



Agenzia Regionale per la Prevenzione  
e Protezione Ambientale del Veneto

VENETO  
AGRICOLTURA

VERDENAUTA

# L'interpretazione delle analisi del terreno

Strumento per la sostenibilità ambientale



# L'interpretazione delle analisi del terreno

Strumento per la sostenibilità ambientale

## **ARPAV**

### **Direttore Generale**

*Andrea Drago*

### **Direttore Area Tecnico-Scientifica e Ricerca e Informazione**

*Sandro Boato*

### **Autori**

*Paolo Giandon<sup>1</sup>*

*Paolo Bortolami<sup>2</sup>*

### **Coordinamento Editoriale**

*Maria Carta<sup>2</sup>*

Questo volume costituisce la ristampa rivista ed aggiornata della precedente pubblicazione edita da ESAV nell'anno 1990

<sup>1</sup> ARPAV - Dipartimento Provinciale di Treviso - Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti

<sup>2</sup> ARPAV - Settore per la Prevenzione e la Comunicazione Ambientale

Gli autori, agronomi e provenienti da una lunga esperienza in diverse organizzazioni impegnate nell'assistenza tecnica agli operatori del settore agricolo e zootecnico, operano da diversi anni all'interno dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione Ambientale del Veneto contribuendo ulteriormente, in ambiti diversi, a sostenere e diffondere i principi di compatibilità ambientale ispirati allo sviluppo sostenibile, intesi come strumenti per produrre meglio, con minor impiego di risorse e maggiore attenzione ai possibili impatti sull'ambiente.

Pubblicazione realizzata con il contributo di

**Veneto Agricoltura - Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare**

V.le dell'Università 14, 35020 Legnaro (PD)

# L'interpretazione delle analisi del terreno

## Strumento per la sostenibilità ambientale

Per l'agricoltura il suolo è il fattore produttivo primario senza il quale non è possibile la coltivazione delle piante; da un punto di vista ambientale il suolo è un elemento primario dell'ecosistema, insieme ad acqua, aria ed organismi viventi, e pertanto necessita di essere protetto e preservato da possibili fenomeni di degradazione.

D'altra parte per l'attività agricola l'utilizzo dei fertilizzanti rappresenta un potente mezzo per aumentare la produttività dei terreni e quindi le rese delle colture.

Il loro impiego non razionale però, slegato cioè dalla conoscenza della reale fertilità dei terreni, provoca delle ricadute negative sulla qualità dei prodotti e sull'ambiente oltre che sullo stesso reddito degli agricoltori. Per questo l'analisi del terreno rimane ancora il principale strumento per promuovere il razionale impiego dei fertilizzanti.

L'ARPAV, in particolare attraverso l'Osservatorio Regionale Suolo, fin dalla sua nascita ha posto fra i suoi obiettivi la conoscenza del suolo anche per un più razionale uso delle risorse nei vari settori, soprattutto in quello agricolo.

Attività avviata, per la sua parte, anche da Veneto Agricoltura che ha in agenda interessanti iniziative per la conoscenza dei suoli (carte pedologiche) nel settore vitivinicolo (zonazione) e programmi di valutazione della gestione di liquami e fertilizzanti anche in relazione alla direttiva nitrati.

Nei prossimi anni l'ARPAV e Veneto Agricoltura saranno chiamate ad una sempre maggiore divulgazione delle informazioni che caratterizzano e descrivono il suolo, così come prevede la sua legge istitutiva e nell'ottica dell'obiettivo di perseguire la protezione del suolo come ribadito dall'Unione Europea con la recente proposta di direttiva quadro.

L'analisi del terreno, come altri strumenti a disposizione dei tecnici, deve essere usato correttamente perché possa dare i risultati migliori; una adeguata interpretazione agronomica dei risultati sta alla base di una loro efficace utilizzazione.

Questo volume quindi si offre come concreto supporto per chiunque, sia esso formatore, divulgatore, tecnico o agricoltore, voglia utilizzare l'analisi del terreno per ottimizzare la pratica della concimazione contenendo il più possibile gli effetti di deriva ambientale dei nutrienti.

Il Direttore Generale ARPAV  
Andrea Drago

L'Amministratore Unico di Veneto Agricoltura  
Corrado Callegari

# Indice

Premessa .....	5	7.2 Azoto, colture e fertilizzazione .....	33
Struttura e contenuti del libro .....	6	7.3 Metodi di analisi dell'azoto del terreno .....	35
Introduzione: fertilità del suolo e fertilizzazione .....	7	7.4 Interpretazione dei risultati .....	36
<b>Capitolo 1: Il campionamento e la scelta dei parametri.....</b>	<b>8</b>	<b>Capitolo 8: Il fosforo .....</b>	<b>38</b>
1.1 I problemi legati al campionamento del terreno .....	8	8.1 Fosforo, terreno e microrganismi .....	38
1.2 I parametri da analizzare.....	10	8.2 Fosforo, colture e fertilizzazione .....	39
<b>Capitolo 2: Il pH .....</b>	<b>11</b>	8.3 Metodi di analisi .....	40
2.1 Definizione .....	11	8.4 Interpretazione dei risultati .....	41
2.2 Importanza del pH del terreno .....	11	<b>Capitolo 9: Gli elementi scambiabili: potassio, magnesio, calcio ...</b>	<b>42</b>
2.3 Metodo di analisi.....	12	9.1 Dinamica degli elementi scambiabili del terreno.....	42
2.4 Interpretazione dei risultati .....	12	9.2 Potassio, magnesio e calcio: fabbisogni colturali e fertilizzazione .....	43
2.5 Influenza del tipo di concime sul pH del terreno .....	13	9.3 Metodo di analisi.....	44
<b>Capitolo 3: Salinità, acidità ed alcalinità.....</b>	<b>15</b>	9.4 Interpretazione dei risultati .....	44
3.1 Conducibilità elettrica specifica e diagnosi di salinità .....	15	<b>Capitolo 10: I microelementi .....</b>	<b>46</b>
3.2 Acidità di scambio e fabbisogno in calce .....	17	10.1 Definizioni e presenza nel terreno .....	46
3.3 Alcalinità e fabbisogno in gesso .....	18	10.2 La fertilizzazione con microelementi.....	47
<b>Capitolo 4: La frazione minerale.....</b>	<b>20</b>	10.3 Metodi di analisi.....	48
4.1 I principali costituenti fisici del terreno .....	20	10.4 L'interpretazione dei risultati analitici .....	49
4.2 La struttura del terreno .....	20	<b>Capitolo 11: I metalli pesanti nel suolo e nelle piante .....</b>	<b>50</b>
4.3 I colloidali del terreno.....	20	11.1 Definizioni .....	50
4.4 Analisi granulometrica .....	21	11.2 I metalli e le piante .....	50
4.5 Classificazione dei suoli in base alla tessitura .....	22	11.3 I metalli nel suolo .....	51
<b>Capitolo 5: Calcare totale e calcare attivo.....</b>	<b>25</b>	11.4 Metodi di analisi.....	53
5.1 Definizione e ruolo.....	25	11.5 I metalli pesanti nella legislazione.....	54
5.2 Importanza del contenuto in calcare del terreno.....	25	<b>Capitolo 12: L'attività biologica .....</b>	<b>56</b>
5.3 Metodi di analisi.....	26	12.1 Ruolo dei microrganismi del terreno.....	56
5.4 Interpretazione dei risultati .....	27	12.2 L'importanza delle analisi biologiche del terreno .....	56
<b>Capitolo 6: La sostanza organica.....</b>	<b>28</b>	12.3 Principali analisi di caratterizzazione dell'attività biologica del suolo .....	57
6.1 Componenti e ciclo della sostanza organica del suolo .....	28	<b>Capitolo 13: Agrelan: un sistema di interpretazione dell'analisi del terreno.....</b>	<b>62</b>
6.2 Importanza della sostanza organica .....	29	13.1 Generalità.....	62
6.3 Metodi di analisi .....	31	13.2 Correzione delle unità di misura.....	62
6.4 Interpretazione dei risultati .....	31	13.3 Calcolo dei dati derivati .....	62
6.5 Il rapporto C/N.....	31	13.4 Correzione dei risultati analitici .....	63
6.6 Tasso di mineralizzazione della sostanza organica .....	32	13.5 Giudizio sul terreno.....	64
6.7 Letami, liquami, apporto di sostanze organiche.....	32	13.6 Consigli per la concimazione.....	66
<b>Capitolo 7: L'azoto .....</b>	<b>33</b>	Bibliografia .....	68
7.1 Azoto, terreno e microrganismi.....	33		

# Premessa

Ogni terreno ha caratteristiche proprie ed una specifica dotazione in elementi minerali e sostanza organica.

Ogni pianta ha le proprie esigenze nei diversi periodi di sviluppo e risente dell'andamento climatico.

Quindi la formulazione del consiglio di concimazione è necessariamente specifica per ciascun sistema terreno-pianta-clima.

La "concimazione razionale", cioè quella che permette di impiegare al meglio i fattori produttivi, deve tener conto di questa specificità.

Usando la dose di fertilizzante ottimale, cioè né più né meno di quel che serve, si evitano prima di tutto conseguenze negative per l'ambiente oltre che perdite economiche talvolta significative.

Se il fertilizzante viene distribuito e subito assorbito dalle piante, allora non viene lasciato libero di essere dilavato o trascinato verso le falde freatiche per percolazione. In questo modo quindi si riducono i rilasci di nutrienti, azoto in particolare, che possono deteriorare la qualità delle acque e causare fenomeni di eutrofizzazione.

Con l'analisi chimico-fisica del terreno e la successiva interpretazione agronomica dei risultati si possono individuare le dosi ottimali ed il tipo di fertilizzante da impiegare per produrre meglio, risparmiare e non provocare danni ambientali.

L'applicazione di questa procedura diventa più semplice ed immediata con l'utilizzo di software per l'elaborazione ed interpretazione dei risultati, che comunque non possono mai sostituire l'esperienza e la conoscenza dei tecnici del settore.

Riguardo ai metodi di analisi sarà necessario un progressivo avvicinamento alle procedure messe a punto in ambito internazionale dall'ISO TC 190 "Soil Quality", per migliorare la confrontabilità dei risultati delle analisi anche con gli altri paesi europei; è un processo che richiederà ancora alcuni anni ma che alla conclusione consentirà di superare le attuali incertezze e disarmonie tra i risultati delle analisi eseguite da laboratori diversi.

Ma la fase successiva, cioè l'interpretazione agronomica dei risultati, non è meno importante e richiede un'attenta valutazione del significato di ciascun parametro.

In questo volume si è voluto tradurre in termini accessibili quanto esposto da teorie e risultati sperimentali perché tutti gli operatori dei settori agricolo ed ambientale possano utilmente impiegarlo nelle loro attività quotidiane.

# Struttura e contenuti del libro

Questo volume, frutto di un aggiornamento del testo "L'interpretazione delle analisi del terreno" pubblicato dall'ESAV (Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto) nel 1990 all'interno della collana "Quaderni di formazione", vuole essere uno strumento agile ed efficace per tecnici ed agricoltori nella comprensione e utilizzazione delle analisi del terreno.

In esso sono raccolte informazioni generali relative alle problematiche di ciascun parametro del terreno fra quelli più comunemente analizzati, i metodi di analisi e l'interpretazione agronomica dei risultati.

Si sono prese in esame nel primo capitolo anche le operazioni di campionamento del terreno che molto possono influire sui risultati delle analisi di laboratorio, oltre ad alcuni parametri analitici che, pur non essendo eseguiti di routine, hanno però una notevole importanza in chiave ambientale; infine è stato descritto il sistema di interpretazione delle analisi ed elaborazione del consiglio di concimazione AGRELAN che ARPAV ha consolidato e messo a disposizione nel proprio sito internet ([www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)) per tutti gli operatori che hanno come obiettivo la sostenibilità ambientale delle attività agricole.

# Introduzione: fertilità del suolo e fertilizzazione

Fin dall'inizio di questo secolo gli studiosi del suolo hanno cercato di utilizzare lo strumento dell'analisi fisica e chimica per conoscere meglio il terreno, fattore produttivo essenziale per le aziende agricole.

Quando poi nel secondo dopoguerra è andata affermandosi ovunque la pratica della fertilizzazione minerale queste analisi hanno acquistato un nuovo significato: i loro risultati sono diventati degli indici della presenza relativa dei vari elementi nel suolo, della loro disponibilità per le piante e quindi strumento per modulare l'apporto di fertilizzanti in funzione della dotazione nei vari elementi che determinano la fertilità del suolo stesso.

La scarsa diffusione di queste analisi in Italia rispetto a molti altri paesi europei ed americani, ha fatto sì che la tecnica della fertilizzazione si sia sviluppata in prevalenza senza considerare la fertilità chimico-fisica del terreno ma solo le esigenze della coltura, talvolta la tessitura del terreno, ed altre pratiche agronomiche che interagiscono con la concimazione (irrigazione, drenaggio, lavorazioni, ecc.).

In altri paesi europei (Olanda, Francia, Germania) invece la messa a punto delle tecniche di fertilizzazione è andata di pari passo con i risultati delle sperimentazioni per la taratura dei risultati delle analisi del terreno; quest'ultime sono quindi sempre state tenute in grande considerazione per ricercare delle relazioni tra risultati analitici e dose ottimale di fertilizzante per le diverse colture, diversamente da quanto avvenuto in Italia.

Nel nostro paese solo dalla fine degli anni 80 le analisi del terreno sono state utilizzate per l'elaborazione dei consigli di concimazione; esse si sono diffuse prevalentemente al nord, grazie soprattutto ai laboratori di alcune aziende produttrici di fertilizzanti.

Solo in seguito al crescente allarme ambientale alcune strutture laboratoristiche pubbliche e di associazioni di produttori, hanno iniziato ad interessarsi all'interpretazione dell'analisi del terreno, allo scopo di razionalizzare le concimazioni ed evitare rischiosi eccessi nell'apporto di nutrienti al suolo.

Particolarmente critica è la situazione delle aziende zootecniche che solo raramente integrano correttamente i fertilizzanti minerali con i materiali organici prodotti in azienda, ritenendo le deiezioni degli animali solo un sottoprodotto, sottostimando o non considerando l'apporto di elementi fertilizzanti ai terreni agricoli che deriva dal loro corretto impiego.

È sempre più necessario pertanto, anche ai fini dell'applicazione della Direttiva Nitrati, che le aziende agricole, in primis quelle zootecniche, prendano coscienza del valore fertilizzante delle deiezioni e delle notevoli possibilità di risparmio sull'acquisto di fertilizzanti minerali che una loro corretta gestione può consentire.

D'altra parte dal punto di vista della protezione ambientale negli ultimi anni è andata crescendo l'attenzione all'importanza del suolo per la conservazione e la funzionalità degli ecosistemi.

La recente proposta di direttiva quadro per la protezione del suolo (COM/2006/232) ha chiaramente definito le funzioni chiave svolte dal suolo e le misure di salvaguardia necessarie al loro mantenimento.

Anche in questo senso uno sforzo sempre maggiore viene richiesto agli operatori del settore per un continuo miglioramento degli strumenti di conoscenza del suolo, tra cui l'analisi chimico-fisica continua a mantenere un ruolo chiave.



# 1. Il campionamento e la scelta dei parametri

## 1.1 I problemi legati al campionamento del terreno

Il campionamento è la fase più delicata di tutto il processo analitico; l'analisi chimica può essere eseguita nel modo più preciso e accurato possibile ma se il campione portato in laboratorio non è rappresentativo di tutto l'appezzamento di terreno di cui vogliamo conoscere le caratteristiche, i risultati delle analisi possono indurre a scelte sbagliate.

È diffusa presso i tecnici del settore agricolo l'opinione che l'errore commesso in laboratorio nell'esecuzione delle analisi sia relativamente alto; in realtà l'errore dovuto al campionamento raggiunge mediamente l'80-85% del totale rispetto ad un contributo del 15-20% dato dagli errori compiuti in laboratorio; quindi la precisione non si raggiunge tanto ripetendo le analisi di laboratorio quanto prestando particolare accortezza nelle modalità di prelievo dei campioni in campo che dovrà rispettare precisi criteri circa il numero e la distribuzione dei campioni elementari che vanno a costituire il campione composito per il laboratorio, l'epoca e la profondità di prelievo e le condizioni di conservazione.

Per questo motivo, soprattutto quando si rende necessario ripetere in tempi successivi il prelievo e l'analisi allo scopo di verificare eventuali cambiamenti delle caratteristiche del terreno, è importante registrare in un verbale di campionamento le operazioni effettuate, in particolare la localizzazione dei campioni elementari, la procedura utilizzata per la costituzione del campione composito, l'esclusione di eventuali zone anomale, le attrezzature utilizzate, la profondità ed epoca del prelievo, ecc.

I principali fattori che contribuiscono a determinare la rappresentatività del campione sono: la scelta dell'area da campionare, il numero di campioni elementari per ciascun campione composito, la profondità e l'epoca del prelievo.

## Scelta dell'area da campionare

L'area da cui prelevare un campione dev'essere soggetta alle stesse pratiche agronomiche, cioè colture o successioni colturali, tipo e profondità delle lavorazioni, fertilizzazioni, irrigazione, ecc., e avere superficie limitata (meno di 2 ha); inoltre qualora vi siano delle zone evidentemente diverse per qualche caratteristica del terreno, come contenuto di scheletro, tessitura, drenaggio, pendenza, esposizione, queste vanno eliminate dal campionamento ed eventualmente campionate a parte. Allo stesso modo sono da eliminare i bordi dell'area per almeno 5 metri da fossi e capezzagne, cumuli di deiezioni o altri prodotti, e altre zone rimaneggiate.

Qualora la concimazione non venga eseguita in modo uniforme sulla superficie ma in preferenza in una determinata zona (ad es. nei frutteti o vigneti lavorati lungo il filare e concimati solo nella zona di lavorazione) si deve far attenzione ad eseguire il prelievo in una zona intermedia tra quella concimata e quella non interessata alla fertilizzazione.

## Numero dei campioni elementari

Deve essere sufficiente a contenere la variabilità intrinseca del terreno per certe caratteristiche; in generale se  $s$  è il numero di subcampioni, l'errore  $E = \sqrt{1/s}$  e quindi, fatto pari al 100% l'errore dovuto alla naturale variabilità del terreno, con 4 subcampioni essa si riduce alla metà, cioè al 50%, con 9 ad un terzo, con 16 ad un quarto e così via.

Questa variabilità naturale però varia a seconda delle caratteristiche che si considerano: è molto bassa per il pH (<1%), un po' più alta per sostanza organica e capacità di scambio cationico (CSC) (10% circa), ancora maggiore per l'azoto totale (20% circa), il potassio scambiabile (30% circa) e massima per il fosforo assimilabile (40% circa).

Essa inoltre è maggiore in terreni sciolti, a bassa CSC, rispetto a terreni con CSC media e alta, tanto che per stimare le caratteristiche chimico-fisiche generali servirebbero almeno 7 campioni elementari/ha in suoli a bassa CSC, mentre 4/ha sarebbero sufficienti per suoli di altro tipo; per il fosforo assimilabile in ogni caso è necessario un numero di campioni più elevato, da 10 a 30 per ettaro a seconda del tipo di terreno, per contenere la variabilità in un intervallo inferiore a quello che separa due classi successive nello schema interpretativo.

In definitiva si consiglia il prelievo di un campione elementare ogni 1000 mq circa nel caso di terreni ad elevata variabilità, riducibili del 30% circa per suoli più omogenei.

La localizzazione dei campioni elementari dev'essere la più casuale possibile e può essere individuata lungo un qualsiasi percorso (a X, W, S o altro) che permetta di interessare tutta la superficie dell'area da campionare.

L'attrezzatura utilizzata per i prelievi deve consentire di prendere un piccolo campione di egual volume in ogni punto prescelto per far sì che tutti concorrano nello stesso modo a formare il campione finale, dev'essere di facile pulizia per evitare contaminazioni fra campioni e adattabile a diverse condizioni di granulometria ed umidità; per questi motivi è consigliabile l'uso di trivelle di tipo olandese che consentono di prelevare sempre lo stesso volume per ogni prelievo.

### **Profondità del prelievo**

Per stabilire la profondità migliore a cui eseguire i prelievi è necessario considerare il tipo di coltura in atto e le lavorazioni che vengono eseguite; mentre per un prato stabile o per un prato di graminacee ci si può limitare ai primi 5-15 cm, per un prato di leguminose si dovrà approfondire il prelievo fino a 30-50 cm a seconda della profondità di aratura, così come per le colture arative quali cereali, soia, bietola.

Per le colture arboree il prelievo va effettuato nello strato di terreno maggiormente interessato dalle radici delle piante (20-60 cm). In ogni caso bisogna scartare i primi 5 cm superficiali.



Prima dell'analisi i terreni vengono setacciati per ottenere un campione con particelle di diametro inferiore a 2 mm

### **Epoca del prelievo**

Per evitare l'influenza della fertilizzazione sui risultati analitici è necessario far passare almeno tre mesi dall'ultima concimazione prima di eseguire il prelievo, per cui risulta di maggior praticità il campionamento dopo la raccolta dei prodotti.

### **Preparazione del campione per il laboratorio**

Il campione da consegnare al laboratorio viene preparato mescolando accuratamente i campioni elementari dopo aver smiuzzato le zolle e i grumi con le mani (evitare l'uso di guanti con talco).

Il campione definitivo deve avere un peso compreso tra 1 e 2 kg e può essere consegnato fresco con il suo naturale contenuto di umidità o secco, previa essiccazione a temperatura ambiente, lontano da polveri o altre sostanze che possano inquinare e compromettere i risultati analitici.

Particolari analisi (es. potenziale di ossido-riduzione, azoto nitrico, etc.) devono essere eseguite sul campione umido e richiedono la consegna del campione tal quale conservato a temperature inferiori a 4°C in tempi brevissimi.

## 1.2 I parametri da analizzare

Quando si richiede l'analisi di un terreno a fini agronomici, si devono indicare quali parametri si ritengono più utili alla definizione della fertilità ed alla formulazione dei consigli per la concimazione.

A tal proposito si esemplifica la seguente casistica più frequente:

- 1) situazione normale (standard), cioè colture erbacee o arboree dopo l'impianto e  $\text{pH} > 6,5$ : tessitura,  $\text{pH}$ , calcare totale e attivo, capacità di scambio cationico, sostanza organica, azoto totale, fosforo assimilabile, potassio, magnesio e calcio scambiabili;
- 2) colture arboree pre-impianto o colture di pregio (fioricole, orticole), o presenza di sintomi di eccesso o carenza di microelementi: standard e microelementi assimilabili (ferro, manganese, boro, zinco e rame);
- 3) terreni con  $\text{pH} < 6,5$ : standard, con metodi diversi per la determinazione di capacità di scambio cationico e potassio, magnesio e calcio scambiabili, e  $\text{pH}$  tampone per risalire al fabbisogno in calce per la correzione, con esclusione del calcare totale e attivo;
- 4) colture protette o vicinanza di acque saline o salmastre: standard e conducibilità e sodio scambiabile per il calcolo della percentuale di sodio scambiabile (ESP) e quindi del fabbisogno in gesso per la correzione.

Una volta che è stata eseguita l'analisi completa come sopra descritta, non è necessario ripeterla a breve termine dato che le caratteristiche fondamentali variano molto lentamente; sarà sufficiente ripetere a distanza di 3-5 anni l'analisi del fosforo assimilabile e degli elementi scambiabili o dei microelementi laddove si è riscontrata carenza e sono in corso interventi di concimazione. Con riferimento ai parametri sopra elencati in tabella 1.1 si riportano i metodi utilizzabili tra quelli contenuti nel D.M. 13.09.99 "Approvazione dei metodi ufficiali di analisi chimica dei suoli". In alternativa possono essere utilizzati i metodi ISO predisposti dal Comitato tecnico TC 190 "Soil quality" che, a seguito di un progetto di comparazione dei metodi svolto dalla Società Italiana dei Laboratori Pubblici Agrochimici, hanno dimostrato di dare ri-

sultati paragonabili a quelli ottenuti dall'applicazione dei metodi nazionali.

Particolare attenzione va posta anche nella scelta del laboratorio al quale i campioni vengono consegnati per l'esecuzione delle analisi; i criteri prioritari per la scelta sono soprattutto tre:

- che il laboratorio utilizzi i metodi ufficiali di analisi chimica dei suoli messi a punto dall'Osservatorio Nazionale Pedologico e approvati con D.M. 13.09.99;
- che il laboratorio sia accreditato per le prove di cui si chiede l'esecuzione ai sensi della norma UNI EN ISO 17025:2005 da un ente di accreditamento che opera conformemente alla norma UNI EN ISO 19011;
- che il laboratorio partecipi regolarmente a circuiti di confronto interlaboratorio per le prove di cui si chiede l'esecuzione, conseguendo mediamente per ciascun parametro risultati che, in termini di Z-score, stiano mediamente al di sotto di 3 in valore assoluto.

PARAMETRO	METODO DM 13.9.99	METODO ISO
pH in acqua	III.1	10390:2005
Granulometria	II.4 e II.5	11277:1998
Calcare totale	V.1	10693:1995
Calcare attivo	V.2	---
Carbonio organico	VII.3	14235:1998
Azoto totale	VII.1	11261:1995 13878:1998
Fosforo assimilabile	XV.3	11263:1994
Basi scambiabili (Na, K, Mg e Ca)	XIII.5	13536:1995
Capacità di Scambio Cationico	XIII.2	
Microelementi assimilabili	XII.1	14870:2001
Metalli pesanti totali	XI.1	11466:1995 11047:1998
Conducibilità elettrica	IV.1	11265:1994

**Tabella 1.1** – Metodi di analisi nazionali (D.M. 13.09.99) e internazionali (ISO) utilizzabili per la determinazione dei parametri necessari alla caratterizzazione dei terreni

## 2. Il pH

### 2.1 Definizione

In generale il pH è una misura della concentrazione di idrogenioni ( $H^+$ ) in una soluzione acquosa; l'importanza di questa caratteristica è legata all'influenza che essa ha su tutte le reazioni che avvengono in natura.

Il pH del terreno misura la concentrazione di idrogenioni nella soluzione circolante, cioè la fase liquida che si trova negli spazi lasciati liberi dalle parti solide.

Poiché questa soluzione interagisce continuamente con le superfici solide del terreno, chiamate comunemente superfici di scambio proprio per la presenza di questi intensi fenomeni di interazione, il pH del terreno dipende soprattutto dalla natura chimica di queste superfici, ed in particolare dal numero di siti di scambio (cariche superficiali positive o negative) e dal loro grado di saturazione e quindi dal numero e dal tipo di basi di scambio (K, Mg, Ca, Na) presenti nel terreno. La possibilità che il pH di un suolo possa modificarsi dipende dalla capacità delle superfici a rilasciare idrogenioni o basi di scambio per contrastare queste variazioni di pH della soluzione circolante (potere tampone); essa dipende dalla quantità e tipo di argille e sostanze organiche presenti nel terreno.

Quindi il pH del terreno dipende:

- dalla presenza di idrogenioni nella soluzione circolante;
- dal tipo e dal grado di saturazione dei colloidi argillosi ed organici;
- dalla natura delle basi di scambio.

### 2.2 Importanza del pH del terreno

Il pH del terreno influenza notevolmente l'attività microbologica, la disponibilità di elementi minerali e l'adattabilità delle varie specie vegetali.

### Attività microbologica

La maggior parte dei batteri, da cui dipendono azotofissazione, nitrificazione, alcuni processi di decomposizione della sostanza organica, prediligono un ambiente sub-acido o leggermente alcalino (pH 6,8÷7,2); lo scostamento da tali condizioni si ripercuote sia sulla disponibilità di elementi nutritivi sia sul processo di umificazione.

I funghi risultano favoriti dall'ambiente acido ed in queste condizioni assicurano la demolizione dei composti organici.

In terreni leggermente alcalini (pH 7÷7,5) piuttosto secchi, sciolti e quindi ricchi di ossigeno si sviluppano prevalentemente gli attinomiceti che riescono a sopperire alla scarsa attività di funghi e batteri in periodi di carenza idrica.

### Disponibilità di elementi minerali

Il pH del terreno condiziona la solubilità dei vari elementi minerali determinando il loro accumulo in forme più o meno disponibili per le piante o la loro lisciviazione verso gli strati più profondi.

La conoscenza del pH fornisce quindi indicazioni relative alla disponibilità di elementi minerali nella soluzione del terreno sia provenienti dalla decomposizione dei minerali di origine che dai fertilizzanti distribuiti.

Il caso più conosciuto ed importante per la fertilità del suolo è quello relativo al fosforo; nel terreno esso si trova sotto forma di fosfati scarsamente solubili. La loro solubilità dipende dal pH: se la reazione è acida sono presenti fosfati di ferro ed alluminio la cui solubilità aumenta col pH, se è basica sono presenti fosfati di calcio la cui solubilità diminuisce all'aumentare del pH; il risultato è una maggior solubilità dei fosfati e quindi del fosforo a pH intorno alla neutralità.



Apparecchiatura per l'analisi del pH

### Adattabilità delle diverse specie colturali

Le piante presentano una certa adattabilità a differenti condizioni di pH dei suoli; pur riuscendo a svilupparsi anche in condizioni non ottimali una tale situazione può influire negativamente sul loro metabolismo e di conseguenza sulla produttività. Nella tabella 2.1 vengono riportati gli intervalli di pH del terreno preferiti da alcune specie coltivate.

Bisogna tener presente che quasi mai il pH è un fattore limitante per lo sviluppo delle colture più comuni nella pianura padano-veneta, a meno che non sia legato alla presenza di valori estremi di altre caratteristiche come elevato calcare attivo o elevata salinità.

### 2.3 Metodo di analisi

Il pH del terreno viene determinato per via potenziometrica in una dispersione di terreno in acqua distillata preparata in condizioni standard con rapporto terreno/acqua pari a 1:2,5 in peso. È importante rispettare queste proporzioni perchè il pH risulta tanto più basso quanto minore è il rapporto terreno/acqua.

#### CEREALI

Mais	6,0-8,0
Frumento	6,5-8,0
Orzo	6,5-7,5

#### ORTICOLE

Patata	4,8-7,0
Pomodoro	5,6-7,2
Asparago	6,0-8,0
Fagiolo	5,8-7,5

#### COLTURE INDUSTRIALI

Soia	6,0-8,0
Bietola	6,5-8,0
Tabacco	6,0-7,5

#### FORAGGERE

Erba medica	6,8-8,0
Trifoglio incarnato	5,6-7,0
Trifoglio ladino	6,2-7,2
Trifoglio pratense	6,3-7,4

Tabella 2.1 - Valori preferenziali di pH di alcune specie vegetali.

### 2.4 Interpretazione dei risultati

Nella tabella 2.2. è riportata la classificazione dei terreni in base al pH. Si deve tener conto, però, del fatto che dietro queste definizioni sintetiche si nascondono situazioni articolate ed a volte complesse; per capirle meglio passiamo in rassegna una ristretta ma rappresentativa casistica di terreni.

#### Terreni acidi (pH inferiore a 6,7)

L'acidità che caratterizza questi terreni può trarre origine da situazioni diverse per lo più dipendenti dalla natura geologica dei suoli ma soprattutto dalle condizioni climatiche, dal tipo di vege-

Classi	pH
molto acido	<5,4
acido	5,4-5,9
subacido	6,0-6,6
neutro	6,7-7,2
subalcalino	7,3-8,0
alcalino	8,1-8,6
m. alcalino	>8,6

**Tabella 2.2** -Classificazione del terreno in base al pH secondo lo schema interpretativo ARPAV

tazione e dall'utilizzazione agraria e forestale.

Poichè in questi terreni è favorita la solubilizzazione di molti elementi nutritivi, questi possono essere facilmente lisciviati negli orizzonti profondi, risultando quindi insufficienti per un'adeguata nutrizione delle piante, oppure accumularsi in concentrazioni troppo elevate e quindi tossiche per le normali colture.

In questi terreni si riscontra una forte lisciviazione e un insufficiente assorbimento di ioni calcio, magnesio, potassio e fosforo, un aumento della disponibilità di manganese, ferro, alluminio, nichel e rame che possono raggiungere concentrazioni tossiche ed un'insolubilizzazione del fosforo e del molibdeno.

### **Terreni alcalini (pH maggiore di 7,3)**

Questi terreni sono caratterizzati dalla presenza di alcuni componenti che sono in grado di influenzare notevolmente le caratteristiche chimico-fisiche dei suoli stessi.

A questo riguardo si possono distinguere terreni calcarei, in cui sono presenti carbonati di calcio e magnesio e difficilmente superano un pH di 8-8,4, e terreni salini e sodici, in cui sono presenti forti quantità di sali solubili ed il cui pH può superare 8,5.

In linea generale questi terreni si caratterizzano per una minor disponibilità di microelementi, una retrogradazione del fosforo con formazione di fosfati insolubili, un aumento della quantità di calcio a livelli da indurre antagonismi con magnesio e potassio e un aumento della disponibilità di molibdeno.

### **Terreni neutri (pH compreso fra 6,7 e 7,3)**

Questi terreni presentano le migliori condizioni per lo sviluppo delle colture; in ambiente neutro i fenomeni di insolubilizzazione sono infatti ridotti o assenti, la dotazione in elementi minerali è generalmente più equilibrata e viene favorita l'attività microbiologica.

## **2.5 Influenza del tipo di concime sul pH del terreno**

I concimi, ed i loro componenti che si liberano a contatto con il terreno, sono caratterizzati da un determinato pH; l'utilizzazione di concimi aventi una reazione che contrasta quella del terreno, è consigliata per indurre una situazione di neutralità più favorevole allo sviluppo delle colture.

Alcuni agronomi sostengono che le quantità che si distribuiscono con le concimazioni sono troppo basse per modificare il pH del terreno; effettivamente questo è vero se si ragiona in termini di breve periodo e soprattutto se si considerano terreni con elevata C.S.C. o caratterizzati da valori estremi di pH.

Nelle zone del terreno in cui si trova il concime, però, si può avere una temporanea variazione di pH che può migliorare la disponibilità degli elementi per un periodo limitato ma sufficiente a favorire il primo sviluppo della coltura. Buoni risultati sono stati ottenuti ad esempio nel Veneto nella produttività dei prati di montagna in terreni a pH acido con l'utilizzazione di calcio-cianammide. Questo fertilizzante, caratterizzato da una reazione alcalina, può temporaneamente attenuare l'acidità dei suoli favorendo l'assorbimento dei nutrienti da parte del cotico erboso. L'effetto dei principali concimi azotati sul pH è riportato in tabella 2.3.

<b>Concimi fisiologicamente acidi</b>	1 Kg di N provoca:	
	Acidificazione equiv. ioni H <sup>+</sup>	Neutraliz. calcare Kg CaO
solfato ammonico	108	-3
nitrate ammonico	36	-1
urea	36	-1

<b>Concimi fisiologicamente basici</b>	1 Kg di N provoca:	
	Riduzione acidità equiv. ioni H <sup>+</sup>	Apporto di calcare Kg CaO
nitrate di calcio	-28	+0,8
calcio cianamide	-60	+1,7

**Tabella 2.3** - Influenza dei concimi azotati sulla reazione del terreno (da Finck, 1982).

# 3. Salinità, acidità ed alcalinità

## 3.1 Conducibilità elettrica specifica e diagnosi di salinità

I sali solubili presenti nel terreno, siano essi derivati dal suolo stesso, dalle acque di falda o di irrigazione o dalle concimazioni, sono indispensabili per la nutrizione delle piante, ma la loro concentrazione deve essere contenuta entro certi valori.

Elevate concentrazioni saline possono, a seconda della specie ionica presente, provocare squilibri nutrizionali, effetti di tossicità per le piante, danni alla struttura del terreno e, in certi casi, modifiche del pH. A parte queste situazioni estreme, un aumento di salinità determina, in generale, un incremento della tensione della soluzione circolante che a sua volta provoca una maggiore difficoltà ad assorbire acqua ed elementi minerali da parte delle piante: tale fenomeno dipende non tanto dal contenuto in sali solubili, quanto dalla pressione osmotica da essi esercitata.

La conducibilità elettrica dell'estratto saturo del terreno, o in alternativa di sospensioni suolo/acqua in diversi rapporti, essendo strettamente proporzionale alla pressione osmotica, è un indice efficace e di facile utilizzo per la diagnosi di salinità. Non è sufficiente considerare la concentrazione di sali solubili per conoscere l'effetto negativo indotto sulle piante dall'aumento della pressio-

ne osmotica in quanto bisogna tener conto, a parità di contenuto salino, anche della differente capacità di ritenzione idrica dei terreni, aspetto in grado di regolare la concentrazione salina e la pressione osmotica della soluzione del suolo.

La misura della conducibilità della soluzione del terreno viene eseguita con un conduttimetro su estratti saturi (ECe), oppure su sospensioni di terreno in acqua in rapporto (peso/peso) 1:2,5 ( $EC_{1:2,5}$ ) o 1:5 ( $EC_{1:5}$ ) e viene espressa in mS/cm. I valori ottenuti misurando l'estratto a saturazione risultano tuttavia i più correlati con le condizioni di campo.

La conducibilità elettrica specifica è uno dei parametri considerati per la classificazione dei terreni salini o ricchi di sodio.

Le colture possono presentare una diversa sensibilità alla salinità; nelle tabelle 3.1 e 3.2 vengono riportati gli effetti dei diversi livelli di conducibilità elettrica sulle colture.

Nel momento in cui si rileva una condizione di salinità eccessiva è di estrema importanza risalire alle cause che la determinano per cercare di rimuoverle. Essa può essere dovuta alla presenza di falde o acque di irrigazione ricche di sali, ad una naturale dotazione del terreno o all'abuso di fertilizzanti soprattutto in colture protette in cui viene a mancare l'azione dilavante delle piogge.

Per caratterizzare l'effetto indotto dai fertilizzanti sull'aumento

ECe (mS/cm)	$EC_{1:2,5}$ (mS/cm)	Pericolo di depressione delle colture
<2,0	<0,5	Nessuno
da 2,1 a 4,0	da 0,5 a 1,0	Per colture sensibili
da 4,1 a 8,0	da 1,1 a 2,0	Per la maggior parte delle colture
da 8,1 a 16,0	da 2,1 a 4,0	Anche per le colture tolleranti
>16,0	>4,0	Per tutte le colture: resistono solo le piante alofile

Tabella 3.1 – Effetto di diversi livelli di conducibilità elettrica sulle colture





Strumento per la determinazione della conducibilità elettrica

di salinità si utilizza un indice di salinità, ottenuto dal rapporto percentuale tra l'aumento di pressione osmotica prodotto dal concime in esame e quello prodotto da una egual quantità di nitrato sodico, che risulta notevolmente diverso tra i vari tipi di concime (tabella 3.3).

Le tecniche agronomiche più idonee per ridurre questi effetti vanno dalla scelta attenta dei concimi soprattutto in terreni poco lisciviati e in particolar modo in colture protette, alle irrigazioni, all'apporto di sostanza organica e, nel caso di terreni sodici, alle distribuzioni di gesso.

È sempre comunque interessante conoscere i componenti della salinità del terreno in quanto vi possono essere specie ioniche che, se in eccesso, possono essere semplicemente eliminate per dilavamento senza comportare problemi se non di tipo ambientale (ad es. l'azoto nitrico); altre invece come il sodio, il cloro, il boro e l'alluminio possono causare squilibri metabolici e/o effetti tossici nei vegetali e deteriorare la struttura del terreno.

Colture	ECe (mS/cm)			
	0%	10%	25%	50%
<b>Foraggere</b>				
Trifoglio pratense	1,3	2,0	2,5	4,0
Trifoglio ibrido	1,3	2,0	2,5	4,0
Erba medica	2,0	3,0	5,0	8,0
Festuca elatior	3,9	5,8	8,6	13,3
Festuca arundinacea	4,7	7,0	10,5	14,5
Loietto	5,3	8,0	10,0	13,0
<b>Da pieno campo</b>				
Mais	3,3	5,0	6,0	7,0
Riso	3,3	5,0	6,0	8,0
Soia	3,7	5,5	7,0	9,0
Sorgo	4,0	6,0	9,0	12,0
Fumento	4,7	7,0	10,0	14,0
Bietola	6,7	10,0	13,0	16,0
Orzo	8,0	12,0	16,0	18,0
<b>Orticole</b>				
Carota	1,0	1,5	2,5	4,0
Fagiolino	1,0	1,5	2,0	3,5
Ravanello	1,2	2,0	3,1	5,0
Cipolla	1,3	2,0	3,5	4,0
Peperone	1,3	2,0	3,5	4,0
Lattuga	1,3	2,0	3,0	5,0
Melone	2,3	3,5	-	-
Pomodoro	2,7	4,0	6,5	8,0
Spinacio	3,7	5,5	7,0	8,0
<b>Fruttiferi</b>				
Fragola	1,0	1,5	1,8	3,0
Susino	1,7	2,5	2,9	5,0
Pesco	1,7	2,5	-	5,0
Albicocco	1,7	2,5	-	5,0
Pero	1,7	2,5	-	5,0
Melo	1,7	2,5	-	5,0
Vite	2,7	4,0	-	8,0

Tabella 3.2 – Sensibilità delle colture alla salinità espressa come diminuzione percentuale del prodotto al variare della ECe

Concime	Titolo (%)	Indice di salinità	
		Totale	Per unità
Nitrato di sodio	16	100,0	6,25
Nitrato ammonico	35	104,7	2,99
Solfato ammonico	20	69,0	3,45
Urea	46	74,5	1,62
Ammoniaca anidra	82	46,9	0,57
Perfosfato semplice	20	7,8	0,39
Perfosfato triplo	48	10,1	0,21
Fosfato biammonico	64	29,9	0,47
Fosfato monoammonico	76	34,9	0,45
Solfato di potassio	50	46,1	0,92
Cloruro di potassio	60	116,3	1,94
Nitrato di potassio	58	73,6	1,27

**Tabella 3.3** – Indice di salinità dei principali concimi

### 3.2 Acidità di scambio e fabbisogno in calce

L'acidità del suolo (acidità attuale), misurabile disperdendo il terreno in acqua (pH in acqua), è dovuta agli ioni idrogeno liberi nella soluzione del terreno.

Esiste anche una quota di ioni idrogeno legata ai colloidi minerali ed organici del terreno che si liberano solo in seguito a reazioni di scambio con altri cationi presenti in soluzione; tale concentrazione di idrogenioni costituisce l'acidità di scambio (o acidità potenziale) del terreno, ed i meccanismi che la regolano sono gli stessi da cui dipendono le reazioni di adsorbimento e cessione degli altri cationi.

La composizione del complesso di scambio nei suoli acidi presenta quindi un certo contenuto in ioni idrogeno la cui quantità rispetto agli altri cationi è ben espressa dal Grado di Saturazione Basica (GSB):

$$\text{GSB} = (\text{K} + \text{Mg} + \text{Ca} + \text{Na}) * 100 / \text{CSC}$$

dove K, Mg, Ca e Na sono le concentrazioni rispettivamente di

potassio, magnesio, calcio e sodio, in meq/100 g, nel terreno, e CSC, espressa in meq/100 g, è la Capacità di Scambio Cationico del terreno; più basso è il valore del GSB e maggiore è la superficie di scambio del terreno occupata da ioni H<sup>+</sup>.

L'acidità di scambio è uno dei fattori che stanno all'origine del potere tampone del terreno, cioè della caratteristica per cui il suo pH non viene modificato (entro certi limiti) dall'aggiunta di acidi o basi, ed è tanto più elevato quanto maggiore è la CSC. Per questo nei suoli acidi via via che gli ioni idrogeno vengono neutralizzati da interventi correttivi mediante l'aggiunta di basi, altri idrogenioni, provenienti dalla superficie dei colloidi, passano nella soluzione circolante contrastando l'azione delle basi aggiunte e ripristinando la reazione originaria.

Alla luce di questi fenomeni si può dire che l'acidità del terreno è la risultante di due fattori:

- di "intensità", dovuto alla presenza di idrogenioni liberi nella soluzione circolante (acidità attuale o pH);
- di "capacità", dovuto alla presenza di ioni idrogeno di scambio e quindi in definitiva al potere adsorbente del terreno (acidità potenziale).

Per la correzione dell'acidità si deve quindi tener conto dell'acidità del terreno nel suo complesso (acidità attuale o pH e acidità potenziale), in quanto, a parità di pH, un suolo argilloso e uno sabbioso presentano fabbisogni di correttivo alquanto diversi.

Esistono vari metodi per la determinazione del fabbisogno in calce per l'innalzamento del pH in suoli acidi; un buon compromesso tra rapidità di esecuzione e sufficiente attendibilità è dato dal metodo proposto da Shormaker ed al. che permette di determinare direttamente sul terreno in esame la quantità di correttivo necessaria per raggiungere il pH stabilito, misurando il pH del suolo disperso in una soluzione tampone contenente ioni calcio.

Nella tabella 3.4 sono riportati i "fabbisogni di calce" per portare il pH del suolo ai valori indicati (6,8; 6,4; 6,0) in funzione del pH della sospensione suolo-tampone. La quantità di correttivo è espressa in q/ha di CaCO<sub>3</sub> puro considerando 3000 t di suolo (peso di 1 ha di terreno per una profondità di 30 cm e con una densità posta pari a 1).

pH della sospensione	Fabbisogno in calce per portare a			pH della sospensione	Fabbisogno in calce per portare a		
	pH 6,8	pH 6,4	pH 6,0		pH 6,8	pH 6,4	pH 6,0
6,7	4,6	4,0	3,3	5,7	23,5	20,5	17,2
6,6	6,3	5,6	4,6	5,6	25,5	22,2	18,5
6,5	8,3	7,3	6,0	5,5	27,4	23,8	19,8
6,4	10,2	8,9	7,6	5,4	29,4	25,5	21,5
6,3	12,2	10,6	8,9	5,3	31,1	27,1	22,8
6,2	13,9	12,2	10,2	5,2	33,1	28,4	24,5
6,1	15,9	13,9	11,6	5,1	35,0	30,1	25,8
6,0	17,9	15,5	12,9	5,0	37,0	31,7	27,1
5,9	19,9	17,2	14,6	4,9	39,0	33,4	28,4
5,8	21,5	18,8	15,9	4,8	41,0	35,0	30,1

**Tabella 3.4** – Fabbisogno di calce per portare il suolo ai valori di pH indicati in funzione del pH della sospensione suolo-tampone (valori in q/ha di CaCO<sub>3</sub> puro)

### 3.3 Alcalinità e fabbisogno in gesso

La correzione di un terreno alcalino si presenta più complessa di quella di un terreno acido in quanto ci sono diverse possibili cause da cui dipende la reazione anomala.

Per i terreni caratterizzati da alcalinità costituzionale, cioè dovuta ad elevati contenuti in calcare, è illusorio tentare di correggere la reazione abbassando il contenuto in calcare con sostanze acide: il quantitativo di correttivo acido in grado di solubilizzare solo piccole quantità di calcare (non influenti in genere sul livello di alcalinità dei terreni) è generalmente enorme e quindi economicamente proibitivo.

La correzione dei terreni caratterizzati da alcalinità dovuta ad elevata concentrazione di sali può risultare conveniente, ma richiede una attenta indagine sulle cause che determinano tali anomalie. A questo riguardo è molto utile classificare il terreno in base alla conducibilità elettrica, alla ESP (Exchangeable Sodium Percentage, cioè rapporto percentuale tra concentrazione di sodio scambiabile nel terreno e CSC, entrambe espresse in meq/100 g) ed al pH, per poter stabilire il tipo di intervento.

Nel caso dei terreni salini (EC>4 mS/cm, ESP<15% e pH<8,5) può essere sufficiente il semplice dilavamento con acqua dolce me-

dante la pratica dell'irrigazione; nei terreni salini-alcalini (EC>4 mS/cm, ESP>15% e pH<8,5) tale pratica non è invece sufficiente, ed anzi può peggiorarne le caratteristiche in quanto, asportata la salinità (es. cloruro di calcio), rimane nel terreno un eccesso di carbonato sodico per cui il terreno acquisisce sempre più le caratteristiche tipiche di un suolo alcalino (EC<4 mS/cm, ESP>15% e pH>8,5). A questo riguardo è necessario accompagnare l'azione dilavante delle acque con l'impiego di sostanze in grado di favorire l'allontanamento dello ione sodio adsorbito sui colloidi; le più usate sono gesso (solfato di calcio), solfato di ferro e zolfo. L'azione correttiva di queste sostanze è dovuta alla formazione di solfato sodico che viene dilavato per la sua elevata solubilità.

La scelta del correttivo deve essere dettata non solo da motivi economici ma soprattutto da considerazioni di carattere chimico-biologico relative al terreno e alla natura dell'ammendante stesso (tabella 3.5).

Ai fini della valutazione della necessità, in funzione dei possibili fenomeni di fitotossicità, di procedere ad interventi correttivi dell'alcalinità sodica, si possono suddividere i terreni in base alla ESP in tre gruppi:

- terreni con ESP<5: non richiedono interventi correttivi;
- terreni con ESP tra 5 e 7: da tenere sotto controllo, soprattutto

se le acque di irrigazione sono ricche di sodio e povere di calcio e magnesio e/o vi siano coltivate colture sensibili;

- terreni con ESP>7: correzione indispensabile.

Per determinare il fabbisogno in gesso è possibile utilizzare un metodo chimico consistente nel trattare il suolo con un eccesso di solfato di calcio e valutare, dopo un certo tempo, la quantità di calcio trattenuta dal terreno; da questa si risale al fabbisogno di correttivo.

I dati vengono generalmente espressi in kg/ha di solfato di calcio biidrato da impiegare per uno strato di terreno profondo 25 cm; la conoscenza della densità reale permette di calcolare la quantità di ammendante con maggiore precisione.

Tipo di ammendante	Prontezza di effetto	Caratteristiche dei terreni
Gesso	No	Da usare preferibilmente nei terreni con ESP<15
Solfato di ferro	Si	Preferibile la presenza di calcare o elevate quantità di calcio
Zolfo	No (condizionata dall'attività biologica del terreno)	Necessaria la presenza di microflora ossidante lo zolfo; preferibile la presenza di calcare o elevate quantità di calcio

**Tabella 3.5** – Prontezza di effetto di alcuni correttivi per l'alcalinità del suolo e caratteristiche dei terreni per il loro impiego

# 4. La frazione minerale

## 4.1 I principali costituenti fisici del terreno

La frazione minerale del terreno costituisce in media il 95-98% del peso secco del terreno; in condizioni di campo rappresenta il 40% circa del volume del suolo, mentre il rimanente è occupato da acqua, aria e sostanze organiche.

Si può dire che essa costituisca il supporto per tutti i processi fisico-chimici e biologici che avvengono nel terreno; quando si parla di terra o terreno infatti viene subito alla mente la massa di materiale inerte che lo costituisce prima che le frazioni organiche, biologiche, acquose o atmosferiche che pure contribuiscono a determinarne le proprietà.

Ciò che differenzia suolo e sottosuolo dagli altri ambienti terrestri e dalle altre risorse naturali è proprio la preponderanza di questa frazione minerale sulle altre componenti.

Più si va in profondità nel suolo e più aumenta l'incidenza dei materiali minerali; la composizione degli strati profondi è poco interessante per l'attività agricola, ma è importante per capire alcuni fenomeni come il dilavamento dei nutrienti e delle sostanze che vengono distribuite sul terreno.

## 4.2 La struttura del terreno

Prima ancora della dimensione delle particelle che formano il terreno è importante, dal punto di vista agronomico, sapere come queste interagiscono fra loro per formare aggregati più o meno voluminosi e compatti.

La struttura, cioè l'organizzazione di questi aggregati nel terreno, condiziona in particolare la macro e la micro-porosità, quindi l'aerazione (macropori) e la capacità di ritenzione idrica (micro-

pori) del suolo, da cui dipendono tutte le attività biologiche e il grado di lisciviazione del profilo.

Essa quindi influenza sia l'ambiente fisico in cui si sviluppano le piante, sia i processi connessi alla disponibilità di elementi nutritivi, il loro trasporto o immobilizzazione e il chimismo degli elementi tossici.

Sono stati messi a punto numerosi sistemi di descrizione e classificazione degli aggregati nonché numerosi metodi per misurare la loro stabilità strutturale, ma poiché molti sono i fattori che la influenzano, non c'è, e probabilmente non può esistere, una metodica unica ed universale.

In relazione a quanto accennato, le comuni analisi di laboratorio non prevedono ricerche rivolte alla definizione della struttura del terreno e alla misura della sua stabilità, ma si limitano alla determinazione della composizione granulometrica.

## 4.3 I colloidi del terreno

Col termine colloidi vengono definite le sostanze che in soluzione possono passare da uno stato di dispersione ad uno di aggregazione per effetto di interazioni con altri composti che vengono chiamati flocculanti.

Nel terreno oltre alle sostanze organiche ad elevato peso molecolare (sostanze umiche) vi sono dei minerali che si comportano da colloidi: le argille; queste sono dei fillosilicati che per la loro particolare struttura hanno un gran numero di cariche superficiali in grado di interagire attivamente con ioni e composti organici.

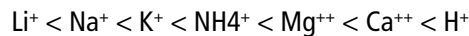
Le sostanze umiche in particolare promuovono la formazione di aggregati e strutture molto stabili. La loro capacità cementante appare condizionata dal contenuto in gruppi funzionali acidi,

dalla configurazione sterica della molecola, dalla solubilità e dal peso molecolare.

In qualsiasi processo di aggregazione è indispensabile la presenza nella soluzione di ioni flocculanti in grado di annullare le forze di repulsione che si instaurano fra particelle di egual segno. Poiché nel terreno le superfici hanno prevalenti cariche negative, tali ioni sono positivi, cioè cationi.

Il potere flocculante di questi ioni dipende dalla valenza e dal loro grado di idratazione: risultano più efficaci gli ioni bivalenti rispetto ai monovalenti, e nell'ambito di ioni con la stessa valenza sono più flocculanti quelli meno idratati; fa eccezione lo ione idrogeno che appare un energico agente flocculante a causa delle sue piccole dimensioni.

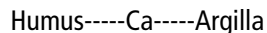
In ordine di potere flocculante crescente possono essere così raffigurati:



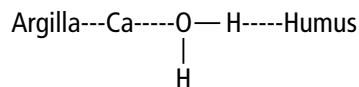
Allo stato disperso (in presenza ad esempio di ioni sodio) è impedita la formazione della struttura glomerulare, essendo impossibile un rapporto di legame tra le diverse micelle umiche e fra queste e le argille.

L'unione tra le micelle umiche e le particelle argillose può avvenire secondo tre diversi meccanismi:

1. attraverso una coordinazione diretta con il catione flocculante:



2. per coordinazione indiretta, attraverso cioè l'interposizione di una molecola d'acqua posta nel guscio primario del catione scambiabile:



3. per legami tra gruppi o superfici colloidali carichi negativa-

mente e gruppi funzionali, di altre micelle colloidali, carichi positivamente.

Tutti questi legami concorrono alla formazione della struttura e spesso possono coesistere. Il prevalere dell'uno rispetto all'altro è condizionato dalla natura dei cationi adsorbiti e dai caratteri chimici dei composti umici, che creano delle differenze nella stabilità della struttura e nei volumi degli aggregati.

#### 4.4 Analisi granulometrica

L'analisi della composizione granulometrica mira unicamente a conoscere il contenuto in particelle primarie del terreno, suddivise in base alla grandezza indipendentemente dal modo in cui si trovano distribuite nello spazio.

Nonostante questi limiti dalla sua conoscenza possiamo comunque trarre utili indicazioni sullo stato strutturale del terreno purché i risultati siano interpretati congiuntamente ai dati analitici relativi alla composizione del complesso di scambio, alla reazione, alla disponibilità di materiale organico.

La componente solida primaria (cioè non associata in aggregati strutturali) del terreno è caratterizzata da particelle di varia dimensione: da diametri dell'ordine del centimetro si passa ai millimetri e ai decimi di micron dei componenti più fini.

Queste frazioni possono essere classificate in base al diametro e raggruppate in categorie dimensionali: sono state proposte a riguardo molte suddivisioni che fondamentalmente differiscono per i limiti delle classi dimensionali delle singole particelle. Le principali sono due e differiscono solo per il limite che separa limo e sabbia: 0,02 mm per la Società Internazionale di Scienze del Suolo, ripresa dall'Unichim, 0,05 mm per l'USDA, ripresa dalla Società Italiana di Scienze del Suolo; coincidono invece il limite superiore per la sabbia, 2 mm, ed il limite limo-argilla, 0,002 mm.

Il metodo prevede una prima separazione delle particelle aventi diametro inferiore a 2 mm, denominate "terra fine", che rappresenta la frazione della componente solida del terreno più direttamente responsabile delle caratteristiche fondamentali del suolo



Aliquote prelevate con il metodo della pipetta prima dell'essiccazione in stufa

e su cui vengono eseguite tutte le successive determinazioni chimiche e fisiche e riferiti i relativi risultati.

La determinazione dello scheletro viene eseguita in laboratorio utilizzando appositi setacci ma, per una reale valutazione, essendo lo scheletro distribuito nel suolo con grande variabilità, è sempre opportuno accompagnare al dato di laboratorio una valutazione in campo eseguita osservando, durante uno scavo, il profilo e valutando i materiali estratti.

All'aumentare dello scheletro diminuisce la terra fine e quindi la capacità produttiva del terreno, e possono aumentare le perdite di azoto e potassio e l'ossidazione della sostanza organica.

La metodica di analisi della tessitura prevede la distruzione della sostanza organica mediante l'aggiunta di acqua ossigenata; la tessitura non viene determinata in terreni con più dell'8% di sostanza organica perché in questo caso l'azione della componente organica prevale su quella della tessitura fino ad annullarne gli effetti sui processi che si svolgono nel terreno.

Se non si effettua la distruzione della sostanza organica si ottie-

ne la tessitura apparente, in cui è presente l'effetto dei materiali organici che, favorendo la formazione di aggregati, sposta la composizione granulometrica verso le classi di particelle con diametro maggiore; la distruzione della sostanza organica consente invece di determinare la tessitura reale, caratteristica più stabile perché indipendente dalle variazioni del contenuto di sostanze organiche del suolo per effetto di cambiamenti nelle pratiche di gestione e coltivazione.

Per disperdere gli aggregati prima della determinazione vera e propria si mette il terreno a contatto con una soluzione dispersante di esametafosfato di sodio che agisce sui legami fra le particelle.

Per misurare le percentuali relative di sabbia, limo ed argilla si sfrutta la proprietà dei corpi solidi in acqua secondo cui la velocità di sedimentazione è direttamente proporzionale al diametro delle particelle; per questo i corpi di diametro maggiore precipitano prima, mentre quelli più fini rimangono in sospensione per lungo tempo.

I metodi di analisi più utilizzati sono:

- il metodo della pipetta, con cui le varie frazioni vengono raccolte dopo sedimentazione in tempi stabiliti, essiccate e pesate, che dall'esperienza risulta dare risultati più ripetibili ed accurati;
- il metodo densimetrico che permette di risalire alla composizione percentuale delle varie frazioni minerali misurando la densità della sospensione a tempi stabiliti e calcolando per differenza la percentuale di particelle già sedimentate.

A seconda delle classificazioni adottate (SISS o USDA) cambiano i tempi di sedimentazione: più breve il primo intervallo di tempo se il limite sabbia-limo è 0,05 mm, più lungo se è 0,02 mm.

## 4.5 Classificazione dei suoli in base alla tessitura

Conoscendo la composizione in percentuale di sabbia, limo ed argilla è possibile attribuire il terreno ad una classe di tessitura utilizzando triangoli, diversi a seconda del metodo di classificazione adottato, che mettono in relazione contenuto in sabbia,

limo ed argilla con le classi di tessitura.

I triangoli utilizzati nei laboratori italiani sono quelli dell'USDA (limite tra limo e sabbia pari a 50 micron, figura 4.2) e quello della SISS (limite tra limo e sabbia pari a 20 micron, figura 4.1).

I risultati ottenuti con diversi metodi di analisi dovrebbero coincidere, anche se l'elevata manualità contribuisce ad aumentare la variabilità del risultato; una possibile soluzione a questo problema può venire dall'utilizzazione di apparecchiature automatiche per l'esecuzione della procedura analitica.

Osservando i triangoli della tessitura è interessante notare come l'efficacia dei vari componenti nell'imprimere le loro caratteristiche ai terreni risulti tanto più pronunciata tanto minori sono le dimensioni delle particelle stesse. Ciò spiega il motivo per cui un terreno ha una composizione equilibrata quando presenta un contenuto di argilla di molto inferiore alla sabbia ed al limo che rispetto al primo componente hanno dimensioni notevolmente maggiori.

La conoscenza della classe di tessitura fornisce indicazioni sull'evoluzione di alcuni processi come la mineralizzazione, su alcune caratteristiche fisiche del terreno strettamente connesse allo sviluppo vegetale, sull'attività microbiologica e sulla valutazione dell'opportunità di utilizzare determinate tecniche agronomiche. Si riassumono di seguito le caratteristiche salienti dei suoli appartenenti alle principali classi di tessitura.

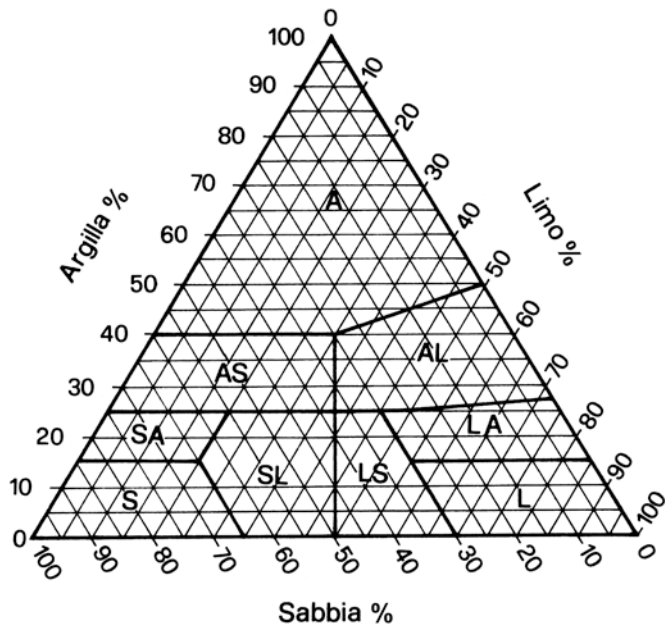
**Terreni argillosi** - Sono terreni che presentano una elevata Capacità di Scambio Cationico e quindi un forte potere di ritenzione degli elementi scambiabili; inoltre hanno elevata capacità di ritenzione idrica per cui presentano difficoltà a riscaldarsi in primavera ritardando l'avvio dei processi microbiologici e l'assorbimento dell'azoto.

La scarsa mobilità indotta dall'argilla, se da un lato limita le perdite di elementi nutritivi, dall'altro riduce la presenza di nutrienti nella soluzione circolante del terreno a disposizione delle colture. Nei terreni argillosi è necessario pertanto incorporare accuratamente i fertilizzanti e, nel caso di terreni anche particolarmente ricchi di calcare, è consigliabile procedere alla localizzazione del fosforo.



Pila di setacci per il frazionamento delle sabbie



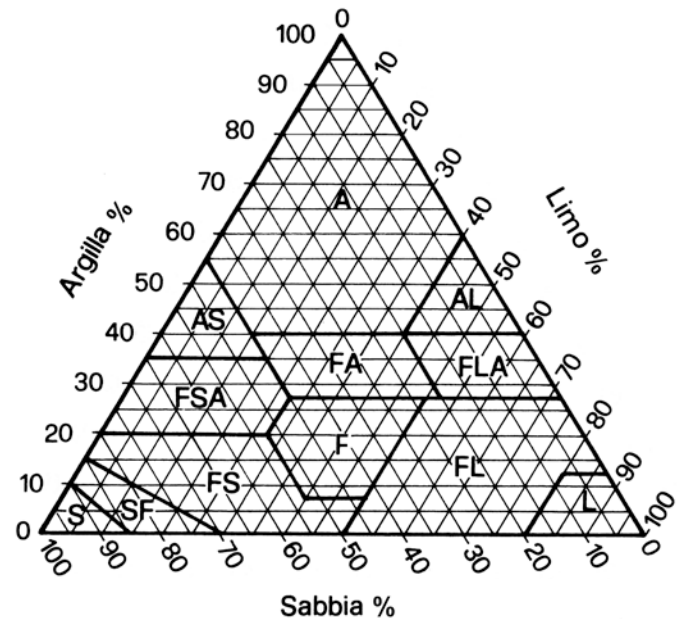


**Figura 4.1** – Triangolo per la definizione delle classi tessurali sulla base della composizione in sabbia, limo e argilla con il metodo della Società Internazionale di Scienze del Suolo (SISS).

La predisposizione all'asfissia radicale, alla formazione di crepe, all'erosione in terreni declivi, ed in generale la difficile lavorabilità, consiglia l'adozione di tecniche agronomiche tali da garantire il mantenimento di una buona struttura.

È sfavorita la mineralizzazione della sostanza organica, la cui velocità è inversamente proporzionale al contenuto in argilla, e quindi è minore il rischio di un impoverimento in sostanza organica, ma è anche minore il contributo dato dalla degradazione della sostanza organica alla nutrizione delle piante, soprattutto quella azotata.

**Terreni limosi** - Anche questi sono caratterizzati dalla scarsa mobilità degli elementi; risultano spesso mal strutturati, poco permeabili e facili al ristagno. Presentano facilità alla formazione di una crosta superficiale e notevole zollosità.



**Figura 4.2** – Triangolo per la definizione delle classi tessurali sulla base della composizione in sabbia, limo e argilla con il metodo del Dipartimento per l'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA).

**Terreni sabbiosi** - Sono molto permeabili e l'elevata mobilità dei nutrienti rende necessario, soprattutto per l'azoto ed il potassio, il frazionamento della concimazione.

La notevole aerazione indirizza i processi evolutivi della sostanza organica verso una rapida mineralizzazione con consistenti rilasci di nutrienti concentrati però in tempi relativamente brevi e non sempre coincidenti con le esigenze colturali delle piante.

**Terreni di medio impasto o franchi** - Presentano caratteristiche intermedie a quelli appena esaminati e quindi danno luogo alle migliori condizioni per lo sviluppo delle colture.

# 5. Calcare totale e calcare attivo

## 5.1 Definizione e ruolo

Per calcare totale si intende la componente minerale del terreno costituita prevalentemente da carbonati di calcio, magnesio e sodio.

Dato che il primo è predominante rispetto agli altri e il metodo analitico non permette la distinzione fra le varie forme, convenzionalmente il calcare del terreno viene espresso come carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Esso può costituire in alcuni suoli alcalini più della metà della frazione solida del terreno contribuendo in maniera determinante a definirne le proprietà; nei terreni acidi invece esso è raramente presente e comunque in quantità molto basse, tanto che quando il pH è inferiore a 6,5 la determinazione del calcare può essere tralasciata.

La presenza di calcare nel suolo, entro certi limiti, è da considerarsi positiva per la funzione nutrizionale esplicata dal calcio nei riguardi delle piante e per gli effetti favorevoli sulla struttura e sulla mineralizzazione delle sostanze organiche. Quando però esso è presente in quantità eccessive e soprattutto in forme mineralogiche molto attive, si possono manifestare i tipici inconvenienti dei terreni "costituzionalmente alcalini" che verranno descritti più avanti.

La conoscenza del contenuto in calcare totale non dà però precise indicazioni riguardo alla sua reale capacità di indurre effetti indesiderati; nel suolo infatti la possibilità che i vari componenti siano coinvolti in processi chimici dipende soprattutto dal grado di finezza delle loro particelle. Per ovviare a questo limite viene determinato il calcare attivo che rappresenta il calcare presente in forme più finemente suddivise e quindi più idrolizzabili e solubili.

## 5.2 Importanza del contenuto in calcare del terreno

### Disponibilità degli elementi

Il contenuto in calcare totale condiziona, tanto quanto l'argilla, la velocità di degradazione della sostanza organica del terreno; maggiore è la quantità di calcare presente e maggiore è l'inerzia del terreno nei confronti dei processi di trasformazione dei composti organici.

La velocità di questo processo viene descritta dal coefficiente di mineralizzazione che può essere ottenuto empiricamente con la seguente formula proposta da Remy e Marin-Lafleche:

$$CM = 1200 / [(A+20) * (CT+20)]$$

dove: CM è il coefficiente di mineralizzazione,

A è il contenuto di argilla in %,

CT è il contenuto di carbonati totali in %.

Il valore che assume questo coefficiente rappresenta la percentuale di sostanza organica mineralizzata nel corso di un anno; sulla base della relazione descritta dalla formula la velocità di degradazione dei materiali organici nel suolo è inversamente proporzionale al contenuto in calcare totale.

Tale velocità condiziona anche la disponibilità di azoto nel terreno perché determina una minore o maggiore trasformazione dell'azoto organico (che è il 95-98 % dell'azoto totale del terreno) in azoto minerale, più facilmente assorbibile dalle piante; lo stesso vale per altri nutrienti, in particolare il fosforo, che possono far parte delle sostanze organiche.

Il calcare attivo rappresenta la frazione che reagisce più prontamente con le altre componenti del terreno; esso influenza la disponibilità di fosforo e ferro formando con essi dei composti



Calcimetro per la determinazione del calcare totale

fortemente insolubili e non assimilabili dalla pianta.

A proposito del fosforo la presenza di elevate quantità di calcare attivo comporta la formazione di fosfati di calcio insolubili che sottraggono il fosforo dalla soluzione circolante del terreno a cui attingono le radici delle piante; questa insolubilizzazione può arrivare, secondo Tombesi et al. (1985), a bloccare fino al 30-40 % del fosforo presente nel terreno.

Non esistono però indicazioni precise sul tipo di relazione esistente fra il livello di calcare attivo e la disponibilità del fosforo nel terreno; il sistema di interpretazione Agrelan dell'ARPAV considera un'insolubilizzazione del 4 % per ogni punto percentuale di calcare attivo presente nel suolo.

Ciò che è stato descritto per il fosforo vale anche per il ferro; molti autori hanno evidenziato che la presenza di calcare attivo è causa del manifestarsi di fenomeni di clorosi ferrica dovuti all'insolubilizzazione del ferro assimilabile presente nel terreno con conseguente difficoltà di assorbimento da parte della pianta. Diffi-

cile però quantificare questa relazione tra livello di calcare attivo e ferro insolubilizzato, e quindi interpretare il dato analitico del ferro assimilabile in presenza di discrete quantità di calcare attivo.

### Adattabilità delle specie coltivate

Proprio a causa dei fenomeni di clorosi ferrica indotti dal calcare attivo esiste un'intollerabilità di alcune specie coltivate a livelli elevati di calcare attivo. Questo problema coinvolge soprattutto le specie arboree ed in particolar modo pero, pesco, actinidia e, in misura minore, vite; l'unico modo per superare questo problema è la scelta di portinnesti resistenti.

Esiste per ogni specie una diversa resistenza dei portinnesti al contenuto in calcare attivo del terreno; per la vite essa può essere espressa anche come resistenza ad un Indice del Potere Clorossante (IPC) del terreno definito come segue:

$$IPC = CA / Fe[\text{exp } 2] * 10000$$

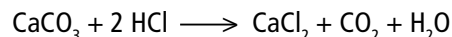
dove CA è il contenuto di calcare attivo in %,

Fe è il contenuto di ferro assimilabile in ppm.

In tabella 5.1 si riportano i limiti di tollerabilità al calcare attivo relativi ai principali portinnesti di alcune specie arboree.

### 5.3 Metodi di analisi

Il calcare totale viene determinato con metodo gasvolumetrico basato sulla determinazione del volume di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) che si sviluppa dal contatto del suolo con una soluzione di acido cloridrico (HCl); tale volume infatti è proporzionale al CaCO<sub>3</sub> presente poichè è il prodotto della seguente reazione quantitativa:



Considerando temperatura e pressione atmosferica, che condizionano il volume della CO<sub>2</sub>, dalla quantità di CO<sub>2</sub> sviluppata si risale al contenuto in calcare totale del suolo espresso come % di CaCO<sub>3</sub>.

Il calcare attivo viene determinato mettendo il terreno a contatto con una soluzione di ossalato ammonico, che reagisce con la frazione attiva del calcare, e, calcolando stechiometricamente

Coltura	Portinnesti	Limite di normalità
Actinidia		4
Albicocco	franco	10
	pesco	5
	mirabolano	9
	susino GF 43	9
Ciliegio	franco, colt, cab e mazzard	7
	mahleb S.Luc.	10
Melo	franco	12
	serie M	10
	serie MM	12
	altri	11
Noce		7
Olivo		20
Pero	franco	12
	cotogno A, C e d'Angers	5
	cotogno di Provenza	8
	CTS	5
Pesco	franco	5
	GF 305	5
	GF 677	12
	susino GF 43	5
	S.Giuliano	10
Susino	franco	8
	pesco	5
	mirabolano	8
Mandorlo		15
Vite	Riparia	6
	Rupestris Du Lot	14
	99R - S04	17
	Kober 5BB - 420A - 1103P	20
	140R	40
	Fercal	50

**Tabella 5.1** - Limiti di calcare attivo (%) oltre i quali sono riscontrabili danni alle colture arboree.

mediante titolazione l'ossalato non reagito, si ricava per differenza il calcare attivo.

Con questo metodo esiste la possibilità di sovrastimare il calcare attivo inglobando in questa frazione anche parte del calcio scam-

Giudizio	Calcare totale %
non calcareo	<1
scarsamente calcareo	1-5
moderatamente calcareo	5-10
molto calcareo	10-25
fortemente calcareo	25-40
estremamente calcareo	>40

**Tabella 5.2** - Classi del terreno in base al contenuto % di calcare totale secondo lo schema interpretativo ARPAV

Giudizio	Calcare attivo %
scarso	<0,5
medio	0,5-2
buono	2-5
ricco	5-10
molto ricco	10-15
molto elevato	>15

**Tabella 5.3** - Classi di terreno in base al contenuto % di calcare attivo secondo lo schema interpretativo ARPAV

biabile. A questo proposito è bene ricordare che il calcio scambiabile non è da confondere col calcare attivo; esso rappresenta il calcio adsorbito sulle superfici dei colloidi argillosi ed umici e facilmente cedibile nella soluzione circolante attraverso le reazioni di scambio descritte nel capitolo 9. Tali reazioni sono influenzate anche dal calcare attivo ma non in modo direttamente proporzionale alla sua presenza nel terreno.

## 5.4 Interpretazione dei risultati

Il sistema Agrelan dell'ARPAV prevede per il calcare totale (tab. 5.2) e per il calcare attivo (tab. 5.3) 6 classi di dotazione. Queste classi hanno significato diverso da quelle usate per i nutrienti poiché quantità crescenti di calcare, specie se attivo, non hanno l'effetto positivo di una maggior disponibilità di elementi fertilizzanti ma al contrario sono indice di una situazione negativa dovuta all'insolubilizzazione di alcuni nutrienti indispensabili per un normale sviluppo della pianta.

# 6. La sostanza organica

## 6.1 Componenti e ciclo della sostanza organica del suolo

Come già descritto al capitolo 4 il terreno è costituito da una fase solida, una fase liquida ed una fase gassosa; la fase solida a sua volta si può distinguere in frazione minerale e frazione organica.

La frazione organica nei terreni agrari rappresenta in genere l'1-3% della fase solida in peso, mentre è il 12-15% in volume; ciò significa che essa costituisce una grossa parte delle superfici attive del suolo e quindi ha un ruolo fondamentale sia per la nutrizione delle piante che per il mantenimento della struttura del terreno.

Nei terreni naturali la concentrazione di sostanza organica rinvenibile nei suoli è anche sensibilmente più elevata e si attesta spesso tra il 5 ed il 10%; il terreno è uno dei grandi serbatoi di carbonio del globo terrestre e tutte le tecniche di gestione del suolo che riducono l'ossidazione e mineralizzazione della sostanza organica contribuiscono a ridurre l'emissione di anidride carbonica in atmosfera e quindi le conseguenze negative legate all'effetto serra. Questo ruolo del suolo oltre che delle biomasse vegetali è riconosciuto dal Protocollo di Kyoto per il quale la conservazione e l'aumento delle riserve di carbonio organico del suolo costituiscono una delle priorità da perseguire.

Questa frazione però non è omogenea ma comprende gruppi di composti fra loro diversi per natura e proprietà chimiche.

Si possono individuare 4 componenti principali: i residui vegetali ed animali, gli organismi viventi, le sostanze facilmente degradabili e le sostanze stabili.

Per residui si intendono quelle sostanze che arrivano al terreno come foglie, parti legnose, essudati radicali, deiezioni animali,

ecc. e che pur essendo già in fase di degradazione mantengono la loro struttura fisica originaria. In ambienti naturali costituiscono uno strato superficiale chiamato lettiera; hanno una vita breve perché in genere vengono rapidamente decomposti.

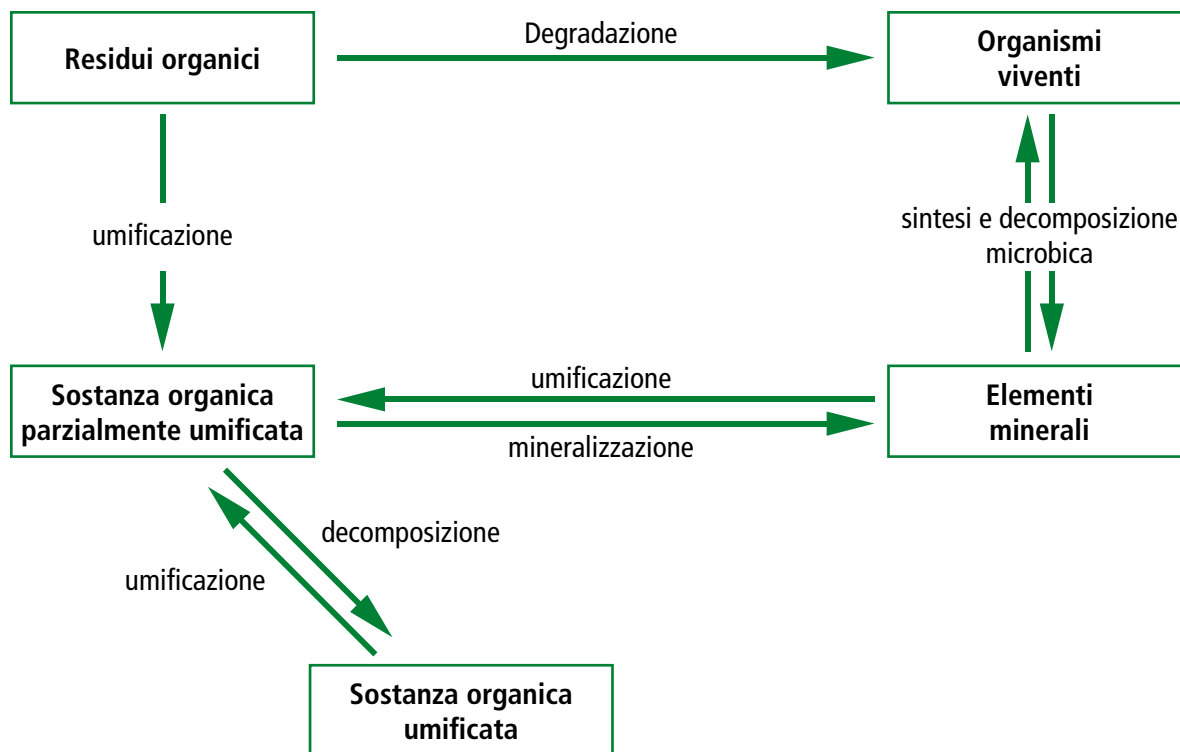
Gli organismi viventi comprendono forme molto diverse, ciascuna importante per il particolare ruolo che svolge nel terreno, dalle più grandi come insetti e lombrichi che svolgono un'azione cementante sulla struttura del terreno, alle più microscopiche come funghi e batteri che operano le trasformazioni di tutte le sostanze presenti nel terreno. Questa componente è stata notevolmente rivalutata negli ultimi anni da quando è aumentata l'attenzione nei confronti della biodiversità, proprio perché nel suolo la varietà e diversità degli organismi è molto elevata.

La sostanza organica degradabile è l'insieme dei prodotti della rapida trasformazione dei residui operata dagli organismi del suolo; essa è ancora soggetta ad ulteriori alterazioni e modifiche e quindi è destinata ad evolvere in tempi brevi.

La sostanza organica stabile è quella che ha subito dei processi tali da resistere alla degradazione da parte di tutti gli organismi e quindi è caratterizzata da tempi di vita elevati; è questa che si definisce sostanza umificata o humus.

Nonostante queste differenze non esiste in natura una netta distinzione tra i vari gruppi di sostanze organiche e anche dal punto di vista analitico la separazione del materiale umificato da altri residui organici si presenta tutt'altro che facile.

I processi che regolano l'evoluzione della sostanza organica sono alquanto complessi ma riconducibili a reazioni di tipo "costruttivo" (umificazione), che portano alla formazione dell'humus, e di tipo "distruttivo" (mineralizzazione) che danno come risultato la disgregazione della sostanza organica ed il rilascio di elementi minerali (figura 6.1).



**Figura 6.1** - Ciclo evolutivo della sostanza organica: composti organici del terreno (in neretto) e processi biochimici.

Nel suolo i due processi tendono all'equilibrio assicurando così il mantenimento della componente organica ad un livello che è funzione del clima (temperatura, piovosità), delle caratteristiche pedologiche (struttura, permeabilità, tessitura) e degli eventuali interventi agronomici (lavorazioni, concimazioni, ecc.).

Nei suoli naturali o poco disturbati il livello di sostanza organica risulta in genere più alto di quello dei suoli coltivati in quanto in questi ultimi è maggiore l'asportazione di materiale organico e sono più intensi i fenomeni distruttivi per effetto di una maggiore ossigenazione del terreno dovuta alle lavorazioni.

Per ogni sistema colturale tale livello tende ad assumere un valore tipico per quel terreno e quelle condizioni ambientali; è

possibile prevedere la direzione assunta dai processi evolutivi della componente organica a seguito di una modifica apportata al sistema stesso. Tale nuova situazione di equilibrio viene però raggiunta solo dopo un periodo nel quale prevale uno dei due processi precedentemente descritti.

## 6.2 Importanza della sostanza organica

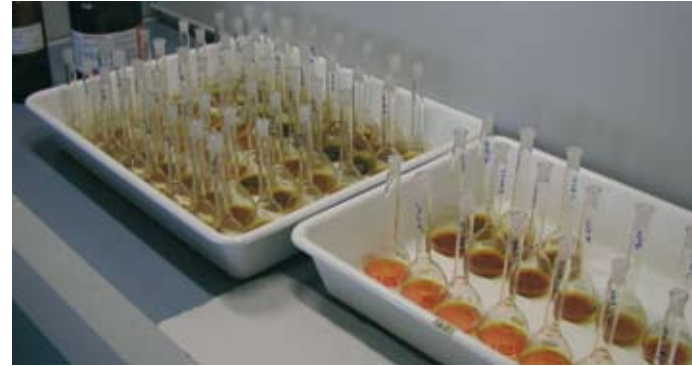
L'importanza della sostanza organica del terreno è legata all'elevato numero di funzioni nutrizionali e strutturali che essa svolge nel sistema suolo-pianta.



Profilo del terreno da cui risulta evidente il maggior contenuto di sostanza organica dell'orizzonte superficiale di colore più scuro

### Funzioni nutrizionali

- La mineralizzazione della sostanza organica provoca il rilascio degli elementi in essa contenuti come azoto, fosforo, potassio, magnesio, calcio, ecc.; questi possono venire assorbiti ed utilizzati dalla pianta;
- alcune classi di microrganismi importanti per la fertilità del suolo necessitano di sostanze organiche per la sopravvivenza;
- composti organici trasportano alcuni microelementi quali ferro, boro, manganese, zinco, rame e di fosforo, e fanno in



Mineralizzazione del carbonio organico dopo aggiunta di dicromato potassico

- modo che questi siano disponibili per le radici delle piante;
- alcune sostanze organiche sono esse stesse assorbite dalle piante in cui svolgono funzioni ormonali favorendo lo sviluppo di alcuni tessuti vegetali;
- costituisce gran parte del complesso di scambio, cioè di quelle superfici del terreno in grado di trattenere gli elementi nutritivi e di impedirne il dilavamento.

### Funzioni strutturali

- Forma con le argille degli aggregati stabili detti complessi umo-argillosi che sono in grado di dare maggior struttura al terreno;
- nei terreni sabbiosi aumenta la capacità di trattenuta idrica, impedendo il dilavamento dei nutrienti;
- nei terreni limosi evita la formazione di croste superficiali o di suole di lavorazione ed altri strati impermeabili;
- nei terreni argillosi contrasta i fenomeni di compattamento, di crepacciatura estiva, di erosione nei terreni declivi.

### 6.3 Metodi di analisi

L'analisi per la determinazione della sostanza organica totale di un terreno viene eseguita mettendo il terreno a contatto con un eccesso di dicromato potassico, forte agente ossidante, che ossida ad anidride carbonica tutto il carbonio presente sotto forma organica, con esclusione del carbonio elementare e di quello dei composti ad alta condensazione.

Poiché il carbonio rappresenta in media il 58% della sostanza organica il risultato dell'analisi del carbonio organico viene diviso per 0,58 per ottenere la sostanza organica totale (sempre espressa in %).

Esistono altre analisi per determinare i vari tipi di sostanza organica ma alcune danno risultati poco indicativi (separazione acidi fulvici-acidi umici mediante acidificazione) ed altre per il costo elevato o l'eccessiva laboriosità (separazione delle frazioni per via cromatografica o elettroforetica, analisi della biomassa, ecc.) vengono eseguite solo a supporto di ricerche o indagini specialistiche.

### 6.4 Interpretazione dei risultati

Nella pianura veneta, così come in altre aree della Pianura Padana, ci sono pochi terreni molto poveri (<1%) di sostanza organica, mentre più diffusi (30-35% dei casi) sono i terreni scarsamente dotati (tra 1 e 1,8%); la maggioranza comunque si attesta su valori superiori all'1,8%.

Si ritiene che il contenuto di sostanza organica non debba scendere sotto il 2% per assicurare le funzioni sopra descritte; al di sotto di questo valore il terreno mostra segni di flessione della capacità di svolgere a pieno le proprie funzioni fisiche, chimiche o biologiche.

Il livello ottimale è strettamente connesso, però, oltre che alle condizioni climatiche, al contenuto di argilla.

La classificazione dei terreni in base al contenuto in sostanza organica è riportata in tabella 6.1. In generale il valore inferiore, al di sotto del quale sono possibili evidenti effetti negativi dovuti alla carenza di materiale organico, si aggira attorno all'1%, men-

Giudizio	Sostanza organica %
molto povero	<0,8
scarso	0,8-1,2
medio	1,2-2,0
buono	2,0-4,0
ricco	4,0-8,0
molto ricco	>8,0

**Tabella 6.1** – Classificazione dei suoli in base al contenuto di sostanza organica secondo lo schema interpretativo ARPAV

tre fino al 1,5–1,8% il livello di sostanza organica è considerato comunque scarso per il mantenimento di una adeguata fertilità.

### 6.5 Il rapporto C/N

Questo parametro, ottenuto dividendo i contenuti in percentuale di carbonio organico ed azoto totale, è molto spesso utilizzato per quantificare il livello di umificazione del materiale organico del terreno.

Tale rapporto è generalmente elevato nei residui vegetali e si abbassa al progredire del processo di stabilizzazione fino a raggiungere un valore prossimo a 10.

Questo valore è tipico di terreni neutri e ben drenati in cui si equivalgono processi di mineralizzazione e sintesi. In generale i terreni con rapporto C/N compreso fra 9 ed 11 hanno una sostanza organica ben umificata e quantitativamente abbastanza stabile nel tempo in quanto il rilascio dell'azoto e la sua riorganizzazione risultano in equilibrio.

Nei terreni con C/N<9 il prevalere delle reazioni di ossidazione si traduce in una diminuzione del tenore in sostanza organica e nel rilascio di azoto assimilabile. Questa maggiore quota di azoto utilizzabile direttamente dalle piante è un vantaggio limitato rispetto ai problemi che una graduale diminuzione del contenuto in sostanza organica può comportare.

Nei terreni con C/N>11 si è ugualmente in una situazione di squilibrio in quanto, per il progredire del processo di umificazione da parte dei microrganismi, l'azoto presente nel terreno non è sufficiente.



Questo azoto, indispensabile per la stabilizzazione della sostanza organica, viene quindi sottratto alla soluzione circolante del terreno e in definitiva all'assorbimento radicale delle piante.

## 6.6 Tasso di mineralizzazione della sostanza organica

Il tasso annuo di mineralizzazione della componente organica di un terreno esprime la percentuale di sostanza organica che mediamente viene mineralizzata in un anno.

Questo coefficiente annuo di mineralizzazione (CM) viene calcolato in modo empirico sulla base dei contenuti in argilla e calcare totale come visto nel capitolo 5.

La mineralizzazione è un processo ossidativo e quindi richiede la presenza di ossigeno nel terreno. I terreni sabbiosi, caratterizzati da elevata permeabilità all'aria, presentano quindi un elevato tasso di mineralizzazione a differenza dei terreni argillosi che risultano meno aerati.

A parità di contenuto in argilla, i suoli calcarei manifestano un minor consumo di sostanza organica, così come descritto dal CM; di conseguenza i giudizi sulla dotazione della sostanza organica nei suoli devono essere corretti in funzione del coefficiente di mineralizzazione.

## 6.7 Letami, liquami, apporto di sostanze organiche

La disponibilità del letame è legata alla presenza di allevamenti in cui le deiezioni vengono gestite col sistema della lettiera permanente; pur essendo la composizione del letame molto variabile in funzione del tipo e della quantità di paglia utilizzata, del tempo e delle condizioni di maturazione, esso rappresenta in ogni caso il miglior rifornimento di sostanza organica per il terreno. Ciò è legato alla particolare stabilità delle sostanze che lo compongono ed alle elevate quantità in cui generalmente viene impiegato.

Il letame non è un concime perché contiene N, P e K in percentuali inferiori all'1%, ma poiché se ne distribuiscono quantità elevate

con esso si apportano dosi significative di elementi fertilizzanti; con 100 q di letame bovino si portano al terreno in media circa 30 Kg di N, 20 di  $P_2O_5$  e 50 di  $K_2O$ , tenendo conto di possibili perdite e variabilità di composizione.

Queste quantità di elementi fertilizzanti devono essere detratte alla concimazione minerale per evitare distribuzioni di elementi nutritivi in eccesso con conseguenti perdite per dilavamento e inquinamento dei corsi d'acqua e delle falde.

Se la composizione del letame è variabile quella del liquame è estremamente difficile da definire poiché dipende dai sistemi di trattamento delle deiezioni sia in fase di convogliamento alle vasche di stoccaggio che in fase di maturazione, oltre che, naturalmente, dal tipo di animali allevati, di stabulazione e di pulizia.

Più il liquame viene diluito, minore è il suo potere fertilizzante e maggiori sono i costi di distribuzione, mentre un tempo di maturazione più lungo consente una maggior stabilizzazione ed una degradazione di composti pericolosi per il terreno e le colture.

Orientativamente 100 q di liquame bovino ottenuto sotto griglia possono contenere 30 Kg di N, 35 di  $P_2O_5$  e 25 di  $K_2O$ , mentre altri liquami sono più poveri di elementi fertilizzanti.

La distribuzione dei liquami non è in grado di incrementare il contenuto in sostanza organica del terreno, ma favorisce positive trasformazioni nella struttura del suolo; in particolare si ha un miglioramento della porosità con un aumento dei pori che trattengono l'acqua e di quelli occupati dall'aria. La struttura quindi diventa più stabile e più favorevole allo sviluppo delle radici.

# 7. L'azoto

## 7.1 Azoto, terreno e microrganismi

Fra gli elementi che la pianta assorbe con le radici l'azoto è quello più comune in tutti i terreni, acidi e alcalini; le forme chimiche più semplici in cui esso è presente sono gli ioni ammoniacale e nitrico.

Soprattutto il primo è in grado di formare legami forti con i composti organici e partecipa alla sintesi di sostanze complesse, come proteine ed acidi nucleici, presenti in notevole quantità anche nel terreno.

Nel terreno il 97-99% dell'azoto totale è costituito da azoto organico, mentre il rimanente è presente in forma ammoniacale e nitrica.

Le piante utilizzano prevalentemente l'azoto inorganico, soprattutto quello nitrico; una volta assorbito questo viene riorganizzato per formare nuovi tessuti vegetali.

Il ciclo dell'azoto, che coinvolge tutte le forme viventi, ha il suo ambiente chiave nel terreno, in quanto è proprio in questo ecosistema che hanno luogo i due principali processi che regolano la trasformazione dell'azoto in forme più o meno disponibili: la mineralizzazione, cioè la distruzione di strutture complesse fino ai composti più semplici, e l'immobilizzazione, cioè l'utilizzazione delle forme semplici per la sintesi di sostanze complesse.

I principali artefici ed agenti di questi processi sono i microrganismi ed in particolare i batteri; dalla loro attività, e dal prevalere delle specie che operano l'uno o l'altro processo, dipende la presenza nel terreno di azoto disponibile.

Nel mondo agricolo si ritiene comunemente che l'azoto distribuito con i fertilizzanti chimici, come urea, solfato o nitrato ammonico, rimanga per un certo tempo prontamente assorbibile dalle piante e disponibile per favorire il loro sviluppo.

Una ricerca che risale al 1982 (Nannipieri e Ciardi), che confer-

mava i risultati di ricerche svolte su altre colture ed in altre condizioni pedoclimatiche, metteva in evidenza come nel prodotto raccolto da un prato fosse presente solo il 25% dell'azoto ureico (marcato con  $N^{15}$ ) distribuito come concime, mentre il 60% era rimasto nel terreno, probabilmente in forma organica, ed il 15% era andato perso; inoltre una percentuale variante dal 75 al 99% dell'azoto contenuto nel raccolto era dovuta all'elemento non marcato e dipendeva dall'assorbimento, da parte della coltura, dell'azoto minerale proveniente dal "pool organico" presente nel terreno.

Ricerche più recenti sono concordi nell'indicare che il 10-40% dell'azoto dato con i fertilizzanti viene organico nel suolo, il 5-10% viene perso per dilavamento, il 10-30% viene perso in forma gassosa e solo il 30-70% viene assimilato dalla pianta.

È chiaro quindi che solo una parte dell'azoto distribuito con i fertilizzanti chimici viene direttamente utilizzato dalle piante; una buona parte di esso viene incorporato nelle sostanze organiche del suolo, cioè viene immobilizzato per essere rilasciato in tempi successivi.

In particolare questo azoto è costituito da aminoacidi e proteine (25-50%), esosammine (5-10%), acidi nucleici (1%) e da una frazione la cui struttura chimica è sconosciuta (30-40%) (Nannipieri e Ciardi, 1982).

## 7.2 Azoto, colture e fertilizzazione

L'azoto nell'agronomia moderna è considerato il fattore principale della fertilità del suolo soprattutto nel determinare il buon esito di una coltura; ciò è in gran parte dovuto all'evidente effetto positivo provocato dalle somministrazioni di azoto alle colture nelle varie fasi del loro ciclo.

Ciò ha portato ad un'eccessiva fiducia nella fertilizzazione azotata che ha indotto ed ancora induce ad eccessi nelle dosi distribuite alle colture con lo scopo di massimizzare le rese.

Come conseguenza in alcuni casi si è assistito ad un appiattimento delle dosi distribuite alle diverse colture (da 200 a 300 kg/ha) senza tener conto della specificità delle singole colture e degli effetti, in alcuni casi deleteri, sulla qualità delle produzioni.

Le esigenze in azoto variano notevolmente fra le varie colture; alcune come le leguminose sono autosufficienti grazie alla simbiosi con i batteri azotofissatori che vivono nelle radici e trasformano l'azoto dell'aria in azoto ammoniacale; altre colture presentano fabbisogni variabili: meno esigenti le colture arboree, i fabbisogni aumentano per le orticole, dalle crucifere, alle cucurbitacee, alle solanacee, ed infine le più esigenti sono le graminacee, e in particolare il mais, che, soprattutto con la selezione di ibridi più sensibili alla fertilizzazione azotata, necessita di quantità spesso superiori ai 250 Kg/ha.

Il problema della fertilizzazione azotata coinvolge comunque problematiche complesse come quella degli apporti di azoto disponibile per le piante con i materiali organici come liquami, letami ed altri concimi organici, del rilascio di nutrienti nel sottosuolo, della qualità delle produzioni.

### **Surrogabilità dei fertilizzanti chimici da parte dei materiali organici**

Tutti i materiali organici contengono una certa quantità di azoto; la disponibilità di questo azoto per le piante è estremamente variabile a seconda della stabilità e del tipo di sostanze che li compongono e quindi dei trattamenti da essi subiti e dalle condizioni climatiche in cui avvengono, nonché dalla gestione ed epoca di distribuzione dei materiali stessi, come già detto nel capitolo precedente.

Per i liquami la situazione ottimale, ai fini di una loro utilizzazione come fertilizzanti, è costituita da vasche di dimensioni non troppo elevate, con sistemi di ossigenazione mediante riciclo di parte della massa e periodo di maturazione di almeno quattro mesi, con distribuzione frazionata eseguita in primavera ed autunno mediante interrimento diretto nel terreno o comunque utilizzando

sistemi di distribuzione a bassa pressione.

In questo modo l'azoto sarà contenuto in composti di media stabilità e quindi sarà rilasciato gradualmente durante il ciclo della coltura, mentre si ridurranno al massimo le perdite per volatilizzazione dell'ammoniaca.

In queste condizioni l'azoto utilizzabile dalla coltura si attesta sui 30-40 Kg per 10 t di liquame distribuito, mentre tale quota diminuisce man mano che ci si allontana da questa situazione ottimale.

### **Rilascio di nutrienti azotati nel suolo**

Come già evidenziato da Giardini et al. (1989) i rilasci di azoto dovuti ad attività agricola diventano di entità elevate (>100 Kg/ha) quando i materiali organici non vengono tenuti in considerazione nell'effettuazione dei piani di concimazione e quindi i nutrienti dei fertilizzanti chimici si sommano a quelli dei fertilizzanti organici.

Tale situazione si verifica con notevole frequenza nelle zone in cui sono presenti allevamenti zootecnici intensivi e la distribuzione al terreno dei reflui viene intesa prevalentemente come smaltimento di sostanze di scarto.

Nel Veneto queste zone sono concentrate soprattutto nella zona pedemontana delle province di Treviso, Vicenza e Verona. In questi casi l'ipotesi di razionalizzazione passa innanzitutto attraverso la considerazione degli elementi apportati coi materiali organici nel calcolo del piano di concimazione.

Lo studio sui carichi di azoto svolto da ARPAV per la predisposizione del Piano regionale di Tutela delle Acque ha messo in evidenza che i fabbisogni colturali di azoto sono coperti completamente dai fertilizzanti azotati venduti presso le rivendite specializzate e che quindi tutto l'azoto contenuto nelle deiezioni zootecniche è eccedente, cioè viene tenuto in scarsa o nessuna considerazione ai fini della pianificazione degli interventi di concimazione. Ciò porta ad una situazione di surplus (differenza tra apporti e asportazioni) rispetto ai fabbisogni che, in certe aree del Veneto, supera anche i 200 kg N/ha (figura 7.1). Una riduzione dei carichi azotati dell'attività agricola dovrà passare necessariamente attraverso una valorizzazione dell'azoto conte-

nuto negli effluenti di allevamento ed una riduzione dell'azoto da concimi minerali.

### Qualità delle produzioni agricole

È risaputo, soprattutto da chi ha esperienze dirette di coltivazioni arboree, orticole ed industriali, che apporti eccessivi di azoto inducono uno squilibrio della nutrizione delle piante che si ripercuote sulla composizione dei frutti e quindi sulla loro conservabilità, sulle caratteristiche organolettiche e nutrizionali.

Generalmente le dosi utilizzate sono un compromesso fra la massima produzione ed una qualità sufficiente, mentre è crescente la domanda per la massima qualità.

Poiché le conoscenze a disposizione dei tecnici sono limitate, è necessario potenziare le ricerche per conoscere sempre meglio il rapporto tra nutrizione azotata e caratteristiche finali del prodotto.

### 7.3 Metodi di analisi dell'azoto del terreno

Per determinare l'azoto totale del terreno è necessario mineralizzare, con acido solforico, tutte le sostanze contenenti azoto e dosare lo ione ammoniacale che si forma a seguito delle reazioni di degradazione; a tale determinazione sfugge l'azoto nitrico. Da alcuni anni sempre più frequente è l'utilizzo di analizzatori elementari per la determinazione dell'azoto direttamente sul campione tal quale senza pretrattamenti.

Come detto all'inizio, l'azoto totale è un indice che non dice molto della disponibilità di azoto per le piante ed inoltre il risultato della sua determinazione è abbastanza variabile; basti pensare che la variabilità insita nel terreno, per il parametro determinato in laboratorio, può corrispondere a più di 100 kg/ha di azoto.

È possibile anche conoscere il contenuto degli ioni ammoniacale e nitrico del terreno; queste determinazioni sono utilizzate nei paesi nord-europei per fornire consigli sulla concimazione.

Infatti in quei paesi il clima è molto costante nel corso del ciclo colturale, mentre in Italia le variazioni climatiche inducono notevoli variazioni soprattutto sul contenuto in ione nitrico, per cui



Analizzatore elementare per la determinazione dell'azoto

questi test sono di difficile applicazione. In ogni caso la determinazione dell'azoto ammoniacale e nitrico deve essere eseguita su campioni raccolti in un periodo dell'anno ben preciso e conservati in modo adeguato.

Metodi più sofisticati sono stati messi a punto per la determinazione dell'azoto disponibile o facilmente mineralizzabile, ma l'eccessiva laboriosità dei metodi non consente un'applicazione per l'analisi di routine.

Alcuni metodi di analisi cercano di determinare l'azoto organico solubile (EUF, estrazione con cloruro di calcio); è possibile che l'evoluzione delle ricerche in corso possa portare all'adozione di un metodo di facile esecuzione per determinare questa frazione più disponibile per le radici.

## 7.4 Interpretazione dei risultati

Nella tabella 7.1 è riportata la classificazione del risultato dell'azoto secondo il sistema interpretativo Agrelan dell'ARPAV. Per dare maggior significato al dato dell'azoto totale, questo viene corretto in modo da tener conto di come la natura del terreno influenza la quota di azoto organico che viene resa disponibile alle piante; in particolare il valore ottenuto dall'analisi viene moltiplicato per un coefficiente che varia in funzione del coefficiente di mineralizzazione ( $CM=1200/(20+A)(20+CT)$ ) che descrive la attitudine del terreno a favorire i fenomeni di degradazione delle sostanze organiche. In sostanza il risultato analitico non viene modificato se  $CM=1$ , mentre se  $CM<1$  esso subisce delle riduzioni, perché diminuisce la quota di azoto che si rende disponibile alle piante con la mineralizzazione, e se  $CM>1$  viene invece maggiorato per tener conto della maggior quota di N minerale che si libera nel corso dell'anno.

Il valore così corretto viene utilizzato anche per determinare la quantità di elemento da distribuire con la concimazione a seconda della coltura; la variazione determinata dal dato analitico è ristretta ad un piccolo intervallo attorno ad una quantità media individuata come fabbisogno colturale. Utile riferimento per la definizione di tale fabbisogno sono i valori indicati nel Codice di Buona Pratica Agricola, approvato con DM 19.03.1999, riportati in tabella 7.2

Giudizio	Azoto totale (g/kg)
molto povero	<0,5
scarsamente dotato	0,5-0,7
mediamente dotato	0,8-1,2
ben dotato	1,3-2,4
ricco	2,5-5,0
molto ricco	>5,0

**Tabella 7.1** – Classificazione del suolo in base al contenuto di azoto totale (g/kg), secondo lo schema interpretativo ARPAV.

Colture	Fabbisogno di Azoto kg/ha	Resa ipotizzata t/ha
<b>Cereali</b>		
Frumento tenero (Centro-Nord)	180	6
Frumento duro (Sud)	140	4
Orzo	120	5
Avena	100	4,5
Riso	160	7
Mais (irriguo)	280	10
<b>Leguminose da granella</b>		
Fagiolo	20	3
Pisello	20	3,5
Piante da tubero		
Patata	150	30
<b>Piante industriali</b>		
Barbabietola da zucchero	150	4,5
Colza	180	3,5
Girasole	100	3
Soia	20	3
<b>Piante Orticole</b>		
Aglio	120	12
Carota	150	40
Cipolla	120	30
Asparago	180	5
Cavolo verza e cappuccio	200	30
Insalata (Lattuga)	120	25
Radicchio (Cicoria)	180	35
Spinacio	120	15
Cetriolo	150	60
Cocomero	100	50
Fragola	150	20
Melanzana	200	40
Melone	120	35
Peperone	180	50
Pomodoro	160	60
Zucchina	200	30

**Tabella 7.2** – Fabbisogno di azoto per le colture secondo il Codice di Buona Pratica Agricola (D.M. 19.03.99)

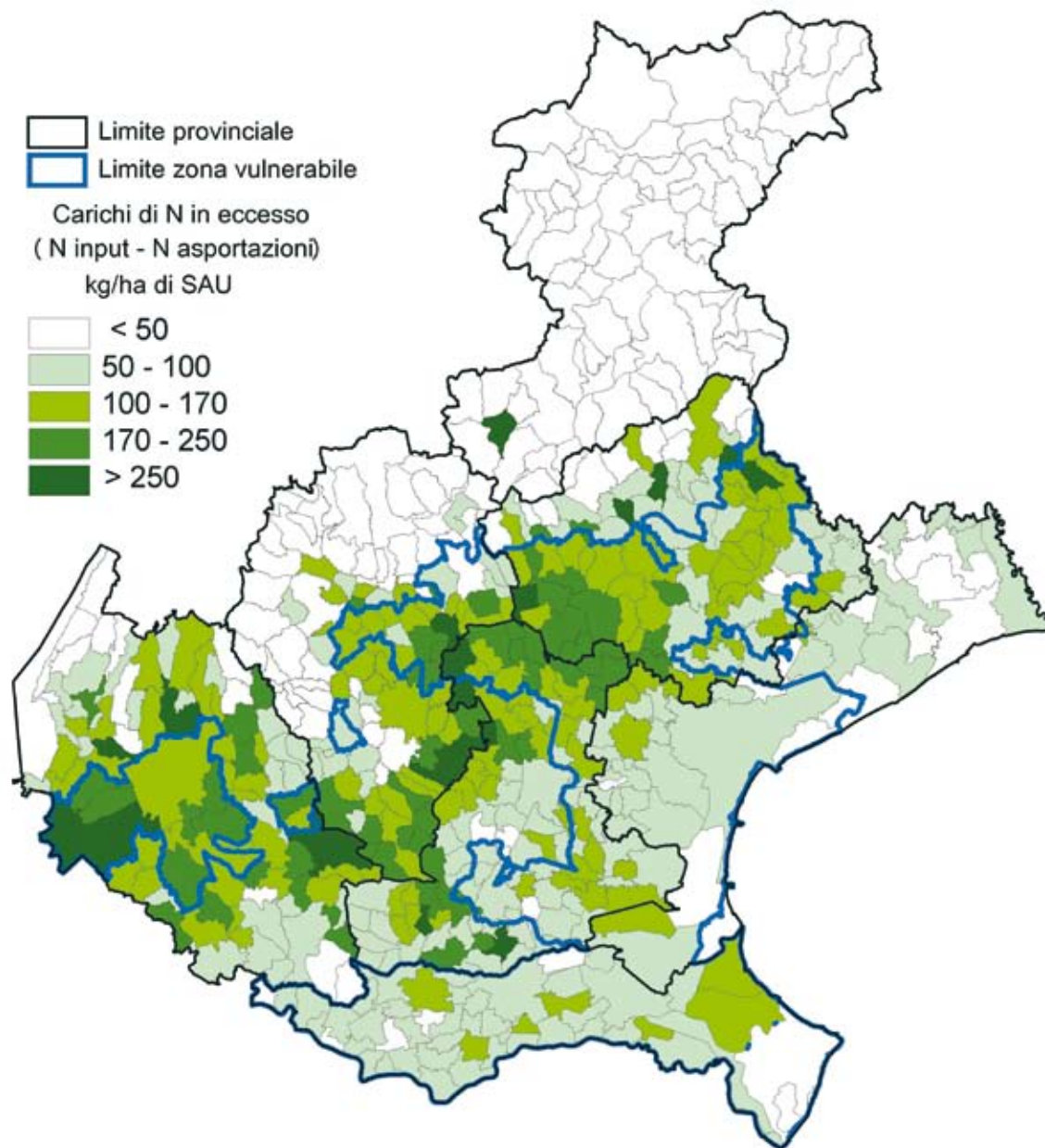


Figura 7.1: Distribuzione del surplus di azoto agricolo nei comuni del Veneto (elaborazione ARPAV su dati ISTAT 2001)

# 8. Il fosforo

## 8.1 Fosforo, terreno e microrganismi

Il fosforo viene tradizionalmente incluso tra i macroelementi, pur essendo contenuto nelle piante in quantità molto più modeste dell'azoto, del potassio e del calcio; le asportazioni di fosforo in un anno di produzione per una coltura arborea sono dell'ordine della decina di Kg/ha, per le altre variano da 20 ad 80 Kg/ha.

Esso però, da quando la pratica della nutrizione minerale si è diffusa in agricoltura, è sempre stato considerato elemento fondamentale per il mantenimento di un buon livello di fertilità. Ciò è conseguenza della sua scarsa mobilità nel terreno e dell'insolubilizzazione cui va facilmente soggetto nei terreni non neutri; tali condizioni possono renderlo un fattore limitante per un'ottimale sviluppo delle piante.

Le forme fosfatiche presenti nel suolo sono molto stabili; la velocità con cui il fosforo viene immobilizzato in forme insolubili dipende da fattori diversi, quali il pH del suolo, il contenuto in calcio, ferro ed alluminio, la quantità ed il tipo di argilla e di sostanza organica.

Il fosforo infatti si trova nel terreno come fosfati minerali, in particolare di ferro, alluminio e calcio la cui presenza relativa dipende da un equilibrio regolato dal pH del suolo, oppure in forma di fosforo organico presente nei residui animali e vegetali e che viene mineralizzato gradualmente.

L'influenza del pH è funzione dei fenomeni di insolubilizzazione a cui il fosforo va soggetto: a pH inferiori a 6 prevale la formazione di fosfati di ferro ed alluminio insolubili e stabili, mentre a pH superiori a 7 prevalgono per stabilità i fosfati di calcio altrettanto insolubili.

La forma solubile del fosforo, e quindi assimilabile dalle piante, è quella dello ione ortofosfato, dotato di carica negativa; la reat-

tività di questo ione con la matrice minerale del suolo è piuttosto complessa poiché dipende dalla natura ed estensione delle superfici, dalla quantità e natura degli altri ioni disciolti, dalla temperatura, dal pH e dal contenuto in acqua.

Le principali reazioni consistono nella formazione di numerosi composti fra ioni ortofosforici e cationi presenti sulle superfici di scambio; esse avvengono in più stadi successivi con la rapida formazione di "complessi fosfatici di adsorbimento" e la lenta cessione degli ioni fosforici presenti sulla superficie adsorbente. Nell'equilibrio fra fosforo insolubilizzato e fosforo solubile importante è il ruolo delle sostanze organiche e dei microrganismi; in particolare gli acidi organici, secreti dagli apparati radicali delle colture o formati dalla degradazione della sostanza organica del terreno, possono, previa interposizione di ioni positivi, funzionare da veicolatori dei fosfati dai siti di adsorbimento agli organi radicali della pianta.

I microrganismi da parte loro regolano il ciclo del fosforo agendo in particolare sulla demolizione dei composti organici fosforati e l'organizzazione di fosforo minerale. E' stato accertato inoltre come sia molto importante per l'assorbimento del fosforo da parte delle piante, soprattutto arboree forestali, la presenza di particolari organismi fungini in grado di formare con le radici dei vegetali delle simbiosi che prendono il nome di micorrize.

Nell'accertare il motivo del maggior sviluppo e vigore delle piante micorrizzate si è visto come l'assimilazione del fosforo sia molto maggiore in queste piante; con molta probabilità le micorrize funzionano da "prolungamento" delle radici, e sono dotate di elevata efficienza per l'assorbimento del fosforo anche in zone in cui l'elemento è scarsamente presente nelle forme assimilabili.

## 8.2 Fosforo, colture e fertilizzazione

In generale il fabbisogno di fosforo da parte delle piante è massimo nelle piantine giovani e al momento della costituzione del seme o degli organi di riserva (radici, tuberi, ecc.).

### Livelli di fertilizzazione

L'approccio più razionale alla fertilizzazione fosfatica prevede, per un terreno dotato di buona fertilità, la semplice restituzione del fosforo asportato dalle colture (da 20 a 80 Kg/ha). Tale tendenza è giustificata dai risultati di diverse sperimentazioni effettuate negli anni 80, in cui viene messa in luce l'inutilità dell'apporto di dosi elevate di fertilizzante fosfatico e la necessità di integrazione solo per i terreni carenti o poveri di fosforo.

Le indicazioni fornite dall'INRA (Boniface, 1987) sulla base di sperimentazioni condotte su terreni calcarei, simili a quelli del Veneto, sono le seguenti:

- nei terreni ricchi in cui per anni i livelli di fertilizzazione fosfatica sono stati elevati (150 Kg/ha/anno) non è giustificabile un ulteriore apporto di fertilizzante;
- nei terreni mediamente dotati e con scarso potere di immobilizzazione si deve apportare una quantità di fosforo pari a 1-1,5 volte le asportazioni.

Bisogna aggiungere però che concimazioni fosfatiche con dosi superiori alle asportazioni delle colture, determinano incrementi del contenuto in fosforo totale ed assimilabile del terreno ed un progressivo aumento di composti di facile risolubilizzazione che favoriscono il ripristino di fosforo solubile nella soluzione circolante, aumentandone la concentrazione (De Caro et al., 1987).

### Modalità di distribuzione

Data la scarsa mobilità del fosforo la distribuzione al terreno può essere fatta anticipatamente nel momento in cui vengono eseguite le lavorazioni principali, in modo da distribuire il fosforo su tutto lo strato di terreno che sarà interessato dalla presenza delle radici.

Nei terreni ad elevato grado di insolubilizzazione o molto poveri di fosforo, o talmente compatti da essere soggetti a fenomeni di

ristagno superficiale in primavera e quindi ad asfissia radicale, la distribuzione "normale", così come appena descritta, può non essere sufficiente; è infatti abbastanza frequente notare, soprattutto su mais o bietola, nelle prime fasi di sviluppo della coltura, fenomeni di arrossamento fogliare e riduzione dell'accrescimento dovuti a carenza di fosforo, che poi comportano una riduzione dello sviluppo della pianta e delle capacità produttive della coltura.

Per superare questo problema è sufficiente ricorrere alla localizzazione del concime fosfatico in vicinanza del seme; è necessario però che tale operazione venga effettuata solo per il fosforo e non, come spesso succede, con concimi ternari (e quindi apportando anche azoto e potassio). Infatti l'efficacia di questa pratica è legata alla presenza di fosforo in elevata quantità vicino al seme e alla contemporanea assenza di possibili fenomeni di fitotossicità dovuti ad eccesso di concentrazione salina.

Essendo la bietola sensibile alla presenza di azoto nel concime localizzato, è consigliabile utilizzare perfosfato semplice o triplo, mentre per il mais risulta più efficace l'utilizzazione del fosfato biammonico in quantità di 2 q/ha.

### Surrogabilità da parte di materiali organici

La distribuzione al terreno di letami o liquami zootecnici implica l'apporto di fosforo in determinate quantità; i liquami hanno un contenuto in fosforo generalmente più elevato dei letami, anche se esso varia in funzione del loro contenuto in sostanza secca.

Per un'indicazione di carattere generale si può considerare l'apporto di fosforo, tenuto conto delle possibili perdite in fase di maturazione e distribuzione, in 20 Kg/100 q di letame e 25 Kg/100 q di liquame. Dall'esperienza ventennale di analisi dei suoli del Veneto è emerso che nei terreni di aziende zootecniche, che necessariamente distribuiscono consistenti quantità di deiezioni animali, il contenuto di fosforo assimilabile è sempre molto elevato; per queste aziende l'apporto di fosforo con concimi minerali è assolutamente ingiustificato.

### Perdite di fosforo dal suolo

Da quando si sono avute le prime manifestazioni di eutrofiz-





Spettrofotometro per l'analisi colorimetrica del fosforo assimilabile

zazione nell'alto Adriatico è andato crescendo l'allarmismo nei confronti dei rilasci di fosforo nelle acque; fra i vari contributi all'inquinamento delle acque da fosforo quelli attribuiti all'agricoltura sono stati sempre inevitabilmente sovrastimati.

Il rilascio di fosforo dal terreno è unicamente dovuto a fenomeni erosivi; se le particelle erose contengono fosforo, non necessariamente esso si trasferisce alle acque. La concentrazione di fosforo all'equilibrio nella soluzione del terreno è estremamente bassa e stimata attorno a 0,01 mg/l, di 100 volte inferiore al limite di 10 mg/l consentito per gli scarichi in corpi idrici superficiali dal D. Lgs. 152/06.

Quindi il terreno può costituire il miglior filtro per effluenti ricchi di fosforo come quelli degli allevamenti zootecnici; inoltre le particelle di argilla tendono ad assorbire fosforo da acque inquinate e non a cederne.

Le stime sulle perdite di fosforo nell'Adriatico settentrionale riportate da Sequi (1989) indicano in 22.652 t/anno i rilasci di fosforo dagli agglomerati urbani, supponendo che tutti i depuratori siano funzionanti e tutta la popolazione sia servita, ed in 599 t/anno i rilasci dai terreni agricoli e non agricoli extra-urbani; è evidente la diversa responsabilità dei vari settori nei confronti dell'inquinamento delle acque da fosforo. Le stime relative ai carichi residui di fosforo generati in Veneto riportati dalla proposta

di Piano Regionale di Tutela delle Acque evidenziano un carico complessivo generato pari a circa 2.500 t/anno, di cui circa 700 di origine agrozootecnica e meteorica (fonti diffuse).

### 8.3 Metodi di analisi

Il metodo di determinazione del fosforo assimilabile secondo i Metodi Ufficiali di Analisi Chimica dei Suoli non è lo stesso per terreni acidi ed alcalini; tale indicazione si basa sul presupposto che non esiste un metodo per cui sia riscontrabile, in tutte le situazioni di pH, una relazione costante fra risultato dell'analisi e reale disponibilità nel terreno di fosforo misurata mediante l'analisi della crescita delle piante sul terreno in esame.

Per questo viene suggerito di utilizzare il metodo Bray-Kurtz per terreni con  $\text{pH} < 7$  e il metodo Olsen per terreni con  $\text{pH} > 7$ ; i due differiscono fra loro per il diverso estraente utilizzato, fluoruro d'ammonio nel primo e bicarbonato sodico nel secondo.

In realtà il metodo Olsen (estrazione mediante bicarbonato di sodio e lettura colorimetrica dell'estratto) può essere utilizzato per tutte le situazioni di pH, come tra l'altro evidenziato dagli Standard Methods della Società Americana di Agronomia, in quanto presenta linearità di risposta in tutte le condizioni.

In un lavoro condotto da Hamdy su 30 terreni calcarei della Puglia è stato evidenziato che il metodo per il quale c'è maggior correlazione fra risultati analitici e crescita delle piante è il metodo Olsen ( $r=0.82$ ), oltre al metodo che utilizza resine a scambio anionico ( $r=0.84$ ); ciò è dovuto alla maggior capacità del bicarbonato sodico ad estrarre i fosfati di alluminio che costituiscono più del 60% dei fosfati solubili in quei terreni.

Nello stesso lavoro è stato distinto un fattore di intensità, costituito dal risultato dell'estrazione con acqua, e che rappresenta il fosforo presente nella soluzione circolante del terreno, da un fattore di capacità, costituito dalla differenza dei risultati dell'estrazione con bicarbonato sodico e quelli dell'estrazione con acqua, che rappresenta il fosforo adsorbito sulle pareti ed in equilibrio con la soluzione circolante. Il fattore di capacità è molto più importante nel determinare lo sviluppo e la crescita della pianta.

## 8.4 Interpretazione dei risultati

In tabella 8.1 è riportata la classificazione dei terreni in base al contenuto in fosforo assimilabile. Il sistema di interpretazione Agrelan dell'ARPAV esegue la correzione del dato analitico prima di procedere alla classificazione del terreno per tenere conto dell'effetto di insolubilizzazione dovuto al calcare attivo (capitolo 5). La correzione è realizzata sulla base delle indicazioni dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante di Roma (1985) che indicano una insolubilizzazione del fosforo pari al 40% per contenuti di calcare attivo superiori al 10%.

Agrelan fornisce anche un consiglio per la concimazione fosfatica sulla base del valore corretto ricavato dal dato analitico; per far questo utilizza delle curve ottenute empiricamente che mettono in relazione il dato analitico corretto con la dose di  $P_2O_5$  in Kg/ha, ottimale per una certa coltura.

Giudizio	Fosforo assimilabile mg/Kg
molto scarso	<7
scarso	7-14
medio	15-20
buono	21-30
ricco	31-45
molto ricco	>45

**Tabella 8.1** – Classificazione del terreno in base al contenuto in fosforo assimilabile secondo lo schema interpretativo ARPAV.

# 9. Gli elementi scambiabili: potassio, magnesio, calcio

## 9.1 Dinamica degli elementi scambiabili del terreno

Per elementi scambiabili del terreno si intendono quegli elementi chimici che in notevole quantità interagiscono, con un legame di tipo ionico, con le superfici delle particelle organiche e minerali del suolo; poiché le cariche presenti su queste superfici sono negative per i pH più comuni del suolo, tra valori di 5 e 8,5, questi elementi sono dei cationi, cioè ioni con carica positiva. Il più presente è il calcio, seguito da magnesio e potassio in quantità simili, mentre il sodio si trova quasi sempre a basse concentrazioni; la presenza di quest'ultimo in quantità elevate può causare perdita di fertilità (suoli salini-alcasini).

Altri elementi con carica positiva e quindi scambiabili (ferro, manganese, zinco, rame ed altri metalli) sono presenti in quantità molto inferiori e quindi considerati microelementi; in questo capitolo si tratterà solo del potassio, del magnesio e del calcio. Questi elementi nel suolo si trovano, come detto, legati alle superfici con carica negativa, quindi colloidi organici ed argillosi; essi si scambiano tra loro, in rapporti che dipendono dal prevalere dell'uno o dell'altro catione, in forma dinamica, dando origine a fenomeni di continuo rilascio nella soluzione del suolo.

La presenza di queste sostanze che hanno una superficie esterna con carica negativa genera quindi fenomeni di scambio con la soluzione del suolo la cui intensità si misura mediante la Capacità di Scambio Cationico (CSC); maggiore è questa capacità e maggiore è la quantità di potassio, magnesio e calcio scambiabili presente nel terreno.

Poiché potassio, magnesio e calcio, insieme al sodio meno presente, costituiscono la grande maggioranza dei cationi presenti nei suoli neutri ed alcalini, la somma delle loro forme scambiabili corrisponde alla CSC del suolo.

Nei suoli acidi la prevalenza di ioni idrogeno copre le cariche negative delle superfici che non riescono più a trattenere le basi di scambio che quindi vengono dilavate.

In funzione della loro disponibilità ad essere assorbiti dalle colture le forme del potassio presenti nel suolo possono distinguersi in:

- non disponibile: se costitutiva dei minerali primari per cui deve sottostare a processi di lungo termine per trasformarsi in forme disponibili;
- poco disponibile: se fissato negli interstrati dei minerali argillosi, costituisce una riserva di potassio nel suolo perché in diretta relazione col potassio scambiabile; la sua disponibilità dipende dal tipo di piante presenti e dall'entità delle forme scambiabili e solubili;
- disponibile: se in forma scambiabile o solubile; la prima, prontamente disponibile, si trova adsorbita alle superfici di scambio, la seconda è quella in soluzione che la pianta assorbe direttamente.

In effetti questa suddivisione così schematica in forme diverse può essere di scarsa importanza per la pianta che semplicemente preleva il potassio dalla soluzione del suolo; questa però viene continuamente integrata dalle altre forme più o meno disponibili.

La conoscenza delle relazioni fra queste frazioni è più importante della conoscenza di ciascuna di esse presa singolarmente.

Ogni suolo è dotato di un "potere tampone" rispetto al potassio, consistente nella capacità di ricostituire la forma solubile partendo da quella scambiabile, e parallelamente nella capacità di trasformare la forma solubile in scambiabile in seguito all'apporto di concime potassico. In generale in un suolo argilloso questo potere tampone è maggiore che non in uno sabbioso poiché è correlato alla CSC del suolo ed al rapporto potassio scambiabile/CSC (Villemin, 1988).

A causa dell'esistenza di questo potere tampone in un terreno ben dotato di potassio le colture non danno risposta significativa, in termini di maggior resa, all'aumento delle dosi di potassio distribuite con la concimazione; tale risposta c'è invece in terreni mediamente dotati e soprattutto poveri (Loué, 1985).

Allo stesso modo per il magnesio il rapporto magnesio scambiabile/CSC spiega meglio del solo dato del magnesio scambiabile la possibilità che la pianta reperisca questo elemento dal suolo; per questo motivo l'interpretazione del risultato analitico è più corretta se si tiene in considerazione il valore di CSC. In ogni caso mentre per il potassio si può distinguere una forma fissata o legata, detta anche potassio intermedio, costituita dagli ioni posti fra gli strati dei fillosilicati, per magnesio e calcio questa non esiste o è molto ridotta poiché la doppia valenza e le dimensioni degli ioni idrati impediscono che avvenga questo processo di retrogradazione.

Il calcio nei terreni calcarei è presente in quantità consistente nei carbonati inattivi, in forma fisica grossolana a bassa attività chimica, e in quelli attivi più finemente suddivisi che facilmente interagiscono con la soluzione circolante del terreno.

A differenza dell'azoto e del fosforo le frazioni di potassio, magnesio e calcio contenute nella sostanza organica non sono molto importanti come riserva degli elementi se confrontata con la riserva minerale costituita dalle forme adsorbite o fissate sui minerali argillosi.

## 9.2 Potassio, magnesio e calcio: fabbisogni culturali e fertilizzazione

La fertilizzazione potassica può distinguersi in una fertilizzazione di mantenimento, che comprende il reintegro delle asportazioni, delle perdite per lisciviazione e dell'immobilizzazione per fissazione, ed una di correzione che serve per riportare i terreni poveri di potassio ad una situazione di media fertilità.

Da sperimentazioni condotte in Francia la dose di mantenimento si aggira attorno ai 100 kg/ha di  $K_2O$ , mentre il mancato apporto di potassio provoca una riduzione del 30% di potassio scam-

biabile del terreno e dosi di 200 kg/ha provocano un aumento medio del 60% nell'arco di circa un decennio.

Oltre alla natura del suolo ciò che maggiormente influenza questa relazione fra dosi apportate e contenuto in potassio scambiabile dei terreni è il tipo di successione culturale; la presenza di colture foraggere, di cui viene raccolta la pianta intera, è causa di una maggior asportazione e quindi la dose di mantenimento si attesta tra 150 e 200 kg/ha.

Le asportazioni di potassio da parte delle colture più diffuse nel Veneto variano in media fra gli 80 ed i 150 kg/ha di  $K_2O$  ed in alcuni casi sono superiori a quelle dell'azoto che generalmente è più presente negli organi verdi della pianta; per colture come mais, bietola, medica e varie foraggere ed orticole le asportazioni superano i 200 kg/ha.

Per il magnesio è importante considerare il rapporto Mg/K; quando questo è inferiore a 2 è opportuna una correzione mediante apporto di magnesio al terreno; lo stesso se la dotazione del terreno è inferiore a 100 mg/kg di magnesio scambiabile, e soprattutto sotto i 50 mg/kg, è consigliabile la concimazione con magnesio.

Nei terreni non acidi le dotazioni di calcio sono sempre ampiamente sufficienti alla nutrizione vegetale; in quelli acidi invece l'apporto di calcio può essere molto utile soprattutto per livelli di calcio inferiori a 1000 mg/kg, così come quello di magnesio, per cui diventa opportuno l'uso di correttivi calcio-magnesiaci (Perelli, 1987).

Quando si apportano sostanze organiche queste contengono potassio, magnesio e calcio in forma molto disponibile per le piante; si può ritenere che in media 10 t di letame bovino maturo contengano mediamente 50 kg di  $K_2O$ , 20 di MgO e 40 di CaO, 10 t di liquame bovino 30 kg di  $K_2O$ , 5 di MgO e 20 di CaO, mentre 10 t di liquame suino 20 kg di  $K_2O$ , 2 di MgO e 15 di CaO.



La determinazione della Capacità di Scambio Cationico si conclude con la titolazione

### 9.3 Metodi di analisi

La determinazione degli elementi scambiabili avviene sempre in due fasi: la prima è di estrazione cioè di contatto del terreno con una soluzione contenente un catione in eccesso che si scambia con quelli adsorbiti sulle superfici del suolo e li porta in soluzione; la seconda consiste nella determinazione degli elementi presenti nella soluzione per via spettrometrica.

Fra le soluzioni estraenti l'acetato ammonico è la più diffusa a livello internazionale, ma l'estrazione con bario cloruro viene da più autori indicata come maggiormente adatta per i suoli neutri e alcalini perché in suoli calcarei l'acetato ammonico ha un effetto

solubilizzante sui carbonati e tende a sovrastimare il contenuto di cationi.

Da un'indagine eseguita presso i laboratori ARPAV di Castelfranco Veneto (Clamor et al., 1991) è emerso che esistono ottime correlazioni fra i risultati ottenuti dall'estrazione con nitrato sodico, bario cloruro e acetato ammonico per il magnesio, mentre per il potassio e il calcio la correlazione è buona più fra nitrato sodico e bario cloruro che non fra acetato ammonico e gli altri due; risulta quindi più problematico interpretare nello stesso modo i dati ottenuti con acetato ammonico e con bario cloruro anche se generalmente i risultati sono dello stesso ordine di grandezza.

### 9.4 Interpretazione dei risultati

Da quanto detto circa l'esistenza di diverse forme con cui i cationi sono presenti nel suolo e delle interazioni esistenti in fase di assorbimento da parte delle colture, consegue che l'interpretazione dei risultati analitici relativi agli elementi scambiabili è piuttosto controversa e complessa.

Ormai si sta progressivamente abbandonando l'interpretazione dei risultati relativi a potassio, magnesio e calcio scambiabili mediante tabelle standard in cui i limiti delle classi di dotazione sono costituiti da dati univoci ed indipendenti dai valori che assumono altre caratteristiche. In particolare si tende ad elevare il limite di sufficienza all'aumentare dei valori delle frazioni argillose ed in particolare della capacità di scambio cationico oltre che, per potassio e magnesio, all'aumentare dello squilibrio in favore dell'elemento antagonista.

Tali scelte sono motivate dalla considerazione dei marcati fenomeni di antagonismo esistenti tra i più importanti cationi di scambio e della necessità, in terreni ad elevata CSC, di maggiori contenuti di elementi scambiabili per un'efficiente nutrizione delle piante.

In particolare la sperimentazione ha evidenziato che i suoli argillosi possiedono una maggiore riserva naturale di ioni potassio rispetto ai suoli più grossolani, ma che, per il loro marcato potere assorbente, li cedono con maggiore difficoltà. Infatti mentre la

quota di potassio liberata è in relazione diretta con la quantità di argille, la velocità di liberazione è in relazione inversa. Quindi per avere una sufficiente concentrazione di potassio prontamente disponibile in un dato suolo ne occorre tanto di più quanto maggiore è la sua CSC.

In particolare alcune sperimentazioni hanno messo in evidenza una correlazione negativa tra produzione e potassio scambiabile e positiva tra produzione e potassio solubile; questo perché suoli con elevato valore di potassio scambiabile avevano un valore elevato di argilla e CSC e quindi una bassa concentrazione di potassio nella soluzione del suolo (Villemin, 1990).

Inoltre i cationi interagiscono fra loro nel momento dell'assorbimento da parte della pianta; in particolare dosi crescenti di potassio deprimono l'utilizzo del magnesio e del calcio per effetto di fenomeni di competizione fra cationi mono e bivalenti.

Tale competizione è particolarmente forte fra potassio e magnesio, tanto che in parecchi terreni del Veneto, molto ricchi di magnesio, il contenuto in potassio delle foglie risulta insufficiente o scarso nonostante gli apporti di potassio siano stati consistenti nel corso degli anni.

Il rapporto Mg/K, determinato dividendo le concentrazioni dei due elementi espresse come meq/100 g, è equilibrato quando è compreso tra 2 e 5, mentre valori superiori a 5, molto diffusi nel Veneto, riducono la disponibilità del potassio inducendo ad effettuare concimazioni potassiche consistenti e ad evitare qualsiasi apporto di magnesio.

Secondo un sistema di interpretazione utilizzato negli USA i contenuti in cationi scambiabili devono essere tali da avvicinarsi a dei rapporti ottimali: K=2-5%, Mg=6-12%, Ca=65-85% della CSC; qualora i rapporti si allontanino da quelli ottimali è prevista una concimazione di correzione con l'elemento carente. Questo metodo però è valido solo per i terreni acidi, con CSC basse (<10) e quindi non è utilizzabile per la maggior parte dei terreni del Veneto che presentano reazione da neutra ad alcalina (Perelli, 1987).

Il sistema di interpretazione Agrelan tiene conto di quanto detto a proposito della relazione tra disponibilità di elementi scambiabili, CSC e rapporti fra gli elementi stessi. Infatti sia per il potas-

Giudizio	Potassio mg/Kg	Magnesio mg/Kg	Calcio mg/Kg
molto scarso	<40	<50	<1000
scarso	40-80	50-100	1000-2000
medio	80-120	100-150	2000-3000
buono	120-180	150-200	3000-4000
ricco	180-240	200-250	4000-5000
molto ricco	>240	>250	>5000

**Tabella 9.1** – Classificazione dei suoli in base ai contenuti di potassio, magnesio e calcio scambiabile (mg/Kg di Ca) secondo lo schema interpretativo ARPAV (per potassio e magnesio i giudizi sono riferiti a terreni di media CSC e argilla e con equilibrato rapporto Mg/K).

sio che per il magnesio ed il calcio si opera una correzione del dato in modo da considerare normale un terreno con una CSC pari a 10 meq/100 g, e ridurre il valore misurato per suoli con una CSC più elevata in modo da tener conto della minor disponibilità indotta dall'aumento della forza legante del terreno nei confronti dei cationi.

Per magnesio e potassio si opera una ulteriore correzione che dipende dal valore del rapporto Mg/K, in modo che valori superiori a 3 portano ad una riduzione della disponibilità del potassio, e ad un aumento di quella del magnesio; le correzioni dovute alla CSC ed al rapporto Mg/K vengono eseguite in successione.

La tabella 9.1 indica la classificazione dei suoli in base ai contenuti di potassio (mg/kg di K), magnesio (mg/kg di Mg) e di calcio (mg/kg di Ca).

Per potassio e magnesio i giudizi sono riferiti a terreni di media CSC e argilla e con equilibrato rapporto Mg/K.

# 10. I microelementi

## 10.1 Definizione e presenza nel terreno

Quando gli elementi vengono classificati in funzione della quantità coinvolta nel metabolismo delle piante allora si distingue fra macro e microelementi. Questa suddivisione ricalca i livelli degli elementi assimilabili presenti nel terreno; in generale un microelemento nutritivo è generalmente anche un microelemento pedologico.

I microelementi essenziali per i vegetali sono ferro, manganese, zinco, rame e molibdeno, mentre il boro è essenziale per molte delle piante coltivate; fra questi zinco, rame e molibdeno sono meno interessanti per la rarità dei fenomeni di carenza riscontrabili nei nostri ambienti, mentre sono considerati fra i metalli pesanti come potenziali inquinanti dei suoli in seguito alla distribuzione ripetuta di fertilizzanti minerali, fanghi, compost, liquami ed antiparassitari, di cui si parlerà nel capitolo 11. In questo capitolo si tratta solamente di ferro, manganese e boro.

I microelementi hanno delle caratteristiche che li accomunano; spesso possono provocare fisiopatie da carenza, ma talvolta anche da eccesso, e lo scarto tra la soglia di sufficienza e quella di tossicità, pur variando da specie a specie, è a volte assai ridotto. La loro mobilità nel terreno, e la loro assimilabilità da parte delle piante, sono notevolmente influenzate dalle condizioni del suolo, in particolare dal pH, dall'umidità, dalla tessitura, dalla temperatura e dalle concentrazioni di carbonati, fosfati e composti organici. Inoltre la loro disponibilità è condizionata dalle escrezioni microbiche e dalla quantità e tipo di sostanze organiche con le quali formano dei composti di coordinazione e di chelazione.

### Il ferro

In ambiente aerato, con pH e potenziale redox elevati, si ha la formazione di sali ferrici (trivalenti) poco assimilabili; nei terreni asfittici, con pH e potenziali redox bassi, vengono sostituiti dai

composti ferrosi (bivalenti) di più facile assimilazione. In generale il ferro si può trovare nel suolo in una delle seguenti forme:

- ferro reticolare: fa parte della struttura cristallina dei minerali e risulta inaccessibile alle piante;
- ferro ferrico del complesso umo-argilloso: si tratta di polimeri che avvolgono le argille avendo la funzione di leganti ionici con l'humus;
- ossidi di ferro precipitati allo stato amorfo o cristallino: costituiscono delle forme originatesi dall'eccesso di ossidi ferrici e sono frequenti nei suoli aridi o con bassa dotazione di sostanze organiche;
- ferro ferroso complessato: composti particolarmente stabili, anche in terreni alcalini o neutri, tra il ferro allo stato ridotto ed acidi organici alifatici o polimeri fenolici formati in ambiente acido e ridotto;
- ferro solubile: è lo ione ferroso che esiste solamente in ambienti riducenti e sufficientemente dotati di sostanze organiche.

Le carenze di ferro possono essere attribuite a:

- effettiva deficienza dell'elemento in terreni derivati da rocce costituzionalmente povere di ferro;
- antagonismi dovuti a manganese, zinco, rame, molibdeno, fosforo, cobalto e potassio;
- insolubilizzazione in presenza di elevate quantità di carbonati o fosfati;
- difficoltà di assorbimento in ambiente asfittico e freddo da parte delle piante.

### Il manganese

Oltre al manganese indisponibile per le colture, perché parte del reticolo cristallino, esistono altre forme, più o meno ossidate, solubili e disponibili. Gli ossidi bivalenti risultano maggiormente solubili, dilavabili ed assimilabili degli ossidi a valenza superiore,

tanto che, in relazione ai vegetali, può aver senso definire come assimilabile la frazione costitutiva dello ione bivalente, sia esso in soluzione o trattenuto dal complesso di scambio, e come insolubile la forma rappresentata dagli ossidi tri- e tetravalenti.

L'ossidazione del manganese bivalente ad ossidi insolubili avviene in ambiente alcalino e ossidante; al contrario, la riduzione dalle forme di valenza superiori a quelle inferiori (solubilizzazione) è favorita da un mezzo acido, riducente e ricco di sostanze organiche. Tanto le reazioni ossidative quanto quelle riducenti sono favorite dall'azione di specifici microrganismi. Risulta perciò evidente che la calcitazione del terreno tende a ridurre la quantità di manganese disponibile per le colture, contrariamente all'abbassamento del pH che ne determina l'aumento.

I casi di tossicità da manganese si manifestano con maggiore incidenza in ambienti acidi, asfittici e con scarsa attività microbologica; viceversa i fenomeni di carenza si riscontrano più frequentemente nei terreni neutro-alcalini.

Le scarse dotazioni di manganese utilizzabile dalle colture possono essere dovute a:

1. terreni costituzionalmente poveri perché originatisi da rocce prive di questo elemento;
2. terreni generalmente sabbiosi o limoso-sabbiosi molto lisciviati;
3. formazione di carbonati o fosfati di manganese poco solubili;
4. marcati fenomeni di antagonismo con zinco e ferro.

### **Il boro**

Le piante sono assai reattive al boro assimilabile presente nella rizosfera; le colture più esigenti possono manifestare danni da carenza quando l'elemento si trova in quantità inferiori a 0,2 mg/kg, mentre con livelli superiori a 2 mg/kg sono probabili fenomeni di tossicità per le specie più sensibili.

Le soglie di deficienza e tossicità sono quindi in funzione della specie, ma anche della granulometria, del pH, delle sostanze organiche e delle caratteristiche idrologiche del terreno. In particolare nei terreni argillosi, alcalini, molto dotati di sostanze organiche e siccitosi, ambedue le soglie tendono ad alzarsi, in quelli sabbiosi, acidi, poveri di humus e umidi le soglie vanno abbassate.



Agitatore rotativo utilizzato per l'estrazione dei microelementi assimilabili

## **10.2 La fertilizzazione con microelementi**

Per ogni microelemento nel terreno è individuabile un limite critico che separa la situazione di normalità da quella di carenza (tabella 10.1); questo limite è quello che assicura la nutrizione delle colture, per cui al di sotto di esso è probabile che si manifestino dei fenomeni di carenza e può essere opportuno intervenire con l'applicazione dell'elemento in questione.



Si deve prima di tutto considerare che la presenza di sostanza organica riduce la probabilità che si manifestino carenze, quindi per correggere queste situazioni il primo accorgimento da attuare è quello di favorire l'applicazione delle pratiche agronomiche che favoriscono l'arricchimento del terreno in sostanza organica; spesso l'applicazione di queste tecniche, come ad esempio l'inerbimento di un frutteto o vigneto prima lavorato, la distribuzione di ammendanti organici, l'adozione di lavorazioni del terreno più conservative, consente di ottenere risultati migliori e più stabili rispetto a qualsiasi forma di concimazione.

Qualora la carenza sia latente, cioè visibile dai risultati dell'analisi del terreno ma non ancora manifestatasi con sintomi sugli organi della pianta, è preferibile intervenire con l'apporto di microelementi al suolo; l'uso di sali inorganici spesso non dà alcun risultato significativo perché, permanendo quei fattori che sono causa di insolubilizzazione ed indisponibilità dell'elemento, la frazione apportata viene a sua volta resa indisponibile per le piante.

Anche l'apporto al suolo di microelementi chelati può non sortire effetti sull'arricchimento delle forme assimilabili poiché gli acidi organici che fungono da agenti chelanti sono velocemente degradati ad opera dei microrganismi tellurici e perdono il loro effetto protettivo nei confronti della solubilità degli elementi.

Più efficace può risultare l'uso di letame, qualora ve ne sia la disponibilità, al quale, in fase di formazione del cumulo in concimaia, sia stato aggiunto il microelemento in quantità opportuna; questa pratica favorisce la formazione di composti organici chelanti più stabili nei confronti della degradazione microbica.

Anche l'aggiunta di microelementi al liquame distribuito al suolo ha avuto in taluni casi effetti positivi in presenza di carenze.

Nel caso di carenze con sintomi visibili sugli organi della pianta è più efficace e ad azione più pronta la distribuzione di fertilizzanti fogliari; ci sono però dei principi generali da tenere in considerazione nella programmazione di un intervento fogliare:

- il trattamento ha maggior efficacia se eseguito per tempo, in modo cioè preventivo, qualora si preveda il manifestarsi della carenza in una certa fase del ciclo colturale; è il caso ad esempio dei trattamenti con boro eseguiti in prefioritura su vitigni soggetti a scarsa allegazione;

- un unico trattamento raramente risolve il problema, la pianta necessita di essere sostenuta per un periodo critico del suo ciclo di sviluppo;
  - è necessario utilizzare prodotti contenenti solo l'elemento che si deve apportare con titolo elevato oppure chelato, evitando di aggiungere altri elementi che interferiscono nell'assorbimento fogliare;
  - non si deve eccedere con le dosi da distribuire per non provocare fenomeni di tossicità in genere più deleteri delle carenze in atto.
- È da puntualizzare che i trattamenti fogliari risolvono, ma non sempre, i problemi in modo temporaneo; la soluzione definitiva va ricercata in una correzione del suolo nel modo visto in precedenza e nell'applicazione di pratiche di gestione del suolo che stabilmente possono aumentare la dotazione in sostanza organica del suolo o migliorare situazioni di ristagno idrico ed asfissia radicale che riducono l'efficienza dell'assorbimento radicale.

### 10.3 Metodi di analisi

I microelementi assimilabili con caratteristiche di cationi (ferro, manganese, zinco e rame) vengono estratti con soluzioni di acidi organici chelanti capaci di catturare gli ioni disponibili e portarli in soluzione; successivamente la determinazione degli elementi estratti viene eseguita per via spettrofotometrica.

Le soluzioni estraenti generalmente sono l'EDTA, che ha un pH fortemente acido (4,5), ed il DTPA che ha un pH debolmente alcalino (7,3); a causa della sua acidità l'EDTA è in grado di solubilizzare quantità maggiori di microelementi altrimenti presenti nel terreno in forme insolubili. Per questo viene consigliato l'uso di EDTA nei terreni acidi e di DTPA in terreni neutri ed alcalini; i risultati ottenuti col primo estraente per ferro e manganese sono mediamente da 8 a 10 volte superiori rispetto a quelli ottenuti con il secondo e quindi i livelli critici sono sempre proporzionalmente molto più elevati.

L'analisi del boro invece viene effettuata mediante estrazione in soluzione acquosa di cloruro di magnesio bollente e determinazione del boro estratto per via colorimetrica.

Giudizio	Ferro mg/Kg	Manganese mg/Kg	Boro mg/Kg
carente	<2,5	<2	<0,1
normale	2,5-20	2-10	0,1-1,5
ricco	>20	>10	>1,5

**Tabella 10.1** – Interpretazione dei risultati analitici per il ferro assimilabile, manganese assimilabile (estratti con DTPA) e boro assimilabile (espressi in mg/kg di elemento).

## 10.4 L'interpretazione dei risultati analitici

Per i risultati dei microelementi assimilabili si tratta innanzitutto di individuare dei limiti critici che separino situazioni di carenza dalla normalità; per il boro in particolare viene definito anche un limite critico di tossicità oltre il quale vi è il rischio di effetti negativi dovuti all'eccesso dell'elemento, mentre per gli altri i livelli di tossicità sono in genere molto elevati, dell'ordine dei 300-1000 mg/kg. Nella tabella 10.1 sono riportate le interpretazioni dei risultati analitici per il ferro, il manganese e il boro assimilabili, espressi in mg/kg.

Da alcuni confronti interlaboratorio tra laboratori italiani è emerso che i risultati soggetti a maggior variabilità per il terreno sono proprio quelli relativi ai microelementi assimilabili (coefficiente di variabilità compreso tra il 25 ed il 35% per ferro e manganese e tra il 70 e l'80% per il boro).

Nonostante vi siano interazioni provate fra questi microelementi ed altre caratteristiche del suolo (calcare attivo, sostanza organica, fosforo, ecc.) i loro effetti sulla disponibilità di ferro, manganese e boro non sono quantificabili e quindi non vengono considerati nella fase di interpretazione. Data l'esistenza di molteplici possibilità di intervento con fertilizzanti solidi e liquidi, Agrelan non fornisce consigli diretti rimandando, per eventuali consigli agronomici, alla consultazione di tecnici esperti.

# 11. I metalli pesanti nel suolo e nelle piante

## 11.1 Definizioni

Sono di norma definiti metalli pesanti gli elementi che presentano una densità superiore a  $5 \text{ g/cm}^3$  e che si comportano per lo più come cationi. Di questi solamente una dozzina sono di interesse biologico. Pur potendo provenire da fonti molto diverse, hanno alcuni caratteri comuni:

- non decadono con il tempo, diversamente dai composti organici o dai radionuclidi;
- sono spesso tossici, al di sopra di determinate soglie, per organismi animali e/o vegetali;
- sono sempre presenti, a concentrazioni variabili, anche nei suoli incontaminati, cioè esiste sempre un valore di fondo non antropico, definito come livello di fondo naturale.

Alcuni di questi elementi rivestono un ruolo particolare nelle catene alimentari in quanto risultano essere tossici per gli organismi viventi, soprattutto piante ed animali, a concentrazioni relativamente basse rispetto agli altri elementi presenti in natura.

Nei moderni processi tecnologici questi metalli si concentrano nei sottoprodotti di alcuni settori industriali o, anche se in misura minore, nei rifiuti solidi urbani e nei reflui civili; lo smaltimento di questi materiali, per i rischi di tossicità di cui si è detto, è regolamentato dallo Stato o dalla Regione mediante apposite normative.

I metalli pesanti che generalmente vengono considerati più pericolosi per la fertilità del suolo sono: arsenico, cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, rame e zinco.

Il rischio dato dalla presenza di metalli pesanti nel suolo è legato all'accumulo di quantità tali da avere effetti fitotossici sulle colture o da indurre modificazioni qualitative nelle piante dannose per l'uomo e gli altri utilizzatori primari e secondari.

La presenza eccessiva di metalli pesanti nel suolo è in grado di influire negativamente sulle attività microbiologiche, sulla quali-

tà delle acque di percolazione, sulla composizione delle soluzioni circolanti, nonché di alterare lo stato nutritivo delle piante, modificandolo sino ad impedire la crescita ed influire sugli utilizzatori primari o secondari.

## 11.2 I metalli e le piante

La tossicità dei metalli nei confronti dei vegetali si manifesta generalmente in forma di clorosi fogliari, talvolta simili a quelle dovute a carenza di ferro, e di crescita stentata dell'apparato radicale ed aereo.

La riduzione della crescita è particolarmente evidente nel corso dei primi stadi vegetativi; essa è dovuta ad un'azione diretta del metallo a livello di specifiche funzioni metaboliche, ma anche a fenomeni di antagonismo nell'assorbimento di taluni micro e macronutrienti.

La sensibilità delle diverse specie è variabile e persino nell'ambito della stessa specie ci sono diversità di comportamento fra le singole varietà (tabella 11.1).

Le indagini sulla fitotossicità di questi elementi sono state condotte prevalentemente in laboratorio; esse hanno messo in evidenza che, all'aumentare del contenuto in metalli della soluzione nutritiva, l'effetto tossico dovuto all'elevata concentrazione di metalli porta ad una progressiva riduzione delle produzioni fino al loro annullamento.

D'altra parte l'assorbimento da parte delle piante non avviene allo stesso modo per tutti i metalli, cioè all'aumentare della loro concentrazione nella soluzione nutritiva la frazione assorbita dalla pianta aumenta in modo diverso a seconda dell'elemento considerato.

Anche la risposta della pianta all'aumentare del contenuto in

Elemento	Sintomi	Culture sensibili
Arsenico	Macchie necrotiche fogliari, ingiallimento o arrossamento delle radici, germogliamento depresso	---
Cadmio	Iscurimento dei margini fogliari, arrossamento di nervature e pezioli, accartocciamento fogliare, atrofizzazione radicale	Leguminose, spinacio, carota, avena
Cromo	Clorosi delle foglie nuove, crescita radicale compromessa	---
Mercurio	Grave atrofia dei germogli e delle radici, clorosi fogliare	Bietole, mais, rose
Nichel	Clorosi internervale in foglie nuove, foglie verde-grigio, radici atrofiche	Cereali
Piombo	Foglie verdi scure, caduta foglie vecchie, radici corte e brune	---
Rame	Foglie verdi scure, poi clorosi ferrica, radici sottili, corte e affastellate, germogliamento depresso	Cereali, legumi, spinacio, gladiolo
Zinco	Apici fogliari clorotici e necrotici, clorosi internervale in foglie giovani, crescita ritardata, radici affastellate	Cereali, spinaci

**Tabella 11.1** – Effetti generici della tossicità data dai metalli pesanti su colture comuni (da Kabata-Pendias, 1985).

metalli pesanti dei tessuti varia a seconda dell'elemento; tale reazione negativa può comparire a livelli diversi di concentrazione del metallo e può consistere in riduzioni più o meno forti della crescita e della produzione della pianta.

Lo stress provocato dall'eccesso di metalli pesanti varia fra le diverse specie di vegetali per la presenza di meccanismi diversi nell'assorbimento, assimilazione ed eventuale eliminazione di questi elementi; la risposta delle piante può essere di totale tolleranza, e quindi assenza di effetti sulla crescita, di parziale tolleranza, cioè di iniziale flessione della crescita e successivo adattamento, o di intolleranza, cioè incapacità di accrescersi in presenza di metalli pesanti.

Mercurio e cadmio sono tossici alle più basse concentrazioni seguiti da selenio, cobalto, arsenico; cromo, rame, nichel e piombo presentano valori di fitotossicità dello stesso ordine di grandezza mentre lo zinco è tossico solo a valori più alti. A questo proposito si deve ricordare che rame e zinco sono considerati elementi essenziali per la crescita delle piante a valori attorno a 10-20 ppm nel suolo.

I metalli che sembrano essere più pericolosi per la produzione sono il cadmio, il rame, lo zinco, il nichel, il piombo e talvolta il selenio.

L'apporto in metalli può tradursi in modificazioni sulla composizione chimica dei vegetali; le implicazioni principali di tali alterazioni nello stato qualitativo sono quelle relative ai consumatori primari e secondari. I metalli più rischiosi per il bioaccumulo animale o umano sono piombo, cadmio, cromo, rame, zinco, nichel e mercurio. Fra questi comunque vi sono diversi comportamenti; per alcuni il livello di fitotossicità è basso rispetto al livello di tossicità per gli animali e non consente un accumulo del metallo nella pianta perchè questa subisce dei danni e non è più produttiva a bassi livelli di metalli nei tessuti vegetali.

### 11.3 I metalli nel suolo

I metalli nel suolo possono essere presenti in forme diverse:

- come ioni disciolti nella soluzione circolante;
- come sali insolubili;
- come ioni adsorbiti sui colloidi (argille o sostanze organiche);
- come componenti dei microrganismi;
- come componenti dei tessuti vegetali.

Tra queste forme si realizza un equilibrio il cui livello dipende



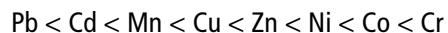
ICP ottico utilizzato per la determinazione dei metalli

dalle concentrazioni dei metalli e dalle caratteristiche del suolo stesso. Le forme più pericolose sono quelle solubili e quelle adsorbite, facilmente scambiabili.

Ogni metallo ha un'affinità diversa per i vari costituenti del suolo e quindi si trova distribuito nelle diverse forme in determinati rapporti a seconda delle proprie caratteristiche chimiche.

In generale la quota di metalli presente nel suolo in forma cationica è pH dipendente; i terreni acidi sono quelli in cui si instaurano le condizioni più favorevoli alla presenza dei metalli nelle forme più solubili e disponibili per le piante.

Anche la quantità ed il tipo di argilla influenzano la capacità del suolo a legare e trattenere i metalli pesanti; per le caratteristiche chimiche dei diversi elementi si può individuare il seguente ordine di crescente affinità con l'argilla:



La capacità della sostanza organica di legare i metalli aumenta soprattutto con la quantità di gruppi funzionali contenenti ossigeno (carbossili, carbonili, ossidrili) e quindi dipende dalla pre-



Analizzatore elementare per la determinazione del mercurio

senza relativa di acidi fulvici rispetto agli acidi umici.

Riassumendo quanto detto, le caratteristiche del terreno che in maggior misura condizionano il comportamento dei metalli e che quindi devono essere oggetto di controllo, se si vuole conoscere il destino di questi composti nel suolo, sono le seguenti:

- pH;
- tessitura;
- capacità di scambio cationico;
- quantità e tipo di argille;
- quantità e tipo di sostanza organica umificata.

Il suolo è una componente ambientale molto critica, risultando di fatto il destinatario finale di diversi tipi di immissioni inquinanti e rappresentando a sua volta il punto nodale da cui possono irradiarsi diversi flussi di contaminanti.

D'altra parte sono molte e differenziate le attività umane che possono implicare immissioni di materiale nei suoli e di conseguenza sono numerosissimi gli elementi o composti chimici potenzialmente pericolosi in essi rinvenibili, tra cui i metalli pesanti.

Talvolta si riscontra nei suoli una elevata concentrazione di metalli come caratteristica costituzionale, cioè legata a fenomeni

Elemento	H <sub>2</sub> O	KNO <sub>3</sub>	DTPA	% DTPA/Totale
Cadmio	<0,01	<0,01	0,9	4,7
Cromo	<0,01	3,9	1,0	0,9
Nichel	<0,01	1,0	3,4	1,4
Piombo	<0,01	12,0	12,2	4,1
Rame	5,4	6,0	19,1	3,7
Zinco	1,0	4,5	33,1	1,6

**Tabella 11.2** – Estraiibilità in sequenza (mg/kg) di alcuni metalli pesanti da un suolo trattato con reflui civili (da Petruzzelli, 1989).

d'alterazione della roccia madre che presenta minerali femici, cioè silicati ricchi in ferro e magnesio e metalli pesanti (ad es.: peridotiti, basalti, gabbri, ecc.); in questo caso i metalli pesanti si concentrano negli orizzonti più profondi del profilo per poi decrescere progressivamente verso la superficie.

Quando invece la concentrazione dei metalli pesanti nell'orizzonte superficiale è maggiore ciò è generalmente dovuto ad un più o meno intenso accumulo per effetto dell'apporto da sorgenti diffuse (deposizioni atmosferiche o distribuzione di fertilizzanti e pesticidi).

In quest'ultimo caso le eventuali differenze di concentrazione tra orizzonti superficiali e profondi sono maggiori per alcuni metalli, come rame e zinco che sono più frequentemente presenti nei prodotti utilizzati per la difesa antiparassitaria, soprattutto della vite, e per la nutrizione animale, da cui sono poi trasferiti nelle deiezioni zootecniche distribuite al suolo; anche per il piombo tale differenza può essere elevata, in questo caso principalmente a causa delle deposizioni atmosferiche.

Si può quindi distinguere per ogni suolo tra un contenuto naturale, cioè dovuto ai minerali costitutivi della fase solida, e usuale, cioè dovuto alla somma del contenuto naturale e di altri apporti dall'esterno dovuti a deposizioni atmosferiche o pratiche agricole.

Secondo quanto indicato dalla norma ISO 19258/2005 con il termine "contenuto di fondo pedogeochimico o naturale" si intende la concentrazione di una sostanza che deriva solamente da sorgenti naturali e da processi di mineralizzazione o alterazione della roccia

madre; con il termine "contenuto di background o fondo usuale" si intende invece la concentrazione di una sostanza caratteristica di un tipo di suolo in un'area o regione dovuta alla somma degli apporti derivanti da sorgenti naturali e diffuse non naturali quali la deposizione atmosferica o le pratiche agronomiche.

## 11.4 Metodi di analisi

La presenza di metalli pesanti nei vegetali è correlata strettamente proprio al valore di argilla, pH, sostanza organica e CSC del suolo, per quanto finora visto.

Data la presenza di questo forte condizionamento l'analisi dell'elemento totale presente nel suolo è di secondaria importanza perchè non tiene conto dell'influenza esercitata dalle caratteristiche prima elencate; riveste invece un ruolo primario l'analisi dell'elemento assimilabile.

Questa può essere eseguita con test di laboratorio consistenti nell'estrazione con sostanze che simulano l'azione della soluzione circolante sulle riserve di metalli presenti nel suolo; i tipi di estraenti che possono essere utilizzati sono di diverso tipo:

1. acqua: estrae bassissime quantità del metallo difficili da rilevare con una normale strumentazione;
2. sali di ammonio o di metalli alcalini: estraggono i metalli legati alle cariche negative del suolo (forma scambiabile);
3. agenti chelanti: acidi organici (EDTA, DTPA) che estraggono i metalli più strettamente legati alla sostanza organica.

Ad oggi non è ancora stata definita una tecnica di estrazione di riferimento per la determinazione della frazione biodisponibile, anche se l'estrazione con DTPA è stata definita sia da un metodo nazionale che da una norma ISO. La frazione estratta con acqua rappresenta quella più mobile ed immediatamente biodisponibile, quindi la più pericolosa nel sistema suolo, la frazione estratta con il sale è quella legata alle superfici del suolo con legami ionici, mentre quella estratta con DTPA è assorbita o complessata dalla sostanza organica. Tutte queste frazioni sono da considerare biodisponibili, cioè assorbibili da parte delle piante o dei microrganismi.

Metallo	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
Industrie	45	15	35	45	5	5	35
Ruscigliamento	15	65	50	40	80	30	35
Fonte domestica	40	20	15	15	15	65	30
Carico annuale (kg/anno)	685	140	290	220	350	2300	2

**Tabella 11.3** – Fonte dei metalli pesanti (in %) presenti alla depurazione dei reflui di una città mediamente industrializzata di 30.000 abitanti (da Genevini e Garbarino, 1986)

Queste tre frazioni rappresentano insieme in media dall'1 al 5 % dell'elemento non totale presente nel terreno (tabella 11.2), da cui la conferma che l'analisi dell'elemento totale è molto adeguata per valutare il rischio di fitotossicità o di inquinamento. L'analisi per la determinazione dei metalli pesanti totali viene eseguita mineralizzando il suolo con una soluzione di acqua regia e quindi determinando i singoli metalli in spettrometria.

## 11.5 I metalli pesanti nella legislazione

La regolamentazione dell'apporto al terreno delle sostanze più ricche di metalli pesanti, come i fanghi di depurazione di reflui civili ed industriali ed i compost di rifiuti solidi urbani, ha lo scopo di evitare fenomeni di inquinamento del suolo e conseguente riduzione delle produzioni.

Il contenuto in metalli pesanti di fanghi e compost, comunque, dipende molto dall'incidenza percentuale dei vari materiali che compongono i reflui ed i rifiuti trattati.

Anche i reflui zootecnici, soprattutto suini, possono contenere elevate quantità di rame e zinco ma ancora non esistono regolamentazioni in questo senso per lo spandimento dei liquami.

Nella tabella 11.3 viene indicato a titolo di esempio l'apporto percentuale, sul totale annuo, dei diversi processi che generano accumuli e/o perdite di metalli in una situazione di depurazione di una città mediamente industrializzata di 30.000 abitanti.

In tabella 11.4 si riportano i limiti che la legge impone per lo spandimento di fanghi e compost al terreno, in particolare per le concentrazioni dei metalli nel terreno, e per la bonifica di siti contaminati ad uso residenziale o industriale-commerciale.

Varie indagini condotte da ARPAV sul contenuto naturale di metalli pesanti dei suoli nel Veneto hanno messo in evidenza che

Metallo	u.m.	D.C.I. 27.07.84	Dir. 86/278/CEE	D.Lgs 99/92	D. Lgs. 152/06	
					Col. A	Col. B
Arsenico	mg/kg s.s.	10	---	---	20	50
Cadmio	mg/kg s.s.	3	1-3	1,5	2	15
Cromo	mg/kg s.s.	50	---	---	150	800
Mercurio	mg/kg s.s.	2	1-1,5	1	1	5
Nichel	mg/kg s.s.	50	30-75	75	120	500
Piombo	mg/kg s.s.	100	50-300	100	100	1000
Rame	mg/kg s.s.	100	50-140	100	120	600
Zinco	mg/kg s.s.	300	150-300	300	150	1500

**Tabella 11.4** – Limiti massimi imposti dalla legge alla concentrazione dei metalli pesanti nel terreno (DCI 27.07.84 per i limiti relativi all'utilizzo in agricoltura di compost da RSU; Dir. 86/278/CEE e D. Lgs. 99/92 per i limiti relativi all'utilizzo in agricoltura di fanghi di depurazione; D. Lgs. 152/06, Allegato 5 alla parte IV, per i limiti relativi alla bonifica dei siti contaminati per uso residenziale – col. A – e industriale-commerciale – col. B)

molti terreni presentano un contenuto di arsenico superiore alle 10 ppm, di rame superiore a 100 ppm, di cromo superiore a 50 ppm e di nichel superiore a 75 ppm; sono casi in cui la dotazione naturale del terreno è già maggiore del limite posto dalla legislazione per l'utilizzazione in agricoltura di materiali di recupero come compost o fanghi di depurazione.

Va specificato che negli studi condotti da ARPAV è stata misurata la concentrazione dei metalli a due profondità: per un orizzonte posto a profondità di 70-100 cm, che non può essere interessato dall'apporto di metalli dall'esterno in condizioni di  $\text{pH} > 7$ , e quindi rappresentativo del contenuto naturale, e per un orizzonte superficiale (0-40 cm) che invece è condizionato dall'apporto antropico e quindi è rappresentativo del contenuto naturale addizionato della contaminazione dovuta alle attività umane (fertilizzazione, difesa antiparassitaria, ricadute atmosferiche, ecc.).

Pur essendo il problema dei metalli pesanti di difficile soluzione, data l'irreversibilità dell'inquinamento ad essi dovuto, risulta ingiustificato un atteggiamento eccessivamente restrittivo, come quello che considera solamente la quantità totale del metallo e non anche quella assimilabile, che penalizza il riuso in agricoltura di materiali preziosi per il loro elevato contenuto in sostanza organica.



# 12. L'attività biologica

## 12.1 Ruolo dei microrganismi del terreno

Secondo le stime di alcuni studiosi del suolo la sostanza organica presente nei terreni di tutto il mondo ammonterebbe a 300 miliardi di tonnellate, cioè più della metà del totale delle sostanze organiche esistenti sulla terra. Ciò significa che ci sono più composti organici sotto la superficie del terreno che sopra per la necessità, per la natura e la vita in genere, di chiudere i cicli biogenetici con delle fasi degradative, di mineralizzazione e conseguente riutilizzazione dei prodotti semplici originatisi dalla distruzione delle molecole complesse che costituiscono la materia vivente, che avvengono quasi esclusivamente nell'ecosistema suolo.

La componente biologica, che comprende le radici e la parte vivente del suolo (vertebrati ed invertebrati) ha un ruolo fondamentale nella mineralizzazione degli elementi nutritivi a partire dalla sostanza organica e nel mantenimento della struttura e delle funzioni del suolo. La comunità microbica, in particolare, compie la maggior parte dei processi di decomposizione e detossificazione che avvengono nel suolo, ma viene stimolata anche dall'opera di scavo e di sminuzzamento del terreno operato dagli invertebrati. La stessa biomassa microbica rappresenta una considerevole riserva di elementi nutritivi che si rendono disponibili per i vegetali. Di conseguenza, i suoli che hanno una biomassa microbica elevata, non solo hanno una maggiore riserva di elementi nutritivi, ma anche una capacità più elevata di renderli disponibili.

Gli organismi del suolo sono essenziali anche per il mantenimento della sua struttura, migliorandone l'aerazione e lo stato di aggregazione delle particelle. I funghi filamentosi e gli attinomiceti, in particolare, favoriscono la formazione di aggregati intrappo-

lando le particelle di suolo. Anche alcuni metaboliti extracellulari, come i polisaccaridi, i lipidi e le proteine, hanno una funzione cementante che stabilizza gli aggregati.

## 12.2 L'importanza delle analisi biologiche del terreno

Il primo passo verso l'approfondimento della conoscenza dei microrganismi del suolo è consistito nella definizione di alcuni indici in grado di misurare la "vitalità" di un terreno, cioè la presenza e l'attività di organismi al suo interno. Questo si è reso necessario per stimare la capacità della popolazione microbica del suolo a sostenere le trasformazioni biochimiche che avvengono nel terreno stesso, fornendo in questo modo nutrienti in forma disponibile agli apparati radicali delle piante.

I parametri biologici devono rispondere rapidamente ad agenti perturbativi esterni, ma i risultati non devono essere influenzati da variazioni annuali naturali, come il clima ed i cicli di crescita delle colture. Infatti queste variazioni potrebbero interferire con gli effetti che si intende studiare, come ad esempio quelli a lungo termine delle pratiche colturali in atto. Questo implica anche che è preferibile eseguire i test sui parametri biologici in condizioni ottimali e standardizzate di temperatura ed umidità del suolo, piuttosto che in condizioni reali di campo.

Un altro problema potrebbe essere la mancanza di valori di riferimento validi universalmente. Infatti tali valori variano in funzione del tipo di suolo e di clima, ma anche dell'epoca di campionamento. Alcuni autori suggeriscono di usare come riferimento uno specifico sito rappresentativo di un'area con determinate condizioni di suolo e di clima. Il riferimento potrebbe anche essere temporale cioè il valore del parametro al campionamento iniziale.

Brookes (1995) suggerisce di non utilizzare mai nessun parametro da solo, ma di individuarne alcuni collegati tra loro che possano servire come controllo interno, come ad esempio il carbonio della biomassa e il carbonio organico totale del suolo (TOC). A parità di caratteristiche del suolo, una variazione in senso negativo del rapporto C biomassa/TOC indica un danno o un cambiamento nel funzionamento dell'ecosistema suolo.

### 12.3 Principali analisi di caratterizzazione dell'attività biologica del suolo

In questo paragrafo vengono passate in rassegna le principali analisi che possono essere utilizzate per caratterizzare l'attività biologica del suolo.

#### **Azoto potenzialmente mineralizzabile**

Stima la conversione dell'azoto organico nelle forme minerali disponibili quali  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  che si verifica attraverso una serie di trasformazioni biochimiche mediate dai microrganismi del suolo ed è pertanto influenzata da tutti i fattori (umidità, temperatura, pH, ecc.) che normalmente agiscono sull'attività microbica del suolo.

Il parametro cerca di prevedere o stimare la quantità di azoto proveniente dai processi biologici di mineralizzazione dell'azoto organico del suolo, valutandone la capacità a fornire azoto per la crescita delle piante e per il ciclo dei nutrienti come un indice di fertilità dei suoli.

La misura dell'azoto potenzialmente mineralizzabile, nonostante tutte le difficoltà analitiche ed interpretative, resta una determinazione indispensabile ai fini di una corretta valutazione del turnover della sostanza organica, sia endogena che apportata, ed un mezzo diagnostico per accertare eventuali perturbazioni del ciclo dell'azoto.

I metodi di analisi di cui attualmente si dispone sono di tipo chimico e biochimico: i primi, più rapidi e meno influenzati dalle procedure di conservazione del campione, sono basati sull'estrazione delle diverse forme minerali dell'azoto con opportuni estraenti o sulla determinazione dell'ammonio rilasciato per ossidazione

della sostanza organica del terreno, ma risultano spesso poco precisi ed i risultati sono di difficile interpretazione. I metodi biochimici richiedono tempi di incubazione molto lunghi e su di essi incidono il periodo e le modalità di campionamento.

#### **C e N della biomassa microbica**

Questi parametri indicano la quantità di carbonio e azoto presenti nei microrganismi del suolo. La loro determinazione ha un elevato potenziale come indicatore della qualità del suolo in quanto il carbonio e l'azoto della biomassa microbica si rinnovano rapidamente e riflettono i cambiamenti indotti dalle pratiche gestionali del suolo molto prima che sia possibile identificare i cambiamenti in carbonio e in azoto totali. Poiché il rapporto C/N della biomassa fungina risulta essere tra 4 e 15, contro un valore di 3-5 per i batteri, tale parametro può in taluni casi essere considerato quale efficace bioindicatore ambientale.

In anni recenti sono stati messi a punto metodi analitici che consentono di stimare l'incremento di carbonio organico e di azoto solubile della biomassa microbica, dovuto alla morte dei microrganismi dopo la sterilizzazione con cloroformio. Il metodo più utilizzato per la determinazione del C della biomassa microbica è quello noto come CFE (Chloroform Fumigation Extraction - Vance et al., 1987; Jenkinson e Ladd, 1981), valido anche per la determinazione dell'azoto della biomassa microbica. I valori sono espressi in mg di carbonio (C) o di azoto (N) per kg di suolo, riferito a peso secco a 105 °C (Anderson e Domsh, 1978). Prima della fumigazione il terreno viene condizionato per 10 giorni a 30 °C, al 100 % della capacità di campo.

Un altro metodo disponibile per la determinazione del carbonio della biomassa microbica è il SIR (Substrate Induced Respiration), proposto da Anderson e Domsch (1978). Il metodo consente di determinare la quantità di  $\text{CO}_2$  emessa dal suolo dopo l'aggiunta di una quantità ottimale di glucosio. L'aumento iniziale del SIR è proporzionale alla biomassa microbica totale. Conseguentemente, tale aliquota di  $\text{CO}_2$  viene trasformata in carbonio della biomassa mediante successiva calibrazione con il carbonio della biomassa determinato con il metodo CFI (Chloroform Fumigation Incubation) proposto da Jenkinson e Powlson (1976).



L'apporto di sostanze organiche contribuisce al miglioramento dell'attività biologica del suolo

### **Rapporto C biomassa/C organico totale**

Il rapporto viene utilizzato in quanto controllo interno della comunità microbica del terreno, utile quindi a definirne lo stato di equilibrio nei confronti della sostanza organica in esso presente (Anderson e Domsch, 1989; Brookes, 1995). Tale rapporto dovrebbe rimanere costante in un ecosistema stabile. Qualsiasi deviazione da questo valore costante sta ad indicare un aumento od una diminuzione della quantità di biomassa microbica rispetto alla sostanza organica totale del terreno. I valori ritenuti normali dovrebbero oscillare tra 1 e 4 (Jenkinson e Ladd, 1981). Pertanto un terreno in cui il rapporto è minore di 1 si trova sicuramente in una fase di stress o di forte inquinamento, risultando in esso estremamente ridotta la biomassa microbica attiva. Va tuttavia sottolineato che, dal confronto tra siti inquinati o perturbati rispetto a situazioni di controllo, il rapporto può assumere valori più elevati nei siti disturbati. Ciò può essere spiegato con il fatto che, in situazioni di stress, la biomassa microbica del suolo diviene particolarmente attiva e la sostanza organica viene degradata più rapidamente (Brookes, 1995). Tutto ciò, a lungo termine, può comportare un depauperamento delle riserve organiche non sostenibile.

### **Respirazione**

La respirazione del terreno stima l'attività metabolica della popolazione microbica del suolo, la quale è legata alla quantità di  $\text{CO}_2$  prodotta per ossidazione della sostanza organica (respirazione del terreno). La respirazione del suolo è un indicatore capace di valutare le differenze o i cambiamenti nella popolazione microbica di un terreno, dipendendo essa dallo stato fisiologico delle cellule microbiche ed essendo influenzata dall'umidità, dalla temperatura e dalla struttura del suolo. E' inoltre, altamente intercorrelata alla stabilità della sostanza organica e fortemente influenzata dai trattamenti e dalle tecniche colturali. Frequentemente è usata per la valutazione degli effetti dell'apporto di prodotti chimici come pesticidi e metalli pesanti al suolo.

Si determina utilizzando il metodo descritto da Isermeyer (1952) su campioni di terreno secco all'aria preincubati a  $30^\circ\text{C}$  ed al 100 % della capacità di campo. I dati si esprimono in  $\text{mg C-CO}_2$  per g di peso secco e sono relativi a quattro settimane di incubazione. Le misure si effettuano in corrispondenza ai giorni 1, 2, 4, 7, 10, 14, 17, 21 e 28.

La respirazione basale si ricava dal valore di  $\text{C-CO}_2$  sviluppato in corrispondenza del 28° giorno di misura, o quale media delle ultime determinazioni laddove la quantità di  $\text{C-CO}_2$  sviluppata si attesti su un valore pressoché costante.

Dalla velocità di respirazione, che esprime la quantità di  $\text{CO}_2$  emessa in un tempo  $t$ , si ricavano le curve di respirazione che consentono di mettere in relazione la respirazione microbica alla decomposizione della sostanza organica.

### **Rapporto respirazione/biomassa**

Stima la quantità di  $\text{CO}_2$  prodotta nella respirazione basale della popolazione microbica per unità di biomassa microbica. Il rapporto, noto anche come quoziente metabolico  $q\text{CO}_2$ , permette di relazionare l'attività e la dimensione della biomassa microbica, per valutare gli effetti di possibili cambiamenti ambientali sulla popolazione microbica. L'unità di misura è  $\text{mg C-CO}_2$  basale/ $\text{mg C}$  biomassa per kg di suolo per ora (Anderson e Domsch, 1990; 1993). Un valore basso del  $q\text{CO}_2$  indica che l'utilizzazione di energia avviene in modo efficiente, lasciando supporre una maggiore stabi-

Coltura	pH	Sostanza organica	Biomassa
Grano in monosuccessione (letamato)	7,6	4,83	393
Grano in monosuccessione (non letamato)	8,0	1,60	157
Foresta	7,5	7,40	786
Terreno a riposo	6,4	4,70	262
Prato	6,3	17,04	3220
Foresta	3,9	5,07	288
Foresta	7,7	5,50	554
Foresta	5,4	5,85	700
Prato (parco)	5,1	5,33	655

**Tabella 12.1** – Valori della biomassa microbica (in mg C/g terreno) in terreni diversi per pH, sostanza organica (in %) e coltivazione (da Vance et al., 1987).

lità dell'ecosistema (Insam e Haselwandter, 1989). Normalmente lo stress causato da un abbassamento di pH o da una carenza nutritiva darebbe luogo ad un  $qCO_2$  elevato, cui corrisponde un basso valore di biomassa microbica, rispetto ad una situazione non stressata. Analogamente, il  $qCO_2$  aumenta a seguito di perturbazioni improvvise sull'ecosistema, come le lavorazioni o lo spargimento di letame, ma in questo caso si riscontra anche un aumento della biomassa microbica (Wardle e Ghani, 1995).

### Carica microbica

Questo parametro è una misura quantitativa della biodiversità microbica. Si considera il numero di microrganismi, appartenenti ad un gruppo fisio-tassonomico generale (batteri filamentosi e non, lieviti, microfunghi, protozoi) oppure ad uno specifico gruppo fisiologico o funzionale (es. batteri aerobi ed anaerobi), presenti in una quantità unitaria di suolo (normalmente in un grammo di peso secco).

I metodi per la determinazione della carica microbica sono es-

senzialmente di due tipi:

- diretti (per via microscopica): in un volume esattamente misurato di una sospensione in liquido del suolo possono venir contate direttamente, previo opportuno ingrandimento, le cellule microbiche presenti. Rapportando il numero riscontrato al volume osservato ed alla diluizione effettuata si ottiene la carica (Bloem et al., 1995);
- indiretti (su substrati colturali): la presenza di cellule microbiche vitali viene evidenziata dalla crescita in opportuno terreno colturale (soluzione acquosa dei nutrienti necessari, eventualmente gelificata mediante aggiunta di agar).

Le conte dirette possono, almeno in linea teorica, permettere di contare realmente tutti i microrganismi, indipendentemente dal tipo e dalla possibilità di poterli coltivare; esistono infatti numerosi microrganismi vitali ma non coltivabili. Con tale tecnica gruppi particolari possono essere distinti generalmente solo su base morfologica, e non fisiologico/funzionale, a meno di ricorrere a tecniche complesse.

Le conte colturali viceversa non possono permettere di raggruppare al di là di un certo limite i microrganismi. Infatti, date le loro diverse esigenze nutritive, non esiste un solo terreno ed una condizione colturale adatta indistintamente a tutti i tipi di microrganismi. Si dovranno quindi conteggiare distintamente, ad esempio, batteri aerobi, batteri anaerobi, eumiceti (funghi filamentosi o muffe, nonché lieviti), ecc. Esiste tuttavia la possibilità di differenziare i vari gruppi fisiologici.

L'inconveniente delle conte dirette applicate ad un sistema complesso quale il suolo risiede nella difficoltà di distinguere visivamente le cellule microbiche nella loro varietà di forme da altre particelle, nonché le cellule vive da quelle morte (che non contribuiscono all'attività biologica).

### Attività enzimatica

Per attività enzimatica si intende la capacità di un terreno, dovuta alla presenza di determinati enzimi, di "stimolare" alcune reazioni biochimiche che avvengono spontaneamente nel suolo. La presenza di enzimi nel suolo è stata scoperta osservando che la velocità di alcune reazioni che avvengono nel terreno, come la

Rotazione	Biomassa
Prato stabile	659,4±90
Rotazione Sessennale (medica, grano, bietola e mais)	217,3±15
Monosuccessione di grano	162,9±2

**Tabella 12.2** – Valori della biomassa (in mg C/g terreno, media di 3 ripetizioni) di terreni della pianura veneta sottoposti per 20 anni alle stesse rotazioni.

degradazione di acqua ossigenata o di urea, era più elevata di quella prevista se i catalizzatori fossero stati solo inorganici.

Questi enzimi si possono distinguere in extracellulari ed intracellulari; i primi hanno lo scopo di rendere assorbibili da parte degli organismi del terreno composti altrimenti inutilizzabili e quindi sono localizzati all'esterno della cellula, mentre i secondi si trovano all'interno delle cellule microbiche e presiedono al normale metabolismo.

Mentre gli enzimi intracellulari sono protetti dall'azione delle proteasi e dall'inibizione da metalli pesanti dalla presenza della membrana cellulare, quelli extracellulari sono protetti mediante il legame con le sostanze polifenoliche ed i fillosilicati del terreno; questi avvolgono l'enzima costituendo una struttura esterna tipo setaccio che consente il passaggio selettivo dei substrati dell'enzima e dei prodotti della reazione. Questo processo consistente nel legame tra enzima ed altri polimeri viene definito stabilizzazione dell'enzima.

La stabilizzazione rende l'enzima meno sensibile alle condizioni estreme; infatti gli enzimi del terreno funzionano in situazioni in cui i corrispondenti enzimi non stabilizzati non sono più in grado di catalizzare le reazioni. L'ureasi del terreno ad esempio agisce a 60-70 gradi mentre l'enzima in altre matrici viene denaturato a 40-50 gradi; essa inoltre non viene inibita dalla presenza di metalli pesanti come avviene fuori dal terreno. Lo stesso vale anche per condizioni estreme di pH, umidità, potenziale redox.

Le funzioni esplicate da questi enzimi sono molteplici; alcuni composti, come urea ed acido urico, sono scarsamente trattiene dal terreno e l'azoto in esso contenuto andrebbe perso se non potessero essere trasformati da ureasi ed uricasi in azoto in forma ammoniacale. Inoltre urea ed acido urico sono assorbiti

con difficoltà dagli organismi viventi mentre gli ioni ammonio sono assorbiti velocemente; lo stesso vale per una serie di altre sostanze, prime fra tutte quelle ad elevato peso molecolare come acidi nucleici o altre macromolecole fosforate che non potrebbero essere assimilate se non fossero idrolizzate dalle fosfatasi.

Gli enzimi del terreno funzionano anche in condizioni sfavorevoli alla vita microbica; in questo modo essi preparano una riserva di sostanze prontamente assimilabili per il momento della ripresa vegetativa degli organismi tellurici. Questa proprietà è generalizzabile a tutti gli enzimi extracellulari; l'urea ad esempio, che è il concime azotato più utilizzato, viene trasformato completamente nel giro di qualche giorno anche nella stagione invernale.

Gli enzimi del terreno consentono anche la disintossicazione dell'ambiente tellurico promuovendo la degradazione di sostanze tossiche per macro e mesofauna, come il malathion (malathion-esterasi) e la stessa urea (ureasi).

Per valutare la quantità di enzimi attivi presenti in un terreno viene misurata l'attività enzimatica cioè la produzione dei composti che si originano dalla reazione che l'enzima catalizza. Essa viene espressa come  $\mu$ mol di prodotto per grammo di suolo per minuto (tabella 12.3). Per l'attività ureasica si considera la produzione di ioni ammonio, per quella dell'invertasi di glucosio, per quella deidrogenasica di trifenilformazano, per l'attività di fosfatasi acida ed alcalina ed arilsolfatasi di nitrofenolo.

Poiché la grande maggioranza degli enzimi del terreno si ritiene sia di origine microbica, l'attività enzimatica viene utilizzata come indicatore dell'attività microbica e biologica di un terreno. I microrganismi in genere interagiscono fortemente con le superfici del terreno e quindi maggiore è l'estensione di queste superfici e maggiore è l'attività microbica ed enzimatica. Infatti da ricerche effettuate su terreni americani a maggiori contenuti di argilla (40% contro 15%) corrispondono livelli di attività enzimatica da 2 a 3 volte maggiori; lo stesso all'aumentare della sostanza organica si ha un aumento di tipo esponenziale dell'attività enzimatica.

In queste ricerche è stato messo in evidenza che l'attività enzimatica viene influenzata dalla rotazione colturale (una triennale mais-avena-medica ha livelli da 2 a 3 volte superiori rispetto alla

monosuccessione di mais per fosfatasi alcalina, arilsolfatasi, invertasi ed ureasi), dalla lavorazione del terreno (la non lavorazione da livelli sempre superiori alla lavorazione tradizionale nel primo strato di terreno) e dal pH.

In un altro lavoro sempre su terreni americani è stata messa in luce una variazione dell'attività enzimatica nel corso dell'anno in particolare per la fosfatasi che presenta un picco di attività in estate.

Diversi ricercatori hanno puntualizzato che la deidrogenasi è l'enzima maggiormente legato alle prime fasi di degradazione della sostanza organica, e più degli altri enzimi liberi dipende dall'attività biologica delle popolazioni microbiche; per questo si pensa che sia un enzima intracellulare legato ai processi respiratori dei microrganismi e quindi considerato un indice dell'attività endogena dei microrganismi del suolo.

Enzima e Misura	Valori	Fonte
UREASI 0,01 $\mu$ moli $\text{NH}_4\text{-N/gxmin}$	1,57-3,01	Bolton et al. (1984)
	1,58	Balasubramanian (1972)
	3,88-7,46	Douglas & Bremner (1971)
	0-6,18	Zantua & Bremner (1975)
	2,09-3,78	Klein & Kloths (1980)
	1,50-7,86	Speir (1977)
FOSFATASI 0,01 $\mu$ moli nitrofenolo/gxmin	1,53-3,47	Bolton et al. (1984)
	0,64-1,51	Eivazi & Tabatai (1977)
	0,93-1,33	Nielsen & Eiland (1980)
	2,03-2,53	Klein & Kloths (1980)
	2,56-4,68	Neal (1973)
	2,83-9,92	Tabatai & Bremner (1969)
DEIDROGENASI 0,00001 $\mu$ moli trifenil-formazano/gxmin	4,27-9,58	Bolton et al. (1984)
	1,98-13,71	Sparling (1981)
	2,04-4,03	Khan (1970)
	3,54-31,91	Stevenson (1959)
	14,26-60,88	Casida et al. (1964)
	30,00-1530	Ross (1973)
	79,00-283	Ross (1970)

**Tabella 12.3** - Valori riscontrati in letteratura per l'attività enzimatica di ureasi, fosfatasi e deidrogenasi.

# 13. Agrelan: un sistema di interpretazione dell'analisi del terreno

## 13.1 Generalità

Quando sono disponibili i risultati dell'analisi del terreno ci si trova di fronte al problema di attribuire ad essi un significato agronomico per trarre utili consigli per le pratiche agronomiche ed in particolare per la fertilizzazione. Si devono per questo eseguire alcune operazioni consequenziali che permettono di trattare i dati in modo corretto evitando di incorrere in interpretazioni imprecise o addirittura errate.

Queste operazioni, che vengono di seguito descritte, sono contenute nella procedura Agrelan, messa a punto presso l'Osservatorio Regionale Suolo dell'ARPAV, disponibile come software utilizzabile su PC in ambiente Windows o dal sito dell'ARPAV ([www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)).

La precisione della procedura dipende dall'esistenza di una taratura agronomica dei risultati di analisi: solamente i risultati ottenuti da analisi eseguite secondo metodi standardizzati, così come indicato dalla SISS (1976), dall'Unichim (1985) e successivamente dal D.M. 13.09.99 "Approvazione dei metodi ufficiali di analisi del terreno" sono adatti allo scopo.

## 13.2 Correzione delle unità di misura

Mentre i dati di argilla, limo, sabbia, calcare totale e attivo e sostanza organica (%), del pH (adimensionale) e dei microelementi (mg/kg) vengono sempre espressi nello stesso modo, per le altre caratteristiche si possono trovare nel certificato di analisi diverse situazioni, in particolare:

a) salinità: si preferisce utilizzare i  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ma si può trovare spesso come  $\text{mS}/\text{cm}$ ; è sufficiente moltiplicare questo dato per 1000 per convertirlo in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; qualora sia espresso come

per cento o per mille vuol dire che il metodo utilizzato non è elettrochimico e quindi va interpretato in maniera diversa;

b) azoto totale: molte volte viene espresso in percentuale, ma in questo modo il dato è sempre inferiore all'unità e spesso con tre decimali, per cui risulta di maggior praticità l'uso dei  $\text{g}/\text{Kg}$ ; per passare dal per cento al  $\text{g}/\text{Kg}$  è sufficiente moltiplicare il dato per 10;

c) fosforo assimilabile: raramente il risultato è espresso in per mille, quasi sempre si trova in  $\text{mg}/\text{kg}$ ; più spesso può succedere che anziché come P sia espresso come  $\text{P}_2\text{O}_5$ , nel qual caso si deve operare una conversione pari a  $\text{P} = \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 0,436$ ;

d) elementi scambiabili: anche in questo caso si possono trovare i risultati espressi come  $\text{mg}/\text{kg}$  di  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{CaO}$ , e quindi si devono convertire i dati in K, Mg e Ca moltiplicandoli rispettivamente per 0,830, 0,603 e 0,751; talvolta possono trovarsi come  $\text{meq}/100 \text{ g}$  e per passare a  $\text{mg}/\text{kg}$  si deve operare nel modo seguente:

- $\text{mg}/\text{kg K} = \text{meq K}/100 \text{ g} \times 391$
- $\text{mg}/\text{kg Mg} = \text{meq Mg}/100 \text{ g} \times 122$
- $\text{mg}/\text{kg Ca} = \text{meq Ca}/100 \text{ g} \times 200$
- $\text{mg}/\text{kg Na} = \text{meq Na}/100 \text{ g} \times 230$

## 13.3 Calcolo dei dati derivati

Partendo dai risultati analitici è possibile ricavare per calcolo alcuni indici che possono essere utili nell'interpretazione dei dati relativi ad alcune caratteristiche analitiche oppure per valutare la fertilità generale del suolo. Essi sono:

a) Capacità di Scambio Cationico (CSC): questo parametro generalmente viene misurato direttamente dal laboratorio; qualora

però il valore non fosse disponibile è possibile calcolarlo, solo nei terreni neutri e alcalini, mediante la somma degli elementi scambiabili espressi in meq/100 g nel seguente modo:

$$C.S.C. = K/391 + Mg/122 + Ca/200 + Na/230$$

dove K, Mg, Ca e Na sono gli elementi scambiabili espressi in mg/kg; poiché il sodio generalmente è presente a basse concentrazioni, la CSC si può calcolare anche in assenza del risultato del sodio scambiabile.

b) Rapporto Carbonio/Azoto: è il risultato del rapporto tra carbonio organico, cioè sostanza organica ridotta per un fattore 1,724, ed azoto totale espressi con la stessa unità di misura, cioè:

$$C/N = SO/(0.1724 \times N_{tot})$$

dove SO è la sostanza organica in % e N<sub>tot</sub> è l'azoto totale espresso in g/kg.

Valori compresi tra 9 e 11 evidenziano una corretta evoluzione della sostanza organica, mentre valori inferiori a 9 sono sintomo di una rapida degradazione dei composti carboniosi che può ostacolare la formazione di sostanze umiche stabili, e valori superiori a 11 indicano una carenza relativa di azoto e la presenza di composti organici indecomposti.

c) Rapporto Magnesio/Potassio: è dato dal rapporto fra i due elementi espressi come meq/100 g, quindi:

$$Mg/K = (Mg / K) \times 3.2$$

dove Mg è il magnesio scambiabile in mg/kg e K il potassio scambiabile in mg/kg.

Valori compresi fra 2 e 5 indicano la presenza dei due elementi in quantità equilibrate, mentre inferiori a 2 segnalano un eccesso relativo di potassio e superiori a 5 un eccesso relativo di magnesio.

d) Coefficiente di Mineralizzazione: definisce la percentuale di sostanza organica annualmente mineralizzata e viene calcolato utilizzando l'espressione empirica di Remy e Marin-Lafleche:

$$C.M. = 1200/[(A + 20)(CT + 20)]$$

dove A e CT sono i contenuti in argilla e carbonati totali in %; valori attorno all'unità (es: 10% di argilla e 20% di carbonati totali o viceversa) si possono considerare medi nei nostri terreni, mentre valori inferiori indicano situazioni sfavorevoli per la degradazione della sostanza organica e valori superiori situazioni di veloce degradazione della stessa.

### 13.4 Correzione dei risultati analitici

Per tener conto delle interazioni che riducono o aumentano la disponibilità di certi elementi e, nel caso dei microelementi, dei diversi metodi analitici utilizzabili a seconda del pH, è opportuno, prima di dare un giudizio sul terreno, procedere alla correzione di alcuni dati analitici.

La tabella seguente riporta in sintesi le relazioni di cui viene tenuto conto; in colonna ci sono le caratteristiche corrette ed in riga quelle che ne determinano la correzione:

	SO	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu
A	●	●								
CT	●	●								
CA			●							
pH			●				●	●	●	●
CSC				●	●	●				
K					●					
Mg				●						

a) Sostanza organica: se il terreno presenta una situazione favorevole alla degradazione della sostanza organica esso è sfavorevole rispetto al rischio di eccessivo impoverimento, poiché



più velocemente può arrivare a condizioni di insufficiente dotazione; per questo si opera la correzione, tenendo conto del coefficiente di mineralizzazione (CM), come segue:

$$SOc = SOa \times (1,25 - 0,25 \times CM)$$

dove SOc è il valore corretto della sostanza organica, SOa il dato analitico e CM il coefficiente di mineralizzazione calcolato (anche per i prossimi parametri sarà utilizzata la medesima simbologia). In questo modo viene aumentato il valore della sostanza organica per i terreni più inerti nei confronti della sua degradazione, e diminuito per i terreni in cui questa invece procede più velocemente; non c'è nessuna variazione quando CM=1.

b) Azoto totale: se la degradazione della sostanza organica è elevata una maggior quota dell'azoto organico si rende disponibile nel corso del ciclo colturale, quindi all'aumentare del coefficiente di mineralizzazione aumenta la disponibilità di azoto; la correzione sarà quindi la seguente:

$$Nc = Na \times (0,8 + 0,2 \times CM)$$

c) Fosforo assimilabile: il calcare attivo interferisce con la disponibilità del fosforo reagendo con questo a formare composti insolubili; poiché si ritiene che il 10% di calcare attivo (CA) insolubilizzi il 40% del fosforo la correzione è:

$$Pc = Pa \times (1 - 0,04 \times CA)$$

d) Elementi scambiabili: la presenza di argilla aumenta il potere di ritenzione del terreno nei confronti di questi elementi; in generale all'aumentare della CSC si riduce la disponibilità di potassio, magnesio e calcio in ragione di circa il 10% ogni 10 meq/100 g di CSC, quindi si opera la seguente correzione:

$$Kc = Ka \times (1,1 - 0,01 \times CSC)$$

e lo stesso per magnesio e calcio.

Per potassio e magnesio la disponibilità dell'uno aumenta al diminuire dell'altro, e dipende quindi dal rapporto tra i due elementi (Mg/K); poiché 3 è il valore ottimale di tale rapporto, discostandoci da esso per ogni aumento di una unità di Mg/K il valore del potassio va diminuito, e quello del magnesio aumentato, del 2,5%, quindi:

$$Kc = Ka \times (1,075 - 0,025 \times Mg/K)$$
$$Mgc = Mga \times (0,925 + 0,025 \times Mg/K)$$

Queste ultime correzioni vanno eseguite in successione a quelle viste in precedenza; ad es.:

$$Kc = Ka \times (1,1 - 0,01 \times CSC) \times (1,075 - 0,025 \times Mg/K)$$

e) Microelementi: si deve considerare il diverso metodo utilizzato per pH<7, cioè estrazione con EDTA anziché con DTPA; per l'EDTA i risultati e quindi i limiti interpretativi sono più elevati rispetto al DTPA, per cui:

$$Fec = Fea/8, Mnc = Mna/8, Cuc = Cua/3 \text{ e } Znc = Zna/2$$

se viene utilizzato EDTA come estraente anziché DTPA

### 13.5 Giudizio sul terreno

Una volta riaggiustati i dati per tener conto dei metodi di analisi e delle interazioni, è necessario fornire un giudizio su ciascuna caratteristica per definire meglio lo stato di fertilità del suolo.

**Tessitura:** i risultati di sabbia, limo e argilla sono interpretati utilizzando il triangolo proposto dall'USDA, se il metodo utilizzato prevede la separazione tra limo e sabbia a 0,05 mm, oppure quello proposto dalla SISS se invece il limite tra le due classi è posto a 0,02 mm.

**pH:** l'interpretazione viene eseguita utilizzando lo schema di figura 13.1.

**Calcare totale e attivo:** utilizzando gli schemi riportati in figura 13.1 si può formulare un giudizio sulle dotazioni in calcare.

REAZIONE (PH)	VALORI
molto acido	<5,4
acido	5,4-5,9
subacido	6,0-6,6
neutro	6,7-7,2
subalcalino	7,3-8,0
alcalino	8,1-8,6
molto alcalino	>8,6

CARBONATI TOTALI	%
non calcareo	<1
scarsamente calcareo	1-5
moderatamente calcareo	5-10
molto calcareo	10-25
fortemente calcareo	25-40
estremamente calcareo	>40

CALCARE ATTIVO	%
scarsamente dotato	<0,5
mediamente dotato	0,5-2
ben dotato	2-5
ricco	5-10
molto ricco	10-15
molto elevato	>15

**Figura 13.1** – Schemi per l'interpretazione dei risultati relativi all'analisi di pH, carbonati totali e calcare attivo.



La distribuzione dei concimi dovrebbe essere fatta sulla base dei risultati delle analisi del terreno

**Sostanza organica ed elementi nutritivi:** per fornire un giudizio su queste caratteristiche è sufficiente inserire il dato corretto nello schema interpretativo generale riportato nella figura 13.2.

SO	N	P	K	Mg	Ca	Fe	Mn	B
<b>MOLTO POVERO</b>								
0,8	0,5	7	40	50	1000	2,5	2	0,1
<b>SCARSAMENTE DOTATO</b>								
1,2	0,7	14	80	100	2000	5	4	0,3
<b>MEDIAMENTE DOTATO</b>								
2,0	1,2	20	120	150	3000	10	6	0,5
<b>BEN DOTATO</b>								
4,0	2,4	30	180	200	4000	15	8	1,0
<b>RICCO</b>								
8,0	5,0	45	240	250	5000	20	10	1,5
<b>MOLTO RICCO</b>								

**Figura 13.2** – Schema interpretativo dei risultati relativi a sostanza organica (%), azoto totale (g/kg) ed agli elementi nutritivi (mg/kg) secondo Agrelan.

COLTURA	DOTAZIONE DEL TERRENO IN N, P, K																	
	POVERO			SCARSO			MEDIO			BUONO			RICCO			MOLTO RICCO		
	APPORTI CONSIGLIATI																	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Mais	300	200	230	270	150	150	240	120	120	230	90	90	210	60	60	200	40	40
Grano	180	150	170	160	100	120	150	80	80	140	60	60	130	50	50	120	40	40
Bietola	160	150	230	120	130	180	100	100	150	90	80	120	80	60	90	70	40	60
Soia	0	150	220	0	130	170	0	100	130	0	80	100	0	60	80	0	40	60
Vite	150	90	230	120	70	180	100	60	150	90	40	120	80	30	90	70	20	60
Medica	0	150	230	0	130	150	0	100	120	0	80	90	0	60	60	0	40	40
Melo	150	120	230	130	90	150	110	70	120	90	50	90	80	40	60	70	20	40
Pero	150	120	230	130	90	150	110	70	120	90	50	90	80	40	60	70	20	40
Pesco	200	120	230	160	90	150	140	70	120	120	50	90	100	40	60	80	20	40
Asparago	160	120	180	120	100	150	100	70	130	90	50	110	80	40	90	70	20	80
Orzo	140	130	170	110	90	120	90	70	80	80	50	60	70	40	50	60	30	40
Silomais	340	200	230	300	150	150	280	120	120	260	90	90	240	60	60	220	40	40
Pomodoro	150	250	250	130	180	200	110	150	150	90	120	120	80	90	90	70	60	60

**Tabella 13.1** – Relazione tra dotazione in azoto, fosforo e potassio del terreno e dosi ottimali di N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O da distribuire per le principali colture diffuse nel Veneto.

### 13.6 Consigli per la concimazione

Una volta che si conosce il terreno e si è attribuito un valore ai risultati analitici si devono trarre da queste informazioni delle indicazioni più precise per la pratica della concimazione, in particolare sulle dosi e sulle modalità più idonee per la distribuzione dei fertilizzanti.

Per quanto riguarda le dosi ottimali di N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O ad esse si può risalire utilizzando delle curve che mettono in relazione il risultato analitico corretto con le dosi ottimali e che si possono schematicamente riassumere in tabella 13.1 per alcune colture più significative per l'agricoltura veneta.

Nel caso vengano utilizzati letame o liquame agli apporti minerali vanno detratte le quantità di N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O apportate con gli effluenti di allevamento (vedi tabella 13.2).

Per le modalità di distribuzione si possono riportare alcune indicazioni di massima che poi vanno adattate alle diverse realtà aziendali:

- colture erbacee su terreni da medio impasto ad argillosi: l'azoto va distribuito in 2 o 3 momenti, prima della semina ed in copertura, il fosforo all'aratura ed eventualmente localizzato (80 kg/ha ca.) nei terreni pesanti, poveri di fosforo o con calcare attivo elevato, ed il potassio va dato all'aratura;
- colture erbacee su terreni sabbiosi o con scheletro: l'azoto va frazionato il più possibile tenendo conto delle attrezzature e disponibilità di manodopera; fosforo e potassio all'aratura;
- colture arboree su terreni da medio impasto ad argillosi: l'azoto va frazionato in tre dosi durante la fase di allevamento, mentre in produzione sono sufficienti due dosi, alla ripresa vegetativa e subito dopo la fioritura; fosforo e potassio vanno distribuiti all'impianto concentrando le dosi di tre anni, poi in

- produzione prima della ripresa vegetativa;
- d) colture arboree su terreni sabbiosi o con scheletro: l'azoto va frazionato il più possibile nel corso del ciclo colturale fino a poco dopo l'allegagione evitando la fase di pre-fioritura; fosforo e potassio vanno distribuiti ogni anno alla ripresa vegetativa fin dall'anno dell'impianto.

Tipo	kg N/q	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /q	kg K <sub>2</sub> O/q
Letame bovini da latte	0,24	0,24	0,70
Liquame bovini da latte	0,28	0,30	0,51
Letame bovini da carne	0,27	0,24	0,70
Liquame bovini da carne	0,33	0,29	0,38
Letame vitelli	0,39	0,24	0,70
Liquame vitelli	0,32	0,29	0,38
Letame vitelli a carne bianca	0,48	0,24	0,70
Liquame vitelli a carne bianca	0,42	0,22	0,13
Liquame suini da riproduzione	0,32	0,29	0,25
Letame suini da riproduzione	0,39	2,18	1,45
Liquame suini da ingrasso	0,22	0,29	0,25
Letame suini da ingrasso	0,51	2,18	1,45
Pollina avicoli in batteria	0,65	1,03	0,64
Pollina avicoli a terra	1,32	2,06	1,86
Liquame conigli	0,10	1,03	0,64
Letame conigli	0,33	2,06	1,86
Compost	1,10	0,80	1,10

**Tabella 13.2** – Quantità di azoto fosforo e potassio contenute negli effluenti di allevamento di cui tiene conto Agrelan per la predisposizione dei piani di concimazione.

# Bibliografia

A.R.P.A.A., 1987. Bases fondamentales de la fertilisation.

AA.VV., 1985 "Atti del convegno: Il potassio nel terreno e nella pianta" - Palermo, 26 ottobre 1985, Italkali.

AA.VV., 1985. Produttività potenziale e classificazione dei terreni; nota 1: valle del fiume Sacco. Suppl. Annali Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante.

Aichner M., Deluisa A., Dugoni F., Giandon P., Nassisi A., 1999. Dall'analisi del terreno al consiglio di concimazione. ASSAM-Regione Marche e Società Italiana dei Laboratori Pubblici Agrochimici.

Anderson J.P.E., Domsch K.H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. *Soil Biol. Biochem.* 10: 215-221.

Anderson J.P.E., Domsch K.H., 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21: 471-479.

Anderson J.P.E., Domsch K.H., 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO<sub>2</sub> and qD) on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biol. Biochem.* 10: 251-255.

Anderson J.P.E., Domsch K.H., 1993. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 25: 393-395.

Bartolini R., 1986. Il ciclo della fertilità.

Bloem J., Bolhuis P.R., Veninga M.R., Wieringa J. 1995. Microscopic methods for counting bacteria and fungi in soil. In: *Methods of Applied Soil Microbiology and Biochemistry* (K. Alef and P. Nannipieri, Eds.), Academic Press, London, pp. 162-173.

Bolton H. Jr, Elliot L.F., Papendick R.I., Bezdicek D.F., 1985. Soil Microbial Biomass and Selected Soil Enzyme Activities: Effect of Fertilization and Cropping Practices. *Soil Biol. Biochem.* vol. 17.

Boniface R., 1987. Diagnostic de la fertilité phosphatée des sols en fonction des méthodes d'analyse et fertilisation phosphatée d'entretien. INRA Publications n. 9/1987.

Bortolami P., De Tomasi E., 1988. Le analisi del terreno, la scelta dei parametri e l'interpretazione dei risultati. Quaderni di divulgazione ARAV n. 3/1988.

Brookes P.C., 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fertil. Soils* 19: 269-279.

Clamor L., Giandon P., Consalter A., 1991. Confronto fra diverse soluzioni di scambio per la determinazione delle basi scambiabili. Atti del IX convegno nazionale S.I.C.A., Torino.

Consalter A., Clamor L., Giandon P., 1988. Situazione dei laboratori per analisi di terreni e vegetali in strutture regionali e provinciali." in "Giornate di studio sull'analisi del terreno, Verona 19-21 settembre 1988, SISS-Unichim.

De Caro A., Cordella S., Castrignanò A., 1987. La solubilità del fosforo in un terreno che per 9 anni consecutivi è stato concimato con 3 diversi livelli fertilizzanti. Atti del convegno "Fertilità del suolo e nutrizione delle piante", Sorrento, Maggio 1987.

Decreto Ministeriale 13 settembre 1999. Approvazione dei metodi ufficiali di analisi chimica del suolo. Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 248 del 21 ottobre 1999.

Deluisa A., Bassi M., Belli D., Costanzo N., 1988. La fertilità chimica dei terreni della regione Friuli Venezia Giulia. *L'Informatore Agrario* n. 30/1988.

Deluisa A., Giandon P., 1994. Metodologia unificata per l'interpretazione delle analisi del terreno. Atti XII Convegno Nazionale S.I.C.A., Piacenza 1994, pp. 113-114.

Deneb laboratori, 1982. L'analisi del terreno col metodo Marton.

Dick W.A., 1984. Influence of Long-Term Tillage and Crop Rotation Combinations on Soil Enzyme Activities. *Soil Sci. Soc. Am. J. Vol.* 48.

Dugoni F., 1990. Indicazioni sulle modalità della concimazione e sulla scelta dei fertilizzanti. *L'Informatore Agrario* n. 9/1990.

FAO Soils Bulletin, 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation.

- Ferri D., Lopez G., 1989. Agricoltura ed eutrofizzazione: alla ricerca della verità. *L'Informatore Agrario* n. 1/1989.
- Fregoni M., 1985. *Viticultura generale*. Ed. REDA.
- Garlato A., Obber S., Vinci I., Minelli R., Pocaterra F., Sartori G., Giandon P., 2005. Carta dei suoli del Veneto. Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, pp. 382.
- Genevini P.L., Garbarino A., 1986. Fattori limitanti l'impiego in agricoltura dei fanghi di depurazione. Trattamento e smaltimento acque reflue e fanghi. Frigerio Editore.
- Giandon P., 1989. Agrelan: un sistema di interpretazione dell'analisi del terreno trasferibile su software. *Veneto Agricoltura* n. 1/1989.
- Giandon P., Zampieri G., 1990. Correlazioni fra caratteristiche chimico-fisiche e biologiche dei terreni di una zona del Veneto. Atti VIII Convegno Nazionale S.I.C.A., Bari 1990, pp. 113-114.
- Giandon P., Clamor L., Consalter A., 1991. Confronto fra diverse soluzioni di scambio per la determinazione delle basi scambiabili. Atti IX Convegno Nazionale S.I.C.A., Torino 1991, pp.175-176.
- Giandon P., Zampieri G., Bettini D., Ferroli R., 1991. Un'indagine agronomico-ambientale a Pernumia, San Pietro Viminario e Tribano. Provincia di Padova.
- Giandon P., Consalter A., 1995. Agrelan: a software to optimize fertilization. *Acta Horticulturae* 383, pp. 499-504.
- Giandon P., Rongaudio R., 1995. Agricoltura sostenibile. Manuale di divulgazione sulle tecniche produttive delle principali colture erbacee. Regione del Veneto, Giunta Regionale, ESAV, Serie Agricoltura – Colture erbacee, pp. 115.
- Giardini L., Giupponi C., Bonini A., 1989. Stima dei rilasci di nutrienti (azoto e fosforo) dai terreni coltivati della pianura veneta. ESAV.
- Guidi G., Petruzzelli G., 1986. Le caratteristiche dei fanghi di depurazione biologica per un loro impiego agronomico. Trattamento e smaltimento acque reflue e fanghi. Frigerio Editore.
- Hamdy A., 1987. Soil phosphorous fractions and their availability to plants. da Atti del convegno "Fertilità del suolo e nutrizione delle piante", Sorrento, Maggio 1987.
- Hamdy A., 1987. Evaluation of various chemical extractants for the assessment of available soil phosphorous. Atti del convegno "Fertilità del suolo e nutrizione delle piante", Sorrento, Maggio 1987.
- Insam H., Haselwander K., 1989. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. *Oecologia* 79:174-178.
- Isermeyer H. 1952. Eine einfache methode sur bestimmung der bodenatmung und der karbonate im boden. *Z. Pflanzanernah Bodenk.* 56: 26-38.
- Jenkinson D.S., Ladd J.N., 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: Paul E.A., Ladd J.N. (eds.) *Soil biochemistry*, Vol. 5, Marcel Dekker, New York, pp. 415-471.
- Jenkinson D.S., Powlson D.S., 1976. The effects of biocidal treatments on methabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1985. *Trace elements in soil and plants*. CRC Press.
- Loué A., 1985. Appauvrissement et enrichissement des sols en potassium. Il potassio nel terreno e nella pianta, Palermo, 26 ottobre 1985.
- Malquori A., 1982. *Prontuario di chimica agraria*. Edagricole.
- Mori P., Barbieri, 1981. *Guida all'analisi e alla concimazione del terreno*. Edagricole.
- Nannipieri P., 1988. Il problema della determinazione dell'azoto disponibile del suolo. Giornate di studio sull'analisi del suolo, Verona, Settembre 1988.
- Nannipieri P., Ciardi C., 1982. La problematica relativa ai processi di mineralizzazione ed immobilizzazione dell'azoto nel terreno: una introduzione. *Informatore botanico italiano*, vol. 14 pp. 134-136.
- Panero M.S., 1985. *Il pH del terreno*. Edagricole.
- Paul E.A., Ladd J.N., 1981. *Soil Biochemistry*. Dekker.
- Perelli M., 1985. Una nuova metodologia per l'interpretazione delle analisi del terreno e l'ottimizzazione della concimazione. *L'informatore Agrario* n. 41/1985.
- Perelli M., 1986. *La concimazione delle principali colture" - L'Informatore Agrario* n. 2/1986.
- Perelli M., 1987. *L'analisi del terreno" - L'informatore agrario* n. 7/1987.
- Petruzzelli G., 1989. Recycling wastes in agriculture: heavy metal bioavailability. *Agr. Eco. Env.* n. 27.
- Provincia di Padova, 1988 - *Assessorato all'Agricoltura: Il territorio Agricolo*, n. 1-6.

Provincia di Padova, 1988. Stato nutrizionale dei vigneti a DOC dei Colli Euganei.

Ragazzi F., Vinci I., Garlato A., Giandon P., Mozzi P., 2004. Carta dei suoli del bacino scolante in laguna di Venezia. Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, pp. 398.

Regione Emilia Romagna, Assessorato Agricoltura, 1988. Guida all'interpretazione dei risultati dell'analisi del terreno ed alla formazione dei consigli di concimazione. Giugno 1988.

Ris J., Van Luit B., 1978. The establishment of fertilizer recommendation on the basis of soil tests. Institut Voor Bodemvruchtbaarheid.

Rossi L., Giandon P., 2001. Criteri di impiego agronomico degli ammendanti compostati. Produzione e impiego di compost nell'azienda agricola a cura di L. Rossi e S. Guercini, Veneto Agricoltura, pp. 117-128.

Santoni I., 1981. Conoscere il terreno. Ed. REDA.

Sequi P., 1989. Impatto ambientale della concimazione. Il dottore in scienze agrarie n. 1/1989.

Sequi P., 1989. Chimica del suolo. Patron editore.

Tombesi C., 1977. Elementi di scienza del suolo. Edagricole 1977.

Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S., 1987. An extraction method for measuring microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 19: 703-707.

Villemin P., 1990. Forme e dinamica del potassio e del magnesio nel terreno. Il potassio, il magnesio e la fertilizzazione. Padova, 13 dicembre 1988. Quaderni di formazione n. 3, ESAV.

Wardle D.A., Ghani A., 1995. A critique of the microbial metabolic quotient  $qCO_2$  as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. Soil Biol. Biochem. 27: 1601-1610.





Dipartimento Provinciale di Treviso  
Servizio Osservatorio Suolo e Rifiuti  
via Baciocchi, 9  
31033 Castelfranco Veneto (TV)  
Italy  
Tel. +39 0423 422 311  
Fax +39 0423 720 388  
E-mail: [sosr@arpa.veneto.it](mailto:sosr@arpa.veneto.it)

Settore per la Prevenzione  
e la Comunicazione Ambientale  
Piazzale Stazione, 1  
35131 Padova  
Italy  
Tel. +39 049 876 7644  
Fax +39 049 876 7682  
E-mail: [dsiea@arpa.veneto.it](mailto:dsiea@arpa.veneto.it)

Progetto grafico JDW s.n.c. Bassano del Grappa (VI)  
Stampa Centrooffset s.r.l. Mestrino (PD)  
Stampato su carta Ecolabel Dalum Cyclus



Finito di stampare nel mese di dicembre 2007



ARPAV  
Agenzia Regionale  
per la Prevenzione e  
Protezione Ambientale  
del Veneto

Direzione Generale  
Via Matteotti, 27  
35137 Padova  
Italy  
Tel. +39 049 823 93 01  
Fax +39 049 660 966  
E-mail: [urp@arpa.veneto.it](mailto:urp@arpa.veneto.it)  
[www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)

ISBN 88-7504-115-6