

Costruire proteggendo il suolo



**Ufficio federale dell'ambiente,
delle foreste e del paesaggio (UFAFP)**

Costruire proteggendo il suolo



**Ufficio federale dell'ambiente,
delle foreste e del paesaggio (UFAFP)**

Indice

Prefazione	5
Indicazioni bibliografiche con indirizzi per le ordinazioni	6
Introduzione	8

Istruzioni pratiche

Sezione 0: Protezione dei suoli sui cantieri	11
Sezione 1: Stato iniziale	12
Sezione 2: Asportazione di suolo	16
Sezione 3: Deposito intermedio	22
Sezione 4: Ripristino	27
Sezione 5: Ricoltivazione	32
Sezione 6: Transito sul suolo	37

Spiegazioni sul tema del suolo

Cap. 1 Fertilità del suolo	41
Cap. 2 Vita nel suolo	42
2.1 Interfaccia suolo/pianta	42
2.2 Classificazione e breve descrizione secondo l'ordine di grandezza	43
2.3 Il lombrico	46
Cap. 3 Tipi di suolo	48
3.1 Suoli permeabili	48
3.2 Suoli con umidità stagnante	49
3.3 Suoli idromorfi	49
3.4 Suoli alluvionali	49
3.5 Suoli idromorfi organici	50

Cap. 4	Tessitura del suolo	51
4.1	Argilla	52
4.2	Silt	53
4.3	Sabbia	54
Cap. 5	Struttura del suolo	56
5.1	Struttura primaria	56
5.2	Struttura secondaria	57
Cap. 6	Densità e porosità	60
6.1	Densità apparente e densità reale	60
6.2	Pori (cavità) e loro distribuzione nel suolo	61
6.3	Dimensione dei pori, regime idrico e dell'aria	63
Cap. 7	Portanza e trafficabilità	65
7.1	Conducibilità idraulica o permeabilità	65
7.2	Misurazione della tensione idrica	66
7.3	Relazione tra peso totale, superficie di contatto e trasmissione della pressione	67
7.4	Tensione capillare e impiego di macchine	67
Cap. 8	Analisi del suolo	69
8.1	Misurazione della permeabilità	69
8.2	Misurazione della tensione capillare	72
8.3	Misurazione della densità apparente	74
8.4	Misurazione della resistenza alla penetrazione	67
8.5	Esperimenti dimostrativi sul campo	78
Bibliografia		81
Illustrazioni		82
Nota editoriale		83

Sezione 0

Sezione 1

Sezione 2

Sezione 3

Sezione 4

Sezione 5

Sezione 6

Cap. 1

Cap. 2

Cap. 3

Cap. 4

Cap. 5

Cap. 6

Cap. 7

Cap. 8

Max Frisch (da «L'uomo nell'Olocene», 1981)

**«Il terreno esiste
anche di notte.»**



Prefazione

Durante l'esecuzione di opere edili vengono spesso asportate, depositate e successivamente riutilizzate grandi cubature di suolo fertile, ad esempio per le coltivazioni. Inoltre, il suolo viene temporaneamente sollecitato con le installazioni, le piste, i depositi e gli alloggi di cantiere.



La legge sulla protezione dell'ambiente, e soprattutto l'ordinanza contro il deterioramento del suolo del 1998, esigono che il suolo e il materiale di sterro siano trattati in modo da preservarne la fertilità. Queste disposizioni presuppongono tuttavia che chi utilizza il suolo ne conosca la struttura, la vita, le funzioni e la vulnerabilità.

La presente guida sostituisce e aggiorna il manuale esaurito «Bodenschutz beim Bauen» del 1996. Essa fornisce conoscenze di base di pedologia e illustra, mediante sei istruzioni pratiche, come si possa preservare il suolo dal deterioramento durante l'esecuzione dei lavori di costruzione. La guida integra le norme, le istruzioni e le direttive che riguardano progetti specifici (per es. l'estrazione di inerti o la costruzione di condotte del gas e di strade) indicando i provvedimenti applicabili a tutte le opere edili.

La guida è rivolta alle autorità competenti in materia di edilizia e tutela ambientale, ma soprattutto alle imprese attive nel settore edile.

Ringraziamo tutti coloro che hanno partecipato alla realizzazione di quest'aiuto all'esecuzione e che lo applicano nella pratica.

Ufficio federale
dell'ambiente, delle
foreste e del paesaggio

Bruno Oberle
Direttore

Indicazioni bibliografiche con indirizzi per le ordinazioni

Questo elenco contiene i principali testi di riferimento per la protezione chimica e fisica del suolo

Per ordinazioni:

www.bundespublikationen.admin.ch

- Legge del 7 ottobre 1983 sulla protezione dell'ambiente (rev. luglio 1997), RS 814.01
- Ordinanza del 1° luglio 1998 contro il deterioramento del suolo (O suolo), RS 814.12
- Ordinanza tecnica sui rifiuti (OTR) del 10 dicembre 1990, RS 814.600
- Ordinanza del 26 agosto 1998 sul risanamento dei siti inquinati (Ordinanza sui siti contaminati, OSiti), RS 814.680

Per ordinazioni:

www.ambiente-svizzera.ch

- UFAFP, Spiegazioni sull'ordinanza del 1° luglio 1998 contro il deterioramento del suolo (O suolo). Ambiente – Esecuzione, Berna 2001
- UFAFP, Istruzioni – Esame e riciclaggio del materiale di sterro (Istruzioni materiale di sterro). Ambiente – Esecuzione, Berna 2001 (sostituisce la Comunicazione n. 4 del 1993 dell'UFAFP relativa all'O suolo)
- UFAFP, Direttiva per il riciclaggio, il trattamento e il deposito di materiale di scavo (Direttiva sul materiale di scavo). Ambiente – Esecuzione, Berna 1999
- UFAFP, Bereich Boden, UVP-Mitteilung Nr. 6, Berna 1991
- UFAFP, video: Bodenschutz auf der Baustelle, Berna 1999
- UFAFP, Manuale: Prelievo e trattamento preliminare dei campioni per l'analisi del tenore di sostanze nocive nel suolo, Ambiente – Esecuzione, Berna 2003 (sostituisce in parte la Direttiva sul prelievo di campioni e sull'analisi delle sostanze nocive nel suolo dell'UFAFP e della FAC del 1987, in revisione)

Per ordinazioni:

www.energia-svizzera.ch

- UFE, Direttive per la protezione del suolo relative alla costruzione di impianti di trasporto in condotta (Direttive per la protezione del suolo), Berna 1997

Per ordinazioni:

www.vss.ch

- USTRA, Rapporto di ricerca n. 425, Umgang mit Boden im Tiefbau, Christoph Salm & Stephan Häusler, Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti VSS, Zurigo 1999

Per ordinazioni:

www.admin.ch/sar

- FAL, IUL, RAC & FAW [Agroscope FAL Reckenholz], Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Zurigo-Reckenholz 1997 [aggiornamento annuale]
- Stazione federale di ricerche in agroecologia e agricoltura Agroscope FAL Reckenholz, Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden, quaderni FAL n. 24, Zurigo-Reckenholz 1997

Per ordinazioni:

www.afu.gr.ch

- Ufficio per l'ambiente del Cantone Grigioni, Praktischer Bodenschutz; Anleitungen für tiefbauliche Eingriffe, Coira 1997

Per ordinazioni:

www.vol.be.ch

- Amt für Landwirtschaft und Natur (LANAT) Bodenschutz beim Bauen. Richtlinie für Terrainveränderungen mit Materialzufuhr, Berna 2000

Per ordinazioni:**www.snv.ch**

- SN 640 581a, Erdbau, Boden; Grundlagen, Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti, Zurigo 1998
- SN 640 582, Erdbau, Boden; Erfassung des Ausgangszustandes, Triage des Bodenaushubes, Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti, Zurigo 1999
- SN 640 583, Erdbau, Boden; Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme, Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti, Zurigo 2000

Per ordinazioni:**www.fskb.ch**

- Associazione svizzera dell'industria degli inerti e del calcestruzzo; Richtlinie für den fachgerechten Umgang mit Böden, FSK-Rekultivierungsrichtlinie, Berna 2001

Per ordinazioni:**www.umweltschutz.ch**

- Praktischer Umweltschutz Schweiz e Società Svizzera di Pedologia, Betrifft Boden: 9 Aktionsfelder für den kommunalen Bodenschutz, Zurigo 2000

Per ordinazioni:**www.soil.ch**

- 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

I documenti citati nel testo seguente sono contrassegnati con un numero tra parentesi che rimanda alla bibliografia alla fine.

Introduzione

La presente guida è un aiuto all'esecuzione relativo agli articoli 6 e 7 dell'ordinanza del 1° luglio 1998 contro il deterioramento del

suolo (O suolo, 7*). Essa tratta della protezione dello strato superiore e dello strato inferiore del suolo (vedi illustrazione sottostante) in caso di interventi edili.

CONCETTI

Pedologia

Protezione qualitativa del suolo

Terreno naturale

Orizzonte A = strato superiore del suolo con fino al 30% di sostanza organica

Orizzonte B = strato inferiore (o minerale) del suolo; presenta una struttura sviluppata ed è biologicamente attivo; minore tenore di humus e minore pervasione radicale rispetto all'orizzonte A

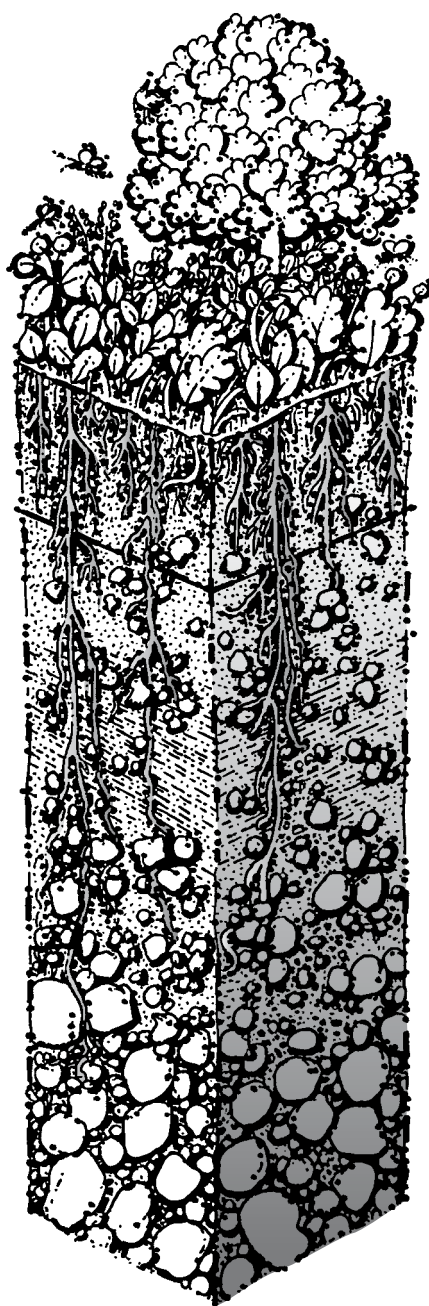
Orizzonte C = sottosuolo (roccia madre), strato privo o pressoché privo di radici, costituito da sedimenti sciolti o roccia

Strato superiore del suolo (di regola 5-30 cm di spessore)

Strato inferiore del suolo

Limite della crescita radicale = limite tra suolo e sottosuolo secondo la LPAmb (8)

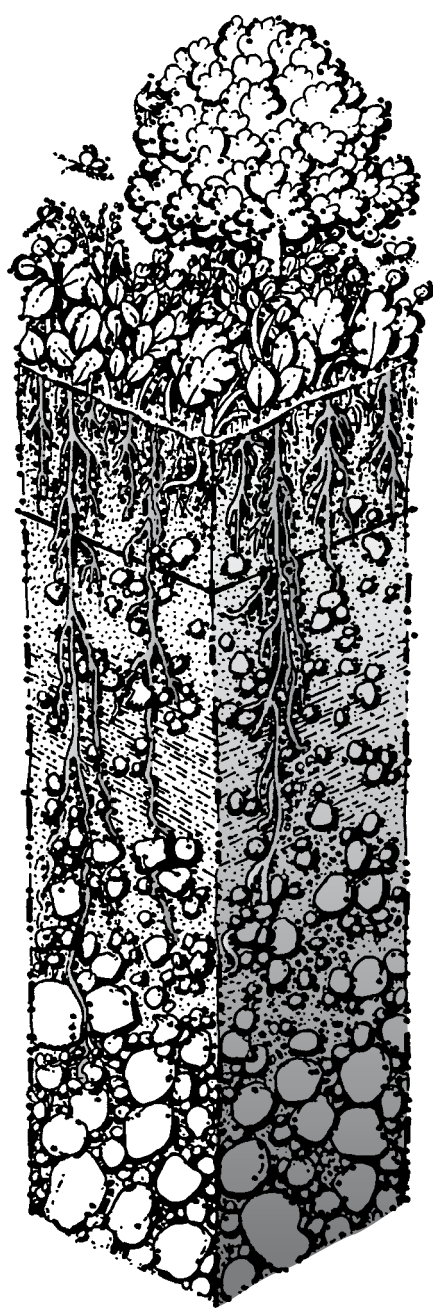
Il suolo secondo la LPAmb (8)



*Rappresentazione schematica di un profilo del suolo e dei campi d'applicazione delle diverse pubblicazioni (*cfr. bibliografia a pagina 81)*

Essa contiene, da un lato, istruzioni pratiche e concrete per la protezione del suolo in tutte le fasi di costruzione, dalla progettazione all'in-

tervento e al collaudo (sezioni 0-6) e, dall'altro, spiegazioni e informazioni sul tema del suolo e della pedologia (capitoli 1-8).



Edilizia e genio civile, genio rurale

Suolo asportato = materiale di sterro

Strato superiore del suolo
(di regola 5-30 cm di spessore): scarificazione dello strato di humus/asportazione del suolo

Strato inferiore del suolo asportato

(se lo spessore e la qualità sono sufficienti, asportare e depositare transitoriamente uno strato di almeno 50 cm)

Materiale di sterro
Istruzioni (2)

Il limite inferiore della scarifica del materiale di sterro dipende dagli obiettivi di riutilizzo (spessore del suolo dopo il ripristino)

Materiale di scavo

Scavo
Secondo la Direttiva sul materiale di scavo (9)

Campo d'applicazione della guida

*Rappresentazione schematica di un profilo del suolo e dei campi d'applicazione delle diverse pubblicazioni (*cfr. bibliografia a pagina 81)*

Sezioni 0 - 6

Istruzioni pratiche



Protezione dei suoli sui cantieri

Sezione 0

Le opere di movimentazione della terra in grandi cantieri soggetti a un esame dell'impatto sull'ambiente (EIA) sono oggi accompagnate da specialisti in scienze della terra (pedologi) riconosciuti. Questa supervisione pedologica sul cantiere da parte di specialisti della prote-

zione dei suoli sui cantieri (SPSC) ha una funzione fiduciaria di tutela del suolo.

Il capitolato d'oneri SPSC si presenta di regola come segue:

Fase 1: pianificazione e progettazione	Fase 2: costruzione e intervento	Fase 3: ripristino e collaudo
- Misure di protezione del suolo: proposte per la protezione dei suoli sensibili al costipamento, piani di misure e adattamenti o modifiche del progetto. - Partecipazione all'appalto dei lavori: indicazioni relative all'elenco delle macchine, all'organizzazione dei lavori, ai calendari d'esecuzione delle opere, alle disposizioni per il maltempo e a interruzioni dei lavori. - Gestione del materiale: pianificazione della cernita del materiale di sterro, dei flussi del materiale e dei depositi intermedi. - Orientamento dei proprietari e dei gestori interessati in vista di una copertura vegetale preventiva delle superfici coltivate scoperte nell'area del cantiere.	- Informazione degli addetti ai lavori sulla protezione del suolo e sulle misure da adottare in cantiere (vedi sezione 6). - Consulenza della direzione dei lavori per tutte le questioni riguardanti la protezione del suolo: delimitazione di sufficienti superfici idonee al deposito intermedio (vedi sezione 3), supervisione sul posto dell'asportazione di suolo, formulazione delle prescrizioni esecutive e disposizione di eventuali misure di protezione. - Partecipazione a tutte le riunioni di cantiere rilevanti per il suolo, osservazione indipendente del calendario d'esecuzione delle opere, presenza e controllo preventivo nelle fasi di costruzione rilevanti per il suolo. - Informazione dei servizi cantonali di protezione del suolo in merito allo svolgimento dei lavori e al rispetto delle misure durante la costruzione.	- Supervisione della ricoltivazione tenendo conto delle tensioni capillari tollerabili (vedi sezioni 2 e 6). - Collaudo dei suoli ripristinati (collaudo d'opera) alla presenza di rappresentanti dell'impresa, della committenza e dei proprietari fondiari/gestori con verbale di collaudo (vedi sezione 4). - Supervisione delle misure di eliminazione dei danni (eventuale ripuntatura dello strato inferiore del suolo, drenaggi ecc.). - Spiegazione ai gestori della corretta coltivazione successiva per la ristrutturazione dei suoli ricostituiti (vedi sezione 5). - Collaudo finale delle superfici, confronto del risultato con lo stato iniziale (prova della vanga, vedi sezione 5) e autorizzazione all'uso normale.

Capitolato d'oneri della supervisione pedologica sul cantiere da parte di specialisti della protezione dei suoli sui cantieri (6)

Un capitolato d'oneri adattato alla portata del progetto può essere impiegato anche per progetti di minore entità non soggetti all'obbligo di EIA.

Stato iniziale

Prescrizioni, metodi

Sezione 1

Il rilevamento dello stato iniziale è obbligatorio per progetti soggetti all'esame dell'impatto sull'ambiente.

Interventi di lunga durata

(categoria A)

Per interventi di lunga durata e su superfici estese, durante i quali il materiale di sterro viene depositato provvisoriamente per uno o più anni e successivamente ricoltivato separatamente (esempi: estrazione di ghiaia, cave

di pietra, tunnel all'aperto e altri grandi cantieri), va applicata la cartografia dettagliata del suolo secondo il «metodo Reckenholz» (1).

Interventi di breve durata

(categoria B)

Per interventi di breve durata, di regola nel caso di cantieri lineari, la rappresentazione topografica non conviene. In questi casi, viene cartografata la striscia di costruzione.

I risultati dei rilevamenti cartografici vengono suddivisi, nei piani dei tracciati, nei segmenti pedologicamente congruenti riscontrati e descritti. I mezzi ausiliari e i criteri di valutazione sono identici a quelli utilizzati per la cartografia areale del suolo.

Progetto	Misure	Cartografia del suolo	Cartografia assiale	Prova delle vanga (confronto)	Analisi del suolo*	Misurazioni fisiche**
Grandi cantieri (strada/ferrovia)						
Luoghi d'estrazione (ghiaia, pietra, argilla)						
Discariche e riempimenti						
Condotte interrate						
Ripristino						
Grandi adattamenti del terreno						
Constatazione di danni precedenti						
Danni di coltivazione						
Apporto di suolo/substrati						
Sgombero di materiale di sterro						

* Sostanze nocive, granulometria, sostanza organica

** Densità apparente, stabilità meccanica ecc.

Quadro riassuntivo delle procedure per il rilevamento dello stato iniziale (4).

Legenda

Il rilevamento dello stato iniziale, ossia dello stato attuale è, di regola, già richiesto nel quadro di un EIA o di una procedura di approvazione dei piani o può essere richiesto per esempio come provvedimento per l'assunzione preventiva dei mezzi di prova.

Queste misure sono raccomandabili a titolo complementare, per una valutazione complessivamente migliore, come metodo peritale usuale o come possibilità di paragone.

Suoli inquinati

(indagine supplementare)

Se viene asportato del suolo, occorre tenere conto delle Istruzioni UFAFP «Esame e riciclaggio del materiale di sterro» (2). In caso di sospetto di inquinamento, il materiale di sterro va analizzato. Se il suolo risulta inquinato, il servizio cantonale per la protezione del suolo decide sulle misure da adottare. Per la categoria A, questa analisi è parte del rilevamento dello stato iniziale.

Procedimento pratico

La valutazione del suolo in profondità, la cosiddetta diagnostica del suolo, avviene di regola con una trivella a mano (trivella Edelman di tipo olandese o sonda concava a sezione semicircolare) fino a una profondità di circa un metro se la presenza di sassi non ostacola il lavoro già a profondità minori.

A partire dagli effettivi affioramenti (profilo) viene allestita una descrizione particolareggiata sotto forma di una scheda di profilo.

Categoria A

Un campione ottenuto mediante carotaggio viene prelevato in linee (transetti) a distanze di 25-50 metri, a seconda della configurazione del paesaggio e delle diversità previste nella conformazione del suolo.

Il colore degli orizzonti del suolo offre le prime indicazioni sull'evoluzione, la profondità del terreno vegetale e la permeabilità del suolo.

Mediante il test tattile viene determinata la distribuzione granulometrica (tessitura) (3). Allo stesso tempo possono essere constatate le alterazioni nel regime idrico e dell'aria (imbibimento, macchie ocra, colorazione grigia, odore).

Con l'acido cloridrico (HCl) è possibile stabilire la presenza di carbonato di calcio e con un reagente liquido o barrette di prova può essere

misurata approssimativamente l'acidità del suolo (pH) in base a una scala cromatica.

I tipi di suolo identificati vengono indicati su una carta, di regola in scala 1:5000, e raggruppati in aree come unità pedologiche.

All'interno di ogni unità, viene scavato un profilo pedologico. Solo nel profilo è possibile riconoscere in modo affidabile, valutare e riportare nella scheda di descrizione del profilo la struttura del suolo, il contenuto di scheletro, i processi di migrazione e le reazioni chimiche, la crescita radicale, l'attività biologica (vermi di terra), la profondità di disaggregamento e i limiti degli orizzonti. Dal profilo vengono estratti campioni composti per le analisi di laboratorio chimico-fisiche (4).

Categoria B

Per i cantieri lineari (per es. per la posa di condotte del gas) i requisiti per la cartografia sono leggermente diversi e descritti nelle direttive specifiche ai cantieri (5).

In primo luogo vanno determinate le caratteristiche esterne rilevanti dal profilo tecnico-costruttivo come la pendenza longitudinale e trasversale del terreno, gli scoscendimenti, le esfiltrazioni e gli accumuli d'acqua locali, le pietrosità appariscenti ecc.

Con un carotatore si esamina soprattutto lo spessore dello strato superiore del suolo (profondità d'asportazione), il regime idrico (permeabilità ed essiccazione), la profondità di disaggregazione (suoli superficiali o profondi e la tessitura (sensibilità al costipamento).

Le caratteristiche vengono descritte a sezioni sulla carta dei tracciati secondo i criteri rilevanti per la costruzione, la sensibilità del suolo e le misure di protezione da adottare (4,5).

Sezione 1

Tipo di suolo (cfr. cap. 3 e 4)	Sensibilità del suolo al costipamento	Resistenza al carico/trafficità
• Suoli organici • Suoli spesso bagnati fino in superficie • Suoli caratterizzati da acque stagnanti oppure ricchi d'argilla o silt raramente saturi fino in superficie	Estremamente sensibili	• Rischio permanente di costipamento • Bastano carichi deboli per danneggiare in modo irreversibile la struttura del suolo
• Suoli caratterizzati da acque sotterranee o di pendio ma raramente saturi fino in superficie • Suoli siltosi influenzati da acque stagnanti, acque di pendio o acque sotterranee con più del 50% di silt e meno del 10% di argilla	Fortemente sensibili	• Carico meccanico limitato salvo in caso di prolungati periodi di siccità • Scelta limitata delle macchine impiegabili
• Suoli influenzati da acque stagnanti, acque di pendio o acque sotterranee • Suoli siltosi con più del 50% di silt e meno del 10% di argilla con regime idrico e dell'aria equilibrato	Sensibilità normale	• Carico meccanico limitato durante prolungati periodi di pioggia e al di fuori del periodo vegetativo • I periodi con suolo ben asciutto vanno sfruttati al massimo • Il transito richiede una maggiore precauzione
• Suoli con regime idrico e dell'aria equilibrato e struttura stabile (esclusi suoli siltosi con più del 50% di silt e meno del 10% di argilla)	Scarsa sensibilità	• Se adeguatamente prosciugati, in genere buona resistenza al carico meccanico • Precauzione normale
• Suoli con contenuto di scheletro di oltre il 50% • Sabbie ricche di ghiaia e pietre con meno del 50% di silt e meno del 10% di argilla	Minima sensibilità	• Pressoché nessuna sensibilità alla pressione • In genere buona resistenza al carico meccanico • Precauzione normale

Rappresentazione tabellare della sensibilità del suolo al costipamento (4)

Categorie A e B

Il rilevamento della sensibilità al costipamento dei suoli si basa su parametri rilevati nel quadro della cartografia del suolo. La suddivisione in categorie di sensibilità avviene come segue:

Possono essere chiesti e integrati nella cartografia ai sensi dell'assunzione preventiva dei mezzi di prova sia la valutazione (controllo dei risultati) di una ricoltivazione conclusa (ad es. per l'estrazione di ghiaia) sia la constatazione di danni esistenti come danni di coltivazione, insufficiente manutenzione dei sistemi di drenaggio o danni in seguito a interventi precedenti (per es. posa di condotte) (6).

Inquinamento del suolo con sostanze nocive

Secondo l'O suolo del 1° luglio 1998, il deterioramento chimico e fisico del suolo dev'essere sorvegliato e valutato (7). Quest'ordinanza si basa sugli articoli 29, 33, 35 e 36 della revisionata legge federale del 7 ottobre 1983 sulla protezione dell'ambiente (LPAmb) (8).

La Direttiva sul materiale di scavo tratta lo smaltimento del sottosuolo minerale (orizzonte C) (9).

Per l'esame e il riciclaggio del materiale di sterro (orizzonti A e B) fanno stato le Istruzioni UFAFP «Esame e riciclaggio del materiale di sterro» (2) che sostituiscono la nota Comunicazione n. 4 del 1993 dell'UFAFP relativa all'O suolo, che dovette essere adattata alla nuova situazione giuridica. Dette Istruzioni contengono valori per la valutazione dell'inquinamento con sostanze nocive (valori limite di inquinamento), stabiliscono quando e come i suoli vanno esaminati e determinano come va riciclato o depositato il materiale di sterro.

Asportazione del suolo

Introduzione

L'asportazione del suolo va considerata dal punto di vista giuridico come un intervento di genio civile poiché il suolo viene rimosso dalla sua posizione naturale. Ciò può comportare una grave minaccia per la fertilità del suolo, il che contraddice il principio dell'articolo relativo allo scopo della LPAmb (8).

Pertanto, l'asportazione del suolo va vincolata a un permesso di costruzione. Al fine del mantenimento della fertilità del suolo si applica il principio che in assenza di una licenza di costruzione valida non è permesso asportare lo

strato superiore del suolo e che la necessità di una tale misura, segnatamente in caso di interventi di breve durata come la posa di condotte, dev'essere comprovata.

Se sussiste il sospetto che il suolo da asportare possa essere contaminato, la superficie destinata all'asportazione va esaminata almeno per campionamento in merito alla presenza di sostanze nocive (vedi anche sezione 1).

Sul riciclaggio del materiale di sterro informano le Istruzioni UFAFP «Esame e riciclaggio del materiale di sterro» (2)

Trattamento dello strato superiore del suolo in diversi progetti di costruzione (6)

Progetto edilizio	Rinverdimento, nessuna asportazione	Asportazione e riutilizzo immediato	Asportazione e deposito intermedio	Asportazione e rimozione del suolo
Estrazione di materiale continua (rinverdimento intermedio)		Riporto solo su strati inferiori del suolo con rinverdimento intermedio.	Altezza del deposito secondo sezione 3, nessun transito, provvedere subito al rinverdimento.	
Estrazione di materiale a tappe (ripristino immediato)		Riporto sulla tappa ultimata (strato inferiore del suolo predisposto) e provvedere al rinverdimento.		
Grandi cantieri: strade, ferrovie ecc.			Scarificazione dell'humus in zona sterro e piste. Nessuna scarificazione dell'humus sulla superficie di deposito.	In caso di superfici edificate laddove è eccedente.
Discariche di materiale di sterro, riempimenti (terrapieni?)			Scarificazione dell'humus dalle aree di sterro e accesso, nessuna scarificazione dell'humus sulla superficie di deposito.	
Condotte interrate	Nessuna asportazione salvo nella zona del fossato.		Depositare lo strato superiore del suolo e il materiale di sterro direttamente sulla cotica erbosa.	
Costruzione di linee aeree e piloni	Pista posata direttamente sull'erba, asportazione puntuale di suolo nell'area delle fondazioni.			

Molti Cantoni dispongono inoltre di promemoria e direttive di lavoro con prescrizioni più precise e dettagliate sull'asportazione dello strato superiore del suolo (vedi anche Indicazioni bibliografiche, p. 6).

L'asportazione come intervento

Con la rimozione dello strato superiore del suolo umico, il suolo è privato del suo principale strato protettivo. Lo strato inferiore del suolo messo a nudo è instabile ed esposto senza protezione alle influenze meteorologiche. L'attività biologica nel suolo è in effetti concentrata negli strati più superficiali, che di regola, per un breve periodo, sono sufficientemente stabili a resistere alla detrazione di terreno (erosione) da parte dell'acqua e del vento anche senza copertura vegetale protettiva. In suoli coltivati sfruttati intensivamente, in particolare in loess poveri di humus, lo strato superiore del suolo senza copertura è altrettanto minacciato di erosione come lo strato inferiore del suolo messo a nudo.

L'intervento di asportazione del suolo presenta conseguenze più negative se il suolo non viene ricostituito direttamente e dotato di copertura verde ma viene conferito in un deposito intermedio per un periodo più o meno lungo.

L'esposizione senza protezione agli influssi meteorologici dello strato inferiore del suolo messo a nudo è dimostrata dal test della stabilità strutturale in acqua.

In due bicchieri d'acqua vengono collocate con precauzione rispettivamente una zolla di terra dello strato superiore del suolo e una zolla di terra della stessa dimensione dello strato inferiore del suolo. Dopo breve tempo, la zolla dello strato inferiore inizia a sfaldarsi, mentre quella dello strato superiore rimane intatta.

Determinazione del momento dell'intervento

Se l'asportazione di suolo è inevitabile, occorre adottare perlomeno tutte le misure atte a limitare al massimo i danni al suolo biologicamente attivo. In linea di principio, al momento dell'intervento il suolo dev'essere completamente asciutto; per quanto possibile va ricostituito direttamente e in ogni caso dotato subito di copertura vegetale. Solo in caso di interventi molto brevi, per esempio per la posa di condotte, si può rinunciare al rinverdimento. Le malerbe crescenti vanno tagliate prima della maturazione dei semi (evitare l'uso di erbicidi!).

Le condizioni per un intervento a suolo asciutto e un rapido rinverdimento sono date soltanto durante il periodo vegetativo, che in pianura dura più a lungo che in montagna. Tutti i lavori con terreno colturale vanno previsti nei mesi estivi.

Nel tardo autunno, il suolo è spesso più asciutto che a inizio estate, in modo che anche in ottobre è possibile lavorare ancora in condizioni ideali. L'impianto di un prato permanente deve avvenire prima di metà agosto. Per coperture vegetali tardive, occorre eventualmente utilizzare un cereale invernale (segale da foraggio ecc.).

Umidità del suolo

Lo strato superiore del suolo (humus) e quello inferiore non possono in nessun caso essere percorsi con veicoli, asportati, spostati, depositati transitoriamente e ricostituiti in stato completamente bagnato. L'umidità del suolo tollerabile dipende dalla tessitura (tenore d'argilla) nonché dal peso e dalla pressione di contatto (pressione sul suolo) delle macchine e dei veicoli impiegati. Come grandezza di misurazione si è rivelata più idonea la tensione idrica, detta anche tensione capillare o di suzione, del tenore d'acqua assoluto. Ciò consente di determinare quali classi di pori sono ancora piene

Sezione 2

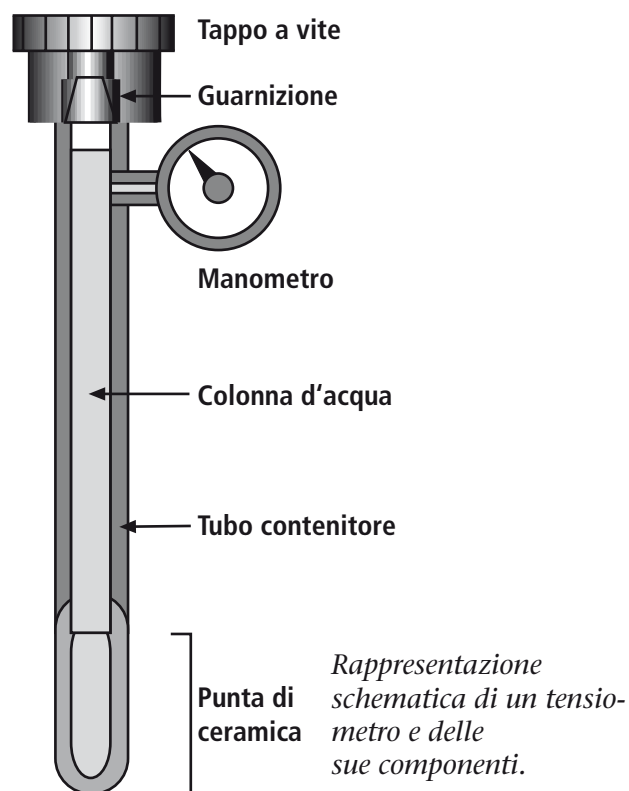
d'acqua o già prosciugate. Nel genio civile, per la tensione idrica (cap. 7.2) è più usuale il valore pF; sul campo la tensione è misurata con il tensiometro in centibar. La seguente tabella crea una correlazione con i principali valori di riferimento.

pF	Cb	Prosciugamento secondo pori
1,8	6,3	Macropori prosciugati (acqua gravitazionale)
2,0	10	Prosciugamento pori > 30 µm
2,5	31,5	Prosciugamento pori > 10 µm
2,7	50	Prosciugamento pori > 06 µm
2,8	63	Prosciugamento pori > 05 µm
2,9	80	Limite di misurazione del tensiometro
4,2	1500	Tutti i pori medi prosciugati (punto di appassimento permanente)

Al di sotto del valore pF 2 non possono più essere impiegate macchine edili. A partire da pF 2,5 non sono più probabili gravi danni in seguito all'impiego di macchine da cantiere usuali (cingolati). Da pF 2,8 il suolo resiste anche al carico di macchine pesanti.

Misurare con tensiometri (cfr. capitolo 8.2)

La misurazione della tensione capillare mediante tensiometri è un metodo sperimentato da lunga data e utilizzato nella pratica per esempio per l'irrigazione di colture. I tensiometri sono disponibili in diversi modelli fino all'apparecchio digitale a controllo elettronico. Per l'impiego in cantiere è particolarmente adatto il semplice e robusto apparecchio a manometro. È conveniente nel prezzo e indipendente da una fonte d'energia.



Installazione

Per una misurazione affidabile, devono essere impiegati cinque tensiometri per sito, dato che le differenze di suolo possono determinare forti variazioni. Il tensiometro va inserito in un foro prescavato su misura a una profondità di 35 cm. Affinché si stabilisca un buon contatto con il suolo, il materiale terroso estratto viene mescolato con un po' d'acqua e versato in

piccola parte nel foro prima di inserirvi l'apparecchio. Dopo l'inserimento del tensiometro, il foro trivellato viene cosparso in superficie con un po' di polvere d'argilla e compresso attorno al tubo per evitare che lungo il tubo possa infiltrarsi dell'acqua e falsare così il risultato della misurazione. Anche un manicotto di gomma ben aderente impedisce la penetrazione di acqua piovana.

Lettura dei dati e analisi

Dopo un giorno si può iniziare la lettura dei dati relativi alla tensione capillare. Dai risultati di un gruppo viene determinata la mediana. La lettura va effettuata a intervalli quotidiani o almeno a intervalli costanti e prolungati, sempre alla stessa ora e di preferenza al mattino. Occorre procedere parallelamente alla misurazione delle precipitazioni.

Manutenzione

L'interno del tensiometro è riempito d'acqua. In caso di tensione capillare di ca. 80 Cb, la tensione capillare può subire un crollo improvviso (desaturazione).

I tensiometri desaturati devono essere aperti e riempiti nuovamente con acqua disaerata (preferibilmente bollita). L'aria rimanente nella parte orizzontale della diramazione verso la capsula manometrica dev'essere aspirata con un depressore, dato che a causa dell'effetto di cuscinetto d'aria una parte della tensione capillare è assorbita con conseguente pregiudizio per la precisione della misurazione. I tensiometri installati non vanno mai scossi.

Per l'impiego durante l'inverno, occorre aggiungere all'acqua nel tensiometro un prodotto antigelo.

Deposito

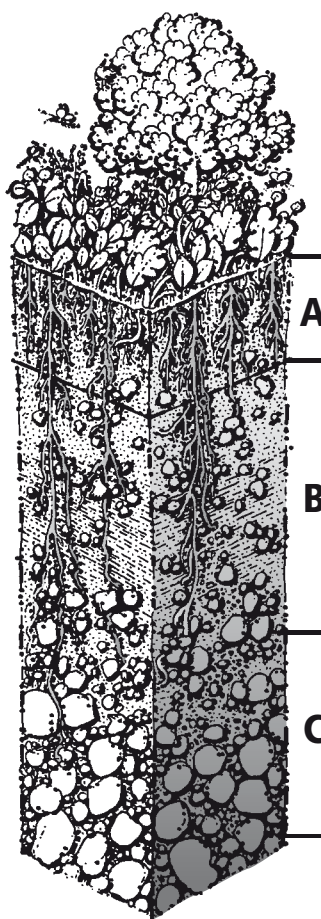
I tensiometri utilizzati non devono essiccarsi perché i pori della punta ceramica potrebbero incrostarsi con i sali disciolti nell'acqua del suolo. Fino al prossimo impiego, vanno tenuti

in un luogo protetto dal gelo in acqua distillata o deionizzata (va bene anche acqua piovana pulita). Eventuali residui di sporco o depositi d'alghe vanno rimossi prima del deposito. Prima di una nuova utilizzazione l'anno successivo è opportuno procedere a un accurato controllo del funzionamento.

Spessore del suolo asportato

Il profilo di un suolo ben sviluppato si suddivide schematicamente in tre «strati», i cosiddetti orizzonti (A, B e C). Questi orizzonti sono separati da transizioni progressive o da una

successione netta degli strati, e quindi sono più o meno facili da individuare. A seconda della roccia madre e del tipo di suolo, gli orizzonti possono essere stabiliti anche a partire da una netta distinzione del colore.



Schema di un profilo di suolo con lo strato superiore del suolo (A), lo strato inferiore del suolo (B) e la roccia madre (C). In terreni grezzi (suoli AC) lo strato superiore del

suolo contenente humus e biologicamente attivo poggia direttamente sulla roccia madre non alterata, che può essere costituita sia da pietra compatta (roccia) sia da sedimenti sciolti (argilla, limo, silt, sabbia, ghiaia).

Lo strato superiore del suolo

L'orizzonte A è facilmente riconoscibile nel profilo grazie alla sua colorazione scura. È biologicamente attivo e presenta, nel confronto con lo strato inferiore del suolo, un elevato tenore di humus. Di regola è densamente pervaso da radici e attraversato da gallerie di lombrichi e quindi forma uno strato abbastanza sciolto. Nei terreni agricoli l'orizzonte A corrisponde all'incirca alla profondità arata.

Strato inferiore del suolo

L'orizzonte B sottostante è costituito da materiale minerale disaggregato e presenta un tenore di humus nettamente inferiore, motivo per cui la sua colorazione è meno scura. Perlomeno nella sua parte superiore presenta una crescita radicale ancora elevata ed è biologicamente attivo. Verso il basso evolve in modo più o meno marcato verso l'orizzonte C non alterato; sulla roccia e sulla ghiaia la transizione è più evidente che in limo e loess senza scheletro.

Idoneità del materiale

Oltre ai criteri pedologici descritti, è importante anche l'aspetto dell'idoneità del materiale asportato. I criteri di idoneità sono descritti nella sezione 1. Ai fini della protezione del suolo occorre provvedere affinché il materiale idoneo di tutte le categorie possa essere riciclato utilmente.

Procedimenti e impiego delle macchine

Gli effetti negativi di interventi del genio civile sul suolo, soprattutto il costipamento, possono essere fortemente influenzati mediante la scelta e l'impiego delle macchine e procedimenti per l'esecuzione dei lavori idonei.

Particolarmente adatti all'asportazione sono gli escavatori (eventualmente dragline, escavatori a benna raschiante), i dozer e gli apripista tipo scrapedozer leggeri; il mezzo idoneo va stabilito in funzione della topografia e della superficie del sito d'intervento nonché della distanza di spostamento del materiale.

Per contro, sono inadatti in virtù della cattiva ripartizione del peso, dell'elevata pressione d'appoggio (carico puntuale) o della scarsa efficienza tutte le pale gommate o cingolate, i caricatori frontali su trattori, i Bobcat e le ruspe gommate.

Limiti d'impiego

Per ogni tipo di macchina può essere calcolata la tensione capillare tollerabile per un impiego delle macchine rispettoso del suolo. Essa indica la tensione capillare che consente il transito su un suolo senza causare danni durevoli.

A una tensione capillare inferiore a 10 centibar non possono essere impiegate macchine da cantiere.

La misurazione dell'umidità del suolo va effettuata dove il suolo è percorso con veicoli dopo la scarificazione dell'humus, vale a dire a una profondità di 35 cm. Lo strato inferiore del suolo può essere molto umido anche se lo strato superiore risulta prosciugato.

Influenza della tessitura

È importante tener conto anche della tessitura del suolo. Nei suoli a elevato tenore d'argilla (> 30%) occorre aumentare del 10 centibar la tensione capillare tollerabile.

Carico multiplo

Laddove in un punto sono previsti ripetuti passaggi, l'effetto di costipamento aumenta più rapidamente con la tensione capillare decrescente. In casi limite, questi lavori e procedimenti (apparecchi a spinta e scavo, trasporto rotabile) vanno sospesi.

Calcolo della pressione capillare tollerabile

La pressione capillare tollerabile può essere calcolata singolarmente per qualsiasi macchina con sistema di movimento cingolato se sono noti il peso (con carico) e la pressione di contatto (pressione sul suolo, con carico) (vedi anche capitolo 7).

Formula per il calcolo della pressione capillare tollerabile in centibar:

Peso x pressione (tonnellate) sul suolo (bar) x 1.25

Questa formula **non** è applicabile ai veicoli gommati. Le indicazioni concernenti la compatibilità con i requisiti in materia di protezione del suolo applicati ai veicoli gommati si trovano al capitolo 7.

Deposito intermedio

Prescrizioni

In alcuni Cantoni esistono prescrizioni concernenti il deposito intermedio di materiale terroso, specialmente per lo strato superiore del suolo. Queste prescrizioni riguardano l'altezza massima del deposito (di regola tra 1,5 e 2,5 m), dovendosi peraltro distinguere tra deposito sciolto e compattato. Esse richiedono in genere la formazione del deposito a ritroso, ossia senza transito sul materiale depositato. Altre direttive sono state elaborate dall'Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti VSS (vedi tabella sottostante), dall'Associazione svizzera dell'industria degli inerti e del calcestruzzo e dalla Società Svizzera

di Pedologia (SSP), con indicazioni analoghe relative al deposito intermedio dello strato superiore del suolo.

Per la successiva coltivazione dev'essere disponibile, oltre allo strato superiore del suolo, anche un idoneo materiale dello strato inferiore del suolo. Le prescrizioni concernenti il deposito intermedio di materiale dello strato superiore e dello strato inferiore del suolo possono essere dedotte dalla tabella sottostante.

La presente terza sezione intende completare utilmente le norme esistenti. Nella ricerca di soluzioni ottimali e tenendo conto della tessitura del suolo e delle sue specifiche caratteristiche sono comunque possibili determinati scostamenti.

Sezione 3

Tipo di materiale di sterro	Altezza del deposito intermedio sciolto	Tensioni capillari ammissibili per l'asportazione/ il deposito	Misure di validità generale
Strato superiore del suolo per un deposito intermedio breve (< 1 anno)	≤ 2,5 m	sabbioso: > 25 centibar argilloso: > 35 centibar	- Asportare e depositare lo strato superiore e lo strato inferiore del suolo sempre separatamente.
Strato superiore del suolo per un deposito intermedio lungo (>1 anno)	≤ 1,5 m	sabbioso: > 25 centibar argilloso: > 35 centibar	- Deposito intermedio su superficie con buona permeabilità non sensibile al costipamento. Non asportare l'humus dalla superficie di deposito.
Strato inferiore del suolo, da fortemente a estremamente sensibile al costipamento (4)	≤ 1,5 m	> 35 centibar	- Non circolare mai con veicoli edili e non pascolare mai bovini sui depositi intermedi. Rinverdire i depositi intermedi con piante a radici profonde.
Strato inferiore del suolo, da normalmente a debolmente sensibile al costipamento (4)	≤ 2,5 m	> 25 centibar	
Strato inferiore del suolo, scarsamente sensibile al costipamento (4)	> 2,5 m	> 15 centibar	

Altezze di deposito e tensioni capillari nel deposito intermedio di materiale di sterro (6)

Effetti del deposito intermedio

Lo strato di suolo superficiale ben aerato si è formato in seguito a un'intensa attività biologica. Il metabolismo chimico di questo strato del suolo avviene in condizioni aerobiche. La formazione di humus e di importanti complessi argillo-umici è una proprietà caratteristica di questa zona ricca di ossigeno.

Sotto tale strato, le radici delle piante, i lombrichi e altri organismi del suolo raggiungono orizzonti sempre più profondi. Tuttavia, la porosità, il tenore di humus e l'attività biologica diminuiscono nettamente con l'aumento della profondità.

Se si ammucchia questo suolo a scopo di deposito, compaiono innanzitutto al centro del deposito, ossia al punto più lontano dall'aria esterna, «fenomeni d'asfissia». In condizioni anaerobiche la vita nel suolo «soffoca», si sviluppano processi di putrefazione e si formano gas di fermentazione o metano. Quando il deposito viene asportato, si possono constatare una colorazione grigiasta e spesso un netto odore di putrescenza del suolo (odore emanato dai fanghi di depurazione).

Mediante il deposito intermedio in mucchi a forma trapezoidale e limitandone l'altezza, si cerca di ridurre al minimo o evitare la formazione di un nucleo centrale anaerobico del deposito.

In seguito al peso proprio, gli strati inferiori del deposito vengono compressi. Ciò comporta prima di tutto la scomparsa dei grandi macropori aeriferi. Anche sotto il deposito intermedio il suolo viene leggermente compattato e quindi abbassato, talché si forma una depressione dove si accumula acqua che risale per capillarità nel deposito e può inzupparlo.

Va quindi definito un piano per la protezione del deposito intermedio. Più il deposito si prolunga nel tempo, più occorre rispettare

tale piano. Nel singolo caso si tratta di individuare tra le varie possibilità la variante che riunisce il maggior numero di fattori ad effetto positivo.

Formazione dei depositi intermedi

In funzione delle diverse esigenze, i depositi hanno durata e forme diverse.

Deposito di breve durata

(categoria A)

Viene allestito per esempio nella posa di condotte, la costruzione di sentieri e canalizzazioni ecc., dove la durata dell'opera, e quindi del deposito intermedio, non supera un anno.

Deposito di lunga durata

(categoria B)

Dura di regola diversi anni, come nel caso di grandi cantieri, nell'estrazione di ghiaia e pietra, nelle cave di sabbia e di argilla e nelle discariche all'aperto.

Forma e sistemazione

Per quanto concerne la forma, è possibile distinguere tra un cumulo trapezoidale allungato non coltivato e un deposito pianeggiante utilizzabile a fini agricoli.

I seguenti principi per la protezione del suolo sono vincolanti per la categoria B, mentre per la categoria A sono possibili scostamenti.

Deflusso dell'acqua

Il deposito va formato in modo da consentire il deflusso libero delle acque superficiali e da evitare ristagni ai piedi del deposito (collocamento su un dosso, eventualmente su un letto di ghiaia).

In nessun caso il deposito va formato in una depressione o su suolo impermeabile.

Aerazione

Il deposito dev'essere ben arieggiato in tutto il suo volume. Va quindi accumulato in stato possibilmente asciutto e non dev'essere percorso con veicoli. La distanza tra il centro del deposito e la superficie va ridotta al minimo (forma trapezoidale acuta). Nei depositi pianeggianti l'altezza va ridotta.

Pendenza

La superficie del deposito pianeggiante va eseguita possibilmente con una pendenza $> 5\%$ affinché l'acqua eccedente non si accumuli e non si infiltri ma defluisca.

Copertura vegetale

Il deposito va rinverdito immediatamente dopo la sua formazione; in caso di grandi oggetti anche a tappe. A tal fine va seminato un miscuglio di lunga durata e a radicamento profondo di erba medica, erba e trifoglio. Le radici mantengono attivo il suolo. La copertura vegetale evapora d'estate fino a 5 litri d'acqua per m^2 e giorno e mantiene asciutto il deposito.

Strato inferiore del suolo

Per i depositi intermedi dello strato inferiore del suolo si applicano sostanzialmente gli stessi principi, eccetto per quanto concerne la forma e l'altezza del deposito. In virtù della sua permeabilità strutturale, il materiale dello strato inferiore del suolo ghiaioso-sabbioso, puramente minerale, potrebbe essere depositato in altezza, ma il suolo sottostante verrebbe compresso dal carico eccessivo. Nelle nostre regioni, caratterizzate da frequenti precipitazioni, il materiale permeabile è particolarmente adatto alla ricostituzione dei suoli. Meno adatti sono i suoli molto argillosi o strati inferiori del suolo con un'importante componente organica. L'influsso della tessitura sulle caratteristiche di deposito vale per analogia anche per il materiale dello strato inferiore del suolo (cfr. tabella a pagina 22).

Tessitura e altezza del deposito

La relazione tra la tessitura e le proprietà fisiche di un suolo sono espone in dettaglio nella parte generale della presente guida. Le altezze ammissibili del deposito risultano dalla tabella a pagina 22. L'umidità del suolo al momento dello spostamento del materiale ha un'importanza maggiore della tessitura. Se il conferimento in deposito avviene in condizioni di eccessiva umidità, soprattutto i suoli argillosi reagiscono con grande sensibilità al costipamento. Nel materiale di suolo organico il rischio di asfissia cresce con l'aumento dell'umidità. I suoli siltosi sono soggetti al rischio d'erosione. In questi casi occorre provvedere in particolare a un immediato rinverdimento (stabilizzazione della superficie). Per quanto concerne l'altezza del deposito, fa stato anche la forma. Inoltre va tenuto conto delle differenze tra un materiale appena ammucciato e il materiale compattato.

Depositi pianeggianti

Il deposito intermedio di durata medio-lunga, previsto sull'arco di diversi anni, di materiale dello strato superiore del suolo su un sottosuolo

permeabile (per es. suolo di cave di ghiaia) ammette un'altezza di al massimo 1,5 m, a condizione che le piante a radicamento profondo (miscuglio di erba medica, erba e trifoglio) mantengano l'attività del suolo.

In condizioni favorevoli (breve durata di deposito, tessitura adatta, zona con scarse precipitazioni), i depositi pianeggianti di breve durata coltivati a scopo agricolo, per esempio la borsa del suolo di un grande cantiere, possono essere elevati fino a un'altezza di al massimo 2,5 m.

Depositi a forma di vallo (terrapieno)

Questi depositi di regola non vengono coltivati ma unicamente falciati in caso di bisogno (per es. infestazione da malerbe). Inoltre, sono arieggiati e penetrati da radici anche lateralmente fino a una determinata profondità. Tramite esperimenti si è constatato che nel materiale terroso depositato in altezza, nei primi due anni si forma una zona d'asfissia che si estende dal basso, la quale tuttavia regredisce sensibilmente in seguito alla crescente ristrutturazione del suolo, dovuta in particolare alla crescita delle radici e all'attività dei vermi di terra. Nel profilo triangolare la pressione di appoggio del materiale ammucchiato in aggiunta è dimezzata. Il suolo secco può essere depositato fino a un'altezza di 2,5 m misurata sul materiale sciolto.

Macchine e procedimenti

In funzione del progetto, il suolo viene asportato e depositato lateralmente con la stessa macchina in una sola operazione (per es. nello scavo di fossati). In caso di distanze maggiori, il materiale è caricato su autocarri o dumper e quindi ribaltato. Il materiale è direttamente dislocato con escavatori o draglie, ad esempio in caso di grandi correzioni del terreno o opere di risanamento.

In ogni caso il suolo va depositato in forma sciolta e non può essere percorso con veicoli. Per questa ragione, i dozer e gli apripista cingolati possono essere utilizzati tutt'al più per il trasporto, non però per la formazione del deposito di suolo.

Per il livellamento dei depositi pianeggianti possono essere impiegati solo livellatori cingolati leggeri con meno di 15 tonnellate di peso in esecuzione, adatta per suoli organici (pressione sul suolo < 200 g/cm²).

Principi generali

Per la formazione di depositi intermedi di materiale di sterro a forma di cumulo e pianeggianti si applicano, in analogia alla ricoltivazione, i seguenti principi:

- In pendenza occorre sempre procedere dall'alto verso il basso affinché in nessuna fase dei lavori si formi un ristagno d'acqua.
- Non si deve mai accumulare la terra su un sottosuolo bagnato. Le depressioni nel profilo grezzo del piano (planis grezza), in cui potrebbe accumularsi dell'acqua, vanno livellate con materiale dello strato inferiore del suolo permeabile.
- I depositi direttamente ribaltati possono essere eseguiti solo a strisce, vale a dire senza transito sul materiale depositato.
- La semina di un miscuglio di erba medica, erba e trifoglio va effettuata subito, se necessario a tappe. Uno strato depositato in forma sciolta non può mai essere lasciato senza copertura verde.

Misure complementari

In via di principio occorre procedere in modo da evitare misure supplementari. In casi speciali, tuttavia, esse possono contribuire a individuare soluzioni compatibili con la protezione del suolo e dell'ambiente.

Alcuni metodi collaudati sono esposti qui di seguito. Essi riguardano specificatamente un deposito intermedio prolungato del materiale di sterro.

Drenaggio

In situazioni sfavorevoli, soprattutto in pendii dove sussiste il rischio di imbibimento, è raccomandabile uno strumento per facilitare l'infiltrazione. La captazione dell'acqua di ruscellamento a monte del deposito è più efficace dell'onerosa preparazione di uno strato piano sottostante di ghiaia che di regola va protetta da inzuppamento con una stuoia di separazione.

Aerazione

Se il deposito intermedio dev'essere formato a un'altezza superiore del previsto, è possibile inserire nel cumulo tubi d'aerazione. Soprattutto nella parte inferiore, quest'impianto dev'essere intersecante dai due lati in modo da garantire l'aerazione anche al centro.

Protezione da scoscendimenti

Se per motivi di spazio il deposito va allestito in forte pendenza, per esempio per il deposito intermedio a lungo termine di materiale idoneo dello strato inferiore del suolo presso una cava di ghiaia, i bordi del deposito possono essere consolidati e protetti da scoscendimenti mediante cespugli pionieri a forte radicamento. A seconda del sito, per il consolidamento diretto, si prestano bene talee verdi di salice, ontano, nocciolo, oppure piantine radicate di olivello spinoso, prugno selvatico, biancospino o altre specie in piantagione diretta o sotto forma di piantoni.

Ripristino

Entità e applicazione

Questa parte descrive il ripristino del terreno coltivo dopo interventi di lunga durata. Si applica laddove sono stati asportati e deposi-

tati transitoriamente lo strato superiore e lo strato inferiore del suolo che devono essere ricostituiti e «riattivati» come superficie coltiva. Di regola il procedimento è il seguente:

- | | | |
|---|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Accordo con il gestore/il proprietario. 2. Esecuzione del profilo grezzo del piano (la plania grezza). 3. Drenaggio della plania grezza: <ul style="list-style-type: none"> - sistemazione delle pendenze; - inserimento di dispositivi per facilitare la percolazione; - impianto di un sistema di drenaggio. 4. Ripristino con macchine adatte e in condizioni asciutte.

 Per suoli agricoli profondi ricostituiti vale in genere: <ul style="list-style-type: none"> - messa in opera dello strato inferiore del suolo per uno spessore di almeno 80 cm; - inerbimento intermedio se lo strato inferiore del suolo è stato depositato transitoriamente per lunghi periodi (> 1 anno); - messa in opera dello strato superiore del suolo per uno spessore di 30-35 cm | <p>(nel periodo da giugno ad agosto dell'anno successivo all'eventuale rinverdimento intermedio dello strato inferiore del suolo).</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. Collaudo intermedio (collaudo dell'opera) per l'eliminazione dei difetti alla presenza dello specialista della protezione dei suoli sui cantieri, di rappresentanti dell'impresa, della committenza e del proprietario/gestore del fondo: <ul style="list-style-type: none"> - verbale di collaudo (6); - prova della vanga (sezione 5); - determinazione vincolante della natura e della durata della coltivazione/dell'utilizzazione successiva con il proprietario e il gestore del fondo. 6. Se necessario, riparazione delle tracce esistenti e deturpanti dell'intervento (per es. mediante ripuntatura, drenaggio o spietatura). 7. Per tutti i suoli ricostituiti va predisposta una coltivazione/utilizzazione successiva estensiva e rispettosa del suolo (sezione 5). | <ol style="list-style-type: none"> 8. Collaudo finale/valutazione (in analogia alla cifra 5): <ul style="list-style-type: none"> - verbale di collaudo della coltivazione; - valutazione dello stato raggiunto, eventualmente confronto con lo stato iniziale (4): prova della vanga, eventualmente misurazione della resistenza alla penetrazione, volume dei macropori, tasso d'infiltrazione e/o conducibilità idraulica allo stato saturo (capitolo 8); - eventualmente coinvolgimento del servizio cantonale per la protezione del suolo. 9. Eventualmente eliminazione dei danni (in analogia alla cifra 6). 10. Restituzione del terreno per l'uso normale. <p>Nel caso concreto è possibile rinunciare a singole tappe!</p> |
|---|--|--|

Sezione 4

Ripristino e collaudo di suoli temporaneamente occupati (6).

La ricoltivazione può essere effettuata anche con suolo di fresco asporto. Ciò è sovente il caso nell'estrazione di ghiaia, allorquando il colmataggio ultimato di una parte della cava è ricoltivato direttamente con lo strato superiore e lo strato inferiore del suolo di una nuova tappa estrattiva.

Evitare l'asportazione

Sezione 4

Dove viene asportato del suolo, è generalmente previsto un obbligo di ricoltivazione e ripristino. Prima di un intervento di genio civile va quindi appurato se e in quale misura è davvero necessario asportare il suolo.

Per i cantieri lineari, la scarificazione di humus finora praticata della pista di lavoro e di trasporto comporta un maggiore onere di ricoltivazione, giustificato solo in casi eccezionali motivati.

Pertanto occorre evitare la scarificazione dell'humus sulle superfici non direttamente interessate dall'intervento. Nella progettazione del tracciato occorre quindi evitare i suoli difficili e proteggere i tratti critici rimanenti da un eccessivo compattamento con mezzi ausiliari idonei, come per esempio materassi di legno o piste in ghiaia. Se la superficie era prativa già prima dell'intervento, nella maggior parte dei casi sarà in grado di rigenerarsi da sé. Altrimenti dovrà essere rinverdita. Di regola non occorrono altri provvedimenti.

Ricostituzione diretta

Se un suolo viene rimosso dalla sua dimora naturale e ricostituito prontamente, le sue caratteristiche saranno meno modificate che se non fosse prelevato e riportato da un deposito pluriennale. Pertanto si potrà rinunciare alla preattivazione biologica a strati, ossia non occorrerà un inerbimento intermedio dello strato inferiore del suolo prima del riporto dello strato

superiore. Va appurato se la ricostituzione diretta degli strati superiore e inferiore del suolo asportati, e quindi il ripristino definitivo del terreno coltivo in un altro luogo, è possibile senza deposito intermedio del materiale di sterro. Il processo supplementare di carico e scarico comporta infatti un'ulteriore sollecitazione meccanica per il suolo e un maggiore onere finanziario.

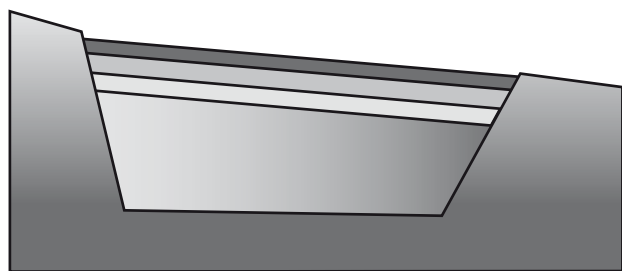
Sistema a due fasi

Il sistema a due fasi corrisponde al procedimento a due tappe con rinverdimento intermedio dello strato inferiore del suolo prima del riporto dello strato superiore. Questo procedimento va applicato laddove lo strato inferiore del suolo è riportato dal deposito e dev'essere colonizzato e attivato mediante piante pioniere con forte sviluppo radicale prima del riporto dello strato superiore del suolo. Un inerbimento intermedio è indicato anche per superfici in cui lo strato inferiore del suolo naturale è stato messo a nudo (mediante scarificazione dell'humus) e utilizzato senza copertura o con la stesura di un'inghiaia come pista provvisoria di cantiere o transito. Per analogia, il rinverdimento intermedio va applicato anche nell'ambito del ripristino dello stato naturale di strade, sentieri e piazze consolidate. Questo procedimento comporta un anno d'attesa in più fino alla ricoltivazione definitiva del suolo, in quanto solo in rari casi è possibile effettuare nello stesso periodo vegetativo l'inerbimento temporaneo, il riporto dello strato superiore del suolo e il rinverdimento dello stesso.

Nel seguito sono illustrate le varie fasi di una ricoltivazione completa così come va eseguita ad esempio dopo l'estrazione di ghiaia.

Colmataggio (plania grezza)

Un suolo di buona qualità può svilupparsi e conservarsi solo sopra un sottofondo permeabile all'acqua. Anche allo stato naturale un suolo soggetto a ristagno d'acqua è più o meno limitato nella sua natura di luogo di crescita delle piante e quindi anche nelle sue possibilità di utilizzazione. I suoli da ripristinare dopo l'estrazione della ghiaia si trovavano originariamente sopra un sottofondo permeabile dove di regola hanno potuto svilupparsi fertili terre brune liscivate (capitolo 3). Per tale ragione, in questi casi è assai difficile un'adeguata ricoltivazione.



	Strato superiore del suolo		Colmataggio (plania grezza)
	Strato inferiore del suolo		Strato di percolazione
	Corpo di ghiaia		

Rappresentazione schematica della struttura del suolo di un colmataggio con ricoltivazione come previsto da diverse direttive.

Tramite la messa in opera in piano di uno strato drenante in ghiaia pulita si cerca di far defluire l'acqua d'infiltrazione in una pendenza regolare creata sopra il colmataggio (plania grezza) verso la parete di ghiaia permeabile ancora esistente. Lo spessore minimo prescritto per questo strato, di norma 15 cm, non è sufficiente allorquando:

- il tratto da percorrere è troppo lungo (resistenza al flusso);
- la superficie della plania grezza non è completamente regolare (interruzione del flusso);
- il materiale terroso riportato è instabile (incrostamento).

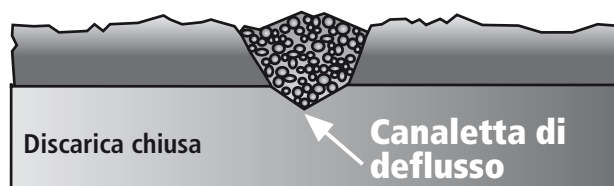
Inoltre, questo strato drenante è spesso eseguito con materiale grossolano e lavato (ghiaia di drenaggio). In effetti, questa ghiaia consente un buon deflusso dell'acqua. Tuttavia, poiché la ghiaia non presenta pori fini, l'acqua non può defluirvi dalla massa di suolo sovrastante e vi rimane pertanto trattenuta in virtù della forza capillare (margine bagnato sopra il livello di rottura della continuità dei pori).

Per prima cosa bisogna verificare se la plania grezza è impermeabile e se deve restare tale (discarica chiusa) o se, prima del riporto dello strato inferiore del suolo, va eventualmente smossa e resa sufficientemente permeabile (prove d'infiltrazione).

Se non è permeabile, occorre stabilire dove potrebbe essere fatta defluire e infiltrare l'acqua di percolazione risultante o se è possibile evacuarla tramite un collettore aperto. La sistemazione della superficie della plania grezza e del futuro terreno coltivato dovrà tenere conto di queste possibilità di deflusso.

Le vie di deflusso realizzate in superficie (fosse aperte) e i bacini di raccolta per l'acqua eccedente possono essere integrati in questa progettazione come elementi di arricchimento. Essi possono essere inseriti nel nuovo paesaggio culturale da sistemare come superfici di compensazione ecologica.

Massicciata di ghiaia



Le facilitazioni di infiltrazione e deflusso possono essere eseguite anche così. Con questo sistema è possibile risparmiare molta materia prima pregiata, ottenendo comunque un buon effetto di drenaggio.

Riporto dello strato inferiore del suolo

A seconda del procedimento e della distanza, lo strato inferiore del suolo è trasportato con un autocarro, un dumper o uno scrapedozer e ripartito con un escavatore o un dozer leggero per terreni soffici. In condizioni favorevoli (sottosuolo completamente asciutto, strato inferiore del suolo secco, macchine adatte leggere e operatori esperti), lo strato inferiore del suolo può essere riportato direttamente con lo scrapedozer.

Sezione 4

Il materiale dello strato inferiore del suolo alloctono può essere messo in opera soltanto se è di qualità idonea. Non è ammesso l'uso di suolo molto argilloso o torboso.

Inerbimento intermedio

Lo strato inferiore del suolo riportato sciolto viene preparato con attrezzi agricoli e seminato. Il letto di semina non va preparato troppo finemente perché lo strato inferiore del suolo tende comunque fortemente alla disaggregazione e all'incrostamento. La successiva formazione di una crosta in superficie impedisce spesso la germinazione della semente. Nei letti di semina preparati grossolanamente i semi vanno in parte persi perché affondano troppo in profondità tra le zolle. Per questa ragione, per la semina sullo strato inferiore del suolo la quantità normale di semina va maggiorata del 50%.

Sulla quantità e la composizione di un eventuale sovescio informano i campionamenti e le analisi delle sostanze nutritive. Anche lo spargimento di concimi organici come letame e compost va dosato con prudenza, poiché gli organismi responsabili del processo di decomposizione sono poco presenti nello strato inferiore del suolo scarsamente attivo. È però possibile migliorare considerevolmente le condizioni di partenza con materiale organico

attivo incorporato superficialmente quale lo stallatico decomposto aerobicamente e il compost. Per contro, è inadatto il colaticcio.

Scelta della coltura

Diverse direttive raccomandano l'impiego di rafano oleifero, senape bianca, ravizzone quali piante a radicazione profonda. Tuttavia, queste piante non riescono a sviluppare il loro effetto positivo in tutti i suoli. A seconda della tessitura, del pH e del clima si sviluppano altrettanto bene anche altre specie di piante pioniere. Questi miscugli di sementi sono sotto molti punti di vista più sicuri di sementi pure. D'altra parte, determinate piante non sopportano la concorrenza di altre piante e non crescono in miscugli, mentre si sviluppano vigorosamente e rapidamente se seminate da sole.

Riporto dello strato superiore del suolo

Lo strato superiore del suolo va riportato nell'anno successivo al rinverdimento intermedio (in caso di suoli ben prosciugati eventualmente ancora durante lo stesso anno), al più tardi comunque a inizio agosto. Se l'inerbimento intermedio è rigoglioso va sfalcato e lasciato al suolo sminuzzato (trinciaerba, falciatrice-pacciamatrice).

Le piante gelate non resistenti al freddo (sorgo, girasole, grano saraceno, rafano oleifero) di regola non devono essere sminuzzate.

Si può rinunciare alla rimozione del materiale vegetale se la preparazione del letto di semina avviene sotto forma di un'aerazione profonda (vangatrice, coltivatore MM100). L'accumulo di materiale vegetale va distribuito accuratamente prima del riporto dello strato superiore del suolo (evitare la formazione di mucchi).

Lo strato superiore del suolo può essere apportato e messo in opera in vari modi. Occorre tuttavia evitare, per quanto possibile, di transitare sullo strato inferiore del suolo preattivo e già colonizzato da radici e limitare comunque il transito a quando è perfettamente asciutto.

Lavorazione e semina

Lo spessore del riporto sciolto deve superare almeno del 25-30% lo spessore in stato sedimentato. Non ha molto senso elevare lo spessore del riporto dello strato superiore del suolo umoso di oltre 40 cm (eccezione: borsa del suolo). Lo strato superiore del suolo riportato deve consentire la penetrazione dell'aria fino allo strato inferiore organicamente attivato. La ripuntatura per la preparazione del letto di semina può eventualmente creare tali condizioni.

Il letto di semina così preparato viene seminato con un miscuglio pluriennale di erba medica, erba e trifoglio (inoculare dapprima l'erba medica con un preparato batterico) e coltivato per almeno tre anni con riguardo (vedi sezione 5).

Ricostruzione

Prescrizioni

Nei progetti soggetti a EIA, la durata e l'indennità per minor valore della ricostruzione vanno stabiliti contrattualmente con i proprietari interessati.

La ricostruzione ha lo scopo di sviluppare in suoli danneggiati e labili un'attività biologica che possa avviare e sostenere una stabilizzazione e ristrutturazione durevole dei suoli.

Fase verde di breve durata

La ricostruzione breve è indicata in tutti i casi in cui il suolo è stato fortemente costipato nella sua dimora naturale e si è reso necessario un intervento di ripuntatura (per es. posa di condotte senza scarificazione dell'humus della pista di transito e della striscia di lavoro).

In questi casi, di regola è sufficiente una fase di ristrutturazione sotto forma di praticoltura estensiva durante un anno prima di tornare di nuovo al normale avvicendamento delle colture.

Ricostruzione normale

In tutti i casi in cui il suolo è stato rimosso dalla sua dimora naturale e si è quindi proceduto a un rinverdimento intermedio dello strato inferiore del suolo, bisogna prolungare la durata della ricostruzione (per es. ricostruzione in seguito a estrazione di ghiaia, posa di condotte con pista di transito eseguita con scarificazione dell'humus). Un periodo vegetativo non è sufficiente per ristabilire e stabilizzare le condizioni d'equilibrio nel suolo di fresco riporto. Come minimo, occorrono tre anni interi. Le esperienze con suoli difficili in posizioni sfavorevoli dimostrano che in molti casi non bastano cinque anni e talvolta nemmeno dieci per raggiungere l'auspicato consolidamento del suolo.

Sezione 5

Le seguenti misure sono raccomandazioni per una ricostruzione pluriennale di suoli agricoli ricostituiti (dopo il collaudo intermedio).

Essi consentono un'efficace ristrutturazione del suolo (ricosti-

vazione prima del collaudo finale e della restituzione all'utilizzazione normale):

- transito sul suolo solo se è asciutto e solo con macchine leggere;
- nessuna lavorazione del suolo;
- piantagione di piante a radicamento profondo (erba medica/trifoglio violetto);
- utilizzazione per foraggio secco;
- nessuna concimazione azotata,

nessun colaticcio e nessun impiego di erbicidi;

- nessun taglio basso e precoce;
- nessun pascolo;
- sufficiente durata di sviluppo (almeno 4 anni dal collaudo dell'opera alla restituzione all'uso normale).

Misure raccomandate per una ricostruzione pluriennale (6)

Effetti ottenuti

Una ricoltura accurata ha lo scopo di ristabilire in un suolo ricostituito le proprietà necessarie alla fertilità. Si tratta in particolare degli effetti seguenti:

- rafforzamento della struttura labile del suolo mediante consolidamento vivo con radici. Ciò migliora la portanza e la trafficabilità del suolo;
- evaporazione dell'acqua in eccesso: un prato evapora in un solo giorno estivo fino a 5 litri per m²;
- colonizzazione biologica di zolle inerti compattate con radichette: i batteri delle radici dell'erba medica fissano fino a 170 kg di azoto puro dell'aria per ha e anno;
- attivazione della pedofauna, in particolare dei lombrichi, importanti non solo per lo scavo di macropori ma soprattutto per la formazione di complessi argillo-umici (grumi).

Per raggiungere questi obiettivi occorre convincere il gestore che durante la fase di ripristino è prioritaria l'ottimizzazione delle condizioni di vita per le piante e la fauna del suolo rispetto alla massimizzazione del rendimento. È quindi opportuno regolare anticipatamente le questioni della ricoltura e dell'indennità per la perdita di reddito.

Concimazione

La concimazione si basa in linea di massima sull'offerta di sostanze nutritive caratteristica del posto e determinata in precedenza mediante un'analisi del suolo. Il prelievo di campioni avviene in almeno 15 punti ripartiti omogeneamente sulla superficie interessata dal campionamento. Se all'interno della particella risultano differenze di superficie, queste sezioni vanno campionate separatamente e contrassegnate. Si raccomanda di effettuare un'analisi

completa e di determinare sia le sostanze nutritive solubili in acqua sia le riserve di sostanze nutritive.

Nessun azoto

Le colture eccessivamente concimate non sviluppano un apparato radicale robusto; un radicamento profondo è la conseguenza della ricerca, da parte della pianta, di sostanze nutritive e acqua nel suolo. Per favorire lo sviluppo della coltura di erba medica occorre rinunciare alla concimazione azotata.

Concimi organici

I concimi organici, sotto forma di letame ben decomposto o compost (scarti vegetali), vanno apportati in dosi moderate e ripartiti finemente. Essi sono ben tollerati dai lombrichi e favoriscono lo sviluppo delle popolazioni di vermi di terra. Grazie all'attività di scavo e di digestione dei vermi, la terra fine minerale viene intensamente mescolata con la sostanza organica nel tubo digerente della pedofauna formando preziosi complessi argillo-umici (grumi).

Nessun colaticcio

Il colaticcio danneggia le popolazioni dei vermi di terra poiché soprattutto le specie preziose che scavano in profondità non riescono a rifugiarsi nelle loro gallerie verticali e vengono corrose. Inoltre, il colaticcio favorisce la crescita delle graminacee che fanno concorrenza all'erba medica fino a provocarne la scomparsa. Durante la fase di ricoltura occorre quindi rinunciare all'impiego di colaticcio. A partire dal secondo anno di coltivazione, è tollerabile lo spargimento a basso dosaggio di liquame completo ben aerato e non corrosivo.

Utilizzazione

Nell'anno di semina è indicato un taglio autunnale per le semine precoci e uno sfalcio di pulizia per quelle tardive lasciando sparpagliato al suolo lo scarso materiale di sfalcio. Evitare di falciare l'erba medica troppo presto e troppo corta.

Foraggio secco o insilati

Dal secondo anno si raccomanda un'utilizzazione regolare per foraggio secco. In questo modo, il rischio di un costipamento del suolo è minimo. Se è rigorosamente rispettata la condizione del suolo asciutto e portante, sono tollerabili anche insilati.

Nessuno raccolto di foraggio verde e pascolo

In questa fase occorre rinunciare al raccolto di foraggio verde e al pascolo. Uno sfalcio frequente indebolisce le colture di erba medica e trifoglio violetto e può causare un costipamento del suolo. Il pascolo causa costipamenti puntuali. Inoltre, il pascolo porta alla rapida scomparsa dell'erba medica e del trifoglio violetto, piante preziose per le loro radici profonde.

Controllo dei risultati

Durante il periodo della ricoltura, i danni come l'umidità di ristagno, l'asfissia ecc. sono riconoscibili in virtù delle modifiche della vegetazione. Di norma, dopo un intervento di ricoltura accurato, la vegetazione dovrebbe svilupparsi regolarmente e diventare sempre più rigogliosa ed equilibrata. Forti irregolarità della vegetazione indicano carenze che di norma vanno corrette con misure supplementari come la ripuntatura e il drenaggio.

Controllo del regime delle sostanze nutritive

Dopo due o tre anni di ricoltura, l'approvvigionamento di sostanze nutritive va nuovamente controllato tramite analisi del suolo effettuate in condizioni simili. Per garantire la comparabilità dei risultati, i campioni vanno affidati allo stesso laboratorio per l'analisi. Per l'interpretazione dei risultati va consultato un consulente agricolo di provata esperienza.

Prova della vanga

La prova della vanga viene effettuata in più punti, anche appena all'esterno del perimetro di ricoltura, scavando una buca profonda circa 45 cm e prelevando una sezione di terra per l'intera profondità. Questo blocco di terra viene esaminato accuratamente dalla superficie verso il basso. I riscontri vanno registrati ogni 5 cm (vedi scheda a lato).

Nell'ambito di questa prova sono di particolare interesse le seguenti caratteristiche:

- la resistenza alla penetrazione (grado di costipamento);
- la regolarità e la profondità della crescita radicale (colonizzazione);
- la presenza e l'attività della pedofauna (soprattutto lombrichi);
- la forma e la stabilità dei grumi;
- l'attività di decomposizione anche nelle zone profonde (non vi sono più residui del rinverdimento intermedio?) e
- la densità apparente e l'aerazione (le zolle si rompono facilmente, si notano zone con asfissia o trascolorate?).

La prova della vanga fa di regola parte del collaudo di grandi ricolture da parte degli organi di controllo competenti.

Prova della vanga

Tessitura:

Criteri	Profondità del suolo (cm)							
	05	10	15	20	25	30	35	40
Stato generale del suolo								
sciolto, glomeruli	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
duro, tenace, grumoso	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
sostanza organica non decomposta	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Odore								
gradevole, terroso, fresco	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
sgradevole, di fanghi di depurazione	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
inodore	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Colore								
caldo, regolare	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
pallido, screziato	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Struttura fine								
friabile, arrotondata	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
rottura netta, a spigoli vivi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Crescita radicale								
spessa, regolare	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
limitata alle fessure e alle gallerie dei lombrichi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
nessuna	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Vermi di terra								
visibili, attivi	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
nessuna attività	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Sezione 5

Analisi sommaria

Raccomandazioni

Superficie del suolo

Misure

- ☐ sciolta, ben aggregata
- ☐ infangata, incrostata
- ☐ erosa

- ☐ nessuna
- ☐ erpicare, sarchiare
- ☐ semina

Umidità del suolo/descrizione

Evitare il costipamento

- ☐ secco, a zolle dure
- ☐ umido, friabile, ideale
- ☐ bagnato, pastoso, plastico

- ☐ trafficabile ma non lavorabile finemente
- ☐ lavorabile ma non trafficabile
- ☐ né trafficabile né lavorabile

Regime dell'aria, attività biologica

Attivazione

Odore, colore, decomposizione della massa organica

Allestire a maggese, a prato artificiale

- ☐ colore grigiastro, putrescente
- ☐ residui del raccolto non degradati

- ☐ non lavorare il terreno in stato bagnato, ev. senza aratro
- ☐ lavorare più in superficie

Altre indicazioni (coltura, vegetazione, suolo bagnato ecc.)

Data:

Firma:

Passaggio all'avvicendamento delle colture

Nei tre anni di ricoltura un suolo non potrà mai sviluppare la sua completa stabilità strutturale. Questo dato di fatto va tenuto presente al momento di riprendere la piena attività agricola. Occorre pertanto rinunciare, durante i primi anni, alla coltivazione di tuberose che consumano il suolo quali le patate o gli ortaggi di coltura estensiva, come pure di colture a raccolto tardivo con metodi di raccolto pesanti come le barbabietole da zucchero e il mais insilato. Va invece data la preferenza a una rotazione a base cereale con tempestiva introduzione di un prato artificiale.

Sezione 5

Non ha molto senso investire tempo ed energia per preparare un suolo sciolto per poi costiparlo in profondità creando uno zoccolo che può essere smosso o sciolto solo con difficoltà. La ripuntatura non è un rimedio contro il costipamento del suolo. Si tratta di un intervento piuttosto pesante per creare le condizioni per la ristrutturazione del suolo danneggiato. Quest'intervento non va in nessun caso considerato una misura per la lavorazione del suolo ripetibile a piacimento.

Transito sul suolo in caso di interventi del genio civile

Per la coltivazione del suolo, il raccolto e il trasporto del raccolto occorre circolare sul suolo naturale nel campo e nel bosco. Con l'aumento della meccanizzazione sono già sorti diversi problemi. Tali problemi sono noti e vanno affrontati nel quadro dei nuovi articoli sulla protezione fisica del suolo dell'ordinanza contro il deterioramento del suolo (O suolo, 7).

Se il suolo viene percorso per interventi del genio civile, sussistono generalmente condizioni diverse. Le principali differenze rispetto alla lavorazione agricola della terra consistono generalmente nel fatto che:

- lo strato superiore del suolo viene dapprima asportato su una grande superficie e conferito in deposito intermedio (scarificazione dell'humus);
- in base al progetto, i lavori di costruzione vengono svolti generalmente durante tutto l'anno;
- i passaggi non sono unici come per la preparazione del suolo e il raccolto, ma frequenti e ripetuti sulla stessa area;
- vengono spesso impiegati veicoli e macchine più pesanti;
- vengono spostati sempre materiali pesanti (ad es. materiale di sterro, elementi di costruzione, ghiaia e calcestruzzo).

Determinate opere del genio civile, specie per i trasporti e l'approvvigionamento energetico, richiederanno anche in futuro un'occupazione temporanea di grandi superfici agricole e forestali. Si tratta quindi di porre in evidenza le possibilità della protezione meccanica del

suolo affinché possano essere considerate in modo ottimale in sede di progettazione ed esecuzione di siffatte opere.

Conservare la fertilità del suolo

L'obiettivo generale e supremo è la conservazione a lungo termine della fertilità del suolo (per la definizione delle nozioni di base, vedi capitolo 1). Si tratta di evitare che in seguito a sollecitazioni meccaniche il suolo perda le sue naturali qualità come luogo per la crescita delle piante. Occorre salvaguardare l'equilibrio del suolo naturale ed evitare ogni inutile costipamento o alterazione degli orizzonti naturali (stratificazione) del suolo.

Questo obiettivo può essere raggiunto mediante le seguenti misure:

- circolare solo su suolo asciutto e con sufficiente portanza;
- impiegare solo macchine e procedimenti adatti;
- evitare tragitti inutili;
- ridurre al minimo la superficie dell'intervento;
- evitare ogni spostamento inutile di suolo, segnatamente la scarificazione dell'humus e
- non lasciare mai il suolo senza copertura vegetale, ossia incolto e non protetto.

Queste misure devono obbligatoriamente essere previste dal progetto preliminare, dal progetto principale e dal suo calendario nonché dal relativo bando ed essere attuate e controllate nella fase di realizzazione. Ciò implica in genere la consulenza da parte di uno specialista della protezione dei suoli sui cantieri (cfr. sezione 0).

L'attuazione pratica delle singole misure è brevemente illustrata di seguito nell'ordine summenzionato. Si troveranno indicazioni

dettagliate in merito ai singoli punti nella seguente sezione dedicata alle spiegazioni concernenti il tema del suolo.

Suolo asciutto

Un suolo asciutto è portante. La misura della trafficabilità è data dalla tensione capillare, misurata mediante tensiometri. Un'unità di misurazione è composta da cinque tensiometri. Fa stato la mediana dei singoli valori rilevati. Se la pressione capillare risulta inferiore a 10 centibar, il suolo non è transitabile.

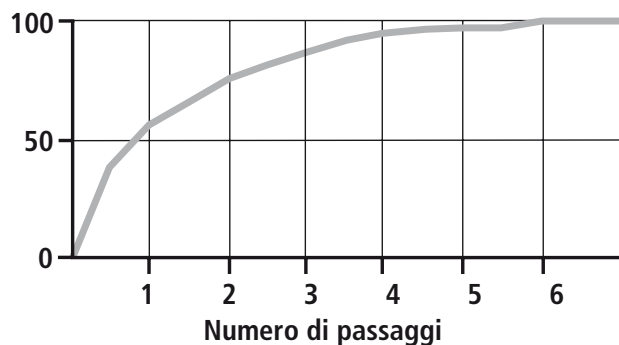
Macchine idonee

Sono adatte le macchine possibilmente leggere e con buona ripartizione del peso, vale a dire con basso carico sul terreno. I telai larghi e lunghi riducono la pressione sul suolo. Le macchine ben equipaggiate possono facilmente raggiungere tempi d'impiego doppi rispetto alle macchine normali, specialmente nelle fasi di costruzione con suolo relativamente umido.

Minore frequenza di passaggi

Ogni fase di lavoro va pianificata in modo da poter essere eseguita con il minor numero possibile di tragitti. La frequenza dei passaggi è una delle principali cause di costipamento.

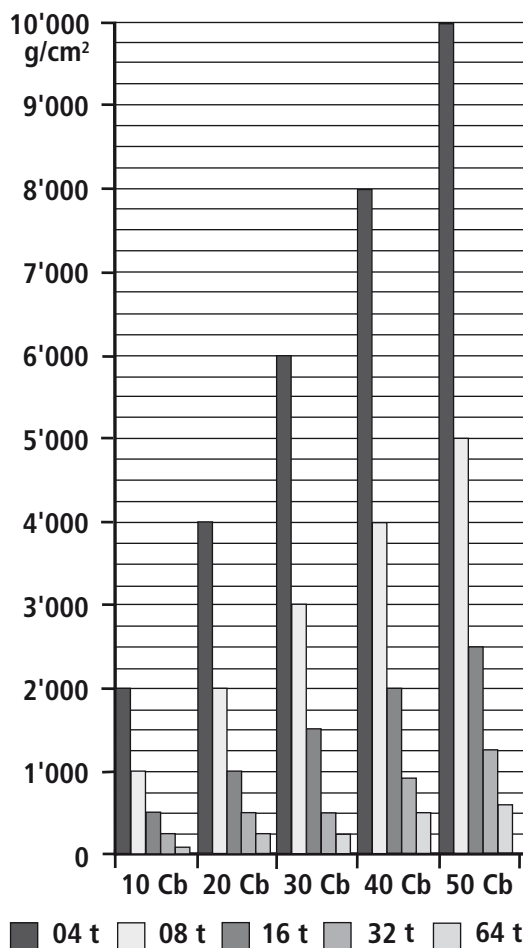
Grado di costipamento



Soprattutto i veicoli gommati pesanti (autocarri, pale gommate) presentano un elevato rischio di costipazione. Pertanto, si dovrebbe

rinunciare al loro impiego in terreni coltivati. In generale, per un transito ripetuto non sono ammesse tensioni capillari inferiori a 20 Cb in suoli ricchi d'argilla (tenore d'argilla > 30%) poiché l'area del suolo sollecitata si trova in uno stato di deformabilità plastica. Se il transito ripetuto sullo stesso tratto è inevitabile, prima dell'inizio dei lavori va predisposta una pista (materassi di legno, pista in ghiaia).

Il grafico illustra il carico sul terreno ammissibile in g/cm² (a sinistra) e il peso delle macchine in tonnellate (t) a una determinata pressione capillare espressa in centibar (Cb, in basso). Risulta così ad esempio che raddoppiando la superficie d'appoggio un escavatore del peso di 16 t e una pressione sul suolo di 1000 g/cm² può essere impiegato già a partire da 10 anziché da 20 Cb.



Superfici ridotte

Occorre limitare e circoscrivere al massimo l'estensione delle superfici sollecitate. Per grandi cantieri, come per esempio per la costruzione di pipeline (acquedotti, oleodotti, gasdotti), il procedimento va adattato di conseguenza. Per il colmataggio di terreni e le ricoltivazioni, le piste d'accesso vanno allestite in modo tale da poter essere smosse su tutta la superficie prima del riporto dello strato inferiore e superiore del suolo.

Nessuna scarificazione dell'humus

La rimozione accurata dello strato superiore del suolo prima di un intervento del genio civile nel terreno ha una lunga tradizione. Anche molti proprietari fondiari sono convinti dell'utilità di questa misura (argomento: meno spreco di humus). Malgrado ciò, nell'ottica della protezione del suolo, la scarificazione di humus è ammissibile soltanto in suoli molto superficiali.

Soprattutto laddove si tratta di utilizzare il suolo per pochi transiti è preferibile lasciare a dimora lo strato superiore del suolo come strato di protezione. In virtù della sua attività biologica, lo strato superiore del suolo dispone di una capacità di rigenerazione molto migliore dello strato inferiore sottostante.

In uno strato inferiore del suolo compattato una ristrutturazione è pressoché impossibile. Il risanamento di strati inferiori del suolo costipati è costoso e oneroso in termini di tempo.

Anche in caso di deposito intermedio breve, è preferibile depositare il materiale di sterro sullo strato superiore del suolo. Benché sia possibile una locale «asfissia» del suolo (riconoscibile dall'odore putrescente al riporto), l'attività biologica riprende rapidamente dopo una sarchiatura e un'aerazione superficiali.

Se con macchine dello stesso peso nello strato superiore del suolo si producono tracce molto più profonde che nello strato inferiore, ciò dipende dalla compattazione dei macropori.

Siccome lo strato inferiore del suolo contiene meno macropori, la loro compattazione risulta meno visibile, ma implica nella maggior parte dei casi una quasi completa perdita dei macropori. Questi danni non possono essere eliminati senza il ricorso a costosi metodi di risanamento.

Dotare sempre il suolo di copertura vegetale

Un suolo rinverdito ha una portanza considerevolmente maggiore del terreno nudo. In estate è normale che a un prato vengano sottratti, ogni giorno, cinque litri d'acqua per m² a seguito dell'evaporazione. Il rinverdimento della superficie sollecitata deve avvenire il più presto possibile, idealmente già uno o due anni prima dell'intervento, affinché il prato possa svilupparsi completamente. Dopo il transito, di regola il prato si rimette rapidamente. Solo in casi gravi è necessaria una nuova semina. Solitamente è sufficiente un rinvivamento con una risemina.

Capitoli 1 – 8

Spiegazioni concernenti il tema del suolo



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.

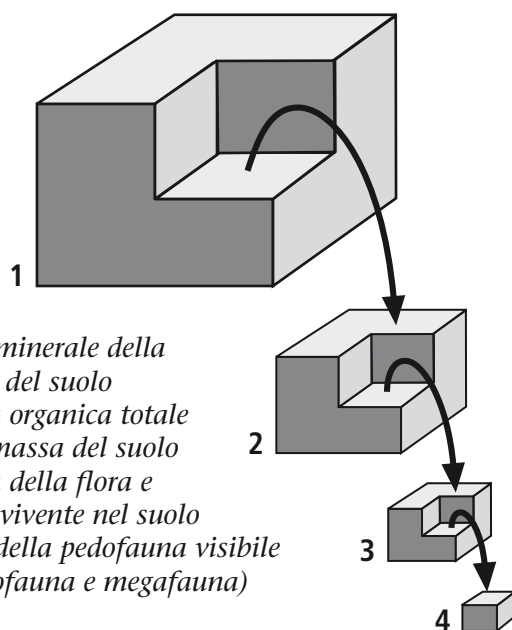


Fig. 01 - Rappresentazione schematica della distribuzione ponderale nel suolo.

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.

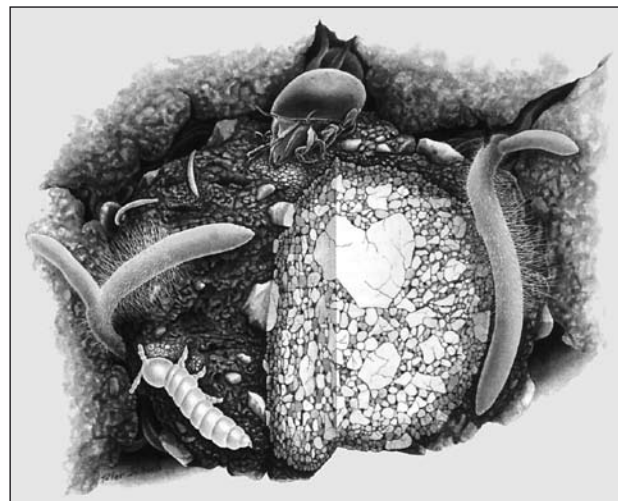


Fig. 02 - Raffigurazione della vita nel suolo a livello di grumo (grandezza naturale ca. 4 mm di lato). Al centro in alto è raffigurato un acaro e in basso a sinistra un collembolo. Questi rappresentanti della mesofauna sono appena visibili a occhio nudo. A destra e a sinistra del grumo si intravedono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

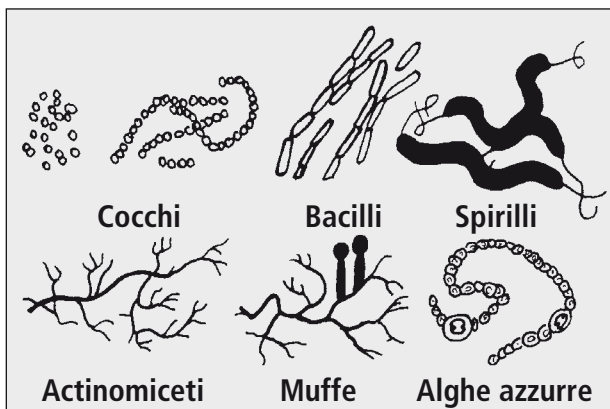


Fig. 05 - Rappresentazione schematica di importanti rappresentanti della microflora del suolo, assai ricca di specie.

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.

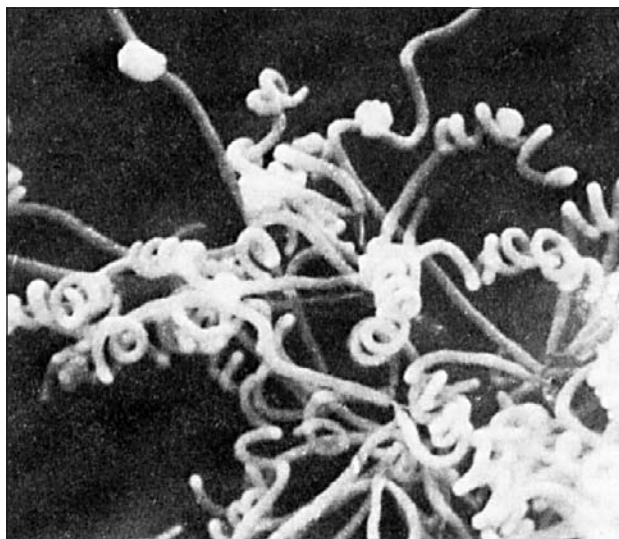


Fig. 06 - Alcuni microorganismi producono sostanze antibiotiche, tra cui la penicillina e la streptomycina. La foto mostra catene di spore spirali di uno streptomiceto (ingrandimento: 6000x).

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 remando 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.

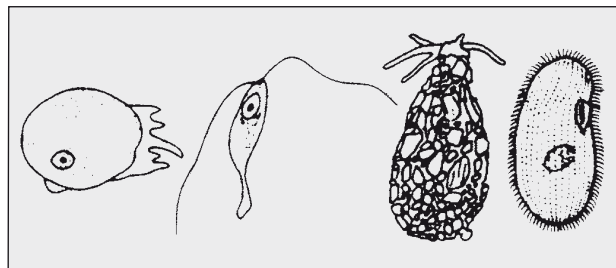


Fig. 07 - Da s. a d.: ameba (rizopodo), flagellato, tecomeba (ameba con guscio, testaceo), ciliato.

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.

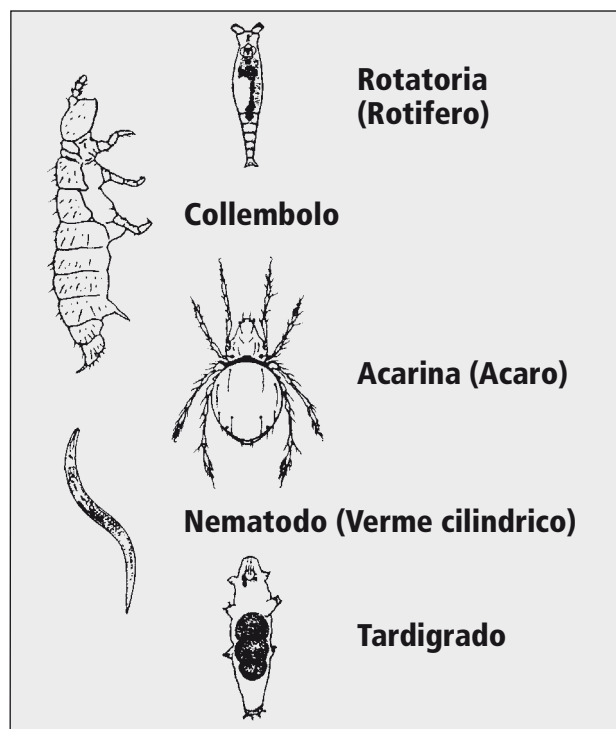


Fig. 08 - Alcuni esempi di mesofauna.

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.

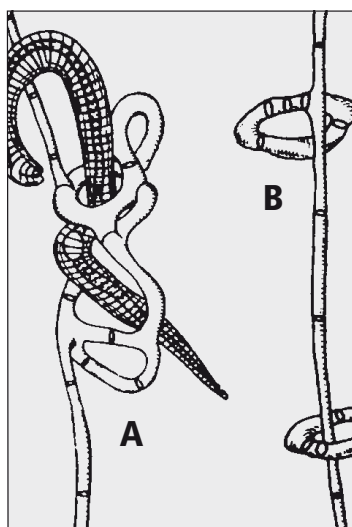


Fig. 09 - I funghi predatori del genere entomophthorales sono in grado, mediante speciali ife (B), di catturare e digerire piccoli animali del suolo come il parassita (nematodo) nella figura (A).



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).

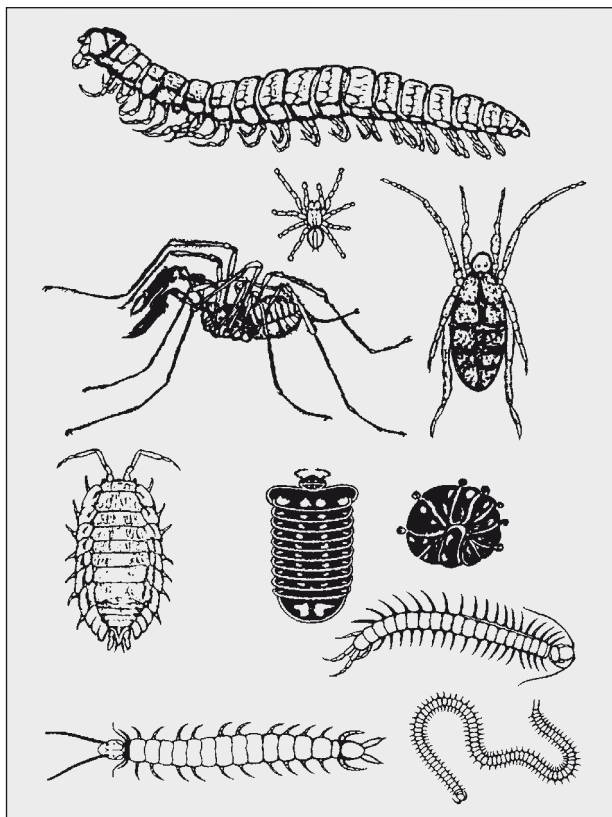


Fig. 11 - Questa illustrazione mostra i rappresentanti della macrofauna: lucifughi e che difficilmente si incontrano alla superficie del suolo. Si tratta di diverse forme di insetti, crostacei, ragni, diplopodi. Molti sono predatori. I ragni, i centipedi, le forbicine, gli isopodi terrestri, i glomeridi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

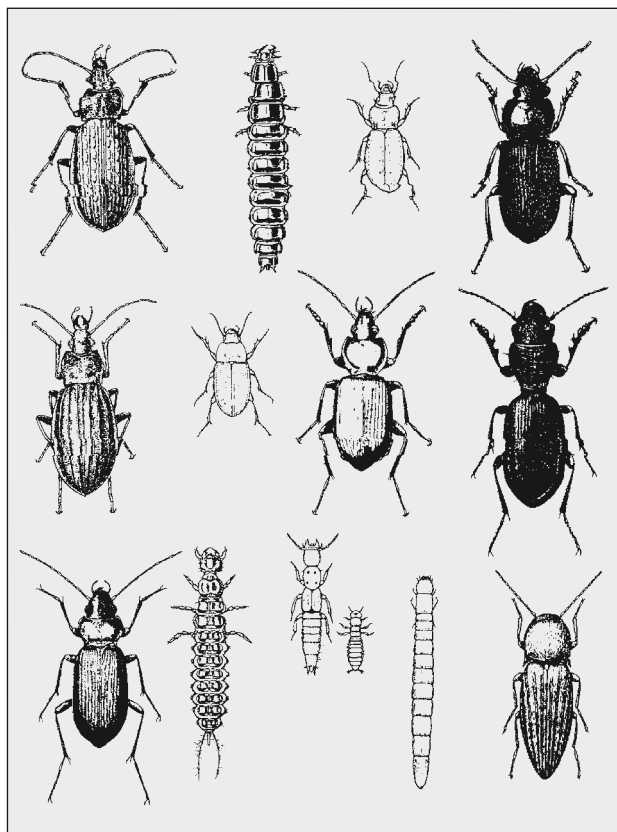
**Cap. 2**

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

5. Megafauna Ø > 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 ingerendo 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	
10^{-4} cm/sec	3,6 mm/h	Leggera umidità stagnante
10^{-5} cm/sec	0,36 mm/h	
10^{-6} cm/sec	0,036 mm/h	Umidità stagnante
10^{-7} cm/sec	0,0036 mm/h	
10^{-8} cm/sec	0,00036 mm/h	Impaludato

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 acidisce. Lo strato superiore del suolo è spesso di colorazione scura (anmoor, humus nero), mentre il sottosuolo sovrassaturo 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) ($\varnothing$ del granulo < 0,200 mm)
silt (U) ($\varnothing$ del granulo 0,002 - 0,05 mm)
sabbia (S) ($\varnothing$ del granulo 0,05 - 2 mm)

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

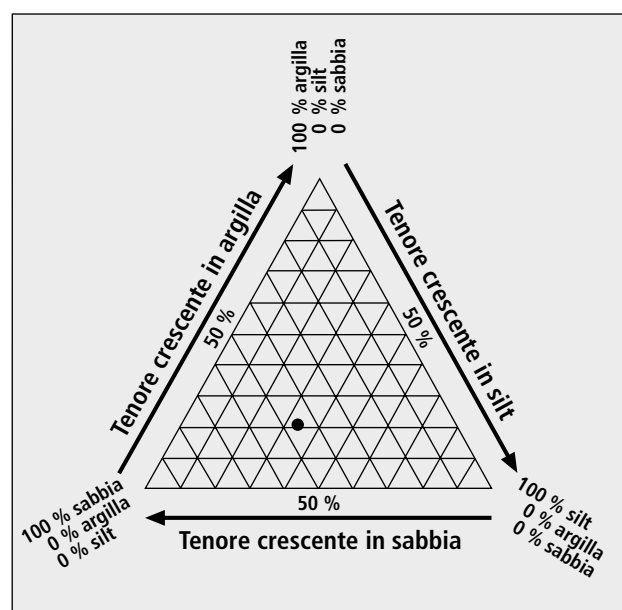
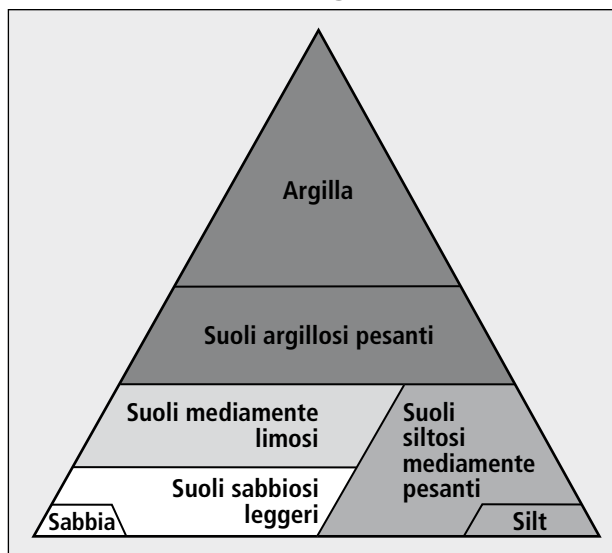


Fig. 16 - Triangolo della tessitura (3). Il punto d'intersezione dei tre tenori riportati in % determina la designazione corretta della tessitura. Nell'esempio (•) si tratta dunque di un suolo limoso medio. Designazione corretta: limo moderatamente siltoso.

Suddivisione semplificata della tessitura nel triangolo di tessitura



Denominazione esatta della tessitura

	Argilla %	Silt %
Suoli argillosi pesanti		
Suolo argilloso	> 50	< 50
Argilla limosa	50 - 40	< 50
Limo argilloso	40 - 30	< 50
Silt argilloso	50 - 30	> 50
Suoli siltosi mediamente pesanti		
Silt limoso	30 - 10	> 50
Silt sabbioso	< 10	50 - 70
Suolo siltoso	< 10	> 70
Suoli mediamente limosi		
Limo	30 - 20	< 50
Limo sabbioso	20 - 15	< 50
Suoli sabbiosi leggeri		
Sabbia fortemente limosa	15 - 10	< 50
Sabbia limosa	10 - 05	< 50
Sabbia siltosa	10 - 05	15 - 50
Suolo sabbioso	< 05	< 15
A seconda del tenore di silt, si suddividono i suoli inoltre in:		
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 $2\text{ }\mu\text{m}$ ($< 0,002\text{ mm}$). 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 (suscettibile 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 Ø 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 µm, 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.

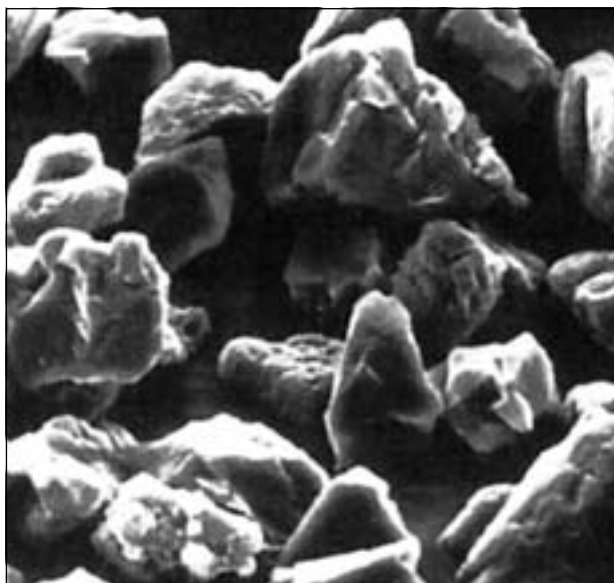


Fig. 20 - Granuli di silt al microscopio illuminati dall'alto. Lunghezza di lato della parte fotografata: ca. 1/10 mm.

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.

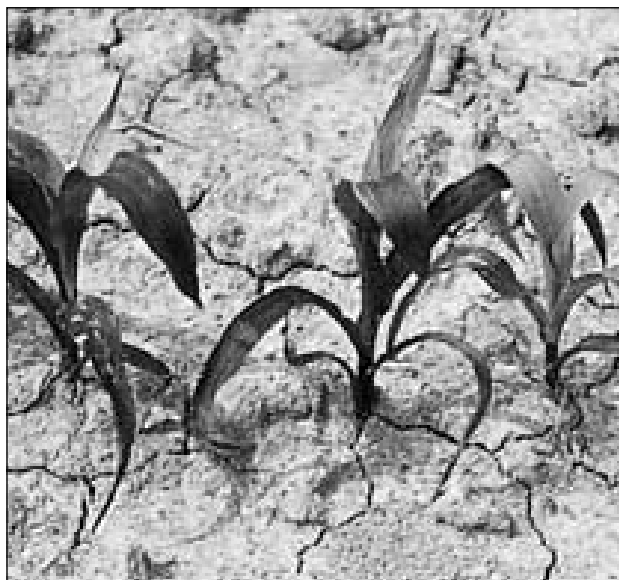


Fig. 21 - Loess, parzialmente incolto con mais, fortemente incrostato in superficie. Con una debole pendenza sussiste una forte tendenza all'erosione.

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 Ø 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 (Ø 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).

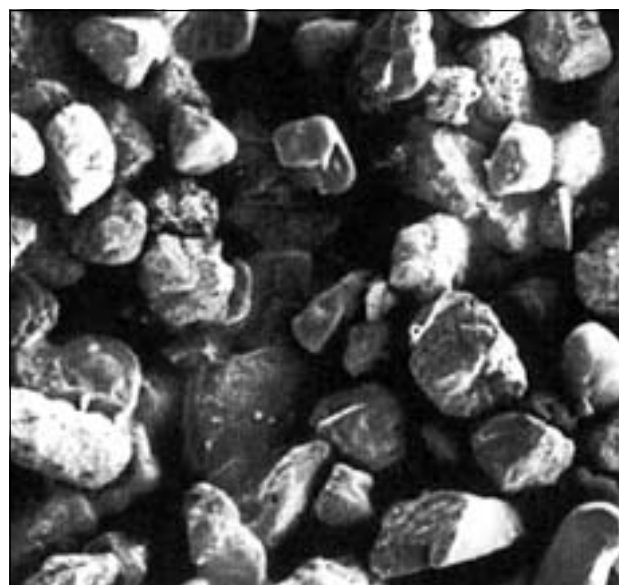


Fig. 22 - Sabbia (miscuglio di diversi minerali). La lunghezza del lato dell'immagine corrisponde a ca. 1 cm.

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

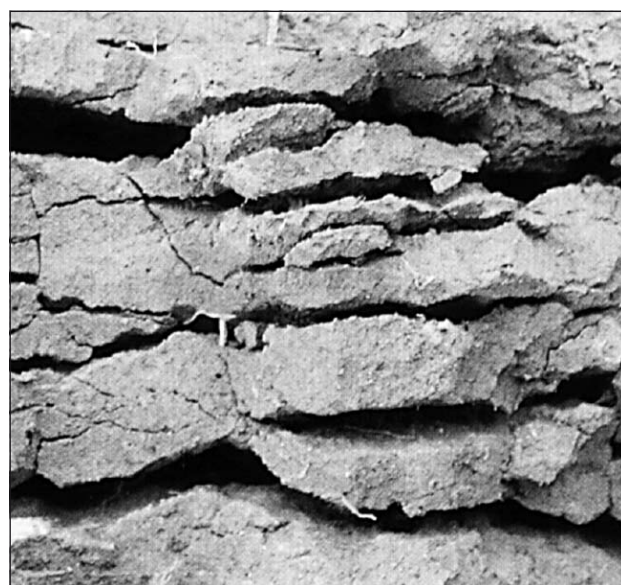


Fig. 25 - Soprattutto i suoli siltosi presentano spesso strutture lamellari con fessure orizzontali.

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 frantumano 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.

Cap. 6

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 co-stipazione 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 g/cm^3 o 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 Mg/m^3
Valori frequenti	1,30 - 1,50 Mg/m^3
Suoli paludosi interamente organici	ca. 0,15 Mg/m^3

Densità reale/ peso specifico (d_r)

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

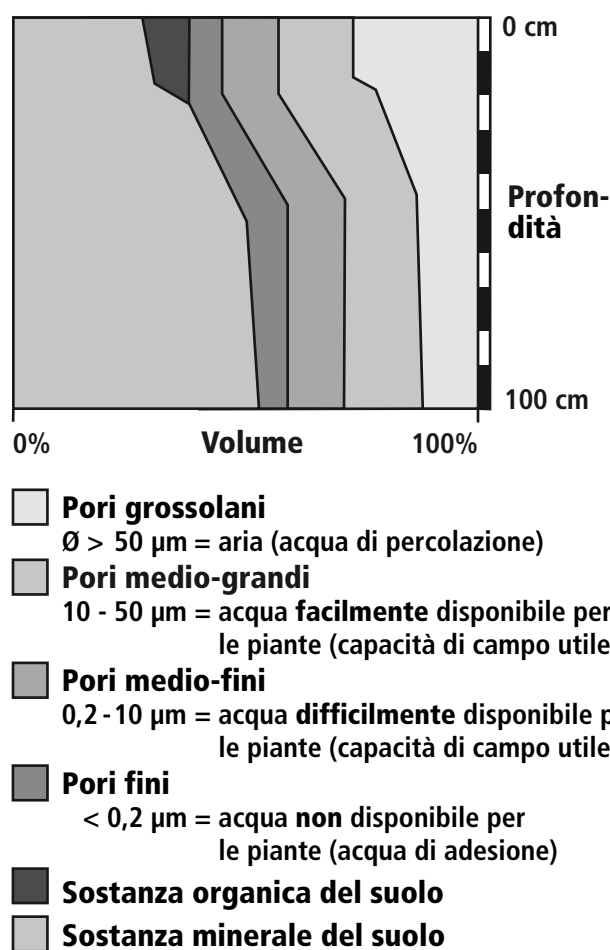


Fig. 34 - Lo schema illustra le parti di volume della sostanza solida del suolo e la distribuzione dei pori secondo le classi di grandezza in diverse profondità con l'esempio di un suolo limoso umifero e arato. Il volume dei pori grossolani $> 50 \mu\text{m}$ corrisponde alla capacità d'aria (maggiore 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 suole 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 genere, quindi, per gli interventi di genio civile viene asportato l'humus. 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 sterro 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 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.

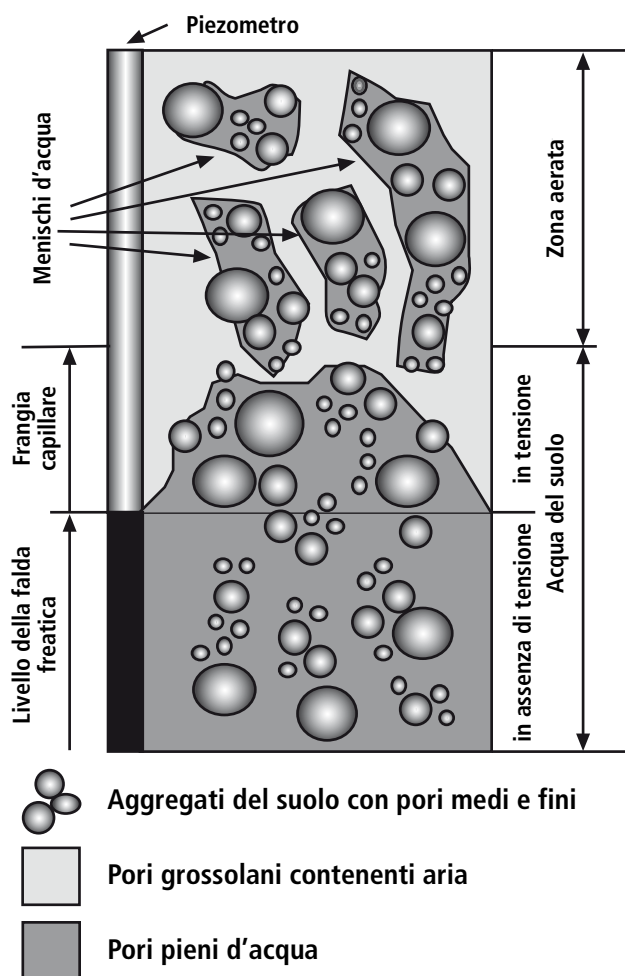
Pori fini

Nei pori fini ($\varnothing < 0,2 \mu\text{m}$) si trova da un lato acqua igroscopica (ossia in equilibrio con la pressione del vapore acqueo dell'aria circostante) e dall'altro acqua con legame cristallino o chimico e che può essere estratta dal suolo solo in stufa a temperature superiori al punto d'ebollizione. Queste acque residue sono fissate troppo solidamente per poter essere utilizzate dalle radici delle piante (forza di suzione oltre 15 bar). Si tratta della cosiddetta acqua di adesione non più disponibile per le piante.

Fig. 38 - Rappresentazione schematica delle forme dell'acqua nel suolo.

Nella zona completamente saturata della falda freatica tutti gli interstizi del suolo sono pieni d'acqua (acqua del suolo in assenza di tensione).

Nella frangia capillare l'acqua risale nel suolo per capillarità oltre il livello della falda (acqua del suolo in tensione).



Nella parte superiore del suolo aerata l'acqua è coesa dalla propria tensione superficiale e dalla capillarità negli spazi vuoti tra le particelle più fini del suolo (menischi).

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.

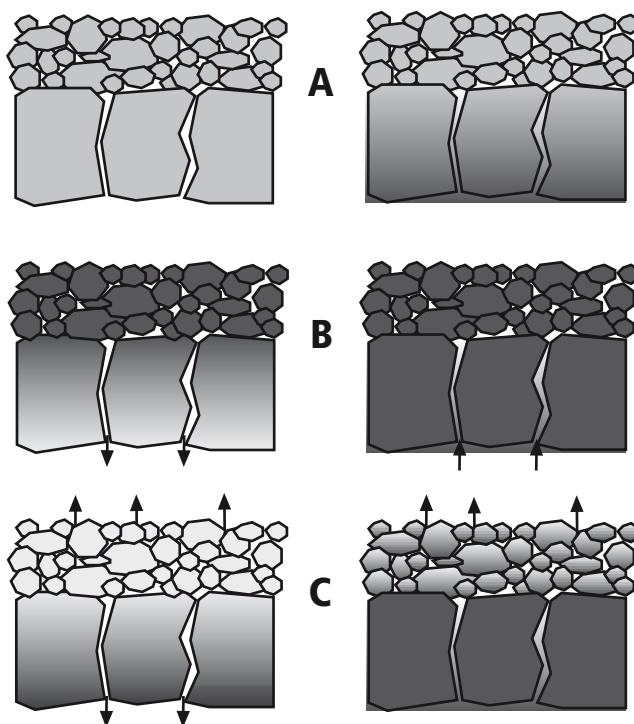


Fig. 39 - Differenze della capacità di drenaggio tra un suolo permeabile (a sinistra) e un suolo idro-morfo (a destra).

- 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 ($= \log \text{ cm CA}$), in Pascal o in bar

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

Pori grossolani Ø > 50 µm		acqua a flusso rapido		10 Cb
		acqua a flusso lento, facilmente disponibile		60 Cb
Pori medio-grandi Ø 10 - 50 µm		acqua sempre più difficilmente disponibile		1500 Cb
Pori medio-fini Ø 0,2 - 50 µm				
Pori fini Ø < 0,2 µm		acqua non disponibile (acqua di adesione)		
pF 1	pF 1,8	pF 2,5	pF 4,2	

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 $< 6 \text{ Cb}$ 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.

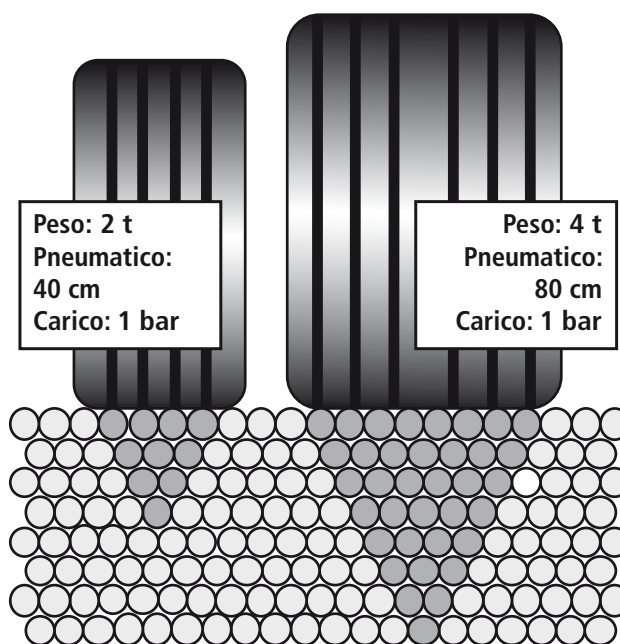


Fig. 41 - Questo modello semplificato di rulli mostra la trasmissione della pressione delle ruote in profondità. In grigio sono indicati gli aggregati del suolo gravati da un'unità di peso e con ciò l'area di propagazione della pressione in profondità. Nonostante lo stesso carico sul terreno, la propagazione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

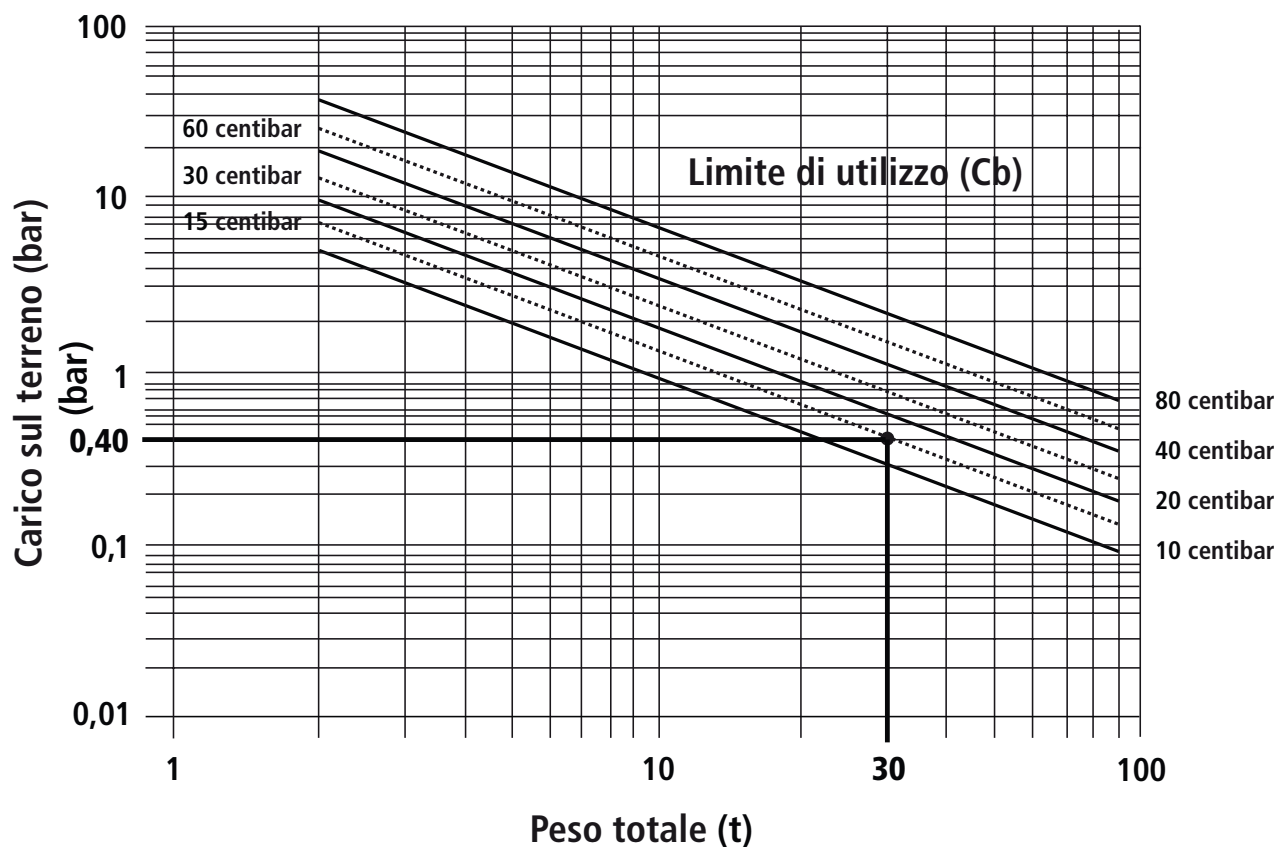
7.4 Tensione capillare (y) e impiego di macchine (5,6)

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 cingli. 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

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

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.

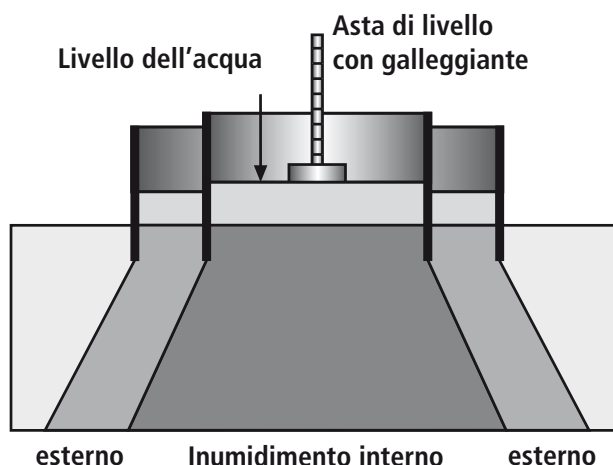


Fig. 43 - Schema di un infiltrometro a doppio anello (sezione)

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.

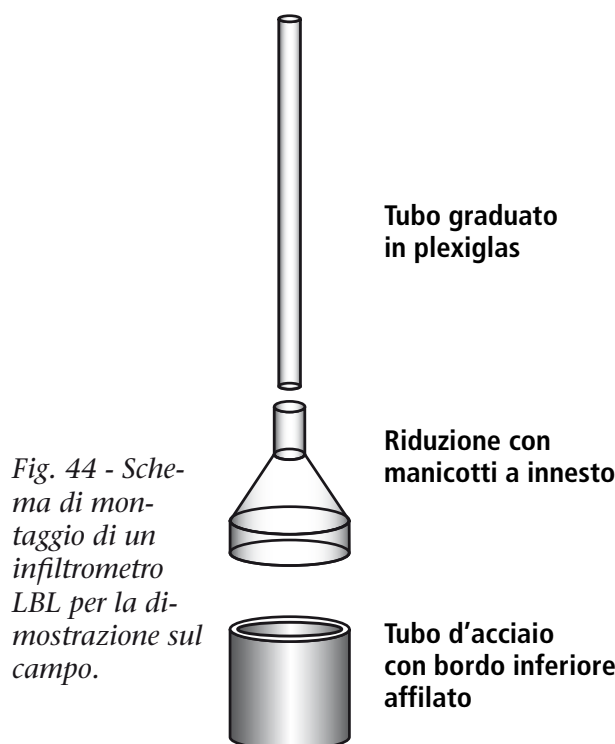


Fig. 44 - Schema di montaggio di un infiltrometro LBL per la dimostrazione sul campo.

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 ~ 4 mm/h ~ 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 ~ 4 mm/h ~ 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).

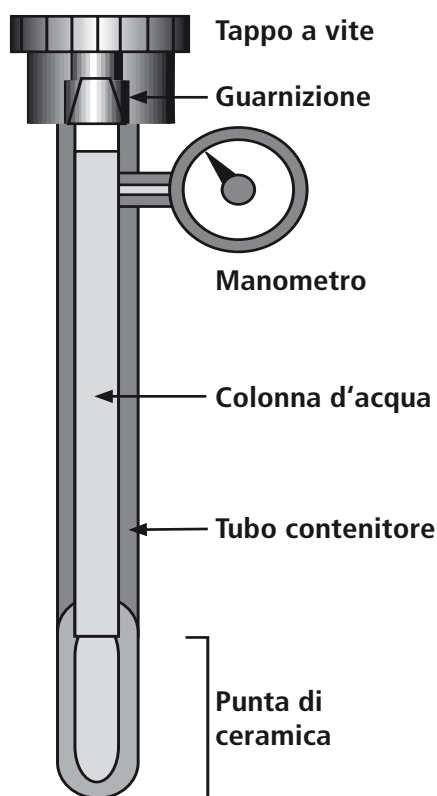


Fig. 46 - Rappresentazione schematica di un tensiometro a manometro.

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

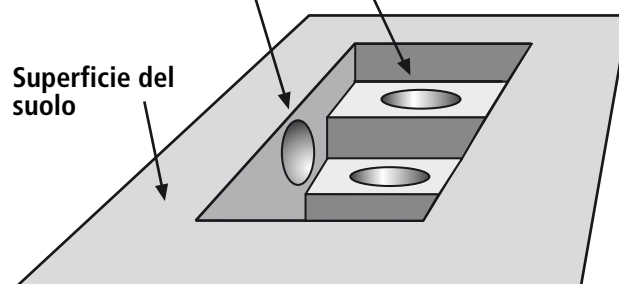


Fig. 49 - Rappresentazione schematica del prelievo di campioni in un profilo scalare. In pratica, occorrerà ovviamente prelevare diversi campioni per ciascun livello di profondità. I costipamenti e le colmature dei pori eventualmente causati dallo sterro meccanico del profilo andranno accuratamente rimossi 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 Mg/m^3 o in g/cm^3 . Per la determinazione del peso secco, il campione viene seccato per diverse ore in una stufa a 105°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.

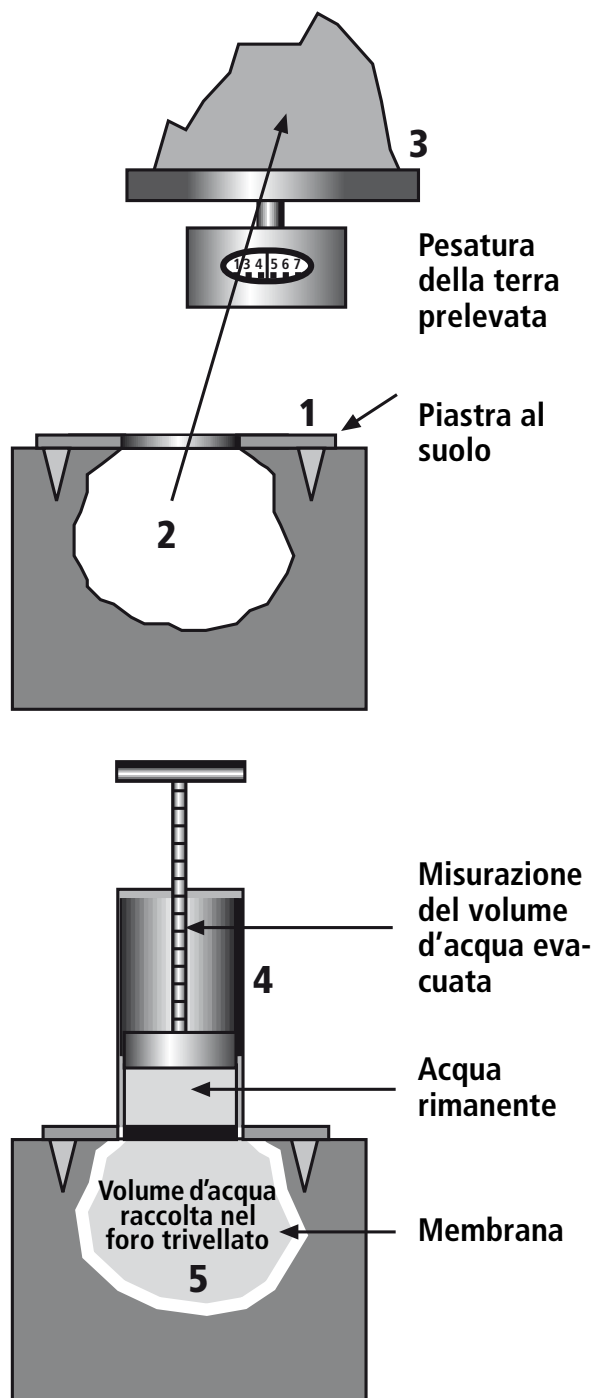


Fig. 50 - Rappresentazione schematica della procedura di prelievo mediante densitometro in sezione. Descrizione nella pagina seguente.

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.

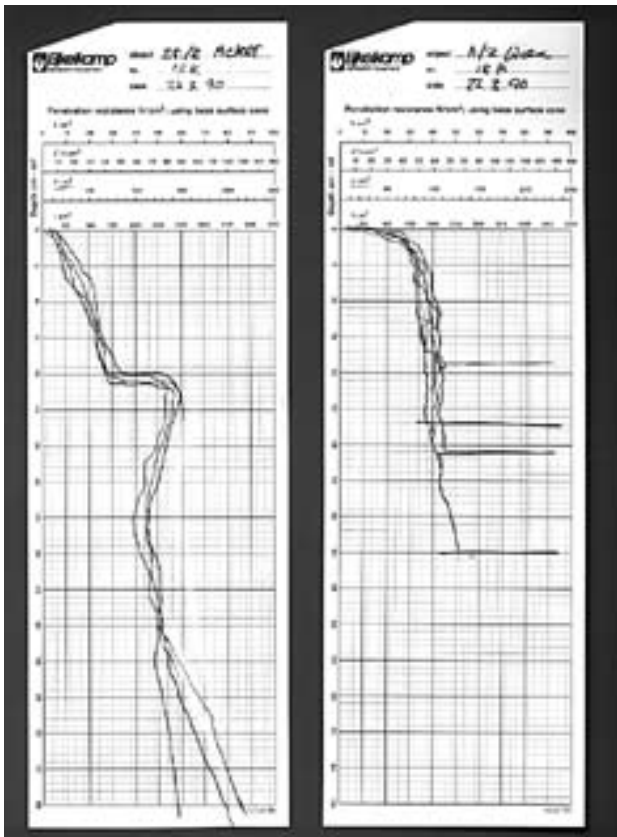


Fig. 51 - Due esempi di penetrogrammi direttamente registrati con 4 e 3 misurazioni. A sinistra: campo agricolo in una zona di loess; la zona di costipamento dovuta alla coltivazione (15-25 mm di profondità) è facilmente riconoscibile. A destra: penetrogramma in un prato naturale; la resistenza superficiale 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.

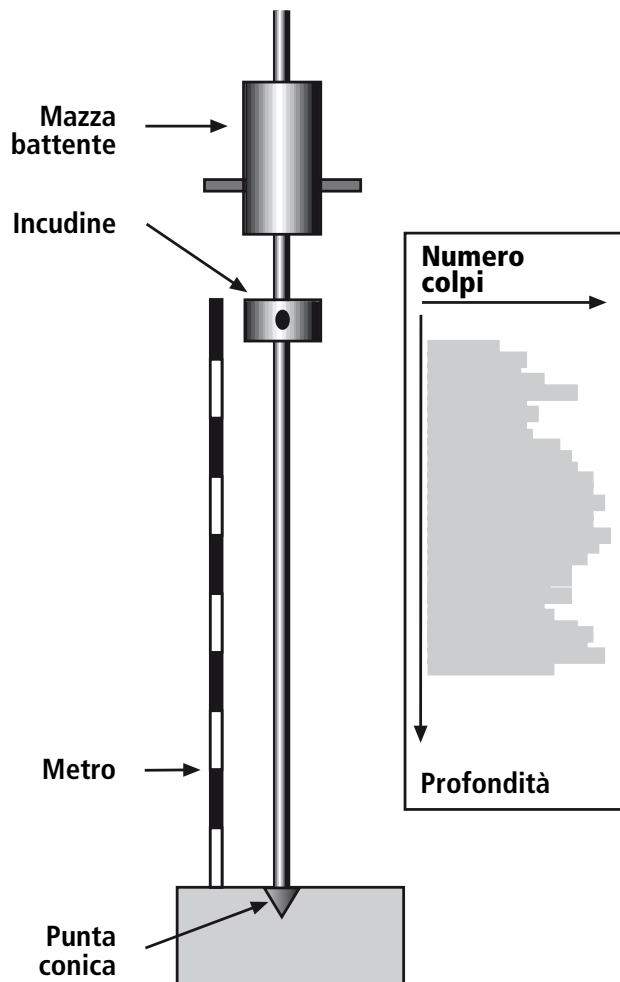


Fig. 52 - Il penetrometro a percussione a mano nella sua esecuzione più semplice. La rappresentazione della resistenza alla penetrazione avviene sotto forma di istogrammi.

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).

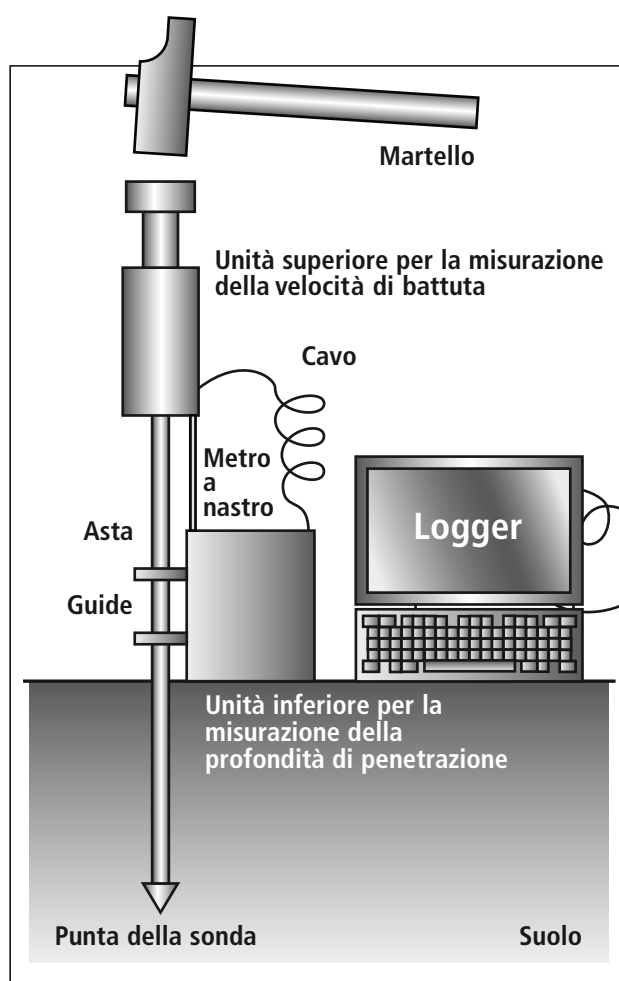


Fig. 53 - Rappresentazione schematica della sonda PANDA e delle sue componenti (14).

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 fucelli

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 fucelli di legno dolce verde della grandezza di un fiammifero. Le file di fucelli vengono quindi cosparse con uno strato sottile di farina di gesso. La mattina seguente i fucelli che solo difficilmente possono essere trascinati nelle gallerie dai vermi di terra, sono visibilmente spostati. Come tutti gli esperimenti descritti sopra, il test dei fucelli è di indubbio interesse, anche se non si tratta di una prova scientifica.

Bibliografia

1. FAL, Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden, quaderni FAL n. 24, Zurigo-Reckenholz 1997
2. UFAFP, Istruzioni – Esame e riciclaggio del materiale di sterro (Istruzioni materiale di sterro). Ambiente – Esecuzione, Berna 2001 (sostituisce la Comunicazione n. 4 del 1993 dell'UFAFP relativa all'O suolo)
3. VSS, SN 640 581a, Erdbau, Boden; Grundlagen, Zurigo 1998
4. VSS, SN 640 582, Erdbau, Boden; Erfassung des Ausgangszustandes, Triage des Bodenaushubes, Zurigo 1999
5. UFE, Direttive per la protezione del suolo relative alla costruzione di impianti di trasporto in condotta (Direttive per la protezione del suolo); Berna 1997
6. VSS, SN 640 583, Erdbau, Boden; Eingriff in den Boden, Zwischenlagerung, Schutzmassnahmen, Wiederherstellung und Abnahme, Zurigo 2000
7. Ordinanza del 1° luglio 1998 contro il deterioramento del suolo (O suolo), RS 814.12
8. Legge del 7 ottobre 1983 sulla protezione dell'ambiente (rev. luglio 1997), RS 814.01
9. UFAFP, Direttiva per il riciclaggio, il trattamento e il deposito di materiale di scavo (Direttiva sul materiale di scavo). Ambiente – Esecuzione, Berna 1999
10. UFAFP, Manuale: Prelievo e trattamento preliminare dei campioni per l'analisi del tenore di sostanze nocive nel suolo, Ambiente – Esecuzione, Berna 2003
11. FAL, IUL, RAC & FAW [Agroscope ART Reckenholz], Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Zurigo-Reckenholz 1997
12. H. Otto, Geotechnik für die Praxis, 4a ed. ampliata, Aarau 1990
13. Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, Interne Berichte zur Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (k_{sat}), Fachstelle Bodenschutz, Zürich, 1998, 1999, 2000
14. Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich, Fachberichte zur Messung von Bodenverdichtungen im Feld, Zurigo, 1997, 1998, 1999
15. 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

Illustrazioni

Fonte	Fig. n.
• 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

Distribuzione

UFCL
Distribuzione pubblicazioni
CH-3003 Berna
Internet:
<www.pubblicazionifederali.admin.ch>

Numeri di ordinazione

Tedesco: 319.775d
Francese: 319.775f
Italiano: 319.775i

Editore

Ufficio federale dell'ambiente,
delle foreste e del paesaggio (UFAFP)
CH-3003 Berna
<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