



***GEOAPP***  
***SLUG TEST – HVORSLEV 1951***  
***MANUALE DI UTILIZZO***

## 1 – CENNI TEORICI

### Le prove con lo “Slug test”

Lo slug test è divenuto uno dei metodi più usati, per una rapida stima dei principali parametri idrogeologici degli acquiferi, tra cui in primo luogo la conducibilità idraulica. In particolare, divengono di primaria importanza la rapidità e la facilità d’esecuzione di queste prove idrodinamiche, per soddisfare le esigenze dei moderni metodi di valutazione della vulnerabilità degli acquiferi e del rischio di inquinamento.

Uno slug test consiste nel provocare una variazione istantanea del livello piezometrico, in un perforo di diametro “non grande” (p.e. in un piezometro) e nella misura del tempo necessario per il successivo ripristino delle condizioni iniziali; ciò si può ottenere in vari modi, ma quello operativamente più semplice consiste nell’introduzione (o nell’estrazione) di un volume noto di acqua, o di un solido di forma cilindrica, nel foro di prova.

A parità di volume di “slug” solido utilizzato per la prova, la velocità di ripristino del livello originario sarà direttamente correlata alla conducibilità idraulica dell’acquifero testato.

La prova può essere effettuata sia a carico crescente, che a carico decrescente, ossia prima inserendo e poi, una volta ottenuto il ripristino dell’originario livello idrico, estraendo dal piezometro di prova il volume, che ha provocato lo scompenso del livello originario.

Il successo della prova è vincolato all’oculatezza delle scelte operative relative alla corretta tecnica d’acquisizione dei dati ed al raggiungimento di una significativa variazione del livello idrico nel piezometro; quest’ultima dipenderà dal volume dello slug solido, dal diametro del perforo e dalla permeabilità dell’acquifero soggetto alla prova.

I vantaggi relativi all’uso degli slug tests sono numerosi:

- gli slug test interessano l’intera lunghezza filtrata e, quindi, coinvolgono livelli a diversa permeabilità dello stesso acquifero, fornendo dei valori di  $K$  diversi, in virtù della disomogeneità ed anisotropia, più o meno marcate, dell’acquifero nel suo complesso; per cui può essere determinata sia la conducibilità idraulica degli acquiferi che degli aquitards;
- le misure sulla conducibilità idraulica sono effettuate in situ e ciò evita gli errori che si verificano nei test di laboratorio, eseguiti su campioni rimaneggiati di suolo;
- non è necessario estrarre acqua dall’acquifero e questo è particolarmente importante nel caso di falde contaminate;
- le prove sono rapide e a bassi costi, perché non sono necessari pozzi di pompaggio e di osservazione.

L’uso dello slug test presenta, tuttavia, delle limitazioni:

- può essere valutata solamente la conducibilità idraulica dell’acquifero, nell’intorno del piezometro, il che non può essere rappresentativo di un’area molto vasta; di qui nasce la necessità di avere un numero di punti di prova adeguato all’estensione dell’area da studiare;
- in generale, il coefficiente di immagazzinamento  $S$  non può essere determinato (Robert P. Chapuis, D.Chenaf, 2002).

### Metodo di Hvorslev (1951)

Seguendo il metodo classico di Hvorslev, si fa riferimento al livello piezometrico indisturbato, ossia al livello statico; dopo l'introduzione (prova a carico decrescente) e dopo l'estrazione dello slug solido (prova a carico crescente), il dislivello massimo, misurato immediatamente prima dell'inizio dei relativi recuperi, sarà indicato con  $H_0$ , mentre i livelli dinamici di recupero saranno indicati con  $H_1, H_2, \dots H_n$ . Quando si toglie l'acqua la prova si chiama *bail test*, quando s'immette *slug test*.

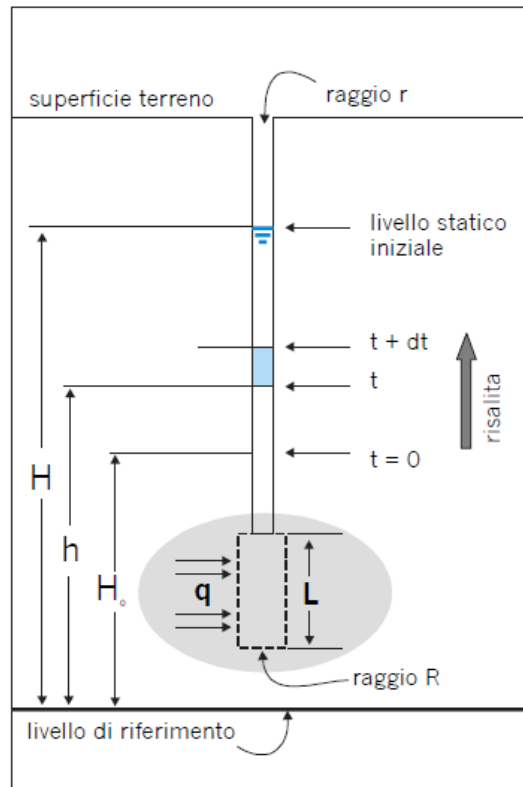


Fig. 1 – Schematizzazione risalita acqua

Facendo riferimento alla figura 1, e supponendo di avere tolto l'acqua nel pozzetto, la portata in ingresso attraverso il filtro è:

$$q(t) = \pi r^2 \frac{dh}{dt} = FK (H - h)$$

da cui la formula più generale:

$$K = (A \ln \frac{dh_1}{dh_2}) / F (t_2 - t_1)$$

con F un fattore di forma dipendente dalla lunghezza e diametro della parte filtrante.

Se  $q = q_0$  per  $t = 0$ , allora  $q(t)$  diminuisce asintoticamente verso lo zero a mano a mano che passa il tempo.

### Metodo del Time lag

Hvorslev definì il tempo base  $T_0$  (time lag) come:

$$T_0 = \pi r^2 / FK$$

Sostituendo il valore nell'espressione precedente si ottiene, per  $h = H_0$  al tempo  $t = 0$ :

$$(H - h) / (H - H_0) = e^{-t/T_0}$$

Riportando su grafico in ascissa il tempo ed in ordinata la risalita (in scala logaritmica), si ottiene un andamento lineare. Per valori di  $(H - h) / (H - H_0) = 0,37$ , allora  $\ln(H - h) / (H - H_0) = -1$ , quindi  $T_0 = t$ , che è poi la definizione del time lag. Per ricavare  $K$  si costruisce il grafico in figura 2, ricavando il  $T_0 = 0,37$ .

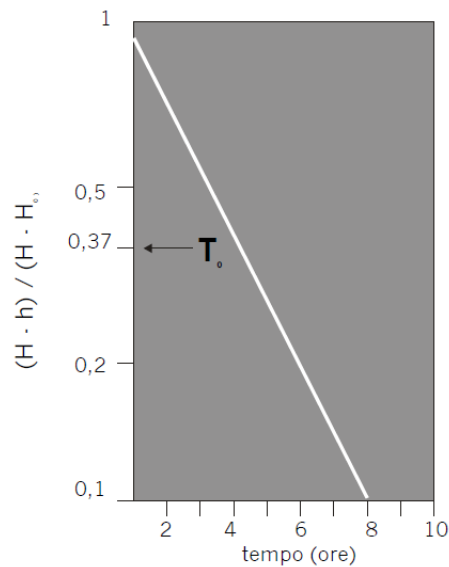


Fig. 2 – Rappresentazione in carta semilogaritmica delle prove. In ordinata va messo il rapporto tra abbassamento relativo e massimo rispetto al livello statico di inizio prova (il valore è quindi sempre inferiore ad 1, e la disposizione lungo una retta, indica la bontà della prova ed il regime laminare)

### Calcolo del fattore di forma

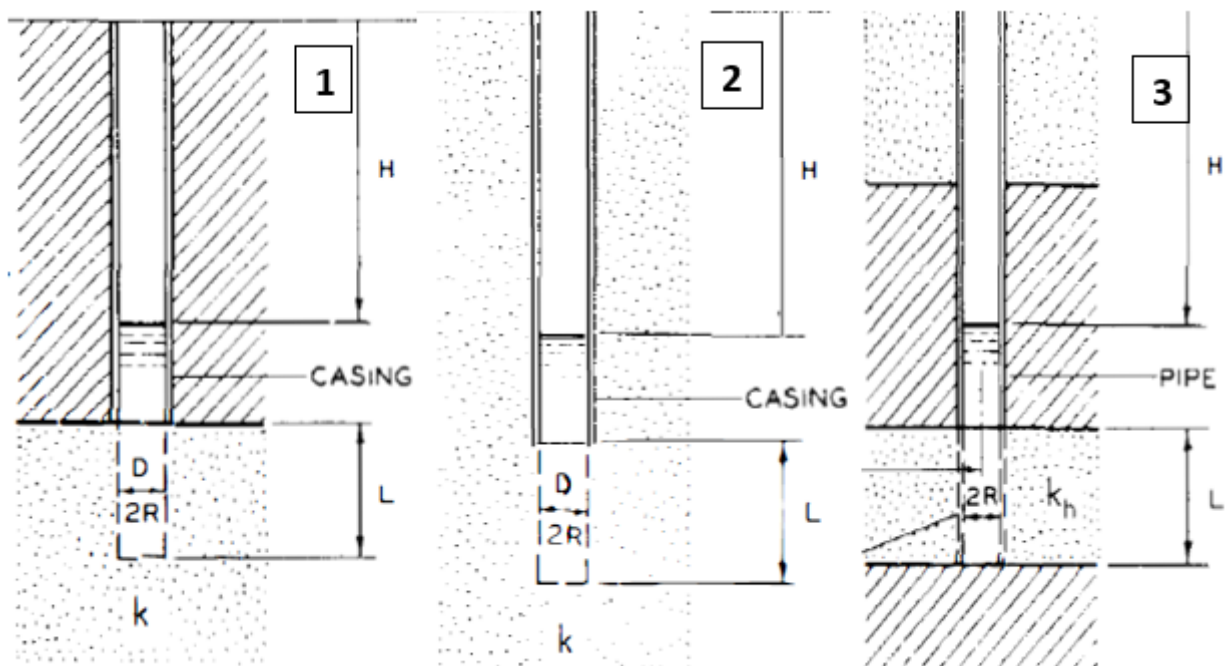


Fig. 3 – Tipologie di posizione del filtro

In funzione della tipologia della posizione del filtro (Figura 3) è possibile ricavare il fattore di forma:

$$1. F = \frac{2\pi L_{wetted}}{\ln \left[ \frac{L_{wetted}}{D/2} + \sqrt{1 + \left( \frac{L_{wetted}}{D/2} \right)^2} \right]}$$

$$2. F = \frac{2\pi L_{wetted}}{\ln \left[ \frac{L_{wetted}}{D} + \sqrt{1 + \left( \frac{L_{wetted}}{D} \right)^2} \right]}$$

$$3. F = \frac{2\pi L_{wetted}}{\ln \frac{L_{wetted}}{R}}$$

Dove:

- D = diametro del filtro;
- L = lunghezza del filtro;
- R = raggio del filtro.

### Calcolo della permeabilità K

Calcolato il fattore di forma F è possibile ricavare K:

$$K = \frac{\pi r^2}{F \cdot T_0}$$

## 2 – ESEMPIO DI UTILIZZO

### 2.1 – Inserimento dati pozzo

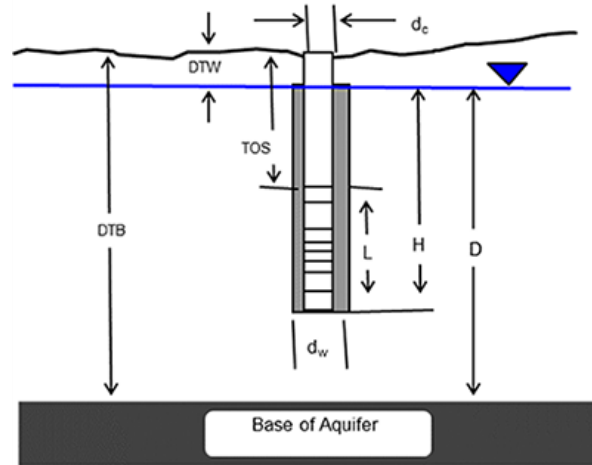


Figura 4 – Schematizzazione geometria pozzo

#### Dati pozzo

Diametro preforo  $d_c = 15.24$  cm

Diametro filtro  $d_w = 15.24$  cm

Lunghezza filtro  $L = 1066.8$  cm = 10.668 m

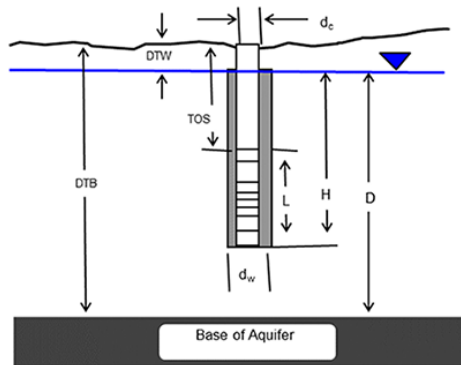
#### Profondità rispetto al p.c.

Livello della falda DTW = 14.8 m

Profondità del filtro TOS = 12.2092 m

Le informazioni sopra descritte vanno inserite all'interno dati pozzo e profondità (rispetto al p.c.), dove per lunghezza filtro si intende l'intera lunghezza dello stesso comprendente la parte bagnata e non bagnata:

Dati pozzo

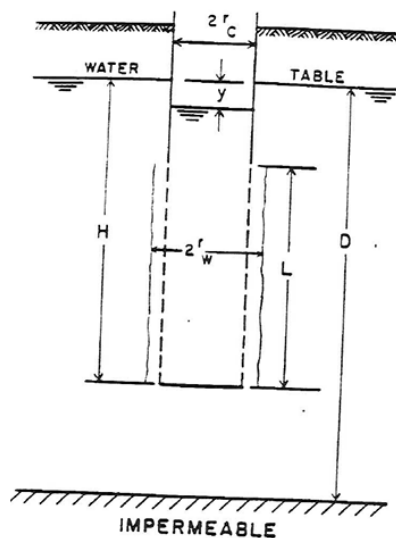


Diametro del preforo	( $d_c$ )	<input type="text" value="15.24"/>	cm
Diametro del filtro	( $d_w$ )	<input type="text" value="15.24"/>	cm
Lunghezza filtro	(L)	<input type="text" value="1066.8"/>	cm
<b>Profondità (rispetto al p.c.)</b>			
Livello della falda	(DTW)	<input type="text" value="14.8"/>	m
Profondità del filtro 1	(TOS)	<input type="text" value="12.2092"/>	m
<a href="#">Calcola grandezze</a>			

Cliccando su “**Calcola grandezze**” verranno calcolati la lunghezza del filtro bagnato  $L_{wetted}$  secondo i criteri: Se  $DTW > TOS$  allora  $L_{wetted} = TOS + L - DTW$  altrimenti  $L_{wetted} = L$  e distanza tra base del filtro e livello statico  $H$

RISULTATI

Grandezze



Lunghezza bagnata del filtro	( $L_{wetted}$ )	<input type="text" value="8.08"/>	m
Distanza tra base del filtro e livello statico	(H)	<input type="text" value="8.08"/>	m

## 2.2 – Inserimento letture e calcolo $T_{LAG}$

Per calcolare il  $T_{LAG}$  occorre inserire le letture degli abbassamenti  $y$ , ovvero la distanza in cm tra il livello della falda in risalita e il livello statico che si avrebbe in condizioni stazionarie. In Figura 5 si propone uno schema dove viene evidenziata la grandezza  $y$

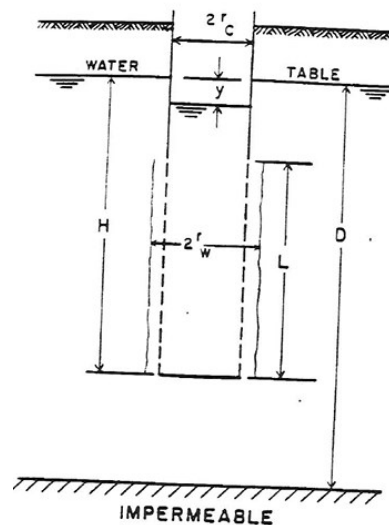


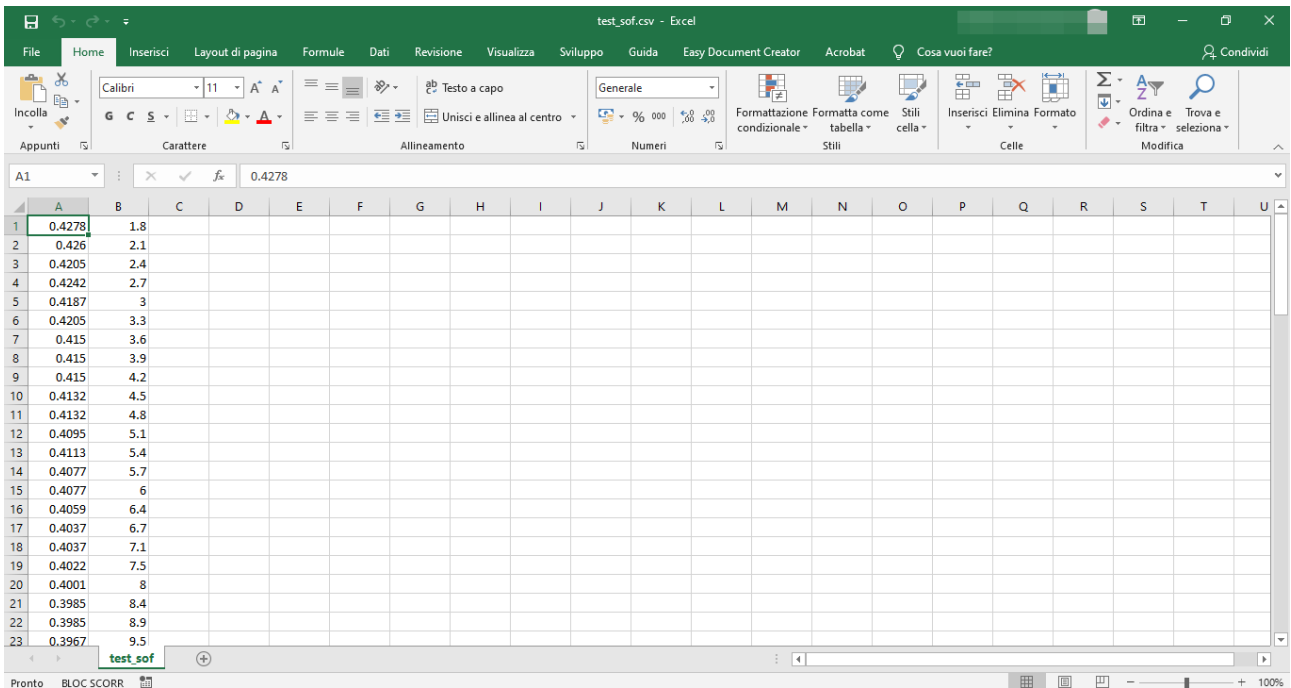
Fig. 5 – Schema pozzo (o piezometro) con  $y$  indicante l'abbassamento

L'inserimento dei dati può avvenire manualmente inserendo a priori il numero di letture nella voce “**Numero letture**” e premere successivamente il tasto “**Genera righe**”: si creeranno un numero di righe pari al numero di letture.

In alternativa è possibile inserire manualmente la lettura singola premendo il tasto “+”: verrà aggiunta una riga alla fine, nel caso si volesse eliminare quest'ultima riga basta premere il tasto “-”.

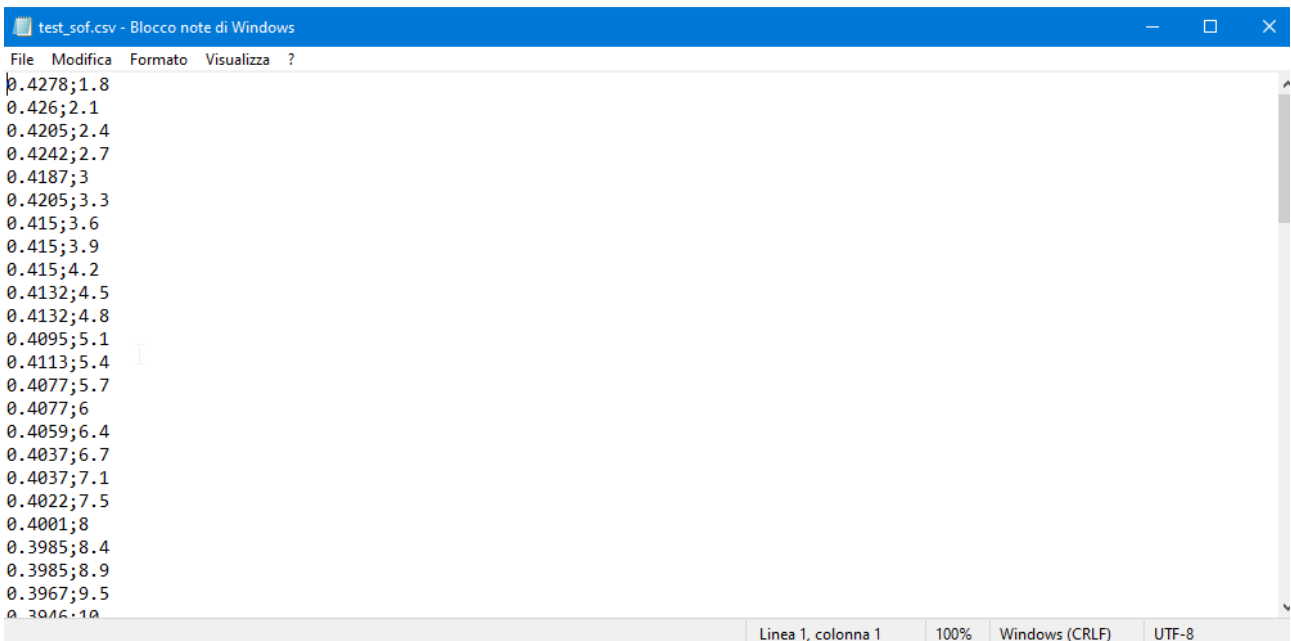
Altra possibilità è quello di importare un file \*.csv impostando i dati su due colonne, la prima colonna indicando gli abbassamenti e la seconda i tempi:





	A	B
1	0.4278	1.8
2	0.426	2.1
3	0.4205	2.4
4	0.4242	2.7
5	0.4187	3
6	0.4205	3.3
7	0.415	3.6
8	0.415	3.9
9	0.415	4.2
10	0.4132	4.5
11	0.4132	4.8
12	0.4095	5.1
13	0.4113	5.4
14	0.4077	5.7
15	0.4077	6
16	0.4059	6.4
17	0.4037	6.7
18	0.4037	7.1
19	0.4022	7.5
20	0.4001	8
21	0.3985	8.4
22	0.3985	8.9
23	0.3967	9.5

Si può anche importare un file di testo \*.txt strutturato su due colonne analogamente come visto per il file \*.csv con separatore il “;”:



```

0.4278;1.8
0.426;2.1
0.4205;2.4
0.4242;2.7
0.4187;3
0.4205;3.3
0.415;3.6
0.415;3.9
0.415;4.2
0.4132;4.5
0.4132;4.8
0.4095;5.1
0.4113;5.4
0.4077;5.7
0.4077;6
0.4059;6.4
0.4037;6.7
0.4037;7.1
0.4022;7.5
0.4001;8
0.3985;8.4
0.3985;8.9
0.3967;9.5

```

**Prima dell’importazione è necessario specificare anche qui il numero di letture. Non immettere un valore di y pari a 0 in quanto, essendo le ordinate del grafico, i valori verranno inseriti sul piano semi-logaritmico con le ordinate espresse in termine di logaritmo.**

Una volta importate, o inserite manualmente, le letture in situ degli abbassamenti-tempi premere **“Calcola T<sub>LAG</sub>”**, verrà generato il grafico con la retta interpolante i punti (**la disposizione lungo una retta dei punti, indica la bontà della prova ed il regime laminare, spetta all’utente filtrare i possibili punti derivanti da anomalie o errate misurazioni**). Le ordinate sono normalizzate rispetto al massimo valore di y ovvero y<sub>0</sub>, la prima misurazione in fase di risalita:

**Calcolo  $T_{LAG}$**

- Premere "+" o "-" rispettivamente per aggiungere o eliminare una riga.
- Con Carica letture è possibile caricare un file \*.csv formato dalla prima colonna dagli abbassamenti y (vedi figura sopra) espressi in cm e dalla seconda colonna dai tempi espressi in secondi. In alternativa un file di testo di estensione \*.txt con ogni riga relativa ad una misurazione con separatore ";", es: abbassamento1;tempo1. Prima di caricare il file è necessario inserire il n° esatto di letture presente nel file. **Non inserire un valore di abbassamento y pari a 0.**
- Nel caso di inserimento manuale delle misurazioni è possibile aggiungere il numero di righe (letture) inserendo il numero di letture e poi premendo "Genera righe".

Inserire numero letture

90

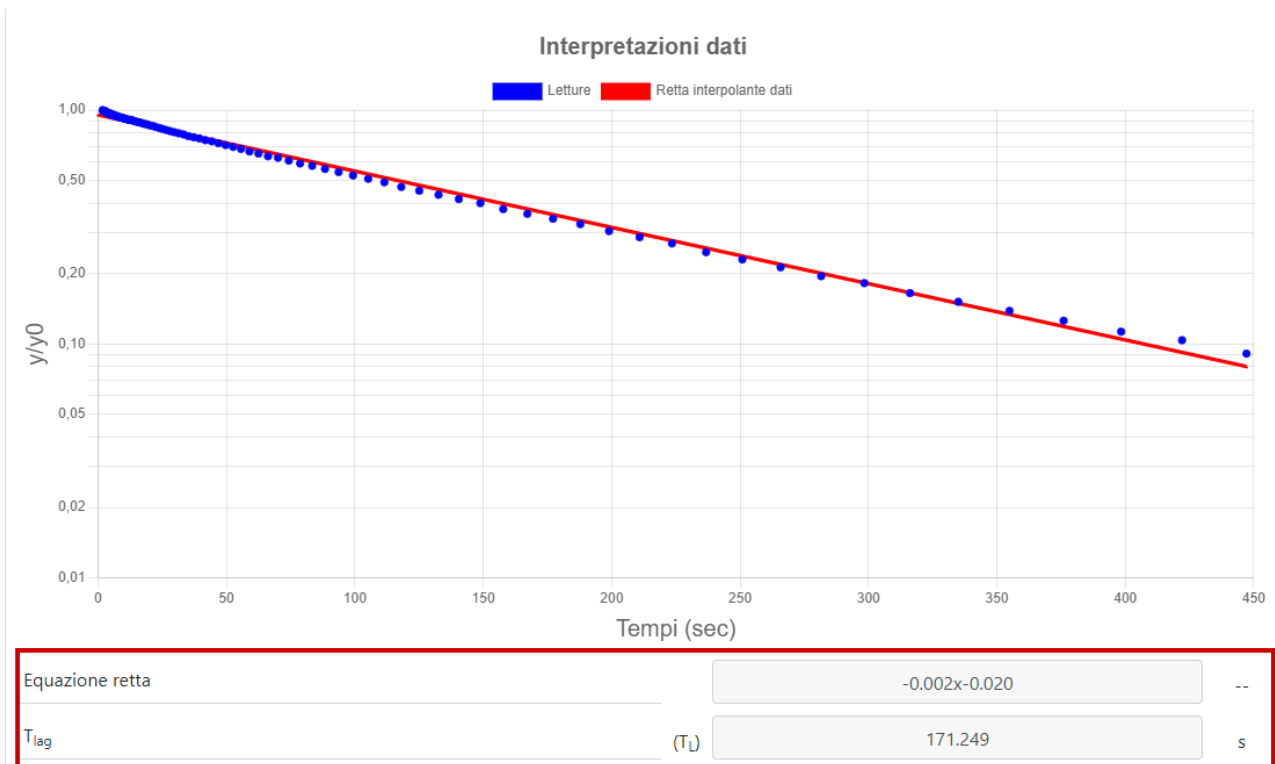
Carica letture	Genera righe	Cancella dati
Abbassamento y (cm)	Tempi (s)	
0.4278	1.8	
0.426	2.1	
0.4205	2.4	
0.4242	2.7	
0.4187	3	
0.4205	3.3	
0.415	3.6	
0.415	3.9	
0.415	4.2	

-

+

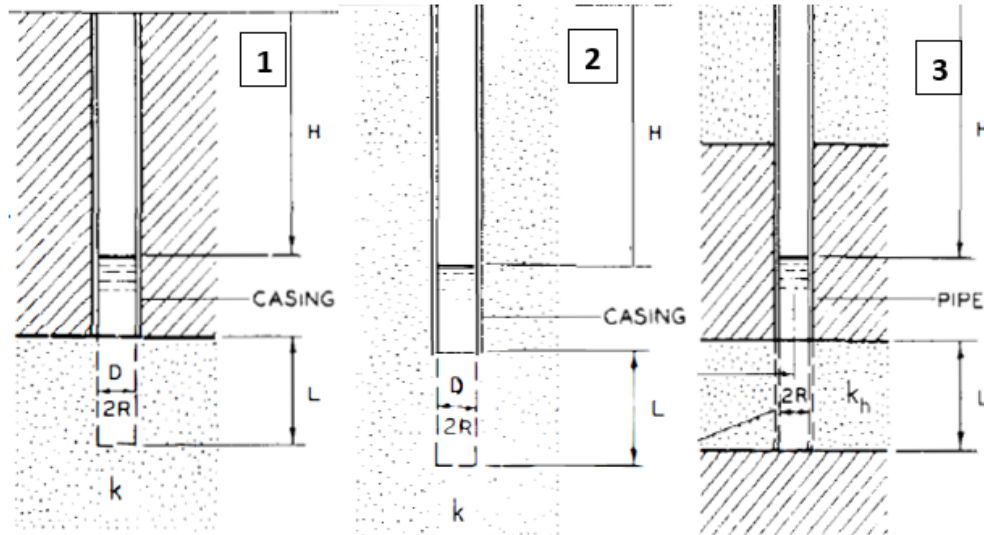
Calcola  $T_{LAG}$

L'applicazione restituirà, inoltre, l'equazione della retta interpolante e il  $T_{LAG}$ , intercettando la retta.



**Calcolo fattore di forma e permeabilità**

Per il calcolo del fattore di forma si ha la possibilità di scegliere 3 tipologie di schematizzazione di pozzi:



Applicando le tre rispettive formule di calcolo di F:

$$1. F = \frac{2\pi L}{\ln\left[\frac{L}{D/2} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D/2}\right)^2}\right]}$$

$$2. F = \frac{2\pi L}{\ln\left[\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D}\right)^2}\right]}$$

$$3. F = \frac{2\pi L}{\ln\frac{L}{R}}$$

Dove:

- D = diametro del filtro ( $d_w$ );
- L = lunghezza del filtro bagnata ( $L_{wetted}$ );
- R = raggio del filtro.

Così da poter determinare la permeabilità con la relazione:

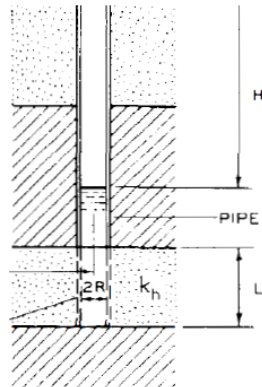
$$K = \frac{\pi r^2}{F \cdot T_L}$$

Dove:

- r = raggio preforo

In questo esempio si tratta della tipologia n.3:

Calcolo coefficiente di forma



Tipologia del pozzo

3

Coefficiente di forma

(F)

1088.264

(--)

Calcolo permeabilità

Permeabilità

(K)

9.788e-6

(m/s)

In automatico verranno calcolati fattore di forma e permeabilità dell'acquifero espresso in m/s