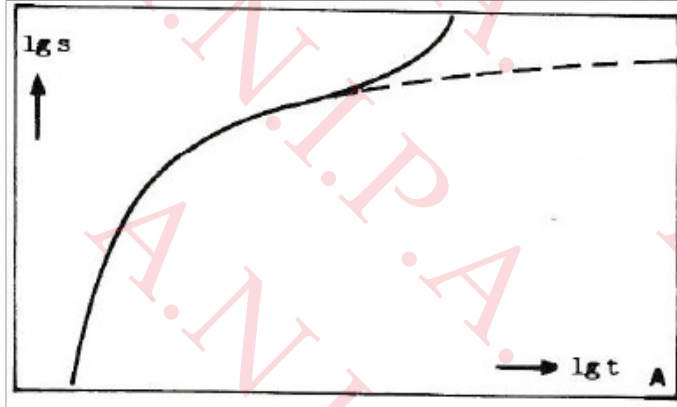
Acquifero  
non  
confinato



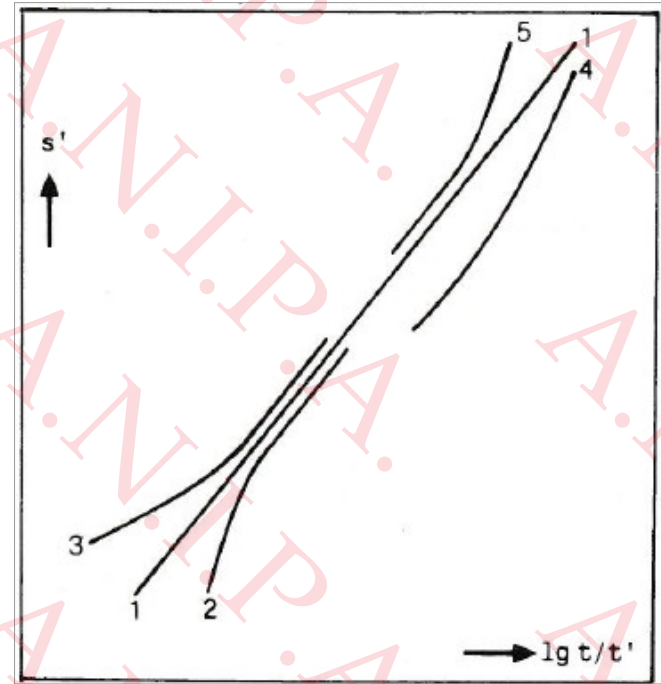
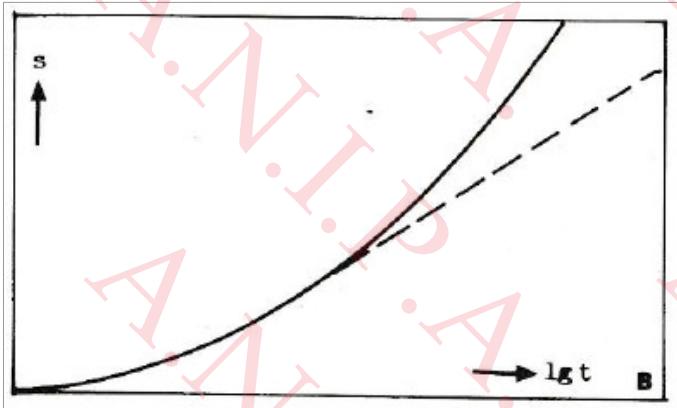
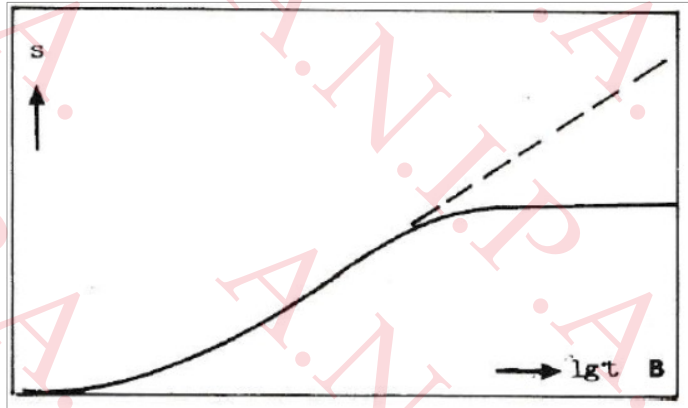
# PROVA DI FALDA



Limite alimentante



Limite impermeabile

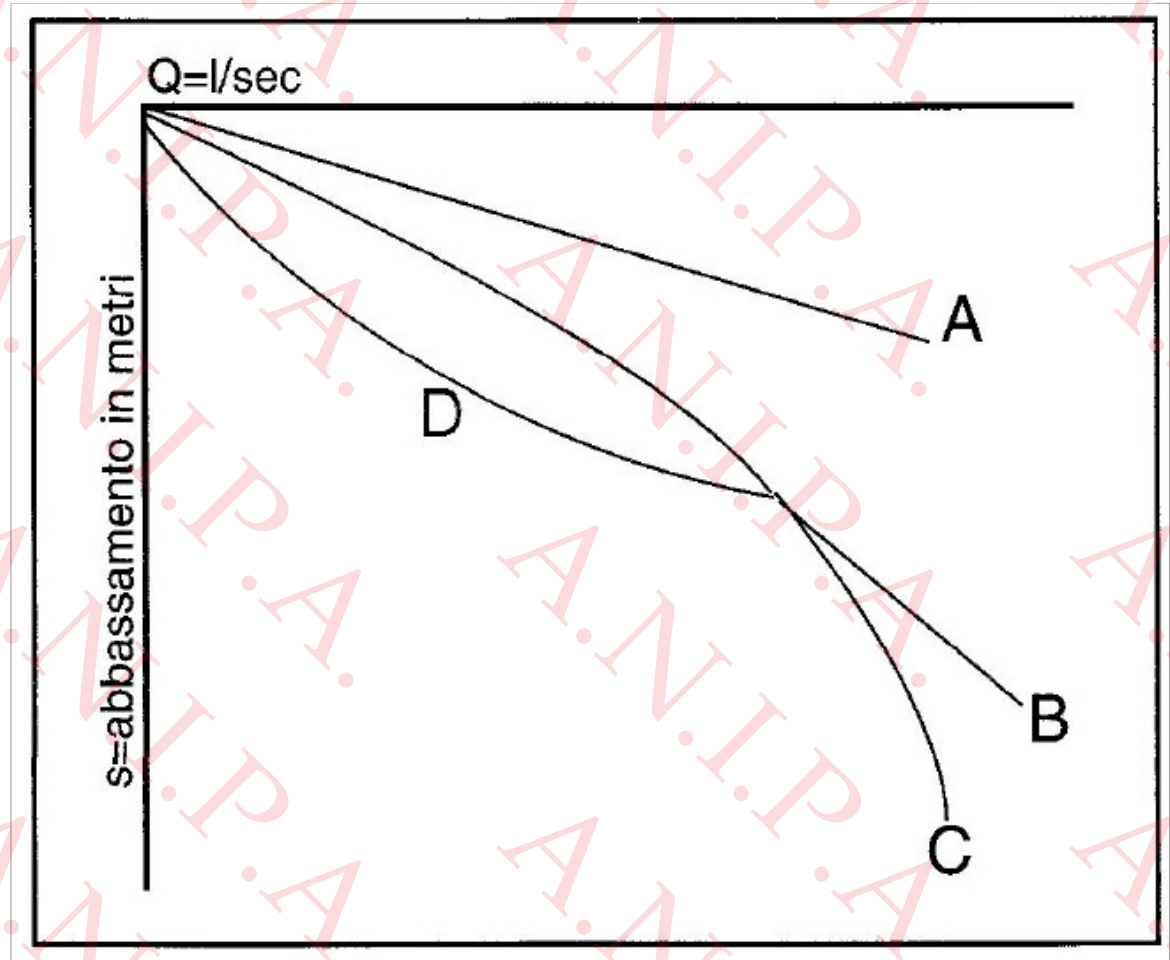


## Prova in risalita

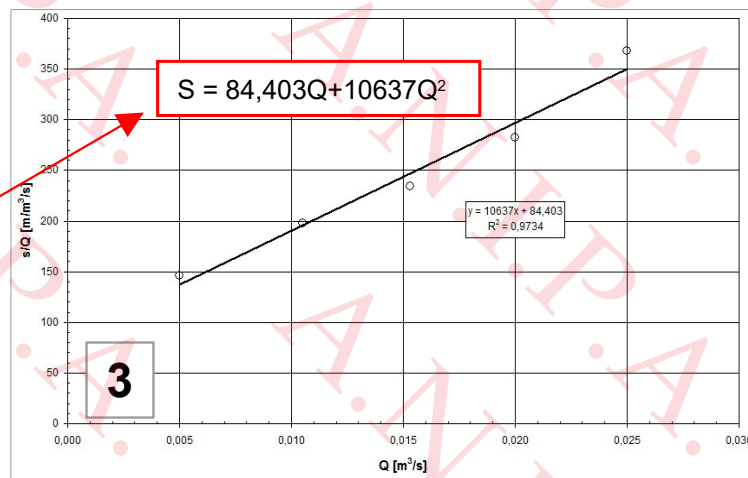
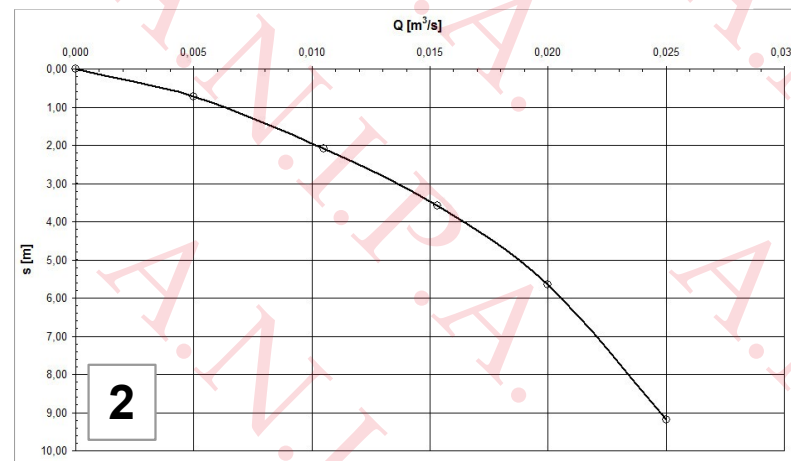
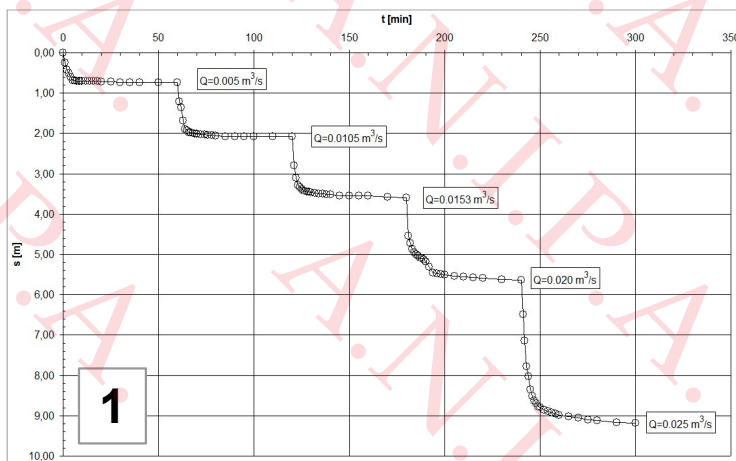
- 1-Acquifero confinato
- 2-Limite impermeabile
- 3-Acq. Semiconf./Limite alimentazione
- 4-Acquifero non confinato
- 5-Pozzo incompleto

# PROVA DI POZZO

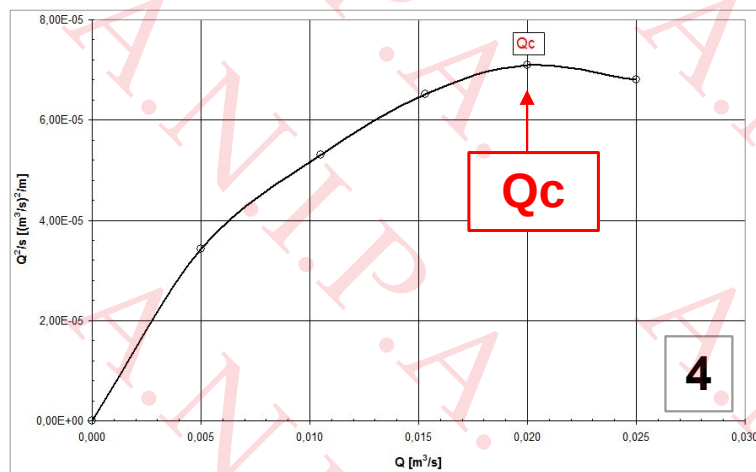
- **Curva A:** flusso laminare e perdite di carico quasi nulle, nessuna portata critica.
- **Curva B:** andamento parabolico convesso a causa delle evidenti perdite di carico per flusso turbolento.
- **Curva C:** sensibile diminuzione dello spessore saturo dell'acquifero sino al prosciugamento.
- **Curva D:** pozzo con filtri e dreni intasati, l'aumento della portata provoca la rimozione dell'intasamento e quindi il miglioramento delle capacità produttive. Pozzo nuovo non ben sviluppato, pozzo obsoleto oppure fermo da tempo o utilizzato sempre a basse portate.



# PROVA DI POZZO



EQUAZIONE CARATTERISTICA



- 1 – Tempo vs abbassamento
- 2 – Portata vs abbassamento
- 3 – Portata vs abbass. specifico
- 4 – Portata ottimale ( $Q_c$  portata critica)

# EQUAZIONE CARATTERISTICA (DI PRODUTTIVITÀ)

L'equazione di Rorabaugh coincide per  $n = 2$  con quella di Jacob  $s = BQ + CQ^n$  che in un pozzo a comportamento reale vale

$$s_m = (B_1 + B_2 + B_3)Q + CQ^n$$

dove

$B_1Q$  perdite di carico legate al flusso nell'acquifero,  $B_2Q$  perdite di carico dovute alla parziale penetrazione e/o completamente del pozzo nella formazione produttiva,  $B_3Q$  perdite di carico legate all'eventuale presenza nell'intorno del pozzo di una zona a permeabilità diversa da quella media della formazione

L'abbassamento teorico  $s_w$  corrisponde al declino del livello piezometrico in un pozzo a comportamento ideale e vale:

$$s_w = s_m - (B_2 + B_3)Q - CQ^n$$

$s_m$  è l'abbassamento corrispondente al più basso gradino di portata applicato durante la prova di pozzo per il quale le perdite di carico sono minori

$B_2 = 0$  nella condizione di "pozzo completo"

$B_3 = 0$  coefficiente di danneggiamento "skin effect" in pozzi correttamente eseguiti e sviluppati

Se il pozzo non è completo allora occorre determinare  $B_2$  in relazione alla lunghezza relativa  $\delta = L/b$  del tratto fenestrato delle rispettive tubazioni di rivestimento, espresso dal rapporto dove  $[L]$  è la somma dei tratti filtranti e  $[b]$  lo spessore saturo dell'acquifero attraverso le procedure TNO (1964) o BRONS-MARTING (1961).

# CORRELAZIONE PORTATA SPECIFICA - TRASMISSIVITÀ

Determinato  $s_w = s_m - (B_2 + B_3)Q - CQ^n$  si calcola il valore della **portata specifica corretta**

$q_{sp} = Q / s_w$  da utilizzare nelle sottostanti relazioni (Di Molfetta A., 1992) per determinare **T**

$$T = \left( 0,73 - \frac{\ln rw}{2\pi} \right) q_{sp} \quad \bullet \quad \underline{\text{Acquiferi non confinati}}$$

$$T = \left( 0,95 - \frac{\ln rw}{2\pi} \right) q_{sp} \quad \bullet \quad \underline{\text{Acquiferi confinati e semiconfinati}}$$

# EFFICIENZA IDRAULICA DEI POZZI

$$E = \frac{BQ}{BQ + CQn} 100$$

- Definizione **ERRATA**
- Paradosso:
- **Maggiore** è il danneggiamento attorno al pozzo, **maggiore** è la sua efficienza idraulica
- Più **ridotto** è il tratto fenestrato rispetto allo spessore dell'acquifero, **maggiore** è l'efficienza idraulica

Esempio:

$$s = B \cdot Q + C \cdot Q^2 \quad \text{dove} \quad Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\bullet \quad s = 60 \cdot 2 \text{ m}^3/\text{s} + 150 \cdot 2^2$$

$$E = 120 / (120 + 600) = 0,17 = \mathbf{17\%}$$

$$\bullet \quad s = 130 \cdot 2 \text{ m}^3/\text{s} + 150 \cdot 2^2$$

$$E = 260 / (260 + 600) = 0,30 = \mathbf{30\%}$$

# EFFICIENZA IDRAULICA DEI POZZI

La definizione più **CORRETTA**

*Rapporto tra la portata specifica misurata in un pozzo in condizioni di stabilizzazione e la portata specifica che il pozzo avrebbe fornito nelle stesse condizioni se avesse avuto comportamento ideale (flusso laminare, pozzo completo, permeabilità costante anche nell'intorno dell'opera di captazione).*

$$E = \frac{Q/sm}{Q/sw} 100 = \frac{sw}{sm} 100 = \frac{B_1 Q}{BQ + CQ_n} 100$$

Necessita di **calcolare** i coefficienti **B<sub>2</sub>** e **B<sub>3</sub>** indispensabili per ottenere il valore di **B<sub>1</sub> = B - B<sub>2</sub> - B<sub>3</sub>**

# CORRELAZIONE PORTATA SPECIFICA - TRASMISSIVITÀ

## METODO SEMPLIFICATO DI THIEM-DUPUIT

$$T = a \cdot (Q/s)$$

dove [a] è compreso da 1 (acquifero libero) a 1,22 (acquifero confinato)

e quindi

$$T = q_{sp} \quad \text{acquiferi non confinati}$$

$$T = 1,22 \cdot q_s \quad \text{acquiferi confinati e semiconfinati}$$

**MOLTO UTILE PER PRIME VALUTAZIONI IN CANTIERE**

# INDICE DI DANNEGGIAMENTO

- Nel tempo **riduzione** della portata specifica  $q_{sp} = Q/s$  (corrosione e/o incrostazione, sovrasfruttamento)
- Il confronto tra curve Q-s di prove di pozzo eseguite a intervalli regolari nel tempo permette di definire l'indice di danneggiamento

$$ID = sn / sv$$

a partire da una prova di pozzo nel **pozzo nuovo** (anche rigenerato o comunque ad un tempo iniziale noto  $t_0$ )

- Predisporre un **diagramma Q-Q/s**
- Misurare a intervalli di tempo il più possibile **regolari** la portata di esercizio **Qv** e l'abbassamento **sv** senza intervenire sull'operatività corrente del pozzo
- Determinare sul diagramma il valore **(Q/s)<sub>n</sub>** che si avrebbe per la portata Qv
- Confrontare tale valore con quello misurato **(Q/s)<sub>v</sub>** attraverso la relazione

$$ID = (Q/s)_v / (Q/s)_n = sn / sv$$

- Riportare i valori di I su un **diagramma (t-ID)** in funzione del tempo
- In linea generale la soglia **ID = 60%** è indicativa della necessità di operare un intervento di **manutenzione straordinaria**

# INDICE DI DANNEGGIAMENTO

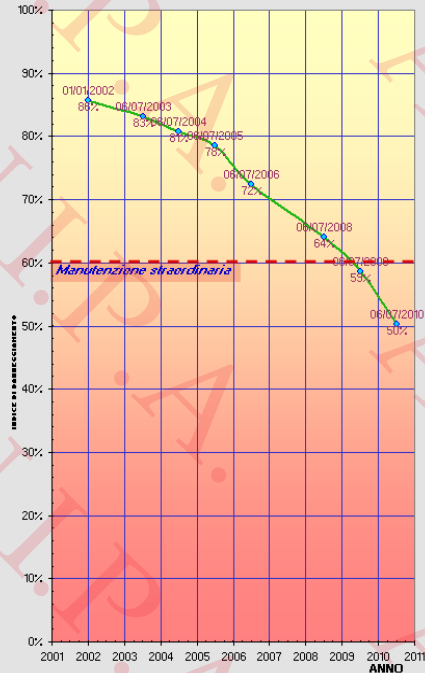
Copyright  
Gianfranco Gardenghi

ID ver. 2

Livello statico= 24,52 m

Data	Q <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Id (m)	s <sub>v</sub> (m)	Q/s <sub>v</sub> (m <sup>3</sup> /h/m)	Q/s <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> /h/m)	I (%)
01/01/2002	18,00	57,00	32,48	0,55	0,65	86%
06/07/2003	18,00	58,00	33,48	0,54	0,65	83%
06/07/2004	18,00	59,00	34,48	0,52	0,65	81%
06/07/2005	18,00	60,00	35,48	0,51	0,65	78%
06/07/2006	18,00	63,00	38,48	0,47	0,65	72%
06/07/2008	18,00	68,00	43,48	0,41	0,65	64%
06/07/2009	18,00	72,00	47,48	0,38	0,65	59%
06/07/2010	12,00	55,00	30,48	0,39	0,78	50%

Curva dello stato di danneggiamento  
(tempo/I)



Copyright  
Gianfranco Gardenghi

ID ver. 2

Gradino	Q (m <sup>3</sup> /h)	s <sub>m</sub> (m)	s/Q (h/m <sup>2</sup> )	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	WE
1	5,98	6,38	1,07	0,94	31%
2	11,99	15,99	1,33	0,75	25%
3	18,00	27,13	1,51	0,66	22%
4	23,90	39,63	1,66	0,60	20%
5					
6					
7					
8					

Data prova: 01/10/2002

Livello statico= 24,52 m

B	C	n	Calcola B, C e n
0,331	3,43E-01	1,426	

EQUAZIONE CARATTERISTICA  
 $s=0,331 * Q + 3,435E-1 * Q^{1,426}$

Grafico portate/portate specifiche

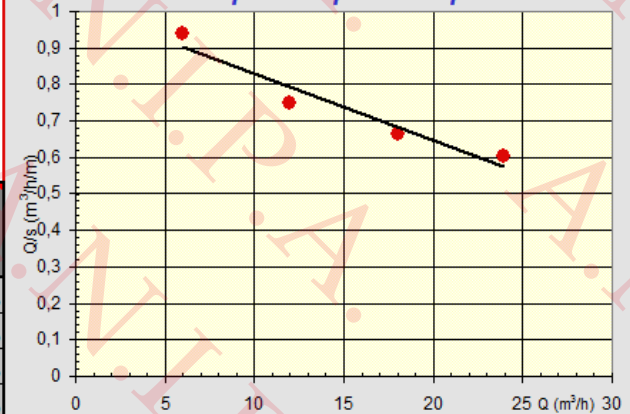
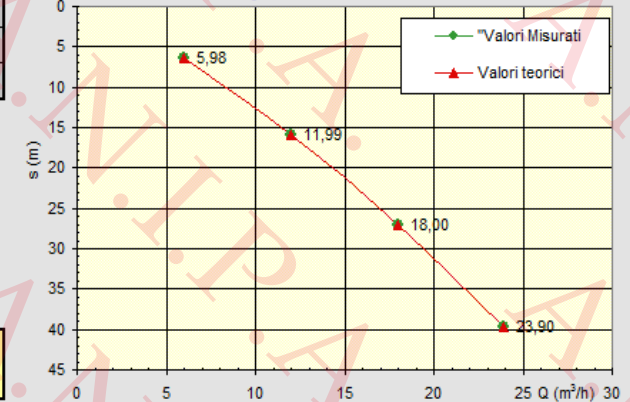


Grafico portate/abbassamenti



La progettazione dei pozzi a norma U.N.I.  
per la salvaguardia degli acquiferi costieri;  
esperienze di ricarica



Associazione **ACQUE**  
**SOTTERRANEE**



**ogt**  
ORDINE del  
GEOLOGI della  
TOSCANA

*«Ricordati, quando commenti l'acque, d'allegar prima la esperienza e poi la ragione»*

*Leonardo da Vinci*

**GRAZIE**  
**PER L'ATTENZIONE**