

Guido Nigrelli – [www.naturaweb.net](http://www.naturaweb.net)

## Velocità di infiltrazione dell'acqua nel terreno

### 1 - Premessa.

La conoscenza dei parametri idrologici della **zona non satura** riveste notevole importanza in problematiche di diversa natura quali, ad esempio: uso del suolo ed irrigazione, erosione dei versanti oppure eventi franosi, contaminazione di acque sotterranee, ricarica delle falde idriche ed altro ancora.

Numerose sono le apparecchiature e diversi sono i metodi messi a punto per la valutazione dei diversi parametri idrologici della zona non satura di un terreno. Per quanto riguarda i rilevamenti "**in situ**" (cioè in campo, sul luogo dell'evento) abbiamo: prelevamento di campioni su cui determinare il contenuto di acqua, mediante essiccazione in stufa a 105°C sino a massa costante; installazione di batterie tensiometriche in parcelle appositamente predisposte per verificare l'andamento dell'umidità del terreno in funzione della richiesta da parte delle piante; utilizzo dei blocchetti di gesso mediante metodo Bouyoucos per la determinazione dell'umidità, sfruttando la correlazione di tipo logaritmico esistente tra umidità del terreno e resistenza elettrica; impiego del permeometro di Guelph per effettuare misurazioni di conducibilità idraulica e di velocità di infiltrazione, sia in ambiente insaturo che saturo; il metodo del Crust test e quello dei profili istantanei. **In laboratorio** abbiamo: camere a pressione di Richards per la determinazione della curva caratteristica tensione-umidità e per l'identificazione quantitativa di alcuni parametri fondamentali quali capacità idrica massima, capacità idrica di campo e punto di appassimento; speciali strutture per il controllo nel tempo del movimento capillare; analisi su campioni indisturbati.



In questo lavoro vengono descritti gli aspetti teorico-pratici di una delle apparecchiature maggiormente in uso per determinare l'infiltrazione dell'acqua nel terreno e le variabili ad essa associate: **l'infiltrometro a doppio cilindro**.

### 2 - Basi teoriche.

Con il termine **infiltrazione** s'intende quel fenomeno fisico-chimico consistente nell'ingresso di acqua nel terreno a partire dalla superficie. Nelle applicazioni pratiche è spesso interessante conoscere la "quantità di acqua che in un determinato tempo, per lo più a partire dall'inizio del bagnamento, è penetrata nel terreno attraversandone l'unità di superficie di infiltrazione"; questa variabile viene denominata infiltrazione cumulata areica. Essa si esprime in unità di volume per unità di superficie, ossia in altezza d'acqua e spesso il termine viene abbreviato in **infiltrazione cumulata** ( $I_c$ ), che più correttamente dovrebbe riferirsi ad una data superficie non necessariamente unitaria (in tal caso si esprime solo come volume).

Un altro concetto di interesse pratico è quello di "quantità di acqua che nell'unità di tempo attraversa l'unità di superficie di infiltrazione, riferita a tempi infinitesimi"; si tratta, in altri termini, della velocità con cui l'acqua attraversa la superficie di infiltrazione (componente della velocità normale a questa superficie) ed è detta perciò **velocità di infiltrazione** ( $v_i$ ). La velocità con cui l'acqua attraversa la superficie d'infiltrazione non può ovviamente superare quella con cui l'acqua raggiunge questa superficie provenendo dall'esterno (spesso se ne considera la velocità media, ad esempio l'intensità di pioggia o di irrigazione per aspersione, ecc.); può essere però inferiore ad essa. Di conseguenza è opportuno distinguere una velocità di infiltrazione **effettiva**, spesso indicata in pratica semplicemente come velocità di infiltrazione ed una velocità di infiltrazione **potenziale libera**, che è quella che presenterebbe il terreno nelle stesse condizioni se l'acqua fosse messa continuamente e illimitatamente a disposizione alla superficie d'infiltrazione a potenziale di pressione zero. La velocità di infiltrazione potenziale libera è funzione solo delle caratteristiche del terreno e del suo stato idrologico, che muta col progredire dell'infiltrazione stessa. La velocità di infiltrazione effettiva può essere mantenuta artificialmente costante, senza carico d'acqua sul terreno, solo finché essa resta inferiore alla velocità

di infiltrazione potenziale libera; se la supera si ha in superficie o ristagno d'acqua (nelle depressioni) o deflusso superficiale (terreno in pendio) determinante il fenomeno del ruscellamento.

Nel caso di moto unidimensionale in terreno (ad es. infiltrazione da tutta la superficie piana di un terreno), dalle definizioni di infiltrazione cumulata e di velocità di infiltrazione si ricava che:

$$I_c = \text{Integrale}_{(0 \div t)} v_i dt$$

di conseguenza:

$$v_i = dI_c / dt$$

dove  $t$  è il tempo trascorso dall'inizio del bagnamento;  $I_c$  è l'infiltrazione cumulata;  $v_i$  è la velocità di infiltrazione.

D'altra parte, sempre per questo genere di problemi, l'infiltrazione cumulata (areica) deve essere uguale all'aumento dell'acqua contenuta in tutto il volume di terreno, derivante dal processo di infiltrazione. Se si applicano i ragionamenti precedenti al caso della colonna di terreno verticale, ossia se si introduce l'azione del campo gravitazionale, il discorso acquista maggior interesse pratico (ad es. infiltrazione da irrigazione per sommersione o per scorrimento superficiale). In questo caso si ha che l'integrale, rispetto al tempo, del flusso che attraversa la superficie deve equivalere alla variazione del contenuto d'acqua lungo la sottostante colonna, sommata all'acqua che fuoriesce inferiormente da una sezione scelta a piacere a profondità maggiore di quella raggiunta dal fronte di avanzamento dell'acqua infiltrantesi. Questa quantità aggiuntiva che caratterizza il problema dell'infiltrazione dell'acqua in colonna verticale, è dovuta al fatto che lungo tutto il tratto di colonna non ancora raggiunto dall'acqua infiltratasi, l'acqua è contenuta a potenziale matriciale costante (l'umidità infatti è uniforme), ma a potenziale gravitazionale decrescente verso il basso. **Se la massa porosa non è satura**, se cioè si è in presenza di tre parti, una solida (di una o più fasi), una liquida (normalmente una fase) ed una aeriforme (una fase), il problema si complica sensibilmente: la sezione effettiva disponibile per il flusso e con essa la portata si riduce notevolmente, una riduzione di umidità in un corpo poroso rigido e bagnabile dal liquido che contiene, implica un assottigliamento del velo liquido che ricopre la superficie solida, facendo sentire molto di più l'effetto dell'attrazione tra solido e liquido sulla velocità media di questo. Nel complesso è chiaro che, a parità di sezione del corpo poroso, considerato rigido, col diminuire della sua umidità  $e$ , perciò come si sa, col crescere, in linea di massima, del potenziale di questa, la conducibilità idrica diminuisce rapidamente, quindi, in un corpo poroso rigido rispetto ad un dato liquido, la conducibilità idrica non è più un parametro ma una curva, quella esprime la variazione della stessa in funzione del potenziale dell'acqua  $\phi$ , in un certo senso, dell'umidità del terreno. A questo punto si può dire che **il flusso in terreno saturo deve essere considerato come un caso limite di quello in terreno insaturo**.

Varie sono le formule che da tempo sono state proposte e sono tuttora usate per rappresentare i risultati sperimentali delle prove di infiltrazione in campo. Le formule maggiormente usate, che saranno quelle applicate in questo lavoro, sono quelle di **Kostiakov**:

$$I_c = at^b$$

$$v_i = ab^{tb-1}$$

in cui  $a$  e  $b$  sono due parametri empirici. L'infiltrazione cumulata ( $I_c$ ) viene rappresentata matematicamente mediante una funzione esponenziale mentre la velocità di infiltrazione ( $v_i$ ) è la sua derivata prima ( $v_i = y' I_c$ ). Queste formule non hanno fondamento teorico, però sono quelle che maggiormente rispecchiano l'andamento delle variabili rilevate sperimentalmente ed hanno il pregio della semplicità richiedendo solo due parametri.

Facendo riferimento all'apparecchiatura utilizzata, possiamo dire che l'utilizzo di due cilindri concentrici ha uno scopo teorico ben preciso, cioè, con il cilindro esterno si vuole rendere unidimensionale il moto dell'acqua erogata nel cilindro centrale; però alla realtà si riesce ad avvicinarsi soltanto se l'anello esterno ha raggio notevolmente superiore a quello interno. Le misure dei due cilindri sono un compromesso tra l'aspetto teorico e le funzionalità operative che, operando in campo, non vanno mai sottovalutate.

### 3 - Esecuzione delle prove infiltrometriche: aspetti pratici ed operativi.

Vengono qui descritte la fase preparatoria e la fase operativa inerenti l'impiego dell'infiltrometro a doppio cilindro. Attenendosi alle operazioni elencate sarà facile utilizzare l'apparecchiatura, soprattutto perché operando "in situ" la manualità e la ripetibilità delle operazioni sono di fondamentale importanza.

#### Fase preparatoria:

- 1 - Cercare all'interno della zona di prova un'area di circa 2 m<sup>2</sup> in cui non vi siano vistose crepacciate superficiali, ciottoli affioranti, tracce evidenti di animali terricoli quali ad esempio talpe o formicai, oppure la presenza di grosse radici in superficie.
- 2 - Tagliare (facendo attenzione a non sradicare) eventuali erbe presenti.
- 3 - Ripulire il più possibile il terreno dal materiale organico presente su di esso, come foglie secche oppure torba, senza raschiare eccessivamente la superficie, usando spatole, pennelli, oppure dove sia possibile, utilizzando attrezzature che permettano di aspirare.
- 4 - Posizionare il cilindro interno al suolo facendolo penetrare per circa 3 cm e controllare l'orizzontalità mediante bolla d'aria.
- 5 - Posizionare il cilindro esterno al suolo facendolo penetrare per circa 3 cm e controllare l'orizzontalità mediante bolla d'aria. Le operazioni ai punti 4 e 5 vanno eseguite con molta cautela evitando che durante la sistemazione dei cilindri si formino, soprattutto in suoli argillosi oppure compattati, crepe in superficie.
- 6 - Appoggiare sopra il cilindro interno il supporto del serbatoio, verificando anche qui la posizione orizzontale mediante bolla d'aria.
- 7 - Elevare il supporto mediante l'apposita manopola.
- 8 - Posizionare il serbatoio dell'acqua di plexiglas sopra il supporto.
- 9 - Agire sulla manopola del supporto regolando la distanza tra la superficie del terreno ed il punto inferiore del tubo di aspirazione graduato, che deve essere di 3 cm.
- 10 - Chiudere il rubinetto e togliere il tappo del serbatoio.
- 11 - Immettere acqua all'interno del serbatoio sino a raggiungere all'incirca la prima tacca superiore del tubo graduato.
- 12 - Verificare la distanza impostata al punto 9, correggendola, se è il caso, mediante la manopola.
- 13 - Mettere il tappo del serbatoio. A questo punto lo strumento è pronto per la fase operativa.
- 14 - Prelevare un campione di terreno in una zona adiacente il sito di prova, mediante sonda a trivella, allo scopo di conoscere l'umidità del terreno ad inizio prova.

#### Fase operativa:

- 1 - Aprire il rubinetto, contemporaneamente portare acqua mediante un serbatoio ausiliario tra il cilindro esterno e quello interno. E' importante che il carico idraulico sulle due superfici bagnate sia identico, inoltre il livello dell'acqua deve mantenersi costante per tutta la durata della prova. A mantenere costante il carico idraulico all'interno del cilindro di minor diametro provvede automaticamente il sistema dei due tubi del serbatoio mediante il principio del sifone di Mariotte.
- 2 - Appena terminata la prima fase di ripristino automatico del battente a 3 cm, eseguire la prima lettura del livello acqua nel serbatoio sul tubo di aspirazione graduato e rilevare l'orario di inizio prova.

3 - Ripristinare manualmente il livello dell'acqua tra i due cilindri durante l'esecuzione della prova ed effettuare i rilievi periodici ai tempi prestabiliti.

La durata di una prova è in funzione delle caratteristiche fisiche e idrologiche del suolo in cui si opera e comunque si aggira mediamente attorno alle 4÷6 ore consecutive. Lo strumento è gestibile da un solo operatore che, se dotato di buona manualità, riesce, qualora vi sia la possibilità di avere due infiltrometri, ad eseguire contemporaneamente due prove al giorno. La riproducibilità di ogni singola determinazione è tanto più elevata, quanto più il terreno risulta uniforme, è comunque consigliabile effettuare diverse ripetizioni in funzione della superficie totale da analizzare. L'andamento della prova viene riportato su apposito modulo (Tabella 1) dove, una volta rilevato il livello dell'acqua nel serbatoio mediante il tubo graduato ai tempi prestabiliti viene effettuata la differenza tra una lettura e la precedente. La differente distribuzione degli intervalli di tempo scelti per i rilevamenti è in funzione dell'andamento che l'infiltrazione dell'acqua segue in un ambiente insaturo quale è quello di un terreno. La funzione potenza con la quale si caratterizza l'infiltrazione dell'acqua (Kostiakov) suggerisce di intensificare i rilievi nella prima fase della prova ottenendo così più punti dove la curva della funzione potenza stessa è più accentuata. I dati rilevati vengono poi elaborati mediante PC (Tabella 2), esprimendo così sottoforma numerica e grafica le variabili riscontrate. I calcoli effettuati per giungere ai parametri voluti sono stati i seguenti:

- **Coefficiente infiltrometro (mm):** (altezza singola tacca \* superficie serbatoio) / superficie cilindro interno
- **Quantità di acqua infiltrata (mm):** differenza letture \* coefficiente infiltrometro
- **Infiltrazione cumulata (mm):** (differenza letture \* coefficiente infiltrometro) + acqua inf. rilievo precedente
- **Velocità media di infiltrazione (mm/min):** infiltrazione cumulata / tempo trascorso da inizio prova

Tabella 1:

Ora	Int. tempo (min)	Liv. serbatoio (cm)	Diff. letture (cm)
9:20	/	1,2	/
9:25	5	13,8	12,6
9:30	5	20,6	6,8
9:35	5	26,0	5,4
9:40	10	30,3	4,3
9:50	10	34,6	4,3
10:00	10	37,4	2,8
10:10	10	39,0	1,6
10:20	10	40,3	1,3
10:30	10	41,6	0,7
10:40	10	44,0	1,4
11:00	20	45,6	1,6
11:20	20	46,6	1,0
11:40	20	47,9	1,3
12:00	20	49,3	1,4
12:20	20	50,4	1,1

12:40	20	51,1	0,7
13:00	20	52,4	1,3
13:20	20	53,6	1,2
13:40	20	54,6	1,0
14:00	20	55,5	0,9
14:20	20	55,9	0,4

Tabella 2:

Tempo (min)	Int. tempo (min)	Diff. lett. (cm)	Coeff. inf. (mm)	Acqua inf (mm)	Inf. Cum. (mm)	Vel. media (mm/min)
0	/	/	4,14	0,00	0,00	0,00
5	5	12,6	4,14	52,16	52,16	10,43
10	5	6,8	4,14	28,15	80,31	8,03
15	5	5,4	4,14	22,36	102,67	6,84
20	10	4,3	4,14	17,80	120,47	6,02
30	10	4,3	4,14	17,80	138,27	4,61
40	10	2,8	4,14	11,59	149,86	3,75
50	10	1,6	4,14	6,62	156,48	3,13
60	10	1,3	4,14	5,38	161,86	2,70
70	10	0,7	4,14	5,38	167,24	2,39
80	10	1,4	4,14	9,94	177,18	2,21
100	20	1,6	4,14	6,62	183,80	1,84
120	20	1,0	4,14	4,14	187,94	1,57
140	20	1,3	4,14	5,38	193,32	1,38
160	20	1,4	4,14	5,80	199,12	1,24
180	20	1,1	4,14	4,55	203,67	1,13
200	20	0,7	4,14	2,90	206,57	1,03
220	20	1,3	4,14	5,38	211,95	0,96
240	20	1,2	4,14	4,97	216,92	0,90
260	20	1,0	4,14	4,14	221,06	0,85
280	20	0,9	4,14	3,73	224,79	0,80
300	20	0,4	4,14	1,66	226,45	0,75

#### 4 - Elaborazione dei parametri rilevati.

Avendo ora a disposizione i valori di infiltrazione cumulata e di velocità media di infiltrazione è possibile determinarne l'andamento in funzione del tempo trascorso (figura 1).

La relazione matematica che meglio esprime l'infiltrazione cumulata in funzione del tempo trascorso, come detto precedentemente, è una **funzione esponenziale** del tipo:

$$y = ax^b$$

dove a e b sono due costanti determinate sperimentalmente, nel caso specifico mediante programma grafico. Pertanto l'equazione matematica che lega le due variabili sopra citate, riferite alla prova eseguita, risulta essere la seguente (figura 2):

$$y = 42,79477x^{0,3063265} \quad (R^2 = 0,931)$$

La velocità di infiltrazione che va presa maggiormente in considerazione al fine di una più corretta elaborazione dei parametri rilevati non è quella media, bensì quella istantanea. La velocità istantanea di infiltrazione dell'acqua in un terreno insaturo è praticamente il rapporto incrementale tra infiltrazione cumulata (asse y) e tempo trascorso (asse x), cioè una **derivata prima** (figura 3). Quindi la derivata prima ( $y'$ ) della funzione potenza:

$$y = ax^b$$

sarà:

$$y' = abx^{b-1}$$

che tradotta in valori numerici darà la velocità istantanea di infiltrazione:

$$y = 42,79477 * 0,3063265x^{0,3063265-1}$$

che semplificata diventerà:

$$y = 42,79477 * 0,3063265x^{-0,6936735}$$

Come si potrà notare osservando la figura 4, la differenza concettuale nonché quantitativa tra velocità media e velocità istantanea di infiltrazione è facilmente riscontrabile se le si rappresenta graficamente insieme.

L'infiltrazione cumulata e la velocità istantanea di infiltrazione vengono così rappresentate su di un unico grafico evidenziando il comportamento dell'acqua in terreno insaturo (figura 5). La retta orizzontale è l'asintoto a cui tende la velocità istantanea di infiltrazione (infiltrazione permanente) col tendere di t all'infinito.

#### 5 - Considerazioni finali.

L'ingresso dell'acqua dalla superficie del terreno può avvenire per moto laminare (infiltrazione propriamente detta, cioè penetrazione diretta entro il corpo poroso) o per moto turbolento, attraverso le crepacciature del terreno ed eventualmente per dispersione laterale od in profondità. Per quanto riguarda il fenomeno dell'infiltrazione riferito su scala territoriale si usano valori orientativi di permeabilità delle rocce, molto spesso determinati in laboratorio e non direttamente in campo.

Nella infiltrazione propriamente detta se il potenziale di pressione o l'umidità sono tenuti costanti alla superficie d'infiltrazione, tanto la velocità d'infiltrazione che l'infiltrazione cumulata dipendono in varia misura dallo svolgimento del moto entro tutto il volume del terreno. In una porzione di terreno orizzontale avente umidità iniziale omogenea, la velocità di infiltrazione (potenziale libera, cioè praticamente realizzata tenendo costantemente presente un velo d'acqua

alla superficie d'infiltrazione) decresce col tempo e l'infiltrazione cumulata aumenta secondo le formule precedentemente menzionate. Se l'infiltrazione avviene in condizioni analoghe, ma in colonna verticale, a causa dell'intervento del campo gravitazionale la velocità di infiltrazione risulta maggiore rispetto al caso di moto orizzontale e, col crescere del tempo, non tende a zero, ma ad un valore finito pari alla **conducibilità idrica del terreno a saturazione** (infiltrazione permanente). Per tempi brevi (qualche minuto) la velocità di infiltrazione, il gradiente massimo di umidità al fronte di avanzamento e la velocità di avanzamento del fronte sono approssimativamente inversamente proporzionali alla radice quadrata del tempo ( $1/\sqrt{t}$ ), mentre la profondità raggiunta da questo fronte e l'infiltrazione cumulata crescono pressoché proporzionalmente alla radice quadrata del tempo. Il parametro che caratterizza le primissime fasi del processo di infiltrazione è la **sorptività**, dall'inglese "sorption", che è funzione della permeabilità intrinseca del terreno, della sua capacità d'immagazzinamento per l'acqua e della differenza di potenziale di pressione tra l'acqua alla superficie d'infiltrazione e l'acqua nel terreno allo stato iniziale.

Il mantenimento sulla superficie d'infiltrazione di un carico d'acqua costante positivo (carico di pressione idraulica) ha i seguenti risultati sull'infiltrazione verticale: sino ad una certa profondità il terreno risulta saturo d'acqua e questa profondità cresce con il carico alla superficie e col progredire del processo di infiltrazione; la velocità d'infiltrazione e l'infiltrazione cumulata crescono, a parità di condizioni, rispetto a misure senza carico idraulico, ma l'influenza relativa tende ad annullarsi col procedere dell'infiltrazione ed, a parità di tempo, questo effetto cresce con l'umidità iniziale del terreno.

Lo stato di aggregazione del terreno (macropori e micropori) influenza il decorso dell'infiltrazione e si traduce in una deviazione rispetto allo schema che si avrebbe se l'infiltrazione stessa avvenisse solo attraverso i macropori; questo è il processo che inizialmente predomina. L'infiltrazione cumulata, perciò, per tempi piccoli è essenzialmente data dal contributo dei macropori.

La presenza dell'aria nel terreno, implicita nel moto insaturo, può rallentare la velocità di infiltrazione sino, in taluni casi, a bloccarla totalmente. Nel caso di infiltrazione verticale attraverso una superficie mantenuta coperta da strato sottile, l'intrappolamento di aria nel corso del processo di bagnamento del terreno, implica, già come tale, una riduzione di umidità rispetto alla saturazione della superficie e quindi riduce la velocità di infiltrazione. Dopo un certo tempo dall'inizio dell'infiltrazione comincia a manifestarsi una fuoriuscita di aria dalla superficie di infiltrazione e ciò riduce ulteriormente l'umidità nel tratto superiore del profilo, abbassando quindi la velocità di infiltrazione. Se al di sotto dello strato entro cui ha sede l'infiltrazione c'è uno strato impermeabile all'aria (strato saturo d'acqua oppure falda idrica superficiale), la velocità di infiltrazione diminuisce ancora più rapidamente, tanto più quanto più superficiale è lo strato impermeabile all'aria, scendendo generalmente molto al di sotto della conducibilità idrica in regime saturo, sinché l'aria riesce ad aprirsi una via per uscire dalla superficie di infiltrazione, gorgogliando se c'è un carico d'acqua sovrastante (come nel nostro caso); la velocità riesce allora a risalire e, se non vi fossero complicazioni, tenderebbe ad un valore costante indipendente dalla profondità dello strato impermeabile ma inferiore, anche di molto, alla conducibilità idrica dello stesso terreno saturo senza queste manifestazioni.

Quando i terreni sono soffici, il loro bagnamento mediante infiltrazione determina un costipamento. La componente matriciale dell'azione costipante ha un massimo ad una data umidità, che in generale si verifica nell'ambito del fronte di avanzamento dell'acqua o poco dietro se la superficie di infiltrazione è completamente coperta d'acqua.

I terreni rigonfiabili possono presentare deviazioni talvolta notevoli rispetto agli schemi usuali.

In un terreno non omogeneo si possono avere le maggiori complicazioni del processo di infiltrazione; i casi pratici più frequenti sono quelli dei terreni stratificati oppure fessurati. Se alla superficie del terreno vi è uno strato sottile con piccola conducibilità idrica (ad es. formazione di crosta che non si spacca finché resta molto bagnata), la velocità di infiltrazione nel terreno ne risulta ridotta ed il processo tende ad un regime pressoché permanente, mentre il sottostante profilo idrico risulta uniforme, almeno entro un certo tempo ed influenza notevolmente la velocità di infiltrazione. Se vi è la presenza di uno strato inferiore del tutto impermeabile si torna al caso già menzionato a proposito dell'aria nel terreno. Nel caso in cui, nel corso del processo di infiltrazione, il fronte di avanzamento incontra uno strato più permeabile, può formarsi una falda pensile in equilibrio dinamico.

Un tipo particolare di eterogeneità, praticamente normale nel terreno, è costituito dalla disformità di distribuzione dell'umidità nel profilo all'inizio del processo di infiltrazione.

Al fine di meglio valutare i risultati ottenibili occorre prendere in considerazione l'**umidità di partenza** del suolo, operando un carotaggio pre-prova sino ad una profondità variabile in funzione del tipo di suolo. Questo poiché la velocità di infiltrazione stabilizzata al raggiungimento dell'infiltrazione permanente, dipende, oltre che dalle caratteristiche del terreno, anche dall'umidità iniziale.

Per riferire le considerazioni non soltanto ad un'unica prova ma, come del resto sarebbe utile, ad un versante, ad un appezzamento oppure ad una ristretta zona di territorio da monitorare, bisognerebbe effettuare numerose ripetizioni sull'intera superficie e, se possibile, in momenti in cui l'umidità iniziale è diversa.

## 6 - Conclusioni.

La necessità di venire a conoscenza di quello che è il movimento dell'acqua nel "non saturo" è di fondamentale importanza per chiunque svolga lavori inerenti lo studio di terreni, suoli o sottosuoli destinati a diversi scopi (naturalisti, pedologi, geologi ecc.).

Alcuni parametri idrologici, per essere rappresentativi, non possono essere determinati in laboratorio su campioni di piccole dimensioni, ma devono essere rilevati in campo. Nel presente lavoro è emerso come l'infiltrometro a doppio cilindro possa soddisfare questa esigenza. Lo strumento ha evidenziato una buona affidabilità, unita ad una non complessa procedura di utilizzo, inoltre, dotandolo di un sistema che regoli automaticamente il carico idraulico anche tra il cilindro esterno e quello interno faciliterà l'esecuzione delle prove, aumentandone la qualità.

## Bibliografia principale.

Casati P., Pace F. (1991) - Scienze della Terra. Città Studi, Milano.

Cavazza L. (1981) - Fisica del terreno agrario. U.T.E.T. Torino.

Press F., Siever R. (1993) - Introduzione alle Scienze della Terra. Zanichelli, Bologna.

Sequi P. (1989) - Chimica del suolo. Pàtron editore, Bologna.

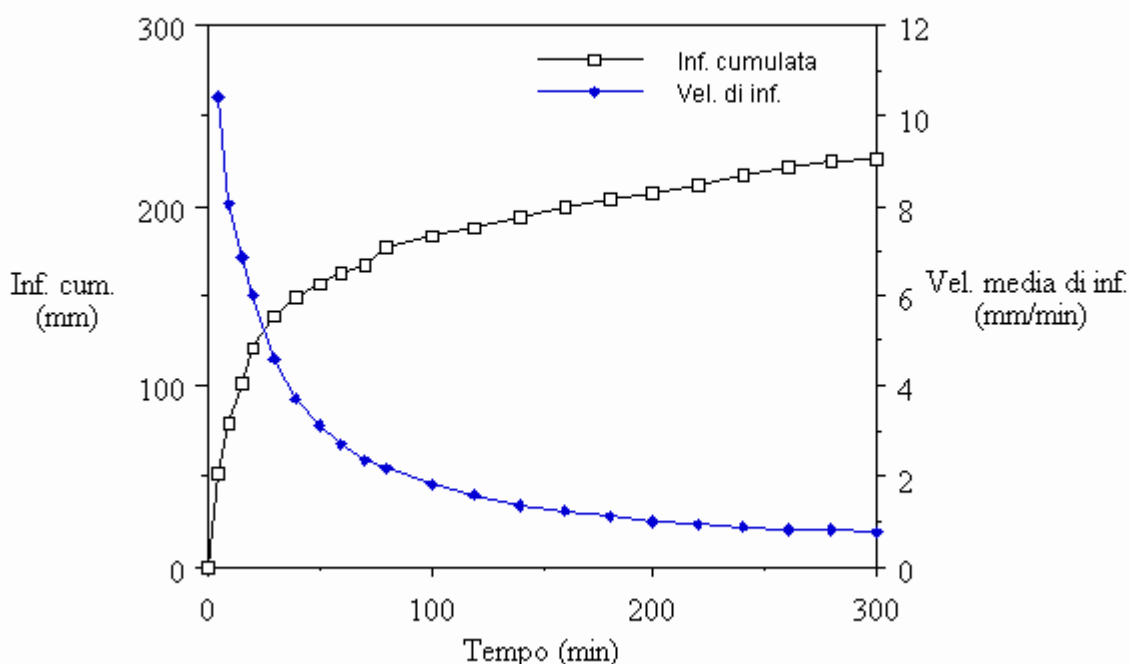


Figura 1 - Infiltrazione cumulata e velocità media di infiltrazione in funzione del tempo trascorso, riferiti alla prova eseguita.

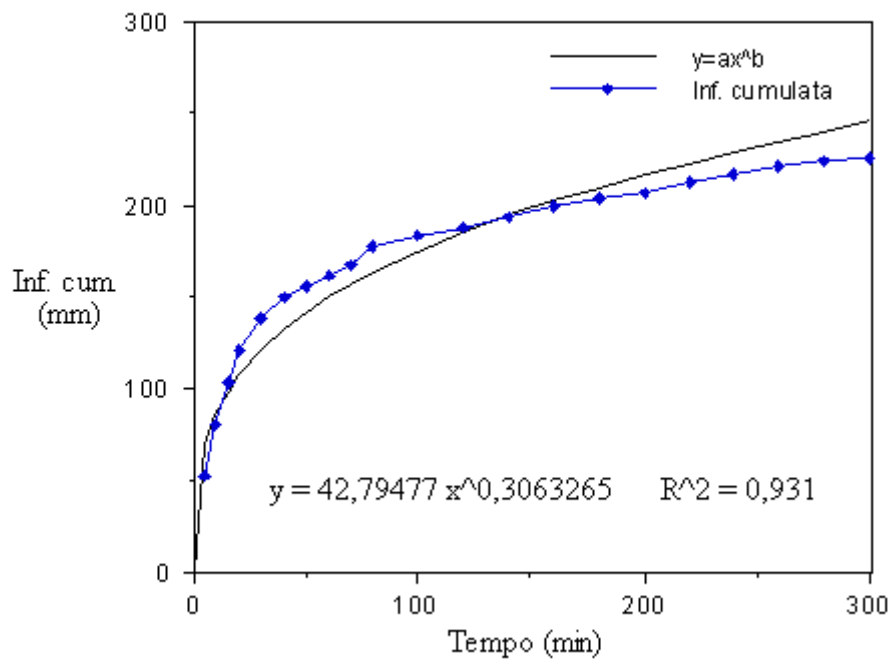


Figura 2 - Interpolazione dei punti inerenti l'infiltrazione cumulata mediante una funzione esponenziale.

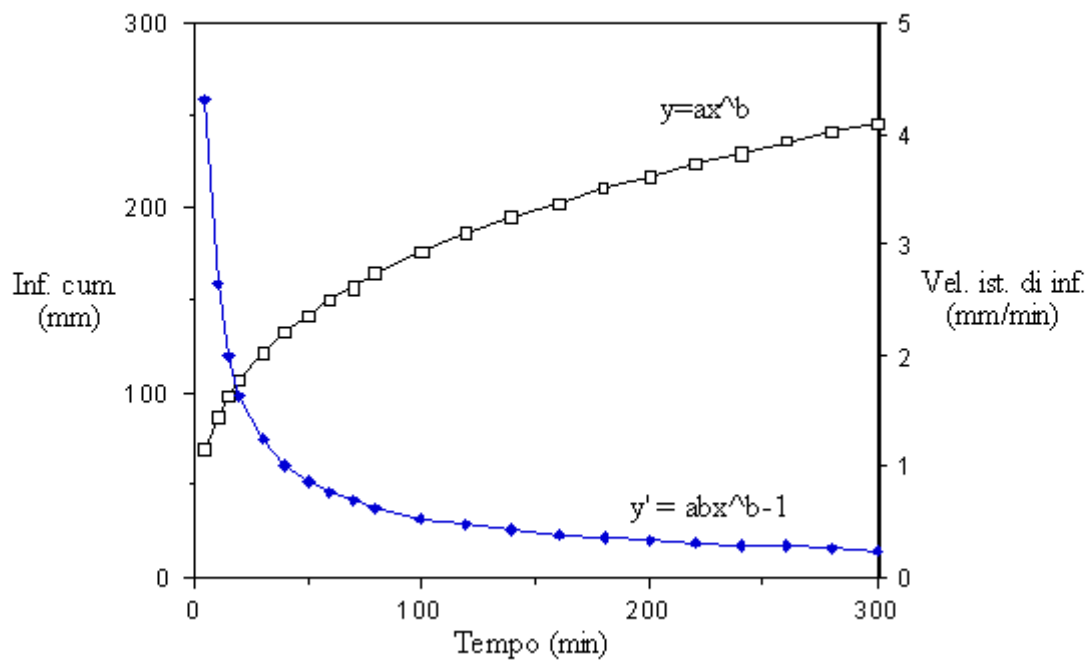


Figura 3 - Funzione potenza e sua derivata prima, rappresentante la velocità istantanea di infiltrazione.

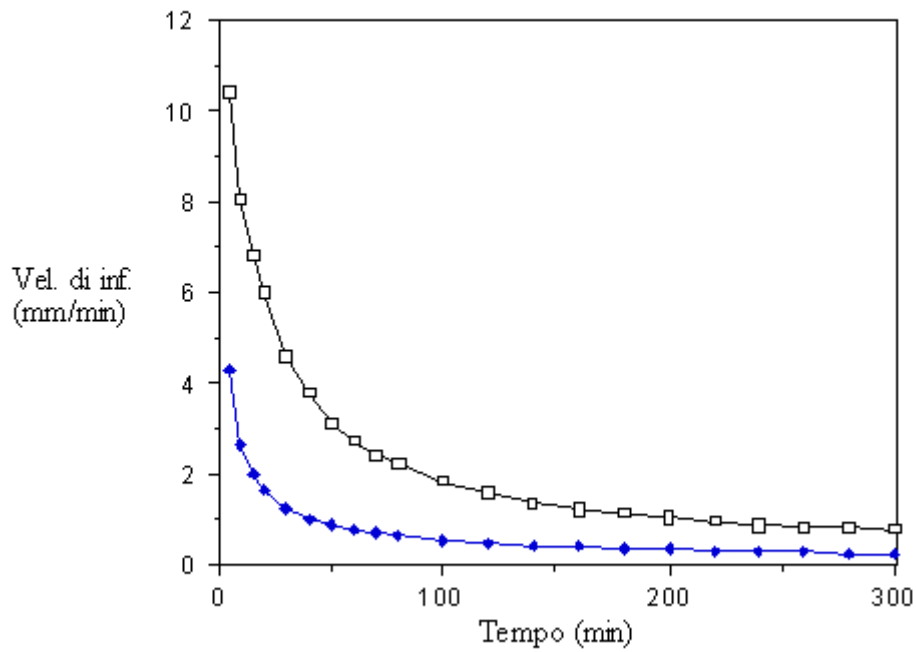


Figura 4 - Velocità media (curva a quadrati bianchi) e velocità istantanea (curva a rombi blu) di infiltrazione.

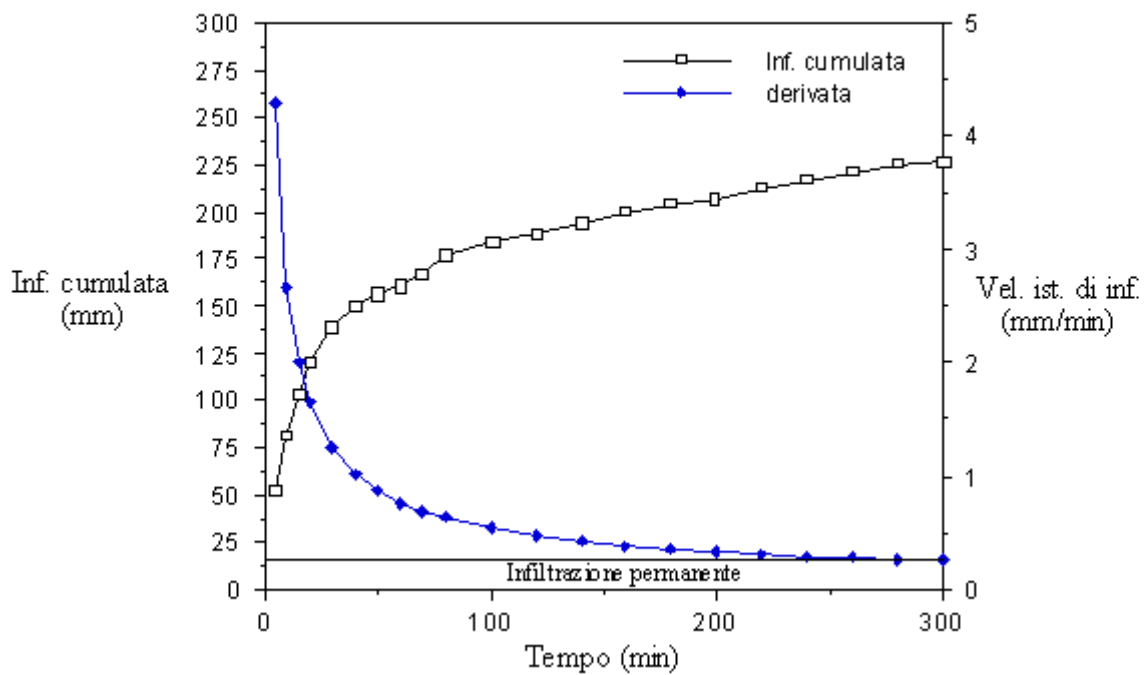


Figura 5 - Infiltrazione cumulata e velocità istantanea di infiltrazione con il valore di infiltrazione permanente in corrispondenza dell'asintoto inferiore (18 mm/ora circa).