

GLI INDICATORI DI QUALITA' DEL SUOLO PER UNA CORRETTA GESTIONE

A cura di
Massimo Valagussa

Con la collaborazione di
Giovanni D'Angelo, Lucia Papponi, Alberto Tosca *
Raffaella Scaccabarozzi, Claudia Bernasconi **

Fondazione Minoprio *
Viale Raimondi, 54 – 22070 Vertemate con Minoprio
Tel.: 031900224 Fax: 031900248 – E-mail: mirtserv@fondazioneminoprio.it

MAC – Minoprio Analisi e Certificazioni S.r.l. **
Viale Raimondi, 54 – 22070 Vertemate con Minoprio
Tel.: 031887127 Fax: 031887834 – E-mail: maclab@tin.it

Il presente Quaderno continua la serie di pubblicazioni tecniche che da qualche anno Fondazione Minoprio, con la preziosa collaborazione di MAC Minoprio Analisi e Certificazioni, realizza nell'ambito delle attività di informazione finanziate dal Programma di Sviluppo Rurale della Regione Lombardia. Direzione Generale Agricoltura.

Nella presente pubblicazione si è deciso di trattare di un tema principe nel settore dell'agricoltura, dell'orticoltura, della frutticoltura, del verde ornamentale, paesaggistico e tecnico, del vivaismo: il suolo.

Il quaderno fornisce una ampia rassegna degli indicatori di qualità di un suolo, la cui conoscenza è fondamentale per una corretta gestione di questa risorsa non rinnovabile. Inoltre vengono fornite interessanti e complete tabelle interpretative dei parametri analitici misurabili.

Colgo l'occasione della presente pubblicazione per ringraziare Regione Lombardia, Direzione Generale Agricoltura, per l'affidamento a Fondazione Minoprio di questa importante attività di divulgazione tecnica, certi e desiderosi di una sua prosecuzione anche in futuro.

Franco Ezio Pallavicini
Presidente della Fondazione Minoprio

INDICE

| | |
|---|---------|
| Premessa | pag. 5 |
| L'importanza del suolo nei diversi campi di applicazione | pag. 7 |
| Gli indicatori di qualità dei suoli | pag. 19 |
| Caratteristiche fisiche | pag. 22 |
| Caratteristiche chimiche | pag. 43 |
| Caratteristiche biologiche | pag. 69 |
| Tabelle riassuntive di interpretazione principali parametri | pag. 85 |
| Principale bibliografia consultata | pag. 97 |

INDICATORI DI QUALITA' DEL SUOLO PER UNA CORRETTA GESTIONE

PREMESSA

Secondo la definizione della Soil Taxonomy (1999) il suolo è un corpo naturale presente sulla superficie della terra, formato da materiali solidi, liquidi e gas.

Il suolo è una risorsa non rinnovabile ed è tra le più importanti componenti geografiche di una regione.

Dagli inizi di questo secondo millennio il suolo riveste un ruolo fondamentale non solo in quanto fattore produttivo del settore primario (agricoltura), ma anche in qualità di componente imprescindibile per la "pianificazione e protezione del territorio e dell'ambiente", ovvero in tutte quelle attività di sostenibilità dell'impatto antropico.

Anche l'Europa da anni ha inserito tra le proprie priorità d'azione comunitaria quella della salvaguardia del suolo da problematiche urgenti quali l'erosione, la salinizzazione, la contaminazione da inquinanti, la perdita di sostanza organica e la perdita di biodiversità.

In particolare il tema della sostanza organica è di grande interesse: quasi il 50% dei suoli europei ne è carente, soprattutto nel sud dell'Europa, dove le pratiche agricole più accentuate e il clima ne favoriscono una più rapida mineralizzazione; suoli che, nelle discussioni sui cambiamenti climatici, entrano in gioco quali possibili serbatoi di stoccaggio a lungo termine di CO₂ in forma organica.

Tutti temi di estrema attualità, che riconoscono al suolo un ruolo centrale nella produzione di alimenti, oltre che nei primari cicli dell'acqua e dell'azoto (questi ultimi oggetto di recenti direttive europee e nazionali sui nitrati e la gestione dei reflui zootecnici).

Per tutti questi delicati aspetti il suolo oggi deve essere oggetto di valutazioni si differenziate, ma tra loro collegate e sinergiche.

I professionisti, i tecnici e gli operatori non più del solo settore agricolo e forestale, ma anche di quello paesaggistico, territoriale ed ambientale, la cui attività è divenuta strettamente correlata al suolo, hanno il dovere di salvaguardare questa risorsa quale garanzia per lo sviluppo sostenibile delle generazioni future.

Questa così ambita salvaguardia ambientale attraverso un uso razionale e sostenibile della risorsa suolo necessita però di una maggiore conoscenza della stessa.

Scopo del presente manuale è quello di descrivere tutti quegli indicatori delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dei suoli, il cui utilizzo porta a definirne la qualità, che ovviamente assume differenti significati in base ai diversi ambiti operativi; verranno inoltre fornite le indicazioni per le modalità di utilizzo, di misura e di interpretazione di questi indicatori, al fine di rendere questo manuale un adeguato e pratico strumento di lavoro per i professionisti ed operatori per una migliore comprensione e gestione della risorsa "suolo", in ogni suo possibile campo di applicazione.

L'IMPORTANZA DEL SUOLO NEI DIVERSI CAMPI DI APPLICAZIONE

Come già esposto in premessa, il suolo riveste un significato importante in diversi ambiti operativi e gestionali, con risvolti ed interessi che si diversificano relativamente alle differenti applicazioni di utilizzo.

La valutazione dei suoli può essere intesa come un sistema di valutazione dell'uso ottimale o di eventuali limitazioni ad usi più o meno specifici.

Benché la valutazione del suolo abbia come fondamento unificante la conoscenza dello stesso, ovvero delle sue proprietà, le metodologie di valutazione possono avere una serie infinita di variazioni, secondo il contesto applicativo in cui vengono realizzate. La valutazione della prestazione di un suolo in una determinata area geografica più o meno vasta è presente, anche inconsapevolmente, in ogni processo di pianificazione delle attività che si svolgono o che si intendono attuare.

Le varie finalità determinano il focalizzarsi dell'attenzione su aspetti diversi di valutazione.

Da un punto di vista operativo la struttura fondamentale di un procedimento di valutazione dei suoli può essere così schematizzata:

- o identificazione degli utenti (agricoltori, tecnici, consorzi, enti pubblici)
- o individuazione dell'area geografica oggetto di valutazione
- o definizione dell'uso del suolo nell'area oggetto di valutazione, attuale o potenziale
- o definizione dei requisiti necessari per l'uso presente o previsto
- o individuazione del modello di valutazione (definizione degli indicatori da misurare e/o osservare)
- o esecuzione della valutazione, resoconto dei risultati e degli interventi da attuare considerando l'uso presente o previsto

Il modello di valutazione, ovvero la scelta degli indicatori di qualità del suolo, dipende pertanto sia dall'uso del suolo, sia dagli scopi finali.

A seguire un elenco dei principali e possibili settori coinvolti nella tematica suolo (differenti tipologie di uso del suolo), con una descrizione dell'interazione che ne emerge, al fine di definire quale livello di conoscenza occorre per una sua corretta gestione ed individuare gli adatti indicatori di qualità da utilizzare in fase di valutazione e studio.

AGRICOLTURA A PIENO CAMPO

In questa sede identifichiamo con il termine agricoltura a pieno campo la coltivazione delle colture cerealicole, foraggere, industriali, orticole effettuate a cielo aperto.

Da sempre l'agricoltura ha un ruolo primario nella gestione della risorsa suolo e non sempre questa facoltà è stata esercitata nel migliore dei modi.

Già ai tempi degli antichi l'uomo osservava e studiava il suolo per cercare di comprendere le relazioni esistenti tra le caratteristiche dello stesso e le produzioni ottenute, capendo fin da subito la necessità e la convenienza di mantenere fertili i terreni coltivati. Da qui l'introduzione delle prime pratiche agricole, quali le rotazioni colturali (Africa), l'uso dei rifiuti organici (umani e non) come fertilizzanti (Romani), il sovescio e la coltivazione di leguminose in grado di arricchire il terreno in azoto.

All'inizio del XVII secolo cominciarono i primi veri studi sugli elementi minerali nei vegetali, per giungere a Von Liebig, fondatore della chimica agraria nel XIX secolo ed all'uso dei primi concimi chimici di sintesi nel XX secolo.

Con l'avvento e lo sviluppo della meccanizzazione, nasce inoltre la necessità di costituire grandi aziende, sempre più strutturate e specializzate, che spinge i produttori alla massimizzazione del profitto attraverso una specializzazione produttiva (monocolture e allevamenti industriali).

E' proprio con la specializzazione agricola che nascono i primi problemi di gestione del suolo.

Con la monocoltura non si specializza solo il produttore, ma anche le avversità

delle colture (infestanti e patologie biotiche), aspetto che costringe ad incrementare l'utilizzo dei fitofarmaci, con risvolti negativi sull'inquinamento e sulla vita microbica nei suoli; inoltre la nascita di aziende senza allevamenti porta ad un rapido declino della sostanza organica nel suolo.



Nella zootecnia l'approccio industriale porta ad un radicale cambiamento nelle modalità di gestione degli allevamenti, spesso senza terra, con produzione di reflui che nulla più hanno a che vedere con il rinomato "letame" (principale dei fertilizzanti), trattandosi di liquami e/o liquiletami, con annesse problematiche di inquinamento del suolo e delle falde acquifere (unitamente all'utilizzo dei fanghi di depurazione), aspetto ancora oggi non completamente risolto (problematica nitrati).

A queste modalità di sviluppo si contrappongono negli ultimi decenni filosofie produttive completamente opposte che portano alla nascita e allo sviluppo dell'agricoltura integrata, organica (biologica) e biodinamica, ponendo

l'attenzione non tanto sulla quantità prodotte, quanto sulla qualità e sostenibilità ambientale dei processi produttivi.

Infine l'ultimo avvenimento di rilievo che può realmente trasformare (che non è sinonimo di migliorare) l'uso del suolo: l'avvento delle agro-energie, ovvero delle aziende agricole che sempre più si spingono alla produzione di energia rinnovabile, con un serio rischio di sottrazione di ampie superfici di terreno vocate alla produzione di alimenti e di un ritorno/ampliamento alla monocoltura specializzata.

Le proprietà del suolo che maggiormente hanno interessato gli operatori di questo settore riguardano la tessitura del suolo - in relazione alla sua lavorabilità e finezza (intesa come assenza di scheletro) - e la fertilità chimica, il tutto confinato negli strati più o meno superficiali (0-30/50 cm).

In questo ambito operativo il terreno viene lavorato con elevata frequenza, anche 2-3 volte all'anno (ultimamente però la tecnica della minima lavorazione comincia ad essere utilizzata), con conseguente minor attenzione alle proprietà e capacità strutturali del terreno e maggior facilità di interrimento di fertilizzanti nel suolo.

FRUTTICOLTURA, VITICOLTURA, FRUTTIFERI MINORI

Questo settore comprende tutte le coltivazioni delle piante arboree (pomacee, drupacee, agrumi, frutta secca, olivo, castagno, actinidia, kaki, vite) ed arbustive (frutti minori) che producono frutti.

Gran parte di quanto esposto nel paragrafo precedente trova riscontro anche in questo specifico settore, in particolare il tema della fertilità del suolo, della specializzazione colturale, della ricerca di alternative produzioni sostenibili (integrate, biologiche, biodinamiche) e di prodotti di qualità (marchi, certificazioni, tipicità, più o meno normati).



Rispetto alle grandi colture a pieno campo, in questo specifico settore l'interesse alla componente suolo ha sempre avuto risvolti leggermente differenti: conoscenza delle proprietà del suolo anche a maggiori profondità (per ovvie ragioni legate ad un maggior sviluppo radicale), con una maggiore attenzione alle proprietà strutturali ed una minor preoccupazione in termini di finezza e lavorabilità.

COLTURE LEGNOSE

Questa definizione include tutte le colture forestali che hanno lo scopo di produrre legno (boschi cedui e arboreti specializzati).



In questo gruppo è possibile inserire quelle colture che, negli ultimi anni, stanno avendo un forte sviluppo all'interno del settore delle agro-energie, in primis la coltivazione del pioppo a regime breve (short rotation forestry), ovvero ad alta densità con tagli biennali.

Ad eccezione forse di questo ultimo esempio, l'approfondimento delle proprietà del suolo in queste colture è sempre stato limitato principalmente alle caratteristiche drenanti.

ORTICOLTURA PROTETTA

Il settore della coltivazione a terra in tunnel, anche a fronte delle forti e specifiche richieste di mercato si è particolarmente sviluppato , ma significative sono anche le problematiche che lo accompagnano.



I cicli colturali sono continui e molto spinti, manca spesso la possibilità di effettuare la tecnica di adeguate pratiche agronomiche quali la rotazione, l'irrigazione è controllata, la fertilizzazione molto spinta per massimizzare le produzioni e la specializzazione delle avversità biotiche elevata.

Il suolo è alquanto sfruttato e le principali problematiche che accompagnano questo settore sono la salinizzazione del terreno (accumulo concimi per assenza di dilavamento, uso di acque irrigue di non elevata qualità) e la povertà microbica dello stesso (sterilità/stanchezza) quale conseguenza degli interventi di disinfestazione (ad esempio attraverso la tecnica della

fumigazione chimica) spesso effettuati per controllare patogeni ed erbe infestanti.

La finezza e lavorabilità del terreno è proprietà alquanto ricercata, come pure la fertilità chimica.

VIVAISMO

Tralasciando le coltivazioni vivaistiche in contenitore, in questa sede con vivaismo identifichiamo quella specifica attività di coltivazione ed allevamento in campo di specie ornamentali e forestali la cui destinazione finale è il trapianto.

L'attività porta ad un elevato consumo di suolo dell'area di allevamento/coltivazione, in quanto con il trapianto l'essenza vegetale viene allontanata dal sito insieme ad un apparato radicale protetto dall'originale pane di terra (eccezion fatta per le specie frutticole, generalmente trapiantate a radice nuda).

Le esigenze degli operatori di questo settore rispetto alla risorsa suolo sono diverse: in genere un'analisi approfondita delle principali caratteristiche fisiche (tessitura e profondità) e chimiche (reazione e dotazione macroelementi minerali) viene eseguita preliminarmente al fine di individuare quali specie risultano maggiormente adatte al sito di coltivazione; successivamente, causa il susseguirsi dell'asportazione di suolo, risultano necessari ammendamenti organici e riporto di nuova terra di coltivazione.



VERDE ORNAMENTALE, PRIVATO E PUBBLICO, PAESAGGISMO, RECUPERO AMBIENTALE

I settori identificati in questo paragrafo abbracciano diversi ambiti operativi che spesso hanno obiettivi qualitativi assai differenti fra loro; le aree urbane e suburbane possono infatti essere utilizzate per giardini pubblici e privati, spazi ricreativi e sportivi, orti, agricoltura marginale, discariche e siti industriali. Sovente in queste situazioni non possiamo parlare di suolo naturale, ma di una mescolanza ed un riporto di materiale spesso estraneo al suolo, di origine antropica e spesso contaminato. Questo tipo di suolo si differenzia dagli altri tipi di suolo in quanto molto influenzato dalla componente umana; in riferimento a questa azione antropica è possibile affermare che questo tipo di suolo è l'ultimo stadio evolutivo (non in senso di migliorativo), partendo dal suolo naturale e passando per quello agricolo.



Se valutiamo il parametro profondità, è possibile affermare che mentre il suolo naturale presenta degli orizzonti verticali degradanti gradualmente o nettamente, i suoli urbani non possiedono un vero profilo pedologico: la variabilità verticale, ma anche orizzontale, è grandissima ed inclassificabile, proprio per il fatto che alla base della loro formazione non ci sono i processi naturali pedogenetici, bensì la semplice stratificazione più o meno casuale, di detriti, riporti, materiali edili (il tutto spesso erroneamente definito terra di coltura).

Inoltre la cinetica di trasformazione dei suoli in ambito urbano e suburbano è spesso più veloce e comunque differente da quella che si verifica in ambito

naturale, causa le diverse attività antropiche, più o meno legate al settore del verde: scavi, costruzioni, riporti di macerie, di top-soil, movimentazioni e manutenzioni.

Se a questi aspetti si aggiunge il fatto che sovente gli operatori della progettazione e realizzazione di aree verdi dedicano molta poca attenzione al suolo che hanno a disposizione, anche a fronte di progetti molto dettagliati, si arriva a comprendere quanto difficile sia ottenere risultati soddisfacenti.

Così in ambito privato, ma non solo, si assiste spesso ad un esborso economico non indifferente per l'acquisto di essenze arboree o "prati pronti" senza una minima conoscenza di base dei luoghi di impianto al fine di prevenire eventuali problematiche di attecchimento.

Nel settore del verde ornamentale pubblico le attenzioni dovrebbero essere ancora maggiori: spesso i siti di impianto presentano pesanti vincoli (spazi insufficienti) per i quali la scelta di un idoneo suolo colturale (substrato) diventa fattore principale all'ottenimento degli obiettivi prefissati.

Diversamente, in ambito paesaggistico e di recupero ambientale, la massima rinaturalizzazione delle aree quale obiettivo principale necessita di una valutazione dei suoli diversificata, che entri maggiormente nel merito della sostenibilità ambientale (incremento della sostanza organica, stoccaggio della CO₂, contenimento dei fenomeni erosivi, salvaguardia della biodiversità), che non nella qualità e produttività degli impianti.

VERDE SPORTIVO E VERDE TECNICO

I settori indicati in questo paragrafo risultano un po' ai margini della tematica suolo, visto che questa componente è di norma poco presente negli strati superficiali. Tuttavia la fruibilità, la valenza paesaggistica di queste aree e l'impatto che hanno sul sottosuolo e/o sulle falde acquifere ne fanno un settore che non può esimersi da una valutazione dei materiali utilizzati. Se immediato è il significato del verde sportivo (campi da calcio professionali e non, campi da

golf, ippodromi...), per verde tecnico occorre specificare cosa si intende in questa sede.



Le coperture a verde (tetti, parcheggi interrati ed altre strutture sotterranee) stanno suscitando sempre maggiore interesse fra gli operatori ambientali di diversi settori, dagli agronomi-forestali con competenze nel verde urbano e paesaggistico, agli ingegneri-architetti progettisti di edifici e accessori, questo anche alla luce delle recenti normative e/o prescrizioni in termini di risparmio energetico degli edifici e di superfici permeabili in ambiente urbano. In questi ambiti il suolo naturale difficilmente è perfettamente compatibile con le esigenze delle essenze vegetali utilizzate; pertanto le soluzioni portano alla realizzazione di substrati specifici (con o senza una componente di suolo) le cui caratteristiche necessitano di approfondimenti specifici, tra i quali le proprietà fisico-idrauliche.

GLI INDICATORI DI QUALITÀ DEI SUOLI

Gli indicatori possono essere generalmente definiti strumenti in grado di rappresentare, a differenti livelli di approssimazione, particolari condizioni di quanto si vuole valutare. Per gli obiettivi di valutazione spesso non è sufficiente un solo indicatore, ma più indicatori devono essere utilizzati.

Un valido indicatore deve essere rappresentativo, accessibile, affidabile, utilizzabile, ovvero, da un punto di vista analitico deve essere fondato in termini tecnici e scientifici, si deve basare su standard riconosciuti a livello nazionale e/o internazionale e deve essere facilmente misurabile.

Spesso la terminologia viene utilizzata impropriamente, pertanto occorre fare chiarezza sul significato di alcune parole utilizzate, nello specifico parametro, indice ed indicatore; talvolta uno stesso elemento può essere, in funzione di diverse situazioni, parametro, indice o indicatore. Di seguito le definizioni OCSE (OECD, 1993).

Un parametro è una proprietà che si misura o si osserva: il contenuto di carbonio organico nel suolo è il parametro che identifica la dotazione di sostanza organica dello stesso.

Un indicatore è un parametro, o valore da esso derivato, dal quale è possibile ricavare informazioni circa lo stato di un fenomeno: ad esempio la sostanza organica nel suolo, ricavata dal dato misurato di carbonio organico, può essere un indicatore di qualità del suolo, del suo livello di fertilità.

Un indice è un insieme delle informazioni che si ricavano dai parametri o indicatori aggregati: la diminuzione della dotazione di sostanza organica può essere un indice di depauperamento della frazione umica del suolo, ovvero indicatore di perdita di fertilità.

Fatta un po' di chiarezza linguistica, occorre ora approfondire il significato di un altro termine: qualità del suolo. Molte sono le definizioni che circolano, tutte

più o meno valide. Tra le più complete si può citare quella di Doran e Parkin (1994): capacità del suolo di interagire con l'ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute animale e vegetale. Tuttavia, quando si parla di qualità del suolo molto dipende dall'ambito in cui ci si trova; pertanto per un agricoltore la qualità della sua terra potrebbe essere tradotta in potenzialità produttiva (fertilità), mentre se si parla di tutela ambientale ci si può riferire alla capacità del suolo di attenuare le contaminazioni ambientali, salvaguardare la salute delle piante, degli animali e degli uomini. Possiamo riassumere molto semplicemente che la qualità del suolo ricopre molti aspetti: produzione di fibre alimentari, supporto per la crescita delle piante, filtro per l'acqua e gli inquinanti, funzionalità dell'ecosistema, degradazione degli inquinanti organici. La qualità del suolo varia al variare della sua funzionalità specifica e non sempre è sinonimo di fertilità, termine utilizzato nel settore agricolo.

Da quanto esposto emerge la complessità del tema affrontato, una volta definiti gli obiettivi di qualità è infatti necessario individuare i parametri/indicatori che permettano di rilevare indici di tendenza della qualità del nostro suolo.

Al fine di agevolare la questione ed affrontare la tematica, possiamo procedere cominciando a suddividere i parametri utilizzabili, proposti in questa sede, in parametri fisici, chimici e biologici, non escludendo, bensì valorizzando, una eventuale integrazione fra gli stessi.

Questa suddivisione nasce dal semplice concetto che il suolo è un ambiente trifasico nel quale le tre componenti (fase solida, liquida e gassosa) interagiscono e sono fra di loro dipendenti l'una dalle altre. Le caratteristiche fisiche del suolo influenzano la tipologia ed attività microbica in esso presente, con risvolti sui processi bio-chimici (tra l'altro influenzati dalla natura fisica del

suolo stesso). Il sistema è alquanto complesso ed in continua evoluzione (variazioni a breve, medio e lungo termine) ed il monitoraggio di quanto avviene risulta significativo per la comprensione e l'uso della risorsa nei diversi ambiti operativi descritti nei capitoli precedenti.

La seguente descrizione dei singoli parametri proposti - utilizzabili nei diversi settori operativi sino ad ora individuati - contempla anche concetti interpretativi ed operativi, successivamente riassunti in tabelle finali tra loro differenziate per ambito operativo.

Un ultimo capitolo riguarderà l'attività di campionamento, che deve essere considerata come l'inizio reale delle attività di analisi e necessita pertanto di procedure standardizzate.

CARATTERISTICHE FISICHE

Il suolo, come già detto, è costituito da una fase solida (sostanze minerali e sostanze organiche), una fase liquida (acqua ed elementi disciolti), una fase gassosa (atmosfera del terreno).

Generalmente la frazione minerale risulta essere pari al 95-98% del peso secco del terreno, mentre in volume, in condizioni di campo, rappresenta il 40-60% del totale.

La fase solida funge da supporto per tutti i processi fisico-chimici e biologici che avvengono nel suolo.

I componenti minerali della fase solida sono generalmente raggruppati, in base alle loro dimensioni, in 4 gruppi principali: scheletro, sabbia, limo e argilla. Per dimensione si intende il diametro delle singole particelle, considerandole idealmente sferiche. E' possibile inoltre suddividere ulteriormente le classi indicate, individuando diverse frazioni granulometriche di scheletro, sabbia e limo. La frazione di particelle con dimensione inferiore a 2 mm viene definita terra fine.

Le singole particelle di terra fine si aggregano fra di loro a formare complessi argillo-umici che impartiscono al suolo una struttura, condizionandone le caratteristiche di porosità e quindi di aerazione (macroporosità) e di ritenzione idrica (microporosità).

Queste caratteristiche influenzano l'ambiente fisico in cui si sviluppano i vegetali, le attività biologiche e i processi connessi alla disponibilità di elementi minerali (trasporto, immobilizzazione, assorbimento).

Tessitura

La determinazione della **tessitura** permette di definire la composizione granulometrica della frazione solida minerale e, quindi, la percentuale di presenza di scheletro e terra fine (sabbia, limo ed argilla).

Lo scheletro è rappresentato da particelle di dimensioni grossolane e superiori a 2 mm di diametro.

Anche la frazione composta dallo scheletro può essere ulteriormente suddivisa in classi granulometriche; tuttavia, mancando definizioni standard delle diverse frazioni setacciabili, è possibile attribuire in forma generica le seguenti nomenclature: pietre le frazioni superiori a 100 mm, sassi o ciottoli quelle comprese fra 100 e 20 mm, ghiaia per la frazione compresa fra 2 e 20 mm. Classificazioni più elaborate, con varianti sui limiti dimensionali, sono riportate nello schema seguente:

Classificazione scheletro

| | |
|---------------|--------------|
| ghiaia fine | Ø 2-5 mm |
| ghiaia media | Ø 5-20 mm |
| ghiaia grossa | Ø 20-75 mm |
| ciottoli | Ø 75-250 mm |
| pietre | Ø 250-600 mm |
| massi | Ø > 600 mm |

Come è possibile constatare, manca ad oggi una uniformità di definizione standard delle diverse frazioni. Un'alta percentuale di scheletro può rendere eccessivamente drenante un terreno e quindi creare problemi di disponibilità idrica per i vegetali in esso coltivati. Inoltre piogge ed irrigazioni tendono a trascinare verso il basso la terra fine riducendo così lo strato di terreno fertile superficiale in cui vivono le radici. Elevate percentuali di scheletro influiscono negativamente anche sulle lavorazioni meccaniche del suolo e rendono difficoltosa la preparazione di letti di semina (settore orticolo ed ornamentale). Qualora poi lo stesso risultasse costituito da rocce calcaree influenzerebbe la reazione del terreno e potrebbe, nel tempo, depositare uno strato di calcare compatto ed impermeabile. La maggior aerazione con elevata presenza di

scheletro comporta un rapido decremento della sostanza organica (spinta mineralizzazione).

In genere si ritiene che quantità di scheletro fino a 150 g/kg in peso sul totale della frazione solida non siano in grado di creare particolari problemi in coltivazione.

La terra fine può presentare percentuali differenti di sabbia, limo e argilla, dando luogo così a diverse classi di tessitura (definite solo per la terra fine, indipendentemente dalla quantità di scheletro presente). In genere sono due i metodi di classificazione maggiormente utilizzati per il suolo in base ai dati di tessitura, metodi che variano in relazione all'intervallo dimensionale attribuito alla frazione denominata limo.

Classificazione USDA

(Dipartimento per l'Agricoltura degli Stati Uniti)

| | |
|---------|---|
| sabbia | particelle di diametro compreso fra 2 e 0,05 mm |
| limo | particelle di diametro compreso fra 0,05 e 0,002 mm |
| argilla | particelle di diametro inferiore a 0,002 mm. |

Classificazione ISSS

(Società Internazionale di Scienza del Suolo)

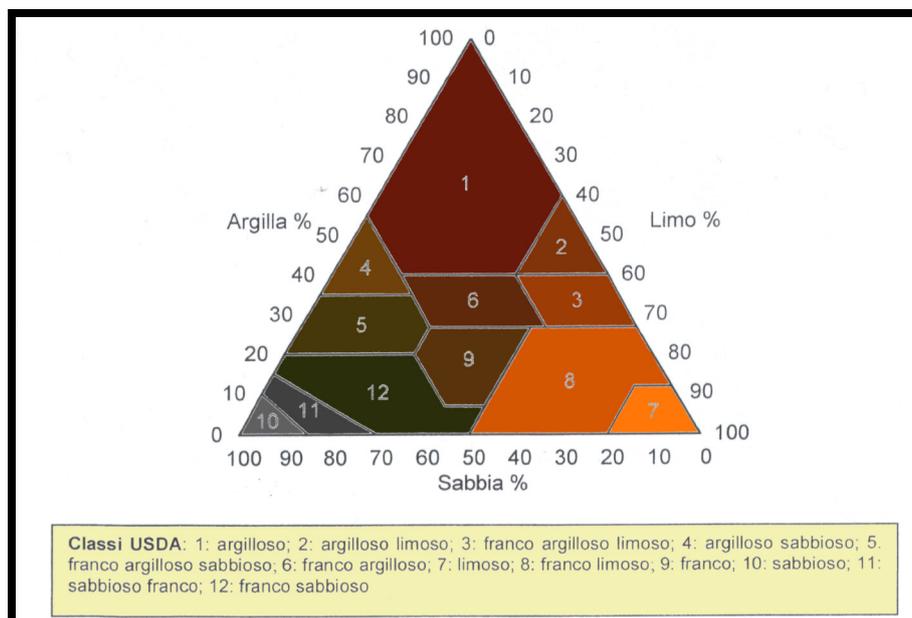
| | |
|---------|---|
| sabbia | particelle di diametro compreso fra 2 e 0,02 mm |
| limo | particelle di diametro compreso fra 0,02 e 0,002 mm |
| argilla | particelle di diametro inferiore a 0,002 mm |

Altra tipologia di classificazione di un certo interesse è quella dell'ASTM (American Society for Testing and Materials), utilizzata specificatamente per la classificazione delle sabbie e dei top-soil ad uso sportivo.

La determinazione della granulometria della terra fine viene effettuata in laboratorio mediante tecnica per setacciatura ad umido e sedimentazione (pipetta) o per setacciatura ad umido e misura della densità (idrometro); sulle sabbie ad uso sportivo si utilizza il metodo della setacciatura a secco.

La tessitura determinata in laboratorio fornisce il rapporto percentuale di sabbia, limo ed argilla, con possibilità di suddivisione ulteriore per le frazioni di sabbia e limo; utilizzando una delle metodiche di classificazione a disposizione (ISSS o USDA) si è in grado di classificare il terreno secondo un apposito diagramma, utilizzando una nomenclatura sufficientemente standardizzata. Si riporta di seguito il diagramma per l'identificazione delle diverse classi di tessitura secondo USDA. Sulla base della classe attribuita al suolo e in considerazione di quanto precedentemente esposto, risulterà possibile ottenere indicazioni importanti al fine di effettuare scelte agronomiche adeguate, come di seguito potremo vedere.

Il triangolo della tessitura (USDA)



La sabbia, viste le dimensioni relativamente grossolane, possiede scarsa influenza diretta sui fenomeni fisici e chimici del suolo, ma condiziona sensibilmente la fertilità agronomica dello stesso.

La sabbia aumenta la porosità del terreno, soprattutto la macroporosità, rendendolo aerato e creando un ambiente ossidante. In queste condizioni si ha una rapida mineralizzazione della sostanza organica, tanto che i terreni sabbiosi, se non adeguatamente ammendati, risultano generalmente poveri di questa componente. La rapidità di mineralizzazione della sostanza organica nei terreni sabbiosi suggerisce un utilizzo di ammendanti organici con rapporto C/N elevato e quindi di più lenta degradazione. L'elevata ossigenazione di questi suoli provoca l'ossidazione dei microelementi, rendendoli meno disponibili all'assorbimento radicale.

Terreni sabbiosi presentano scarsa ritenzione idrica e quindi richiedono frequenti interventi irrigui a volumi d'acqua ridotti (bassa capacità di campo). L'eccessiva capacità drenante può provocare il dilavamento di elementi minerali solubili, in particolare azoto, ma anche potassio. Per i motivi sopra

esposti, eventuali interventi di concimazione devono prevedere dosi ridotte e frazionate per evitare dilavamento e/o insorgere di salinità.

Per contro, elevate percentuali di sabbia rendono il terreno più facilmente lavorabile ("leggero") e permettono un più rapido riscaldamento, rendendolo adatto alle coltivazioni precoci.

L'argilla presenta caratteristiche e proprietà contrarie a quelle precedentemente evidenziate per la sabbia ed è la componente minerale più importante del terreno. Essa assume la configurazione di un colloide non solubile in acqua in grado di legare elettricamente cationi liberi presenti nel terreno, in particolare idrogeno, calcio, magnesio, potassio, sodio e alluminio. La capacità dell'argilla di legare gli elementi minerali utilizzati dalle piante permette di ridurre notevolmente i fenomeni di dilavamento causati dalle piogge e dalle irrigazioni e, grazie ai continui fenomeni di scambio di elementi con la soluzione circolante del suolo (fase liquida), funge da sito di riserva "nutritiva" per i vegetali. L'argilla, insieme alla sostanza organica, è la componente che influenza maggiormente la capacità di scambio cationico di un terreno (CSC), parametro chimico di fondamentale importanza che verrà trattato nei successivi capitoli.

Le argille possiedono inoltre elevata capacità di ritenzione idrica e, conseguentemente, difficoltà a riscaldarsi in primavera. Terreni argillosi riducono la mobilità di fosforo e potassio.

Terreni argillosi risultano più difficilmente lavorabili ("pesanti") e la forte ritenzione idrica può ridurre l'ossigenazione del terreno e, conseguentemente, la mineralizzazione della sostanza organica. Tuttavia terreni argillosi ben strutturati (formazione di grumi) permettono una migliore distribuzione di macro e microporosità. La creazione di una struttura glomerulare è favorita dalla particolare presenza sui colloidi di calcio e magnesio, in grado di trattenere maggiori quantità di molecole di acqua e quindi di mantenere i colloidi in flocculazione; al contrario, una maggiore presenza di potassio e

sodio (elementi che trattengono minori quantità di molecole di acqua) provocano la peptizzazione delle argille, ovvero il loro "spappolamento" per la presenza di eccessive quantità di molecole di acqua libere, con conseguente riduzione della macro porosità e rischi di compattamento del terreno.

Il compattamento del terreno provoca conseguenze agronomiche di particolare complicità: l'ambiente asfittico che si viene a creare risulta negativo per l'attività radicale delle piante coltivate ed inoltre provoca una sostituzione della microflora e microfauna aerobica con quella anaerobica. Questo aspetto influisce sulla mineralizzazione della sostanza organica, la quale non viene ossidata bensì ridotta, con formazione di composti organici idrogenati ad alto rischio di fitotossicità ed innalzamento dei valori di pH. Inoltre la compattazione crea ristagni idrici, asfissia radicale e insorgere di problemi patologici.

Il pericolo di peptizzazione delle argille aumenta quando la percentuale di sodio scambiabile sul complesso di scambio (ESP) raggiunge valori del 6-7% e comunque all'aumentare delle percentuali di argilla e sodio. Il calcio ha la capacità di contrastare l'azione del sodio, grazie alla proprietà dell'elemento di attrarre acqua intorno a sé (da qui le pratiche di ammendamento tramite solfato di calcio o con sostanza organica molto umificata, che ha la capacità di agglomerare l'argilla).

Il limo presenta dimensioni e comportamenti chimico-fisico e meccanico intermedi rispetto a sabbia ed argilla. Un contenuto limitato di limo (fino a 300 g/kg) rende soffice il terreno, ma dotazioni maggiori, soprattutto in concomitanza con valori elevati di argilla, provocano intasamento delle particelle glomerulari argillose e riduzione dell'ossigenazione del terreno; il limo ha scarsa tendenza ad aggregarsi e pertanto tende a restare allo stato disgregato (particelle libere ed isolate).

Lo stato di aggregazione delle particelle può essere determinato in laboratorio mediante la tecnica del setacciamento in acqua.

Tuttavia l'informazione granulometrica non è di per sé sufficiente per valutare le proprietà fisiche di un suolo in determinate e specifiche condizioni; occorrerebbe avere informazioni sullo stato di aggregazione (determinabile in laboratorio mediante tecnica del setacciamento in acqua), ovvero sulla struttura assunta dal terreno in campo.

Porosità

La porosità risulta determinante per valutare le condizioni strutturali del suolo e conseguentemente i movimenti dell'acqua, dell'aria, la crescita delle radici e l'attività microbiologica.

La struttura del terreno è data dalla combinazione di differenti tipi di pori con le particelle solide ed influisce direttamente sullo sviluppo delle essenze vegetali in quanto condiziona lo sviluppo radicale, i movimenti dell'acqua, dell'aria, degli elementi minerali e dei microrganismi. È una proprietà fondamentale, poco studiata e monitorata, e la porosità (morfologia, dimensione, continuità) ne è l'indicatore principale.

I pori possono essere classificati, in base alla loro forma, in pori regolari, irregolari e allungati.

I pori regolari (rotondeggianti) possono essere di due tipi:

- o pori sferici, quando formati da bolle d'aria rimaste intrappolate durante i fenomeni di inumidimento e essiccamento;
- o canalicoli, ovvero formati dall'attività biologica (movimenti fauna terricola e crescita radici).

I pori irregolari sono le comuni cavità del terreno a pareti irregolari e possono essere isolati o interconnessi fra loro. In ultimo, i pori allungati si distinguono in crepe e fessure sottili. Le prime, visibili sulla superficie del terreno, si ritrovano in suoli argillosi poveri in sostanza organica. Le fessure sottili sono invece quelle che rivestono una grande importanza agronomica, in quanto sono i pori di trasmissione. La presenza di almeno il 10% della porosità totale

rappresentata da questa tipologia di pori garantisce una struttura poliedrica e di buona qualità. Per essere efficaci essi devono però essere distribuiti uniformemente nel suolo; inoltre anche l'orientamento dei pori allungati agisce su alcune proprietà fisiche del terreno (ad esempio l'infiltrazione dell'acqua). Altra caratteristica importante per i pori allungati è l'irregolarità e tortuosità, aspetto che influisce sulla crescita radicale e sui movimenti dell'acqua.

Nella seguente tabella si riporta una classificazione funzionale dei pori presenti nel terreno in relazione alle loro dimensioni.

Classificazione funzionale dei pori in relazione alla dimensione

| diametro pori | funzione |
|---------------|--|
| < 0,5 µm | presenza di acqua igroscopica difficilmente utilizzabile dalle piante – punto di appassimento |
| 0,5 – 50 µm | presenza di acqua disponibile per le piante – capacità di campo |
| 50-500 µm | consentono i movimenti di acqua e aria, lo sviluppo radicale e garantiscono buone condizioni strutturali |
| > 500 µm | favoriscono l'aerazione, il drenaggio, la penetrazione delle radici principali: un eccesso di questi pori può essere indicatore di scarse condizioni strutturali |

Per la determinazione delle caratteristiche dei pori precedentemente esposte sono necessarie tecniche particolari non di routine, nello specifico la micromorfologia mediante l'uso degli analizzatori di immagini (metodo micromorfometrico). Ottenendo dati con queste modalità è possibile classificare il suolo come segue:

Classificazione del suolo in base alla porosità

| porosità totale (v/v) | Conseguenza |
|-----------------------|----------------------------|
| < 5% | suolo molto compatto |
| 5-10% | suolo compatto |
| 10-25% | suolo moderatamente poroso |
| 25-40% | suolo poroso |
| > 40% | suolo molto poroso |

La porosità totale in laboratorio può essere più semplicemente determinata attraverso la misura della massa volumica apparente (densità apparente = peso dell'unità di volume di un terreno comprendente anche gli spazi vuoti), prelevando campioni di suolo indisturbato, e rapportandola con la densità reale (densità reale = peso delle particelle solide di suolo per unità di volume), determinata con il picnometro. Questo metodo fornisce un valore generico di porosità totale, non di tipo qualitativo (tipologia e distribuzione dei pori presenti), bensì orientativo.

La densità reale di un suolo è convenzionalmente valutata pari a $2,65 \text{ t/m}^3$, mentre la densità apparente può variare in funzione della tessitura e struttura fra $1,3$ e $1,7 \text{ t/m}^3$ (più leggeri i suoli argillosi, più pesanti quelli sabbiosi), raggiungendo valori anche inferiori a 1 per i terreni organici.

In genere valori di porosità totale inferiori al 25% possono già segnalare problemi di compattamento; condizioni ottimali si hanno quando la porosità totale non risulta inferiore al 40% del volume di suolo, equamente suddivisa in micro e macroporosità. La porosità di un suolo dipende dalla tessitura, dalla dotazione in sostanza organica, dall'uso agronomico (coltivazioni che prevedono aratura a versoio e/o fresatura, coltivazioni intensive e utilizzo di macchine agricole pesanti).

L'acqua nel suolo

Come visto le caratteristiche fisiche del terreno svolgono un ruolo determinante sul rapporto fase liquida e fase solida.

Il complesso terreno-pianta-atmosfera è un sistema continuo all'interno del quale l'acqua si muove per gradiente di potenziale, ovvero da un punto in cui il potenziale idrico è maggiore ad uno inferiore. Il potenziale idrico è l'energia potenziale dell'acqua per unità di massa e indica il lavoro necessario per estrarre una quantità unitaria di acqua da un sistema. Il potenziale idrico in un

sistema è generalmente negativo, considerando come punto di riferimento il potenziale idrico dell'acqua libera che è pari a zero.

Risulta così che in un terreno saturo d'acqua il potenziale idrico è praticamente uguale a zero, mentre in un terreno con scarsa riserva idrica esso è negativo, ovvero occorre compiere un lavoro per sottrarla; l'atmosfera presenta un potenziale idrico molto negativo.

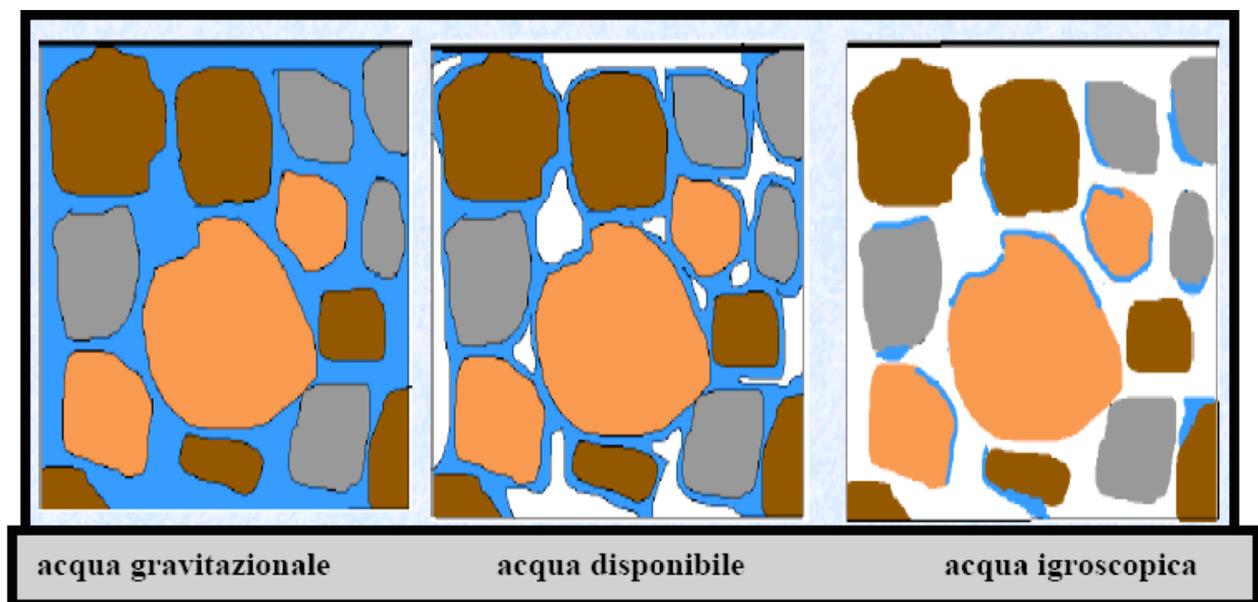
Quando un terreno si satura di acqua (ad esempio dopo un evento piovoso di una certa consistenza) il primo fenomeno che avviene è quello della percolazione dell'acqua gravitazionale (quella presente nei macropori): questa quota di acqua non è disponibile per le radici delle piante. Al contrario l'acqua presente nei micropori viene trattenuta dalle particelle di terreno per il fenomeno della capillarità; questa quota di acqua viene assorbita dalle radici con una certa facilità, ma, al suo diminuire, il terreno la trattiene con maggior forza, rendendola alla fine indisponibile per le piante. Pertanto nei terreni saturi il potenziale idrico dell'acqua è uguale a zero e tende a diventare sempre più negativo con il diminuire della disponibilità di acqua nel suolo. Il potenziale idrico viene generalmente misurato in bar o millibar (unità di pressione); nel suolo si usa esprimerlo mediante il pF, ovvero il logaritmo decimale del valore assoluto del potenziale idrico espresso in millibar (per esempio - 100 millibar sono uguali a pF 2, - 1000 millibar uguali a pF 3).

In base alla capacità di utilizzo dell'acqua presente nel suolo da parte degli apparati radicali delle specie vegetali, si identificano tre distinti livelli idrici: saturazione idrica (pF=0), capacità di campo (pF=2-2,5), punto di appassimento (pF=4,2).

Alla saturazione idrica gli spazi vuoti del suolo risultano completamente saturi di acqua e si verifica il fenomeno della percolazione; terminata questa fase il terreno si trova alla capacità di campo, ovvero al punto in cui l'acqua presente viene facilmente assorbita dalle radici. Come detto, non tutta l'acqua presente

alla capacità di campo è sfruttabile dalle piante coltivate, in quanto, man mano che il contenuto di acqua diminuisce, si raggiunge il punto in cui la forza di trattenuta del terreno è maggiore della forza di suzione delle radici: è raggiunto il punto di appassimento. La differenza tra l'acqua contenuta nel terreno alla capacità di campo e quella contenuta al punto di appassimento viene definita acqua disponibile o facilmente utilizzabile.

Porosità e acqua nel suolo



Semplificando è possibile identificare un rapporto fra il contenuto idrico nei tre livelli idrici indicati pari a 4:2:1; tuttavia il volume di acqua contenuto nel terreno nelle tre differenti fasi risulta dipendente dalla tessitura e struttura dello stesso. Nella seguente tabella si riportano, a titolo indicativo, valori medi del contenuto di acqua disponibile in suoli a differente tessitura (% sul volume del terreno) e ben strutturati.

Un aumento della componente argillosa, in terreni strutturati, determina il crescere del volume di acqua disponibile. Dalla tabella si intuisce inoltre come, in situazioni di carenza idrica, i terreni a tessitura grossolana necessitino di una minore quantità di acqua per raggiungere la capacità idrica di campo rispetto

ad un terreno argilloso; al contrario, alla massima capacità idrica di campo, nei terreni a tessitura fine si nota come sia maggiore la quantità di acqua disponibile per le piante.

Livelli idrici in diversi tipi di terreno

| parametro / tipo di terreno | argilloso | franco | sabbioso |
|----------------------------------|-----------|--------|----------|
| porosità (% v/v) | 50-65 | 40-55 | 30-45 |
| capacità idrica di campo (% v/v) | 35-45 | 25-35 | 10-20 |
| punto di appassimento (% v/v) | 15-25 | 10-20 | 5-10 |
| acqua utilizzabile (% v/v) | 15-20 | 10-15 | 5-8 |

Nella tabella seguente si evidenzia la riduzione della disponibilità idrica passando da un terreno strutturato ad uno destrutturato (dati sperimentali).

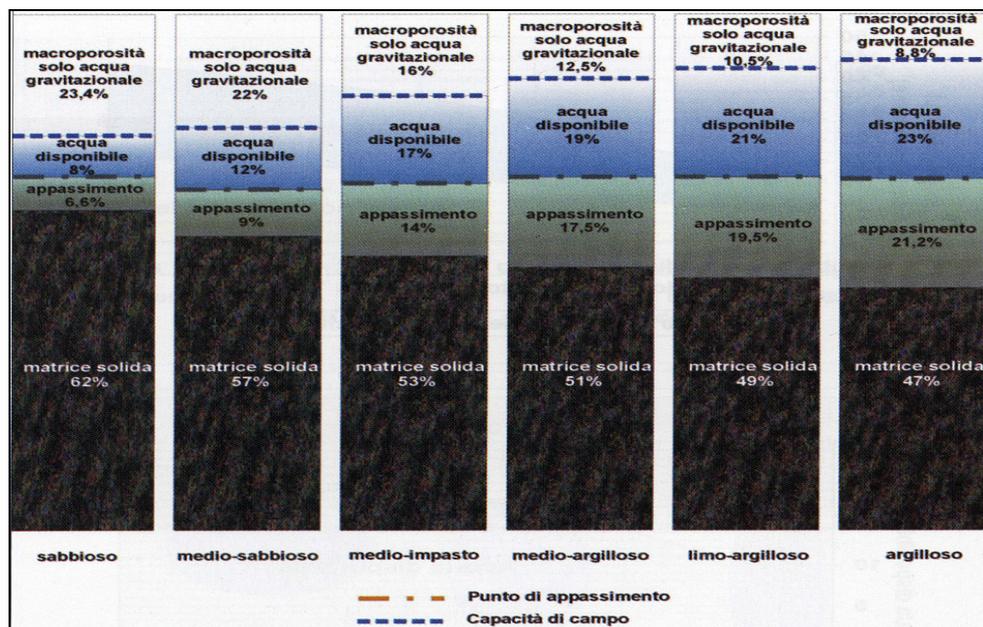
Riduzione di capacità di accumulo idrico in suoli destrutturati

| tipo terreno | capacità di accumulo idrico (profondità 1 metro) | | |
|------------------|--|---------------|-------------|
| | strutturato | destrutturato | riduzione % |
| sabbioso | 100 | 60 | 40 |
| franco-sabbioso | 150 | 90 | 40 |
| medio impasto | 200 | 140 | 30 |
| franco argilloso | 220 | 160 | 27 |
| argilloso | 250 | 200 | 25 |

Il grafico successivo, di più facile interpretazione, illustra nuovamente l'influenza che la tessitura riveste nei rapporti fra il terreno e l'acqua.

La capacità di accumulo viene espressa in questo caso come % in volume, ovvero, considerando una superficie di terreno per una determinata altezza otteniamo un ben preciso volume di terreno (metro cubo = m³): il dato in percentuale mi dice quanto di questo volume è occupato dall'acqua alle diverse costanti idriche (m³ o litri di acqua). Per motivi di praticità, il dato è spesso trasformato in un'altra unità di misura, ovvero in millimetro (mm), partendo dalla considerazione che 1 millimetro di acqua è pari ad un litro/m².

Rappresentazione grafica dei livelli idrici in diversi tipi di terreno

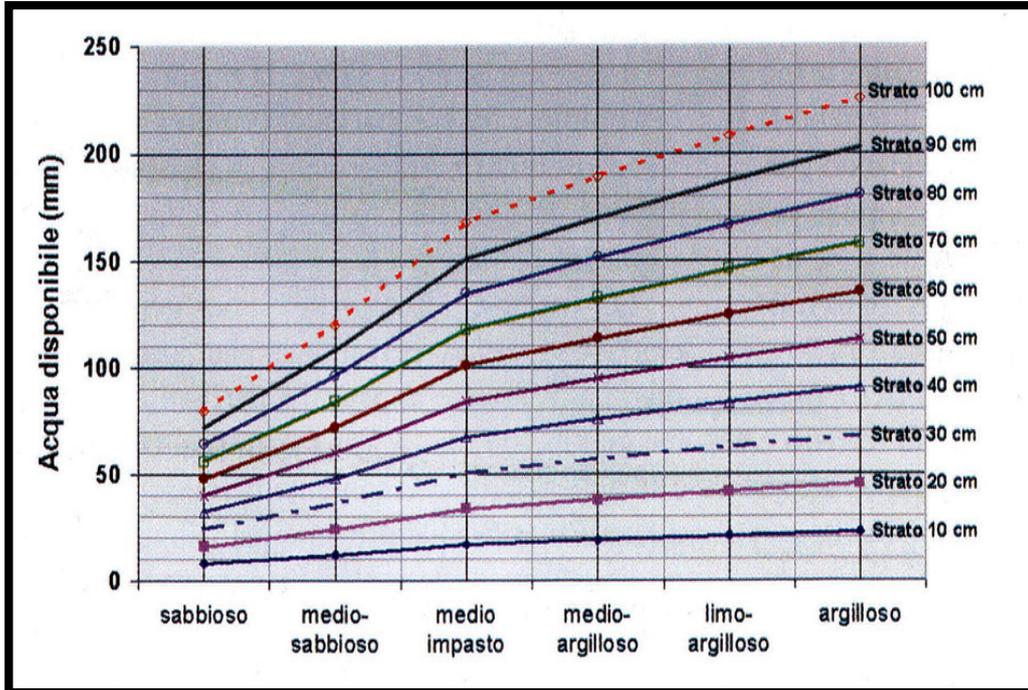


Fonte Quaderno Arsia 5/2004

Nell'ultimo grafico l'acqua disponibile per le piante (quella compresa fra la capacità di campo ed il punto di appassimento) viene per l'appunto espressa in millimetri di acqua (mm), fornendo dati di disponibilità idrica a diverse profondità.

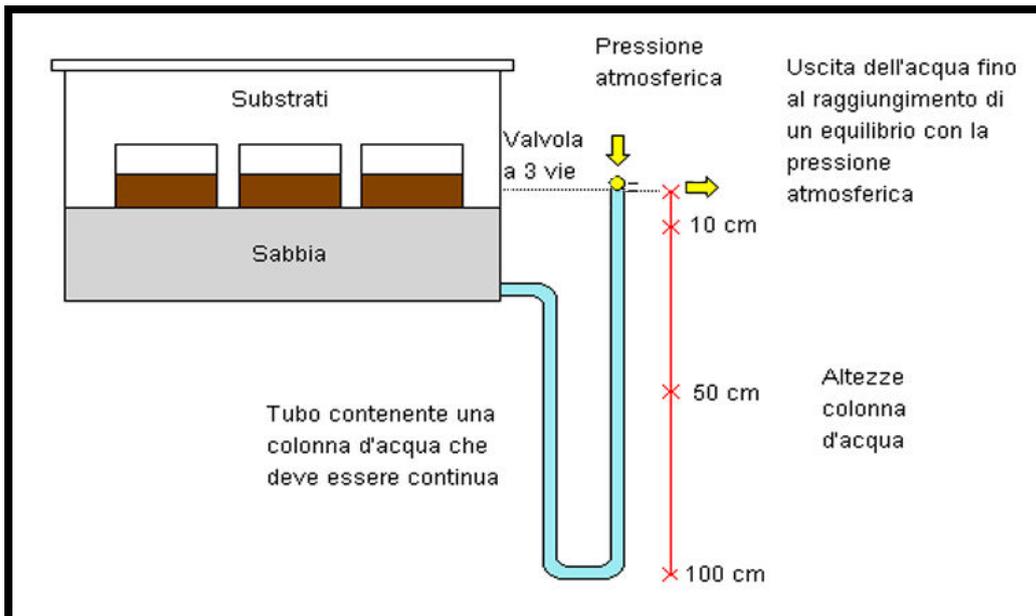
La conoscenza di questi parametri è fondamentale per la gestione delle irrigazioni e fornisce, indirettamente, maggiori informazioni sulla tipologia di porosità presente. La loro determinazione può essere effettuata in laboratorio utilizzando cassette tensiometriche o apparati a pressione (piastre di Richards), riproducendo i potenziali idrici corrispondenti alle costanti individuate. Sulla base dei risultati ottenuti è possibile per uno specifico terreno realizzare una curva di ritenzione idrica che individua le suddette costanti idriche.

Acqua disponibile (mm) in diversi suoli a diverse profondità



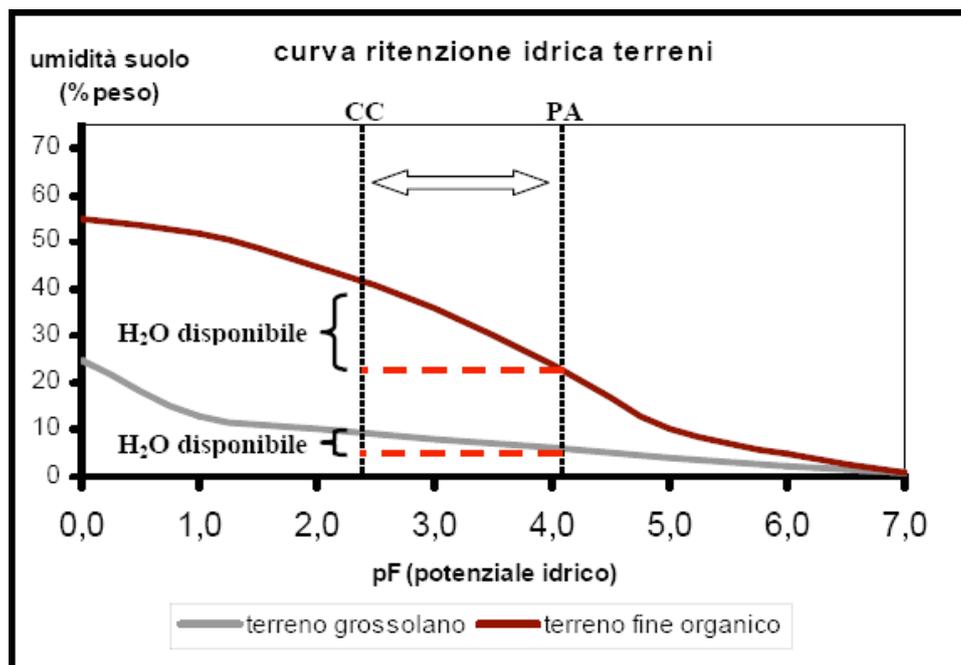
Fonte Quaderno Arsia 5/2004

Schema di funzionamento di cassetta tensiometrica



Nel grafico seguente vengono riportati esempi di curva di ritenzione idrica per due differenti tipologie di suolo, uno organico e l'altro a granulometria grossolana; il contenuto idrico viene qui espresso come percentuale in peso di umidità: per esprimere il dato come percentuale in volume è sufficiente moltiplicare il valore per la densità apparente del suolo.

Curve ritenzione idriche suoli



Permeabilità

I parametri fisici descritti influenzano anche la permeabilità del suolo all'acqua, ovvero la sua capacità di trasmettere acqua (K =conducibilità idraulica).

Non è il valore di porosità totale a determinare questa proprietà, bensì la dimensione e geometria dei pori presenti, ovvero la tessitura e la struttura. In condizioni di saturazione idrica, i terreni sabbiosi sono in genere più permeabili di quelli argillosi, soprattutto se destrutturati; al contrario, in condizioni di carenza idrica (bassa saturazione), i terreni sabbiosi trasmettono con maggior difficoltà l'acqua presente, ovvero minor permeabilità, che assume in questo caso un significato importante in termini di cessione di acqua alle radici delle

piante piuttosto che come capacità di drenaggio.

In genere il valore fornito è riferito a condizioni di suolo saturo e permette di ottenere informazioni relative alla capacità drenante dello stesso in condizioni limite. È possibile identificare classi di permeabilità dei suoli saturi in base al valore di K di ciascun di essi, come riportato nella seguente tabella.

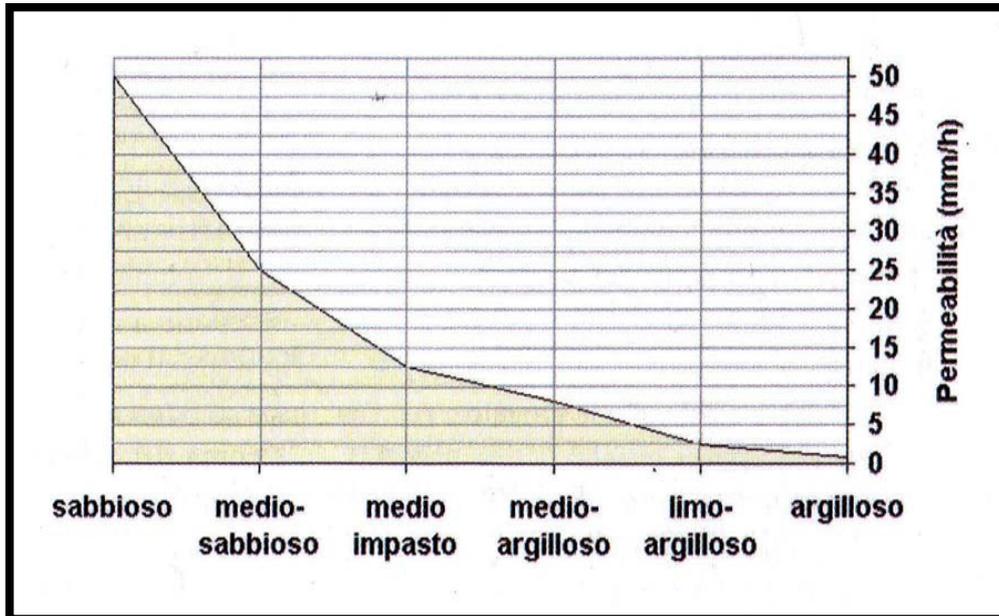
Classi permeabilità suoli saturi

| Classe di permeabilità | Conducibilità idraulica (K) (mm/h) |
|------------------------|---------------------------------------|
| lentissima | < 0,25 |
| lenta | 0,25 - 2,5 |
| moderata | 2,5 - 25 |
| rapida | 25 - 254 |
| molto rapida | > 254 |

Nel grafico seguente si riportano i valori teorici di permeabilità in diverse tipologie di suolo: l'illustrazione evidenzia la maggior capacità dei terreni con tessitura grossolana a lasciarsi attraversare dall'acqua rispetto a quelli a grana fine.

Questo parametro, importante sia per scopi agronomici (gestione dell'irrigazione) che per scopi ambientali (lisciviazione inquinanti), può essere determinato in campo o in laboratorio. La determinazione in campo e in laboratorio su campioni indisturbati (prelevati con appositi cilindri che ne preservano la struttura) fornisce dati realistici relativamente allo stato di condizione del suolo al momento dell'analisi o del prelievo; la determinazione in laboratorio sui campioni disturbati (rimaneggiati) necessita un condizionamento del campione (inumidimento e compattamento a valori di riferimento predefiniti) e permette di ottenere valori indicativi, comunque utilizzabili.

Permeabilità di differenti tipi di suolo



Fonte Quaderno Arsia 5/2004

Spesso nel linguaggio comune si associa la permeabilità alla velocità di infiltrazione, ma in realtà i due termini non rappresentano propriamente la stessa proprietà. Infatti la velocità di infiltrazione esprime la velocità con cui l'acqua penetra nel terreno attraversandone la superficie che lo delimita dallo spazio esterno: è sostanzialmente la prima fase della percolazione, cioè della discesa dell'acqua verso il basso entro il profilo del suolo. Questo valore (misurabile in campo con il metodo del doppio anello o in laboratorio utilizzando cilindri e condizioni operative standardizzate) varia nel tempo: massima all'inizio in terreno non saturo, diminuisce con il progressivo riempimento degli spazi vuoti da parte dell'acqua, fino a stabilizzarsi ad un valore stazionario. Essa dipende dalla tessitura, dalla porosità, dalla stabilità all'acqua degli aggregati, dalla eventuale protezione vegetale presente sulla superficie del suolo e dalla presenza di crosta o di crepacciature. La velocità di infiltrazione, espressa in mm/h o cm/secondo, è massima nei suoli sabbiosi o in quelli argillosi ben strutturati, minima nei terreni fini destrutturati. In genere il valore che maggiormente interessa è quello stabile, in condizioni

sature del suolo, che tende a coincidere con quello della permeabilità in suoli saturi.

Velocità di infiltrazione

| Classificazione | Velocità infiltrazione (mm/h) |
|-------------------|-------------------------------|
| molto lenta | < 1 |
| lenta | 1 - 5 |
| mediamente lenta | 6 - 20 |
| media | 21 - 64 |
| mediamente rapida | 65 - 127 |
| rapida | 128 - 255 |
| molto rapida | > 255 |

Limiti di Attenberg

Altre proprietà di carattere fisico sono quelle meccaniche, di particolare interesse agronomico. Fra queste, le principali oggetto di determinazione sono quelle denominate "limiti di Attenberg", che definiscono la consistenza di un terreno in relazione al contenuto in acqua. Partendo da un suolo allo stato secco, aumentandone il livello di umidità, si passa progressivamente da uno stato friabile non plastico ad uno plastico e successivamente fluido. I contenuti di acqua corrispondenti al passaggio da uno stato all'altro sono propri di ogni tipologia di terreno. Nelle condizioni di friabilità il terreno sottoposto a carichi esterni (passaggio mezzi pesanti, lavorazioni meccaniche/manuali) tende a fratturarsi in punti diversi, mentre allo stato plastico (maggiore contenuto di acqua dello stato precedente) subisce deformazioni senza rompersi.

I limiti di Attenberg definiscono, per ogni tipologia di suolo sottoposto all'analisi, il contenuto di acqua per la quale si verifica il passaggio dallo stato fluido a quello plastico (limite di liquidità - LL) e il passaggio dallo stato plastico a quello friabile (limite di plasticità - LP). Da queste due misurazioni si ottiene l'indice di plasticità ($IP = LP - LL$), che esprime l'ampiezza dell'intervallo di umidità entro la quale il suolo si mantiene plastico. La percentuale di argilla influisce direttamente su questa proprietà: nei terreni sabbiosi (sciolti) l'IP è generalmente inferiore a 10, nei terreni argillosi risulta mediamente pari a 20.

Classificazione terreni in relazione all'indice di plasticità

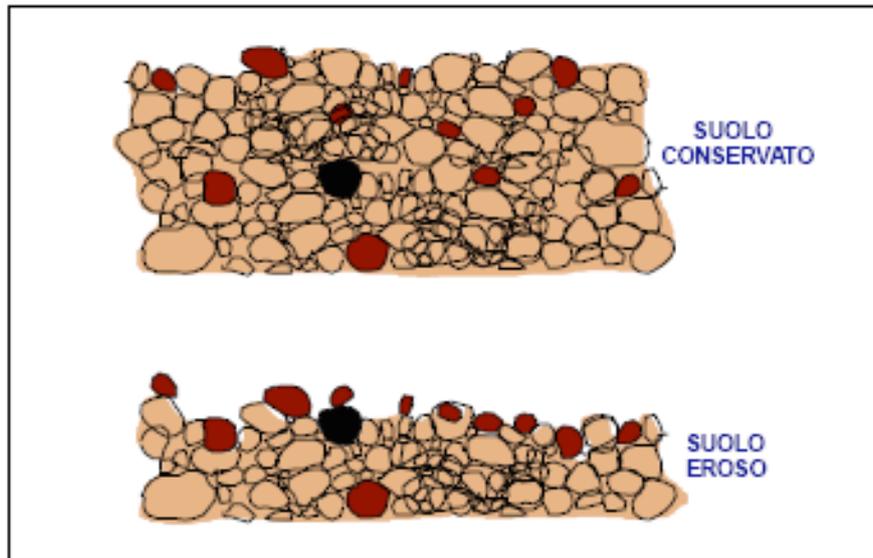
| classificazione | Valore IP |
|----------------------|-----------|
| scarsamente plastico | < 5 |
| mediamente plastico | 5 - 25 |
| molto plastico | 25 - 40 |
| fortemente plastico | > 40 |

Erosione

L'erosione è infine un indicatore che definisce il rischio di perdita di suolo per ruscellamento idrico superficiale e può provocare fenomeni di evoluzione della biodiversità (asportazione dall'orizzonte superficiale di elementi minerali e di sostanza organica) e, in casi limite, di desertificazione.

Il rischio di erodibilità è influenzato dalla pendenza del sito (assai basso per pendenze inferiori al 5% e molto elevato per pendenze superiori al 15%), dall'uso del suolo (più elevato nelle colture cerealicole ed erbacee e nelle coltivazioni arboree non inerbite o di primo inerbimento), dalla granulometria e dotazione in sostanza organica del suolo, dalla stabilità degli aggregati, dalla capacità di infiltrazione dell'acqua e dall'intensità dei fenomeni piovosi.

Raffigurazione fenomeno erosivo



L'erosione è un processo selettivo in quanto non tutti i minerali vengono erosi allo stesso modo; in un terreno con elevata dotazione di scheletro l'erosione determina principalmente la rimozione della terra fine con accumulo degli inerti in superficie.

CARATTERISTICHE CHIMICHE

Sono numerosi i parametri chimici determinabili in un suolo e la scelta di quali fra essi approfondire è dipendente sostanzialmente dall'uso del suolo. Tuttavia è possibile identificare un gruppo di parametri che dovrebbero sempre essere oggetto di valutazione ai fini di effettuare una minima caratterizzazione delle proprietà di un suolo ad uso agronomico (agricolo, ornamentale, ricreativo, paesaggistico), ovvero la reazione (pH), la salinità, il calcare (totale ed attivo), la sostanza organica e l'azoto totale, il complesso di scambio (capacità di scambio cationico, calcio, magnesio, potassio e sodio), il fosforo assimilabile. Altri parametri possono subentrare a fronte di particolari esigenze e/o problematiche, quali ad esempio i microelementi e i composti potenzialmente inquinanti.

Reazione (pH)

La reazione di un terreno viene espressa dal valore di pH che indica la concentrazione di ioni idrogeno nella soluzione circolante presente negli spazi lasciati liberi dalle particelle solide di suolo. Il pH (variabile da 0 a 14) risulta in genere compreso in un terreno fra 3 e 9 ed influenza tutte le reazioni che avvengono nella soluzione circolante.

La soluzione interagisce in continuo con la componente solida del terreno (colloidi di scambio), pertanto il suo valore di pH dipende dalla natura chimica di queste superfici e dal numero e dal tipo di basi di scambio presenti (calcio, magnesio, potassio e sodio); da questi fenomeni di scambio dipende il potere tampone di un suolo, ovvero la sua capacità a rilasciare ioni idrogeno o basi di scambio per contrastare variazioni di pH della soluzione circolante. Il pH tampone, misurabile in laboratorio, può essere inferiore anche di oltre un punto rispetto al valore di pH in acqua ed esprime l'acidità potenziale, della quale si deve tener conto in previsione di interventi di correzione con

emendanti calcici; in terreni completamente sabbiosi, privi di argilla e sostanza organica, il pH tampone potrebbe anche risultare uguale al pH in acqua.

La classificazione di un terreno in base al proprio pH in acqua prevede in genere 7 differenti classi; esistono schemi che differiscono lievemente fra loro ma senza riscontri pratici di rilevanza.

Classi di reazione del terreno - pH_{H2O}

| Valore pH | Classificazione |
|-------------|-----------------|
| < 5,3 | molto acido |
| 5,31 – 5,99 | acido |
| 6,00 – 6,79 | subacido |
| 6,80 – 7,29 | neutro |
| 7,30 – 8,19 | subalcalino |
| 8,20 – 8,89 | alcalino |
| > 8,90 | molto alcalino |

Per quanto esposto sopra, il pH di un suolo dipende pertanto dalla presenza di ioni idrogeno nella soluzione circolante, dalla quantità e dal tipo di colloidi presenti nella fase solida (argilla e sostanza organica), dal loro grado di saturazione, dalla natura delle basi di scambio.

Il pH influenza l'attività microbiologica, la disponibilità di elementi minerali e l'adattabilità delle diverse specie vegetali.

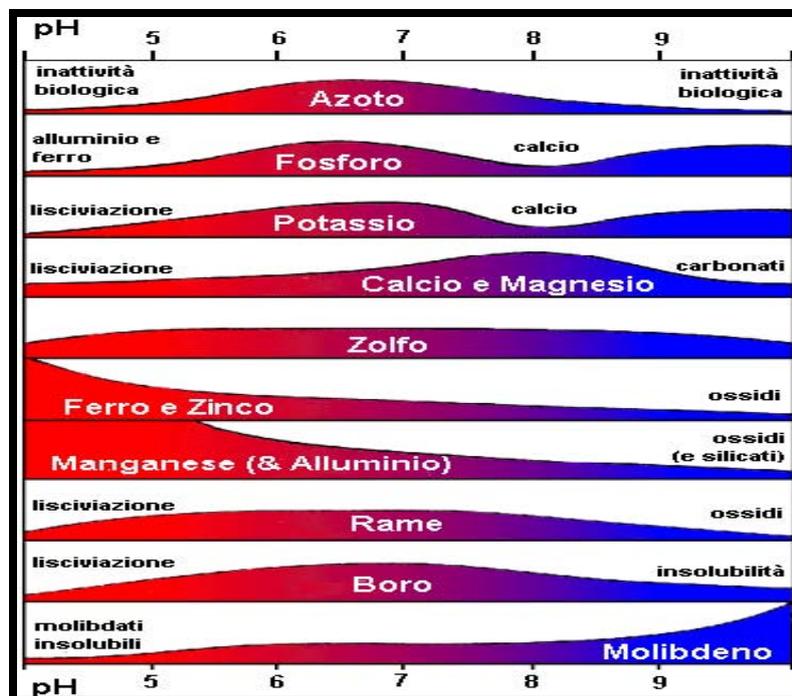
La maggior parte dei batteri coinvolti nelle attività di azotofissazione, nitrificazione e decomposizione della sostanza organica (quindi principalmente nella messa a disposizione alle piante di fonti di azoto utilizzabili) risulta massima a valori di pH prossimi alla neutralità; i funghi risultano essere invece maggiormente attivi nella demolizione della sostanza organica in ambiente acido. In ambiente alcalino e secco gli attinomiceti sono in grado di sopperire alla scarsa attività di funghi e batteri.

La solubilità (disponibilità) degli elementi minerali, quindi il loro assorbimento da parte delle radici, risulta più o meno facilitato dal valore di pH presente (oltre che dalla dotazione di sostanza organica). Il valore di pH di un suolo

condiziona anche il movimento dei metalli pesanti ed di altri inquinanti organici: in genere a pH acidi i metalli sono più solubili, quindi più dilavabili e/o e assorbibili dalle radici.

Nella figura seguente è possibile rilevare l'influenza del pH del suolo sulla disponibilità dei principali elementi minerali e sull'attività dei microrganismi in esso presenti.

pH suolo e disponibilità elementi minerali



Le specie vegetali presentano una certa adattabilità alle condizioni di pH dei suoli, ma al di fuori dei valori ottimali di preferenza, possono presentarsi difficoltà di tipo metabolico e, conseguentemente, produttivo.

Nei terreni acidi si verifica generalmente una maggiore disponibilità di elementi quali ferro, manganese, rame, alluminio e nichel, con rischi anche di fitotossicità e/o dilavamento; al contrario risulta insufficiente l'assorbimento di ioni calcio, magnesio e potassio e si riduce la disponibilità del molibdeno e

soprattutto del fosforo, fissato con ferro e alluminio in prodotti non disponibili o reso insolubile all'interno della pianta dagli elementi assorbiti in eccesso, con conseguente minor rendimento dei concimi fosfatici utilizzati in agricoltura. A livello microbiologico si riduce l'attività di azotofissazione e di micorrizzazione e si può verificare un accumulo di acidi organici, prodotti tetanici o tennici (dannosi alla germinazione e crescita delle piante).

A pH alcalini si ha in genere una minor disponibilità di tutti i microelementi, ad eccezione del molibdeno, ed anche il fosforo presenta fenomeni di insolubilizzazione; il calcio può raggiungere livelli elevati ed entrare in competizione con il magnesio, che a sua volta può competere con il potassio. Nei terreni calcarei prevalgono i carbonati di calcio e magnesio (pH non superiore a 8,4), mentre nei terreni salini e sodici (pH anche superiore a 8,5) prevale il sodio e sono presenti sali solubili in quantità elevate. Elevate quantità di calcare, soprattutto attivo, determinano spesso la formazione di croste superficiali, mentre il sodio causa perdita di struttura, compattamento e ristagno idrico.

Il terreno a reazione neutra presenta condizioni ideali per lo sviluppo delle colture grazie ad una favorita attività microbiologica, equilibrata dotazione di elementi minerali e ridotti fenomeni di insolubilizzazione.

La correzione del pH di un terreno può risultare necessaria per innalzare o diminuire il valore dello stesso; questa operazione, vista la capacità tampone del suolo, risulta comunque di difficile realizzazione.

Per innalzare il valore di pH si utilizzano emendanti calcici (calce viva, calce idrata, carbonato di calcio, calce di defecazione) le cui dosi teoriche necessarie dipendono dal reale valore correttivo dei prodotti utilizzati e vanno calcolate sulla base di dati reali di laboratorio.

L'abbassamento del pH risulta di ancor più difficile realizzazione, in quanto in primo luogo bisogna definire il tipo di alcalinità presente, ovvero se labile

(determinata da carbonati e bicarbonati di sodio, magnesio e potassio), costituzionale (determinata da carbonati di calcio), di scambio (determinata da carbonati e bicarbonati di sodio). Nel primo caso si può operare mediante il lisciviamento del terreno con acque dolci, mentre nel secondo caso interventi diretti sono poco proponibili e risulta più conveniente effettuare apporti di sostanza organica che, producendo anidride carbonica, distrugge i carbonati e riduce il pH; nel caso dell'alcalinità di scambio (ma anche per quella labile se causata in prevalenza da carbonato e bicarbonato di sodio) è possibile intervenire con apporti di gesso e zolfo, le cui dosi vanno calcolate sulla base dei risultati delle analisi di laboratorio (vedere paragrafo seguente).

Salinità

La salinità del suolo è un parametro che esprime la quantità di sali minerali presenti nella soluzione acquosa di un terreno e provenienti dalla disgregazione naturale delle rocce madri, da acque di irrigazione non idonee e da concimi minerali.

I principali sali che apportano salinità sono i cloruri, i solfati, i carbonati e bicarbonati di sodio, i sali di potassio, magnesio, calcio e il boro.

Elevati valori di salinità possono causare problemi di fitotossicità sulle colture vegetali, riduzione della permeabilità del suolo e riduzione della quantità di acqua disponibile per le piante. Problemi di fitotossicità insorgono in presenza di elevata salinità dovuta a sodio, cloro e boro, quelli di permeabilità sono legati ad eccesso di cloruri, carbonati e bicarbonati di sodio.

In genere la salinità viene espressa come E_{Ce}, misurando il dato sull'estratto della pasta satura di un campione di terreno (salinità a saturazione); la maggior parte delle tabelle divulgative fornisce questo valore.

Richiedendo però tempi lunghi, in laboratorio si preferisce determinare la salinità su un estratto acquoso, utilizzando un rapporto suolo-acqua 1:2,5 o 1:5. Ovviamente la quantità di acqua di estrazione, percolata dal campione e

sul quale si determina la salinità, risulta differente in base alla tessitura del terreno in esame: maggiore in un terreno sabbioso e minore in uno argilloso. A parità di salinità in campo, sui due estratti acquosi leggerò valori inferiori per il terreno sabbioso (più diluito) e maggiori in quello argilloso. Per poter confrontare i valori di salinità su estratto acquoso con quelli di riferimento (ECe) è necessario effettuare una correzione, ovvero utilizzare un coefficiente che trasformi il dato su estratto (EC) in dato ECe. Il coefficiente che si utilizza viene ogni volta determinato utilizzando altri parametri del suolo, quali la tessitura, la capacità di scambio cationico e il carbonio organico al fine di ottenere la percentuale di spazi porosi (%SP). In genere, per un' estrazione suolo:acqua 1:5 il coefficiente assume valori compresi mediamente fra 5 e 10. Dal dato di ECe, misurato direttamente o calcolato dal valore ottenuto sugli estratti acquosi, è possibile determinare il contenuto nel suolo dei grammi di sale, come di seguito esposto:

$$\bullet \text{ g sali/kg terreno} = \text{ECe} * 0,640 * \%SP$$

Moltiplicando il valore ottenuto per la densità apparente del suolo si ottiene il dato di salinità per unità di volume.

L'eccesso di salinità dei suoli è un fenomeno presente in particolare nelle colture protette. Valori di salinità inferiori a 2 dS/m (ECe: conduttività elettrica dell'estratto in pasta satura) sono da considerarsi nella norma. Le diverse specie mostrano differenti livelli di sensibilità; nella tabella seguente i valori di tossicità vengono espressi sulla base della riduzione della produttività (dS/m = mS/cm).

Valore di E_{Ce} che riducono la produttività del 25%

| Coltura | Valore E _{Ce} |
|------------------------|------------------------|
| graminacee da granella | 4-10 dS/m |
| foraggiere | 2-8 dS/m |
| colture industriali | 2-10 dS/m |
| fruttiferi | 2-5 dS/m |
| ortaggi | 2-5 dS/m |

Fra le specie più tolleranti si segnalano per i cereali l'orzo (riduzione del 10% di produttività a valori di E_{Ce} pari a 10 dS/m), per le foraggiere la gramigna (8,5 dS/m), per le industriali la barbabietola (8,7 dS/m), per i fruttiferi fico e olivo (3,8 dS/m), per gli ortaggi le bietole (5 dS/m).

Fra le specie ornamentali, le graminacee da prato sono quelle che maggiormente resistono alla salinità del suolo.

La correzione della salinità può avvenire per lisciviazione del suolo, in quanto tutti i sali apportatori di salinità sono solubili in acqua.

Nel caso in cui gli ioni sodio sono presenti in quantità molto elevate in termini assoluti o in relazione al contenuto di calcio e magnesio, quelli in eccesso vengono adsorbiti dalle cariche elettriche dei colloidali minerali; in presenza di argilla si ha la rottura della struttura glomerulare con riduzione della permeabilità del terreno. In tali situazioni occorre intervenire con una correzione, che prevede l'apporto di un sale correttivo che, dissociandosi, libera un catione di grande affinità per le argille che va a sostituire sul complesso di scambio il sodio; il catione correttivo rifloccula le argille, mentre lo ione sodio libero in soluzione si lega all'anione residuale del correttivo formando un nuovo sale solubile e lisciviabile.

Limite di salinità per specie da tappeto erboso (ECe)

| Coltura | Valore massimo ECe |
|----------------------------|--------------------|
| Agropyron spp. | 10 dS/m |
| Agrostis palustris | 6 dS/m |
| Agrostis tenuis | 3 dS/m |
| Cynodon spp. | > 10 dS/m |
| Festuca arundinacea | 10 dS/m |
| Festuca rubra commutata | 6 dS/m |
| Festuca rubra rubra | 10 dS/m |
| Festuca rubra tricopihylla | 10 dS/m |
| Lolium multiflorum | 6 dS/m |
| Lolium perenne | 10 dS/m |
| Paspalum notatum | 6 dS/m |
| Paspalum vaginatum | > 10 dS/m |
| Poa annua | 3 dS/m |
| Poa pratensis | 3 dS/m |
| Poa trivialis | 3 dS/m |
| Stenotaphrum secundatum | > 10 dS/m |
| Zoysia spp. | 10 dS/m |

In genere la correzione del sodio si attua quando il valore di ESP è > di 7 (vedere paragrafo complesso di scambio); con la correzione si ottiene anche un abbassamento del pH.

I correttivi maggiormente utilizzati, anche per problemi di costo, sono il gesso e lo zolfo. Lo zolfo ha un'azione più lenta e necessita di presenza di microflora attiva per l'ossidazione biologica dello stesso al fine di produrre gesso. Per il calcolo della correzione occorre conoscere la quantità di sodio presente (meq) e considerare che 85 mg di gesso o 17 mg di zolfo spostano 1 meq di sodio. Pertanto, stabilito quanto sodio si vuole spostare dal complesso di scambio, la formula di calcolo risulta nella seguente tabella.

Correzione sodio di scambio

$$\text{t/ha di correttivo di gesso (CaSO}_4\text{)} = (85 \cdot h \cdot D.\text{app.} \cdot [\text{Na}] \cdot 1,25) / 1000$$

h = profondità suolo (cm)

D.app. = densità apparente suolo (t/m³)

[Na] = concentrazione sodio (meq/100 g)

1,25 = fattore correttivo cautelativo

Nel caso si utilizzi zolfo utilizzare 17 al posto di 85

Calcare

Il calcare totale è la componente minerale costituita dal totale dei carbonati di calcio, magnesio e sodio e risulta presente nei suoli neutri ed alcalini, mentre nei terreni con pH inferiore a 6,5 può considerarsi assente. Il calcare attivo è la frazione più fine, ovvero più solubile e chimicamente reattiva rispetto al calcare totale.

Il calcare totale condiziona negativamente, al pari dell'argilla, la degradabilità della sostanza organica e, di conseguenza, dell'azoto. Il calcare attivo, chimicamente più reattivo, agisce negativamente sulle disponibilità di fosforo e ferro; inoltre, dati i valori elevati di pH, anche zinco, rame e manganese presentano scarsa disponibilità. Potassio, magnesio e boro possono entrare in competizione con l'assorbimento del calcio. Il calcare attivo condiziona anche le scelte colturali nel settore dell'arboricoltura, influenzando la scelta dei portainnesti più idonei. Il calcare, che è di origine geologica, influenza inoltre le proprietà fisiche di un suolo: la frazione attiva riduce la forza di trattenuta dell'acqua portando la capacità idrica di questi suoli a valori assai simili a quelli sabbiosi. Inoltre il calcare presente in dosi elevate provoca la formazione di croste superficiali (con riduzione dell'ossigenazione del suolo) e di strati impermeabili all'acqua. Generalmente una quantità di calcare totale inferiore a 150 g/kg (15%) non crea alcun tipo di problema: provvedimenti in termini di tecniche colturali e di scelta di portainnesti vanno però considerati in presenza di quantità di calcare attivo superiore a 50 g/kg (5%).

Sostanza organica

La sostanza organica è per definizione l'insieme delle molecole costituite da catene di carbonio che derivano dalla trasformazione dei composti chimici degli organismi viventi (animali, vegetali, microrganismi). Essa è una costituente della fase solida del suolo.

Il suo contenuto nel suolo è un potenziale indicatore ambientale in quanto si correla con numerosi aspetti della produttività e sostenibilità degli agroecosistemi e della conservazione ambientale.

La sostanza organica nel suolo influenza le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche; la sola caratteristica fisica non influenzata è la tessitura reale (quella misurata previa eliminazione della sostanza organica, anche se sovente si determina la tessitura apparente).

La sostanza organica nel suolo pertanto assume un ruolo trasversale nel sistema, influenzando sulla fertilità globale dello stesso.

Essa influisce da un punto di vista fisico sulla stabilità degli aggregati, la struttura, la porosità, la ritenzione idrica ed il colore. Chimicamente è alquanto reattiva: insieme ai minerali argillosi costituisce la superficie specifica totale e dobbiamo ricordare che la maggior parte delle reazioni chimiche avvengono nell'interfaccia tra la fase solida e quella liquida. Essa inoltre è una riserva di elementi nutritivi ed energetici per i microrganismi e per le piante ed interferisce, nei meccanismi di scambio, sulla disponibilità degli stessi. La sostanza organica concorre circa per il 50% alla capacità di scambio cationico di un suolo. Inoltre, come visto nella trattazione del pH, essa coopera all'acidificazione del suolo.

Nella tabella seguente si riassumono brevemente le principali influenze della sostanza organica sul suolo.

Proprietà sostanza organica e effetti sul suolo

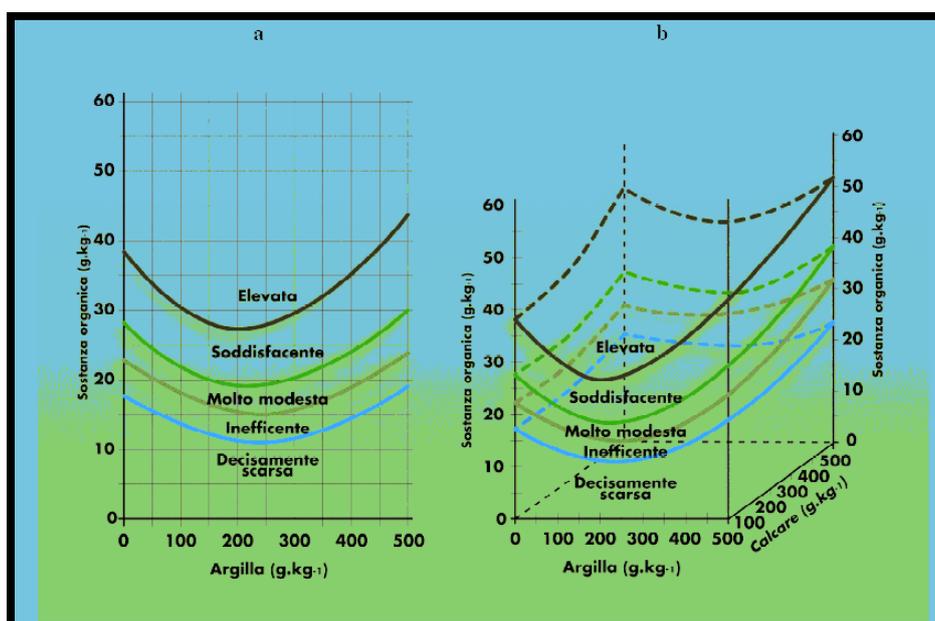
| proprietà | Osservazioni | Effetti sul suolo |
|-------------------------------------|--|---|
| colore | suoli più scuri | facilita il riscaldamento |
| Ritenzione idrica | la sostanza organica trattiene acqua fino a 20 volte il suo peso | miglioramento ritenzione idrica |
| combinazione con minerali argillosi | cementa le particelle del suolo in aggregati | stabilizza la struttura, incrementala permeabilità, facilita gli scambi gassosi |
| chelazione | formazione complessi stabili con cationi | aumento della disponibilità di elementi |
| solubilità acqua | insolubilità n acqua in associazione alle argille | carbon sink, riserva elementi minerali |
| azione tampone | azione tampone in range di pH leggermente acidi, neutri e basici | mantenimento reazione uniforme nel suolo |
| scambio cationico | elevata acidità totale delle frazioni di humus | incrementa la capacità si scambio cationico |
| mineralizzazione | la decomposizione è fonte di elementi minerali | fonte di nutrienti per le piante |
| combinazione con gli xenobiotici | influenza biodegradabilità, persistenza e attività dei fitofarmaci | modifica il tasso di applicazione dei fitofarmaci |

La sostanza organica rappresenta in genere dall'1 al 5% in peso della frazione solida di un suolo, ma il 12-18% in volume; tuttavia negli ultimi anni si sta assistendo ad una riduzione delle dotazioni di sostanza organica nei suoli. Le cause sono molteplici, dalla riduzione degli apporti di sostanza organica (separazione tra le attività zootecniche e quelle vegetali , differente gestione e produzione dei reflui zootecnici, mancato reimpiego dei residui colturali, semplificazioni avvicendamenti colturali, utilizzo dei fertilizzanti e concimi inorganici) alla sua maggior velocità di mineralizzazione (lavorazioni più frequenti, aumento irrigazioni).

Il suo contenuto nel suolo dipende anche dai principali fattori di formazione dello stesso quali, in ordine di importanza: clima, vegetazione, topografia, materiale di origine ed età; inoltre, come accennato, è influenzato dall'uso del suolo e dalle pratiche agricole. A parità di condizioni climatiche la tessitura

influenza la conservazione della sostanza organica: l'argilla ne favorisce l'accumulo, mentre in suoli molto porosi ed areati (sabbiosi) i processi di mineralizzazione sono più spinti.

Interpretazione della sostanza organica in funzione dell'argilla (a) e dell'argilla + calcare totale (b)



Fonte CRA Roma 2003

Tutte le zone a clima mediterraneo sono fra le più esposte alla perdita di sostanza organica in quanto i processi di mineralizzazione sono molto spinti; i microrganismi del suolo infatti, attori principali dell'elaborazione e degradazione della sostanza organica, hanno come fattori limitanti la propria attività, la temperatura e l'umidità.

Non esiste una tipologia unica di sostanza organica e pertanto è possibile suddividerla in quattro generiche categorie sulla base delle componenti che la costituiscono:

- o residui vegetali ed animali

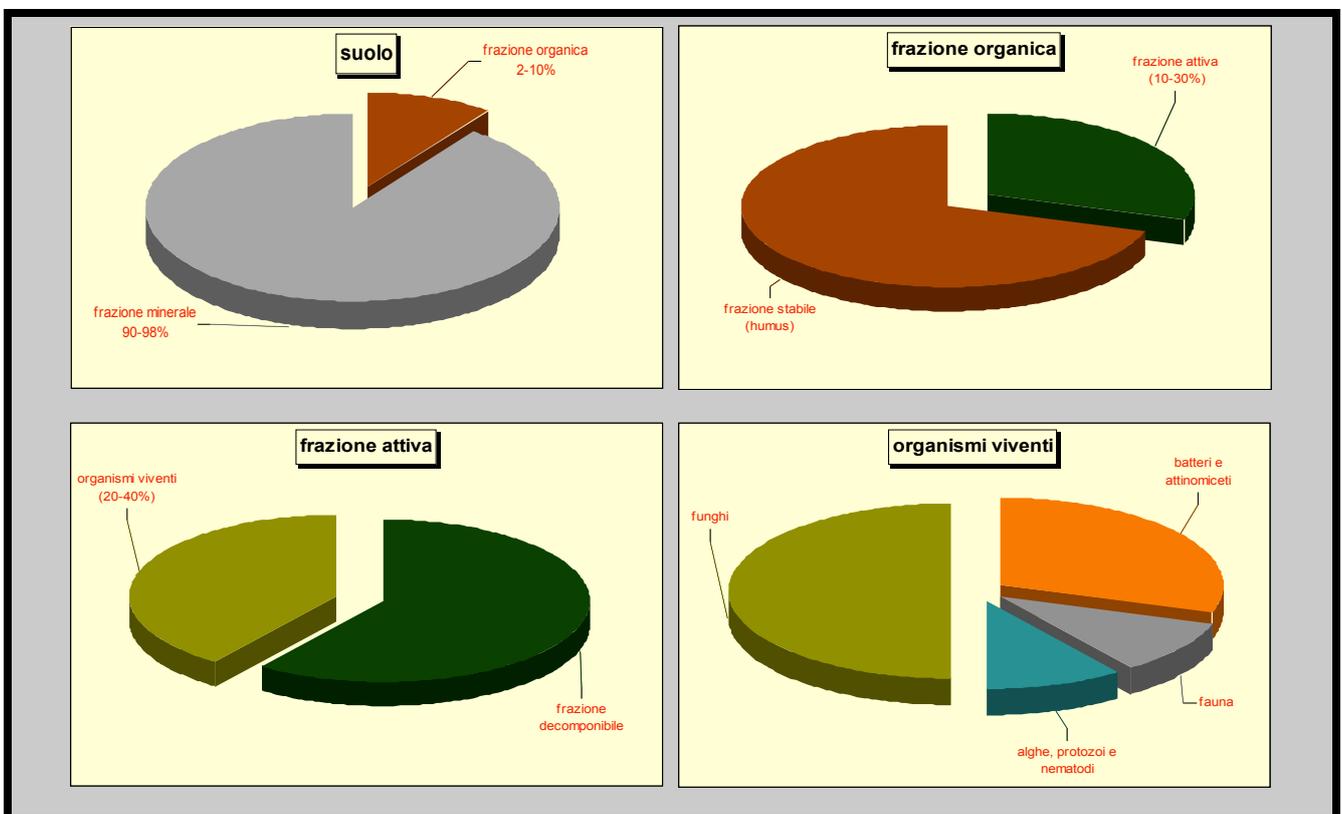
- o microrganismi
- o sostanze organiche facilmente degradabili (composizione chimica semplice)
- o sostanze organiche stabili (composizione chimica complessa - humus)

Si tratta di materiale molto eterogeneo a composizione chimica più o meno complessa.

Nell'illustrazione seguente è possibile valutare gli ordini di grandezza delle singole componenti all'interno del suolo.

La sostanza organica nel suolo subisce reazioni di tipo costruttivo (umificazione) e di tipo distruttivo (mineralizzazione e rilascio degli elementi minerali): questi due processi sono generalmente in equilibrio tra loro.

Distribuzione delle differenti componenti di sostanza organica nel suolo (% in peso)



La determinazione della sostanza organica totale nei suoli può essere effettuata in laboratorio con il metodo dell'incenerimento (poco utilizzato per i suoli) o mediante la determinazione del carbonio organico, il cui valore moltiplicato per il coefficiente di Van Bemmelen (1,724) fornisce indirettamente il dato di sostanza organica. Il coefficiente si basa sull'assunto che la sostanza organica del suolo contenga il 58% di carbonio organico. Tuttavia questo rapporto può variare da suolo a suolo e da orizzonte ed orizzonte, pertanto sarebbe più utile e corretto esprimere i dati in contenuto di carbonio organico.

La determinazione del carbonio organico può essere oggi effettuata attraverso tre metodiche ufficiali; due si basano sull'ossidazione del carbonio organico con soluzione di potassio bicromato in ambiente acido (una in condizioni standardizzate di temperatura), mentre una terza con analizzatore elementare mediante istantanea ossidazione per "flash combustion" (metodo Dumas) della componente organica ed inorganica; in questo ultimo caso bisogna sottrarre la quota di carbonio inorganico mediante o pre-trattamento con acidi o sottrazione della quota di carbonio inorganico proveniente dalla determinazione del calcare totale. Il metodo migliore è quello dell'ossidazione del potassio bicromato in condizioni standard (TOC=total organic carbon), soprattutto in presenza di terreni molto calcarei o poco dotati di sostanza organica, per il quale il metodo Dumas risulta meno preciso, mentre il metodo dell'ossidazione in potassio bicromato non standardizzato sottostima quando si ha un'elevata dotazione di carbonio organico.

Il dato viene espresso in g/kg di sostanza secca (105°C), ma può essere espresso in termini volumetrici utilizzando il valore di densità apparente del suolo.

La frazione umica costituisce in genere il 60-80% della sostanza organica totale e si origina dai processi di decomposizione dei residui organici presenti nel suolo e dalla sintesi dei microrganismi (umificazione).

Le sostanze umiche vengono suddivise, in base alla loro capacità di solubilizzazione in acidi o alcali, in tre frazioni:

- o acidi umici (HA): solubili in alcali diluiti
- o acidi fulvici (FA): solubili sia in acidi che in alcali
- o umina: insolubili

L'umina è la meno studiata, essendo insolubile nelle soluzioni estraenti convenzionali. Tuttavia le più recenti tecnologie (ad esempio termoanalisi e risonanza magnetica) possono permettere maggiori approfondimenti, anche se ad oggi il loro contributo è maggiore in ambito di ricerca scientifica.

La determinazione delle sostanze umiche può fornire importanti informazioni sulla qualità e stato della sostanza organica presente in un suolo, soprattutto rapportando i risultati al valore di sostanza organica totale e non utilizzandoli in valore assoluto. Per tale motivo sono stati messi a punto i cosiddetti parametri di umificazione, che, sulla base dei dati di carbonio organico totale (TOC), carbonio organico estraibile in condizioni di pH controllato (TEC) e dotazione di sostanze umiche (HA e FA) permettono di fornire un'interpretazione più accurata della sostanza organica presente in un suolo.

Questi parametri sono di seguito elencati:

- o tasso di umificazione (HR%): entità frazione umificata (HA+FA) rispetto al carbonio organico totale
- o grado di umificazione (DH%): entità frazione umificata rapportata al carbonio organico estraibile (TEC), non tutto umificato
- o indice di umificazione (HI): parametro adimensionale che mette in rapporto la frazione organica estratta non umificata con quella umificata.

Il tasso di umificazione è un parametro quantitativo, ma non tiene conto della frazione umica non estratta (umina); può assumere valori che variano dallo 0 al 100%.

Il grado di umificazione è invece un dato sia quantitativo che qualitativo, in

quanto esprime in percentuale il carbonio umificato in relazione ad una frazione estraibile non completamente umificata.

Anche in questo caso il dato oscilla fra 0 e 100% (generalmente non inferiore al 70%): più il valore è alto, maggiore è la tendenza del suolo ad umificare i materiali organici disponibili.

L'indice di umificazione oscilla fra 0 e 1 e risulta tanto più basso quanto più i processi di umificazione hanno prevalso su quelli di mineralizzazione.

Azoto

L'azoto è l'elemento minerale maggiormente utilizzato dalle specie vegetali e stimola lo sviluppo vegetativo e l'accrescimento delle piante.

L'azoto è presente nel suolo principalmente in forma organica (95%) ed in minima parte come ammonio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), ovvero forme inorganiche legate alle componenti minerali e/o presenti nella soluzione circolante; queste ultime due forme sono quelle principalmente utilizzate dai vegetali per l'assorbimento radicale. Anche il nitrito (NO_2^-), forma intermedia fra azoto ammoniacale e azoto nitrico, riveste un ruolo nella disponibilità di azoto per le piante, ma risulta fitotossico a bassissime concentrazioni (< 5 ppm).

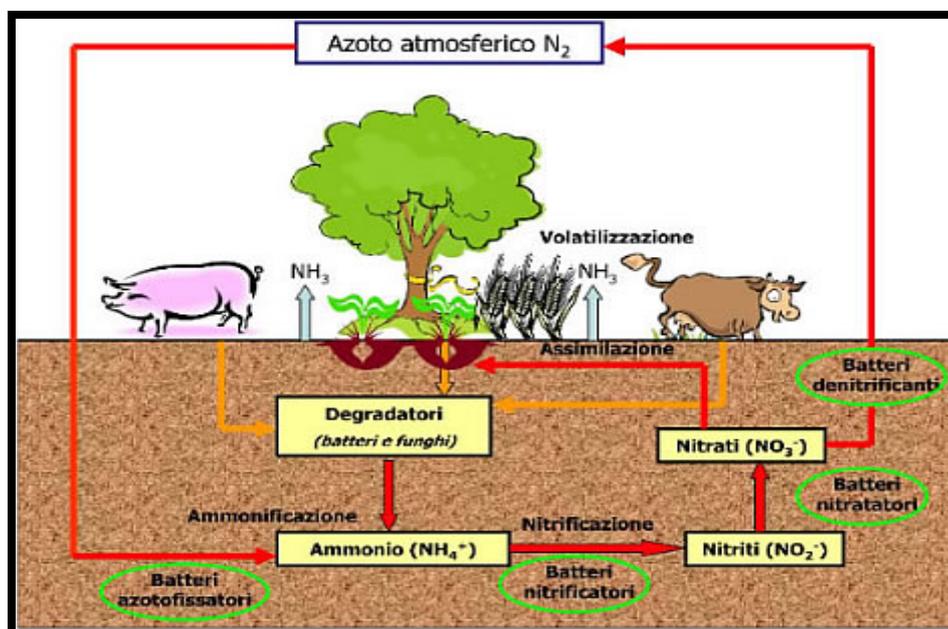
La dinamica dell'azoto nel suolo è assai complessa ed è direttamente correlata alla presenza, qualità ed attività dei microrganismi e, conseguentemente, alle condizioni di aerobiosi (dipendente dalla tessitura e struttura del terreno), reazione (pH) e temperatura del terreno.

L'azoto organico subisce processi di mineralizzazione ad opera dei microrganismi del suolo, nello specifico ammonizzazione (produzione di azoto in forma ammoniacale) e nitrificazione (trasformazione della forma ammoniacale in forma nitrica).

L'azoto può giungere al suolo anche attraverso la fissazione dell'azoto elementare presente nell'atmosfera ad opera di microrganismi che sono

presenti nel terreno sia in forma libera che in simbiosi con i vegetali presenti. L'azotofissazione avviene per la maggior parte dei microrganismi in condizioni di anaerobiosi; per tale motivo nei suoli lavorati e arieggiati l'attività di fissazione è modesta. I quantitativi di azoto fissati dai microrganismi in forma libera sono agronomicamente poco rilevanti, mentre sono significativi per quelli che vivono in simbiosi (fino a 400 kg/ha anno di azoto per *Rhizobium* su trifoglio e erba medica). Una minima quantità di azoto (5-15 kg/ha anno) arriva al terreno con le piogge.

Schema del ciclo dell'azoto



Fonte Nicola Colonna 2008

Oltre ai processi di amminificazione e nitrificazione si hanno nel suolo processi di denitrificazione operati da microrganismi anaerobi che utilizzano nitrati e nitriti quale fonte di ossigeno; attraverso questi processi, favoriti da condizioni di bassa presenza di ossigeno nel terreno, l'azoto minerale viene trasformato in azoto molecolare gassoso (N₂), che viene perso dal sistema.

L'azoto presente nel suolo è conteso fra le piante superiori ed alcuni microrganismi; questi ultimi hanno una maggior efficienza di intercettazione e

la disponibilità dell'elemento per le piante dipende dal rapporto tra il carbonio organico e l'azoto totale presenti nel suolo (C/N): con rapporti C/N > di 30 l'azoto presente nel suolo viene immobilizzato dai microrganismi che lo utilizzano per l'attività di decomposizione dei residui organici, mentre per valori di C/N < 20 l'azoto risulta più facilmente disponibile per le piante.

L'azoto in forma nitrica è estremamente mobile e viene rapidamente perso dal terreno o per assorbimento da parte dei vegetali presenti, o per dilavamento, o per denitrificazione; la forma ammoniacale viene invece trattenuta dalle cariche negative presenti sulle argille.

L'ammonio, una volta assorbito all'interno dei tessuti, diventa estremamente tossico; per tale motivo deve essere immediatamente combinato con il carbonio per la formazione di componenti non tossici. Pertanto se quote elevate di ammonio vengono assorbite dalle radici, molto carbonio che dovrebbe essere utilizzato per la crescita sarà invece impiegato per la detossificazione di questa forma azotata: il risultato è una riduzione della crescita, dapprima radicale e successivamente vegetativa, in quanto quando l'apparato radicale ha esaurito la propria capacità di disintossicazione, l'ammonio viene trasportato alla parte aerea dove si combina con altro carbonio ivi presente.

La forma ammoniacale viene assorbita dalle radici preferibilmente in condizioni di pH neutro; in suoli acidi la competizione degli ioni H⁺ riduce l'assorbimento.

La forma nitrica viene assorbita sia passivamente che attivamente in grandi quantità: maggiore è la presenza nel suolo, maggiore è l'assorbimento. Una riduzione della capacità assorbente può manifestarsi a pH elevati per competizione con i gruppi ossidrilici (OH⁻). Le migliori condizioni di assorbimento si hanno a pH del suolo compreso fra 4,5 e 6,0. L'ammonio compete nell'assorbimento del nitrico.

La determinazione analitica della presenza di azoto totale nel suolo è di poca utilità per una valutazione nel breve periodo della disponibilità delle forme

assorbibili da parte delle piante, ma può fornire un'indicazione di disponibilità nel tempo (mineralizzazione); il coefficiente di mineralizzazione della sostanza organica, dipendente dalla percentuale di argilla e calcare totale presente, influisce sulla messa a disposizione dell'azoto.

La determinazione delle forme minerali (nitrico e ammoniacale) è invece una fotografia istantanea della disponibilità in quel preciso momento, in determinate condizioni fisico-chimico-biologiche del suolo.

Rapporto C/N

Come visto il dato dell'azoto totale, in relazione con il carbonio organico, diventa un parametro importante per la valutazione della stessa sostanza organica presente nel suolo.

Il rapporto C/N fornisce indicazioni in merito alla condizione di stabilità della sostanza organica nel suolo, ovvero il suo grado di umificazione.

Residui vegetali indecomposti presentano un valore di C/N molto elevato, mentre valori intorno a 10 indicano presenza di una sostanza organica ben umificata, dove i processi di umificazione e di mineralizzazione sono in equilibrio. Valori molto bassi (inferiori a 8) sono indice di sostanza organica molto mineralizzata (con conseguente disponibilità elevata di azoto); al contrario, valori troppo elevati (> 15-20) indicano la presenza di processi di degradazione e umificazione con conseguente sottrazione da parte dei microrganismi dell'azoto disponibile nel suolo.

Complesso di scambio.

La capacità di scambio cationico (CSC) misura la capacità del suolo di trattenere e scambiare con la soluzione circolante i cationi presenti, quali il calcio, il magnesio, il potassio, il sodio; sono esclusi i cationi provenienti da dissoluzioni di sali presenti in forma solubile.

Questa proprietà è dipendente dal contenuto di sostanza organica e di argilla,

che formano complessi argillo-umici carichi negativamente: l'insieme di queste cariche negative esprime la CSC del suolo, espressa in meq/100 g di suolo (milliequivalenti). Delle cariche presenti alcune sono pH dipendenti e tendono ad aumentare al crescere del pH del sistema. Proprio per il variare del valore di CSC in relazione al pH (ma non delle basi di scambio), i risultati di laboratorio delle misure di questo parametro devono riportare il riferimento del dato di pH al quale si è operato.

La misura di questo parametro, unitamente al suo grado di saturazione basica (GSB), permette di valutare le riserve di elementi scambiabili presenti nel suolo. Per grado di saturazione si intende la % di cationi di scambio presenti sul complesso di scambio del suolo (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+).

I suoli neutri ed alcalini con elevata CSC hanno notevole capacità di adsorbimento dei metalli, con conseguente protezione nei confronti di possibili fenomeni di inquinamento da metalli pesanti; nel contempo l'accumulo di grandi quantità di questi elementi può creare problemi di fitotossicità. Da qui l'importanza di valutare il rischio di inquinamento da metalli pesanti non solo valutando il valore di acidità del suolo, ma anche della sua CSC.

Un valore di CSC compreso fra 10 e 20 meq/100g è considerato nella norma. In terreni molto sabbiosi con CSC inferiore a 10 meq/100g si potrà intervenire con l'aggiunta di ammendanti organici e si dovranno adottare modalità di concimazione appropriate (minori quantità ed eventuali maggiori frequenze).

I metodi ufficiali oggi a disposizione per la determinazione del parametro sono sostanzialmente 2: uno prevede un'estrazione con Acetato Ammonico (pH 7,0) , valido per terreni non salini e non calcarei, mentre il secondo, valido per tutti i tipi di suolo, prevede l'uso di una soluzione estraente di Bario Cloruro (pH 8,2). Il primo metodo estrae una quota maggiore dello ione potassio, fornendo nel complesso valori di CSC più elevati.

La differenza fra la CSC e la somma delle basi (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) fornisce indirettamente il valore di acidità (presenza di ioni idrogeno e alluminio), che

può essere altresì determinata in laboratorio. La somma delle basi non può essere superiore al valore della CSC ($GSB \leq 100\%$): questo può avvenire in terreni molto salini, dove nella determinazione delle basi di scambio si determina anche una quota di cationi solubili (che andrebbero determinati a parte e sottratti).

Come detto, le basi scambiabili sono rappresentate da quei cationi (calcio, magnesio, potassio e sodio) che interagiscono in notevole quantità con la capacità di scambio cationico del suolo ed hanno un ruolo determinante nella crescita dei vegetali; è in questa forma scambiabile che possono essere prontamente disponibili per l'assorbimento da parte delle radici delle piante.

In genere il calcio risulta l'elemento maggiormente presente sulla CSC, seguito da magnesio, potassio e sodio. Le percentuali di dotazioni variano in relazione al valore di pH. La somma delle basi scambiabili, rapportate al valore di CSC, fornisce il grado di saturazione basica (GSB), molto basso nei terreni acidi, alto nei terreni neutri ed alcalini.

Nell'interpretazione dei valori delle basi scambiabili (generalmente espressi in meq/100 g, ma esprimibili, utilizzando appropriati coefficienti, anche in mg/kg, come riportato nella tabella successiva) bisogna tener conto di diversi fattori, quali la tessitura, la dotazione in sostanza organica e la CSC, oltre che dei rapporti esistenti fra i diversi elementi, principalmente fra calcio e magnesio e magnesio e potassio, in quanto rappresentativi di una possibile competizione di assorbimento; importante risulta inoltre valutare la percentuale di sodio scambiabile rispetto alla CSC totale (**ESP**).

Coefficienti di conversione per le basi di scambio

| elemento | calcio | magnesio | potassio | sodio |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| simbolo | Ca | Mg | K | Na |
| da meq/100 g a mg/kg | 200,4 | 121,6 | 391 | 229,9 |
| da mg/kg a meq/100 g | 0,004990 | 0,008224 | 0,002558 | 0,004350 |
| da meq/100 g a cmol/kg | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 |
| da meq/100 g a cmol [+]/kg | 1 | 1 | 1 | 1 |

In generale, è possibile considerare soddisfacenti dotazioni di calcio scambiabile a livelli compresi fra 5 e 10 meq/100 g, di magnesio scambiabile fra 0,8 e 1,6 meq/100g e di potassio scambiabile fra 0,2 e 0,4 meq/100g (quest'ultima pari a circa 90-180 mg/kg di K₂O); in relazione al sodio, elemento che può provocare fitotossicità oltre che alterazioni della struttura del terreno, risulta importante esaminare invece il rapporto in cui si trova con gli altri elementi: il valore di ESP (percentuale sulla CSC) non deve superare preferibilmente il 20%. Il rapporto ottimale fra Ca/Mg è compreso fra 2 e 10, quello fra Mg/K fra 2 e 5. Il giudizio interpretativo delle basi di scambio può essere anche effettuato in termini di % sulla CSC, come nella tabella seguente.

Basi di scambio in rapporto alla CSC

| Elemento | Rapporto ottimale in % sulla CSC |
|----------|----------------------------------|
| calcio | 50-70 |
| magnesio | 3-10 |
| potassio | 2-5 |

Elementi solubili e/o assimilabili.

Mentre per il potassio ed altre basi di scambio la valutazione della loro disponibilità per le piante viene determinata attraverso la frazione presente sul complesso di scambio, per altri elementi si va a determinare la frazione solubile e/o assimilabile.

Il fosforo, insieme con azoto, potassio e calcio, è uno degli elementi maggiormente utilizzati dalle colture vegetali. Nel suolo il fosforo totale (P) ammonta a valori compresi fra lo 0,02 e lo 0,15%. Il fosforo organico, la cui dotazione nel suolo varia fra i 10 e 500 mg/kg, può fornire un'indicazione sulla disponibilità di fosforo a medio termine, ma è il fosforo assimilabile la quantità di elemento presente in soluzione e facilmente assorbibile dalle radici.

Il fosforo è un elemento poco mobile nel suolo e subisce fenomeni di insolubilizzazione nei terreni non neutri (fosfato di ferro e alluminio nei suoli acidi, fosfato di calcio in quelli alcalini); oltre alle forme inorganiche il fosforo è presente in forma organica (residui animali e vegetali), gradualmente mineralizzata e resa disponibile per le piante. Per la misura della dotazione di questo elemento in forma assimilabile è possibile utilizzare due differenti metodiche in relazione al valore di pH del suolo; in genere però si usa un unico metodo per tutti i tipi di suolo (metodo Olsen), in quanto i risultati si correlano bene alla disponibilità di fosforo nel suolo.

L'interpretazione dei risultati porta a considerare un valore soglia critico pari a 10 mg/kg di P (pari a circa 25 mg/kg di P_2O_5), che va raddoppiato se il suolo presenta valori di calcare attivo > 5% (fenomeni di insolubilizzazione del fosforo).

Altro elemento significativo ed importante per la crescita dei vegetali, ma che generalmente non presenta problematiche di carenza nel suolo, è lo **zolfo** (S). Il 90% dello zolfo presente nel suolo è legato alla sostanza organica (rapporto

N:S = 10). In terreni ben drenati è presente inorganicamente come solfato (di calcio, magnesio, potassio, sodio, ammonio), assorbito sulle superfici argillose, legato ai composti di ferro e alluminio a pH molto acidi, precipitato con carbonato di calcio a pH superiore a 7,0.

Le piogge portano al terreno quantità elevate di zolfo (piogge acide), raggiungendo punte di 50 kg/ettaro. In condizioni aerobiche i microrganismi, attraverso la mineralizzazione della sostanza organica, liberano quantità rilevanti di zolfo (oltre 10 kg/ettaro). Lo zolfo elementare viene utilizzato per abbassare il pH dei suoli: indicativamente 1 kg/ettaro può abbassare il pH di 0,5 unità.

Il valore soglia critico per questo elemento è pari a 10 mg/kg di zolfo; in genere eventuali problemi di fitotossicità si raggiungono per valori di zolfo proveniente da solfati ($S-SO_4$) superiori a 500 mg/kg. Un indice di controllo utilizzabile è il rapporto P/S, che in condizioni di normalità si avvicina a 1.

Il cloro viene assorbito dalle piante molto rapidamente ed in elevate quantità. Difficili sono i casi di carenza, mentre eccessiva presenza di cloro solubile nella soluzione circolante del suolo può portare a fenomeni di fitotossicità; in genere il livello consigliato di cloro solubile nel suolo è inferiore a 20 mg/kg.

Esistono poi una serie di elementi definiti "microelementi", ovvero quelli utilizzati in minor quantità dalle piante. Di questi in genere si determinano, solo in casi specifici, il ferro, il manganese, il rame, lo zinco ed il boro, tutti in forma assimilabile. Le metodiche disponibili in laboratorio sono essenzialmente due, una per pH acidi ed una per pH neutro-alcalini.

I metodi forniscono valori molto differenti fra di loro e vanno interpretati in modalità specifica, come esposto nella tabella seguente.

Intervalli di sufficienza per microelementi

| elemento | Livello di sufficienza (mg/kg) | |
|-----------|--------------------------------|-----------------------|
| | Suolo acido | Suolo neutro/alcalino |
| ferro | 16-160 | 2-20 |
| manganese | 16-80 | 2-10 |
| rame | 3-25 | 1-8 |
| zinco | 2-20 | 1-10 |
| boro | 0,1-1,5 | 0,1-1,5 |

Generalmente le dotazioni nei suoli agrari di questi elementi risultano soddisfacenti e non sono richiesti interventi di correzione se non alla presenza di sintomatologia specifica sulle colture vegetali. Sulla disponibilità del ferro interferisce negativamente la dotazione in calcare attivo, per gli altri elementi un'eccessiva dotazione di fosforo può risultare un fattore competitivo. Per il boro, il cui livello di dotazione minima nel suolo può essere individuato pari a 0,1 mg/kg, possono manifestarsi sintomi di fitotossicità già a valori superiori a 2 mg/kg; questo elemento è molto lisciviabile, interagisce negativamente con il calcio e la sua disponibilità è dipendente anche dalla dotazione in sostanza organica.

Gli inquinanti

La lista degli inquinanti potrebbe essere infinita e la loro ricerca avviene in genere a fronte di sospetti precisi o nel corso di specifiche indagini ambientali. In questa sede trattiamo sinteticamente il tema dei metalli pesanti (elementi minerali con peso atomico superiore a 50), presenti nel suolo in forme diverse, fra di loro in un equilibrio dipendente dalle concentrazioni del metallo e dalle caratteristiche del suolo stesso: le forme più pericolose risultano essere quelle solubili e quelle scambiabili.

Nei terreni acidi prevalgono le forme più solubili e disponibili per le piante; argilla e sostanza organica aumentano la capacità del suolo a trattenere questi elementi.

I metalli presenti in quantità fitotossica causano sintomi di clorosi fogliare e

riduzione della crescita (anche radicale); i metalli più tossici per le piante sono cadmio, rame, zinco, nichel, piombo, mentre in termini di "inquinamento" della catena alimentare, i più pericolosi risultano essere piombo, cadmio, cromo, rame, zinco, nichel, mercurio. Per ogni metallo pesante sono stati definiti livelli massimi di dotazione del terreno al di sopra dei quali il sito è da considerarsi inquinato (Testo Unico Ambiente D.Lgs. n. 152 del 3 aprile 2006).

Limiti massi di concentrazione nel suolo

| metallo | mg/kg |
|--------------|-------|
| cadmio | 2 |
| cobalto | 20 |
| cromo totale | 150 |
| manganese | 1000 |
| nichel | 120 |
| piombo | 100 |
| rame | 120 |
| zinco | 150 |

In realtà i valori riportati nella precedente tabella sono riferiti alle aree ad uso verde pubblico-privato e residenziale, ma vengono impropriamente utilizzati anche per le aree agricole.

Alcuni dei dati riportati risultano infatti in contraddizione, ad esempio, con quanto previsto dalla Direttiva 86/278/CEE ed il D.lgs. 99/92 che fissa differentemente la concentrazione massima nel suolo di metalli pesanti ai fini del riutilizzo di rifiuti di derivazione organica in terreni ad uso agricolo; ad esempio per lo zinco, il limite previsto è pari a 300 mg/kg.

Esistono test di fitotossicità, di rapida esecuzione, in grado di rilevare la presenza di inquinanti organici, senza però individuarne la composizione. Questi test prevedono l'esecuzione di saggi di germinazione su piastra e di accrescimento radicale con specie sensibili (es. *Lepidium sativum*), gli esiti permettono di identificare la presenza di fitotossicità.

CARATTERISTICHE BIOLOGICHE

La fertilità biologica, concetto che è andato affermandosi solo negli ultimi 20 anni, è l'espressione del metabolismo e del turnover microbico.

La funzione dei microrganismi nel suolo è molteplice, in quanto si esplica sia nei processi di pedogenesi che nella nutrizione delle piante. I microrganismi intervengono nella mineralizzazione della sostanza organica, nella sintesi dell'azoto, nella formazione dell'humus e nell'immobilizzazione degli elementi minerali. Inoltre essi instaurano fondamentali rapporti con le piante nella fascia rizosferica, fillosferica, spermosferica nonché nella simbiosi micorizzica. In assenza della flora microbica il suolo sarebbe semplicemente un supporto meccanico.

La fertilità biologica dipende fundamentalmente dalla sostanza organica presente e dall'ambiente, inteso come clima. La degradazione dei residui vegetali avviene prevalentemente per attività batterica aerobica (in presenza di aria). La tipologia di sostanza organica (residui) è molto importante ed è fattore di selezione della flora microbica, influenzandone il metabolismo; i microrganismi eterotrofi si servono di monosaccaridi e azoto per la sintesi cellulare e il tenore in carbonio di un suolo influenza il metabolismo dell'azoto: sostanza organica con C/N alto favorisce l'immobilizzazione dell'azoto, mentre il C/N basso favorisce la mineralizzazione. Oltre alla sostanza organica ed al clima, anche le caratteristiche fisico-chimiche del terreno e le modalità di utilizzo dello stesso (lavorazioni meccaniche, irrigazione, concimazioni) sono fattori influenzanti la diversità della popolazione microbica e, conseguentemente, l'attività della stessa.

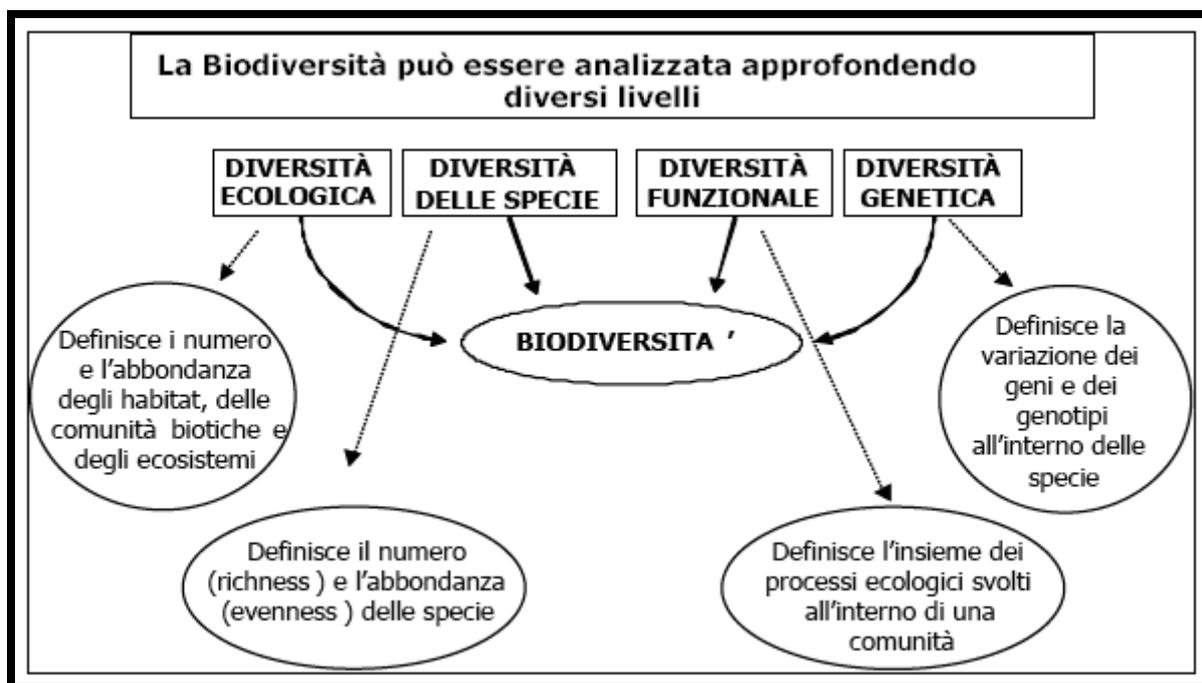
Il concetto di fertilità biologica va ad inserirsi in un tema che di recente ha assunto una notevole valenza ambientale, ovvero quello della biodiversità; è necessario su questo argomento approfondire alcuni aspetti per meglio comprendere come è possibile oggi analizzare ed interpretare i parametri di

fertilità biologica dei suoli.

La biodiversità rappresenta l'insieme di specie animali e vegetali, del loro materiale genetico e degli ecosistemi di cui fanno parte. Essa può essere definita come (OCSE, 1999) la variabilità tra gli organismi viventi provenienti da qualsiasi origine, inclusi gli ecosistemi terrestri, marini e acquatici ed i complessi ecologici di cui questi sono parte; ciò comprende la diversità all'interno delle specie, tra le specie e degli ecosistemi. Il 95% della biodiversità del nostro pianeta è presente nel suolo.

Ma come è possibile studiare la biodiversità del suolo? Di seguito si propone uno schema di studio che affronta diversi e complessi livelli, dalla diversità ecologica e delle specie (numero e abbondanza di ecosistemi e di specie) alla diversità funzionale e genetica (chi fa che cosa).

Approccio di studio della biodiversità del suolo



La biodiversità è associata alla fertilità biologica, ma la complessità dell'argomento suggerisce un approccio per livelli, che vanno eventualmente affrontati in base a delle esigenze specifiche e agli obiettivi prefissati.

Livelli analitici di approfondimento della biodiversità

| | |
|---------------------|---|
| I° livello | Analisi chimico-fisiche e biologiche di base |
| II° livello | Estrazione del DNA e analisi fingerprinting |
| III° livello | Caratterizzazione tassonomica del singolo microrganismo |
| IV° livello | Monitoraggio spazio-temporale |

I diversi livelli possono essere affrontati con diverse tecniche analitiche (riportate di seguito), più o meno complesse.

Diverse tecniche analitiche per i differenti livelli

| I | II | III | IV |
|---|--|---|---|
| Biomassa e carica microbica del suolo | Attività microbica del suolo | Diversità microbica nel suolo e struttura della comunità | Relazioni pianta-microrganismi |
| <ul style="list-style-type: none"> - Tecniche di fumigazione con cloroformio - Respirazione indotta da substrato (SIR) - ATP - Conte dirette (CFU, MPN) | <ul style="list-style-type: none"> - Respirazione del suolo - Mineralizzazione dell'azoto - Nitrificazione - Incorporazione di timidina e leucina - Test ecotossicologici | <ul style="list-style-type: none"> - Metodi molecolari - Profili di utilizzo di substrati (CLPP) - Phospholipid Fatty Acids (PLFA) - Profilo di attività enzimatica | <ul style="list-style-type: none"> - Micorrize - Fissazione N₂ - Capacità repressive - Microrganismi associativi |

Per quanto riguarda sostanzialmente il primo livello di studio, la recente messa a punto di metodi biochimici normalizzati su campioni condizionati (essiccati all'aria e successivamente riportati a condizioni di umidità pari alla capacità di campo) permette la determinazione di un indice di fertilità biologica, che si basa sul contenuto della sostanza organica, della biomassa microbica e della sua attività respiratoria. Le analisi del contenuto di biomassa microbica e della

sua attività di respirazione sono spesso condotte in situ, ma i risultati che si ottengono, sebbene assai affidabili, risultano una fotografia momentanea. Sono di difficile comparazione e poco ripetitivi causa molteplici fattori, quali l'uso di metodi di misura spesso differenti e le diverse condizioni climatiche e pedologiche nei momenti di misura.

L'utilizzo di metodi di laboratorio standardizzati su campioni di suolo condizionati permette di ovviare a questi problemi e di ottenere misure riproducibili, quindi più facilmente confrontabili. Inoltre queste analisi possono essere condotte in tempi sufficientemente rapidi (meno di 30 giorni) e, per questo motivo, risultano di un certo interesse pratico, in quanto affiancabili alle normali analisi fisico-chimiche.

Il carbonio della biomassa microbica e il rapporto carbonio biomassa microbica/carbonio organico totale forniscono informazioni in merito alla quantità di microrganismi presenti nel suolo ed allo stato di equilibrio della comunità microbica rispetto alla sostanza organica. Valori di questo indice compresi fra 1 e 4 sono da considerarsi nella norma. Valori inferiori ad 1 forniscono un'indicazione di stress o di forte inquinamento, risultando ridotta la quota di biomassa microbica; tuttavia valori più alti possono riscontrarsi anche in siti disturbati: in situazioni di stress la biomassa microbica del suolo diviene particolarmente attiva degradando rapidamente la sostanza organica, fattore che a lungo termine può portare ad un non sostenibile depauperamento delle riserve organiche.

Il solo dato di quantità di biomassa microbica presente nel suolo può di per sé fornire indicazioni interessanti, ma solo confrontato con gli altri parametri biochimici fornisce informazioni maggiori, come vedremo più avanti. Si ricorda inoltre che questo dato non fornisce informazioni sulla tipologia di biomassa presente (diversità genetica).

La respirazione del suolo stima l'attività metabolica della popolazione microbica

ivi presente. Essa è influenzata sia dalla differente tipologia di popolazione microbica, sia dall'umidità, dalla temperatura, dalla struttura del suolo, dalle pratiche colturali e dalla tipologia di sostanza organica presente.

Questo parametro è un indicatore in grado di valutare le differenze o i cambiamenti nella popolazione microbica.

Dalle analisi di laboratorio condotte in condizioni standard di temperatura ed umidità del campione di terreno, si desumono i valori di respirazione basale e respirazione cumulativa. La respirazione basale è una misura della respirazione microbica essenziale e viene comunemente considerata come decomposizione complessiva della sostanza organica. La respirazione cumulativa rappresenta invece il tasso di respirazione della popolazione microbica, ovvero la quantità di CO₂ prodotta in un determinato periodo di tempo. Con questo dato è possibile costruire curve di respirazione (sia con i dati cumulativi che con quelli giornalieri), che forniscono indicazioni relativamente alla velocità di decomposizione della sostanza organica.

Dai dati di sostanza organica, quantità di biomassa microbica ed attività respiratoria è possibile calcolare quozienti che forniscono ulteriori informazioni sullo stato ed attività dei microrganismi presenti nel suolo.

Il quoziente metabolico si ottiene dal rapporto fra il dato della respirazione basale e quello del carbonio della biomassa microbica; esso mette in relazione l'attività e la dimensione della biomassa microbica e rappresenta l'efficienza metabolica dei microrganismi attivi. Esso rappresenta il tasso di respirazione specifica. Valori bassi possono indicare un utilizzo dell'energia che avviene in modo efficiente, con stabilità dell'ecosistema; è possibile rilevare innalzamento del valore a seguito di eventi di disturbo antropico o naturale (distribuzione di letame, arature, pascolamento); un aumento costante nel tempo del valore di questo quoziente è un segnale di allarme.

Il quoziente di mineralizzazione viene calcolato dal rapporto fra la respirazione cumulativa ed il carbonio organico totale. Esso mette in relazione la velocità della respirazione microbica alla dotazione di sostanza organica presente nel suolo. Valori più alti possono significare elevata efficienza dell'attività della biomassa microbica, ma anche rischio di depauperamento rapido delle riserve organiche; valori tendenzialmente bassi possono invece indicare uno stato di equilibrio del sistema. Il dato fornisce indirettamente anche informazioni sulla stabilità della sostanza organica presente: valori elevati di questo quoziente stanno ad indicare elevata efficienza respiratoria a fronte di matrice organica poco stabile e facilmente mineralizzabile.

Il CRA-RPS di Roma (Centro di ricerca per lo studio delle relazioni tra pianta e suolo) ha messo a punto, utilizzando questi parametri, un indice sintetico di fertilità biologica (IFB), proposto inizialmente per suoli a tessitura franco/franco argillosa, reazione sub-acida/neutra, ambiente in area mediterranea, ma successivamente validato anche per le regioni del nord Italia.

Nella tabella seguente viene riportato lo schema di calcolo dell'indice proposto, con le modalità di interpretazione dei risultati che si ottengono.

Calcolo dell'indice sintetico di fertilità biologica (IFB)

| <u>Parametri utilizzati</u> | Punteggio | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Sostanza organica | <1 | 1 – 1,5 | 1,5 – 2 | 2 – 3 | >3 |
| Respirazione basale | <5 | 5 – 10 | 10 – 15 | 15 – 20 | >20 |
| Respirazione cumulativa | <100 | 100 – 250 | 250 – 400 | 400 – 600 | >600 |
| Carbonio microbico | <100 | 100 – 200 | 200 – 300 | 300 – 400 | >400 |
| Quoziente metabolico | >0,4 | 0,3 – 0,4 | 0,2 – 0,3 | 0,1 – 0,2 | <0,1 |
| Quoziente di mineralizzazione | <1 | 1 – 2 | 2 – 3 | 3 – 4 | >4 |

| Classe di Fertilità | I | II | III | IV | V |
|---------------------|-----|--------------------|-------------------|-------|-------|
| | | stanchezza allarme | stress preallarme | media | buona |
| Punteggio | 0-6 | 6-12 | 12-18 | 18-24 | 24-30 |

Sostanzialmente per ogni parametro analizzato si considerano intervalli di valori ai quali vengono attribuiti dei punteggi; la somma algebrica di questi punteggi fornisce la classe di fertilità biologica del campione analizzato.

E' un indice assai interessante, del quale ovviamente non bisogna abusare eccessivamente e che va interpretato unitamente ad altri parametri fisico-chimici di base, oltre che alle attività di utilizzo del suolo.

L'azoto potenzialmente mineralizzabile è un parametro alquanto interessante: esso misura la conversione dell'azoto organico nelle forme minerali disponibili (nitrico ed ammoniacale) attraverso processi biochimici mediati dai microrganismi del suolo ed influenzati da fattori quali umidità, temperatura e pH. Questo parametro vuole stimare la quantità di azoto proveniente dai processi biologici di mineralizzazione dell'azoto organico. Esso può fornire elementi utili per la razionalizzazione delle concimazioni azotate ed informazioni sulla stabilità della sostanza organica presente nel suolo.

La metodica di laboratorio messa a punto pone tuttavia alcune limitazioni da

un punto di vista pratico in quanto l'analisi ha una durata media di 30 settimane; si ritiene comunque un parametro molto interessante che potrebbe essere determinato con una frequenza quinquennale. Per ogni indicatore utilizzato non esistono valori ottimali validi per tutti i suoli, per cui è importante assumere il maggior numero di informazioni in fase di campionamento (scheda di campagna).

Nel secondo livello di studio si fa riferimento soprattutto a metodi molecolari per l'estrazione del DNA e la determinazione delle specie microbiche presenti. Le tecniche sono molto costose, ma le informazioni alquanto preziose. Spesso elevata fertilità biologica è associabile a maggiore biodiversità.

Il terzo livello è di tipo comparativo e si pone l'obiettivo di determinare la diversità microbica specifica, ovvero l'identificazione dei singoli individui e le loro associazioni a specifiche funzioni nel suolo.

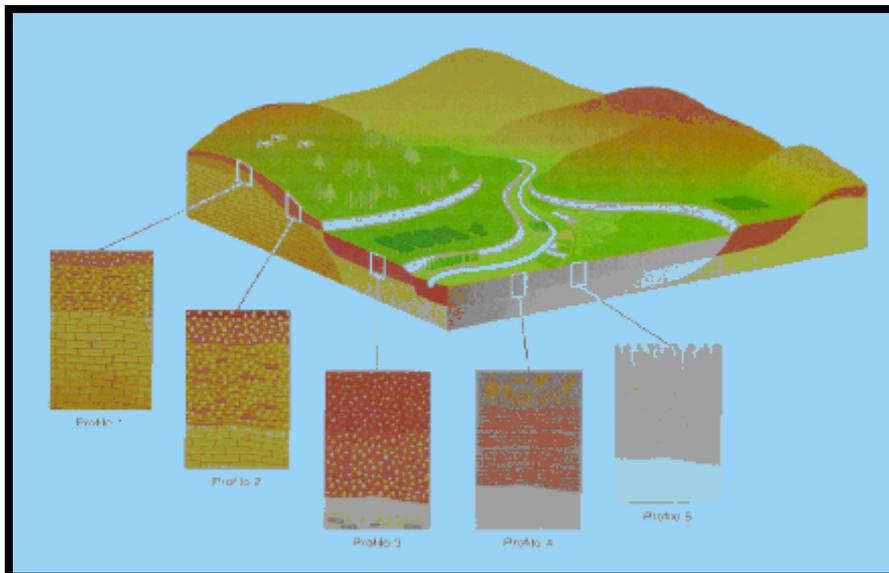
Il quarto livello necessita di monitoraggi a lungo termine al fine di andare a definire la diversità assoluta, ovvero la dotazione costante del suolo in ricchezza e abbondanza di specie microbiche associate a precise funzioni. In sostanza da diverse misure nel tempo di diversità attuale (diversità presente in ogni momento di monitoraggio) si può giungere a definire la biodiversità del sito di indagine.

CAMPIONAMENTO

Il campionamento è parte integrante e fondamentale dell'analisi di un terreno; da un'operazione impropria ne consegue l'ottenimento di dati di laboratorio poco attendibili. È prassi ritenere che gli errori provenienti dalle attività analitiche di laboratorio siano elevati; in realtà l'errore dovuto al campionamento raggiunge mediamente l'80-85% dell'errore totale, rispetto ad un contributo di massimo il 20% dato dagli errori analitici.

La prima e fondamentale regola è che il campione di terreno da inviare al laboratorio deve essere il più possibile rappresentativo dell'appezzamento di terreno o dell'area che si vuole indagare. I suoli raramente sono omogenei e la disomogeneità aumenta all'ampliarsi dell'area di indagine; l'eterogeneità dei suoli è sia di tipo spaziale (orizzontale e verticale), sia temporale.

Campionamento e eterogeneità



Per il campionamento del suolo, oltre alla realtà oggetto di indagine, risulta molto importante anche il punto di vista dell'operatore che eseguirà o pianificherà il campionamento. I suoli dovranno essere dapprima osservati e successivamente campionati in funzione delle finalità di indagine previste.

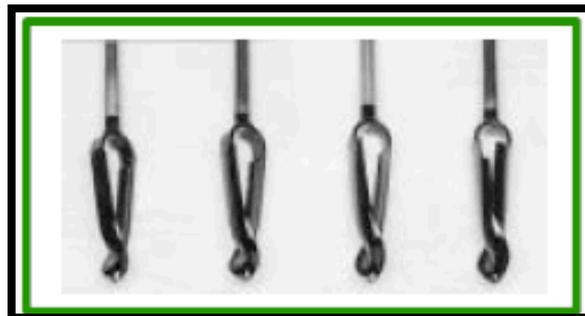
Rifacendoci comunque allo scopo pratico che questo manuale vuole rivestire, semplificheremo al massimo le informazioni del presente capitolo, tralasciando le regole di campionamento per indagini territoriali su ampia scala e concentrandoci maggiormente su sondaggi di dimensioni più contenute, proprie dei diversi settori enunciati nei precedenti capitoli (aziende agricole a pieno campo e non, vivaismo, aree ornamentali, ricreative e sportive).



Innanzitutto l'epoca di campionamento. E' consigliabile effettuare i campionamenti a distanza di 3-6 mesi da precedenti fertilizzazioni (concimazioni e/o ammendamenti); in merito alla stagionalità, generalmente non esistono impedimenti di alcun genere, salvo evitare di campionare in condizioni di eccessiva umidità o secchezza del suolo o vicino a lavorazioni profonde. Nel caso di coltivazione agricole, orticole e frutticole conviene campionare al termine della raccolta, mentre per le coltivazioni ornamentali

durante il riposo vegetativo e comunque prima di nuovi impianti.

Per l'attrezzatura di utilizzo, risulta necessario disporre come minimo di trivella apposita da campionamento (manuale, a motore, per campionamento superficiali o per carotaggi in profondità) o anche di semplice vanga, secchio di capacità sufficiente a contenere i diversi sub-campioni prelevati (almeno 10 litri), sacchetti di plastica puliti di capacità minima 1 litro (per le analisi di sostanze inquinanti le ARPA preferiscono contenitori in vetro), con adeguato sistema di chiusura (anche a laccio), per contenere il campione finale, pennarelli e/o etichette e borsa da refrigerazione nel caso risulti necessario consegnare il campione fresco.



Utilizzando trivelle o sonde risulterà sufficiente introdurre l'attrezzo nel terreno fino alla profondità desiderata ed estrarre la carota di terreno; nel caso dell'utilizzo di vanghe, effettuare una buca della profondità desiderata e prelevare poi una fetta sul bordo della stessa.

La scheda di campionamento potrà essere richiesta al laboratorio di analisi scelto per effettuare le determinazioni o realizzata ad hoc.

La prima regola è quella di individuare, all'interno dell'area di indagine, delle zone fra di loro omogenee. L'omogeneità è una caratteristica dipendente da diversi fattori, quali principalmente l'esposizione, la giacitura, l'ordinamento

colturale o le specie vegetali presenti o previste, le tecniche agronomiche utilizzate. Ad ogni area omogenea corrisponderà un campione finale, a meno di superfici omogenee particolarmente estese: in questi casi non conviene superare i 10 ettari per singola area omogenea nelle coltivazioni estensive di pieno campo e i 2-3 ettari negli altri casi. Ovviamente all'interno di piccole aree di intervento, quali possono essere giardini ornamentali privati, l'estensione di una zona omogenea può essere alquanto ridotta (poche centinaia di metri quadrati), individuandone anche più di una, causa una differente finalità (ricreativa o puramente ornamentale) e/o gestione (presenza o meno di irrigazione) del verde.

All'interno di ogni area omogenea bisogna evitare le cosiddette zone anomale, quali i bordi e le testate della superficie, strade o edifici, pozzi, argini, piccole aree con crescita della vegetazione disforme, piccoli avvallamenti o dossi con ristagni idrici o eccessivo drenaggio.

La profondità di campionamento dipenderà dalle specie vegetali inserite o previste; pertanto esso potrà essere più o meno superficiale, ad esempio 0-20 cm per le colture orticole a breve ciclo, tappeti erbosi, erbacee annuali e o perenni o 0-30 cm per colture cerealicole, orticole annuali o perenni e arbusti. Per le colture arboree (frutticole o ornamentali) sarà possibile invece suddividere il campione a due differenti profondità, separando il profilo di campionamento (0-30 cm quello superficiale e 30-60 cm quello profondo). Per indagini strutturali si dovrà invece sempre considerare un campionamento profondo anche per le specie a radici superficiali. Si consiglia sempre di eliminare gli eventuali residui colturali o la vegetazione presente in superficie, scartando i primi 5 cm di spessore.

All'interno dell'area omogenea il singolo e rappresentativo campione finale dovrà essere il risultato di una miscela di sub-campioni, prelevati nell'area individuata. Il loro numero può essere compreso ragionevolmente fra 6 e 10, ricordandosi che più alto è il numero di sub-campioni, maggiore sarà la

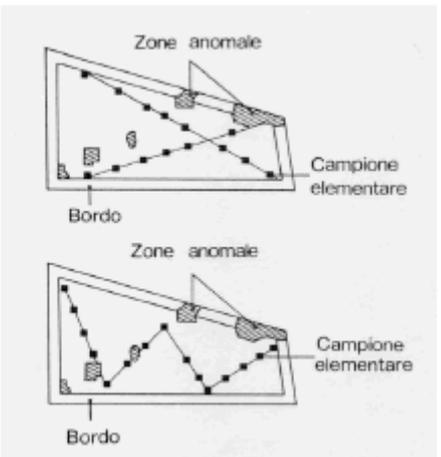
rappresentatività del campione finale, in quanto l'errore che può comportare dal casuale prelievo in zona anomala risulterebbe maggiormente diluito.

Il prelievo dei sub-campioni potrà essere eseguito con la massima casualità lungo un qualsiasi percorso (ad esempio a forma di X, W o S) che ricopra l'intera superficie omogenea oggetto di indagine.

Schemi di campionamento a random

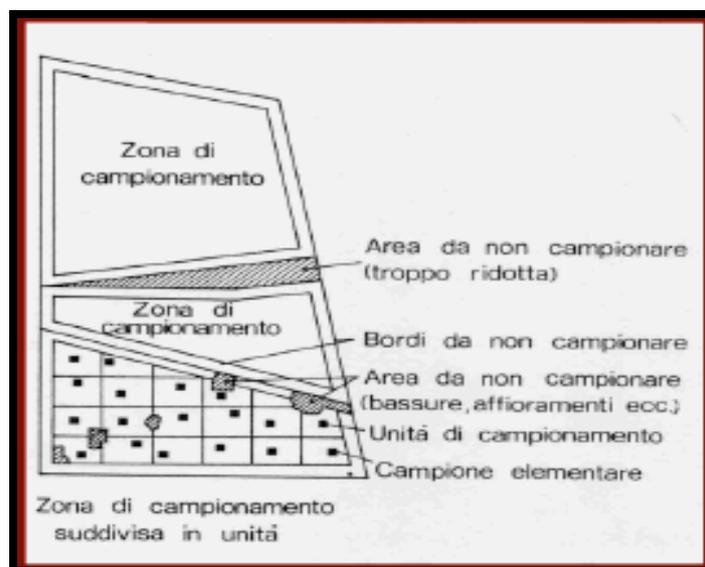
Per transetti:

- Eliminare le zone anomale e di bordo
- Identificare transetti significativi
- Prelevare campioni elementari in punti significativi lungo il transetto



In alternativa è possibile suddividere l'area di indagine mediante un reticolo a maglia regolare che vada a formare delle unità di campionamento di forma regolare all'interno delle quali prelevare i sub-campioni (campionamento sistematico).

Schema di campionamento sistematico



I sub-campioni prelevati vanno successivamente miscelati, prelevando alla fine un'aliquota pari a circa 1 kg, che rappresenterà il campione finale da inviare al laboratorio. Tutti i campioni finali, rappresentativi delle diverse aree omogenee di indagine, vanno posti in sacchetti puliti, ciascuno identificato al suo esterno da una propria sigla di riconoscimento (numero o lettera tramite etichetta o pennarello indelebile); assai utile risulta accompagnare ogni campione con una propria scheda di identificazione riportante il maggior numero di informazione possibili (data di prelievo, luogo, denominazione campione, coltura precedente e/o prevista, interventi agronomici effettuati, etc.), utili anche per una migliore interpretazione dei dati; un fac-simile di una scheda di campionamento è riportata a fine capitolo. Se la consegna dei campioni al laboratorio non avviene entro 24 ore dal campionamento, si consiglia la conservazione in ambiente fresco ($< 5-8^{\circ}\text{C}$), conservazione sempre da effettuare nel caso di richiesta di parametri la cui determinazione va effettuata su campione fresco (esempio azoto minerale). Per campionamenti in frutteti o presso esemplari arborei, il campione di terreno andrà prelevato nella zona interessata dall'apparato radicale delle piante.

SCHEDA CAMPIONAMENTO

| | |
|---|-----------------------------------|
| RAGIONE SOCIALE RICHIEDENTE | |
| RAGIONE SOCIALE: _____ | Cod.CI. MAC: _____ |
| VIA: _____ | |
| CAP: _____ | LOCALITA': _____ PROVINCIA: _____ |
| TEL. _____ | FAX _____ E-MAIL: _____ |
| P. I.V.A.: _____ | C.F.: _____ |
| IBAN: _____ | RIFERIMENTO: _____ |
| RAGIONE SOCIALE FATTURAZIONE (SE DIVERSA DALLA PRECEDENTE) | |
| RAGIONE SOCIALE: _____ | |
| VIA: _____ | |
| CAP: _____ | LOCALITA' _____ PROVINCIA: _____ |
| TEL. _____ | FAX _____ E-MAIL: _____ |
| P. I.V.A.: _____ | C.F.: _____ |
| IBAN: _____ | RIFERIMENTO: _____ |
| TIPOLOGIA CAMPIONE/I: _____ | |
| METODO DI CAMPIONAMENTO: _____ | |
| CAMPIONAMENTO ESEGUITO DA: _____ | |
| LUOGO DI CAMPIONAMENTO: _____ | |
| DATA campionamento: _____ | ORA campionamento: _____ |
| N. TOT CAMPIONI CONSEGNATI _____ | |
| IDENTIFICAZIONE NUMERICA CAMPIONI (da riportare anche sui contenitori dei singoli campioni) | |
| 01: _____ | ; 02: _____ |
| 03: _____ | ; 04: _____ |
| 05: _____ | ; 06: _____ |
| 07: _____ | ; 08: _____ |
| 09: _____ | ; 10: _____ |
| Per un numero superiore di campioni allegare elenco riepilogativo. | |
| DETERMINAZIONI ANALITICHE RICHIESTE | |
| _____ | |
| _____ | |
| _____ | |
| _____ | |
| _____ | |
| _____ | |
| Consigli agronomici: _____ | |
| SI <input type="checkbox"/> | NO <input type="checkbox"/> |

TABELLE RIASSUNTIVE DI INTERPRETAZIONE PRINCIPALI

PARAMETRI

Nel presente e conclusivo capitolo si riportano tabelle riassuntive di immediata consultazione, alcune delle quali già citate nei precedenti capitoli.

Le presenti tabelle riportano per diverse casistiche i principali parametri analitici utilizzabili come indicatori per la valutazione della qualità dei suoli e per un loro uso razionale, suggerendo nel contempo dei percorsi analitici. Inoltre si forniscono alcuni coefficienti per la trasformazione delle unità di misura. In calce alle singole tabelle viene indicato un sintetico riferimento normativo relativo ai metodi di prova, dei quali maggiore informazione è riportata in bibliografia.

A tale proposito si ricorda che la scelta di metodi di prova ufficiali, normalizzati e standardizzati è di primaria importanza, in quanto l'utilizzo di metodiche alternative non sempre fornisce dati analitici comparabili, correttamente interpretabili e utilizzabili.

In relazione all'uso dei dati per il calcolo di eventuali apporti di elementi minerali (concimazioni e/o fertilizzazioni), occorre affidarsi ad agronomi del settore, in quanto diversi sono i fattori da tenere in considerazione e complicate le elaborazioni dei dati provenienti dal laboratorio (alcune delle quali proposte nelle successive tabelle). Tra i principali fattori coinvolti si ricordano la stima delle asportazione stagionali della coltura previste in relazione alla produttività attesa, il calcolo del bilancio della sostanza organica e dei macroelementi (N-P-K), con il coinvolgimento di tutti i fattori di mineralizzazione, di lisciviazione, di immobilizzazione, di restituzione e la valutazione dell'efficienza dei prodotti utilizzati (efficienza concimazioni).

Tabella interpretativa generale fisico-chimica suolo a medio impasto

| Parametro | U.M. | intervallo ottimale |
|---|-------------------|---------------------|
| Scheletro | g/kg sul tot | < 150 |
| Sabbia | g/kg s.s. | 250-550 |
| Limo | g/kg s.s. | 250-500 |
| Argilla | g/kg s.s. | 75-275 |
| Densità apparente | kg/m ³ | 1200-1400 |
| Porosità | % v/v | 40-60 |
| Permeabilità | mm/h | 25-60 |
| Velocità di infiltrazione | mm/h | 25-120 |
| pH _(H2O) | | 6,0-8,0 |
| Salinità (ECe) | dS/m | < 2,0 |
| Calcare totale | g/kg s.s. | < 200 |
| Calcare attivo | g/kg s.s. | < 50 |
| Sostanza organica | g/kg s.s. | > 20 |
| Azoto totale | g/kg s.s. | >1 |
| Rapporto C/N | | 9-11 |
| Capacità scambio cationico (CSC) | meq/100 g s.s. | 10-20 |
| Calcio scambiabile (Ca) | meq/100 g s.s. | 5-10 |
| Magnesio scambiabile (Mg) | meq/100 g s.s. | 0,8-1,6 |
| Potassio scambiabile (K) | meq/100 g s.s. | 0,30-0,45 |
| Sodio scambiabile (Na) | meq/100 g s.s. | < 1,0 |
| Grado di saturazione basica (GSB) | % | 40-80 |
| ESP (percentuale di sodio scambiabile sulla CSC) | % | < 5 |
| Rapporto Ca/Mg | | 2-10 |
| Rapporto Mg/K | | 2-5 |
| Fosforo assimilabile (P Olsen) | mg/kg s.s. | 10-20 |
| Boro solubile | mg/kg s.s. | 0,1-1,5 |
| Ferro assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 2-20 |
| Ferro assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 16-160 |
| Manganese assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 2-10 |
| Manganese assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 16-80 |
| Rame assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 1-8 |
| Rame assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 3-25 |
| Zinco assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 1-10 |
| Zinco assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 2-20 |
| Cloruri solubili in acqua (Cl) | mg/kg s.s. | < 20 |
| Zolfo da solfati (S-SO ₄) | mg/kg s.s. | < 500 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1992-1997-1999-2002

Tabella interpretativa fisico-chimica suolo sabbioso (grossolano)

| Parametro | U.M. | intervallo ottimale |
|---|-------------------|---------------------|
| Scheletro | g/kg sul tot | < 150 |
| Sabbia | g/kg s.s. | > 550 |
| Limo | g/kg s.s. | < 350 |
| Argilla | g/kg s.s. | < 200 |
| Densità apparente | kg/m ³ | 1400 |
| Porosità | % v/v | > 50 |
| Permeabilità | mm/h | > 60 |
| Velocità di infiltrazione | mm/h | > 60 |
| pH _(H2O) | | 6,5-8,0 |
| Salinità (ECe) | dS/m | < 2,0 |
| Calcare totale | g/kg s.s. | < 200 |
| Calcare attivo | g/kg s.s. | < 50 |
| Sostanza organica | g/kg s.s. | > 15 |
| Azoto totale | g/kg s.s. | > 0,8 |
| Rapporto C/N | | 9-11 |
| Capacità scambio cationico (CSC) | meq/100 g s.s. | 5-10 |
| Calcio scambiabile (Ca) | meq/100 g s.s. | 2,5-5 |
| Magnesio scambiabile (Mg) | meq/100 g s.s. | 0,4-0,8 |
| Potassio scambiabile (K) | meq/100 g s.s. | 0,25-0,35 |
| Sodio scambiabile (Na) | meq/100 g s.s. | < 1,0 |
| Grado di saturazione basica (GSB) | % | 60-90 |
| ESP (percentuale di sodio scambiabile sulla CSC) | % | < 10 |
| Rapporto Ca/Mg | | 2-10 |
| Rapporto Mg/K | | 2-5 |
| Fosforo assimilabile (P Olsen) | mg/kg s.s. | 10-20 |
| Boro solubile | mg/kg s.s. | 0,1-1,5 |
| Ferro assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 2-20 |
| Ferro assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 16-160 |
| Manganese assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 2-10 |
| Manganese assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 16-80 |
| Rame assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 1-8 |
| Rame assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 3-25 |
| Zinco assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 1-10 |
| Zinco assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 2-20 |
| Cloruri solubili in acqua (Cl) | mg/kg s.s. | < 20 |
| Zolfo da solfati (S-SO ₄) | mg/kg s.s. | < 500 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1992-1997-1999-2002

Tabella interpretativa fisico-chimica suolo argilloso (fine)

| Parametro | U.M. | intervallo ottimale |
|---|-------------------|---------------------|
| Scheletro | g/kg sul tot | < 150 |
| Sabbia | g/kg s.s. | < 450 |
| Limo | g/kg s.s. | < 600 |
| Argilla | g/kg s.s. | > 400 |
| Densità apparente | kg/m ³ | 1200 |
| Porosità | % v/v | > 40 |
| Permeabilità | mm/h | > 2,5 |
| Velocità di infiltrazione | mm/h | > 5 |
| pH _(H2O) | | 5,5-8,0 |
| Salinità (ECe) | dS/m | < 2,0 |
| Calcare totale | g/kg s.s. | < 200 |
| Calcare attivo | g/kg s.s. | < 50 |
| Sostanza organica | g/kg s.s. | > 25 |
| Azoto totale | g/kg s.s. | > 1,2 |
| Rapporto C/N | | 9-11 |
| Capacità scambio cationico (CSC) | meq/100 g s.s. | 15-30 |
| Calcio scambiabile (Ca) | meq/100 g s.s. | 10-20 |
| Magnesio scambiabile (Mg) | meq/100 g s.s. | 1,0-2,4 |
| Potassio scambiabile (K) | meq/100 g s.s. | 0,50-0,70 |
| Sodio scambiabile (Na) | meq/100 g s.s. | < 1,0 |
| Grado di saturazione basica (GSB) | % | 30-90 |
| ESP (percentuale di sodio scambiabile sulla CSC) | % | < 10 |
| Rapporto Ca/Mg | | 2-10 |
| Rapporto Mg/K | | 2-5 |
| Fosforo assimilabile (P Olsen) | mg/kg s.s. | 10-20 |
| Boro solubile | mg/kg s.s. | 0,1-1,5 |
| Ferro assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 2-20 |
| Ferro assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 16-160 |
| Manganese assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 2-10 |
| Manganese assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 16-80 |
| Rame assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 1-8 |
| Rame assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 3-25 |
| Zinco assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 1-10 |
| Zinco assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 2-20 |
| Cloruri solubili in acqua (Cl) | mg/kg s.s. | < 20 |
| Zolfo da solfati (S-SO ₄) | mg/kg s.s. | < 500 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1992-1997-1999-2002

Tabella interpretativa top-soil prato ornamentale/ricreativo

| Parametro | U.M. | intervallo ottimale |
|---|-------------------|---------------------|
| Scheletro | g/kg sul tot | < 200 |
| Sabbia | g/kg s.s. | > 600 |
| Limo | g/kg s.s. | < 250 |
| Argilla | g/kg s.s. | < 150 |
| Densità apparente | kg/m ³ | 1400 |
| Porosità | % v/v | > 50 |
| Permeabilità | mm/h | > 60 |
| Velocità di infiltrazione | mm/h | > 60 |
| pH _(H2O) | | 6,5-8,0 |
| Salinità (ECe) | dS/m | < 2,0 |
| Calcare totale | g/kg s.s. | < 200 |
| Calcare attivo | g/kg s.s. | < 50 |
| Sostanza organica | g/kg s.s. | > 15 |
| Azoto totale | g/kg s.s. | > 0,8 |
| Rapporto C/N | | 9-11 |
| Capacità scambio cationico (CSC) | meq/100 g s.s. | 5-10 |
| Calcio scambiabile (Ca) | meq/100 g s.s. | 2,5-5 |
| Magnesio scambiabile (Mg) | meq/100 g s.s. | 0,4-0,8 |
| Potassio scambiabile (K) | meq/100 g s.s. | 0,25-0,35 |
| Sodio scambiabile (Na) | meq/100 g s.s. | < 1,0 |
| Grado di saturazione basica (GSB) | % | 60-90 |
| ESP (percentuale di sodio scambiabile sulla CSC) | % | < 10 |
| Rapporto Ca/Mg | | 2-10 |
| Rapporto Mg/K | | 2-5 |
| Fosforo assimilabile (P Olsen) | mg/kg s.s. | 10-20 |
| Boro solubile | mg/kg s.s. | 0,1-1,5 |
| Ferro assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 2-20 |
| Ferro assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 16-160 |
| Manganese assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 2-10 |
| Manganese assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 16-80 |
| Rame assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 1-8 |
| Rame assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 3-25 |
| Zinco assimilabile (DTPA) (suoli neutro-alcalini) | mg/kg s.s. | 1-10 |
| Zinco assimilabile (EDTA) (suoli acidi) | mg/kg s.s. | 2-20 |
| Cloruri solubili in acqua (Cl) | mg/kg s.s. | < 20 |
| Zolfo da solfati (S-SO ₄) | mg/kg s.s. | < 500 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1992-1997-1999-2002

Tabella interpretativa top-soil prato tecnico (uso intensivo)

| Parametro | U.M. | intervallo ottimale |
|---|-------------------|---------------------|
| Scheletro fine (2,0-3,4 mm) (*) | % | < 3,0 < 10 |
| Sabbia molto grossa (1,0-2,0 mm) (*) | % | |
| Sabbia grossa (0,5-1,0 mm) (*) | % | > 60 |
| Sabbia media (0,25-0,50 mm) (*) | % | |
| Sabbia fine (0,15-0,25 mm) (*) | % | < 20 |
| Sabbia molto fine (0,05-0,15 mm) (*) | % | < 5 |
| Limo (0,002-0,05 mm) (*) | % | < 5 < 10 |
| Argilla (< 0,002 mm) (*) | % | < 3 |
| Densità apparente (*) | g/cm ³ | 1,2-1,6 |
| Porosità totale (*) | % v/v | 35-55 |
| Macro porosità (30 cm di tensione = pF 1,5) (*) | % v/v | 15-30 |
| Porosità capillare (30 cm di tensione = pF 1,5) (*) | % v/v | 15-25 |
| Permeabilità (*) | mm/h | > 150 |
| pH (H ₂ O) | | 5,5-8,0 |
| Salinità (ECe) | dS/m | < 4,0 |
| Calcare totale | % | < 25 |
| Capacità scambio cationico (CSC) | meq/100 g s.s. | 5-10 |
| Calcio scambiabile (Ca) | meq/100 g s.s. | 2,5-5 |
| Magnesio scambiabile (Mg) | meq/100 g s.s. | 0,4-0,8 |
| Potassio scambiabile (K) | meq/100 g s.s. | 0,25-0,35 |
| Sodio scambiabile (Na) | meq/100 g s.s. | < 1,0 |
| Grado di saturazione basica (GSB) | % | 60-90 |
| ESP (percentuale di sodio scambiabile sulla CSC) | % | < 15 |
| Rapporto Ca/Mg | | 2-10 |
| Rapporto Mg/K | | 2-5 |
| Fosforo assimilabile (P Olsen) | mg/kg s.s. | 10-20 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1992-1997-1999-2002 + ASTM USA

(*): Raccomandazioni USGA Green Section - 2004

**Tabella interpretativa strato colturale per coperture a verde
verde pensile estensivo – norma UNI 11235:2007-2008**

| Parametro | U.M. | intervallo ottimale |
|--|----------------|---------------------|
| Frazione granulometrica < 0,05 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 0-15 |
| Frazione granulometrica < 0,15 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 0-18 |
| Frazione granulometrica < 0,25 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 0-21 |
| Frazione granulometrica < 0,50 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 0-27 |
| Frazione granulometrica < 1,00 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 0-42 |
| Frazione granulometrica < 2,00 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 18-60 |
| Frazione granulometrica < 5,0 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 49-95 |
| Frazione granulometrica < 10 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 75-100 |
| Frazione granulometrica < 16 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 92-100 |
| Frazione granulometrica < 20 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 100 |
| Densità apparente secca (EN 13041:2007) | g/l | 350-1000 |
| Porosità totale (EN 13041:2007) | % v/v | ≥ 48 |
| Volume d'acqua (a pF 1) (EN 13041:2007) | % v/v | ≥ 30 |
| Volume d'aria (a pF 1) (EN 13041:2007) | % v/v | ≥ 18 |
| Velocità di infiltrazione (DIN 18035-4:1991-2007) | mm/min | ≥ 0,6 |
| pH _(H2O) (EN 13037:2002) | | 6,5-8,0 |
| Conducibilità elettrica (EN 13041:2007) | mS/m | ≤ 50,0 |
| Azoto minerale solubile (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 50 |
| Fosforo solubile P ₂ O ₅ (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 30 |
| Potassio solubile K (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 50 |
| Calcio solubile Ca (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 20 |
| Magnesio solubile Mg (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 10 |
| Sodio solubile Na (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 15 |
| Capacità scambio cationico (CSC) (DM:1999) | meq/100 g s.s. | > 8 |
| Sostanza organica (EN 13039:2002) | | |
| con densità apparente secca ≤ 800 g/l | % s.s. | ≤ 8 |
| con densità apparente secca ≥ 800 g/l | % s.s. | ≤ 6 |

**Tabella interpretativa strato colturale per coperture a verde
verde pensile intensivo – norma UNI 11235:2007-2008**

| Parametro | U.M. | intervallo ottimale |
|--|----------------|---------------------|
| Frazione granulometrica < 0,05 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 0-18 |
| Frazione granulometrica < 0,15 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 2-26 |
| Frazione granulometrica < 0,25 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 5-33 |
| Frazione granulometrica < 0,50 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 7-46 |
| Frazione granulometrica < 1,00 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 14-62 |
| Frazione granulometrica < 2,00 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 24-80 |
| Frazione granulometrica < 5,0 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 53-100 |
| Frazione granulometrica < 10 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 80-100 |
| Frazione granulometrica < 16 mm (EN 15428:2008) | % s.s. | 100 |
| Densità apparente secca (EN 13041:2007) | g/l | 350-1000 |
| Porosità totale (EN 13041:2007) | % v/v | ≥ 58 |
| Volume d'acqua (a pF 1) (EN 13041:2007) | % v/v | ≥ 40 |
| Volume d'aria (a pF 1) (EN 13041:2007) | % v/v | ≥ 18 |
| Velocità di infiltrazione (DIN 18035-4:1991-2007) | mm/min | ≥ 0,3 |
| pH (H ₂ O) (EN 13037:2002) | | 5,5-8,0 |
| Conducibilità elettrica (EN 13041:2007) | mS/m | ≤ 50,0 |
| Azoto minerale solubile (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 50 |
| Fosforo solubile P ₂ O ₅ (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 30 |
| Potassio solubile K (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 50 |
| Calcio solubile Ca (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 20 |
| Magnesio solubile Mg (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 10 |
| Sodio solubile Na (EN 13652:2001) | mg/l estratto | ≤ 15 |
| Capacità scambio cationico (CSC) (DM:1999) | meq/100 g s.s. | > 12 |
| Sostanza organica (EN 13039:2002) | | |
| con densità apparente secca ≤ 800 g/l | % s.s. | ≤ 12 |
| con densità apparente secca ≥ 800 g/l | % s.s. | ≤ 6 |

Parametri minimi indicativi per terreno di coltura ad uso verde

| Parametro | U.M. | intervallo ottimale |
|--|----------------|---------------------|
| Scheletro | g/kg sul tot | < 250 |
| Sabbia | g/kg s.s. | > 400 |
| Argilla | g/kg s.s. | < 400 |
| pH (H ₂ O) | | 6,0-8,0 |
| Salinità (ECe) | dS/m | < 2,0 |
| Calcare totale | g/kg s.s. | < 50 |
| Sostanza organica | g/kg s.s. | > 15 |
| Rapporto C/N | | 9-11 |
| Capacità scambio cationico (CSC) | meq/100 g s.s. | > 5 |
| Grado di saturazione basica (GSB) | % | 40-90 |
| ESP (percentuale di sodio scambiabile sulla CSC) | % | < 5 |
| Rapporto Ca/Mg | | 2-10 |
| Rapporto Mg/K | | 2-5 |
| Fosforo assimilabile (P Olsen) | mg/kg s.s. | 10-20 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1992-1997-1999-2002

Interpretazione parametri fertilità biologica

| Parametro | | punteggio | | | | |
|-----------------------------|---------------------|-----------|---------|---------|---------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Sostanza organica | (%) | < 1 | 1,0-1,5 | 1,5-2,0 | 2,0-3,0 | > 3 |
| Carbonio biomassa microbica | (ppm) | < 100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | > 400 |
| Respirazione basale | (ppm) | < 5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | > 20 |
| Respirazione cumulativa | (ppm) | < 100 | 100-250 | 250-400 | 400-600 | > 600 |
| Quoziente mineralizzazione | (%) | < 1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | > 4 |
| Quoziente metabolico | (%h ⁻¹) | > 0,4 | 0,3-0,4 | 0,2-0,3 | 0,1-0,2 | < 0,1 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1999 - 2004

Attribuzione della classe di fertilità biologica (indice sintetico)

| Classe di fertilità | punteggio raggiunto |
|--------------------------------|---------------------|
| Classe I: stanchezza - allarme | ≤ 6 |
| Classe II: stress preallarme | 7-12 |
| Classe III: fertilità media | 13-18 |
| Classe IV: fertilità buona | 19-24 |
| Classe V: fertilità alta | > 24 |

Interpretazione fitotossicità da sodio (ESP)

| Sensibilità colturale | U.M. | Valore massimo ESP |
|--------------------------------|------|--------------------|
| Piante molto sensibili | % | < 10 |
| Piante sensibili | % | < 20 |
| Piante moderatamente sensibili | % | < 40 |
| Piante resistenti | % | < 60 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1992-1997-1999-2002

Valori limite di salinità con contenimento dei danni (ECe)

| Sensibilità colturale | U.M. | Valori massimi ECe |
|--------------------------------|------|--------------------|
| Piante molto sensibili | dS/m | 1,0-1,8 |
| Piante sensibili | dS/m | 1,4-3,0 |
| Piante moderatamente sensibili | dS/m | 2,5-4,8 |
| Piante tolleranti | dS/m | 4,5-8,0 |
| Piante molto tolleranti | dS/m | 8,0-13,0 |

Metodi di analisi ufficiali DM 1992-1997-1999-2002

Conversione approssimativa fra indice di salinità 1:5 e ECe

| Tipo terreno | U.M. | Coeff. moltiplicativo da Ec 1:5 a ECe |
|------------------|------|---------------------------------------|
| Sabbioso | dS/m | 15 |
| Franco-Sabbioso | dS/m | 12 |
| Franco | dS/m | 10 |
| Franco-Argilloso | dS/m | 9 |
| Argilloso | dS/m | 8 |

Conversione approssimativa da salinità mS/cm a g/kg di sali

| Tipo di misura | U.M. | g sali/kg terreno |
|----------------|------|-------------------------------------|
| ECe | dS/m | $ECe * 0,640 * \%SP / 100$ |
| EC 1:5 | dS/m | $EC\ 1:5 * 3,1875$ |
| Tipo di misura | U.M. | g sali/litro terreno |
| ECe | dS/m | $ECe * 0,640 * D.app. * \%SP / 100$ |
| EC 1:5 | dS/m | $EC\ 1:5 * 3,1875 * D.app.$ |

%SP = percentuale di saturazione - D. app. = densità apparente suolo

Interpretazione basi di scambio in relazione alla CSC

| Interpretazione | U.M. | Ca | Mg | K |
|-----------------|-------|-------|--------|-------|
| Molto basso | % CSC | < 35 | < 1 | < 1,5 |
| Basso | % CSC | 35-55 | 1-3 | 1,5-3 |
| Medio | % CSC | 56-70 | 3,1-10 | 3,1-4 |
| Elevato | % CSC | > 70 | > 10 | > 4 |

Alcuni fattori di correzione applicabili ai dati analitici

| Parametro derivato | Calcolo |
|---|-----------------------------|
| Coefficiente di mineralizzazione sostanza organica | $1200/[(\%A+20)/(\%CT+20)]$ |
| Fosforo (P) disponibile in presenza di calcare attivo | $P * (1-0,04 * \%CA)$ |
| Potassio disponibile in relazione alla CSC | $K * (1,1-0,01 * CSC)$ |
| Calcio disponibile in relazione alla CSC | $Ca * (1,1-0,01 * CSC)$ |
| Calcio disponibile in relazione alla CSC | $Mg * (1,1-0,01 * CSC)$ |
| Potassio disponibile in relazione al rapporto Mg/K | $K * (1,075-0,025 * Mg/K)$ |
| Magnesio disponibile in relazione al rapporto Mg/K | $Mg * (0,925+0,025 * Mg/K)$ |

%A = percentuale argilla - %CT = percentuale calcare totale - %CA = calcare attivo

Fattori di moltiplicazione delle unità di misura

| Obiettivo | Ca | Mg | K | Na |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Da mg/kg (ppm) a meq/100 g | 0,00499 | 0,008224 | 0,002558 | 0,004350 |
| Da meq/100 g a mg/kg | 200,4 | 121,6 | 391 | 229,1 |
| Da meq/100 g a cmol/kg | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 |
| Da mg/kg a cmol/kg | 0,002495 | 0,004112 | 0,002558 | 0,00435 |
| Sa cmol/kg a mg/kg | 400,8 | 243,2 | 391 | 229,9 |
| Da meq/100 g a cmol/kg | 1 | 1 | 1 | 1 |

Fattori di conversione da elemento a ossido/ anidride

| Elemento | Simbolo | Ossido/anidride | Simbolo | conversione |
|----------|---------|--------------------|-------------------------------|---|
| Fosforo | P | Anidride fosforica | P ₂ O ₅ | P ₂ O ₅ = P * 2,291 |
| Potassio | K | Ossido di potassio | K ₂ O | K ₂ O = K * 1,205 |
| Magnesio | Mg | Ossido di magnesio | MgO | MgO = Mg * 1,658 |
| Calcio | Ca | Ossido di calcio | CaO | CaO = Ca * 1,399 |
| Zolfo | S | Anidride solforica | SO ₃ | SO ₃ = S * 2,500 |

Interpretazione azoto minerale (nitrico + ammoniacale)

| Classe | mg/ kg s.s. N |
|------------|---------------|
| Bassa | < 10 |
| Media | 10-20 |
| Ben dotata | > 20 |

Acqua disponibile per profondità utile di terreno

| Classe | mm acqua |
|---------------|----------|
| Molto bassa | < 50 |
| Bassa | 50-100 |
| Moderata | 101-150 |
| Elevata | 151-200 |
| Molto elevata | > 200 |

Profondità utile alle radici

| Classe | cm |
|---------------|---------|
| Molto scarsa | < 25 |
| Scarsa | 25-50 |
| Media | 51-100 |
| Elevata | 101-150 |
| Molto elevata | > 150 |

Pendenza del suolo

| Classe | % |
|----------------------|-------|
| Pianeggiante | < 0,2 |
| Subpianeggiante | 0,2-2 |
| Pendenza debole | 3-5 |
| Pendenza moderata | 6-13 |
| Pendenza rilevante | 14-20 |
| Pendenza forte | 21-35 |
| Pendenza molto forte | 36-60 |
| Pendenza scoscesa | 61-90 |
| Pendenza ripida | > 90 |

PRINCIPALE BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

- o Analisi dei terreni e consigli di concimazione – ASSAM Marche - 2001
- o Atlante di indicatori della qualità del suolo – CRA Roma – 2003
- o Atti della Scuola di Biodiversità e bioindicazione del suolo – SISS – 2007
- o Atti della Scuola di Biodiversità e bioindicazione del suolo – SISS – 2010
- o Disciplinari di produzione – Regione Lombardia – misura 214 P.S.R. 2007-2013
- o Guida alla corretta gestione della fertilità del suolo – CRA Roma e Regione Lazio – 2004
- o L'interpretazione delle analisi del terreno – ARPAV Veneto Agricoltura – 1990
- o Metodi di analisi biochimica dei suoli – MIPAAF - 2004
- o Metodi di analisi chimica del suolo – MIPAAF – 1992
- o Metodi di analisi chimica del suolo – MIPAAF – 1999
- o Metodi di analisi chimica del suolo – MIPAAF – 2002
- o Metodi di analisi fisica del suolo – MIPAAF – 1997
- o Metodi di analisi fisica del suolo – MIPAAF – 1997
- o Metodi di valutazione dei suoli e delle terre – MIPAAF e CRA Firenze – 2006
- o Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: i fertilizzanti – Quaderno Arsia 2/2004
- o Uso razionale delle risorse nel florovivaismo: l'acqua – Quaderno Arsia 5/2004

Finito di stampare nel mese di Febbraio 2011
da Arti Grafiche Maspero Fontana & C. S.p.A.