

Guido Nigrelli – www.naturaweb.net

Il permeametro di Guelph e la K_{fs}

Introduzione.

Lo scopo di questa nota è quello di illustrare la procedura operativa ed i parametri rilevabili di una delle apparecchiature maggiormente utilizzate per la determinazione in sito della conducibilità idraulica in terreno saturo, denominata in inglese "field saturated hydraulic conductivity" e rappresentata con la sigla " K_{fs} ". Questo permeametro da campo (foto a fianco) opera a carico idraulico costante ed è utilizzato per l'esecuzione di prove in condizioni di falda freatica molto profonda o assente. Esso risulta molto utile qualora si debbano effettuare delle valutazioni qualitative direttamente in sito circa la proprietà del suolo di condurre acqua. Lo strumento trova maggior impiego nelle indagini pedologiche a scopo agronomico, geologico, ed ambientale (esempio irrigazione, drenaggio, inquinamento, ricerca e studi idrologici) poiché può essere utilizzato sia per caratterizzare lo strato agrario superficiale e sia per valutare le proprietà idrauliche dei singoli orizzonti componenti il profilo pedologico. Alcune basi teoriche introduttive aiuteranno il lettore e precederanno la descrizione dello strumento e la trattazione degli aspetti metodologici. Successivamente sarà riportata a titolo di esempio l'esecuzione di una prova. Per la caratterizzazione dell'ambiente nel quale lo strumento è stato utilizzato fare riferimento all'inquadramento naturalistico della zona ed ai rilievi pedologici nel Monferrato Settentrionale.



Basi teoriche.

Allo scopo di aiutare il lettore nella comprensione degli argomenti trattati vengono qui di seguito riportati alcuni concetti fondamentali estrapolati da testi del settore (vedi bibliografia). Quando si ha a che fare con un corpo poroso come il terreno, diventa estremamente difficile studiare analiticamente il moto dei fluidi che percorrono il suo intricato sistema di pori. Se si considera una porzione del corpo poroso sufficientemente ampia rispetto alle dimensioni dei suoi pori, si può ovviare ai detti inconvenienti sostituendo al concetto di corpo poroso reale, un modello di corpo permeabile omogeneo. Su questo modello è possibile definire una velocità apparente (darcyniana) del fluido, spesso indicata semplicemente flusso, quando si trattano moti fluidi in corpi porosi, com'è appunto un terreno. La legge di Darcy afferma che il flusso che percorre un cilindro poroso sufficientemente uniforme è direttamente proporzionale all'area della sezione retta del cilindro ed alla differenza di potenziale totale dell'acqua tra le sue facce estreme, ed inversamente proporzionale alla lunghezza del cilindro. Una delle numerose rappresentazioni matematiche utilizzate per descrivere il fenomeno è la seguente:

$$Q/t = -KA * [(dp2 - dp1) / s]$$

dove " Q/t " è la quantità d'acqua infiltrata nel tempo " t " (praticamente la portata) attraverso un cilindro di sezione " A " e lunghezza " s " sotto l'azione di una differenza di potenziale totale tra le due basi del cilindro " $dp1$ " e " $dp2$ ". " K " è il coefficiente di proporzionalità, ossia quanto questo corpo poroso conduce acqua. Questo coefficiente va determinato sperimentalmente come rapporto tra la velocità del flusso ed il gradiente del potenziale totale e per far questo direttamente in campo ci si serve soprattutto dei permeametri ed, in particolar modo di quello di Guelph. Va ricordato a tal proposito che esistono anche metodi di laboratorio per rilevare " K ", operanti su piccole porzioni di terreno e per questo non sempre utili. La conducibilità idraulica di un terreno dipende dalla geometria dei suoi pori (tessitura e struttura) nonché dalle proprietà del fluido ivi presente, soprattutto viscosità e densità. In un terreno non rigonfiabile, finché i valori del potenziale di pressione dell'acqua sono tali da mantenere il sistema saturo (pori tutti pieni d'acqua) il valore della conducibilità idrica resta costante. Questa condizione si verifica sempre nel caso di deflusso dell'acqua in falda e con buona approssimazione nella frangia capillare. Se in un terreno anisotropo (un terreno si dice anisotropo rispetto ad una sua data caratteristica se in ogni punto del modello omogeneo che ci si è fatti di quel terreno detta caratteristica varia secondo le direzioni dello spazio - L. Cavazza) saturo d'acqua si applica un gradiente di potenziale idrico diretto secondo uno degli assi principali, il flusso di acqua si manifesta nella stessa direzione del gradiente, ma nel verso opposto.

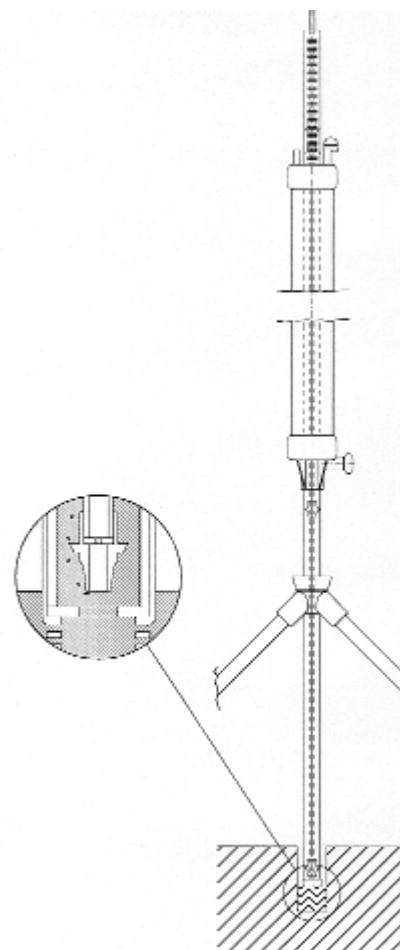


Al fine di una corretta interpretazione dei risultati riveste notevole importanza la composizione granulometrica ed il grado di compattezza propri dello strato inferiore a quello indagato. Infatti, se al di sotto della zona in cui si effettuano le misurazioni vi è un'orizzonte ghiaioso-sabbioso permeabile, per niente cementato e quindi ad altissima conducibilità idrica, molta parte del flusso proveniente dalla superficie sarà destinato a versarsi prima verso lo strato sottostante per poi procedere lateralmente in maniera più lenta. Al contrario, se al disotto della zona da rilevare vi è un'orizzonte compatto e poco permeabile o addirittura impermeabile, cioè a conducibilità idrica approssimativamente nulla, tutte le linee del flusso provenienti dalla superficie si dirigeranno

più o meno lateralmente, incurvandosi in prossimità della zona di contatto fra i due strati. L'individuazione attraverso profili pedologici o cartografia geologica del tipo di orizzonti presenti sotto il sito di prova, può aiutare a comprendere ed a interpretare i valori di conducibilità idraulica ottenuti. Nella foto a fianco è ben visibile come, già ad una profondità di circa 50 cm, la presenza dell'orizzonte "C" in via di alterazione (scaglie e blocchi di marne arenacee mioceniche), possa influenzare i valori di conducibilità idraulica rilevati sul suolo sovrastante (Udurthent tipico USDA, a copertura erbacea) grazie al tipo di fratturazione che possiede e che determina disformi valori di porosità secondaria.

Descrizione dell'apparecchiatura.

Il permeametro di Guelph è costituito da un sostegno a tre piedi nel quale viene infilato il tubo corrispondente al cilindro esterno da immettere nel foro di misura, da un tubo interno al precedente e di lunghezza pari a tutto lo strumento, utile per l'aspirazione dell'aria, entrambi inseriti superiormente mediante supporto sagomato ed a tenuta stagna in quella parte dello strumento che funge da riserva idrica. Al di sopra della parte costituente la riserva d'acqua vi sono un cilindro graduato in cm per poter impostare il livello di battente e quindi il carico idraulico da applicare e la parte finale del tubo d'aspirazione dell'aria precedentemente descritto. Un altro supporto sagomato ed a tenuta stagna contiene il foro per l'immissione dell'acqua e sostiene le parti terminali dell'apparecchiatura. Il fondo dello strumento, praticamente la parte a contatto col suolo è costituita da un anello in gomma tappato alla base e fessurato longitudinalmente nel quale è inserita la parte terminale del cilindro esterno. Questo anello è appositamente sagomato per permettere al tubo d'aspirazione dell'aria di poter fungere da tappo in fase di inizio prova e non far fuoriuscire l'acqua.



Principali dati tecnici dello strumento:

intervallo di Kfs misurabile	36÷0,0036 cm/ora
intervallo di battente applicabile	2,5÷25 cm
profondità di lavoro (incrementabile)	15÷75 cm
capacità massima della riserva idrica	3,18 litri
ingombro a trasporto	118x37x15 cm
massa totale	15 kg

Materiale necessario.

Oltre al permeametro ed al relativo corredo di supporto costituito dalla sonda per l'esecuzione del foro e dagli attrezzi per la pulizia dello stesso, sono necessarie alcune taniche di acqua. E' molto importante utilizzare dell'acqua proveniente da pozzi limitrofi o quella utilizzata per l'irrigazione. Nelle condizioni operative descritte bisogna avere una riserva idrica di circa 5 litri/prova. Sono inoltre necessari un imbuto adatto al foro di ricarica del permeametro, una vanghetta, alcuni sostegni per il fissaggio a terra del piedistallo (solamente per prove in zone declivi) e la solita cassetta contenente il materiale per i rilevamenti pedologici. Da non dimenticare macchina fotografica, cronometro, carta e penna.

Esecuzione di una prova.

Una volta individuato il sito, aperto il foro, posizionato lo strumento e rifornita di acqua la sua riserva, si è pronti per l'esecuzione della prova. Il terreno asportato durante l'esecuzione del foro potrà essere utilizzato per la determinazione dell'umidità iniziale dello stesso. Dopo aver prelevato il campione e controllato che il permeametro sia in posizione di lavoro (perpendicolare al terreno in caso di siti pianeggianti ed a piombo nel caso di aree declivi), alzare il tubo posto all'interno del cilindro graduato collocato sulla sommità dello strumento di 5 cm, attendere qualche istante, rilevare l'altezza dell'acqua all'interno della riserva e dare il via al cronometro. Rilevare l'altezza dell'acqua all'interno della riserva ogni minuto e riportare i dati su apposito modulo sino al raggiungimento della velocità di infiltrazione costante. Mediamente nelle condizioni operative descritte ed in funzione dell'umidità del suolo di partenza, sono necessari dai 15 ai 20 minuti per l'esecuzione della singola determinazione, quindi complessivamente circa 40 minuti per un'intera prova. Qui di seguito viene riportato a titolo di esempio l'andamento di una prova.

Determinazione della conducibilità idraulica con permeametro di Guelph

data: 13.04.1999 - sito: V14LP1

profondità del foro (cm): 13

riserva utilizzata: grande

umidità del terreno ad inizio prova (%pu): 15.4

battente: 5 cm				battente: 10 cm			
lettura	tempo	liv. riserva	diff. livello	lettura	tempo	liv. riserva	diff. livello
(n)	(ore.min)	(cm)	(cm)	(n)	(ore.min)	(cm)	(cm)
1	09.10	4.0	-	1	09.25	10.0	-
2	09.11	5.1	1.1	2	09.26	11.6	1.6
3	09.12	6.0	0.9	3	09.27	13.0	1.4
4	09.13	6.7	0.7	4	09.28	14.2	1.2
5	09.14	7.5	0.8	5	09.29	15.4	1.2
6	09.15	8.1	0.6	6	09.30	16.7	1.3
7	09.16	8.4	0.3	7	09.31	17.7	1.0
8	09.17	8.5	0.1	8	09.32	18.8	1.1
9	09.18	8.7	0.2	9	09.33	19.9	1.1
10	09.19	8.8	0.1	10	09.34	20.7	0.8
11	09.20	9.0	0.2	11	09.35	21.6	0.9
12	09.21	9.1	0.1	12	09.36	22.3	0.7
consumo idrico stabilizzatosi a			0.15	13	09.37	23.2	0.9
				14	09.38	23.9	0.7
				consumo idrico stabilizzatosi a			0.8

Ottenuti così i 2 valori di consumo idrico in cm/min di 0.15 per la prova a battente di 5 cm (R1) e di 0.8 per la prova a battente di 10 cm (R2) si passa al calcolo della "Kfs".

Elaborazione dati.

La parte inerente l'elaborazione dei dati è molto semplice. Una volta diventata costante l'infiltrazione dell'acqua, nelle condizioni di carico idraulico minimo (nel ns caso 5 cm) così come l'infiltrazione dell'acqua nelle condizioni di carico idraulico massimo (nel ns caso 10 cm), si rilevano i rispettivi valori e si inseriscono, unitamente ai dati forniti dal costruttore, nelle formule seguenti:

se si è utilizzata la riserva grossa (caso più probabile):

$$Kfs \text{ (cm/s)} = (0,0041 * 35,01 * R2) - (0,0054 * 35,01 * R1)$$

se si è utilizzata la riserva piccola:

$$Kfs \text{ (cm/s)} = (0,0041 * 2,22 * R2) - (0,0054 * 2,22 * R1)$$

dove:

Kfs = alla conducibilità idraulica a suolo saturo, espressa in cm/s;

R1 = alla quantità d'acqua espressa in cm/s che, nelle condizioni di carico idraulico minimo (nel ns caso 5 cm), ha raggiunto valori costanti di infiltrazione;

R2 = alla quantità d'acqua (cm/s) che, nelle condizioni di carico idraulico massimo (nel ns caso 10 cm), ha raggiunto valori costanti di infiltrazione;

35,01 = all'area della riserva grossa, espressa in cmq e riportata sulla manopola del permeometro;

2,22 = all'area della riserva piccola, espressa in cmq e riportata sulla manopola del permeometro;

0,0041 e 0,0054 = costanti di calcolo.

Facendo riferimento all'esempio precedentemente riportato si ha:

$$R1 \text{ (cm/s)} = 0.15/60 = 0.0025$$

$$R2 \text{ (cm/s)} = 0.8 / 60 = 0.013333$$

$$Kfs \text{ (cm/s)} = (0,0041 * 35,01 * 0.013333) - (0,0054 * 35,01 * 0.0025)$$

$$\mathbf{Kfs = 0.00144 \text{ cm/s} = 5.19 \text{ cm/ora}}$$

Alcuni valori di conducibilità idraulica per tipo di terreno.

granulometria	Ks (cm/ora)
sabbia grossolana ghiaiosa	42 ÷ 208
sabbia media	4 ÷ 21
Granulometria intermedia - sabbia fine	4 ÷ 12
Granulometria intermedia - argilla ben strutturata	2 ÷ 8
Granulometria intermedia	0,8 ÷ 20
Granulometria intermedia - argilloso poco strutturato	0,008 ÷ 0,8
argilloso compatto	<0,008

Classi di conducibilità idraulica satura.

classe	Ks (cm/ora)
molto bassa	<0,12
bassa	0,12 ÷ 0,5
medio-bassa	0,5 ÷ 2
media	2 ÷ 6
medio-alta	6 ÷ 12
alta	12 ÷ 25
molto alta	>25

(da "Metodi di analisi fisica del suolo" parte VIII, pag.70: Oosterbaan e Nijland - 1994, modificate)

Conclusioni.

La determinazione della conducibilità idraulica in ambiente saturo è di fondamentale importanza nel caso in cui si debbano caratterizzare suoli o sottosuoli dal punto di vista idrologico. Essa, per poter essere sufficientemente rappresentativa di quelle che sono le condizioni reali, cioè di campo, deve essere rilevata direttamente in sito. Generalmente i metodi di campo hanno maggiore interesse applicativo rispetto ai metodi di laboratorio, più adatti per scopi di ricerca grazie al loro valore comparativo, tuttavia sono più laboriosi, richiedono complesse attrezzature non sempre facili da utilizzare e da trasportare, inoltre sono necessarie numerose prove e una discreta esperienza alle spalle per poter interpretare nella giusta misura i risultati ottenuti in un ambiente operativo che presenta sempre numerose variabili. Il permeametro di Guelph permette di ottenere ottimi risultati in tempi relativamente brevi, inoltre la procedura di utilizzo non è da ritenersi di difficile apprendimento.

Bibliografia.

- Cavazza L. (1981) - *Fisica del terreno agrario*. UTET, Torino, pp.589.
- Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana (n 204 del 2 settembre 1997) - *Approvazione dei "Metodi di analisi fisica del suolo"*. D.M. MiPAF 1 agosto 1997.
- McRae S.G. (1991) - *Pedologia pratica*. Ed. Zanichelli, Bologna, pp. 279.
- Ministero per le Politiche Agricole e Forestali (1997) - *Metodi di analisi fisica del suolo*. Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante per conto del MiPAF. FrancoAngeli, Milano.
- Sequi P. (1989) - *Chimica del suolo*. Ed. Pàtron, Padova, pp. 608.