

---

# Spiegazioni sul tema del suolo





# Spiegazioni sul tema del suolo

**Nota:**

Questa pubblicazione è un estratto delle spiegazioni e informazioni sul tema del suolo e della pedologia contenute nella guida all'ambiente n. 10 «Costruire proteggendo il suolo» dell'Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP, 2001).

La guida all'ambiente n. 10 «Costruire proteggendo il suolo» è stata sostituita nel 2022 dal modulo «Corretta gestione del suolo nell'edilizia» dell'aiuto all'esecuzione «Costruire proteggendo il suolo».

# Indice

## Spiegazioni sul tema del suolo

<b>Cap. 1</b>	<b>Fertilità del suolo</b>	<b>3</b>
<b>Cap. 2</b>	<b>Vita nel suolo</b>	<b>4</b>
2.1	Interfaccia suolo/pianta	4
2.2	Classificazione e breve descrizione secondo l'ordine di grandezza	5
2.3	Il lombrico	8
<b>Cap. 3</b>	<b>Tipi di suolo</b>	<b>10</b>
3.1	Suoli permeabili	10
3.2	Suoli con umidità stagnante	11
3.3	Suoli idromorfi	11
3.4	Suoli alluvionali	11
3.5	Suoli idromorfi organici	12
<b>Cap. 4</b>	<b>Tessitura del suolo</b>	<b>13</b>
4.1	Argilla	14
4.2	Silt	15
4.3	Sabbia	16
<b>Cap. 5</b>	<b>Struttura del suolo</b>	<b>18</b>
5.1	Struttura primaria	18
5.2	Struttura secondaria	19
<b>Cap. 6</b>	<b>Densità e porosità</b>	<b>22</b>
6.1	Densità apparente e densità reale	22
6.2	Pori (cavità) e loro distribuzione nel suolo	23
6.3	Dimensione dei pori, regime idrico e dell'aria	25
<b>Cap. 7</b>	<b>Portanza e trafficabilità</b>	<b>27</b>
7.1	Conducibilità idraulica o permeabilità	27
7.2	Misurazione della tensione idrica	28
7.3	Relazione tra peso totale, superficie di contatto e trasmissione della pressione	29
7.4	Tensione capillare e impiego di macchine	29
<b>Cap. 8</b>	<b>Analisi del suolo</b>	<b>31</b>
8.1	Misurazione della permeabilità	31
8.2	Misurazione della tensione capillare	34
8.3	Misurazione della densità apparente	36
8.4	Misurazione della resistenza alla penetrazione	38
8.5	Esperimenti dimostrativi sul campo	40
<b>Bibliografia</b>		<b>43</b>
<b>Illustrazioni</b>		<b>44</b>
<b>Nota editoriale</b>		<b>45</b>

# 1. La fertilità del suolo

## Definizioni

Nell'articolo 2 dell'ordinanza del 1° luglio 1998 contro il deterioramento del suolo (7) il concetto di fertilità del suolo è descritto come segue.

Nella pubblicazione «Physikalischer Bodenschutz» della Società Svizzera di Pedologia (15) la fertilità del suolo è definita come capacità del suolo di adempiere alle sue funzioni all'interno dei propri limiti come ecosistema e nell'interazione con altri sistemi ambientali.

In questo senso la fertilità del suolo va interpretata come misura della multifunzionalità del suolo.

Le principali funzioni del suolo sono le seguenti.

### Il suolo è fertile quando:

- a. possiede una biocenosi ricca di specie e biologicamente attiva e una struttura del suolo tipiche per la sua posizione nonché una capacità di decomposizione intatta;
- b. permette la crescita e lo sviluppo normali o influenzati dall'uomo di piante e associazioni vegetali, naturali o coltivate, e non pregiudica le loro caratteristiche;
- c. consente una produzione vegetale di buona qualità che non mette in pericolo la salute dell'uomo e degli animali;
- d. non mette in pericolo la salute dell'uomo e degli animali che lo ingeriscono direttamente.

- bioreattore per la decomposizione delle sostanze organiche;
- substrato per la vegetazione naturale e le piante coltivate;
- biotopo per gli organismi del suolo;
- filtro e tampone per le sostanze;
- corpo di compensazione nel regime idrico, termico e dell'aria;
- archivio storico (il suolo come memoria storica);
- sottofondo portante per edifici o carreggiata per veicoli e apparecchi;
- deposito di materie prime.

## 2. Vita nel suolo

Nel suolo vive una ricca flora e fauna. Ben nota e visibile è soprattutto la pedofauna più grande, come i lombrichi, i gasteropodi, gli insetti e le loro larve. Tuttavia, questa fauna costituisce, dal punto di vista numerico e ponderale (di massa), solo una piccola parte della biomassa del suolo. Gran parte della vita del suolo è invece difficilmente riconoscibile o perlomeno non è riconoscibile a occhio nudo.

Questo capitolo offre solo un quadro sintetico e non esaurisce certo il tema della biologia del suolo. Lo schema seguente propone una rappresentazione grafica semplificata della parte della biomassa presente nello strato superiore del suolo.

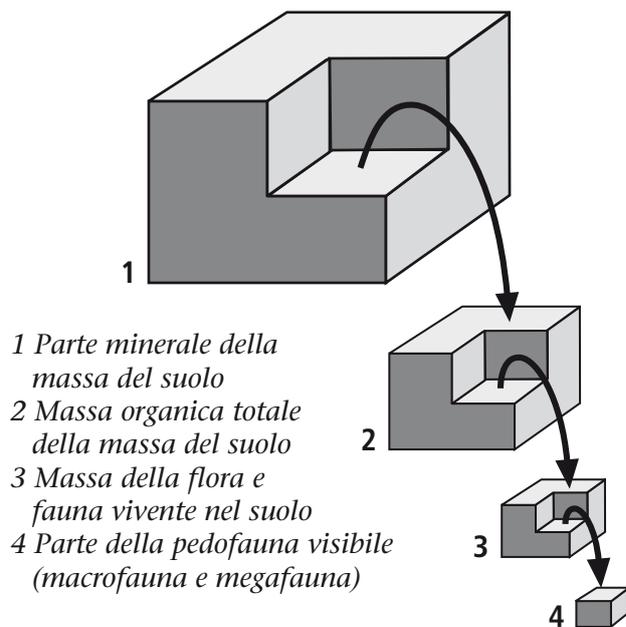


Fig. 01 - Rappresentazione schematica della distribuzione ponderale nel suolo.

### 2.1 Interfaccia suolo / pianta

La pianta trova nel suolo sostegno e nutrimento. In tal modo può crescere e moltiplicarsi. Il suolo, a sua volta, è colonizzato dalle radici delle piante. I secreti delle radici delle piante sciolgono le sostanze nutritive nel suolo. Gli aggregati del suolo, soprattutto quelli calcari, vengono aggrediti, disgregati e di-

sciolti da questi essudati radicali. L'area di contatto attivo tra le radici delle piante e il suolo è detta rizosfera.

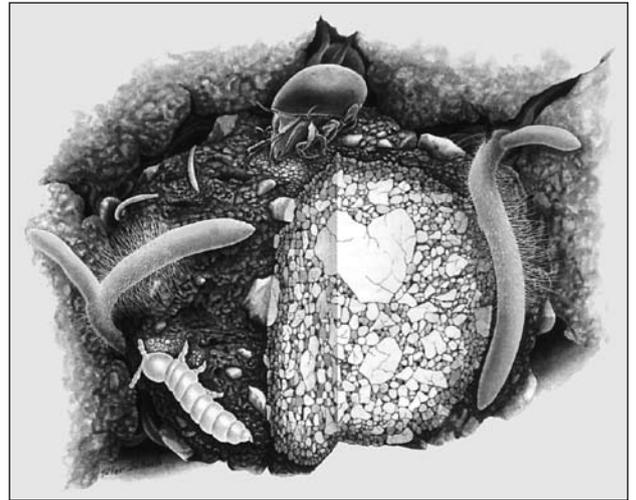


Fig. 02 - Raffigurazione della vita nel suolo a livello di grumo (grandezza naturale ca. 4 mm di lato). Al centro in alto è raffigurato un acaro e in basso a sinistra un collembolo. Questi rappresentanti della mesofauna sono appena visibili a occhio nudo. A destra e a sinistra del grumo si intravedono i peli radicali dell'estremità delle radici.

#### Suolo/peli radicali/microorganismi

Le parti minerali del più piccolo glomerulo di suolo sono aggregate da una pellicola d'acqua, un numero infinito di finissimi peli radicali e ife fungine.

La superficie del grumo (aggregato) è spesso ricoperta del tutto o in parte da un tappeto batterico che rende stabile (tramite strutturazione viva) il grumo formato dalle particelle primarie più fini (argilla, silt e sabbia).

#### Microorganismi/piante

I microorganismi e le piante convivono in vario modo e si completano in modo ideale.

Capita spesso che lo sviluppo di una specie vegetale dipenda da determinati microorganismi. D'altra parte, diversi microorganismi dipendono da piante vive. Nel seguito sono illustrati due esempi noti di scambio reciproco di sostanze.



Fig. 03 - Simbiosi con batteri fissatori dell'azoto, specialmente nelle leguminose. La capacità di sintesi è notevole: un prato di erba medica o trifoglio può fissare fino a 170 kg di N per ha e anno.



Fig. 04 - Arbuscoli di micorrize che penetrano nelle cellule radicali. I carboidrati prelevati dalla pianta vengono scambiati con sostanze nutritive del suolo.

## 2.2 Classificazione e breve descrizione secondo l'ordine di grandezza

Allo stesso modo della composizione granulometrica (cap. 4) e della dimensione dei pori della matrice minerale del suolo (cap. 6), gli esseri viventi presenti nel suolo sono classificati in 5 gruppi secondo la grandezza del loro habitat.

### 1. Microflora, Ø 0,5 - 5 µm (= argilla-silt fine = pori medio-fini)

Dal punto di vista numerico e ponderale, questa frazione invisibile della vita nel suolo costituisce di gran lunga la parte più grande della biomassa nel suolo.

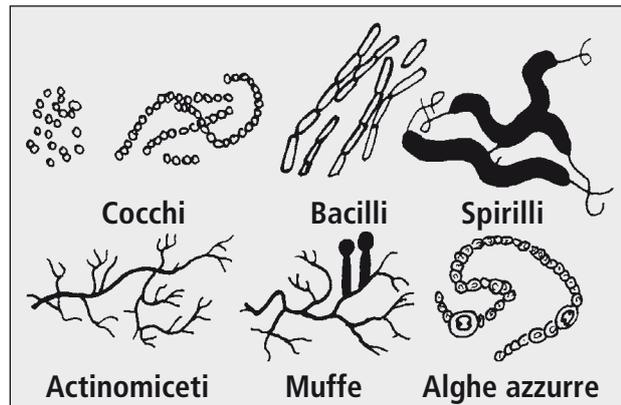


Fig. 05 - Rappresentazione schematica di importanti rappresentanti della microflora del suolo, assai ricca di specie.

La microflora vive stazionaria, solitamente formando cosiddetti tappeti, alla superficie delle più piccole particelle del suolo e negli interstizi. Spesso cementa finissime componenti organiche e minerali con una patina gelatinosa. Tali componenti alimentano a loro volta piccoli animali del suolo. I microorganismi vivono spesso in simbiosi con le radici delle piante, e la loro densità è quindi particolarmente elevata nella rizosfera.

Altri microorganismi (per es. i funghi), possono avere un effetto antibiotico o inibitore della crescita che può anche essere positivo (per es. la distruzione di germi patogeni).

Salvo poche eccezioni, questi organismi necessitano di un ambiente aerato e ossigenato, motivo per cui la loro concentrazione negli strati di suolo prossimi alla superficie è maggiore.

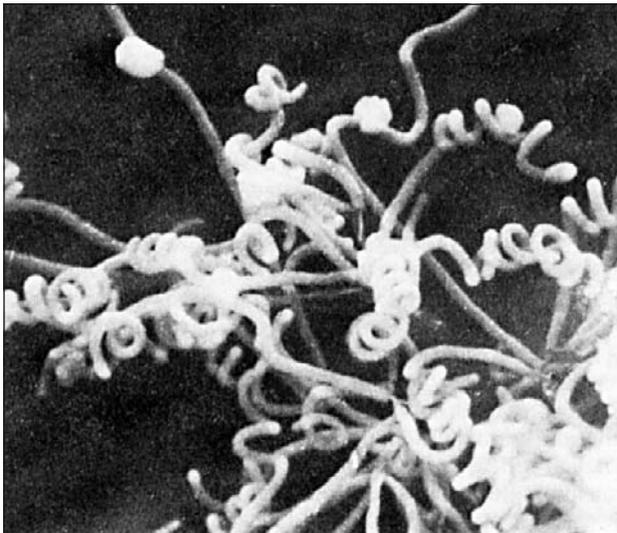


Fig. 06 - Alcuni microorganismi producono sostanze antibiotiche, tra cui la penicillina e la streptomina. La foto mostra catene di spore spirali di uno streptomiceto (ingrandimento: 6000x).

### 2. Microfauna, Ø 5 - 50 µm (= silt = pori medio-grandi)

In questa categoria sono classificati gli organismi più grandi della microflora come i funghi e le alghe, ma anche le parti più piccole delle piante (peli radicali) e la microfauna come gli unicellulari animali (protozoi), i rizopodi, i ciliati e gli sporozoi. Essi vivono in parte in forma pressoché stazionaria e in parte si muovono nell'acqua del suolo restando con filamenti detti flagelli (flagellati) o con il movimento fibrillante delle ciglia distribuite sul corpo (ciliati). Si nutrono di sostanze organiche disciolte e di detriti (particelle cellulari, sostanze in sospensione o depositate) ma anche di batteri, il che ne stimola la moltiplicazione.

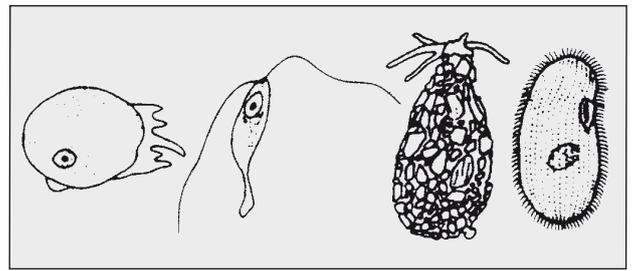


Fig. 07 - Da s. a d.: ameba (rizopodo), flagellato, tecameba (ameba con guscio, testaceo), ciliato.

### 3. Mesofauna, Ø 50 - 2000 µm (= sabbia = macropori)

Nei macropori vive la mesofauna. Le specie più note, appena visibili a occhio nudo, sono facilmente osservabili sotto la lente. Esistono specie apodi come i nematodi (vermi cilindrici), ma anche numerosi artropodi come i collemboli, gli atterigoti, gli acari e i piccoli ragni.

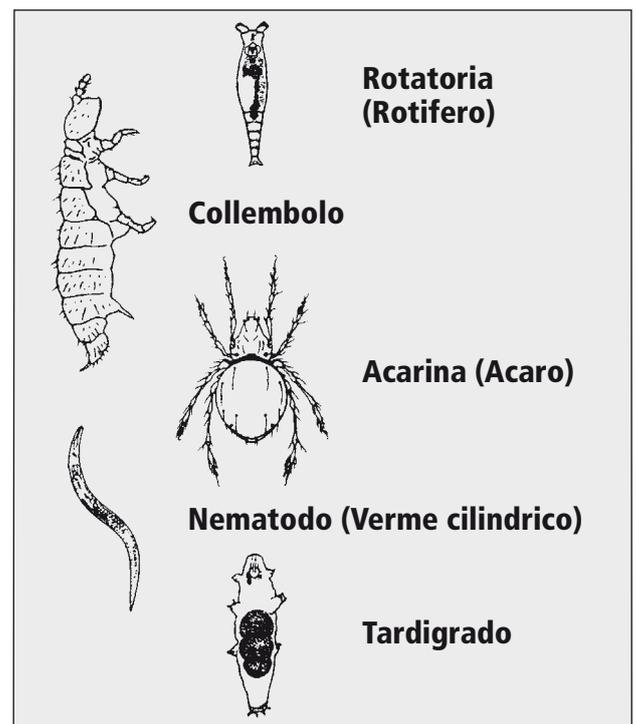


Fig. 08 - Alcuni esempi di mesofauna.

I collemboli sono specializzati nella decomposizione della sostanza vegetale morta, mentre i ragni sono piuttosto predatori. Gli acari possono essere parassiti succhiatori o roditori, ma anche utili nemici naturali di insetti nocivi. Spesso sono vittime collaterali della lotta antiparassitaria chimica.

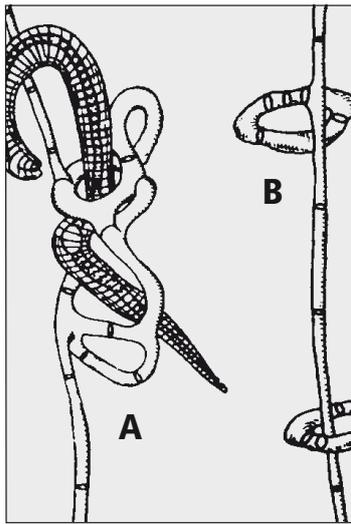


Fig. 09 - I funghi predatori del genere entomophthorales sono in grado, mediante speciali ife (B), di catturare e digerire piccoli animali del suolo come il parassita (nematodo) nella figura (A).



Fig. 10 - Un acaro predatore (in basso) attacca un ragnetto rosso (fitofago succhiatore). Nella viticoltura in Svizzera, gli utili acari predatori sono stati pressoché sterminati in seguito alla lotta chimica contro il ragnetto rosso.

#### 4. Macrofauna Ø 2 - 20 mm (= ghiaia fine = fessure e gallerie dei lombrichi)

La macrofauna comprende una moltitudine di insetti, larve, ragni, crostacei (isopodi) e piccoli vermi (enchitrei)

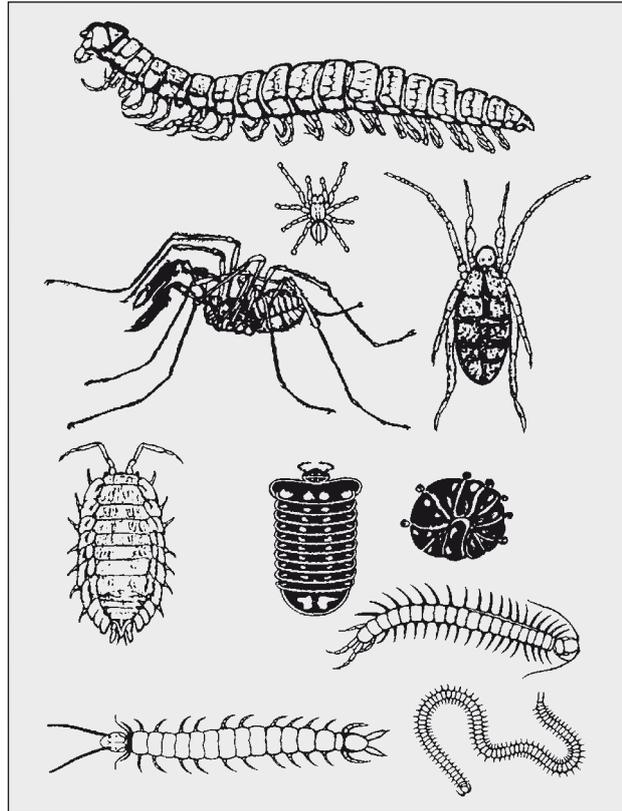


Fig. 11 - Questa illustrazione mostra i rappresentanti della macrofauna lucifughi e che difficilmente si incontrano alla superficie del suolo. Si tratta di diverse forme di insetti, crostacei, ragni, diplopodi. Molti sono predatori. I ragni, i centipedi, le forbicine, gli isopodi terrestri, i glomeridi frammentano la lettiera e decompongono i residui vegetali.

I rappresentanti della macrofauna che vivono e cacciano in superficie si distinguono dai congeneri sotterranei tramite una netta pigmentazione e una colorazione spesso appariscente. Un gruppo ben noto di animali utili è formato dalla grande famiglia dei carabidi, importanti indicatori per l'attività biologica del suolo.

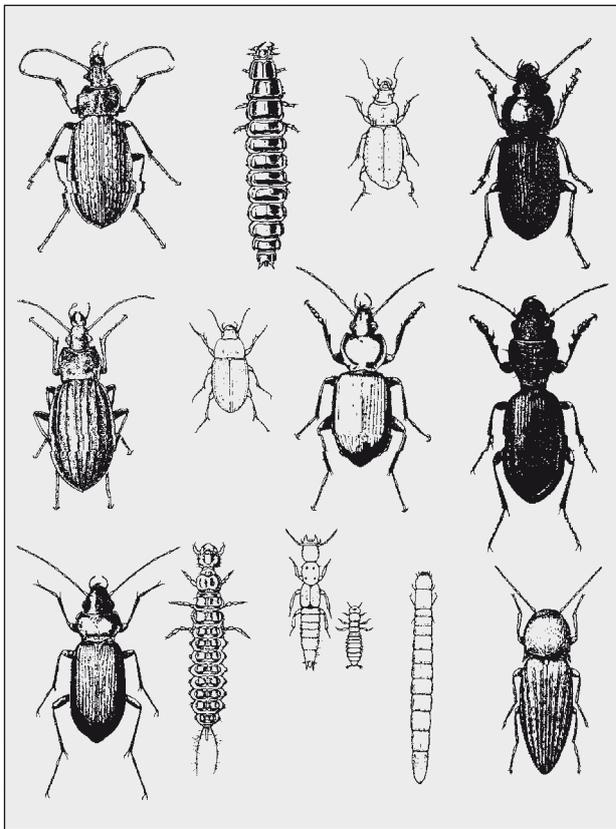


Fig. 12 - Carabidi con larve. Grandezza naturale tra 7 e 33 mm.

### 5. Megafauna $\varnothing > 20$ mm (= pietre = fessure da ritiro, glosse)

Fanno parte della megafauna gli animali del suolo più grandi come i lombrichi, i grandi coleotteri e molluschi nonché tutti i piccoli mammiferi della terra (topi, talpe).

## 2.3 Il lombrico

Il lombrico è considerato il lavoratore della terra, motivo per cui sarà trattato più dettagliatamente. Sulla base dei suoi scavi, Darwin ha constatato che tramite la loro attività i vermi di terra avevano ammassato in 2000 anni uno strato di suolo di oltre un metro. Durante la digestione, il lombrico mescola materiale organico con finissime componenti minerali del suolo, che formano stabili complessi argillo-umici. In questo modo fornisce un importante contributo alla strutturazione del suolo.

I lombrichi sono animali ermafroditi. Nel clitello (ispessimento anellare chiaro della regione centrale negli animali adulti) si forma un bozzolo che sarà depositato nel suolo. Da questo bozzolo usciranno i lombrichetti già formati.

La cinquantina di specie di lombrichi presenti nei nostri suoli vengono suddivise in tre gruppi in funzione delle loro caratteristiche vitali.

### Specie epigee

(per es. *Dendrobaena*, *Eiseniella*, *Eisenia foetida*)

Vivono nella lettiera poco decomposta, nel compost e nel letame. Sono piuttosto piccoli e snelli, molto vivaci, di colore rossastro o arancione. Questi vermi si prestano bene per l'allevamento di massa.

### Specie endogene

(per es. *Allolobophora*, *Octolasion*, *Nicodrilus allo stadio giovanile*)

Vivono prevalentemente nello strato superiore del suolo e salgono raramente in superficie. Si nutrono scavando gallerie nel suolo e ingendo la terra. L'aratura le porta spesso in superficie in massa. Anche le specie che scavano in verticale come *Lumbricus* passano parte dello stadio giovanile in forma endogena.

### **Specie scavatrici in verticale (vermi anecici)**

*(soprattutto specie **Lombricus** e **Nicodrilus**)*

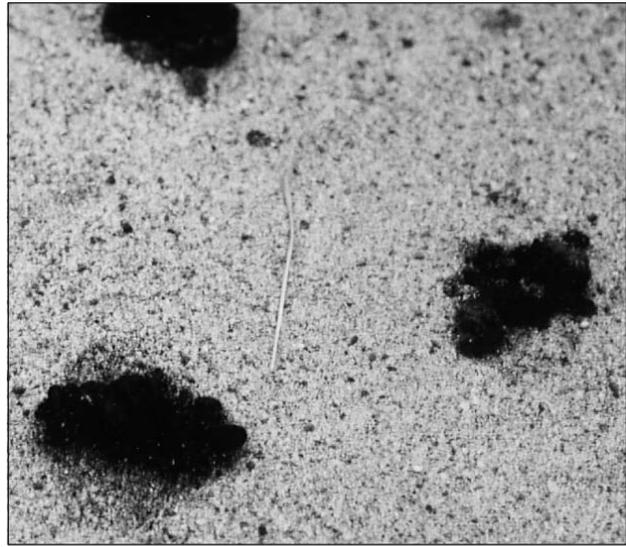
Vermi di terra grandi e fortemente pigmentati. Vivono in una galleria verticale, che raggiunge notevoli profondità nello strato inferiore del suolo. Questi vermi di terra sono caratterizzati dal fatto che cercano il nutrimento (solitamente di notte) in superficie per poi trascinarlo nella loro galleria.



*Fig. 13 - Lombrico mentre trascina in galleria fili di paglia (fotografia in teca).*

In galleria, le parti coriacee e fibrose delle piante vengono predigerite da microorganismi e quindi ingerite e digerite dal lombrico in uno stadio parzialmente decomposto. La sostanza organica viene intensamente mescolata con la terra fine ingerita assieme ad essa ed escreta sotto forma di turricoli.

I lombrichi forniscono così, tra tutti gli animali del suolo, il contributo più importante alla neoformazione, all'aerazione e al drenaggio del suolo. Le loro gallerie formano passaggi ricchi di sostanze nutritive per le radici delle piante. Le popolazioni di vermi di terra possono essere protette e sviluppate soprattutto rinunciando all'impiego di colaticcio corrosivo e di erbicidi, lasciando i resti del raccolto sul campo e con la lavorazione del suolo senza aratura (semina diretta).



*Fig. 14 - Alcuni giorni dopo un'inondazione (24/25 agosto 1987 presso Seedorf/UR) alcuni vermi hanno scavato una galleria verso la superficie attraverso uno strato di sabbia alluvionale dello spessore di un metro (turricoli scuri).*

I vermi di terra sono attivi soprattutto durante i mesi primaverili e autunnali, più freschi e più umidi. Nel periodo estivo secco si interrano in profondità nello strato inferiore umido del suolo. In questo stadio sono meno minacciati dagli interventi relativi alla coltivazione.

## 3. Tipi di suolo

I fattori pedogenetici come la litologia, la morfologia, il clima e la vegetazione, a cui si aggiunge l'utilizzazione antropica del suolo, hanno determinato una grande varietà di tipi di suolo che formano il sottile strato vivo di transizione tra la parte minerale del globo terrestre (per es. roccia o sedimento sciolto) e l'atmosfera che lo circonda.

Se in un rapporto figurano termini come terra bruna lisciviata, terra bruna calcarea o podsol, si tratta del tipo di suolo. Per contro, i termini suolo sabbioso o limo riguardano la tessitura del suolo (vedi capitolo seguente). Il tipo di suolo è quindi determinato in larga misura dalla pedogenesi, dalla tessitura e dal materiale parentale.

Nelle nostre condizioni climatiche il regime idrico (classe I) assume un'importanza determinante per lo sviluppo del suolo. Per la sua caratterizzazione si considera spesso la conducibilità idraulica. Esso costituisce pertanto la prima delle sette classi di classificazione dei suoli in Svizzera. Le altre classi sono determinate dalla roccia madre (classe II), dai componenti chimico-minerali (classe III), dalla migrazione delle sostanze (classe IV) e dall'intensità di espressione delle caratteristiche del profilo (classe V). Inoltre, l'identificazione tiene conto sia delle caratteristiche importanti per la crescita delle piante come la profondità di pervasione radicale, la capacità di immagazzinamento d'acqua e la presenza di sostanze nutritive (classe VI), sia dei fattori ambientali come la posizione, la vegetazione e l'utilizzazione (classe VII).

La conducibilità idraulica del suolo (permeabilità del suolo) è espressa dal valore  $k$  (fig. 15 e cap. 8).

Valore $k$	Velocità di percolazione	Regime idrico
$10^{-1}$ cm/sec	3600 mm/h	Estremamente permeabile
$10^{-2}$ cm/sec	360 mm/h	
$10^{-3}$ cm/sec	36 mm/h	Leggera umidità stagnante
$10^{-4}$ cm/sec	3,6 mm/h	
$10^{-5}$ cm/sec	0,36 mm/h	Umidità stagnante
$10^{-6}$ cm/sec	0,036 mm/h	
$10^{-7}$ cm/sec	0,0036 mm/h	Impaludato
$10^{-8}$ cm/sec	0,00036 mm/h	

Fig. 15 - Confronto tabellare tra valore  $k$ , velocità di percolazione e regime idrico

### 3.1 Suoli permeabili

Sono detti permeabili (percolabili) i suoli la cui permeabilità all'acqua supera i 100 mm al giorno, ossia più di  $k = 10^{-4}$  cm/sec. I suoli permeabili sono generalmente caratterizzati nel profilo da una colorazione uniforme da bruna a giallastra. Anche se gli orizzonti del suolo (strati) presentano colori differenti, mancano macchie di ruggine o colorazioni grigie.

#### Terre brune

Le terre brune presentano una colorazione da giallastra a bruna. Queste tonalità di colore sono dovute al ferro ossidato. L'ossidazione avviene soltanto in presenza di ossigeno. I suoli bruni sono pertanto sempre ben aerati e generalmente profondi. Le terre brune sono ampiamente diffuse nelle zone climatiche temperate dell'Altopiano e delle Prealpi e costituiscono suoli coltivabili fertili.

#### Regosuoli (suoli bruti)

Sono meno evoluti dei suoli bruni e piuttosto superficiali. Il colore dello strato superiore del suolo ricco di humus (orizzonte A) si distingue nettamente dal materiale parentale inalterato (orizzonte C). Manca uno strato di transizione o di disgregazione sotto forma di strato inferiore del suolo (orizzonte B), motivo per cui questo tipo di suolo è detto anche suolo A/C.

### **Terre brune liscivate**

Si distinguono dai suoli bruni per il fatto che una parte delle particelle d'argilla vengono illuviate e accumulate in strati più profondi del suolo.

### **Podsol**

I podsol sono suoli acidi fortemente dilavati che non fissano praticamente nessuna sostanza nutritiva. Per questo motivo sono molto poveri di sostanze nutritive. I podsol sono presenti soprattutto su rocce silicee (per es. granito e gneiss) nei boschi di conifere delle Alpi.

## **3.2 Suoli con umidità stagnante**

I suoli con umidità stagnante, insufficientemente permeabili, sono caratterizzati da un'infiltrabilità da ridotta a scarsa. Nel primo caso, una leggera inibizione dell'infiltrabilità può essere segnalata da screziature, mentre nelle regioni con abbondanti precipitazioni i suoli del secondo tipo sono costantemente saturi d'acqua fino quasi alla superficie. L'orizzonte dell'acqua stagnante si trova nello strato di crescita radicale del profilo del suolo.

### **Pseudogley**

Si tratta di suoli con umidità stagnante che in seguito a intasamento o a una granulometria fine sono periodicamente bagnati da acqua d'infiltrazione. La zona di umidità periodica è riconoscibile nel profilo sulla scorta delle tipiche macchie di gley (macchie di ruggine) e di concrezioni nere di manganese. Nelle regioni piovose gli pseudogley sono abbastanza frequenti. Il loro sfruttamento agricolo è pressoché impossibile o assai limitato.

## **3.3 Suoli idromorfi**

Questi suoli vengono designati anche con il nome di suoli bagnati sul fondo e sono periodicamente o permanentemente soggetti all'afflusso di acque estranee. Tale afflusso può avvenire lateralmente, in un pendio (gley di versante), o tramite elevamento della falda freatica in pianura.

### **Gley**

Si tratta di suoli bagnati da acque di pendio o di falda. Poiché queste acque solitamente trasportano calcare, di regola il gley (a differenza dello pseudogley) non si inacidisce. Lo strato superiore del suolo è spesso di colorazione scura (anmoor, humus nero), mentre il sottosuolo sovrasaturo presenta, in seguito alla riduzione del ferro, toni da grigio-nerastri a grigio-verdi e bluastri.

I gley, essendo in condizioni di saturazione permanente, sono scarsamente sollecitabili. In un ambiente saturo le sostanze fertilizzanti vengono trasportate molto rapidamente e possono minacciare le acque sotterranee. Uno sfruttamento intensivo di questi suoli è pertanto sempre problematico.

## **3.4 Suoli alluvionali**

### **Suoli golenali**

I suoli golenali sono limitati a poche aree in prossimità dei corsi d'acqua periodicamente inondate dalle acque non corrette. Fuori dai boschi, i suoli alluvionali vergini, ossia inalterati, sono assai rari. Nei suoli golenali il materiale alluvionale è riconoscibile nelle singole stratificazioni del profilo.

### **3.5 Suoli idromorfi organici**

#### ***Suoli paludosi***

Benché i suoli paludosi presentino una colorazione nera, non vanno confusi con i chernozem, che non esistono in Svizzera. Il colore scuro dei suoli paludosi dipende dalla presenza di umina. Nell'acqua stagnante i residui vegetali non possono essere decomposti, il che determina la formazione di torba. In questo ambiente povero di ossigeno e acido i frammenti vegetali e intere piante possono essere conservati per secoli. Nel nostro Paese, le torbiere basse (paludi) e le torbiere alte allo stato naturale sono ormai rare.

Se i suoli paludosi vengono prosciugati sono facili da coltivare e, nelle zone favorevoli, sono spesso sfruttati in modo intensivo (orticoltura). In seguito al prosciugamento e all'apporto di aria che ne consegue la massa organica si decompone però molto rapidamente. Le conseguenze indesiderate che risultano da questo processo sono tra l'altro la diminuzione dello strato di torba e il rilascio di grandi quantità di nitrati.

## 4. Tessitura del suolo

Se si procede alla classificazione del suolo in funzione del materiale, come per esempio limo sabbioso o argilla limosa moderatamente siltosa, si caratterizza la tessitura o la natura del suolo. Essa è definita in base alla proporzione espressa in per cento di argilla, silt e sabbia, ossia la composizione granulometrica della terra fine minerale. Per terra fine si intende la totalità delle particelle del suolo di diametro inferiore a 2 mm. Tutti i componenti del suolo minerali con un diametro > 2 mm fanno parte dello scheletro del suolo (= ghiaia fine e grossolana, ciotoli, pietre). La tessitura caratterizza le proprietà tattili di un suolo.

Per la determinazione della tessitura in base alla composizione granulometrica nella terra fine si fa capo al cosiddetto triangolo della tessitura, in cui sono indicati tramite una griglia le frazioni di

**argilla (T)** (Ø del granulo < 0,200 mm)  
**silt (U)** (Ø del granulo 0,002 - 0,05 mm)  
**sabbia (S)** (Ø del granulo 0,05 - 2 mm)

Nella griglia vengono riportati i tenori delle singole frazioni misurate in laboratorio o stimate mediante prova tattile.

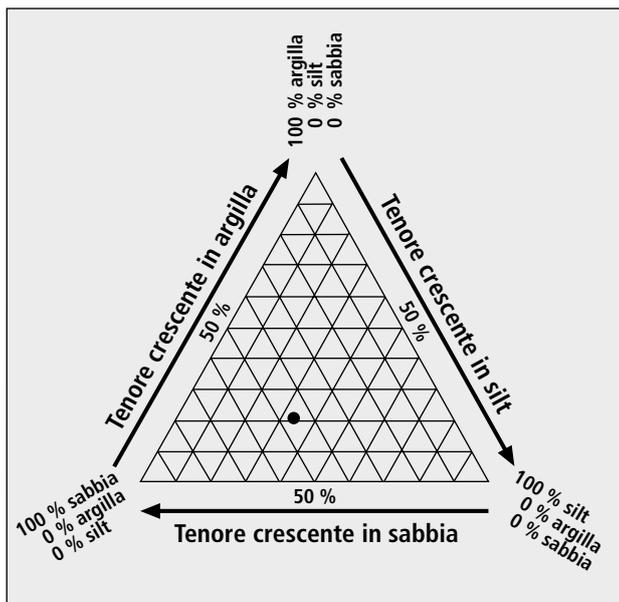
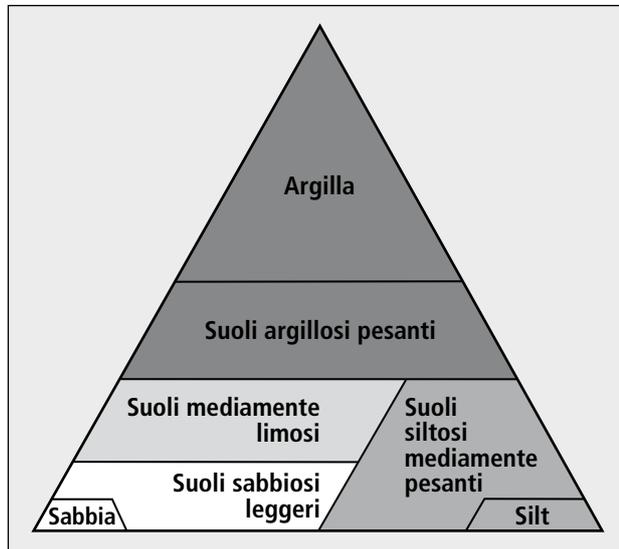


Fig. 16 - Triangolo della tessitura (3). Il punto d'intersezione dei tre tenori riportati in % determina la designazione corretta della tessitura. Nell'esempio (•) si tratta dunque di un suolo limoso medio. Designazione corretta: limo moderatamente siltoso.

### Suddivisione semplificata della tessitura nel triangolo di tessitura



### Denominazione esatta della tessitura

	Argilla %	Silt %
<b>Suoli argillosi pesanti</b>		
Suolo argilloso	> 50	< 50
Argilla limosa	50 - 40	< 50
Limo argilloso	40 - 30	< 50
Silt argilloso	50 - 30	> 50
<b>Suoli siltosi mediamente pesanti</b>		
Silt limoso	30 - 10	> 50
Silt sabbioso	< 10	50 - 70
Suolo siltoso	< 10	> 70
<b>Suoli mediamente limosi</b>		
Limo	30 - 20	< 50
Limo sabbioso	20 - 15	< 50
<b>Suoli sabbiosi leggeri</b>		
Sabbia fortemente limosa	15 - 10	< 50
Sabbia limosa	10 - 05	< 50
Sabbia siltosa	10 - 05	15 - 50
Suolo sabbioso	< 05	< 15
<b>A seconda del tenore di silt, si suddividono i suoli inoltre in:</b>		
debolmente siltoso		< 15
mediamente siltoso		15 - 35
fortemente siltoso		35 - 50

Fig. 17 - Questo schema permette una designazione corretta e semplificata della tessitura del suolo in base alla composizione granulometrica.

### 4.1 Argilla (T)

Con il termine di argilla si intende in senso pedologico la frazione granulometrica minerale più fine del suolo. Il diametro dei granuli è inferiore a  $2\ \mu\text{m}$  ( $< 0,002\ \text{mm}$ ). Questa definizione non va confusa con i concetti geologico-mineralogici di «argilla/argille» riferiti a minerali argillosi o rocce argillose. L'argilla nel suolo ha la proprietà di gonfiarsi a contatto con l'acqua e di ritirarsi quando si prosciuga (fessure da ritiro). Inoltre, in virtù della sua grande superficie specifica, può trattenere e scambiare gli ioni di diversi elementi. L'argilla migra nella soluzione del suolo. Ciò si manifesta negli involucri di argilla attorno alle pietre e nelle superfici di rottura degli aggregati negli strati inferiori del suolo (tipica caratteristica della terra bruna lisciviata).



Fig. 18 - Una particella di argilla al microscopio elettronico a scansione. La lunghezza del lato dell'immagine corrisponde a circa 1/1000 di mm. Si riconosce bene la struttura a lamine.

L'argilla è una componente fondamentale del suolo. Con la sostanza organica decomposta, essa forma i cosiddetti complessi argillo-umici (grumi), di grande importanza per il nutrimento delle piante e la stabilità strutturale. In virtù della sua capacità di rigonfiamento e contrazione, l'argilla contribuisce allo smuovimento naturale del terreno e alla sua aerazione. Le radici cercano di preferenza in queste fessure da ritiro la via verso maggiori profondità. Nonostante l'apparente compattezza, i suoli argillosi sono ancora biologicamente attivi e aerati anche in profondità.

Un eccessivo tenore di argilla riduce la lavorabilità e lo sfruttamento del suolo. Il suolo argilloso, prosciugandosi, si indurisce rapidamente formando zolle molto dure. Con la diffusione della lavorazione meccanica del suolo, specie con macchine che fresano, sminuzzano o frantumano le zolle, questa tendenza negativa viene ulteriormente rafforzata. Per contro, sono efficaci una colonizzazione biologica e il miglioramento del regime umico.



Fig. 19 - Le zolle grosse e dure di un suolo argilloso arato in autunno esposte all'effetto del gelo (sbriciolamento per effetto del gelo).

### **Proprietà meccaniche**

Il suolo argilloso asciutto è molto duro e portante. Con l'aumento dell'umidità, il suolo argilloso acquisisce deformabilità plastica e risulta assai sensibile agli impatti meccanici (susceptibile di costipamento).

### **Esame tattile**

In stato bagnato l'argilla è appiccicosa al tatto, mentre in stato umido presenta deformabilità plastica. Minore è il residuo sul palmo della mano, maggiore è il tenore d'argilla.

### **Prova della plasticità**

Se un campione umido può essere modellato in cilindretti con  $\varnothing$  di 2 mm senza disgregarsi, il tenore di argilla è maggiore del 30%. In stato secco il tenore d'argilla dei suoli è più difficile da valutare. Gli aggregati del suolo asciutti, a elevato tenore di argilla, sono difficili da frantumare.

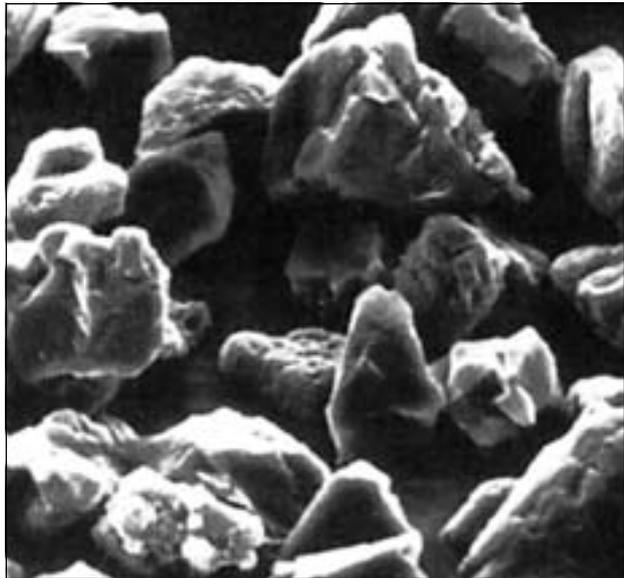
### **Test dell'unghia**

Una superficie di striscio liscia e brillante indica un elevato tenore di argilla (> 40%).

## **4.2 Silt (U)**

Anche il silt è una componente del suolo molto fine. Il diametro dei granuli si situa tra 2 e 50  $\mu\text{m}$ , pari a 0,002 e 0,05 mm. Il loess, per esempio, contiene di regola molto silt, essendo stato depositato dal vento (deposito eolico). Tipiche regioni di loess sono il Möhlinerfeld e la Wallbacher Höhe (AG). Anche i sedimenti sciolti possono essere ricchi di silt (Valle del Reno sangallese).

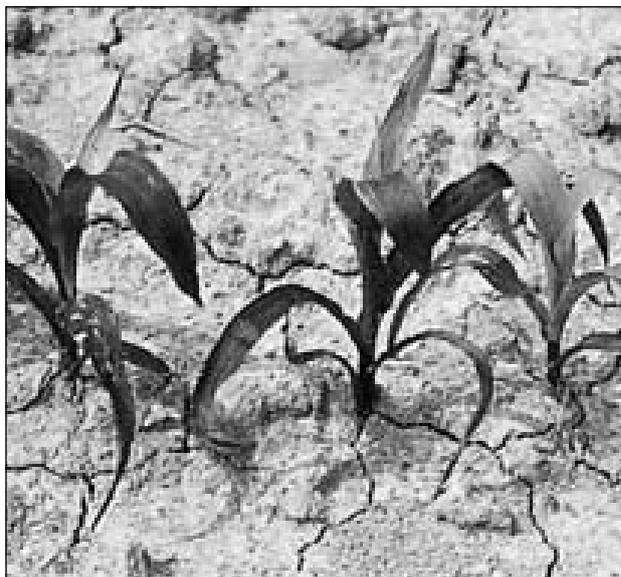
Al silt mancano in larga misura le caratteristiche fisiche e chimiche (capacità di rigonfiamento e contrazione, scambio di ioni) proprie dell'argilla.



*Fig. 20 - Granuli di silt al microscopio illuminati dall'alto. Lunghezza di lato della parte fotografata: ca. 1/10 mm.*

### **Proprietà meccaniche**

Allo stato naturale, i suoli siltosi sono relativamente stabili e ben permeabili. Per contro, sono sensibili al transito in stato bagnato. I suoli ricchi di silt sono soggetti a erosione non appena vengono rimossi o messi a nudo. Spesso i suoli ricchi di silt sono relativamente poveri di humus e argilla. La scarsa stabilità strutturale va compensata mediante una sufficiente stabilizzazione biologica (copertura vegetale permanente e crescita radicale). La lavourazione del suolo va ridotta al minimo.



*Fig. 21 - Loess, parzialmente incolto con mais, fortemente incrostato in superficie. Con una debole pendenza sussiste una forte tendenza all'erosione.*

### **Esame tattile**

In stato bagnato, il silt dà una sensazione tattile scivolosa e saponosa. In stato umido, presenta una deformabilità plastica ridotta. Sul palmo della mano è untuoso.

### **Prova della plasticità**

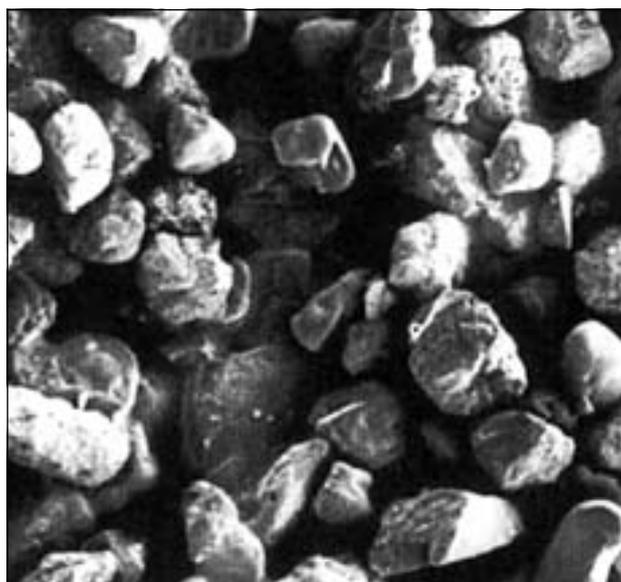
Il silt umido può essere modellato in sfere di 2 - 5 mm di  $\varnothing$  che si sfaldano esercitando una lieve pressione. Allo stato asciutto, il silt è morbido-vellutato al tocco (come il talco). Gli aggregati del suolo contenenti silt sono relativamente facili da rompere.

### **Test dell'unghia**

La superficie di striscio è da liscia a screpolata, ma non granulosa.

## **4.3 Sabbia (S)**

La sabbia è la frazione granulometrica minerale più grossolana della terra fine ( $\varnothing$  0,05 - 2 mm). I suoli sabbiosi sono sciolti e permeabili, ma poco stabili e debolmente strutturati. Grazie alla notevole dimensione dei singoli granuli, i suoli sabbiosi sono scarsamente esposti al rischio d'asfissia anche in caso di carico elevato, dato che gli spazi interstiziali (macro-pori) restano pressoché inalterati. Il suolo sabbioso si asciuga rapidamente anche dopo un'elevata sollecitazione meccanica ed è pertanto assai apprezzato specialmente per la coltivazione delle primizie, nonostante le caratteristiche negative (irrigazione, dilavamento delle sostanze nutritive).



*Fig. 22 - Sabbia (miscuglio di diversi minerali). La lunghezza del lato dell'immagine corrisponde a ca. 1 cm.*

### **Proprietà meccaniche**

I suoli sabbiosi sono scarsamente sensibili a interventi del genio civile e allo spostamento di materiale. Il dissodamento meccanico (ripuntatura) di suoli sabbiosi compattati è efficace solo a breve termine se la proporzione d'argilla è inferiore al 12-15%. Una ripuntatura è quindi raccomandabile solo se è accompagnata da un inerbimento stabilizzante.



*Fig. 23 - Suolo sabbioso (alluvionale) in stato incolto. Sono facilmente riconoscibili i singoli strati di sabbia più fine e grossolana risultanti da diversi episodi di deposizione.*

### **Esame tattile**

In stato bagnato e asciutto, la sabbia dà una sensazione tattile ruvida, simile allo smeriglio. Un'elevata proporzione di sabbia nel suolo rende la coesione debole, a tal punto che gli aggregati sono quasi o del tutto assenti.

In stato umido, è difficile distinguere con le dita la frazione di silt grossolana dalla più fine frazione di sabbia.

Consiglio pratico: la sabbia con  $\varnothing > 0,05$  mm scricchiola distintamente sotto i denti.

### **Prova della plasticità**

Se il campione umido non può più essere modellato in sfere di ca. 10 mm di  $\varnothing$ , la proporzione d'argilla è inferiore al 10%. La sfera si sfalda rapidamente anche senza pressione.

### **Test dell'unghia**

La superficie di striscio è, a seconda della parte di sabbia, più o meno ruvida e granulosa; la superficie è sempre opaca.

## 5. Struttura del suolo

In ogni suolo, le diverse granulometrie (sabbia, silt e argilla) della terra fine minerale sono disposte in un determinato modo e coese con maggiore o minore forza. La struttura è sempre caratterizzata anche dai fattori pedogenici, segnatamente dalla sedimentazione, dal clima, dal regime idrico e dal chimismo.

Il concetto di «struttura del suolo» si riferisce sempre unicamente alla profondità di disaggregazione (profondità del profilo) e mai alla roccia madre inalterata (orizzonte C).

### 5.1 Struttura primaria

Ogni suolo presenta una struttura tipica (struttura primaria), riscontrabile soprattutto nell'orizzonte non lavorato del suolo. Si distinguono tre tipi di strutture:

- **strutture differenziate:** aggreganti e segreganti;
- **strutture massive:** forme coerenti cementate;
- **strutture sciolte:** singoli granuli separati (assenza di struttura).

#### Strutture differenziate

##### Struttura prismatica

Le fessure da ritiro determinano una continua formazione di aggregati ben delimitati con spigoli vivi.



Fig. 24 - La struttura prismatica, tipica dei suoli argillosi.

##### Struttura poliedrica e colonnare

Queste forme di struttura costituiscono altre varianti risultanti da segregazione, ossia da divisione. La struttura poliedrica è piuttosto difficile da distinguere dalla struttura prismatica; la struttura colonnare è rara.

##### Struttura lamellare

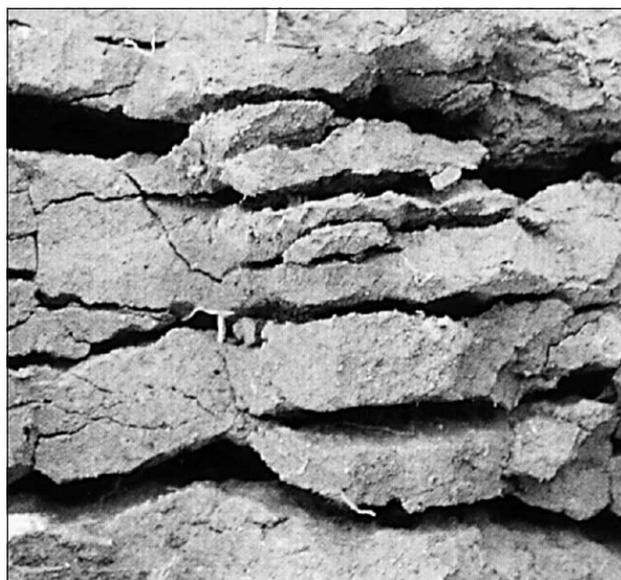


Fig. 25 - Soprattutto i suoli siltosi presentano spesso strutture lamellari con fessure orizzontali.

### **Strutture massive e coerenti**

Le strutture coerenti si distinguono dalla struttura particellare sciolta per il fatto che le singole particelle fini (soprattutto sabbia e silt) sono cementate tra loro in modo più o meno solido e si fratturano in blocchi. Le strutture coerenti compatte sono difficilmente colonizzabili dalle radici (vedi forme negative, p. 59)



*Fig. 26 - In caso di granulometria e densità favorevoli la struttura coerente può essere biologicamente attiva e molto fertile (regioni di loess).*

### **Struttura particellare sciolta**

La struttura sciolta a singoli granuli separati è riscontrabile soprattutto in suoli sabbiosi leggeri poveri di argilla e humus.



*Fig. 27 - Struttura particellare sciolta.*

## **5.2 Struttura secondaria**

In seguito all'azione delle radici delle piante e della pedofauna, della lavorazione del suolo e della trasformazione di materiale organico in humus nonché in seguito alla formazione dei complessi argillo-umici (formazione di grumi), nello strato superiore del suolo si forma una struttura secondaria più o meno marcata che, a seconda dello sviluppo, esercita un'influenza positiva o negativa sul suolo come luogo di crescita delle piante e contribuisce così a determinarne la fertilità.

### **Forme pure di struttura secondaria**

Una buona struttura migliora la permeabilità del suolo all'aria, il che tra l'altro comporta un rapido riscaldamento del suolo e un migliore trasporto d'acqua e di sostanze nutritive. Una struttura sana offre inoltre nicchie e biotopi alla pedofauna. In una struttura sciolta, le radici delle piante si sviluppano meglio e la lavorazione è più facile. Più la struttura di un suolo è fine, maggiore è la sua superficie interna e quindi la sua efficacia filtrante.

**Struttura grumosa**

Questa forma di struttura ideale di suoli medio-leggeri è formata da aggregati tondeggianti di diametro 2-5 mm.



*Fig. 28 - Struttura grumosa.*

**Struttura a frammenti poliedrici**

I frammenti poliedrici presentano forme spigolose e superfici di rottura lisce. Questa è la tipica forma della struttura secondaria di suoli ricchi d'argilla. Essa si forma in seguito al rigonfiamento e alla contrazione. Piccoli frammenti poliedrici in suoli ricchi d'argilla sono segno di un buono stato strutturale.



*Fig. 29 - Struttura a frammenti poliedrici.*

**Assemblati**

Lo sfruttamento agricolo intenso del suolo modifica la struttura in un assemblato di grumi, frammenti grumosi e frammenti angolari che si evolve di anno in anno e da particella a particella.



*Fig. 30 - Gli assemblati con grumi predominanti contengono molte biocavità e vanno considerati come una buona struttura secondaria.*



*Fig. 31 - Gli assemblati con frammenti grumosi più grossolani contengono meno biocavità e quindi in generale presentano una ripartizione meno favorevole dei pori. I frammenti grumosi sono il risultato dell'intervento meccanico e della lavorazione di suoli umidi. Questa forma strutturale è appena soddisfacente.*

### **Forme negative**

La «struttura a frantumi fini» risultante dalla lavorazione meccanica (frantumazione, fresatura) è da considerare negativa e riduce la fertilità del suolo: provoca la perdita di struttura, l'incrostazione, l'erosione e la compattazione per trasferimento. I frantumi fini non hanno involucri umici!

### **Assemblati con frammenti angolosi predominanti**

Questi assemblati di grandezza e forma variabile ed eterogenea (frantumi, frammenti angolosi) sono quasi privi di biocavità. La porosità è mal ripartita. Questa struttura secondaria insoddisfacente è caratterizzata dall'assenza di involucri umici e dalla tipica consistenza sciolta-briciolosa degli aggregati. Le forme spigolose sono spesso classificate come pseudopoliedriche.

### **Assemblato a blocchi**

I singoli blocchi sono duri e compatti e, a causa della carenza di pori all'interno, di difficile colonizzazione biologica. La difficoltà di lavorazione aumenta con il peggioramento della struttura del suolo.



*Fig. 32 - Le forme dei blocchi sono spesso la conseguenza della frantumazione meccanica di suoli troppo bagnati.*

### **Strutture speciali**

Tali strutture comprendono le forme non articolate della struttura particellare. La struttura massiva coerente si presenta in forma di struttura a blocchi.

### **Struttura particellare**

Tali strutture costituiscono la migliore forma possibile, in particolare in suoli sabbiosi poveri di humus. Il suolo, privo di sostanze colloidali, è senza legame e non presenta aggregati consistenti, spesso anche in condizioni leggermente umide (a seconda della granulometria).

## 6. Densità e porosità

Non meno importanti degli aggregati solidi (sostanza del suolo) sono gli spazi vuoti tra di essi, definiti nel loro insieme come sistema dei pori del suolo.

A seconda della tessitura, il volume occupato dai componenti solidi cresce con l'aumento della granulometria, mentre diminuisce il volume totale dei pori.

### Volume dei componenti:

sabbia  $\geq$  limo  $\geq$  silt  $\geq$  argilla

### Volume totale dei pori:

argilla  $\geq$  silt  $\geq$  limo  $\geq$  sabbia



Fig. 33 - Sezione di un grumo (campione trasparente) nella luce passante sotto il microscopio (lunghezza dell'immagine ca. 1 mm). Le cavità (i pori) appaiono chiaramente in bianco.

Nell'area non lavorata di un suolo, a circa 25 - 30 cm sotto la superficie, il volume complessivo dei pori (porosità) varia tra il 35% (suoli minerali compatti poveri di humus) e oltre l'80% (torbe) del volume del suolo. I danni della coltivazione (suole di aratura, danni di compattazione causati da mietitrici) e interventi del genio civile possono influenzare considerevolmente il volume e la ripartizione dei pori. Un suolo sano è costituito per oltre il 50% da pori.

### 6.1 Densità apparente e densità reale

Se con un cilindro a bordo tagliente a volume noto si preleva nel suolo un equivalente volume di suolo indisturbato, lo si secca nel forno e lo si pesa, si ottiene la densità apparente ( $d_a$ ), o massa volumica, come peso specifico apparente (vedi capitolo 8.3). La densità apparente dipende dal contenuto di cavità (volume dei pori) di un suolo. Di regola, aumenta con la profondità.

La densità reale ( $d_r$ ) di un suolo corrisponde al peso specifico della sostanza solida del suolo. La densità reale di un suolo dipende quindi dalla sua composizione minerale e dal tenore di sostanza organica della sostanza solida.

La densità ( $d_a$  e  $d_r$ ) è espressa in  $\text{g/cm}^3$  o  $\text{Mg/m}^3$  (megagrammi per metro cubo) e si situa nei seguenti intervalli:

#### Densità apparente/massa volumica apparente/peso specifico apparente ( $d_a$ )

Suoli minerali	1,10 - 1,80 $\text{Mg/m}^3$
Valori frequenti	1,30 - 1,50 $\text{Mg/m}^3$
Suoli paludosi interamente organici	ca. 0,15 $\text{Mg/m}^3$

#### Densità reale/ peso specifico ( $d_r$ )

Suoli minerali	2,60 - 2,75 $\text{Mg/m}^3$
Suoli da debolmente a moderatamente umici	2,40 - 2,65 $\text{Mg/m}^3$
Quarzo	2,65 $\text{Mg/m}^3$
Sostanza organica umificata	ca. 1,40 $\text{Mg/m}^3$
Materiale non decomposto (suoli paludosi)	< 1,50 $\text{Mg/m}^3$

## 6.2 Pori (cavità) e loro distribuzione nel suolo

Ogni suolo presenta, in funzione del tipo (pedogenesi), della tessitura (composizione granulometrica) e della struttura, un proprio volume dei pori e una relativa distribuzione dei pori all'interno del corpo solido del suolo.

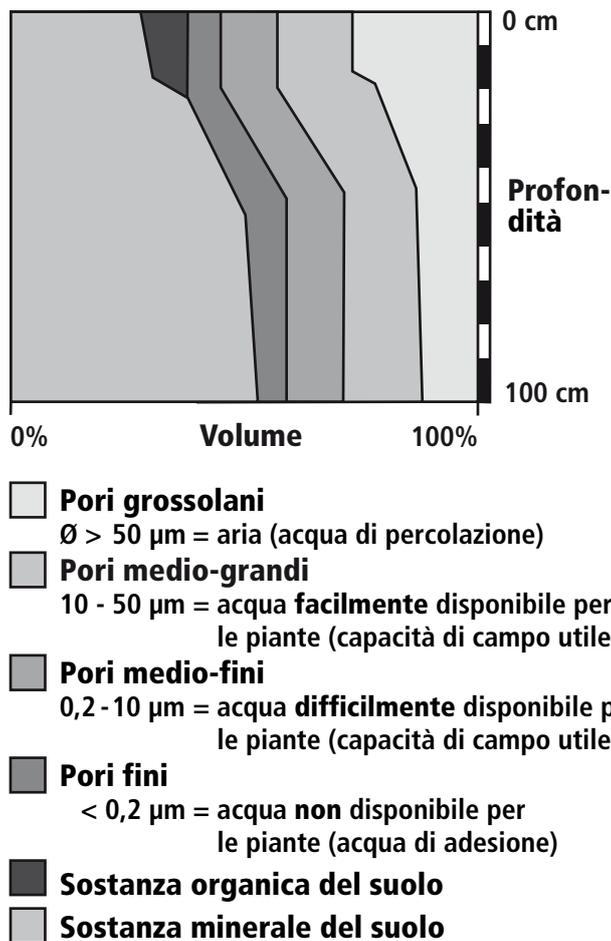


Fig. 34 - Lo schema illustra le parti di volume della sostanza solida del suolo e la distribuzione dei pori secondo le classi di grandezza in diverse profondità con l'esempio di un suolo limoso umifero e arato. Il volume dei pori grossolani > 50 µm corrisponde alla capacità d'aria (maggiore nel solco da 0 - 20 cm), la somma dei volumi dei pori medio-grandi e medio-fini alla capacità di campo utile, ossia all'acqua di lenta infiltrazione o immagazzinata a disposizione delle piante.

La nuova formazione della rete di pori è garantita nei suoli biologicamente attivi e inizia subito dopo la lavorazione del suolo, per esempio l'aratura, con il processo di assestamento. L'attività della pedofauna è di importanza centrale. I pori grossolani sono creati principalmente dai vermi di terra. Questi pori vengono utilizzati spesso dalle radici delle piante come vie di crescita preferenziali. Nei suoli argillosi i macropori sono dovuti alla formazione di fessure da ritiro durante il prosciugamento.



Fig. 35 - Le gallerie dei vermi di terra formano vie di crescita preferenziali per le radici. Gran parte di questi preziosi pori viene però distrutta dal transito di macchine pesanti su suoli in stato umido.

La nuova formazione di pori è concentrata nello stato superiore, biologicamente attivo, vale a dire popolato da organismi viventi e colonizzato dalle radici. Pertanto, contrariamente allo strato inferiore del suolo biologicamente meno attivo, questo strato dispone di una buona capacità di rigenerazione.

Affinché un suolo disponga della necessaria permeabilità all'acqua e all'aria per lo sviluppo delle piante e la sopravvivenza della pedofauna, occorre anche un'interrelazione con i pori negli strati più bassi. Maggiore è la profondità di colonizzazione biologica di un suolo, più tale suolo è fertile.

La dimensione di pori ancora utilizzabile dalle radici termina a livello di macropori fini. I pori medio-grandi possono ancora essere pervasi da miceli, per esempio micorrize o actinomiceti, non però dal sistema radicale delle piante superiori.



*Fig. 36 - Flessione trasversale in seguito a costipamenti durante l'aratura. Le sole di aratura sono spesso talmente costipate da rendere impossibile la crescita verticale delle radici. Il ripristino del sistema naturale dei pori può durare oltre un anno.*



*Fig. 37 - Le tracce del transito di veicoli sullo strato superiore del suolo saranno poco estetiche, ma sono molto meno gravi del costipamento nello strato inferiore del suolo.*

I costipamenti riguardano in primo luogo la rete dei macropori. Siccome lo strato inferiore del suolo è più compatto e possiede quindi meno macropori comprimibili, e dato che le macchine pesanti lasciano tracce meno evidenti, sembra più portante. In realtà, i costipamenti dello strato inferiore del suolo sono assai difficilmente rigenerabili. Lo strato inferiore del suolo è fortemente esposto al rischio di costipamenti, specialmente se la portanza è ridotta in seguito a un'eccessiva umidità del suolo.

### 6.3 Dimensione dei pori, regime idrico e dell'aria

I pori naturali del suolo sono generalmente classificati in funzione della dimensione nelle tre classi principali pori grossolani, medi e pori fini. Il volume totale dei pori e la parte di ciascuna classe di grandezza rispetto al volume totale dei pori dipendono dalla tessitura, dal contenuto scheletrico (pietre), dall'attività biologica, dalla densità apparente e dalla copertura vegetale.

Questo sistema di pori viene modificato con la lavorazione del suolo, lo sterco e la movimentazione. Le gallerie dei lombrichi e le fessure da ritiro verticali passanti vengono interrotte, altre, soprattutto in presenza di un'elevata umidità del suolo, schiacciate e distrutte. A breve termine, soprattutto in suoli sabbiosi e siltosi poveri di argilla, si forma una struttura cosiddetta secondaria con un'elevata presenza di cavità artificiali che tuttavia, nel seguente processo di assestamento, cedono in gran parte. Queste cavità non costituiscono pori nel senso descritto di seguito.

#### **Pori grossolani**

Grazie ai pori grossolani con  $\varnothing > 50 \mu\text{m}$  l'acqua può infiltrarsi nel suolo. Tramite la rete dei pori grossolani l'acqua eccedente fuoriesce dagli strati superiori attivi del suolo per gravitazione (tensione capillare  $< 0,1 \text{ bar}$ ) per formare acqua della falda freatica. Attraverso i larghi pori grossolani l'acqua può percolare rapidamente attirando aria nel suolo. I macropori più larghi costituiscono quindi il sistema di aerazione del corpo del suolo.

L'elevata fertilità naturale dei suoli profondi dipende soprattutto dai pori grossolani di origine naturale che penetrano verticalmente molto in profondità (gallerie di vermi di terra, canali delle radici, fessure da ritiro).

Finché l'acqua si muove nel suolo per gravità, si trova nell'ambito dei pori grossolani. I pori grossolani più stretti frenano tuttavia il transito dell'acqua.

#### **Pori medi**

I pori medi ( $\varnothing 0,2 - 50 \mu\text{m}$ ) trattengono l'acqua nel suolo contro la gravitazione. Il volume dei pori medi è pari alla capacità di campo utile di un suolo.

La proporzione di pori medi di un suolo è da una parte determinata dalla tessitura (composizione granulometrica) e, dall'altra, creata e rinnovata dalla fauna e microfauna del suolo e dalle radici fini delle piante.

In seguito a compattazione del suolo la proporzione dei pori medi può aumentare a scapito della parte di pori grossolani. I suoli costipati asciugano perciò di regola molto più lentamente (deflusso dell'acqua ostacolato!).

Fanno eccezione i suoli sabbiosi. Qui la grandezza degli interstizi è determinata dalla dimensione di ciascuna particella di suolo (granulometria). Di conseguenza, i suoli di sabbia grossolana non diventano impermeabili in seguito a compattazione. Poiché contengono pochi pori medi o ne sono del tutto privi, non possono nemmeno ritenere l'acqua e costituiscono perciò una stazione di crescita delle piante secca e poco fertile.

I pori medi trattengono l'acqua, come una spugna, con tensioni capillari tra  $0,1$  e  $15 \text{ bar}$  e servono da riserva d'acqua per le piante. A  $0,1 - 1 \text{ bar}$  l'acqua è facilmente disponibile ed è definita acqua capillare a flusso rapido o, a  $1 - 15 \text{ bar}$ , acqua capillare a flusso lento.



## 7. Portanza e trafficabilità

La trafficabilità di un suolo dipende in larga misura dalla sua umidità. Più un suolo è umido e minore è la sua sollecitabilità meccanica. Più la granulometria di un suolo è fine, più facilmente tenderà alla deformazione plastica. Ogni deformazione comporta una notevole perdita di macropori. Con l'aumento della profondità, diventa sempre più difficile rigenerare questa perdita.

Poiché il volume complessivo dei pori varia fortemente secondo il tipo di suolo, la misurazione della massa volumetrica d'acqua non è un metodo adatto per la determinazione della trafficabilità del suolo. Bisognerà invece verificare, prima di un intervento o di un transito, lo stato di prosciugamento delle cavità del suolo.

### 7.1 Conducibilità idraulica o permeabilità

La rapidità di drenaggio di un suolo dipende in primo luogo dal suo volume di pori grossolani. I suoli che si trovano sopra un sottofondo permeabile (per es. ghiaia) sono per loro natura ben permeabili e vengono perciò anche definiti suoli a percolazione verticale (cfr. cap. 3).

La permeabilità ( $k$ ), detta anche conducibilità idraulica del suolo, è più elevata nei suoli saturi d'acqua. Per questa ragione, il processo di drenaggio rallenta in funzione del progressivo prosciugamento del suolo. La permeabilità ( $k$ ) non dipende però solo dalla proporzione dei pori grossolani, ma anche dalla loro continuità fino agli strati profondi del suolo. Questi pori di aerazione e drenaggio rapido sono continuamente ricreati da lombrichi, radici e fessure da ritiro, ma il costipamento dello strato inferiore del suolo e il colmataggio dei pori, soprattutto in seguito ad aratura in suoli troppo bagnati, li distrugge o perlomeno li interrompe.

### Capacità di drenaggio

Per valutare la trafficabilità di un suolo va considerata la sua capacità di drenaggio.

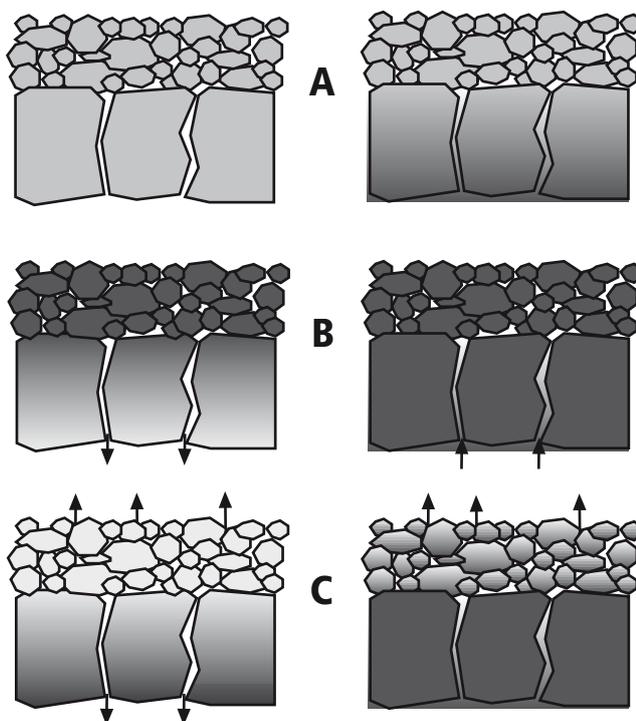


Fig. 39 - Differenze della capacità di drenaggio tra un suolo permeabile (a sinistra) e un suolo idromorfo (a destra).

- A** Dopo un periodo secco: lo strato superiore del suolo è asciutto in entrambi i suoli, lo strato inferiore del suolo a destra è bagnato in seguito a ristagno nella parte inferiore.
- B** Dopo un periodo di pioggia: in entrambi i casi lo strato superiore del suolo è saturo. A sinistra lo strato inferiore del suolo ha assorbito acqua dall'alto mentre a destra è già completamente saturo. Attraverso i macropori, a sinistra l'acqua eccedente è convogliata nel sottosuolo, mentre a destra si innalza il livello della falda.
- C** Splende di nuovo il sole: l'acqua evapora, a destra e a sinistra lo strato superiore del suolo risulta asciutto. Nel suolo permeabile a sinistra l'acqua può inoltre defluire in profondità. In questo modo inizia ad asciugarsi anche lo strato inferiore del suolo. A destra, il suolo rimane umido per ristagno.

## 7.2 Misurazione della tensione idrica ( $y$ )

Il grado di prosciugamento può essere rilevato tramite la tensione capillare o forza di suzione. Lo strumento più diffuso a tal fine è il tensiometro, utilizzato tra l'altro anche per la gestione automatica di sistemi d'irrigazione e impianti di irrigazione a pioggia.

In stato di saturazione, nel suolo non vi è tensione (si tratta ad es. dello stato permanente della falda freatica). Non appena l'acqua defluisce in profondità, evapora o è utilizzata dalle piante, ossia le cavità del suolo (i pori) esercitano un'azione drenante, si sviluppa una cosiddetta forza di suzione o tensione capillare (depressione).

Per la determinazione della trafficabilità, questa tensione viene misurata in modo unitario a una profondità di 35 cm. Per dettagli sull'impiego pratico del tensiometro vedi il capitolo 8 nonché (5) e (6).

### Unità di misura

La tensione capillare è espressa in cm di colonna d'acqua (cm CA), valore pF (= log cm CA), in Pascal o in bar

$$1 \text{ Cb (centibar)} = 10^{-2} \text{ bar} = 1 \text{ kPa} = 10 \text{ hPa} = 10 \text{ cm CA} = \text{pF } 1$$

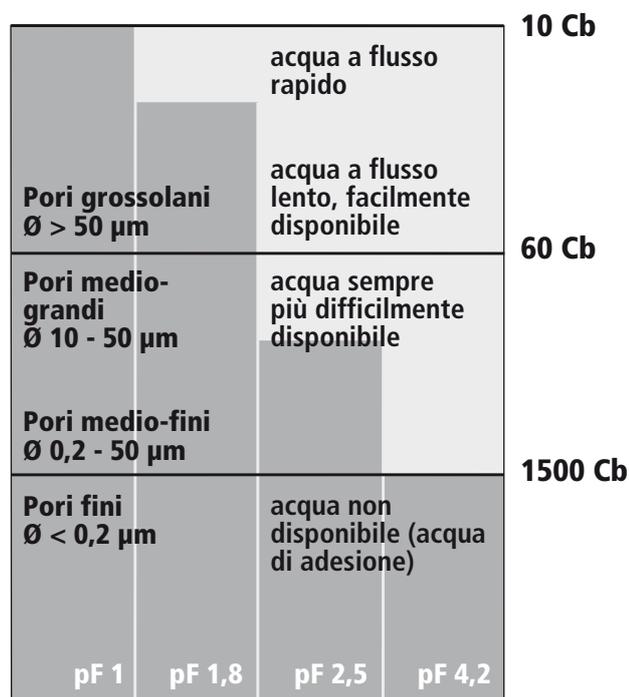


Fig. 40 - La superficie scura rappresenta i pori pieni d'acqua. Le zone prosciugate per la tensione capillare tra pF 1

(quasi saturo) e pF 4,2 (punto di appassimento permanente) sono più chiare. L'acqua della zona < 6 Cb è detta gravitazionale. Tra 6 - 60 Cb l'acqua è facilmente disponibile per le piante, da 60 Cb fino a circa 1500 Cb la disponibilità è limitata. pF 4,2 = 1500 Cb corrisponde al punto di appassimento permanente.

### 7.3 Relazione tra peso totale, superficie di contatto e trasmissione della pressione (6)

La pressione sulla superficie di contatto (o carico sul terreno, pressione sul suolo) di un veicolo cingolato si calcola a partire dal suo peso totale diviso per la superficie di contatto. In casi particolari (per es. superficie portante irregolare) le pressioni sulla superficie di contatto dei cingoli possono raggiungere un valore pari a 1,5 volte il valore calcolato.

Per i veicoli gommati, a una pressione interna dei pneumatici di 2 bar, vale la seguente approssimazione

$$\text{Pressione sulla superficie di contatto (psc)} = \frac{\text{Carico per ruota (kg)} \times 100}{\text{Diametro dei cerchioni (cm)} \times \text{larghezza dei pneumatici (cm)}}$$

La superficie di contatto dei pneumatici diagonali può inoltre essere stimata mediante la formula seguente:

$$\text{Superficie di contatto (cm}^2\text{)} = \text{diametro dei pneumatici (cm)} \times \text{larghezza dei pneumatici (cm)} \times 0,27$$

Per tutti i veicoli vale: la pressione sulla superficie di contatto (= peso totale : superficie di contatto) è sopportabile per il suolo se è inferiore a 50 psc = 0,5 bar.

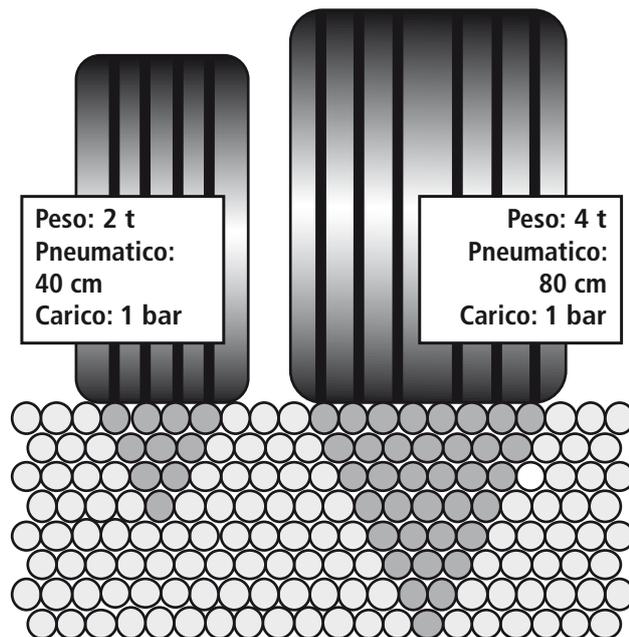


Fig. 41 - Questo modello semplificato di rulli mostra la trasmissione della pressione delle ruote in profondità. In grigio sono indicati gli aggregati del suolo gravati da un'unità di peso e con ciò l'area di propagazione della pressione in profondità. Nonostante lo stesso carico sul terreno, la propagazione della pressione a destra raggiunge profondità maggiori.

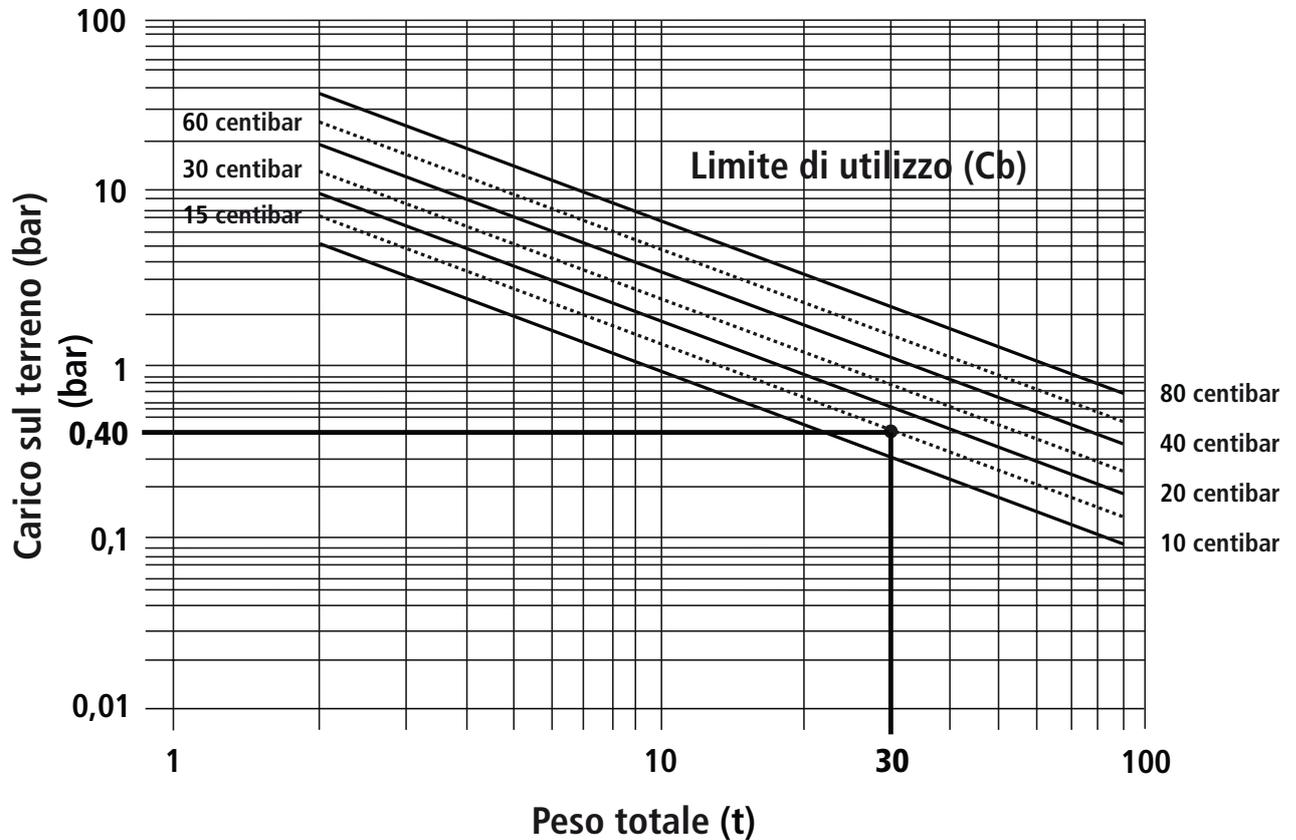
### 7.4 Tensione capillare (y) e impiego di macchine (5,6)

Se la tensione capillare è inferiore a 10 Cb (= pF 1) non è ammesso il transito sul suolo. Da pF 2,5 il suolo è transitabile per la maggior parte delle macchine da cantiere leggere o di peso medio con sistema di movimento a cingoli. Le macchine pesanti possono essere impiegate senza misure di protezione solo a partire da un pF di 2,8.

Il limite esatto d'impiego, vale a dire la tensione capillare ammissibile a partire dalla quale un suolo può essere transitato, può essere determinato come segue per i veicoli cingolati:

$$\text{Limite di utilizzo (Cb)} = \text{peso totale (t)} \times \text{pressione sulla superficie di contatto (bar)} \times 1,25$$

## Nomogramma: limite di utilizzo delle macchine da cantiere



Limite di utilizzo (Cb) = peso totale (t) x carico sul terreno (bar) x 1,25

<b>Esempio:</b>	<b>Peso totale</b>	<b>30 tonnellate</b>
	<b>Carico sul terreno</b>	<b>0,4 bar</b>
	<b>Limite di utilizzo</b>	<b>15 centibar</b>

Fig. 42 - Dal grafico (5, 6) è possibile dedurre direttamente la tensione capillare minima necessaria. Esempio: una macchina di 30 t di peso totale e un carico sul terreno di 0,4 bar può essere impiegata senza particolari misure di protezione a partire da una tensione capillare di 15 Cb.

L'impiego sopportabile per il suolo di mezzi gommati leggeri richiede tensioni capillari > 25 Cb.

L'impiego sopportabile per il suolo di mezzi gommati può inoltre essere suddiviso nelle seguenti categorie in funzione del carico sulla ruota:

> 3,5 t di carico sulla ruota: dannoso per il suolo;  
 2,5 - 3,5 t carico sulla ruota: critico per il suolo;  
 < 2,5 t carico sulla ruota: sopportabile per il suolo a condizione di una tensione capillare > 25 Cb e di una pressione sulla superficie di contatto < 0,5 bar.

## 8. Analisi del suolo

In questo capitolo vengono descritti alcuni metodi pedologici relativamente semplici. La maggior parte di tali metodi è nota da tempo, anche se nella pratica sono spesso criticati anziché usati correttamente. Poiché il suolo non è una sostanza omogenea e presenta nello spazio più ristretto le più disparate composizioni e condizioni, per ottenere risultati affidabili è necessario di regola effettuare per ogni sito e/o orizzonte pedologico più misurazioni o prelevare più campioni.

Questo capitolo offre in primo luogo una visione d'insieme e non ha alcuna pretesa di essere esaustivo. L'applicazione dei metodi spetta allo specialista del suolo e ai laboratori del suolo competenti. I metodi sono standardizzati e descritti in dettaglio in diversi manuali di riferimento (5, 6, 11, 12, 13, 14).

Oltre ai classici strumenti di indagine, al capitolo 8.5 sono illustrati anche alcuni semplici ed efficaci esperimenti empirici sul campo. Questi metodi si prestano in particolare a dimostrazioni durante esercizi pratici sul terreno.

### 8.1 Misurazione della permeabilità

La permeabilità (o capacità d'infiltrazione) di un suolo fornisce importanti indicazioni sulla sua qualità come luogo di crescita delle piante ed è fortemente influenzata dagli interventi meccanici, segnatamente dal costipamento. L'osservazione della permeabilità è di particolare rilevanza per la constatazione di possibili danni del suolo prima (stato iniziale) e dopo (controllo successivo) gli interventi del genio civile. Inoltre, serve al controllo dei risultati di suoli ricostituiti (riporti, rinterri, ricoltivazioni).

#### Sul terreno

Il rilevamento del tasso d'infiltrazione, vale a dire della quantità di acqua che in una data unità di tempo s'infiltra nel suolo, richiede molto tempo. Siccome il tasso costante viene raggiunto solo con la saturazione d'acqua nel suolo, una prova dell'infiltrazione sul ter-

reno richiede in condizioni normali almeno quattro ore se il suolo prima del rilevamento era quasi saturo. Nel seguito sono descritti alcuni infiltrometri.

#### Infiltrometro a doppio anello

Il doppio cilindro viene infisso verticalmente nel suolo a una profondità di circa 10 cm e riempito d'acqua. Mediante un'asta graduata sul galleggiante viene misurata, ad avvenuta saturazione del suolo, il tempo d'infiltrazione per un determinato livello d'acqua nell'anello interno. L'anello esterno, riempito d'acqua, provvede a un inumidimento esterno e limita la dispersione laterale dell'acqua che s'infiltra nel suolo, soprattutto in suoli disomogenei.

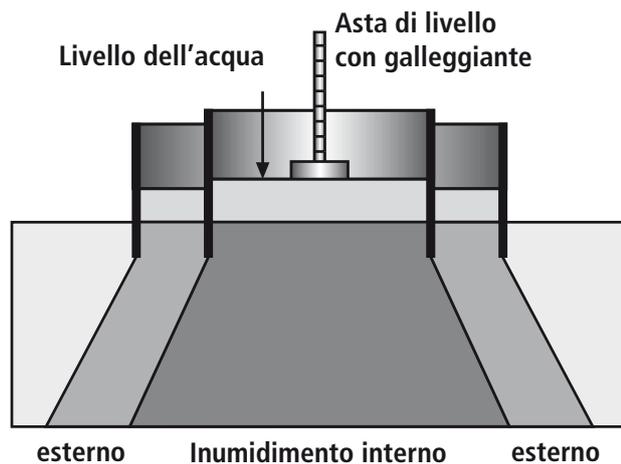


Fig. 43 - Schema di un infiltrometro a doppio anello (sezione)

#### Infiltrometro (sistema LBL)

Questo apparecchio di facile impiego è particolarmente adatto per dimostrare efficacemente sul campo le differenze di permeabilità in aree ristrette. La velocità d'infiltrazione è resa visibile anche con tassi d'infiltrazione deboli grazie al diametro fortemente ridotto del tubo di misurazione rispetto all'anello infisso nel suolo.

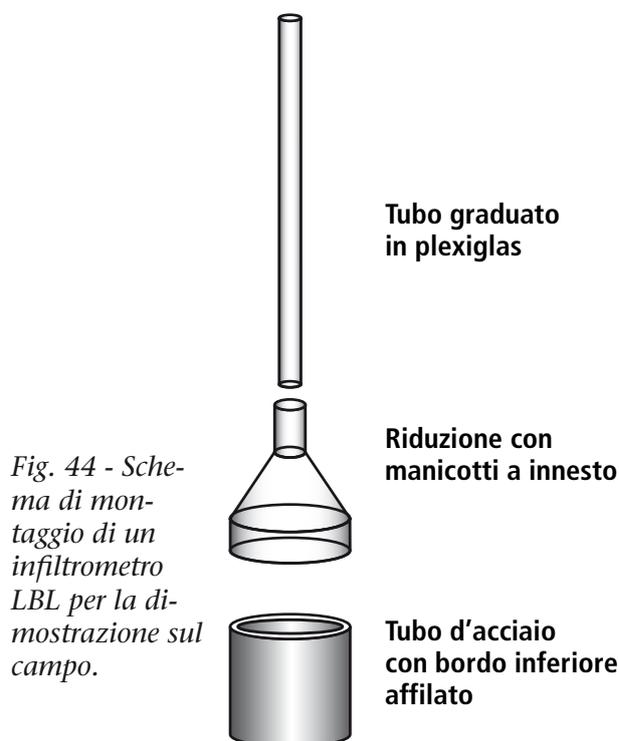


Fig. 44 - Schema di montaggio di un infiltrometro LBL per la dimostrazione sul campo.

Per l'impiego di questo apparecchio occorre tenere presente i punti seguenti:

1. Il suolo dev'essere saturato con acqua in precedenza, sia il giorno prima come pure circa un'ora prima del rilevamento sul terreno.
2. Il tubo d'acciaio va infisso verticalmente, il che può essere problematico in suoli sassosi. Il tubo viene coperto con una solida asse di legno duro e battuto nel suolo per almeno 5 cm con un battipalo a mano.
3. Per una migliore leggibilità, l'acqua nel tubo di vetro può essere colorata con un colorante alimentare.

Il suolo risulta costipato se la mediana di cinque singole misurazioni allo stesso sito è inferiore a  $10^{-6}$  m/s  $\sim$   $10^{-4}$  cm/s  $\sim$  4 mm/h  $\sim$  10 cm/giorno (6, 13).

## Permeametro di Guelph

In Svizzera questo apparecchio di origine canadese è ancora poco utilizzato per i rilevamenti.



Fig. 45 - Controllo della permeabilità di un riporto esteso in occasione di una campagna sul terreno dell'istituto IATE/EPFL (Al Carcale, 1994) presso Gordola/TI.

Mediante un sistema a due camere è mantenuta costante la pressione dinamica tra il serbatoio d'acqua e la zona di lettura dei risultati che si trova a una comoda altezza su un sostegno a tre piedi da un lato e la sonda d'infiltrazione regolabile in profondità dall'altro.

Con una speciale sonda viene forato lo strato del suolo da analizzare. Ciò consente di evidenziare la differente permeabilità nel profilo. Anche per questo apparecchio l'investimento in termini di tempo per la preparazione e l'esecuzione della misurazione è considerevole. Inoltre si tratta di un'apparecchiatura costosa all'acquisto e piuttosto fragile.

## Metodo Porchet

Nel suolo saturo d'acqua si scava un foro con una sgorbia (per es. di 8 cm di diametro e 50 cm di profondità). I pori della parete sul fondo del foro non devono essere colmati. Il foro viene riempito d'acqua. In seguito, si procede alla

misurazione del livello dell'acqua nel foro a intervalli dati (per es. dopo 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minuti). Con l'ausilio della legge di Darcy (1856) è possibile calcolare a partire dai rilevamenti sul campo la conducibilità idraulica (coefficiente  $k$ ). La densità di flusso  $q$ , detta anche velocità di filtrazione, è proporzionale al gradiente idraulico  $i$  del potenziale idraulico totale.

$$q = -k i$$

Il segno negativo significa che il flusso idraulico avviene in senso opposto al gradiente. Il fattore di proporzionalità  $k$  è detto conducibilità idraulica, e in caso di saturazione è designato con  $k_{sat}$ . Il gradiente è determinato a partire dalla variazione del potenziale idraulico totale  $H$  sulla distanza considerata  $dz$

$$i = \frac{dH}{dz}$$

Il suolo risulta costipato se la mediana di cinque singole misurazioni  $k_{sat}$  è inferiore a  $10^{-6}$  m/s  $\sim 10^{-4}$  cm/s  $\sim 4$  mm/h  $\sim 10$  cm/giorno (6, 13).

### In laboratorio

#### Misurazione della conducibilità idraulica satura ( $k_{sat}$ )

Nel campo vengono prelevati per ciascun orizzonte pedologico più campioni indisturbati di suolo mediante cosiddetti cilindri a bordo affilato (= anelli d'acciaio, cfr. cap. 8.3). I campioni vengono saturati in laboratorio. In seguito, mediante permeametri si procede alla determinazione della quantità d'acqua defluita durante una data durata di misurazione, a partire dalla quale sarà infine possibile dedurre, mediante la legge di Darcy, la conducibilità idraulica satura ( $k_{sat}$ ).

La conducibilità è suddivisa nelle seguenti classi (11, 13):

Classificazione secondo il metodo PYZYL-WD - FAL (11)					Altra classificazione secondo la proposta FaBo HZ (13)
$k_{sat}$ m/s	$k_{sat}$ mm/h	Classe di permeabilità	Umidità del suolo	Tipo di suolo	
$> 3,5 \cdot 10^{-5}$	$> 126$	estremamente elevata	estremamente permeabile	suoli totalmente aerati	Classe di permeabilità elevata, buona permeabilità ( $10^{-4}$ a $10^{-5}$ m/s; 40 a 400 mm/h)
$3,5 \cdot 10^{-5}$ a $1,2 \cdot 10^{-5}$	126 a 43	molto elevata	molto permeabile	suoli totalmente aerati	
$1,2 \cdot 10^{-5}$ a $4,6 \cdot 10^{-6}$	43 a 17	elevata	piuttosto permeabile	suoli totalmente aerati	Classe di permeabilità normale, permeabilità normale ( $10^{-5}$ a $10^{-6}$ m/s; 4 a 40 mm/h)
$4,6 \cdot 10^{-6}$ a $2,9 \cdot 10^{-6}$	17 a 10	normale	permeabile	suoli totalmente aerati	
$2,9 \cdot 10^{-6}$ a $1,2 \cdot 10^{-6}$	10 a 4	rallentata	permeabilità frenata	sol totalmente aerati	
$1,2 \cdot 10^{-6}$ a $4,6 \cdot 10^{-7}$	4 a 1,7	frenata	da umidità costante a moderata umidità stagnante	pseudogley terra bruna-pseudogley	Classe di permeabilità ridotta, permeabilità limitata ( $10^{-6}$ a $10^{-7}$ m/s; 0,4 a 4 mm/h)
$4,6 \cdot 10^{-7}$ a $1,2 \cdot 10^{-7}$	1,7 a 0,4	debole	umidità stagnante	pseudogley	
$< 1,2 \cdot 10^{-7}$	$< 0,4$	molto debole	forte umidità stagnante	gley opaco	Classe di permeabilità molto ridotta, permeabilità molto limitata ( $< 10^{-7}$ a $10^{-7}$ m/s; $< 0,4$ mm/h)

## 8.2 Misurazione della tensione capillare

### Tensiometro

La tensione capillare consente (contrariamente ad altri metodi di misurazione sul terreno quali la resistenza alla penetrazione, la resistenza al taglio e il tenore d'acqua) una valutazione affidabile della transitabilità di un suolo (cfr. cap. 7.4).

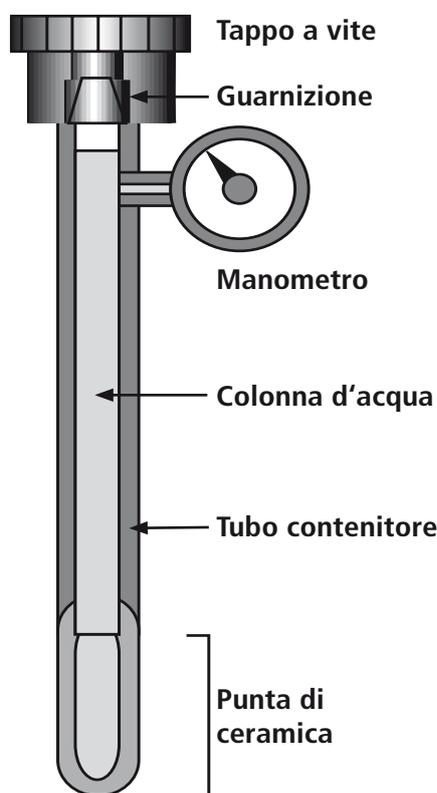


Fig. 46 - Rappresentazione schematica di un tensiometro a manometro.

Esistono vari tipi di tensiometri. Tuttavia, il principio di funzionamento è identico per tutti. Una punta ceramica porosa a stretto contatto con il suolo circostante instaura con il progressivo drenaggio del suolo una depressione che nello schema raffigurato viene trasmessa dalla massa d'acqua racchiusa nello spazio vuoto dell'apparecchio al manometro di depressione dove può essere letta come tensione capillare in centibar. Gli apparecchi con colonnina di mercurio sono più precisi ma costituiscono una latente minaccia per l'ambiente (rottura dell'apparecchio).

La depressione può essere rilevata con precisione con apparecchi di misurazione digitale. Attraverso il tappo viene introdotto un ago d'iniezione che trasmette la depressione all'apparecchio di misurazione. Dopo un certo numero di punture, il tappo in gomma speciale perde la tenuta e dev'essere sostituito. Questi apparecchi vengono utilizzati soprattutto per scopi scientifici.

### Norme di misura

La misurazione della tensione capillare va eseguita uniformemente a 35 cm di profondità (5, 6). Per ogni sito di rilevamento vanno installati 5 tensiometri a una distanza laterale di al massimo 50 cm. I valori vanno rilevati di preferenza all'alba, in caso di più siti di rilevamento se possibile simultaneamente. La mediana del sito è determinata a partire dai cinque valori singoli di ciascun sito.

### Installazione dei tensiometri

È di capitale importanza che la punta di ceramica del tensiometro abbia un buon contatto con il suolo e che nel foro non possa penetrare aria o acqua lungo il tubo. Per la posa si realizza un foro con una trivella. Soprattutto nei suoli con un notevole contenuto di scheletro è necessario rifinire il foro con una barra di ferro che abbia approssimativamente il diametro del tensiometro. All'inserimento dell'apparecchio, il materiale sterrato fine inumidito con un po' d'acqua, potrà servire da lubrificante. Infine, si comprimerà a mano la superficie del suolo attorno al tubo affinché vi aderisca perfettamente.

### **Possibili errori**

È possibile che nella zona della punta di ceramica si formi un ristagno d'acqua locale o che in seguito a fessure da ritiro o pietre non si stabilisca un contatto completo tra la punta e il suolo e penetri quindi dell'aria. In entrambi i casi il valore rilevato si scosterà dai valori degli altri apparecchi. In questi casi, l'apparecchio che presenta valori alterati dovrà essere spostato. Il gelo del suolo causa sovente danni al manometro, motivo per il quale è raccomandabile aggiungere un po' di antigelo nelle stagioni di transizione.

### **Manutenzione corretta**

Oltre alla lettura quotidiana dei valori occorre controllare anche il livello dell'acqua. Specialmente in caso di elevate tensioni capillari, che si verificano soprattutto in estate, bisogna in genere riportare il liquido a livello quotidianamente. A tal fine si raccomanda di utilizzare acqua disaerata, ossia bollita. Per facilitare il controllo, si può aggiungere all'acqua un po' di colorante ben solubile e atossico come la fluorescina.

Al termine del periodo di misurazione, gli apparecchi vanno accuratamente puliti e liberati da alghe e mucillagine batterica all'interno del tubo e attorno al tappo. I tappi screpolati e le punte di ceramica danneggiate vanno sostituiti.

Il funzionamento del manometro va accuratamente verificato mediante un apparecchio di controllo (pompa per vuoto equipaggiata con

un manometro). Importante è una buona reazione (una reazione ritardata può essere dovuta a danni causati dal gelo) e che l'ago del manometro torni completamente a zero immergendo la punta ceramica del tensiometro in acqua.



Fig. 47 - Tensiometri a manometro di diverse lunghezze e tipologie con accessori

### **Controlli successivi sul terreno**

La tensione capillare può essere rilevata ovunque sia con tensiometri fissi sia mediante un apparecchio portatile a lettura rapida (Quick-Draw, fig. 47 a destra). La misurazione rapida non va considerata sostitutiva ma complementare alla rete di misurazione esistente. L'impiego del Quick Draw richiede un'accurata manutenzione (spurgo quotidiano dell'aria) e dà risultati utilizzabili solo rispettando i tempi di risposta indicati dal produttore. Quando non viene usato, l'apparecchio va conservato in un contenitore di protezione saturo d'acqua. Si raccomanda di usare solo acqua distillata o deionizzata ben disaerata.

### 8.3 Misurazione della densità apparente (da)

Per la misurazione della densità apparente (massa volumica apparente o peso specifico apparente) del suolo sul campo sono disponibili diversi metodi.

#### Campionamento con il cilindro (campione indisturbato)

Con un cilindro a bordo affilato a volume noto (per es. 100 / 500 / 1000 ml) che viene inserito verticalmente nel suolo naturale mediante un martello e con l'ausilio di una bussola a innesto, si preleva un equivalente volume di suolo.



Fig. 48 - L'illustrazione mostra un set di prelievo da 100 ml.

Dopo il ritiro del cilindro, la terra emergente va rimossa accuratamente mediante taglio netto con un coltello senza colmare i pori della superficie della carota. Se si desidera determinare soltanto la densità e il tenore d'acqua, il campione può essere prelevato anche orizzontalmente nella parete di un profilo. Per la misurazione della conducibilità idraulica o della ripartizione dei pori, il prelievo orizzontale non è però ammesso (cfr. cap. 8.1).

Prelievo verticale su superfici di campionamento pre-disposti (campionamento scalare)

Prelievo orizzontale nella parete del profilo

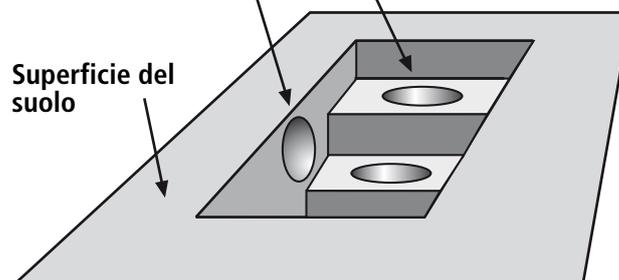


Fig. 49 - Rappresentazione schematica del prelievo di campioni in un profilo scalare. In pratica, occorrerà ovviamente prelevare diversi campioni per ciascun livello di profondità. I costipamenti e le colmature dei pori eventualmente causati dallo sterro meccanico del profilo andranno accuratamente rimossi in precedenza.

#### Trattamento successivo in laboratorio

Il campione indisturbato può essere utilizzato in laboratorio per altre misurazioni (per es. volume dei pori, distribuzione dei pori, conducibilità idraulica satura ecc.). In questo caso il campione (di regola si tratta di cilindri di piccolo volume) va lasciato nella custodia di metallo chiusa ermeticamente per evitare che si dissecchi.

### Determinazione della densità apparente

La densità apparente da viene calcolata a partire dal peso secco per volume del cilindro ed è di regola espressa in  $\text{Mg}/\text{m}^3$  o in  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Per la determinazione del peso secco, il campione viene seccato per diverse ore in una stufa a  $105^\circ\text{C}$ .

### Svantaggi

Questo metodo è utilizzabile solo in suoli con scheletro assente o scarso. Per ottenere risultati attendibili occorre esaminare un numero elevato di campioni (eterogeneità del suolo). Questa analisi è pertanto onerosa in termini di tempo e materiale.

### Il densitometro a membrana

La densità apparente a umidità di campo di un suolo può essere determinata sul terreno mediante un densitometro a membrana. Il vantaggio di questo metodo consiste nell'immediata disponibilità di risultati relativamente precisi.

**Densità apparente a umidità di campo =**  
peso della terra prelevata diviso per il volume d'acqua rimosso.

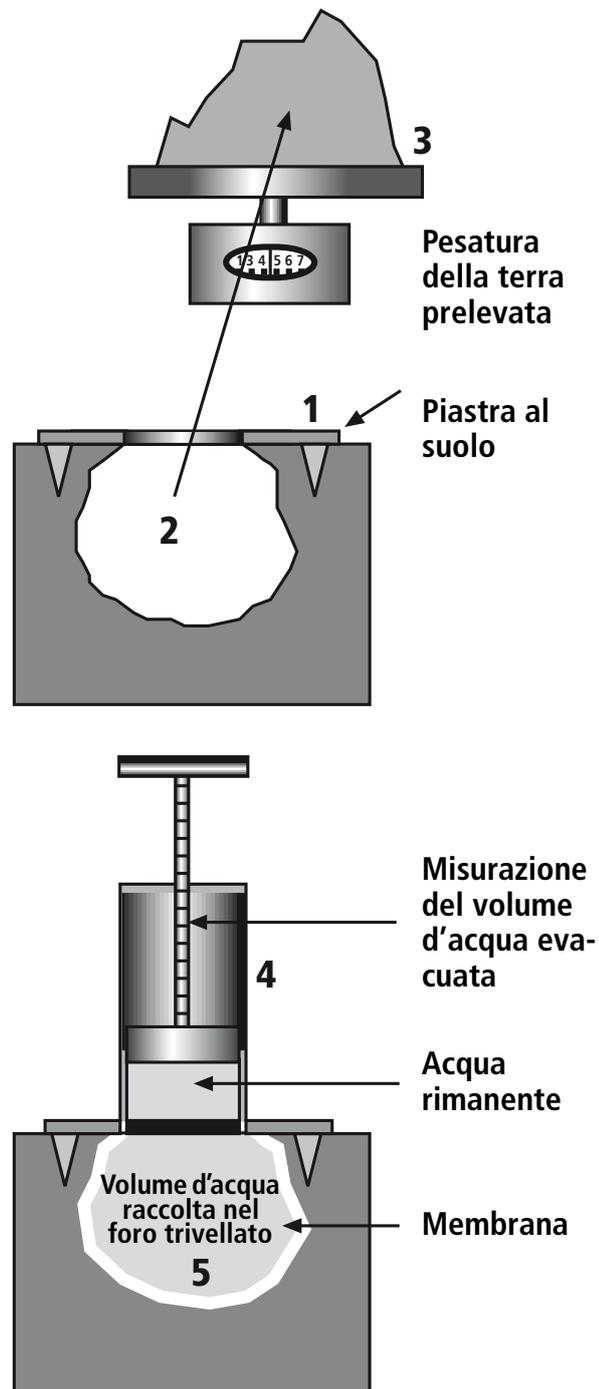


Fig. 50 - Rappresentazione schematica della procedura di prelievo mediante densitometro in sezione. Descrizione nella pagina seguente.

**Procedimento**

1. Su una superficie di campionamento accuratamente preparata e piana viene fissata una piastra al suolo (piastra ad apertura circolare).
2. Attraverso l'apertura della piastra si preleva un po' di suolo.
3. Il materiale terroso prelevato viene depositato sul piatto di una bilancia e pesato.
4. Il densitometro riempito d'acqua e chiuso alla base da una membrana di gomma, viene applicato alla piastra sul suolo.
5. L'acqua viene evacuata dal cilindro con una pompa. Raggiunta la pressione di misurazione, viene rilevato il volume rimosso.

Spesso con il prelievo e la pesatura del materiale di sterro sul campo si effettua anche una setacciatura grossolana ( $\varnothing > 2$  mm) per la frazione ghiaia-pietra, per portare in laboratorio, ai fini di un ulteriore esame (granulometria e parametri chimici), solo la frazione di terra fine.

Anche il peso secco può essere determinato successivamente in laboratorio. A tal fine i campioni prelevati vengono accuratamente imballati.

La riproducibilità delle condizioni di prelievo viene controllata mediante il manometro integrato nell'apparecchio. Il metodo è abbastanza semplice. Il limite d'impiego è dato da orizzonti molto sottili ( $< 5$  cm di spessore dello strato).

**Svantaggi del metodo**

Richiede abbastanza tempo (ca. 1 giorno per profilo).

**8.4 Misurazione della resistenza alla penetrazione**

La resistenza alla penetrazione di un suolo può essere determinata in vari modi. Esiste una vasta scelta di apparecchi a lettura diretta e con registrazione grafica o digitale dei valori.

**Sistema statico (penetrometro a molla)**

L'asta di misurazione, alla cui estremità è fissata una punta conica con un particolare angolo d'incidenza e una superficie data, viene spinta verticalmente nel suolo mantenendo possibilmente una pressione costante. Tramite la molla a compressione viene messa in movimento una rotella graduata sulla quale vanno letti i valori. Gli apparecchi più sofisticati dispongono di un meccanismo di scrittura che trascrive la resistenza in base al carico del dinamometro su una striscia di carta trascinata.

I modelli più recenti di questo apparecchio dispongono di un sistema elettronico di sensori con indicazione digitale dei valori e memorizzazione su logger. Tuttavia, nonostante il miglioramento della tecnica di registrazione, l'impiego dell'apparecchio statico rimane difficile, in particolare su suoli sassosi o molto secchi.

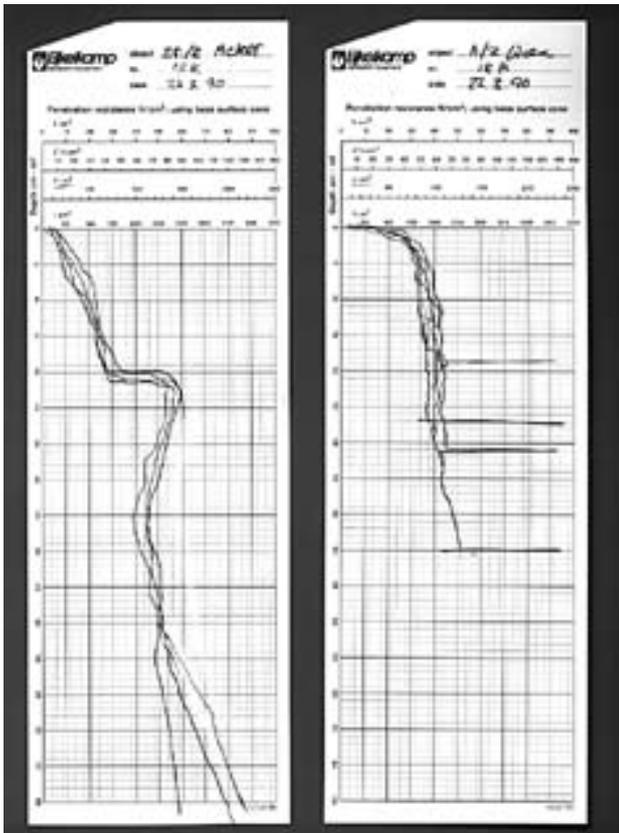


Fig. 51 - Due esempi di penetrogrammi direttamente registrati con 4 e 3 misurazioni. A sinistra: campo agricolo in una zona di loess; la zona di costipamento dovuta alla coltivazione (15-25 mm di profondità) è facilmente riconoscibile. A destra: penetrogramma in un prato naturale; la resistenza superficiale alla penetrazione è sensibilmente maggiore (a partire da 15 cm di profondità le pietre impediscono di continuare la misurazione).

### Sistemi dinamici (penetrometri a percussione)

Un metodo noto applicato in scala molto ridotta è basato sul ben conosciuto e ampiamente collaudato principio della sonda a percussione (12). Questo sistema è meno sensibile alla presenza di pietre e alla siccità.

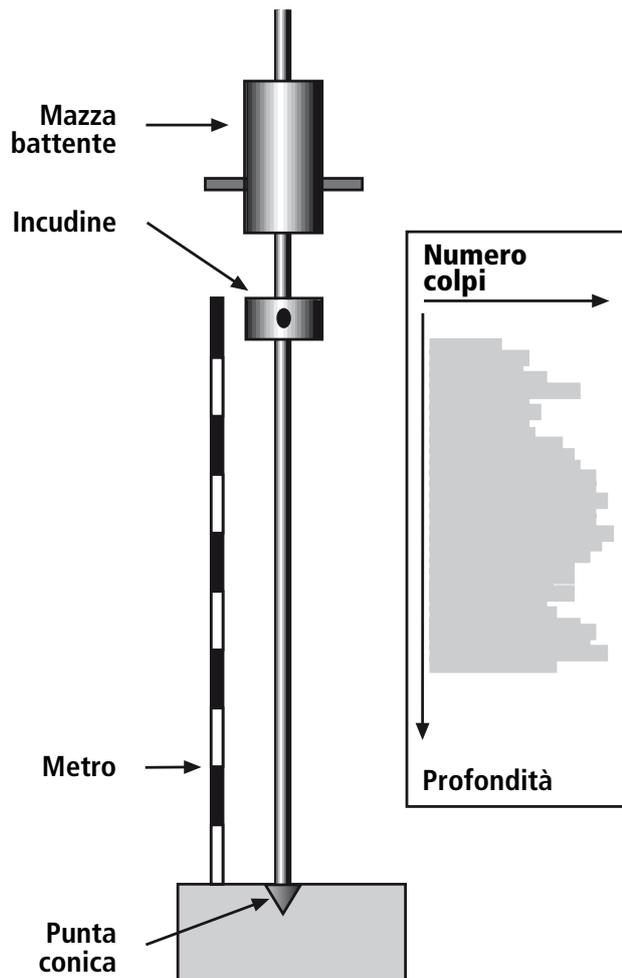


Fig. 52 - Il penetrometro a percussione a mano nella sua esecuzione più semplice. La rappresentazione della resistenza alla penetrazione avviene sotto forma di istogrammi.

La mazza battente viene sollevata lungo un'asta di metallo fino all'arresto superiore e lasciata cadere sull'incudine. Il numero di colpi necessari per una determinata misura di penetrazione (per es. 2 cm) viene annotato. Nella rappresentazione grafica ne risulta un istogramma. Poiché l'energia per battuta (peso della mazza battente x altezza di caduta) e il peso della parte immobile dell'apparecchio sono noti, il risultato può essere trasformato in unità specifiche della meccanica del suolo come l'SPT (Standard Penetration Test) (12).

Un altro sistema è la cosiddetta sonda PANDA (Penetrometro Automatico Numerico Dinamico Assistito, 14). Si tratta di un apparecchio portatile di misurazione sul terreno (fig. 53).

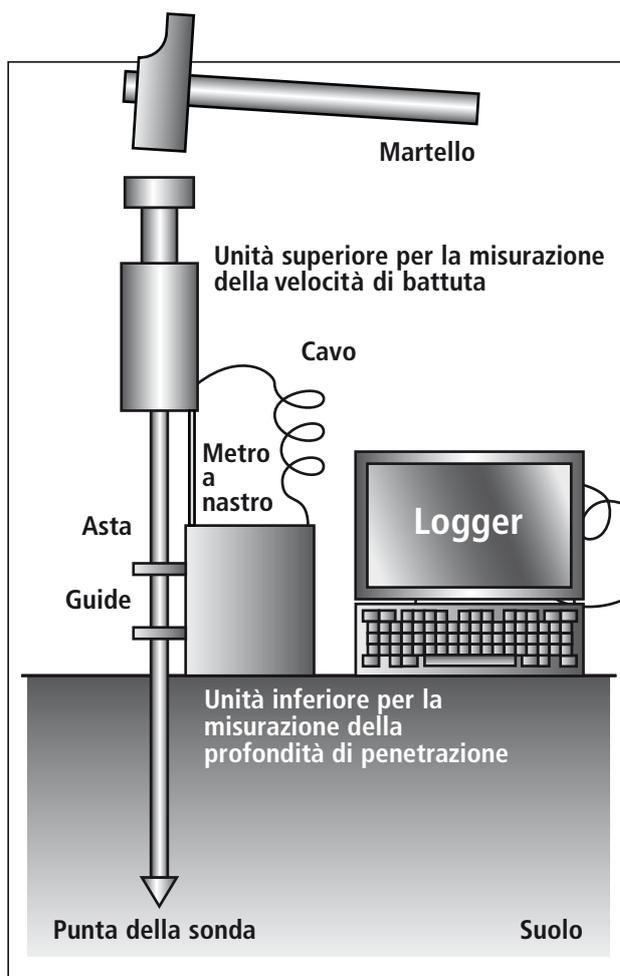


Fig. 53 - Rappresentazione schematica della sonda PANDA e delle sue componenti (14).

Il principio fondamentale della sonda si basa sul fatto che un'asta è battuta nel suolo a colpi di martello. La determinazione della resistenza alla penetrazione si effettua tramite il rilevamento della velocità di battuta. Ciò avviene nell'unità superiore del sistema, dove viene misurata, per ogni colpo di martello, la durata della corsa di un magnete mobile tra due sensori fissi. Il rilevamento della profondità di penetrazione mediante il metro a nastro e l'unità inferiore del sistema consente di calcolare la resistenza alla penetrazione per ciascun colpo di martello, essendo nota sia la superficie della punta conica sia la massa del martello, dell'asta e della punta della sonda, mediante una formula programmata nel logger. Sul terreno i dati vengono registrati e memorizzati automaticamente dal logger.

Per ogni sito si eseguono dieci misurazioni a distanze di 20 cm fino a una profondità di 0,5 m. Le misurazioni vanno eseguite in suolo asciutto a una tensione capillare di almeno 15 fino al massimo 55 centibar. L'umidità del suolo al momento delle misurazioni viene determinata con dei tensiometri (cap. 8.2).

Il grado di costipamento fino a una profondità di 0,5 m viene valutata in Megapascal (MPa) mediante la curva della mediana o della media delle resistenze alla penetrazione rilevate (6):

Resistenza alla penetrazione	Grado di costipamento, densità
< 2 MPa	Non costipato, densità normale
2,0 – 3,5 MPa	Costipato, densità elevata
> 3,5 MPa	Fortemente costipato, densità compatta

Se in una data profondità o sopra una zona di profondità la curva supera i limiti rispettivamente di 2,0 e 3,5 MPa, il suolo in quell'area è costipato o fortemente costipato.

## 8.5 Esperimenti dimostrativi sul campo

A complemento dei metodi classici, sono menzionati di seguito alcuni esperimenti adatti alla dimostrazione sul campo.

### Influenza della pressione dei pneumatici

Un trattore viene fatto transitare in un campo appena arato. Una delle ruote posteriori è gonfiata a pressione normale, nell'altra la pressione è ridotta a circa 1/3. Trasversalmente alle tracce dei pneumatici viene infissa verticalmente nel suolo una lamiera e marcato con un colore spray il profilo della traccia.

La differenza della forma e della profondità della traccia è generalmente notevole. Nella ruota a pressione normale è soprattutto il suolo che cede, mentre il pneumatico meno gonfio risulta «meno duro del suolo».

Il pneumatico viene appiattito e distribuisce lo stesso peso su una superficie molto più grande.

### **Suola di aratura e permeabilità**

La crescente meccanizzazione lascia in molti suoli tracce visibili. Nei suoli pesanti arati ogni anno si notano spesso costipamenti, detti suole di aratura. Sulla superficie del suolo e nel solco dell'aratro vengono installati infiltrometri (di preferenza il sistema LBL, cap. 8.1) riempiti d'acqua. Se i tubi sono installati correttamente e se l'esperimento non viene falsato dalla casuale presenza di una grande galleria di lombrichi o di una fessura da ritiro, si noterà una durata d'infiltrazione molto più lunga nella zona della suola di aratura.

### **Asfissia**

In seguito al costipamento, e in particolare nei suoli umidi, si possono osservare condizioni anaerobiche causate dalla carenza d'ossigeno. Tramite uno scavo, ma anche con il prelievo di campioni mediante trivella, si constata la colorazione grigia e l'odore spesso penetrante di fanghi di depurazione emanato da questi strati. L'odore è dovuto allo sviluppo di metano (gas di fermentazione) durante la putrefazione di sostanza organica nel suolo. Vale quindi la pena verificare le condizioni dei depositi dello strato superiore del suolo ricchi di humus, soprattutto se formati con materiale troppo umido o a un'altezza eccessiva.

### **Stabilità**

Spesso si confonde rigidità con stabilità. Per esempio, transitando sullo strato inferiore del suolo, si lasciano tracce molto meno evidenti. Lo strato inferiore del suolo è meno vitale e quindi la sua stabilità strutturale è inferiore. Un esperimento impressionante è il test di sfaldamento nel bicchiere d'acqua.

Alcune zolle di materiale dello strato inferiore del suolo e dello strato superiore del suolo di grandezza più o meno uguale vengono essiccate per circa due giorni a temperatura ambiente.

Le zolle dello strato inferiore del suolo sono in generale più dure e difficili da rompere. Simultaneamente si pone una zolla di ciascuno strato in un bicchiere colmo d'acqua. La terra dello strato inferiore del suolo si disgrega generalmente in breve tempo, mentre quella dello strato superiore del suolo rimane in blocco.

Il comportamento di sfaldamento varia secondo la tessitura e il tenore in humus e argilla. Particolarmente evidente è la stabilità dei turricoli.

### **Test di calpestamento per la verifica della presenza di lombrichi**

I lombrichi, una componente molto importante della pedofauna, sono attivi soprattutto nelle stagioni umide e fresche (primavera e autunno). Nei suoli saturi d'acqua la presenza dei lombrichi può essere verificata con un semplice esperimento:

dopo esservi inoltrati a passo leggero e silenzioso in un prato, saltate a piedi pari. L'impatto sul suolo genera una vibrazione che viene registrata dai vermi di terra in un largo raggio provocandone l'immediato ritiro nelle gallerie. Ciò determina un risucchio di acqua e aria che dà origine a un suono di suzione crepitante percepibile facilmente.

### **Test dei fuscilli**

Nei periodi di attività, la presenza di specie che scavano in profondità in un terreno agricolo può essere osservata come segue:

una superficie di suolo viene accuratamente mondata e delimitata con una cinta di cartone. All'interno dell'area delimitata vengono strettamente allineati in file regolari sottili fuscilli di legno dolce verde della grandezza di un fiammifero. Le file di fuscilli vengono quindi cosparse con uno strato sottile di farina di gesso. La mattina seguente i fuscilli che solo difficilmente possono essere trascinati nelle gallerie dai vermi di terra, sono visibilmente spostati. Come tutti gli esperimenti descritti sopra, il test dei fuscilli è di indubbio interesse, anche se non si tratta di una prova scientifica.



## **Bibliografia**

1. Ordinanza del 1° luglio 1998 contro il deterioramento del suolo (O suolo), RS 814.12
2. Società Svizzera di Pedologia, Physikalischer Bodenschutz: Konzept zur Umsetzung der rechtlichen Vorgaben im Umweltschutzgesetz (USG) und in der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo), BGS-Dokument 9, Dietikon 1999
3. VSS, SN 640 581a, Erdbau, Boden; Grundlagen, Zurigo 1998
4. UFE, Direttive per la protezione del suolo relative alla costruzione di impianti di trasporto in condotta (Direttive per la protezione del suolo); Berna 1997
5. VSS, SN 640 583, Erdbau, Boden; Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme, Zurigo 2000
6. FAL, IUL, RAC & FAW [Agroscope ART Reckenholz], Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Zurigo-Reckenholz 1997
7. H. Otto, Geotechnik für die Praxis, 4a ed. ampliata, Aarau 1990
8. Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, Interne Berichte zur Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (ksat), Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1998, 1999, 2000
9. Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich, Fachberichte zur Messung von Bodenverdichtungen im Feld, Zurigo, 1997, 1998, 1999

## Illustrazioni

<b>Fonte</b>	<b>Fig. n.</b>
• P. Schoch, Amt für Umweltschutz, Cantone Soletta, 1991	02
• R. Wenger, Land- und hauswirtschaftliche Schulen Ebenrain, Sissach	03
• Honegger/Bodmer in U. Gisi, «Bodenökologie», Edizioni Thieme, 1990	04
• F. Scheffer/P. Schachtschabel, «Lehrbuch der Bodenkunde», Edizioni Enke, 1992	05
• S.T. Williams, «Forum Microbiologie 6», 1983	06
• J.C.G. Ottow, «Bild der Wissenschaft 3», 1985	07/08
• G. Bruckner, «Lebensraum Boden», Edizioni Frankh-Kosmos, 1988	11/12
• R. Giovanoli, Laboratorium für Elektronenmikroskopie, Università di Berna	18/20/22
• Th. Diez/H. Weigelt, Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau	21/24-32/36
• E. Frei, «Agrarpedologie», Istituto geografico dell'Università di Berna, 1983	33
• UFE, «Direttive per la protezione del suolo relative alla costruzione di impianti di trasporto in condotta (Direttive per la protezione del suolo)», Berna 1997	42

Le illustrazioni, le foto, i grafici, le tabelle, gli schemi ecc. sono stati rielaborati da Hans-Peter Imhof. La relativa documentazione è stata fornita – salvo le illustrazioni menzionate sopra – dagli autori della presente guida (Christoph Salm e Stephan Häusler) o dall'editore (UFAFP).

## **Nota editoriale**

### **Editore**

Ufficio federale dell'ambiente,  
delle foreste e del paesaggio (UFAFP)  
CH-3003 Berna  
<[www.ambiente-svizzera.ch](http://www.ambiente-svizzera.ch)>

### **Autori**

Stephan Häusler  
Angewandte Erdwissenschaften  
Effingerstrasse 97  
3008 Berna

Christoph Salm  
Terre AG  
Mitteldorfstrasse 185  
5704 Egliswil

### **Direzione del progetto**

Jean-Pierre Clément  
Jürg Zihler  
UFAFP  
Sezione Suolo  
3003 Berna

### **Supervisione redazionale**

Norbert Ledergerber  
UFAFP  
Sezione Comunicazione  
3003 Berna

### **Traduzione**

Peter Schrembs  
(Coop-Terziario)  
6600 Locarno

### **Grafica e impaginazione**

Hans-Peter Imhof  
Grafik-Atelier  
Elfenauweg 3  
3006 Berna