



REGIONE DEL VENETO

VENETO
AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

AVVICENDAMENTI, CONSOCIAZIONI E FERTILITÀ DEL SUOLO IN AGRICOLTURA BIOLOGICA



Veneto
Tra la terra e il cielo

www.veneto.to





REGIONE DEL VENETO

VENETO
AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare

AVVICENDAMENTI, CONSOCIAZIONI E FERTILITÀ DEL SUOLO IN AGRICOLTURA BIOLOGICA



Veneto
Tra la terra e il cielo

www.veneto.to





Iniziativa finanziata dal
"Piano regionale di intervento per il rafforzamento e lo sviluppo dell'agricoltura biologica"
Delibera Giunta Regionale del Veneto
n° 4184 del 28.12.06



MINISTERO PER LE POLITICHE AGRICOLE
ALIMENTARI E FORESTALI



"Fondo per lo sviluppo dell'agricoltura biologica e di qualità"

Autori:

Francesca Chiarini, *Veneto Agricoltura - Settore Ricerca Agraria*
Luca Conte, *Scuola Esperienziale Itinerante di Agricoltura Biologica*

Per i capitoli 3 e 4 hanno collaborato come coautori:

Serenella Nardi, Paolo Carletti
Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, Università degli Studi di Padova

Francesco Morari, Nicola Dal Ferro
Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Università degli Studi di Padova

Per la scheda "Ruolo dell'agricoltura nei cambiamenti climatici e sequestro di Carbonio" ha collaborato
Lorenzo D'Avino, *Centro di Ricerca per le Colture Industriali - CRA-CIN Bologna*

Gli autori ringraziano per i preziosi suggerimenti:
Laura dalla Montà, *Università degli Studi di Padova*

Coodinatore del Progetto:

Valerio Bondesan, *Veneto Agricoltura - Settore Ricerca Agraria*

Pubblicazione edita da

VENETO AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i Settori Agricolo Forestale e Agroalimentare
Viale dell'Università, 14 – Agripolis – 35020 Legnaro (PD)
Tel. 049.8293711 – Fax 049.8293815
e-mail: va@venetoagricoltura.org
www.venetoagricoltura.org

Realizzazione editoriale

VENETO AGRICOLTURA
Azienda Regionale per i Settori Agricolo Forestale e Agroalimentare
Coordinamento editoriale e realizzazione grafica:
Silvia Ceroni, Margherita Monastero, Federica Mazzuccato
Settore Divulgazione Tecnica, Formazione Professionale ed Educazione Naturalistica
Via Roma, 34 – 35020 Legnaro (PD)
Tel. 049.8293920 – Fax 049.8293909
e-mail: divulgazione.formazione@venetoagricoltura.org

È consentita la riproduzione di testi, foto, disegni ecc. previa autorizzazione da parte di Veneto Agricoltura, citando gli estremi della pubblicazione.



L'agricoltura biologica permette di affrontare in modo coerente i grandi temi che agitano l'attuale dibattito sul futuro della PAC, dalle "nuove emergenze" ambientali individuate dall'Health-Check, alla domanda di salubrità dei cibi che viene dal mondo dei consumatori.

Veneto Agricoltura da anni è impegnata nel settore dell'agricoltura biologica, soprattutto sui fronti della ricerca, del trasferimento dell'innovazione e della divulgazione tecnica. In particolare nel triennio 2008-2010 ha sviluppato le azioni di sostegno all'agricoltura biologica attuando uno specifico 'Piano regionale di intervento per il rafforzamento e lo sviluppo dell'agricoltura biologica', voluto e approvato dalla Giunta Regionale del Veneto e la cui realizzazione è stata affidata a Veneto Agricoltura.

Accanto alle numerose attività di formazione e divulgazione dedicate agli operatori del biologico veneto e sviluppate dal Piano regionale, una parte consistente è stata dedicata allo studio di alcune problematiche tecniche per le aziende biologiche, a cui sono state abbinate azioni dimostrative e giornate tematiche di approfondimento.

Tra gli argomenti di grande attualità in tutto il comparto agricolo, c'è quello della tutela della fertilità dei suoli. Una delle principali sfide per l'agricoltura nel prossimo futuro è quella di contrastare la perdita di fertilità ed il rischio di desertificazione che minaccia i terreni agricoli nella fascia climatica del Mediterraneo. Elemento chiave nella perdita di fertilità dei suoli è stata la progressiva diminuzione del contenuto di sostanza organica, conseguente a decenni di agricoltura intensiva, che ha sovente dimostrato poca attenzione alla ricostituzione delle riserve di humus del terreno. La declinazione dell'agricoltura in 'biologico' non rappresenta solo il tentativo di restituire una maggior salubrità ai prodotti della terra, ma di far sì che la stessa terra possa continuamente rigenerarsi per essere ospite delle coltivazioni il più a lungo possibile e non a scapito delle generazioni future.

Con la presente indagine si è cercato di approfondire quale possa essere il contributo alla fertilità dei suoli di alcune tecniche agronomiche considerate virtuose (impiego di sovesci, avvicendamenti, consociazioni), applicabili sia in agricoltura biologica che convenzionale. A tal fine, sono stati presi in considerazione una serie di parametri che di solito gli agricoltori non considerano al momento di eseguire un'analisi dei loro terreni (come ad esempio la componente biotica del suolo, le attività enzimatiche, la stabilità degli aggregati) e che si sono rivelati assai utili nel fornire una descrizione più completa della fertilità dei terreni.

Riteniamo che questo lavoro possa rappresentare una base di partenza per innescare un dibattito sia nella comunità scientifica, sia in quella dei tecnici e dei produttori, su che cosa significhi in concreto preservare ed incrementare la fertilità dei nostri terreni.

L'AMMINISTRATORE UNICO
DI VENETO AGRICOLTURA
Paolo Pizzolato



1. LA BIODIVERSITÀ DEI SUOLI IN AGRICOLTURA	
Cause e rimedi per la perdita di fertilità.....	pag. 7
2. LA FERTILITÀ FISICA, CHIMICA E BIOLOGICA	
Lo studio della fertilità del suolo nel Progetto Biodemo	» 9
3. I PARAMETRI PER IL MONITORAGGIO DELLA FERTILITÀ	» 11
3.1 La fertilità chimica	» 11
3.2 La fertilità fisica	» 14
3.3 La fertilità biologica	» 17
4. LA PROVA SPERIMENTALE AL CENTRO 'PO DI TRAMONTANA'	» 23
4.1 Risultati produttivi	» 24
4.2 Risultati dei parametri di fertilità	» 25
4.3 Conclusioni.....	» 37
5. LE STRATEGIE PER MIGLIORARE LA FERTILITÀ DEL SUOLO	
L'importanza dei buoni avvicendamenti	» 41
5.1 Conoscere i cicli di sviluppo delle specie coltivate.....	» 41
5.2 Progettare la gestione della fertilità del suolo.....	» 42
5.3 Progettare il controllo delle erbe infestanti	» 44
5.4 Progettare la gestione dell'irrigazione	» 45
5.5 Lasciare tempo adeguato fra una coltivazione e la successiva.....	» 46
5.6 Le specie avvicendate non devono condividere parassiti.....	» 47
BIBLIOGRAFIA	» 51



Fertilità è la condizione di un terreno ricco in humus nel quale la crescita delle piante procede rapidamente, senza ostacoli ed efficientemente. Il termine fertilità implica, quindi, abbondanza, alta qualità e resistenza alle malattie.

(Albert Howard, 1956)

1. LA BIODIVERSITÀ DEI SUOLI IN AGRICOLTURA

Cause e rimedi per la perdita di fertilità

Stanchezza del terreno, inquinamento da nitrati delle falde, basso contenuto di sostanza organica, rischio di desertificazione, facile formazione di crosta, compattamento, erosione, aumento dei consumi energetici per le lavorazioni e per la difesa dai parassiti: questi sono alcuni dei problemi che angustiano la nostra agricoltura, ma che potrebbero essere risolti se il terreno fosse considerato per quello che realmente è, uno straordinario sistema vivente.

Perché ad un certo punto il terreno perde la sua fertilità? Quali sono i fattori coinvolti e che cosa si può fare per rimediare? Molte sarebbero le risposte, ma una sola è comune a tutte le situazioni: migliorare la fertilità biologica del terreno.

La fertilità di un terreno non è determinata semplicemente dalla sua dotazione in principi nutritivi (fertilità chimica), ma soprattutto dalla sua capacità di essere ospite di vita. Essere "ospite di vita" significa riuscire ad accogliere e sostenere in modo duraturo la presenza di piante, animali e microrganismi (fertilità biologica); essi per vivere hanno bisogno di un habitat ospitale e quindi occorre che il terreno sia permeabile all'aria e all'acqua, che non sia oggetto di un accumulo eccessivo di sostanze chimiche di sintesi ed infine, fornisca alimenti ricchi di carbonio, cioè sostanza organica, da cui poter ricavare energia per il proprio metabolismo.

Essere "permeabile all'aria e all'acqua" per un terreno significa non formare crosta superficiale (che si comporterebbe come un tappo), non essere compattato (asfittico, come una spugna zuppa d'acqua), ma essere, invece, formato da tante piccole zolle (aggregati di sabbia, limo,

argilla e humus), fatte a loro volta di altre zolle, nelle quali e tra le quali riesce a svilupparsi una rete di canali, piccoli e grandi, fondamentale per permettere il deflusso dell'acqua caduta in eccesso, la circolazione dell'aria (che, tra i vari composti, contiene ossigeno, azoto e anidride carbonica), la ritenzione dell'acqua e la sua risalita per capillarità (fertilità fisica).

Non essere oggetto di un accumulo di sostanze chimiche di sintesi, dovuto all'impiego eccessivo e a volte ingiustificato di diserbanti, di concimi a pronto effetto e di antiparassitari, significa evitare possibili effetti nocivi sulle popolazioni di numerose specie di organismi terricoli e, di conseguenza, sulla biodiversità.

Il terreno è, infatti, un grande organismo vivente in cui la cooperazione tra specie (piante, animali e microrganismi terricoli) dovrebbe prevalere su fenomeni di competizione che invece risultano preponderanti laddove l'agroecosistema è stato eccessivamente semplificato (una sola coltura, un unico grande campo, un unico raccolto).

La cooperazione implica azioni che promuovano la diversità delle specie presenti nel campo coltivato, sopra e sotto la superficie del terreno. La complessità del sistema non è costituita semplicemente dal numero di specie presenti, ma soprattutto dalla quantità di interazioni che si creano tra di loro. Ciò che nella pratica agricola dovrebbe essere promosso è, dunque, la formazione e il mantenimento di una fitta rete di interazioni fra organismi viventi. Infatti, la ricchezza in specie di un ecosistema, lo porta a essere stabile; la stabilità genera fertilità e la fertilità porta abbondanza e alta qualità nelle produzioni. Per un ecosistema agrario "essere stabile" significa resistere alle sollecitazioni o perturbazioni che arrivano



La presenza di lombrichi è un segnale di vitalità del terreno.

dall'esterno (es. agenti atmosferici, cambiamenti climatici) e dal suo interno (es. popolazioni di parassiti che superano la soglia di tolleranza). La biodiversità che dovrebbe essere promossa nella pratica agricola non dovrebbe riguardare esclusivamente la presenza di organismi viventi di tipo "selvatico" (microorganismi, lombrichi, uccelli insettivori, ecc.), ma dovrebbe interessare anche le piante coltivate (biodiversità coltivata) in merito al numero di specie e di varietà presenti nel campo.

Perché è così importante la biodiversità? Affinché l'agro-ecosistema sia stabile e la pratica agricola sostenibile, dovremmo avvicinarci il più possibile a quello che da milioni di anni accade negli ecosistemi naturali, dove ogni funzione è sostenuta dalla presenza di più specie e ogni specie svolge più funzioni. Spostandoci nel settore agricolo (dove gli ecosistemi sono artificiali perché manipolati dall'uomo) la funzione di "protezione del terreno" dalla formazione di crosta e dall'erosione può essere realizzata da tutte quelle pratiche che favoriscono una copertura continua del suolo e che aumentano il contenuto in humus del terreno. Ad esempio: impostare un avvicendamento serrato fra colture da reddito ed erbai da sovescio o colture foraggere, oppure consociare specie arboree e specie erbacee (in sistemi produttivi

basati sulla policoltura), o usare pacciamatura in foglie, paglia o film plastici biodegradabili, nelle colture orticole e arboree.

Per spiegare come "una specie dovrebbe svolgere più funzioni" prendiamo come esempio la coltivazione del trifoglio consociato al frumento con la tecnica della bulatura. In questa tecnica il trifoglio svolge un lavoro a diversi livelli: arricchisce il terreno d'azoto, migliora la macroporosità grazie al robusto apparato radicale fittonante e così favorisce lo sgrondo dell'acqua caduta in eccesso e l'arieggiamento del terreno, compete con le erbe accompagnatrici del frumento; il suo particolare apparato radicale, inoltre, esplora volumi di terreno non interessati dalle radici del frumento, produce abbondanti residui colturali che, decomposti ed elaborati dagli organismi terricoli, danno origine a humus; al momento della fioritura attira molte api, riesce a creare un cotico sufficientemente fitto da proteggere il terreno dall'erosione e dalla formazione di crosta superficiale causate dall'azione battente delle piogge.

Le pratiche della consociazione e dell'avvicendamento sono alla portata di tutti gli agricoltori e utili per progredire nel cammino di un'agricoltura più sostenibile.



Trifoglio violetto bulato su frumento.



Sovescio di orzo e trifoglio incarnato.

2. LA FERTILITÀ FISICA, CHIMICA E BIOLOGICA

Lo studio della fertilità del suolo nel Progetto Biodemo

L'agricoltura intensiva ha permesso l'aumento dei raccolti ma ha anche introdotto severi problemi ambientali (perdita di fertilità dei suoli, inquinamento delle falde e delle acque superficiali, aumento dei consumi energetici, perdita della biodiversità), dimostrandosi insostenibile.

Un suolo fertile fornisce gli elementi essenziali alla crescita delle piante, sostiene una diversa e attiva comunità biotica, esibisce una struttura tipica e permette un giusto equilibrio tra decomposizione e accumulo di sostanza organica (Mader *et al.*, 2002). I sistemi di coltivazione biologica dei terreni rappresentano un'alternativa alle tecniche convenzionali, perché potenzialmente più efficaci nell'aumentare e conservare la dotazione di sostanza organica del suolo, fondamentale per il mantenimento della fertilità.

Elemento chiave nella perdita di fertilità dei suoli, negli ultimi decenni, è stato il graduale processo di erosione della sostanza organica di un'agricoltura divenuta sempre più dispendiosa d'energia e poco attenta alla ricostituzione delle riserve di humus.

Tutti gli agricoltori dovrebbero preoccuparsi di salvaguardare la fertilità del terreno, dalla quale dipende la possibilità di produrre in modo soddisfacente e con rese stabili. Inoltre, la sempre maggior difficoltà nel reperire sostanza organica di buona qualità (es. letame privo di residui farmaci a uso veterinario, compost esente da metalli pe-

santi) e la ancora maggior difficoltà di creare un ciclo energetico virtuoso all'interno dell'azienda agricola, combinando produzioni vegetali con produzioni animali, sono alcune tra le motivazioni che hanno stimolato l'avvio di un'indagine sui vari aspetti della fertilità, sui metodi per monitorarla, sulle tecniche per mantenerla.

Con questa ottica è stata impostata una prova sperimentale e dimostrativa presso il Centro Sperimentale Ortofloricolo 'Po di Tramontana' situato a Rosolina, nel Delta del Po, che dal 2000 sta dedicando una porzione aziendale alle prove sperimentali di basso impatto e in particolare di orticoltura, seminativi, erbai da sovescio o da foraggio gestiti con tecniche di agricoltura biologica. Questo studio costituisce una delle azioni del Progetto BIODEMO (nell'ambito del Piano Regionale di intervento per il rafforzamento e lo sviluppo dell'agricoltura biologica, D.G.R. 4184/2006) ed è stato ideato con i seguenti obiettivi:

- 1) rilevare i cambiamenti indotti dall'adozione di pratiche di agricoltura biologica su alcuni parametri legati alla fertilità biologica e chimica del terreno (es. attività enzimatica, caratterizzazione dei composti umici) e alla fertilità fisica (es. densità apparente, stabilità degli aggregati);
- 2) rilevare l'attitudine che questi parametri potrebbero avere nel monitorare le variazioni della fertilità stessa, anche nel breve periodo (2 anni), in relazione



La complementarità tra produzioni animali e vegetali permette di mantenere un bilancio positivo della sostanza organica nell'azienda, dal quale trae beneficio anche la fertilità del suolo. (Foto Azienda Marcolini, Baone - PD)

all'andamento stagionale del clima e al diverso tipo di avvicendamento.

La prova sperimentale del Progetto Biodemo, al Centro 'Po di Tramontana' è stata pensata per rispondere ad alcune sollecitazioni poste da parte del mondo agricolo e ad alcune richieste che sempre più frequentemente ci vengono poste dagli agricoltori biologici e convenzionali, come ad esempio: le tecniche colturali che stiamo adottando, stanno facendo perdere fertilità al terreno? Nei nostri campi, si sta formando crosta superficiale con

più facilità? Il terreno si compatta più spesso? Il terreno trattiene meno acqua rispetto a una volta? Come possiamo sapere se la fertilità migliorerà o peggiorerà negli anni a venire? Siamo in grado di coltivare in modo che il contenuto in humus del terreno migliori nel tempo? È anche grazie a questi stimoli che è nato un filone di ricerca nell'ambito delle attività sperimentali del settore biologico e che vede ogni anno tecnici e agricoltori del Veneto e da tutta Italia, partecipare alla giornata tematica sulla fertilità del suolo con l'intento di approfondire di volta in volta le sue innumerevoli sfaccettature.



Colture di radicchio e finocchio consociate ad erba medica al Centro 'Po di Tramontana'.



La formazione di crosta superficiale è un esempio di perdita di fertilità del terreno.

3.1 La fertilità chimica

Nell'ambito della fertilità chimica sono stati presi in considerazione i principali parametri di fertilità dei terreni (granulometria, pH, capacità di scambio cationico, contenuto di elementi nutritivi, ecc.), per verificare le condizioni di partenza e poterle confrontare con quelle di fine prova. Grande rilievo è stato dato allo studio della sostanza organica del suolo, costituita da molecole più o meno complesse e che si originano dall'interazione tra componenti biotiche e abiotiche del suolo.

La sostanza organica presente nel terreno e la suddivisione in frazioni

Processo di umificazione e mineralizzazione

La sostanza organica del terreno è costituita dai residui vegetali e animali in fase di più o meno avanzata decomposizione, da cellule e tessuti di organismi viventi e da altre sostanze di origine biologica di varia complessità e natura; l'elemento chimico di cui è costituita per la maggior parte è il carbonio.

Il carbonio organico è, secondo molti autori, elemento di partenza per dare un giudizio sulla fertilità di un suolo ed è, tra l'altro, un dato necessario per determinare la capacità di scambio cationico (C.S.C.), la densità e la capacità di ritenzione idrica del terreno e può essere usato come indicatore della qualità di un suolo. Tuttavia il solo contenuto in carbonio organico dice poco sulla effettiva rilevanza di questo sulle caratteristiche strutturali del suolo (porosità, capacità di circolazione dell'aria, tenacità, attitudine al riscaldamento, conducibilità idrica, stabilità, dimensioni e mobilità degli aggregati).

Importantissima per la fertilità del terreno è quella frazione di sostanza organica presente sotto forma di sostanze umiche. Le sostanze umiche (o humus) sono un

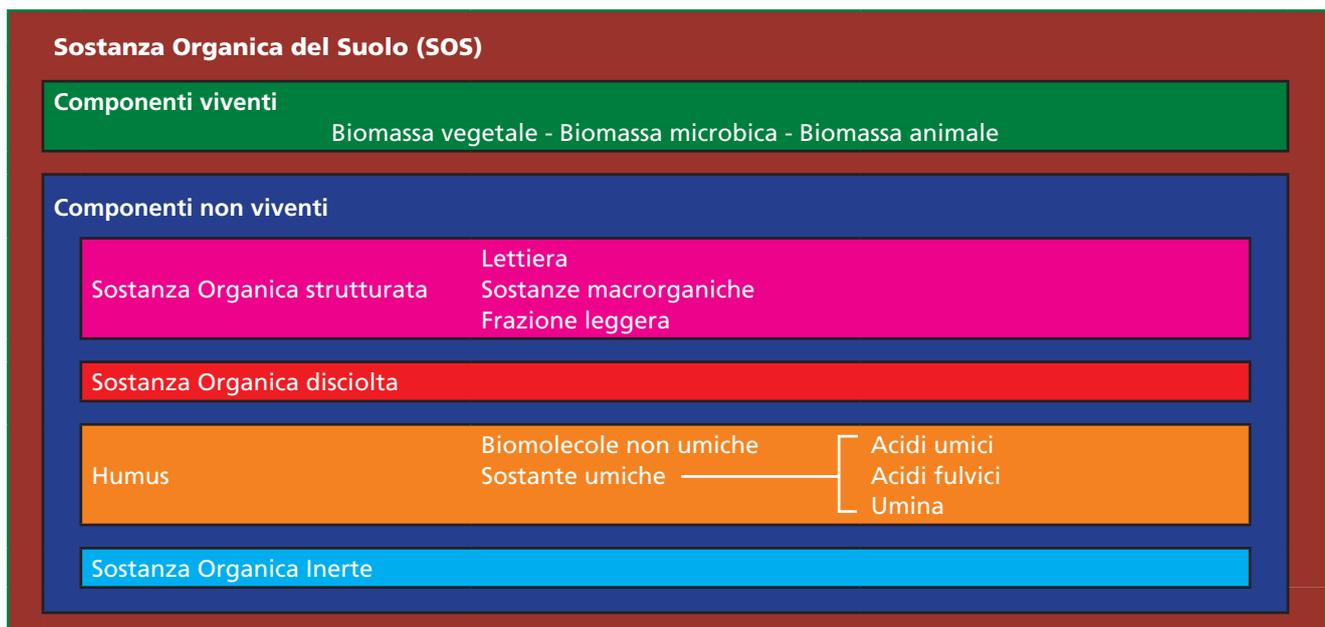
particolare prodotto delle trasformazioni bio-chimiche dei composti organici che pervengono al terreno con i residui vegetali e animali.

In altre parole, esse sono un complesso di sostanze di origine naturale costituite in parte dai prodotti di decomposizione della sostanza organica di partenza, in parte dalla sintesi di nuovi composti.

Il processo di trasformazione che parte dai residui vegetali per arrivare alla formazione di sostanze umiche è anche mediato da numerosi organismi terricoli collegati da una rete trofica (lombrichi, insetti terricoli, funghi, batteri, ecc.), che contribuiscono a formare un insieme complesso, come un grande organismo vivente in continua evoluzione.

Il processo di formazione delle sostanze umiche (umificazione) consiste nella formazione di sostanze a elevato peso molecolare, tramite processi di re-sintesi e neogenesi a partire dalle sostanze che compongono i residui animali e vegetali che si accumulano nel suolo. Tra le teorie formulate per chiarire i processi biochimici che portano alla formazione delle sostanze umiche del suolo, quella più accreditata è che la lignina, non completamente degradata dai microrganismi, costituisca la parte fondamentale dei composti umici presenti nel suolo.

Contemporaneamente al processo di umificazione avviene quello della mineralizzazione che, attraverso l'attività microbica, decompone le sostanze più complesse (proteine, cellulosa, ecc.) e le trasforma in sostanze inorganiche semplici (anidride carbonica, acqua, ammoniaca, ecc.). La velocità di degradazione della sostanza organica di partenza dipende dalle condizioni ambientali (temperatura, presenza di acqua e ossigeno, assenza di composti tossici, ecc.) e dalla resistenza alla degradazione del materiale di cui è formata la sostanza organica.



Schema della suddivisione della sostanza organica del suolo.

Serenella Nardi, Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, Università degli Studi di Padova.



Gli erbai da sovescio sono una valida opportunità per ricostituire le riserve di humus, laddove non è possibile usare letame o compost (erbaio di favino e avena a sinistra e operazione di interramento di un sovescio primaverile con vangatrice a destra).

Il ciclo della sostanza organica nel suolo



Che si coltivi o meno, nei nostri climi, ogni anno una piccola parte delle sostanze umiche presenti nel terreno è lentamente degradata (mineralizzata) dai microrganismi liberando principi nutritivi (sostanze minerali). Allo stesso tempo, la dotazione in sostanze umiche del terreno può essere rimpinguata a partire dagli apporti organici esterni (residui colturali, fertilizzazioni con compost, letame, erbai da sovescio, ecc.).

Se la quantità di humus che viene mineralizzata non è compensata da quella che si forma, ci sarà un impoverimento del sistema e, di conseguenza, la coltivazione del terreno diventerà non più sostenibile e richiederà apporti energetici sempre più elevati (circolo vizioso).

Quando si parla di sostanze umiche, generalmente s'intende la somma di acidi umici e fulvici. Infatti, la procedura d'estrazione classica delle sostanze umiche dal suolo produce due frazioni principali: gli acidi umici, anche definiti come frazione ad alto peso molecolare; gli acidi fulvici, anche definiti come frazione a basso peso molecolare.

La formazione delle due frazioni è in funzione del tempo; gli acidi fulvici si formano prima degli acidi umici

che, invece, sono più complessi e pesanti. Attraverso determinate analisi di laboratorio, basandosi sulla quantità e sui pesi delle componenti umica e fulvica, si può sapere quanto humus c'è e quanto resistente (stabile) alla degradazione microbica esso sia.

La sostanza organica del suolo, quindi, da un lato rappresenta il risultato dei processi legati all'evoluzione del terreno, dall'altro è in grado di influenzare e migliorare i parametri della fertilità.

Principali caratteristiche e proprietà delle sostanze umiche:

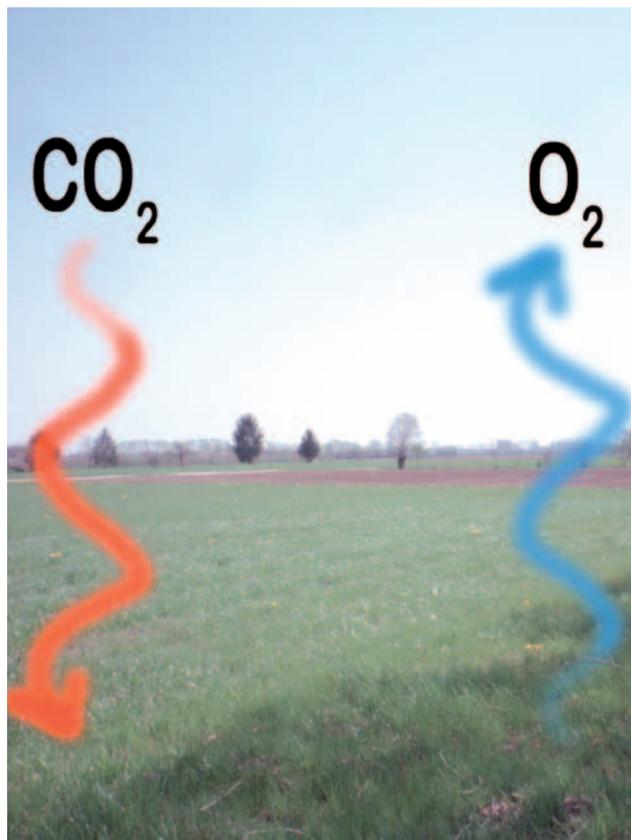
1. hanno un colore che varia dal marrone scuro al nero;
2. sono in grado di trattenere molto efficacemente l'acqua e i principi nutritivi perché hanno un'elevata capacità di scambio cationico (maggiore rispetto a quella delle argille);
3. contribuiscono fortemente alla capacità di un suolo di formare aggregati fra le particelle che lo compongono (sabbia, limo, argilla) permettendo la formazione di zolle che sono soffici, ricche di pori e facili da lavorare;
4. sono formidabili nel conferire stabilità agli aggregati rispetto alle sollecitazioni meccaniche esterne (pioggia, vento, passaggio delle macchine agricole, irrigazioni mal eseguite, ecc.);
5. sequestrano CO₂ perché contengono il 58% di carbonio (in peso), valore che è più elevato rispetto a quello delle piante (44%), e perché sono più resistenti alla degradazione microbica rispetto al materiale di partenza;
6. contengono carbonio e azoto in proporzione di circa 10 : 1 (peso su peso);
7. costituiscono una fonte d'energia per lo sviluppo di diversi gruppi di microrganismi e, nel corso della loro decomposizione, rilasciano principi nutritivi assimilabili dalle piante;
8. non si trovano in condizioni statiche, ma dinamiche, formandosi di continuo a partire da residui vegetali e animali ed essendo decomposte di continuo dai microrganismi.



La penuria di humus non riesce a proteggere la struttura della zolla che, immersa nell'acqua, si disgrega: il terreno tenderà a formare facilmente crosta superficiale, ad erodersi, a compattarsi.



L'elevata presenza di humus impedisce la deformazione della zolla a seguito dell'immersione in acqua; la struttura è stabile: le zolle hanno un'elevata capacità di resistere alle sollecitazioni di pioggia, vento, calpestio.



La copertura prolungata del terreno, realizzata anche con sovesci intercalari, consente di sequestrare CO₂ grazie alla buona resa in humus.

Dimensione molecolare apparente dei composti umici

La gel filtrazione degli estratti umici ci permette di fare una valutazione qualitativa sul tipo e sull'evoluzione delle sostanze umiche nei terreni analizzati. Le sostanze vengono divise in frazioni a diverso peso molecolare, in cui quelle ad alto peso indicano suoli maturi e con elevata attività biologica, quelle a peso molecolare intermedio sono tipiche di suoli in cui il processo di umificazione è ostacolato, mentre la frazione a basso peso molecolare caratterizza le sostanze umiche di neosintesi che debbono ancora subire il processo di policondensazione e trasformarsi in sostanze a elevato peso molecolare.

I fenomeni che caratterizzano queste trasformazioni si riferiscono normalmente a orizzonti temporali del medio e lungo periodo, vale a dire nelle nostre condizioni, circa 10-15 anni.

In particolare, le sostanze umiche ad alto peso molecolare sono più stabili rispetto alle altre e sono caratterizzate da maggior capacità di ritenzione idrica e maggior capacità di scambio cationico.

La composizione percentuale delle tre frazioni delle sostanze umiche è stata spesso adottata come indicatrice dell'evoluzione dei composti umici dei suoli (De Nobili & Chen, 1999) e dalla sua analisi è possibile trarre utili indicazioni in merito alla buona o cattiva gestione delle lavorazioni, delle concimazioni, degli interventi antiparassitari, degli avvicendamenti.

3.2 La fertilità fisica

Massa volumica (o densità) apparente e resistenza alla penetrazione

La **struttura del terreno** può essere definita come la complessa proprietà legata alla disposizione spaziale delle particelle elementari e all'intensità e distribuzione dei legami che le tengono unite o, più semplicemente, come la capacità del suolo di formare aggregati fra le particelle che lo compongono (sabbia, limo, argilla, sostanza organica).

Hillel (1998) rileva che la struttura del terreno è un concetto qualitativo, ovvero una proprietà che difficilmente si riesce a quantificare "per sé" (infatti, spesso, nel parlare comune, si dice che un terreno ha una buona, o cattiva, struttura). I metodi adottati per caratterizzarla sono pertanto indiretti, basati sulla misura di caratteri fisici che si suppone siano a essa correlati.

La **massa volumica apparente** (o densità apparente - d.a.) è, tra le proprietà fisiche, quella più intimamente legata alla struttura del suolo. Essa viene definita dal rapporto tra la massa della terra fine (particelle con diametro inferiore ai 2 mm) essiccata a 105 °C e il suo volume apparente (volume dei solidi + volume degli spazi vuoti).

I valori assunti da questa proprietà sono, inoltre, correlati alla porosità (*por*), ovvero alla percentuale del volume di terreno non occupato dal materiale solido; maggiore è la porosità, minore sarà la densità apparente.

La **porosità**, e quindi indirettamente la densità apparente, hanno un'importanza fondamentale nel condi-

zionare la fertilità del terreno, influenzando la ritenzione idrica, il trasporto dell'acqua e dei principi nutritivi (soluzione circolante), la circolazione dei gas (ossigeno, anidride carbonica, azoto elementare, ecc.) e del calore. Ai valori assunti dalla densità apparente è legata, inoltre, la capacità delle radici di penetrare meccanicamente il terreno: molti studi hanno dimostrato come la crescita dell'apparato radicale sia inversamente proporzionale allo stato di compattamento del suolo e, di conseguenza, ai valori di densità apparente.

In realtà, la presenza di macropori (es. crepe, gallerie scavate dalla fauna terricola, ecc.) rappresenta una via preferenziale di penetrazione delle radici, le quali possono pertanto approfondirsi anche in condizioni di elevato compattamento.

La **resistenza alla penetrazione**, calcolata secondo la normativa ASAE S313.2, è un metodo che fornisce una indicazione globale sulle caratteristiche di resistenza del suolo e del suo stato di compattamento.

La resistenza alla penetrazione condiziona la scelta degli attrezzi, la potenza necessaria, i risultati attesi dalle lavorazioni e influisce sulla capacità di ingrossamento degli organi sotterranei delle piante (radici, tuberi, rizomi, ecc.).

Essa dipende da: **a)** tipo di suolo (es. tessitura, tipo di argilla); **b)** densità apparente; **c)** struttura **d)** contenuto idrico.

A parità di tipo di suolo, la resistenza è correlata positivamente con la densità apparente e negativamente con il contenuto idrico. Il contenuto idrico interagisce anche con il tipo di struttura, nel senso che l'effetto indotto



Prelievi di campioni di terreno al centro 'Po di Tramontana' per la stima della densità apparente (metodo del carotatore manuale).

dall'acqua è più pronunciato nei suoli strutturati (es. argillosi) rispetto a quelli astrukturati (es. suoli sabbiosi). A parità di contenuto idrico e densità apparente, inoltre, la resistenza tende ad aumentare con il contenuto di argilla e a diminuire con quello di sabbia.

Stabilità strutturale degli aggregati

Lo **stato di aggregazione** del suolo è la caratteristica in base alla quale le particelle elementari del terreno (sabbia, limo e argilla) si articolano in strutture più complesse (aggregati o grumi).

Tra i fattori che influenzano positivamente lo stato di aggregazione del terreno si ricorda la sostanza organica che, grazie alle sue caratteristiche chimiche, funge da elemento legante fra le particelle minerali del suolo permettendo la formazione del complesso argillo-umico. Essa, inoltre, protegge la superficie del suolo dall'azione della pioggia e riduce la rottura per scoppio degli aggregati (*slaking*), conferendo caratteristiche idrofobiche (repellenza all'acqua) agli aggregati. Suoli più o meno maturi, definiti grazie alla caratterizzazione degli estratti umici (frazioni ad alto o basso peso molecolare), possono perciò essere descritti anche sulla base delle proprietà strutturali associate alla sostanza organica.

Riassumendo, la **sostanza organica** influisce sulla stabilità in tre modi: **a)** aumenta l'idrorepellenza degli aggregati; **b)** aumenta la stabilità dei legami; **c)** aumenta l'ultra microporosità degli aggregati (es. pori con diametro di 0,1-5 μm), rallentando conseguentemente la velocità d'imbibizione. Quest'ultima azione è meno nota ed è oggetto di studi recenti.



Misurazione in campo della "resistenza alla penetrazione" del terreno (mediante penetrometro manuale).

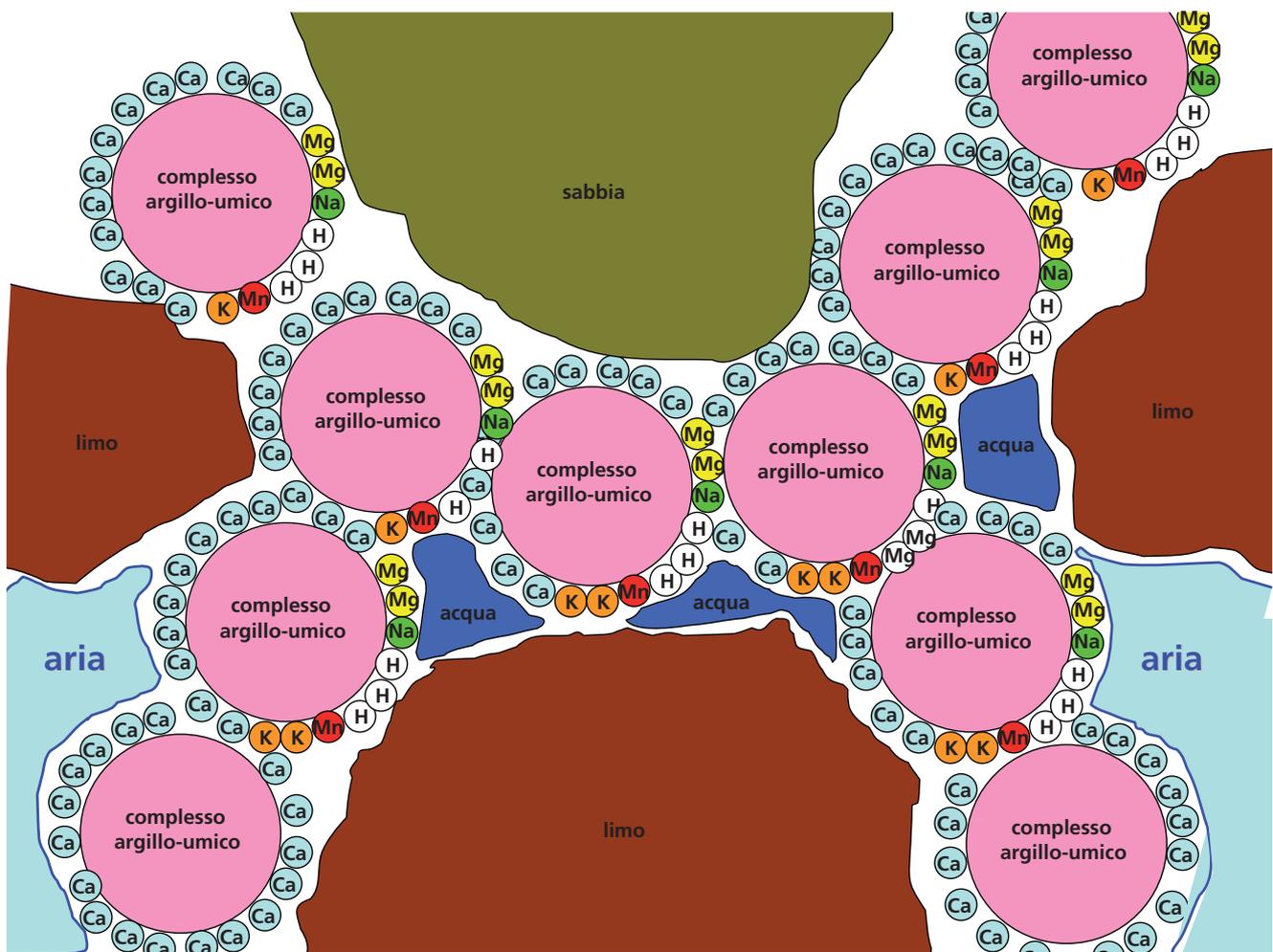
L'effetto della sostanza organica può essere descritto in termini di magnitudine e durata. Ad esempio, le mucillagini batteriche hanno un'elevata magnitudine, ma una durata di qualche giorno o settimana, al massimo. All'opposto, le sostanze umiche hanno una magnitudine inferiore, ma un effetto che può durare per anni. È molto probabile che l'effetto di idrorepellenza sia caratterizzato da una elevata dinamicità, dovuta alle condizioni di umidità degli aggregati (es. sarà di entità modesta se l'aggregato è già umido), mentre quello dovuto alla stabilità dei legami sia più costante e indipendente dalle condizioni di campo.

La **composizione granulometrica** è il secondo fattore in ordine di importanza che origina l'azione "cementante" degli aggregati e, nello specifico, la presenza di particelle colloidali argillose, le quali possono formare complessi argillo-umici.

La **prevalenza di ioni** divalenti (es. Mg^{2+} e Ca^{2+}) e trivalenti (es. Al^{3+} e Fe^{3+}) rispetto ai monovalenti (es. K^+ e Na^+) influisce, infine, positivamente sulla stabilità dei legami strutturali.

La **stabilità di struttura**, oltre ad avere un'influenza diretta sulle proprietà idrauliche del suolo, è anche intimamente associata alla dinamica del carbonio del suolo e al suo sequestro. Date le sue molteplici implicazioni nei processi fisici, chimici e biologici, la stabilità di struttura è considerata un parametro chiave per definire lo stato di salute e la qualità del suolo.





Senza ioni fortemente elettropositivi il complesso argillo-umico si forma con più difficoltà e la struttura del terreno è debole.



Un terreno con bassa stabilità della struttura è più facilmente soggetto all'erosione idrica.

3.3 La fertilità biologica

Le attività enzimatiche del suolo

Gli effetti delle tecniche di coltivazione biologica sulla fertilità del suolo possono essere valutati sotto diversi punti di vista. Poiché l'agricoltura biologica si basa soprattutto sull'incorporazione di residui organici nel suolo (sinonimo di "agricoltura biologica" non a caso è "agricoltura organica"), i parametri dell'evoluzione dei composti organici e i livelli di attività degli enzimi responsabili della loro degradazione possono fornire importanti indizi sullo stato di benessere/fertilità dell'ecosistema suolo.

Gli enzimi idrolitici presenti nel suolo sono numerosi e sono accomunati dal catalizzare reazioni degradative in ambienti acquosi: essi rendono disponibili i nutrienti alle piante e ai microrganismi a partire da un ampio spettro di substrati complessi. La loro attività è influenzata da numerose proprietà del suolo come il pH, il contenuto e la struttura della sostanza organica e anche la tecnica colturale. Per ottenere un'indicazione dello stato di salute del terreno non è corretto concentrare le proprie attenzioni su un solo enzima, ma è necessario prendere in esame un insieme di attività enzimatiche.

Gli enzimi possono avere diverse locazioni nel suolo potendo essere associati con varie componenti biotiche e abiotiche; un enzima può essere presente all'interno di

una cellula microbica attiva o non attiva (spore batteriche, cisti, ecc.), essere attivo in una cellula microbica morta o nei residui cellulari, essere rilasciato nell'ambiente rimanendo libero nella fase acquosa o essere adsorbito dai colloidi argillosi o inglobato dalle molecole umiche. Si ritiene che l'attività di enzimi presenti nelle cellule non attive, quali le spore batteriche, sia del tutto trascurabile; anche gli enzimi presenti nella fase acquosa è probabile che non contribuiscano all'attività enzimatica del suolo perché immediatamente degradati dalla microflora tellurica. Invece, si ritiene che gli enzimi adsorbiti dai colloidi argillosi o associati ai composti umici diano un contributo sostanziale all'attività enzimatica del suolo.

Ureasi

L'ureasi catalizza l'idrolisi dell'urea in ammoniaca e anidride carbonica. Tale reazione di idrolisi porta alla trasformazione di azoto ureico in azoto ammoniacale e un concomitante innalzamento del pH dell'ambiente. Questo, a sua volta, causa una rapida perdita di azoto attraverso la volatilizzazione dell'ammoniaca. L'attività di questo enzima è influenzata da vari elementi. Questi includono la storia produttiva e la gestione del suolo, il contenuto di sostanza organica, la profondità del suolo e fattori ambientali come la temperatura. Generalmente l'attività aumenta all'aumentare del contenuto di carbonio organico e della temperatura mentre diminuisce con la profondità del suolo.



Campionamento del terreno mediante trivella (primo strato fino a 25 cm) per l'analisi delle attività enzimatiche.

Proteasi

Si tratta di un gruppo di enzimi prodotti da piante, animali e microrganismi del suolo coinvolti nella prima reazione della sequenza metabolica responsabile della trasformazione dell'azoto proteico in azoto ammoniacale, regolando quindi anche la quantità di azoto disponibile alla crescita delle piante.

Questo enzima nel suolo è generalmente associato alle sostanze umiche e alle argille. La sua attività è indicativa della capacità biologica del suolo per la conversione enzimatica del substrato e i prodotti della proteasi potrebbero anche avere un ruolo importante nell'ecologia dei microrganismi del suolo.

Fosfatasi

Il termine fosfatasi viene utilizzato per descrivere un gruppo di enzimi responsabili della liberazione di fosfato inorganico. Nell'ecosistema questi enzimi giocano un ruolo chiave nella mobilità e nella disponibilità del fosforo come nutriente. Tali enzimi vengono prodotti dai microrganismi del suolo, dai funghi micorrizici e dalle radici delle piante anche in funzione della disponibilità di fosfato.

L'attività fosfatasica di un suolo è dovuta sostanzialmente alle fosfomonoesterasi, alle fosfodisterasi e alle pirofosfatasi.

L'attività delle fosfomonoesterasi sono state frequentemente utilizzate per stimare cambiamenti della qualità dei suoli a seguito di gestioni differenti o per la presenza di contaminanti. Le fosfodiesterasi e soprattutto le pirofosfatasi presentano livelli di attività molto inferiori rispetto a quelli delle fosfomonoesterasi e non sempre sono prese in considerazione in relazione ai parametri della qualità del suolo. Nel suo complesso, però, l'attività fosfatasica dei suoli appare correlata con il contenuto di sostanza organica del suolo e risulta cambiare in funzione della gestione dei suoli.

β -glucosidasi

La β -glucosidasi idrolizza la cellulosa a glucosio. La cellulosa è quantitativamente il composto organico più abbondante nella lettiera vegetale, costituendo dal 40 al 70% della biomassa totale. La sua decomposizione e mineralizzazione è un processo fondamentale nel ciclo del carbonio. Il prodotto finale della degradazione della cellulosa è il glucosio che rappresenta una fonte di energia rapidamente disponibile e perciò viene rapidamente assorbito dai microrganismi.

La β -glucosidasi del suolo è principalmente prodotta dai funghi del terreno, ma ci sono evidenze che suggeriscono che una frazione significativa della sua attività enzimatica nel suolo dipende da enzimi escreti nella soluzione circolante o fissati sulle superfici dei minerali argillosi e dei composti umici.

Poiché la completa decomposizione della cellulosa è mediata dalla β -glucosidasi, che catalizza il passaggio limitante del cammino di degradazione, questo enzima è considerato come la chiave della degradazione dei carboidrati nel suolo ed è stato proposto come indicatore del ricambio della biomassa e come indicatore della qualità del suolo.

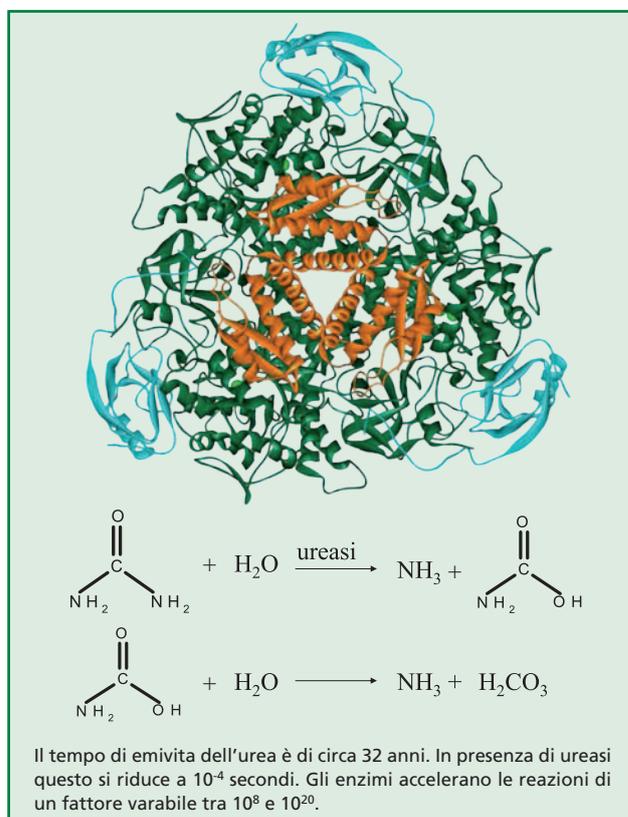
Deidrogenasi

L'attività deidrogenasica globale del suolo è la sommatoria delle attività di varie deidrogenasi, che sono parte integrante dei sistemi enzimatici di tutti i microrganismi. Si ritiene che la deidrogenasi esista come parte integrante delle cellule intatte ma che non si accumuli nel suolo al di fuori delle cellule. Poiché è presente in tutte le cellule microbiche viventi e fa parte dei cammini della respirazione nei microrganismi del suolo, questo enzima è considerato come un indicatore dei sistemi microbiologici ossidoriduttivi (redox) e la sua attività è ritenuta una buona stima dell'attività microbica ossidativa del terreno.

Fluorescina DiAcetato (FDA) Idrolasi

L'idrolisi della Fluoresceina DiAcetato (FDA) è ampiamente accettato come un semplice ed accurato metodo per misurare l'attività microbica totale di una serie di campioni ambientali, compresi i suoli. La FDA è un composto incolore della fluoresceina che viene idrolizzato sia dagli enzimi liberi che da enzimi legati alle membrane, rilasciando un composto colorato, la fluoresceina. Gli enzimi responsabili di questa reazione sono numerosi nel suolo (es. esterasi non specifiche, proteasi, lipasi) e sono coinvolti nella decomposizione di vari tessuti.

Il metodo dell'FDA si correla anche bene con alcune delle più accurate tecniche di misura della biomassa microbica come il contenuto di ATP e gli studi di densità cellulare. Questo metodo è stato inoltre applicato in precedenza allo studio degli effetti dell'applicazione del compost e come indicatore della qualità dei suoli.



Rappresentazione dell'ureasi microbica da *Bacillus pasteurii*. Serenella Nardi, Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, Università degli Studi di Padova.

La fauna terricola

I LOMBRICHI

Fra tutti gli animali terricoli, i lombrichi sono quelli meglio conosciuti e riconoscibili; sono anche considerati fra i più importanti promotori della fertilità, al punto da essere denominati anche "i re del terreno".

Nonostante ogni individuo sia dotato di organi sessuali maschili e femminili, per la riproduzione è necessario l'accoppiamento. Ognuno degli esemplari che si accoppiano depone 15 o più uova in un bozzolo nel terreno; dalle uova nascono i giovani lombrichi che dopo 3-4 mesi raggiungono già la maturità sessuale e possono così riprodursi. Considerato che alcuni lombrichi possono vivere fino a 15 anni, questo spiega la loro capacità di dare origine a grandi popolazioni.

I lombrichi sono un efficiente gruppo di organismi terricoli. Charles Darwin che li studiò a lungo, sosteneva che ogni particella di terreno, prima o poi, sarebbe passata attraverso l'intestino di un lombrico. Aristotele scrisse "i lombrichi sono gli intestini del terreno". Infatti questi animaletti si nutrono ingerendo frammenti di materiale vegetale, letame, compost, residui colturali; prima di raggiungere l'intestino, nel primo tratto dell'apparato digerente, il cibo viene tritato in piccoli frammenti grazie all'azione abrasiva di particelle di terreno precedentemente ingerito, che spinte dai muscoli del lombrico vengono ripetutamente trascinate contro l'alimento,



I terreni ricchi di sostanza organica fresca (radici, residui vegetali) sono molto apprezzati dai lombrichi.



Canale scavato da un lombrico.

frantumandolo. Dopodiché il cibo passa nell'intestino dove avvengono i processi di assorbimento dei nutrienti; i lombrichi non sono in grado di produrre gli enzimi necessari alla liberazione dei principi nutritivi dall'alimento e per questa funzione fanno affidamento sull'attività di batteri, ingeriti col cibo. La porzione di alimento non digerita viene eliminata con le deiezioni ed è composta di sostanza organica in fase di trasformazione, particelle di terreno e microrganismi.

Le deiezioni hanno una forma caratteristica e si chiamano "turricoli", vengono depositate sulla superficie del terreno e negli strati superficiali all'interno di grosse fessure; per l'agricoltore rappresentano un eccezionale ammendante del terreno. I turricoli sono un concentrato di principi nutritivi: rispetto al terreno di partenza, il contenuto di sostanza organica è maggiorato del 50%, il calcio è maggiore di una volta e mezza, il magnesio di tre volte, l'azoto di cinque volte, il fosforo di sette volte, il potassio di dieci volte; anche la capacità di scambio cationico è significativamente maggiore. In un terreno fertile i lombrichi possono ogni anno produrre 25-40 tonnellate di turricoli per ettaro.

In un terreno vivo e cioè permeabile all'aria e all'acqua, ricco di sostanza organica, non trattato chimicamente, poco disturbato dalle lavorazioni, si possono trovare tre gruppi di lombrichi:

a) quelli che vivono in superficie sulla lettiera in decomposizione, sul letame, sul compost (specie epigeiche);

- b) quelli che vivono nutrendosi di radici morte e che si spostano prevalentemente in senso orizzontale rispetto al profilo del terreno (specie endogeiche);
- c) quelli che si spostano in verticale, scavando gallerie lungo il profilo del terreno e che si nutrono principalmente prelevando materiale organico dalla superficie del terreno (specie aneciche); queste sono le specie che hanno il maggiore impatto sulla fertilità dei suoli, in particolare il *Lumbricus terrestris*.

Diversi studi hanno stimato che in un terreno destinato a prato stabile, possono esserci fino a 600 lombrichi/m², in un terreno con pratiche conservative (es. semina su sodo) fino a 200/m², in un terreno gestito con il metodo biologico fino a 300-350/m², in un terreno in cui si pratica l'aratura profonda 5-20/m².

I lombrichi sono, pertanto, i grandi artefici della fertilità dei suoli, svolgendo molteplici funzioni:

- 1) decompongono la sostanza organica rendendola meglio attaccabile dai microrganismi che poi provvederanno alla sintesi dell'humus e alla liberazione di principi nutritivi;
- 2) col loro particolare metodo di digestione, grazie al quale amalgamano la sostanza organica a particelle di terreno, sono i promotori della formazione del

complesso argillo-umico, "matteone" della fertilità dei suoli e fondamentale per la formazione di una buona struttura;

- 3) con le loro larghe e profonde gallerie, aumentano del 20-30% la porosità dei terreni, facilitando lo sgrondo dell'acqua in eccesso e l'arieggiamento del suolo;
- 4) le loro gallerie rappresentano per le radici vie d'accesso facilitato agli strati profondi del terreno e sono utili nella rottura della suola di lavorazione e nel decompattamento dei terreni;
- 5) muovendosi anche orizzontalmente, alcuni lombrichi sono utili nel favorire i movimenti trasversali dell'acqua nel terreno, molto vantaggiosi per il rifornimento idrico delle radici e per l'accumulo di riserve idriche nel suolo.

Lavorazioni del terreno come l'aratura e la fresatura danneggiano enormemente le popolazioni di lombrichi, distruggendone l'habitat e ferendoli mortalmente; anche l'uso di concimi a pronto effetto, diserbanti e sostanze antiparassitarie sono particolarmente nocivi in quanto alterano rapidamente e pesantemente la composizione chimica dell'ambiente in cui essi vivono, uccidendoli o facendoli migrare altrove.



Turricoli di lombrico.



Le gallerie scavate dai lombrichi hanno decompattato questa zolla; nei fori sono visibili anche alcuni turricoli.

ARTROPODI del terreno: INSETTI e MIRIAPODI

Gli artropodi sono una componente importante della fauna del suolo: infatti essi rimescolano il terreno, lo rendono permeabile all'aria e all'acqua, contribuiscono ad incorporare omogeneamente i residui colturali e i concimi organici, aiutano a ritardare la formazione della crosta superficiale e a prevenire il compattamento del terreno, mettono a contatto fra loro le particelle del terreno favorendone l'aggregazione. Essi sono una parte importante della catena alimentare che si sviluppa a carico dei residui colturali e dei concimi organici perché, assieme ai microrganismi, contribuiscono a trasformare la sostanza organica in humus e principi nutritivi per le piante.

Il grande gruppo dei **Miriapodi** si suddivide in due sottogruppi: i **Millepiedi** (o Diplopodi) e i **Centopiedi** (o Chilopodi).

Millepiedi: hanno una testa con un paio di antenne ed il corpo suddiviso in segmenti, ognuno dei quali porta due paia di zampe (per questo motivo sono conosciuti anche col nome di Diplopodi). Le specie presenti nel nostro Paese, normalmente hanno una lunghezza compresa tra i 5 e i 50 mm. Amano l'umidità e vivono negli

orizzonti superficiali del terreno nutrendosi di materiale di origine organica e sono da considerarsi degli eccellenti trituratori di residui vegetali, anche legnosi, arrivando a consumarne fino al 25% del totale; sono animali utili che raramente possono nuocere alle coltivazioni.

Centopiedi: o Chilopodi, assomigliano ai Millepiedi, ma hanno un solo paio di zampe per segmento e un apparato boccale provvisto di mandibole capaci di iniettare veleno nelle prede. Nei nostri climi la loro lunghezza varia da 5 a 100 mm. Anch'essi vivono negli orizzonti superficiali del terreno, amano l'umidità, si nutrono predando altri animaletti e cibandosi anche di residui vegetali.

Insetti terricoli: quelli più frequentemente presenti nei nostri terreni appartengono ai gruppi dei Collemboli, Coleotteri, Ditteri, Imenotteri, Lepidotteri; comprendono specie utili e specie dannose alle piante coltivate.

Fra gli insetti terricoli dannosi alle coltivazioni, segnaliamo i coleotteri elateridi, alcune specie di coleotteri scarabeidi (per esempio, il bacherozzo, *Pentodon punctatus*) e alcune specie di ditteri e di lepidotteri.

Fra gli insetti terricoli utili alle coltivazioni, segnaliamo le specie appartenenti alle famiglie degli **stafilinidi** e dei **carabidi**, predatrici di altri insetti.



Miriapode diplopode (millepiedi), 7 mm.



Adulto di *Pentodon punctatus* (coleottero scarabeide), 18 mm.

Le MICORRIZE

Nell'ambiente naturale coltivato esistono circa 6000 specie di funghi micorrizici e 240.000 specie di piante ospiti. Le micorrize sono presenti naturalmente nella rizosfera e sono costituite da associazioni simbiotiche tra alcune specie di funghi ed un gran numero di specie vegetali, a livello del loro apparato radicale. L'interazione è costituita generalmente da una simbiosi mutualistica: entrambi gli organismi traggono vantaggio dall'associazione, soprattutto a livello nutrizionale. Il fungo, grazie alle ife ed a strutture più complesse dette rizomorfe, accresce considerevolmente il volume di terreno esplorabile dalle radici della pianta, fornendo a quest'ultima acqua e sali minerali. La pianta ricambia mettendo a disposizione zuccheri e vitamine derivanti dall'attività fotosintetica.

Le principali tipologie di micorrize sono:

- le **ectomicorrize**, da cui traggono vantaggio una gran parte delle piante arboree (angiosperme e conifere), e che presentano un mantello fungino che ricopre esternamente gli apparati radicali;
- le **endomicorrize** (o **VAM**) diffuse soprattutto nelle piante erbacee, che penetrano nella radice a livello intracellulare;
- le **endo-ectomicorrize**, che presentano caratteristiche intermedie tra le prime due.

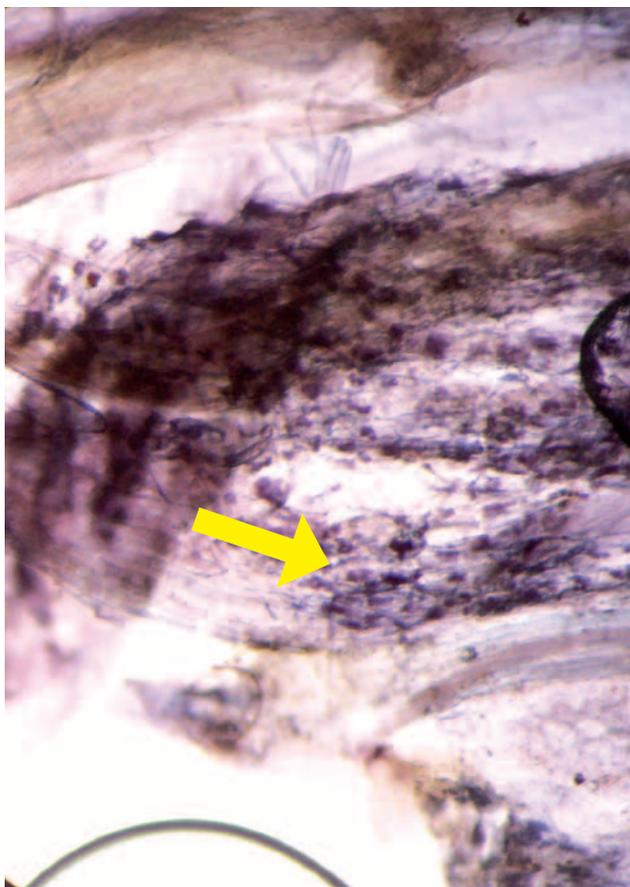


Foto al microscopio di radice di trifoglio colonizzata da endomicorrizza (la freccia mette in evidenza gli arbuscoli del fungo simbiote).

Le **endomicorrize** o **VAM** (vescicular arbuscular mycorrhiza) sono costituite dai funghi del phylum *Glomeromycota* (zigomiceti), genere *Glomales*. La caratteristica saliente di questa simbiosi è, a differenza delle ectomicorrize, la capacità da parte dei funghi di penetrare nelle cellule della pianta ospite e di produrre particolari strutture, dette arbuscoli, all'interno delle stesse cellule. Inoltre, sempre all'interno della cellula della pianta, il fungo forma delle vescicole contenenti grassi e sali minerali; proprio per questo motivo vengono chiamate "micorrize vescicolari arbuscolari".

Il processo di simbiosi inizia con la germinazione del fungo conservatosi sottoforma di spora nel terreno. Alle condizioni ottimali di temperatura e umidità, trovata la pianta ospite, il fungo entra nelle cellule dell'epidermide e nei peli radicali dell'ospite, tramite un'apprensorio. Avvenuta la penetrazione, inizia la colonizzazione del parenchima della radice: si formano gli arbuscoli che hanno breve durata (circa 15 giorni) e le vescicole. A questo livello avvengono gli scambi di sostanze tra radice e fungo. Successivamente le ife del fungo si sviluppano al di fuori della radice, aumentando in tal modo la superficie di assorbimento della stessa fino a 100-1000 volte. Le spore, che permettono al fungo di conservarsi per mesi anche in assenza di una pianta ospite, vengono prodotte dal micelio esterno. Le ife, invece muoiono dopo 2-4 settimane, qualora non trovino una nuova radice di pianta che le ospiti.

La presenza di micorrize nell'apparato radicale di una pianta, non ha solo effetti sull'assorbimento di acqua e nutrienti dal terreno, ma comporta tutta una serie di modificazioni di carattere fisiologico che ne migliorano la competitività e la tolleranza nei confronti di stress ambientali, rispetto a una pianta non micorrizzata. Tra i vantaggi di questa simbiosi mutualistica si annoverano:

- 1) l'acquisizione di nutrienti in forme difficilmente assimilabili al solo apparato radicale della pianta (es. azoto dei composti organici) e l'accumulo di nutrienti a livello delle vescicole;
- 2) maggior resistenza agli stress idrici;
- 3) maggior tolleranza ad inquinamenti da metalli pesanti;
- 4) miglioramento della struttura del terreno, anche in conseguenza dell'aumento del contenuto di sostanza organica;
- 5) prevenzione di attacchi da crittogame parassite: il fungo simbiote interagisce con gli altri funghi presenti nel terreno, tra cui i patogeni della pianta ospite, entrando in competizione per l'acqua e i nutrienti, limitandone così l'accrescimento (fenomeno della fungistasi).

Inoltre, i funghi micorrizici arbuscolari producono grandi quantità di glomalina, una glicoproteina idrofobica ricca di ferro (9%), che secondo recenti studi contribuirebbe a stabilizzare gli aggregati del terreno. Come risultato finale, le piante micorrizzate risultano mediamente più sane, meno suscettibili agli stress ambientali (stress idrici, salinità, metalli pesanti) e in grado di tollerare maggiormente alcune patologie vegetali rispetto alle piante non micorrizzate.

4. LA PROVA SPERIMENTALE AL CENTRO 'PO DI TRAMONTANA'

La prova dimostrativo-sperimentale svolta negli anni 2008 e 2009 presso il Centro Sperimentale Ortofloricolo 'Po di Tramontana', aveva come scopo il confronto di due diversi avvicendamenti di ortaggi e seminativi, ognuno dei quali è stato implementato in due versioni: una (tesi A e C) in cui le colture da reddito orticole o foraggere erano consociate con leguminose (trifoglio e pisello), un'altra (tesi B e D) in cui erano assenti le consociazioni, ma in cui era previsto un significativo apporto di sostanza organica extra-aziendale sottoforma di concimi organici pellettati. Le tesi biologiche avevano tre repliche nella zona del Centro dedicata alle prove di agricoltura biolo-

gica. In aggiunta, gli stessi rilievi sono stati effettuati per gli stessi parametri, su due diversi avvicendamenti prevalentemente a seminativo, replicati 2 volte, e coltivati con tecniche di agricoltura convenzionale (tesi E1 e E2) su appezzamenti attigui alla zona biologica.

Tutte le parcelle avevano le dimensioni di 8 m di larghezza per 31 m di lunghezza.

I campionamenti dei suoli si sono svolti nelle date di 14/03/08, 07/07/08 e 15/11/08 per il primo anno e nelle date di 15/04/09, 14/07/09 e 27/10/09, per il secondo anno.

Schema degli avvicendamenti e delle precessioni colturali (2006-2007) per le tesi biologiche e convenzionali (2008-2009)

BIOLOGICO: TESI A – TESI B

2006		2007		2008		2009	
1° sem	2° sem	1° sem	2° sem	1° sem	2° sem	1° sem	2° sem
	sovesci estivi						
		frumento					
	semina trifoglio (A) →		cavolo		← risemina trifoglio (A)		
				sorgo	← semina su sodo (A) ← semina su lavorato (B)		
					aglio		← consociato (A) ← lavorato (B)
					semina trifoglio interfila aglio (A) →		radicchio
consociazione con leguminose (A)		trifoglio		trifoglio		trifoglio	

BIOLOGICO: TESI C – TESI D

2006		2007		2008		2009	
1° sem	2° sem	1° sem	2° sem	1° sem	2° sem	1° sem	2° sem
	sovesci estivi						
		frumento					
	semina trifoglio (C) →		cavolo		← risemina trifoglio (C)		
				zucca			
					orzo		← consociato pisello (C) ← in purezza (D)
							finocchio
consociazione con leguminose (C)		trifoglio		trifoglio		pisello	

CONVENZIONALE: TESI E1 – TESI E2

2006		2007		2008		2009	
1° sem	2° sem	1° sem	2° sem	1° sem	2° sem	1° sem	2° sem
TESI E1							
	radicchio		incolto		colza		frumento
TESI E2							
	melone		incolto		colza		frumento

Tabella 4.1 - Principali caratteristiche di tessitura e composizione chimica dei terreni delle diverse tesi (Marzo 2008).

Tesi	Tessitura			pH	Conducibilità mS/cm	Calcare Attivo g/Kg	SO g/100g (%)	N Totale g/Kg
	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)					
E1	72	13	15	7,6	354	9,5	0,8	0,3
E2	61	21	19	7,7	386	22,0	1,3	0,7
A	64	16	20	7,8	463	18,3	2,2	0,8
B	73	10	17	7,7	543	18,0	1,8	0,9
C	64	15	20	7,7	458	19,7	2,0	1,1
D	70	16	14	7,7	445	27,0	1,7	1,0

Tesi	CSC	P Assimilabile (Olsen)	K Scambiabile	Ca Scambiabile	Mg Scambiabile	Na Scambiabile
	meq/100g	mg/Kg SU	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
E1	12,7	70	153	2597	173	249
E2	14,3	147	665	3536	319	180
A	14,6	108	381	4055	321	270
B	13,5	88	248	4928	293	226
C	14,8	100	352	3866	290	173
D	11,9	94	323	4323	337	243

4.1 Risultati produttivi

Tabella 4.2 - Produzioni delle diverse colture nelle tesi dell'avvicendamento in biologico nei due anni di prova.

		Più conservativa	Meno conservativa
		TESI A	TESI B
Mag-08		sorgo su sodo	sorgo su lavorato
		massa verde sovescio t/ha	massa verde sovescio t/ha
		13,03	28,72
Set-08		rottura prato trifoglio	
Ott-08	varietà	aglio (risemina trifoglio interfila) t/ha	aglio non consociato t/ha
	BIANCO DELICATO	1,31	4,38
	AVORIO	0,91	1,90
		1,11 b	3,14 a medie
Ago-09		radicchio TV precoce pacciamato	radicchio TV precoce pacciamato
	pacciamatura	peso netto grumoli t/ha	peso netto grumoli t/ha
	telo Mater-Bi 0,012 mm	13,77	14,00
	telo Mater-Bi 0,015 mm	12,94	13,11
		13,35	13,55 medie

		Più conservativa	Meno conservativa
		TESI C	TESI D
Mag-08		rottura prato trifoglio	
Mag-08	tipo di impianto	zucca IRON CAP (t/ha)	zucca IRON CAP (t/ha)
	seminata	20,81	21,02
	trapiantata	23,08	23,03
		22,17	22,03 medie
Nov-08	orzo+pisello proteico (kg seme/ha)	orzo+pisello t/ha*	orzo (180 kg/ha seme) t/ha*
	100+100	2,68 (71%+29%) ab	1,87 (100%) b
	130+70	2,81 (68%+32%) a	
	160+40	2,38 (86%+14%) ab	
Ago-09		finocchio pacciamato	finocchio pacciamato
	pacciamatura	peso netto grumoli t/ha	peso netto grumoli t/ha
	telo Mater-Bi 0,015 mm	20,94	19,86

* peso granella essiccata 24h in stufa 60 °C

Nella tabella lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

Tabella 4.3 - Concimazioni effettuate nelle diverse tesi per le colture dell'avvicendamento in biologico nei due anni di prova.

	TESI A	TESI B
Mag-08		Miscela letami pellettati 2,5 t/ha (N=2,8%,C/N=13)
Set-08	Borlanda 1,5 t/ha (3;0;6)	Borlanda 3 t/ha (3;0;6)
Lug-09		Letame pellettato bovino-equino 6 t/ha (N=1%, C/N=25)
Ago-09	Organico granulare 0,25 t/ha (N=14%)	Organico granulare 0,25 t/ha (N=14%)
	TESI C	TESI D
Mag-08		Miscela letami pellettati 2,5 t/ha (N=2,8%,C/N=13)
Set-08	Borlanda 3,0 t/ha (3;0;6)	Borlanda 3 t/ha (3;0;6)
Lug-09		Letame pellettato bovino-equino 6 t/ha (N=1%, C/N=25)
Ago-09	Organico granulare 0,25 t/ha (N=14%)	Organico granulare 0,25 t/ha (N=14%)

Esaminando la tabella dei risultati produttivi (Tab. 4.2), si può notare come aglio e sorgo da sovescio hanno prodotto meno nelle parcelle in cui erano consociati al trifoglio (tesi A), rispetto alle parcelle in cui vegetavano in purezza (tesi B). Nel caso dell'aglio, la cv. Bianco Delicato (selezione di Veneto Agricoltura) ha prodotto significativamente di più della cv. Avorio.

La coltura successiva di radicchio precoce di Treviso ha invece prodotto in modo molto soddisfacente per entrambe le tesi (A e B) senza differenze statisticamente significative. La concimazione differenziata, che ha visto per la tesi B un maggiore apporto esterno di ammendanti (miscele di letami pellettati), effettuato allo scopo di compensare l'apporto di sostanza organica dovuto al trifoglio nella tesi A, ha probabilmente contribuito a fornire maggiori produttività per le colture della tesi B, fino al momento dell'interramento della massa verde di trifoglio (che fino ad allora esercitava comunque una competizione con le colture in consociazione); dopodiché, con la coltura successiva (radicchio) le differenze si sono appianate sugli stessi livelli di fertilità e di conseguenza di produttività, sia tra le tesi (A più conservativa, B meno conservativa) che tra le due diverse pacciamature (entrambe di Mater-Bi, a base di amido di mais, con spessori di 0,012 mm e 0,015 mm).

Per quanto riguarda la coltura di zucca (tesi C, D), la rotura del prato di trifoglio era avvenuta già precedentemente al trapianto della stessa; anche in questo caso la produttività è risultata soddisfacente e simile nelle due tesi: la C trapiantata dopo l'interramento del trifoglio e la D dopo la concimazione con una miscela di letami equino-bovino-avicolo (2,5 t/ha).

La coltura successiva, costituita da orzo in purezza (tesi D) e orzo seminato in consociazione (tesi C) con pisello proteico (per uso zootecnico) ha dato in generale basse produttività, probabilmente a causa della scarsa fertilità residua dopo la coltura di zucca, anche se la consociazione con pisello ha permesso di ottenere quantitativi di granella significativamente maggiori rispetto all'orzo in purezza, in particolare con la densità di semina di 130 kg/ha di orzo e 70 kg/ha di pisello proteico; in

tutti e tre i casi delle consociazioni di orzo con pisello si sono ottenute produzioni di orzo superiori alla semina in purezza.

La coltura successiva di finocchio non ha invece fatto registrare differenze significative di produttività tra le tesi C e D, le quali si sono attestate entrambe su livelli del tutto soddisfacenti, con un leggero vantaggio per la tesi consociata, C.

4.2 Risultati dei parametri di fertilità

Presenza di endomicorrize (VAM)

La colonizzazione delle radici delle piante coltivate, da parte delle endomicorrize è stata rilevata mediante il metodo di colorazione con inchiostro e acido acetico (Vierheilig *et al.*, 1998) e calcolata come stima qualitativa mediante un indice di micorrizzazione percentuale (Trouvelot *et al.*, 1986).

La simbiosi micorrizica è risultata presente in modo consistente nelle radici di tutte le specie esaminate, compreso il trifoglio in consociazione. Per tutte le specie coltivate non sono comunque state rilevate differenze significative tra le tesi a confronto, salvo un caso, cioè la prima data di rilievo per le radici di finocchio (Fig. 4.4). A titolo di esempio, vengono illustrati gli indici di micorrizzazione di alcune delle specie prese in esame (da Fig. 4.1 a Fig. 4.4). Nel caso del finocchio, in particolare, la tesi più conservativa C aveva un indice di micorrizzazione significativamente superiore a quella corrispondente meno conservativa D; l'andamento si è ripetuto nel rilievo successivo, pur senza rilevanza statistica. Per le rimanenti specie non si è potuto appurare alcuna differenza rilevante tra le tesi, anche se in diversi rilievi si può notare una maggior presenza di simbiosi micorrizica nelle tesi più conservative (A e C), e la tendenza ad un appiattimento delle differenze nei rilievi successivi, su orzo e radicchio (Fig. 4.2, 4.3).

In tutti i casi non si è potuta tuttavia rilevare alcuna correlazione tra i parametri produttivi (peso e dimensioni delle piante analizzate) e l'indice di micorrizzazione, anche laddove (caso del finocchio) c'era una differenza tra le tesi.

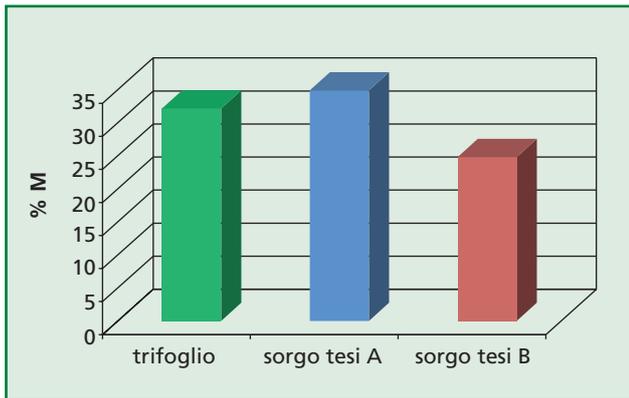


Figura 4.1 - Indice di micorrizzazione (%) delle radici di trifoglio e di sorgo nelle tesi A (consociato con trifoglio) e tesi B (non consociato) a settembre 2009.

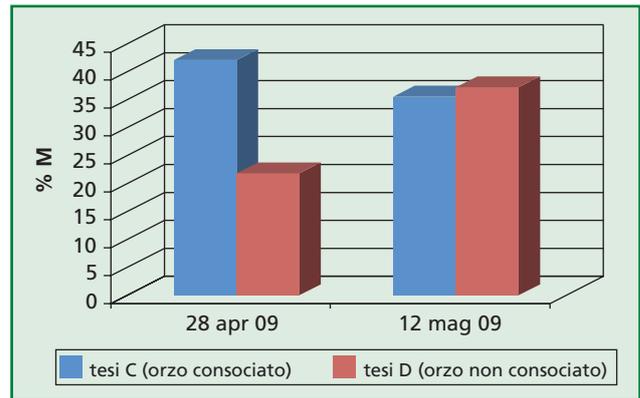


Figura 4.3 - Indice di micorrizzazione (%) delle radici di orzo nelle tesi C (consociato con pisello) e B (non consociato).

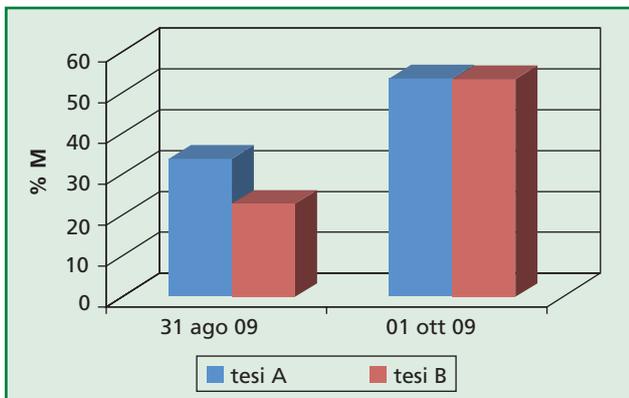


Figura 4.2 - Indice di micorrizzazione (%) delle radici di radichio nelle tesi A e B.

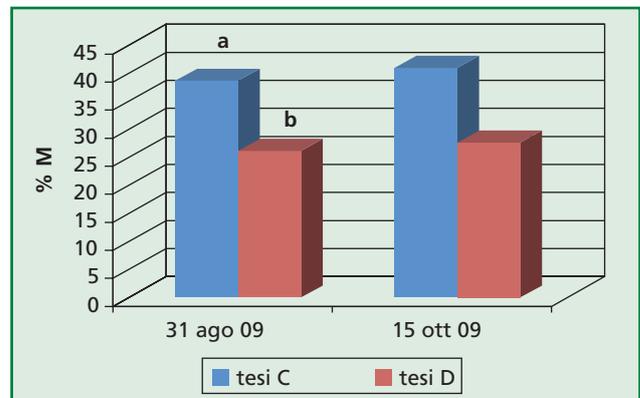


Figura 4.4 - Indice di micorrizzazione (%) delle radici di finocchio nelle tesi C e D. Nel grafico lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

Presenza di insetti e lombrichi

Il primo rilievo effettuato a marzo 2008 sulla fauna terricola evidenzia una significativa maggior presenza sia di insetti e invertebrati totali (compresi isopodi e miriapodi) sia di lombrichi nelle tesi A e C (biologiche conservative) rispetto a tutte le altre (Fig. 4.5).

Come tipologia di fauna terricola (Fig. 4.6), abbiamo riscontrato la presenza soprattutto di porcellini di terra (*Oeniscus* spp., utili nella decomposizione dei residui vegetali) e di insetti, fra i quali segnaliamo larve di ditteri tipulidi (attive nella decomposizione della sostanza organica e raramente dannose alle coltivazioni), larve ed

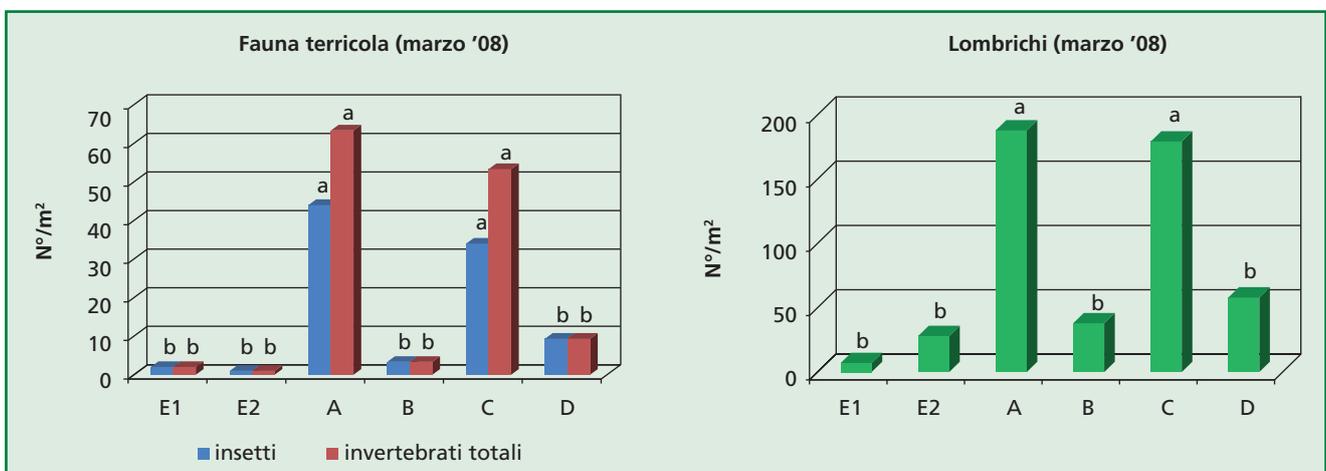


Figura 4.5 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Presenza (numero al m²) di insetti, di invertebrati totali (compresi isopodi del genere *Oeniscus* e miriapodi) e di lombrichi nel primo strato di 25 cm di terreno delle diverse tesi a marzo 2008. Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

adulti di coleotteri carabidi e stafilinidi (predatori di altri insetti) e larve di coleotteri elateridi (parassiti delle radici di molte colture orticole e seminativi).

Nel successivo rilievo estivo (luglio '08), che ha riguardato le tesi biologiche, solo la tesi A si è distinta in modo significativo dalle altre, sia per il totale degli invertebrati che per il numero di insetti. Il rilievo effettuato sul numero di lombrichi non ha invece mostrato differenze significative, anche se ha avuto andamento simile a quello degli insetti e invertebrati terricoli. (Fig. 4.7).

Nel rilievo autunnale (novembre '08) le differenti tesi non sono risultate significativamente diverse, anche se per quanto riguarda il numero di invertebrati (solo insetti e miriapodi, perché non sono stati trovati isopodi) l'andamento ricalca abbastanza i due rilievi precedenti (Fig. 4.8).

Nel rilievo effettuato al marzo 2009, si è potuta riscontrare una significativa prevalenza di lombrichi e altri invertebrati nella tesi biologica conservativa A ed una presenza significativa di lombrichi anche nella tesi con-

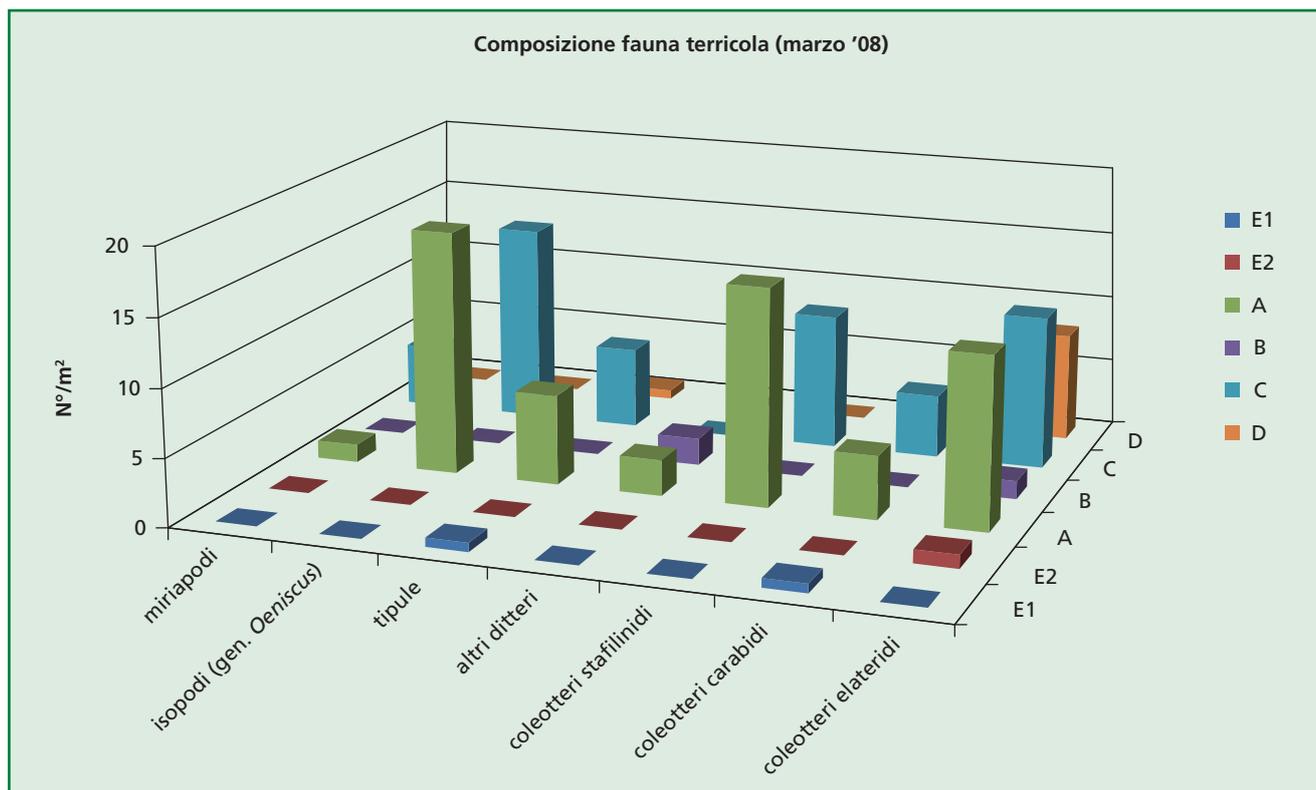


Figura 4.6 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Composizione e distribuzione nelle diverse tesi delle diverse tipologie di invertebrati terricoli.

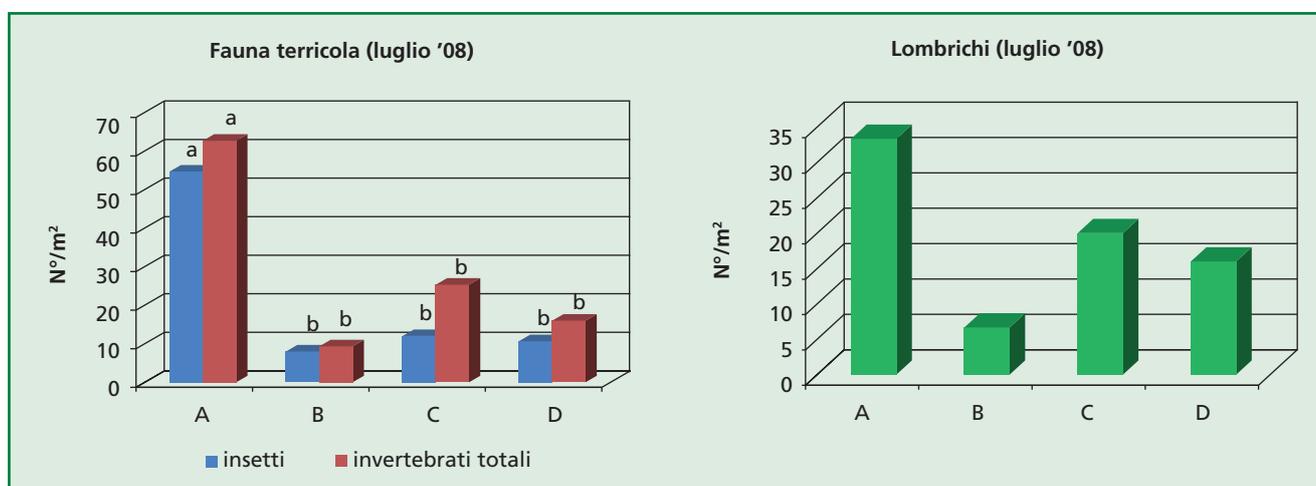


Figura 4.7 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Presenza (numero al m²) di insetti, di invertebrati totali (compresi isopodi del genere *Oeniscus* e miriapodi) e di lombrichi nel primo strato di 25 cm di terreno delle diverse tesi a luglio 2008. Nel grafico a sinistra lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

venzionale E2. Nel successivo rilievo effettuato a luglio 2009, si può notare una generale maggior presenza di lombrichi nelle tesi biologiche rispetto a quelle convenzionali, ma senza rilevanza statistica (Fig. 4.9). Più in generale, esaminando gli andamenti nel tempo della presenza di lombrichi (Fig. 4.10 dx) si può osservare una diminuzione generalizzata delle loro popolazioni a par-

tire dall'autunno 2008 con una netta prevalenza, fino a novembre '08, delle tesi biologiche più conservative (A, C). L'andamento della presenza degli invertebrati (Fig. 4.10 sx) è risultato molto più discontinuo per le diverse tesi nel tempo, con una diminuzione generalizzata nel luglio '08 e a partire dalla primavera 2009.

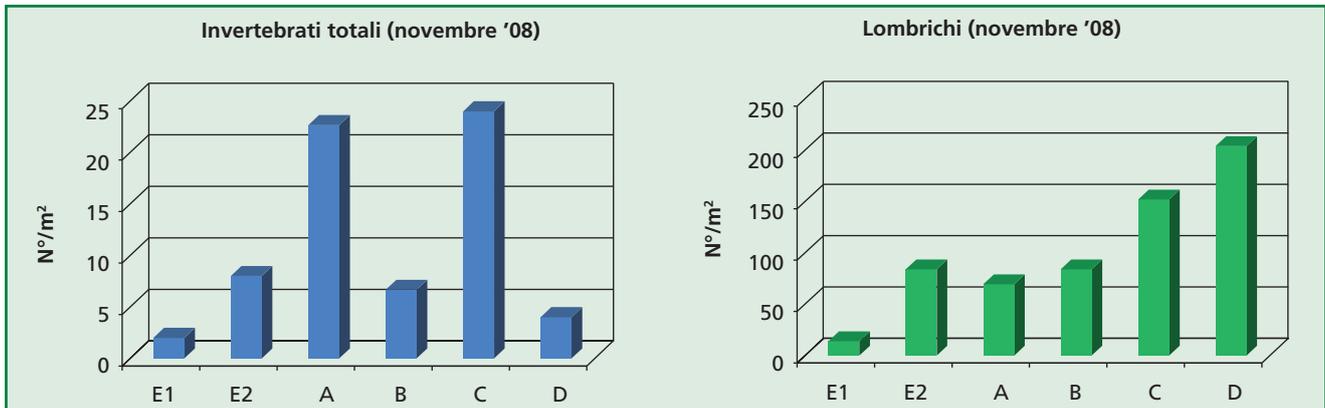


Figura 4.8 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Presenza (numero al m²) di invertebrati totali (compresi miriapodi) e di lombrichi nel primo strato di 25 cm di terreno delle diverse tesi a novembre 2008.

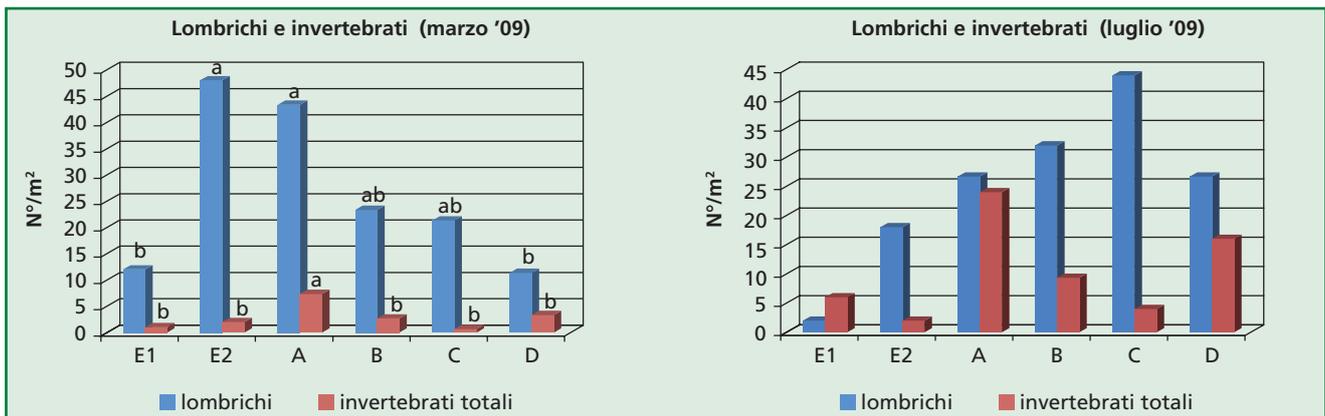


Figura 4.9 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Presenza (numero al m²) di invertebrati totali (compresi miriapodi) e di lombrichi nel primo strato di 25 cm di terreno delle diverse tesi a marzo e luglio 2009. Nel grafico a sinistra lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

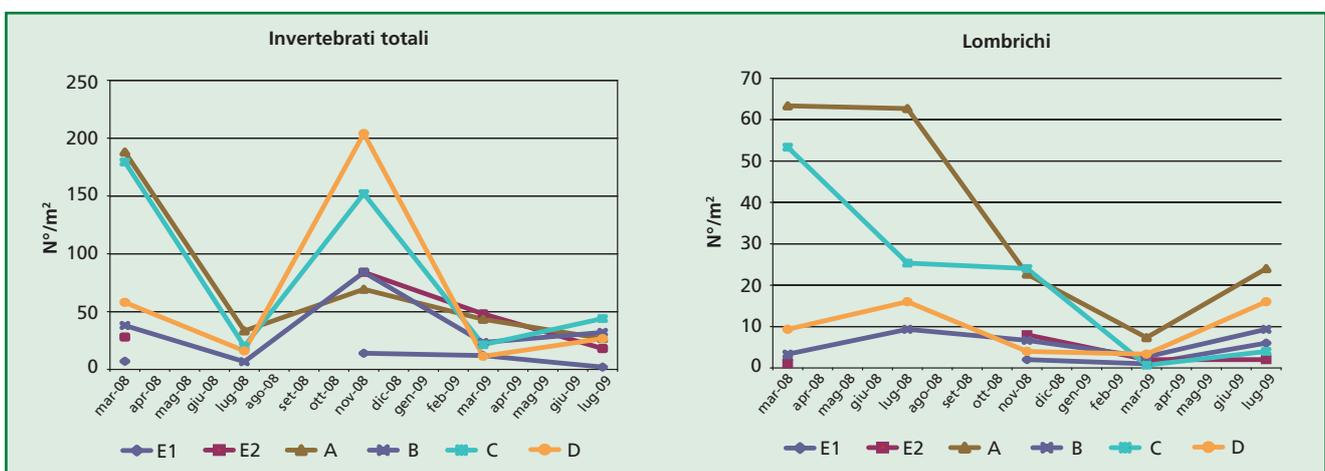


Figura 4.10 - Andamento nei due anni di prova (2008-2009) della presenza di lombrichi e di invertebrati terricoli (insetti, miriapodi, isopodi) nei primi 25 cm di terreno.

Attività enzimatiche del suolo

Per quanto riguarda l'attività delle **deidrogenasi**, sia la data di prelievo che la tesi risultano significativamente differenti. In particolare le tesi trattate con metodo convenzionale presentano un'attività molto inferiore a quella delle tesi a regime biologico (Fig. 4.11 sx). Fra esse, le tesi risultano accoppiate come A-C e B-D evidenziando correttamente le diverse pratiche agronomiche nei vari suoli e cioè una maggiore attività nelle tesi più conservative (A-C) rispetto a quelle meno conservative (B-D). Per quanto riguarda il confronto tra le medie di attività nelle varie date di prelievo l'attività deidrogenasica presenta

una chiara stagionalità (Fig. 4.11 dx), con un massimo estivo e il minimo nel prelievo autunnale. L'attività catalizzata da questo enzima ha come substrato i composti organici che possono essere sottoposti a ossidazione. Dati i continui apporti in composti organici dei suoli in esame, i substrati non rappresentano un fattore limitante per l'attività di questo enzima, che perciò risulta regolato dalla stagionalità, soprattutto in funzione della temperatura e della secchezza del suolo che creano un ambiente favorevole alle reazioni ossidative, giustificando i massimi estivi. Dall'analisi dei dati (Figg. 4.12 e 4.13) appare chiaro come entrambe le attività enzimatiche legate al ciclo

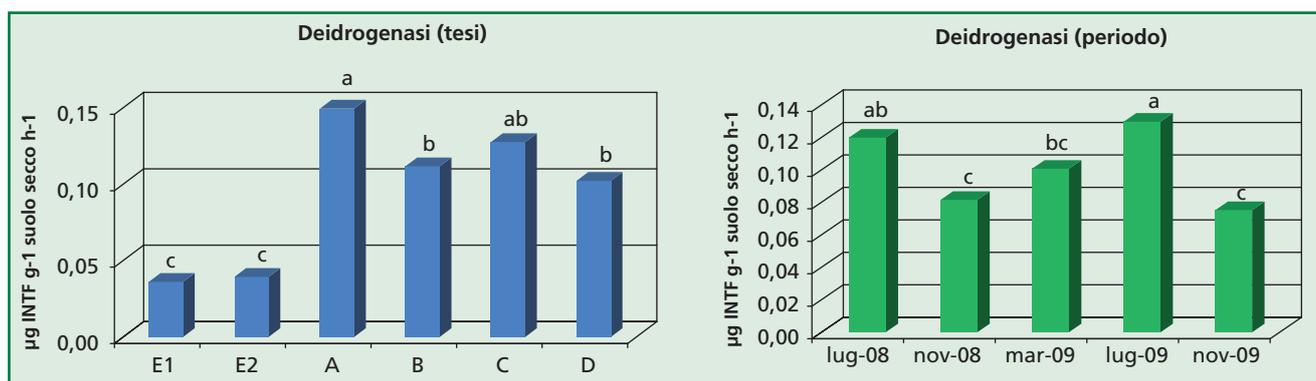


Figura 4.11 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie di attività deidrogenasica ($\mu\text{g INTF g}^{-1}$ suolo secco h^{-1}) in funzione della tesi (sx) e del periodo di prelievo (dx). Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

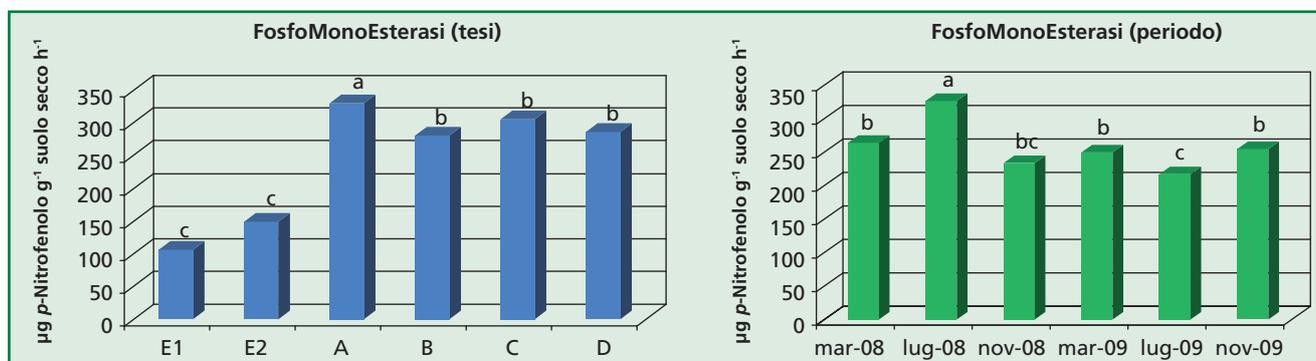


Figura 4.12 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie di attività fosfomonoesterasica ($\mu\text{g p-Nitrofenolo g}^{-1}$ suolo secco h^{-1}) in funzione della tesi (sx) e del periodo di prelievo (dx). Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

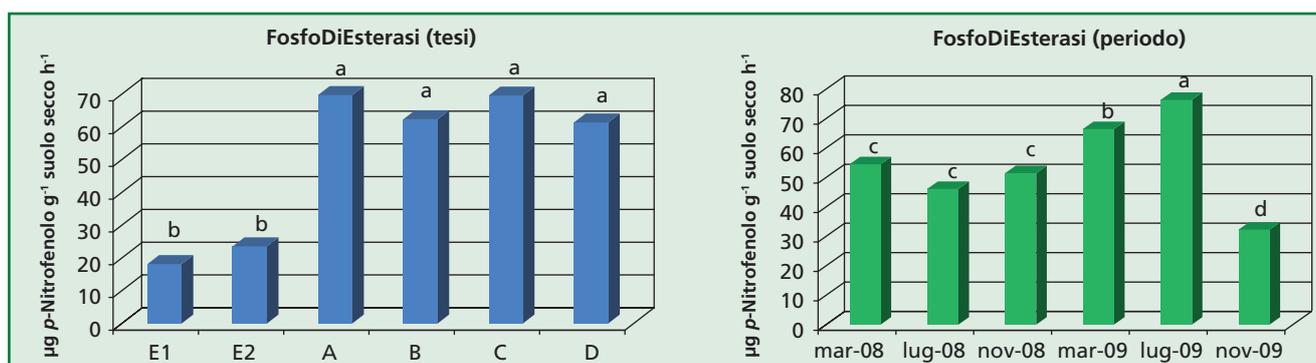


Figura 4.13 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie di attività fosfodiesterasica ($\mu\text{g p-Nitrofenolo g}^{-1}$ suolo secco h^{-1}) in funzione della tesi (sx) e del periodo di prelievo (dx). Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

del fosforo (attività fosfomonoesterasica e fosfodiesterasica) siano in grado di discriminare tra i campioni delle tesi a regime convenzionale e le tesi a regime biologico.

Nelle tesi A,B,C,D, gli enzimi fosfoesterasici non mostrano livelli di attività significativamente differenti a parte l'attività fosfomonoesterasica sui suoli della tesi A (che ha mantenuto più a lungo il cotico di trifoglio). In generale, questi dati evidenziano come il regime biologico induca livelli di attività più elevati, ma questi enzimi risultano meno sensibili alla differenziazione delle colture messe a dimora nelle varie parcelle. Più complessa appare la risposta delle attività al susseguirsi delle stagioni. In particolare i dati dei campionamenti svolti a luglio sembrano risentire di qualche fattore la cui incidenza, però, è diversa per le due attività e non è costante nei due campionamenti estivi. Per l'attività fosfomonoesterasica, in particolare, si è rilevato mediamente un netto calo successivo alle lavorazioni pre-semina (estirpatura a 30-40 cm e successiva erpicatura) effettuate in tutte le tesi, all'inizio di ottobre 2008.

Per quanto riguarda gli enzimi coinvolti con il ciclo dell'azoto, proteasi e ureasi, si sono rilevate in entrambi i casi differenze significative per le tesi e le date di campionamento mentre l'interazione tra i due fattori non risulta significativa.

Le medie di attività ureasica (Fig. 4.14) e proteasica (Fig. 4.15) suddivise per tesi mostrano come entrambe le attività siano significativamente influenzate dal regime convenzionale, tesi E1, E2 o biologico, tesi A, B, C e D. Inoltre le due attività sono in grado di discriminare i diversi trattamenti a cui sono state sottoposte le parcelle a regime biologico, distinguendo significativamente le parcelle A-C (più conservative) dalle parcelle B-D (meno conservative), a prescindere dal tipo di avvicendamento. Per quanto concerne l'andamento stagionale delle due attività (Figg. 4.14 dx e 4.15 dx) si può notare un andamento, più marcato nel caso dell'attività proteasica, che segue quello delle temperature durante l'anno, con un massimo estivo e i minimi primaverili e autunnali. Anche per queste due attività enzimatiche si registra un netto calo a partire da novembre 2008, data successiva alla prima lavorazione effettuata in profondità.

La sensibilità ai fattori ambientali degli enzimi proteasi e ureasi potrebbe essere legata alla forte mobilità che caratterizza l'azoto nei cicli trofici del suolo. Queste attività sembrano, infatti, in grado di rispondere prontamente alle diverse condizioni presenti nelle parcelle e ai cambiamenti legati al ciclo delle stagioni.

La β -glucosidasi catalizza l'idrolisi dei monomeri di glucosio nelle catene di cellulosa. L'attività di questo enzima è quindi fondamentale per la degradazione del più

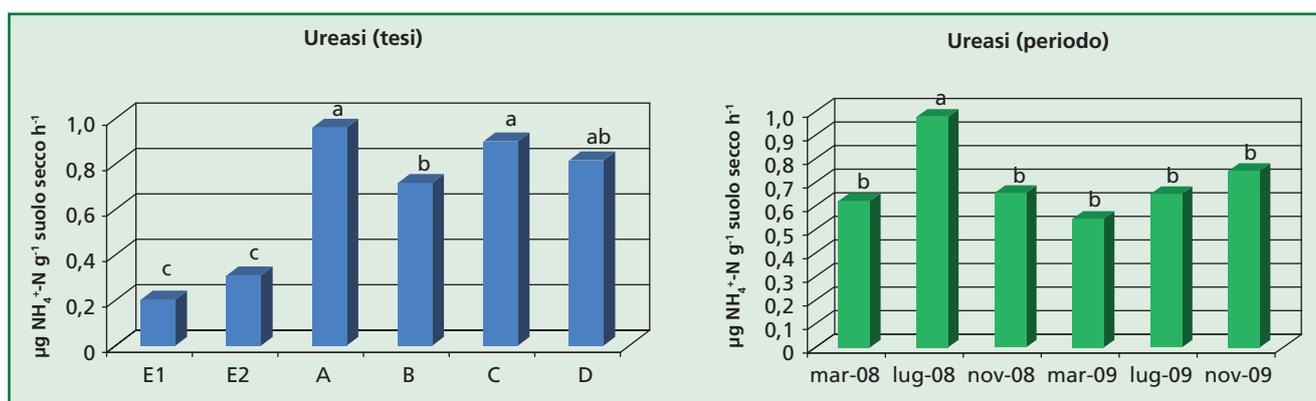


Figura 4.14 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie di attività ureasica ($\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$ suolo secco h^{-1}) in funzione della tesi (sx) e del periodo di prelievo (dx). Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

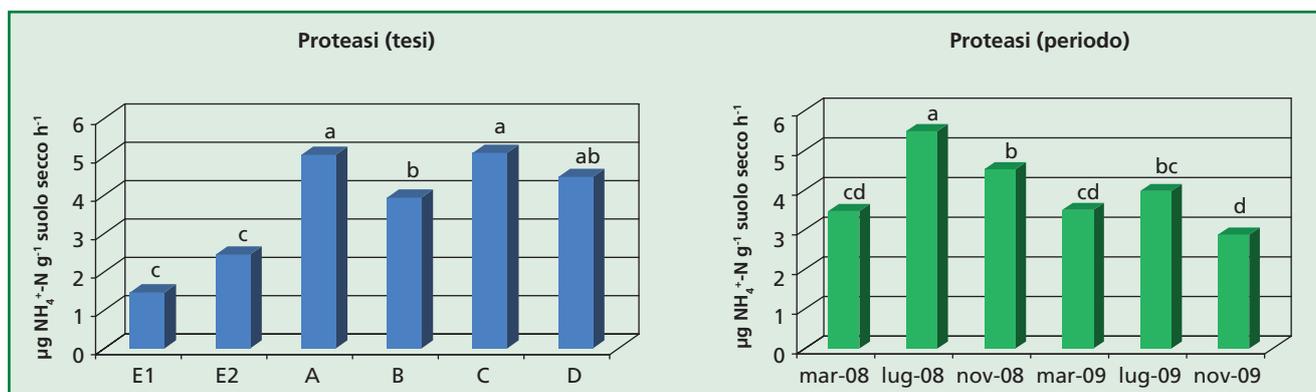


Figura 4.15 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie di attività proteasica ($\mu\text{g NH}_4^+\text{-N g}^{-1}$ suolo secco h^{-1}) in funzione della tesi (sx) e del periodo di prelievo (dx). Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

importante polimero presente nei residui organici nel suolo, la cellulosa.

La figura 4.16 (sx) evidenzia come anche l'attività β -glucosidasi discrimini tra parcelle trattate a regime biologico e parcelle a regime convenzionale. Inoltre l'attività è risultata significativamente differente anche in funzione delle diverse tesi a regime biologico, con una netta prevalenza delle tesi più conservative (A-C) rispetto a quelle meno conservative (B-D). L'enzima mostra una forte risposta stagionale (Fig. 4.16 dx) ed è uno tra i pochi enzimi, assieme alla fosfodiesterasi e alla FDA-idrolasi (grafico successivo), la cui attività appare accrescersi nel secondo anno di analisi, a partire da novembre 2008. In particolare per la β -glucosidasi, l'incremento potrebbe essere il risultato di un fenomeno di accumulo dei residui cellulosici nel suolo che indurrebbe una maggiore attività enzimatica.

I valori di attività idrolasica a carico della **Fluoresceina Diacetato (FDA)** riassumono l'attività di un pool di enzimi in grado di catalizzare reazioni di idrolisi che sono alla base dei cammini degradativi di gran parte dei composti organici.

Il test dell'attività **FDA-idrolasica** è considerato un sensibile indicatore dell'attività microbiologica dei suoli (Adam & Duncan, 2001). I dati raccolti confermano questa sensibilità poiché i livelli di attività rilevati discrimi-

nano tra le diverse tesi in funzione sia del regime che degli avvicendamenti (Fig. 4.17), in modo del tutto coerente con le precedenti attività enzimatiche esaminate. L'andamento stagionale evidente nei dati del 2008 non è stato confermato dalle analisi effettuate nel 2009, mostrando un livello di attività elevato e statisticamente non differente nei campioni dei tre prelievi.

In sintesi, si può notare come tutte le attività enzimatiche analizzate siano state in grado di discriminare tra le tesi biologiche (A, B, C, D) e quelle convenzionali (E1, E2), e come le prime siano risultate sempre nettamente superiori alle seconde. Nell'ambito delle tesi biologiche poi, quasi tutte le attività (ad eccezione delle Fosfatasi: fosfomonoesterasi e fosfodiesterasi) hanno evidenziato valori superiori delle tesi consociate con leguminose (la **tesi A** con trifoglio in consociazione alle colture di frumento, sorgo e aglio, la **tesi C** con trifoglio consociato al frumento e interrato prima del trapianto di zucca, e la consociazione tra pisello e orzo), rispetto alle tesi caratterizzate dagli stessi avvicendamenti, ma senza consociazioni (**tesi B** e **tesi D**). Sembra quindi che per la maggior parte le attività enzimatiche riescano a discriminare, nell'ambito dello stesso tipo di avvicendamento, la gestione più conservativa della fertilità (lavorazioni minime, consociazioni con leguminose) da quella meno conservativa (meno consociazioni e più lavorazioni). In-

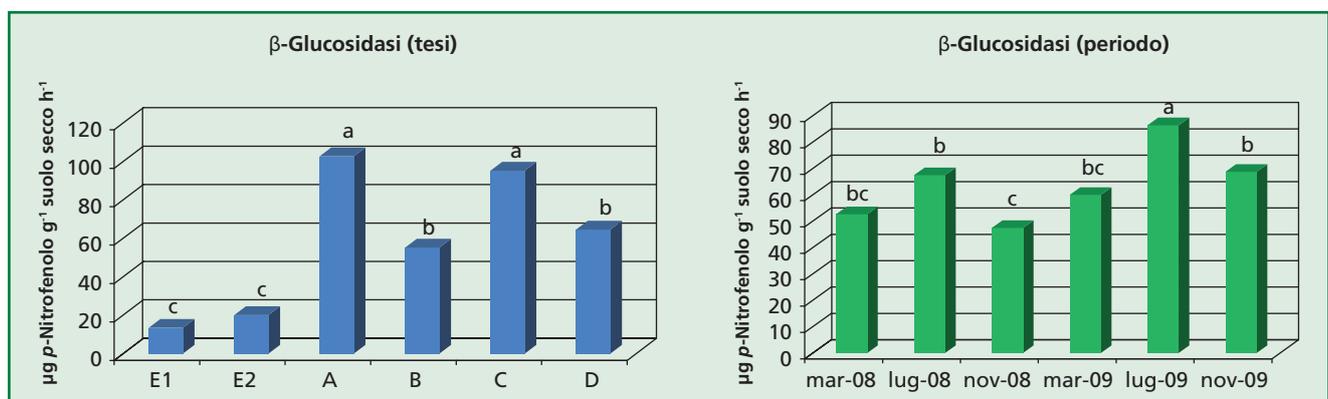


Figura 4.16 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie di attività β -glucosidasi ($\mu\text{g p-Nitrofenolo g}^{-1}$ suolo secco h^{-1}) in funzione della tesi (sx) e del periodo di prelievo (dx). Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

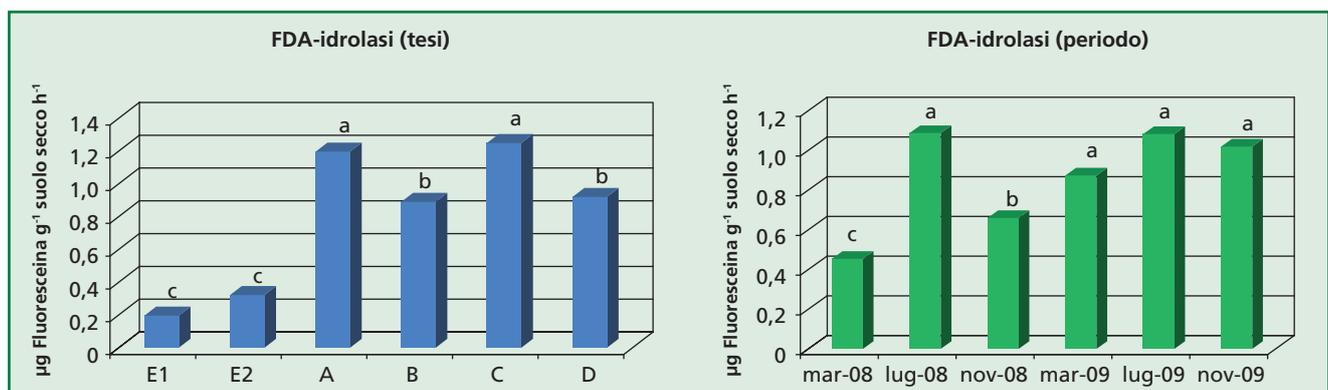


Figura 4.17 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie di attività FDA-idrolasica ($\mu\text{g Fluoresceina g}^{-1}$ suolo secco h^{-1}) in funzione della tesi (sx) e del periodo di prelievo (dx). Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

fine, tutte le attività enzimatiche si sono dimostrate sensibili alle condizioni stagionali (temperatura, umidità del suolo) ma non tutte in modo univoco, probabilmente in dipendenza di altri fattori intervenuti, come ad esempio la maggiore o minore abbondanza del substrato delle diverse reazioni enzimatiche.

Contenuti in carbonio organico e carbonio umico

I risultati ottenuti riguardo al contenuto di carbonio organico dei suoli evidenziano differenze significative tra le tesi, ma nessuna differenza nei valori per le diverse date di rilievo. Il contenuto di carbonio dei suoli sia a regime biologico che a regime convenzionale è quindi rimasto sostanzialmente invariato dall'inizio alla fine della prova. In particolare i suoli a regime convenzionale sono risultati avere, in media, circa la metà del carbonio organico presente nei suoli delle tesi a regime biologico (Fig. 4.18), probabilmente dovuto ai ripetuti apporti di sostanza organica degli anni precedenti.

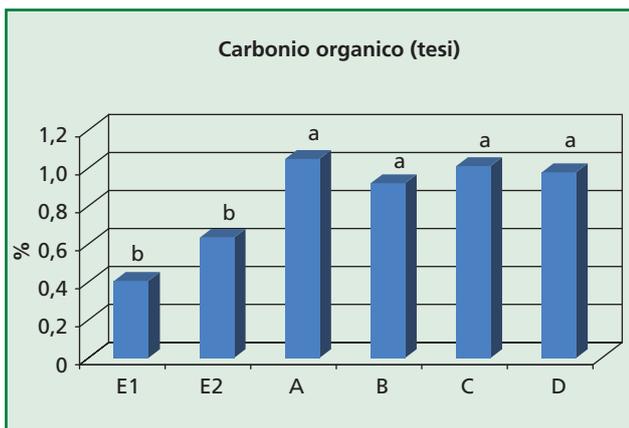


Figura 4.18 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie del contenuto in carbonio organico (%) in funzione della tesi. Nel grafico lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

I valori di **carbonio umico** hanno rivelato differenze significative sia per il fattore tesi che per il fattore periodo. Come per il carbonio organico, i suoli a regime biologico risultano avere valori di carbonio umico sensibilmente superiori rispetto ai terreni a regime convenzionale (Fig. 4.19). La maggior presenza di composti organici nei suoli biologici può giustificare i risultati delle attività enzimatiche. Infatti queste sostanze sono i substrati degli enzimi studiati e la diversa concentrazione in funzione del regime convenzionale/biologico potrebbe almeno in parte spiegare i diversi livelli di attività riscontrati. L'andamento del contenuto di carbonio umico nei campioni dei sei prelievi appare diversificato nei due anni di analisi. I campioni prelevati nei mesi di marzo degli anni 2008 e 2009 mostrano un livello di carbonio umico molto simile, attorno allo 0,31%. Nell'anno 2008 il valore di carbonio umico è andato crescendo con il massimo di luglio e novembre 2008 (Fig. 19 dx); nell'anno 2009 il valore è calato, con un minimo nel prelievo di novembre 2009. Poiché il dato di carbonio organico non è cambiato significativamente durante i due anni di analisi questi risultati di contenuti di carbonio umico non trovano giustificazione nel diverso apporto di materiale organico dei due anni di prova. Appare, piuttosto, che il destino della sostanza organica nel suolo sia cambiato nei due anni con una situazione più orientata verso l'umificazione e quindi l'accumulo di composti organici nel 2008, e una più spinta mineralizzazione e degradazione delle sostanze umiche nel 2009. I fattori in grado di influenzare il contenuto di carbonio umico sono molteplici, tra cui le lavorazioni meccaniche, che migliorano l'ossidazione accentuando il processo di mineralizzazione. Probabilmente le lavorazioni preliminari alle semine autunnali 2008 (estirpatura a 30-40 cm + erpice rotante, per le semine di aglio tesi A, B e orzo tesi C, D) hanno contribuito ad accelerare questo processo, con una diminuzione del valore del carbonio umico a partire dalla primavera successiva. La differenziazione tra le tesi in biologico (Fig. 4.19 sx), pur rispecchiando un'analoga tendenza (A-C > B-D) rispetto alle attività enzimatiche, non è risultata tuttavia statisticamente significativa.

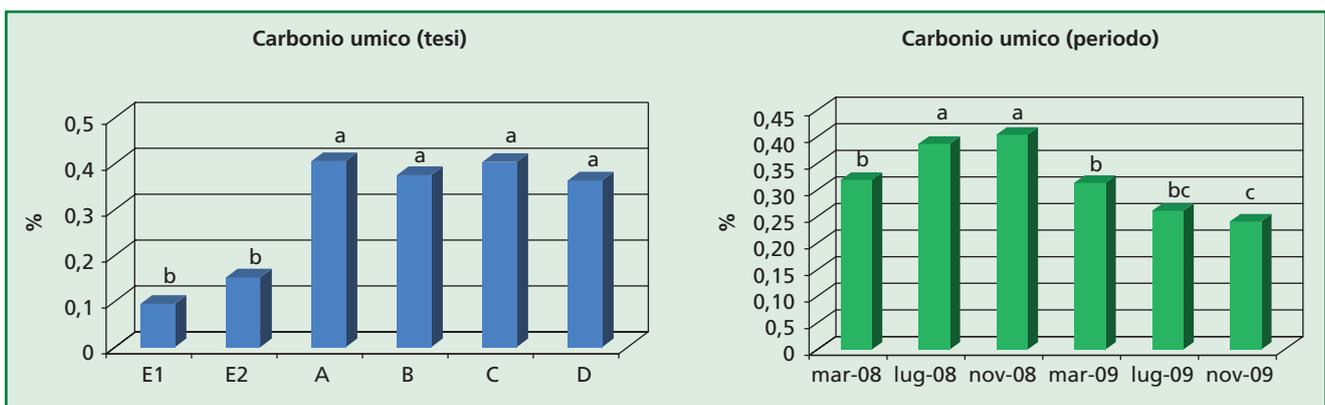


Figura 4.19 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie del contenuto in carbonio umico (%) in funzione della tesi (sx) e del periodo di prelievo (dx). Nei due grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

Dimensioni molecolari apparenti dei composti umici

I risultati dello studio delle dimensioni molecolari apparenti delle 3 frazioni delle sostanze umiche (Fraz. 1 = alto peso molecolare; Fraz. 2 = medio peso molecolare; Fraz. 3 = basso peso molecolare) evidenziano differenze significative per le analisi effettuate a inizio 2008 e fine 2009 (Fig. 4.20). Per quanto riguarda le tesi, le differenze si riscontrano per la Fraz. 1, a più alto peso, con valori nettamente superiori nelle tesi biologiche; viceversa per la Fraz. 3, a più basso peso, le tesi convenzionali (E1, E2) risultano mediamente più alte (Fig. 4.21). Questo evidenzia una maggior componente di sostanze umiche più stabili nelle tesi biologiche.

Per quanto riguarda l'evoluzione temporale, l'analisi statistica dei valori identifica differenze significative tra i dati dei campioni di marzo 2008 e quelli di novembre 2009 per tutte e tre le frazioni umiche.

Infatti, la distribuzione delle sostanze umiche nelle tre classi di dimensione è diversa nelle due date di prelievo con una media dei valori pari a: Fraz. 1 = 23,6%, Fraz. 2 = 49,7% e Fraz. 3 = 26,8%, a marzo 2008, che sono di-

ventati a novembre 2009, Fraz. 1 = 17%, Fraz. 2 = 66% e Fraz. 3 = 17% (Fig. 4.20).

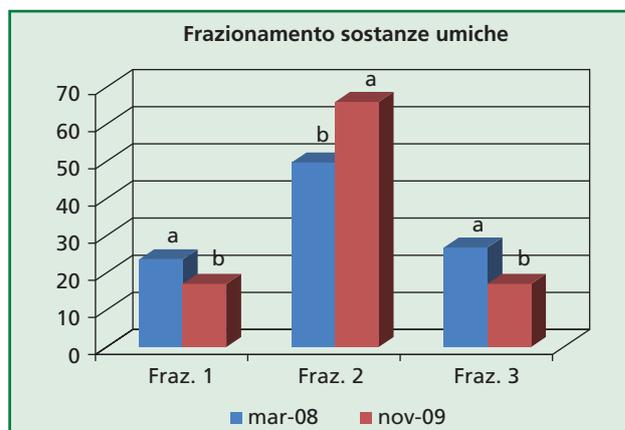


Figura 4.20 - Andamento della distribuzione delle sostanze umiche nelle due date di prelievo (inizio e fine prova). Fraz. 1 = Alto peso molecolare, Fraz. 2 = Medio peso molecolare, Fraz. 3 = Basso peso molecolare. Nel grafico lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

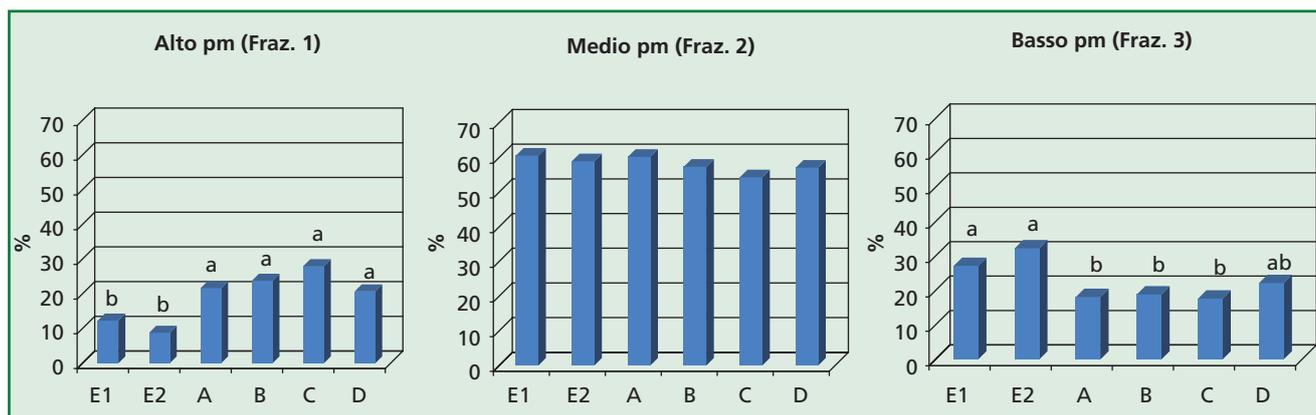


Figura 4.21 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie della distribuzione dei pesi molecolari apparenti (%) in funzione della tesi. Nei tre grafici lettere diverse indicano differenze significative delle medie per il test SNK.

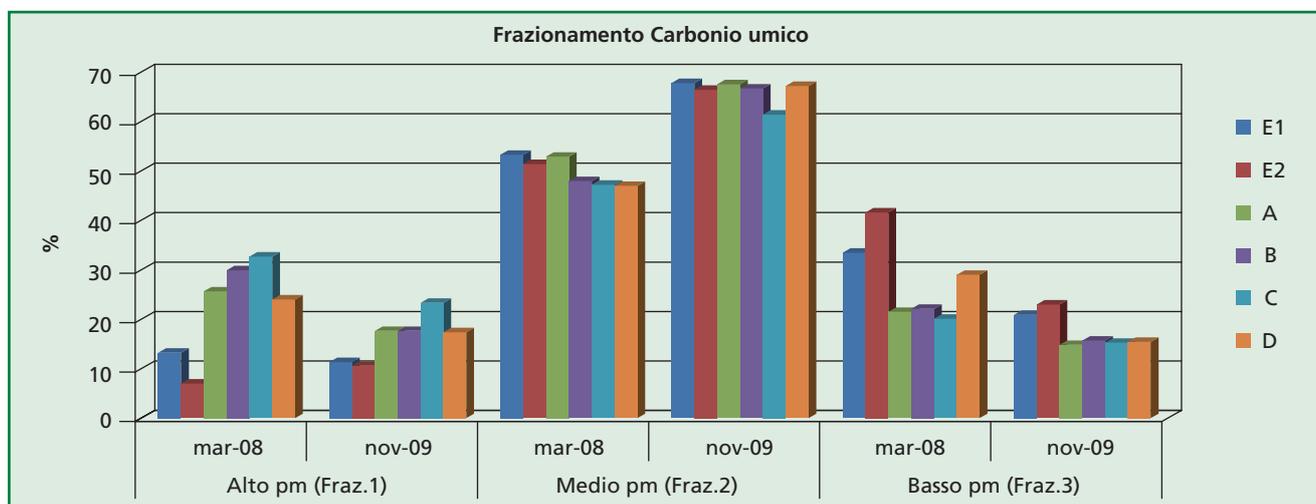


Figura 4.22 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Medie della distribuzione dei pesi molecolari apparenti (%) in funzione della tesi, nei due periodi di prelievo ad inizio e fine prova (marzo '08 e novembre '09).

Il calo riscontrato per le frazioni ad alto peso molecolare e a basso peso molecolare a favore della frazione intermedia, potrebbe essere collegato a un fenomeno di più spinta mineralizzazione dei composti umici, che porterebbe alla degradazione delle strutture a più alto peso molecolare e a un blocco dei processi di policondensazione che favorirebbe sostanze umiche non ben sviluppate, di peso molecolare intermedio, a scapito delle altre due frazioni. A supporto di questa ipotesi, l'accentuata mineralizzazione dei composti umici a partire dalla primavera 2009 appare il motivo dei più bassi contenuti in carbonio umico.

È degno di nota evidenziare come la distribuzione dei pesi molecolari apparenti sia risultata significativamente influenzata dalla conduzione a regime biologico delle parcelle A, B, C, D. In particolare i più bassi contenuti di frazione ad alto peso molecolare, la più stabile, e il corrispettivo maggiore apporto di frazione di dimensioni molecolari minori nei suoli a regime convenzionale, sembra indicare in questi ultimi un non corretto equilibrio tra umificazione e mineralizzazione.

In una situazione ideale, il rapporto tra frazioni ad alto peso, medio e basso, si attesta su valori prevalenti della prima sulle altre due, con la frazione di medio peso più bassa possibile (consideriamo che 40-50 anni fa, i valori rilevati in pianura padana si attestavano sul 90% di Fraz. 1 e 10% di Fraz. 3).

Se, come nel nostro caso, la frazione di peso medio aumenta, è un sintomo di blocco del processo di umificazione, a fronte di una più spinta mineralizzazione delle altre due frazioni, che sono risultate percentualmente in calo, sia nel biologico che nel convenzionale.

In sintesi, nonostante la lentezza che caratterizza l'evoluzione della sostanza organica nei terreni, i parametri di contenuto di sostanze umiche e di frazionamento delle stesse nei diversi pesi molecolari apparenti, si sono rivelati piuttosto dinamici anche nell'arco di soli due anni di prova, ma non in grado di discernere, nell'ambito del regime biologico, tra terreni a diversa conduzione agronomica, cosa che probabilmente richiederebbe un arco temporale più lungo.

Densità apparente

La densità apparente (d.a.) ha evidenziato variazioni significative in funzione del tipo di trattamento e dell'anno: i valori medi di densità apparente più elevati sono stati osservati nel 2008 (Fig. 4.23).

Per quanto riguarda le tesi, i valori più bassi sono stati osservati nella tesi D (1,39 g/cm³) e B (1,46 g/cm³), mentre i valori significativamente più elevati sono stati riscontrati nelle tesi convenzionali (in particolare la E1 = 1,63 g/cm³), e nelle tesi biologiche più conservative A (1,51 g/cm³) e C (1,54 g/cm³).

Analizzando l'andamento della d.a. lungo il profilo (dati non mostrati), l'effetto profondità non è risultato significativo; si può notare tuttavia come E1 (tesi rimasta più a lungo incolta, precedentemente alla prova effettuata) manifesti in entrambi gli anni una d.a. più elevata, specie

negli strati più profondi. Nell'anno 2008, inoltre, B e D tendono ad differenziarsi per i valori più bassi degli strati superficiali. A parte questi casi particolari, la d.a. nel suo complesso risulta poco differenziata lungo il profilo.

Diversi sono i fattori che possono avere originato queste rilevazioni sperimentali quali, ad esempio, il tipo di lavorazione e la precessione colturale. L'elevata variabilità delle condizioni sperimentali e l'interazione tra i fattori stessi non hanno tuttavia permesso di isolarne i singoli effetti. Per contro, nonostante questo "rumore di fondo", è possibile a nostro avviso identificare l'effetto positivo delle concimazioni organiche sulla d.a.: le tesi B e D che sono quelle caratterizzate da una d.a. < 1,5 g/cm³, sono anche quelle che hanno ricevuto la maggiore quantità di fertilizzante organico (a differenza delle tesi A, C, consociate con leguminose) sottoforma di letame pellettato (2,5 t/ha nel maggio del 2008 e 6 t/ha nel luglio del 2009, Tab. 4.3 a pag. 25). In particolare, le tesi A e C avevano entrambe, fino al momento del primo campionamento (primavera 2008), la presenza di un fitto cotico erboso di trifoglio bulato nel febbraio 2007 e successivamente riseminato a febbraio 2008.

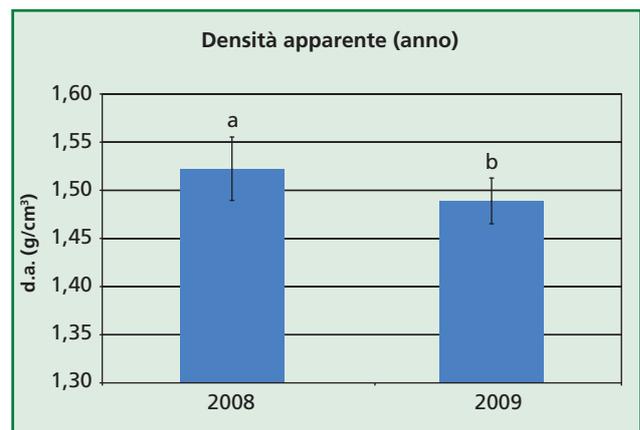


Figura 4.23 - Densità apparente media negli anni 2008 e 2009.

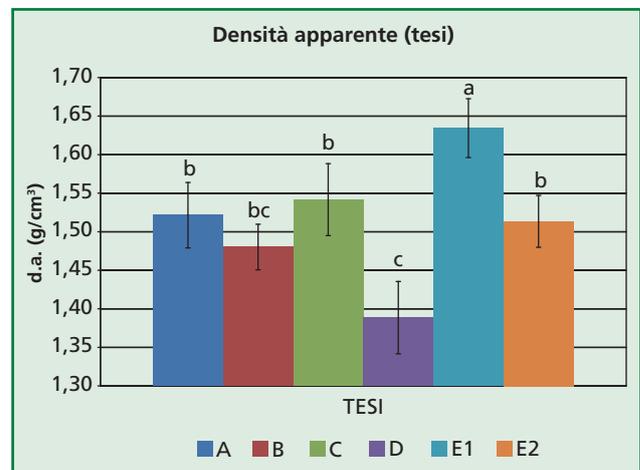


Figura 4.24 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Densità apparente in funzione dei diversi trattamenti.

Resistenza alla penetrazione

Il parametro ha mostrato una notevole variabilità sia tra i trattamenti che tra gli anni. Mediamente, i valori più bassi si osservano nelle tesi B, D, E1 (Fig. 4.26), con rispettivamente 0,09, 0,12 e 0,10 kN/cm² mentre quello più elevato (0,29 kN/cm²) nella tesi E2 (p < 0,02).

In particolare, nel 2008, ad eccezione della tesi E2 (Fig. 4.27), si nota una sostanziale uniformità lungo il profilo, con valori che oscillano tra le tesi da 0,05 a 0,3 kN/cm².

Per inciso, i valori critici (quelli oltre i quali si determina un dimezzamento della velocità di accrescimento delle radici primarie) dipendono dalla specie: es. mais 1,3 kN/cm², pisello 2,03 kN/cm², pomodoro 1,48 kN/cm², loiessa 1,39 kN/cm².

Nel 2009 (Fig. 4.28), a differenza del 2008, la resistenza aumenta progressivamente con la profondità, passando da valori inferiori a 0,1 kN/cm² in superficie a valori superiori a 0,15 kN/cm² a 50 cm. Rispetto all'anno, i valori medi più elevati sono stati osservati nel 2008 rispetto al 2009 (Fig. 4.25), anno in cui le lavorazioni effettuate erano di maggior consistenza. È possibile che, nell'ambito delle tesi biologiche, la netta differenziazione riscontrata tra le tesi B-D, che presentavano valori nettamente inferiori alle tesi A-C solo nel rilievo del 2008, sia dovuta alla pre-

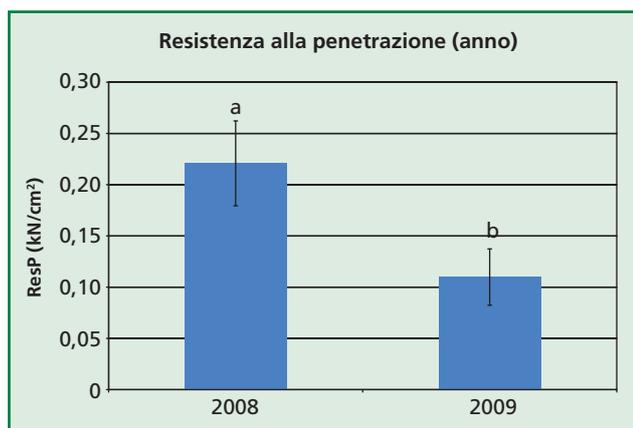


Figura 4.25 - Resistenza alla penetrazione negli anni 2008 e 2009.

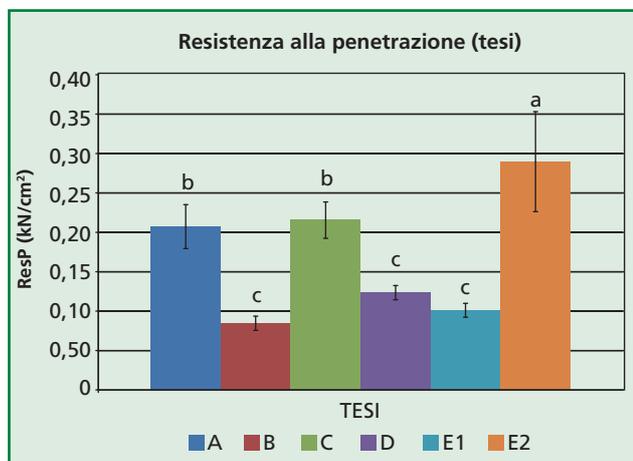


Figura 4.26 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Resistenza alla penetrazione in funzione dei diversi trattamenti.

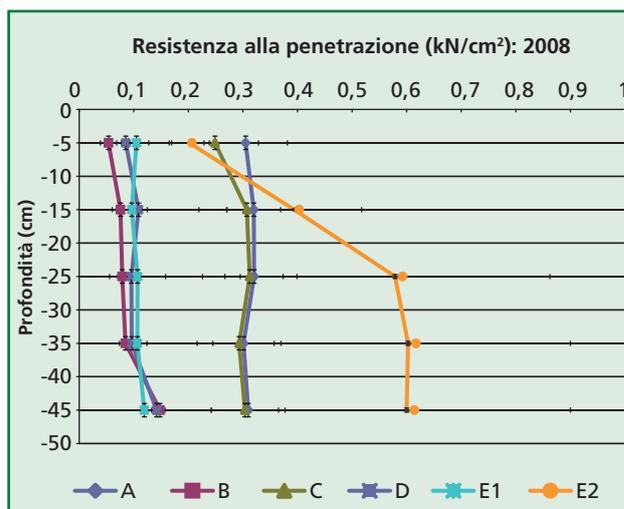


Figura 4.27 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Resistenza alla penetrazione del profilo 0-50 cm. Anno 2008.

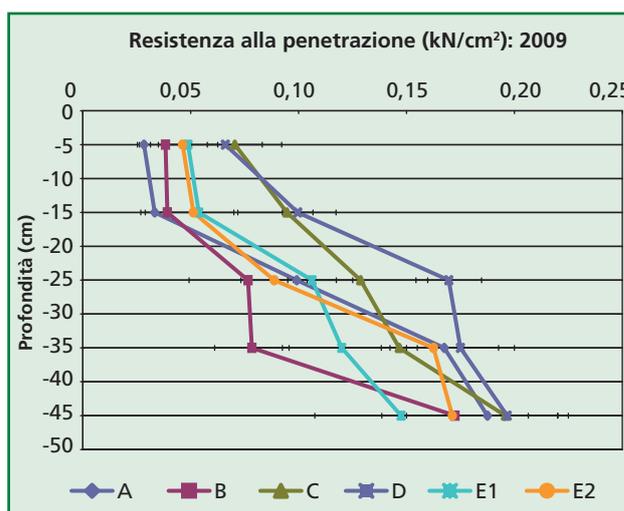


Figura 4.28 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Resistenza alla penetrazione del profilo 0-50 cm. Anno 2009.



In corrispondenza di una suola di lavorazione i valori di resistenza alla penetrazione risultano più elevati.

senza del cotico erboso del trifoglio; differenza che non era più evidente nel 2009, quando il cotico era già stato 'rotto' per entrambe le tesi. Inoltre per le tesi biologiche risulta una certa corrispondenza tra la maggior densità apparente e la più alta resistenza alla penetrazione delle tesi consociate (A, C) rispetto a quelle non consociate (B, D), mentre per le tesi convenzionali ciò non avviene.

Infine, nel 2009, la resistenza alla penetrazione risulta aumentare gradualmente all'aumentare della profondità. Si notano differenze significative tra gli strati più superficiali (0-10 cm e 10-20 cm), con resistenza mediamente inferiore rispetto agli strati più profondi (30-40 cm e 40-50 cm), quelli che nel corso della prova sono stati interessati in misura minore dalle lavorazioni (vangature ed erpicature interessavano i primi 30-35 cm del profilo, mentre le strigliature i primi 5-10 cm).

La resistenza alla penetrazione risulta, inoltre, correlata positivamente con la densità apparente ($r = 0,43$) e il contenuto di argilla ($r = 0,39$) e negativamente con il contenuto in limo ($r = -0,41$).

Nell'interpretazione dei dati bisogna comunque considerare che le misure di resistenza sono caratterizzate da un'elevata variabilità, anche quando le penetrazioni sono effettuate in punti molto vicini tra loro. Il coefficiente di variazione oscilla dal 20% al 50%, ma con punte anche del 70% nello strato superficiale.

Stabilità di struttura

Il test di imbibizione veloce in acqua (ISA), testa l'effetto dello 'slaking', ovvero quell'effetto che si crea quando gli aggregati vengono inumiditi velocemente con acqua, comprimendo l'aria presente nei pori a una pressione tale da provocare lo scoppio degli aggregati stessi.

Il test ha fornito risultati simili nei due anni (fattore anno non significativo), evidenziando la superiorità delle tesi biologiche rispetto a quelle convenzionali. L'ISA delle prime è, infatti, mediamente di 15,3% contro il 2,9% di quelle convenzionali. Non è stata osservata invece significatività tra le tesi biologiche (Fig. 4.29).

L'indice è risultato, inoltre, correlato positivamente con la sostanza organica ($r = 0,49$) e la frazione umica a elevato peso molecolare ($r = 0,63$), e negativamente con la frazione umica a basso peso molecolare ($r = -0,55$).

L'analisi dei risultati dei test benzene (ISBe) e alcol (ISET) consente di approfondire l'indagine conoscitiva sui meccanismi indotti dalla presenza delle sostanze umiche.

Il test di pre-trattamento con benzene (ISBe), come già accennato nella parte metodologica, amplifica l'effetto di idrorepellenza della sostanza organica. Infatti, il benzene, liquido polare, entra tanto più facilmente nei pori dell'aggregato quanto maggiore è il contenuto di materia organica, la quale ha proprietà idrorepellenti. Il benzene, quindi, ricopre la sostanza organica ed enfatizza il ruolo dell'idrorepellenza nella stabilità degli aggregati. Tanto maggiore è l'idrorepellenza, tanto più lentamente l'acqua entra nei pori del terreno. Di conseguenza, l'effetto di scoppio degli aggregati dovuto a sovrappressione viene attenuato. Nondimeno il benzene ha una azione opposta, cioè dirompente, se il fenomeno di idrorepellenza è trascurabile.

Questo comportamento è stato osservato anche nella prova sperimentale a 'Po di Tramontana'. L'ISBe, infatti, è significativamente inferiore all'ISA, con una media di 7,8% contro 12,2% (Figg. 4.29, 4.30). L'ISBe è risultato comunque influenzato dai trattamenti, con valori superiori nelle tesi biologiche rispetto a quelle convenzionali. L'analisi di correlazione conferma la relazione positiva tra la stabilità degli aggregati e la frazione umica a elevato peso molecolare.

Il test di pre-trattamento con alcol etilico (ISET), permette di amplificare l'effetto della stabilità dei legami. Infatti, nel campione pretrattato e posto bruscamente in acqua, la compressione sull'aria occlusa si riduce notevolmente e gran parte dei grumi resiste per effetto della minore tensione superficiale dell'alcol etilico, molto più bassa di quella dell'acqua. In questo test, quindi, risulta molto limitato l'effetto di scoppio, mentre si amplificano

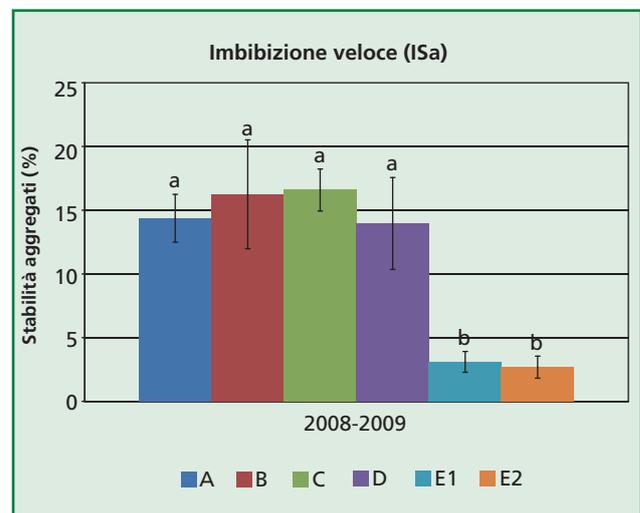


Figura 4.29 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Indice di stabilità di struttura (%): imbibizione veloce in acqua.

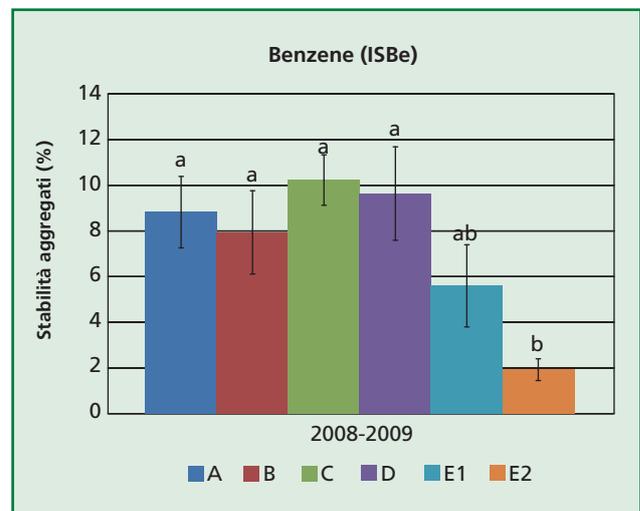


Figura 4.30 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Indice di stabilità di struttura (%): pretrattamento con benzene.

i comportamenti associati ai fenomeni di 'bounding', ovvero ai legami di coesione del complesso argillo-umico. L'ISEt è risultato mediamente del 46%, significativamente più elevato ($p < 0,01$) degli altri due indici (Fig. 4.31). Anche in questo caso, le tesi biologiche manifestano una maggiore stabilità rispetto a quelle convenzionali ($p < 0,01$). L'indice ISEt è inoltre correlato con la sostanza organica, la prima e seconda frazione umica e con il contenuto di calcio e magnesio. Come è noto, questi cationi favoriscono la formazione dei composti umico-colloidali. La stabilità degli aggregati sembrerebbe quindi primariamente influenzata dall'effetto di 'bounding' (forza dei legami) promosso dalle sostanze umiche a elevato grado di policondensazione. L'idrorepellenza indotta dalla sostanza organica, diversamente da quanto osservato in altri esperimenti, rivestirebbe in questo caso solo un ruolo secondario sui processi di aggregazione.

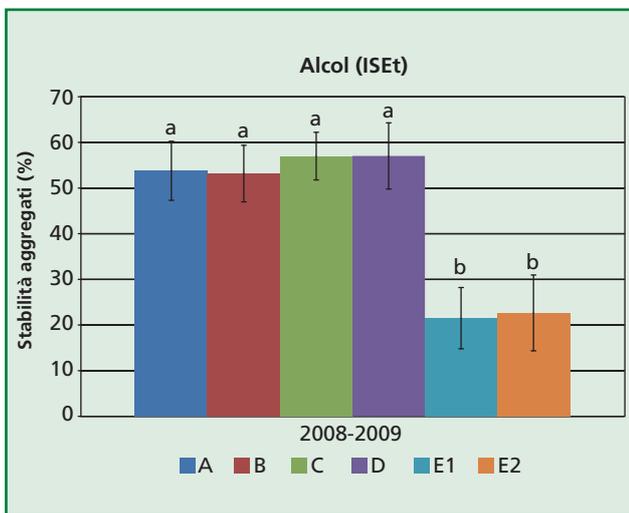


Figura 4.31 - Tesi: E1, E2 = convenzionale; A, C = biologico più conservativo; B, D = biologico meno conservativo. Indice di stabilità di struttura (%): pretrattamento con alcol etilico.



Una indicazione della stabilità della struttura si ottiene anche da una valutazione visiva e tattile del terreno con la "prova della vanga".

4.3 Conclusioni

Per quel che concerne gli indicatori biotici, nel caso delle endo-micorrize si sono potute riscontrare solo alcune differenze tendenziali tra le tesi biologiche più conservative e quelle meno conservative, senza però che questo avesse alcuna ripercussione tangibile sulla produttività delle colture. I risultati dei rilievi su insetti e lombrichi danno, per alcuni periodi, una significativa maggior popolosità nelle parcelle biologiche più conservative rispetto a quelle meno conservative e al convenzionale; in particolare nella tesi A, dove la presenza più prolungata del trifoglio consociato alle colture ha probabilmente incentivato una maggior ospitalità, soprattutto per i lombrichi. La poca chiarezza sui risultati riguardanti gli altri invertebrati, invece, potrebbe essere dovuta ad una insufficiente frequenza dei rilievi effettuati ed in ogni caso sarebbero utili ulteriori approfondimenti riguardanti la distinzione tra la presenza di organismi dannosi e utili alle colture, nelle diverse conduzioni agronomiche.

Le attività enzimatiche prese in considerazione in questo lavoro hanno sempre messo in evidenza i campioni delle particelle a regime biologico rispetto a quelli a regime convenzionale. Tutte le attività nei suoli trattati in maniera biologica sono state sempre superiori a quelle dei suoli a regime convenzionale per ognuno dei tre periodi di campionamento considerati nei due anni di analisi. Data anche l'entità delle differenze rilevate, questi dati sembrano confermare che la coltivazione con il metodo biologico potenzi l'attività enzimatica del suolo e, di conseguenza, la degradazione dei composti organici, rendendo più efficiente il ciclo dei nutrienti.

Inoltre, le diversità nelle successioni delle particelle a regime biologico hanno portato a livelli di attività enzimatica diversa nei campioni considerati (ad eccezione delle fosfodiesterasi), con i valori più elevati nelle tesi a gestione più conservativa della fertilità e con maggior biodiversità (più consociazioni e minor entità delle lavorazioni).

Malgrado tutti gli enzimi considerati mostrino che il periodo di campionamento sia un parametro significativo, l'andamento stagionale dell'attività enzimatica non è sempre risultato chiaro, evidenziando come ogni enzima risponda in maniera peculiare alle condizioni ambientali (es. temperatura, umidità del suolo), o che ci sono altri fattori, non presi in considerazione in questo studio, che ne condizionano l'attività.

I dati di attività enzimatica sono in sintonia con i contenuti di sostanza organica del terreno riscontrati nelle diverse tesi, che nel biologico presentavano valori circa doppi rispetto al convenzionale, rimasti tuttavia invariati tra il rilievo iniziale e quello finale. È molto probabile che la dotazione di sostanza organica dei terreni biologici si sia "costruita" nel corso degli anni grazie a consistenti apporti di sostanza organica, sottoforma di letame ma soprattutto di sovesci, coltivati nelle prove di panoramica delle specie fin dal 2002.

Nel valutare la composizione delle sostanze organiche, le tesi a regime biologico sono risultate avere valori di carbonio umico sensibilmente superiori rispetto ai terreni

a regime convenzionale, vale a dire un più elevato contenuto di sostanza organica di maggior qualità, in quanto più stabile. Questo parametro si è rivelato, a differenza del carbonio totale, piuttosto sensibile alle pratiche agronomiche (es. lavorazioni) oltre che alle condizioni ambientali, con una situazione più orientata verso l'umificazione nel 2008, e una più spinta degradazione delle sostanze umiche nel 2009. Nell'ambito delle sostanze umiche è stato inoltre possibile discernere tra le frazioni a diverso peso molecolare, con una maggior presenza della frazione ad alto peso (maggiormente stabile) nelle tesi biologiche e viceversa per la frazione a basso peso (più labile) per quel che riguarda le tesi convenzionali. A questo proposito è utile sottolineare il significativo maggiore sequestro di anidride carbonica, correlato alla presenza di sostanze umiche maggiormente stabili, negli appezzamenti biologici rispetto a quelli convenzionali. Anche il frazionamento delle sostanze umiche (in base ai pesi molecolari) si è rivelato un parametro piuttosto dinamico, con un aumento generalizzato dei composti umici di peso intermedio dal 2008 al 2009, e quindi, una tendenza al blocco del processo di umificazione sia nelle

tesi bio che convenzionali. In questa fase non è stato tuttavia possibile stabilire una relazione tra questo fenomeno e le pratiche agronomiche adottate.



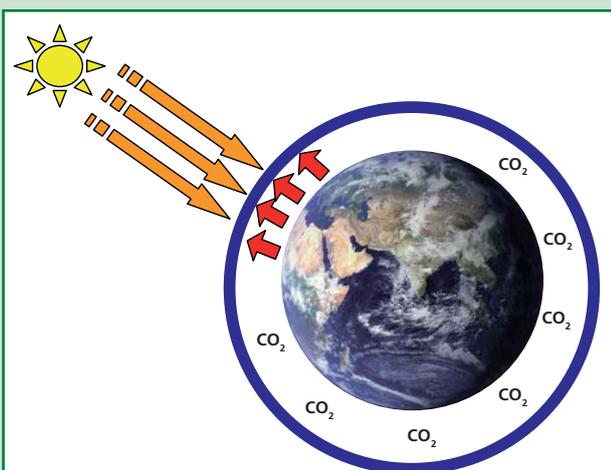
Panoramica della prova di consociazione di orzo con pisello nell'avvicendamento a 'Po di Tramontana'. Orzo consociato a sinistra, orzo in purezza a destra.

Ruolo dell'agricoltura nei cambiamenti climatici e sequestro di Carbonio

Le piante, grazie alla fotosintesi, incorporano nei loro tessuti il carbonio proveniente dall'anidride carbonica atmosferica. I tessuti vegetali, una volta interrati tal quali (residui colturali, erbai da sovescio) o sottoforma di compost o letame, sono convertiti dalla fauna e dai microrganismi terricoli in humus. L'humus è un complesso di sostanze essenzialmente stabili ed è costituito da sostanza organica che si stima contenga il 58% di carbonio. L'agricoltura è l'unico tra i sistemi produttivi attualmente conosciuti in grado di sottrarre l'anidride carbonica dall'atmosfera,

umentando le riserve in humus dei terreni. Anche tramite l'adozione di pratiche agronomiche conservative (ad esempio: minime lavorazioni o semina su sodo, impiego ridotto di pesticidi e concimi chimici, interrimento dei residui, minor concentrazione di capi bestiame per ettaro), l'agricoltura è in grado di dare un ulteriore contributo alla riduzione delle emissioni di gas clima-alteranti. Questo aspetto vede riaffermare il ruolo multifunzionale dell'agricoltura rispetto all'ambiente, che deve essere riconosciuto e valorizzato¹.

Se prendiamo come esempio i terreni che sono stati oggetto di questa prova, possiamo fare il calcolo di quanto carbonio è stato sequestrato nei suoli a regime biologico rispetto a quello sequestrato nei suoli a regime convenzionale e di quanta sostanza organica maggiormente stabile (carbonio umico) disponiamo nelle due situazioni al termine della prova. A partire dal 2002, solo nei terreni convertiti a biologico, c'è stato un costante apporto di sostanza organica tramite la coltivazione di erbai da sovescio.



Effetto serra e agricoltura:
se nell'atmosfera c'è troppa CO₂ il calore emesso dalla Terra non si disperde all'esterno

Parametri del suolo	Tipo di conduzione	
	Biologico	Convenzionale
Densità apparente 2008-2009	1,48 kg/dm ³	1,57 kg/dm ³
Carbonio organico totale 2002 (COT)	0,97 %*	0,64 %*
Carbonio organico totale 2009 (COT)	1,28 %*	0,61 %*
Carbonio umico 2009 (CU)	0,29 %	0,11 %

* Valori rilevati con metodologie analoghe da laboratori privati accreditati con sistema Qualità UNI EN ISO 9001:00.

¹ Tavolo Italiano "Agricoltura Biologica per il Clima", Bologna 2010.
<http://www.icea.info/tabid/57/articleType/ArticleView/articled/365/Default.aspx>
<http://www.organicandclimate.org>

- 1) Calcoliamo il volume di 1 ettaro di terreno fino alla profondità di 30 cm e portiamo tutto a unità di misura omogenee; abbiamo scelto di eseguire questi calcoli a profondità non maggiori di 30 cm perché questo è, in generale, il limite critico oltre il quale l'attività microbica, che contribuisce alla genesi dell'humus ed alla sua distruzione, si riduce significativamente a causa dell'abbassamento della macroporosità e quindi della circolazione dell'aria e dell'ossigeno:

$$1 \text{ ettaro} = 10.000 \text{ m}^2 = 1.000.000 \text{ dm}^2$$

$$30 \text{ cm} = 3 \text{ dm}$$

$$\text{volume} = 1.000.000 \times 3 = 3.000.000 \text{ dm}^3$$

- 2) Calcoliamo il peso in kg del volume di quel terreno:
 peso = volume x densità apparente
 (le densità apparenti medie dei terreni sono, rispettivamente, Biologico 1,48 kg/dm³ e Convenzionale 1,57 kg/dm³)

settore Biologico

$$3.000.000 \text{ dm}^3 \times 1,48 \text{ kg/dm}^3 = 4.440.000 \text{ kg}$$

settore Convenzionale

$$3.000.000 \text{ dm}^3 \times 1,57 \text{ kg/dm}^3 = 4.710.000 \text{ kg}$$

- 3) Calcoliamo la quantità di carbonio organico totale presente nel 2009 nei rispettivi volumi di terreno sapendo che nel settore Biologico è pari a 1,28% del peso del terreno, nel settore Convenzionale è pari a 0,61%:

COT settore Biologico

$$4.440.000 \text{ kg} \times 1,28/100 = 56.832 \text{ kg/ha}$$

COT settore Convenzionale

$$4.710.000 \text{ kg} \times 0,63/100 = 28.731 \text{ kg/ha}$$

- 4) Calcoliamo, inoltre, la quantità di carbonio umico presente nei rispettivi volumi di terreno al termine della prova (nel settore Biologico è pari allo 0,29% del peso del terreno; nel settore Convenzionale è pari a 0,11%):

CU settore Biologico

$$4.440.000 \text{ kg} \times 0,29/100 = 12.876 \text{ kg/ha}$$

CU settore Convenzionale

$$4.710.000 \text{ kg} \times 0,11/100 = 5.181 \text{ kg/ha}$$

In altre parole, i terreni a 'Po di Tramontana' hanno mostrato nel 2009 una dotazione di carbonio organico totale che è circa doppia nei terreni a regime biologico rispetto a quelli a regime convenzionale, mentre la riserva più stabile, costituita dal carbonio umico, risulta superiore di quasi due volte e mezzo.

- 5) Facendo la differenza del quantitativo di carbonio umico accumulato nel suolo nelle due diverse conduzioni possiamo risalire alla diversa quantità di CO₂ stoccata più o meno stabilmente nei due suoli (aggiriamo l'ostacolo di non considerare la dotazione iniziale in quanto non disponibile come dato).

Differenza di contenuto in CU (**Biologico**) 12.876 kg/ha - (**Convenzionale**) 5.181 kg/ha = 7.695 kg/ha.

Questa differenza di contenuto in carbonio umico tradotta in CO₂ corrisponde a 28,2 t/ha di anidride car-

bonica in più sequestrata dall'atmosfera in una forma piuttosto stabile, nei primi 30 cm dei terreni a conduzione biologica rispetto a quelli in convenzionale (7.695 kg/ha di carbonio umico x 44/12 = 28.215 kg/ha).

- 6) Se facciamo un confronto dei contenuti di carbonio organico misurati nel 2009 rispetto a quelli misurati nel 2002 (anno in cui sono cominciati gli apporti sistematici di sostanza organica nei terreni convertiti a biologico) possiamo evidenziare come nel Convenzionale abbiamo un lieve decremento della sostanza organica del suolo, passando da valori di COT di 0,64% del 2002 a 0,61% del 2009, mentre nel settore Biologico il valore di COT è aumentato dallo 0,97% del 2002 al 1,28% del 2009 (Fig. 4.32). L'incremento di COT nei primi 30 centimetri di suolo per il settore biologico, nel settennio, è pari a 56.832 kg/ha - 43.068 kg/ha = 13.764 kg/ha, a fronte di un lieve decremento del settore convenzionale pari a 28.731 kg/ha - 30.144 kg/ha = - 1.413 kg/ha.

Il vantaggio globale del confronto biologico/convenzionale si ottiene sottraendo alla variazione di COT del Biologico (13.764 kg/ha), la variazione di COT Convenzionale (- 1.413 kg/ha), ottenendo così 15.177 kg/ha di carbonio organico nel settennio e di circa 2.168 kg/ha per anno.

In termini di sequestro di CO₂, con la conduzione biologica e grazie ai sovesci è stato possibile ottenere un vantaggio annuale di 7,95 t/ha di CO₂ rispetto ai terreni a conduzione convenzionale.

La conclusione è che le due zone, seppur costituite sostanzialmente dallo stesso tipo di suolo e coltivate nello stesso modo fino al 2001, grazie ad una successiva differente gestione del terreno, si sono evolute nel caso del Biologico, aumentando il contenuto di sostanza organica e sequestrando CO₂ dall'atmosfera, nel caso del Convenzionale, mantenendo pressoché stabile il contenuto di sostanza organica e non accumulando CO₂ nel terreno. Nel settore biologico, inoltre, la sostanza organica è risultata di qualità migliore data da un maggiore contenuto di carbonio umico.

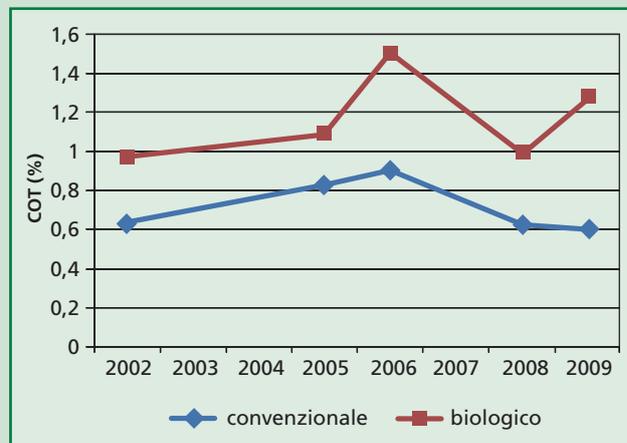


Figura 4.32 - Andamento del contenuto (%) di carbonio organico totale (COT) dei terreni a gestione biologica e convenzionale al Centro 'Po di Tramontana' dal 2002 al 2009.

Le tesi a conduzione biologica hanno avuto anche un effetto positivo sugli indicatori fisici, soprattutto nel caso della stabilità di struttura. Il parametro si è dimostrato particolarmente sensibile ai trattamenti, indipendentemente dalle condizioni di campionamento. I tre diversi test di misurazione della stabilità rilevano all'unanimità una maggior stabilità di struttura del terreno delle tesi biologiche, dovuta con molta probabilità all'effetto di maggior forza dei legami (*bounding*) del complesso argillo umico, confermando, rispetto alla caratterizzazione della sostanza organica, una migliore qualità delle sostanze umiche presenti. Diverso è il caso della densità apparente e della resistenza alla penetrazione, le quali hanno risentito dell'interazione tra i fattori pedo-climatici e colturali della prova. Nonostante questo "rumore di fondo", dovuto alla natura dell'indagine, in cui sono analizzati diversi sistemi colturali che avevano ognuno una logica "di per sè" e in cui le tesi si differenziavano per tutta una serie di fattori agronomici (e quindi non era possibile verificare l'incidenza di singoli fattori sui parametri rilevati), si è comunque confermato il ruolo positivo delle concimazioni organiche sullo stato strutturale del terreno.

Infine, mettendo in correlazione i parametri rilevati, si è potuto apprezzare come molti dei fattori in gioco nella caratterizzazione della fertilità del suolo non siano indipendenti l'uno dall'altro. Ad esempio: gli indici di stabilità strutturale sono correlati con la sostanza organica e con la frazione umica ad alto peso molecolare; la resistenza alla penetrazione è correlata positivamente con la densità apparente e con il contenuto argilla e negativamente con il contenuto in limo.

Tutto ciò dà un'idea di quanto i fattori della fertilità fisica siano interconnessi sia tra di loro, sia con quelli della fertilità chimica e biologica in un dinamico divenire in cui risulta molto difficoltoso determinare tra i vari fenomeni in gioco quale sia la causa e quale l'effetto e quanto un approccio multidisciplinare sia il più adatto a rendere il merito di tale complessità. Ogni indagine in questo campo accresce in noi la meraviglia di scoprire quanto sia complesso e affascinante quella sorta di organismo biotico-abiotico che è il terreno e di sorprendersi come uno strato così sottile rispetto allo spessore della crosta terrestre, sia responsabile della vita e della sopravvivenza di un così elevato numero di esseri viventi, tra cui le piante coltivate e, di conseguenza, anche l'uomo.



Coltivazione di radicchio di Treviso precoce e di finocchio nell'avvicendamento della prova a 'Po di Tramontana'.

L'importanza dei buoni avvicendamenti

Nel parlare comune l'avvicendamento è spesso usato come sinonimo di rotazione; in realtà la distinzione tra i due è in apparenza sottile ma sostanziale. Il termine "rotazione" indica la sequenza con cui diverse specie sono coltivate nello stesso appezzamento secondo una ripetitività legata a un ciclo stabilito a priori (per esempio: frumento, radicchio, patata, frumento, radicchio, patata); il termine "avvicendamento", invece, indica una successione razionale, ma libera, di specie coltivate nello stesso appezzamento che all'occorrenza può essere modificata in funzione delle condizioni del terreno, del clima, del mercato. L'avvicendamento non è, dunque, legato ad un ciclo stabilito a priori (esempio: frumento, radicchio, patata, spinacio, sovescio autunno-vernino, porro, zucca, frumento, cavolfiore, ecc.); di conseguenza, è preferibile progettare la sequenza delle colture nella stessa parcella per mezzo di avvicendamenti piuttosto che di rotazioni, per le maggiori opportunità agronomiche che i primi danno rispetto alle seconde.

Se ben studiato, l'avvicendamento porta grandi vantaggi in termini di fertilità del terreno: infatti, i diversi periodi di coltivazione delle varie colture, i tipi d'apparato radicale (fascicolato/fittonante, superficiale/profondo, folto/rado), le diverse quantità e caratteristiche dei re-

sidui colturali, la diversa ospitalità offerta ai parassiti, le differenti esigenze nutrizionali e tecniche colturali possono essere combinate in una sequenza virtuosa capace di mantenere il terreno fertile nei suoi aspetti biologici, fisici e chimici.

Le sei regole per progettare un avvicendamento

È possibile pianificare un avvicendamento attraverso un lavoro di progettazione fatto di sei tappe, ognuna migliorativa della precedente.

5.1 Conoscere i cicli di sviluppo delle specie coltivate

Significa organizzare le coltivazioni, nello stesso appezzamento, in una sequenza che rispetti le necessità delle varie specie in fatto di temperatura, umidità, ore di luce e che sia coerente con i rispettivi periodi di semina/trapianto e fine coltura/raccolta. L'obiettivo è quello di non lasciare il terreno nudo per troppo tempo (sarebbe bene non più di un mese), in modo da prevenire la lisciviazione dei nitrati causata dalle piogge, così come, nel periodo estivo, un'eccessiva mineralizzazione dell'humus prodotta dalle alte temperature e dall'ossigenazione del suolo (eremacausi).



Coltivare molte specie dà maggiori opportunità nella gestione degli avvicendamenti. (Foto Coop. Campoverde - Castelfranco Veneto, TV)

Esempio di avvicendamento fra orticole e seminativi:

nov '10 - lug '11	cereale autunno-vernino
lug '11 - feb '12	radicchio
mar '12 - ago '12	patata
ago '12 - ott '12	cavolo cappuccio
nov '12 - lug '13	aglio
lug '13 - ott '13	finocchio
nov '13 - mag '14	pisello
giu '14 - mar '15	porro
apr '15 - set '15	zucca

5.2 Progettare la gestione della fertilità del suolo

Significa preoccuparsi di mantenere in pareggio (sarebbe meglio in utile) il bilancio umico e di provvedere che le colture avvicendate abbiano a disposizione abbastanza nutrienti per potersi sviluppare in modo soddisfacente. A tal fine occorre ragionare su quali fertilizzanti e tecniche sia opportuno impiegare: letame e compost hanno un'elevata resa in humus, ma anche la coltivazione di un erbaio da sovescio e l'avvicendamento a prato o a medicaio danno buoni risultati.

Nel caso si decidesse di adottare la tecnica del sovescio per avvantaggiarsi non solo della sua azione "fertilizzante", ma anche dei numerosi altri suoi benefici (Chiarini & Conte, 2006, 2007), è possibile che, ogni tanto, si debba rinunciare alla coltivazione di una coltura da reddito.

Nel caso si volesse concimare con letame o compost, questi saranno di produzione intra o extra aziendale? Ciò implica la possibilità o meno di averli a disposizione al momento opportuno e con un adeguato grado di maturazione: infatti, il letame maturo può essere interrato anche pochi giorni prima della semina/trapianto di una coltura, quello fresco, invece, almeno tre mesi prima per evitare fenomeni di fitotossicità. Anche le quantità sono importanti: in un terreno di medio impasto, normalmente, la quantità di letame maturo in grado di compensare le perdite annuali di humus è di circa 2 kg/m²; se poi, oltre a questo, ci fosse l'esigenza di avere nei mesi successivi all'interramento anche un buon rilascio di azoto, si dovrà tenere conto che, per ogni 100 kg di letame interrato, nello stesso anno, si renderanno disponibili circa 0,3 kg di azoto, dunque dall'interramento di 20 t/ha di letame maturo, si rendono nell'anno disponibili per le colture 60 kg/ha di azoto, ai quali dovranno essere som-



Le diverse tipologie di apparato radicale (fittonante o fascicolato) si ritrovano nelle essenze da sovescio comunemente utilizzate.

mati 70-80 kg di azoto per ettaro derivanti dalla mineralizzazione dell'humus. Il compost ha più sostanza secca del letame e in genere compensa le perdite annuali di humus somministrato alla dose di 1-1,5 kg/m².

Proseguendo il cammino nell'avvicendamento enunciato nel punto 5.1, ora si propongono altri esempi che vogliono essere semplicemente un'esercitazione, utile al lettore per accompagnarlo alla comprensione del tema. Va messo in evidenza che gli esempi che di volta in volta saranno fatti, potranno essere sempre migliorati nella pratica di campo in funzione delle caratteristiche ambientali ed aziendali.

Esempio d'inserimento di solo letame nell'avvicendamento:

nov '10 - lug '11	cereale autunno-vernino
lug '11 - feb '12	radicchio
mar '12	letame maturo 500 q/ha
apr '12 - ago '12	patata
ago '12 - ott '12	finocchio
nov '12	letame maturo 250 q/ha
nov '12 - lug '13	aglio
ago '13 - ott '13	cavolo cappuccio
nov '13	letame fresco 300 q/ha
apr '14 - set '14	pomodoro da industria
ott '14	letame maturo 250 q/ha
nov '14 - lug '15	cereale autunno-vernino

Esempio d'inserimento di soli erbai da sovescio nell'avvicendamento:

nov '10 - lug '11	cereale autunno-vernino
lug '11 - feb '12	radicchio
mar '12 - giu '12	sovescio primaverile (avena+veccia)
giu '12 - mar '13	porro
mar '13 - giu '13	sovescio primaverile (senape+favino)
giu '13 - lug '13	lattuga
lug '13 - ott '13	finocchio
nov '13 - mag '14	pisello
giu '14 - set '14	zucchino
ott '14 - mag '15	sovescio autunno-vernino (segale+trifoglio incarnato)

Esempio d'inserimento di letame ed erbai da sovescio nell'avvicendamento:

nov '10 - lug '11	cereale autunno-vernino
lug '11 - feb '12	radicchio
mar '12 - giu '12	sovescio primaverile (avena+veccia)
lug '12 - ott '12	finocchio
nov '12 - lug '13	aglio
lug '13 - ott '13	sovescio estivo (sorgo sudanese)
nov '13 - mag '14	pisello
giu '14 - ott '14	zucchino
ott '14	letame maturo
nov '14 - lug '15	cereale autunno-vernino



Grazie alla simbiosi radicale con il Rizobio, le leguminose arricchiscono il terreno d'azoto.

5.3 Progettare il controllo delle erbe infestanti

Questo passaggio presuppone la conoscenza della composizione floristica delle specie spontanee presenti negli appezzamenti coltivati, nonché il loro ciclo di sviluppo e le modalità di propagazione (per seme o per parti di pianta); in generale, le erbe infestanti più problematiche sono quelle che si moltiplicano anche per parti di pianta, come, per esempio, la sorghetta, la portulaca, il convulvolo.

Dopodichè, bisognerà stabilire se le colture programmate saranno seminate o trapiantate. Il trapianto pone la coltura da reddito in una posizione di vantaggio rispetto alle erbe infestanti, la semina no; il trapianto, tuttavia, non è sempre possibile, per esempio nel caso del pisello, della carota, del fagiolo.

Un'altra scelta che si pone è quella di coltivare le diverse colture da reddito con o senza pacciamatura. A questo proposito, occorre tenere conto che la pacciamatura non

è consigliabile su tutte le colture, sia per motivi economici (costo del materiale pacciamante e/o della manodopera), sia tecnici (per esempio, ci sono specie che vanno seminate, come il pisello, oppure rincalzate, come il porro). Se nel campo ci fosse un'abbondante presenza di rizomi di sorghetta e si volessero coltivare ortaggi senza impiegare la pacciamatura, (per esempio, fagiolo, patata, cavolfiore), potrebbero essere necessari parecchi interventi manuali con la zappa o meccanici con la sarchiatrice per contenere la presenza di quest'erba infestante; al contrario, se si progettasse l'avvicendamento coltivando, per un paio di anni e nel periodo critico (estate), colture adatte alla pacciamatura con teli (per esempio, pomodoro, peperone, melanzana, zucchino), si potrebbe in parte riuscire a bonificare quell'appezzamento dai rizomi di sorghetta. Un altro stratagemma, sempre nel caso di una massiccia presenza di sorghetta, potrebbe essere quello di posticipare di un anno la coltivazione della specie da reddito sensibile e seminare nel periodo estivo un erbaio da sovescio di grano saraceno che ha presunti effetti allelopatici sulla graminacea infestante.



La tecnica del sovescio può essere un valido aiuto nel controllo di alcune erbe infestanti piuttosto ostiche; ad esempio il grano saraceno può essere utile nel contenimento della sorghetta.

Esempio d'inserimento nell'avvicendamento di una coltura da sovescio estiva (grano saraceno) per ridurre la presenza di sorghetta in vista della coltivazione di radicchio (specie sensibile) programmata per l'estate dell'anno successivo:

nov '10 - lug '11	cereale autunno-vernino
lug '11 - feb '12	radicchio
mar '12 - mag '12	sovescio primaverile (avena+veccia)
giu '12 - lug '12	lattuga
ago '12 - ott '12	cavolo cappuccio
ott '12	letame maturo
nov '12 - lug '13	aglio
lug '13 - set '13	sovescio estivo (grano saraceno)
ott '13	letame maturo
nov '13 - lug '14	cereale autunno-vernino
lug '14 - feb '15	radicchio
mar '15 - giu '15	sovescio primaverile (loiessa+favino)
giu '15 - mar '16	porro

5.4 Progettare la gestione dell'irrigazione

Se nello stesso appezzamento fossero contemporaneamente presenti più colture, il metodo d'irrigazione (a pioggia, a goccia, a scorrimento, ecc.) dovrà essere compatibile con le loro esigenze sia per quanto riguarda l'approvvigionamento idrico, sia per non favorire attacchi parassitari (in particolare di funghi e batteri). Nello stesso appezzamento non si metteranno coltivazioni che normalmente si irrigano a pioggia (per esempio, fagiolo, porro) vicine a coltivazioni che normalmente si irrigano a goccia (per esempio le colture pacciamate), ma saranno coltivate in due parcelle ben distinte. Questa accortezza è particolarmente importante nella coltivazione di specie come pomodoro, melone, zucchino, cetriolo, anguria, molto sensibili alla peronospora, una grave malattia parassitaria causata da microrganismi che si avvantaggiano di ripetute e prolungate bagnature della vegetazione. A questo proposito, occorre essere prudenti nell'uso dell'ala piovana quando si vuole irrigare contemporaneamente più specie coltivate nella stessa parcella.



Ala piovana in funzione.



Coltura di melone con pacciamatura biodegradabile e manichette per l'irrigazione.

5.5 Lasciare tempo adeguato fra una coltivazione e la successiva

Nella progettazione dell'avvicendamento, non si deve dimenticare che il campo potrebbe non essere sempre accessibile alle macchine agricole e il terreno potrebbe non trovarsi sempre nelle condizioni di essere lavorato; questo è importante soprattutto su terreni con molta argilla o limo, nei climi freschi e umidi, negli appezzamenti poco esposti al sole.

Non è raro che ci possano essere dei lunghi periodi in cui il terreno non è lavorabile, per esempio perché troppo secco (elevata tenacità → alti consumi energetici e risultati tecnici insoddisfacenti), oppure perché troppo bagnato (elevata plasticità → rischio di compattamento, di formazione della suola di lavorazione e di aggregati compatti e di grosse dimensioni): in entrambi i casi il ri-

schio di perdita di fertilità sarebbe alto. Un altro esempio di "necessità di tempo" è quando la gestione del controllo delle erbe infestanti prevede l'esecuzione di una "falsa semina"; a seconda del decorso climatico, si potrebbe arrivare ad avere bisogno anche di più di un mese di tempo prima di poter procedere con le operazioni di semina o trapianto della coltura da reddito.

Esempio d'inserimento di una falsa semina nel caso di avvicendamento con la coltura di carota:

nov '10 - lug '11	cereale autunno-vernino
lug '11 - feb '12	radicchio
mar '12	falsa semina
apr '12 - lug '12	carota
ago '12 - ott '12	cavolo cappuccio, ecc.



Effetti del compattamento: ridotta transitabilità del suolo (traccia pneumatico, foto a sinistra) e ridotto accrescimento delle piante (foto a destra) in corrispondenza del passaggio del trattore, prima della semina, in condizioni di eccessiva umidità del suolo.

5.6 Le specie avvicendate non devono condividere parassiti

Per prevenire un incontrollato sviluppo delle popolazioni di organismi dannosi (funghi, insetti, batteri, nematodi) è necessario impegnarsi a non offrirgli alimento in modo continuativo, in modo particolare ai parassiti terricoli; è dunque fondamentale avvicendare fra loro colture non ospiti degli stessi parassiti. A tal fine, non sempre è sufficiente avvicendare tra loro specie che appartengono a famiglie diverse, come spesso si suggerisce: per esempio, pomodoro, peperone, patata, melanzana, cetriolo, zuccino, melone, anguria, zucca, lattuga, (9 specie, 3 famiglie) hanno in comune diversi parassiti terricoli (tabella a pag. 48).

Va comunque evidenziato che un buon avvicendamento è solo il **primo livello** nel lavoro di prevenzione degli attacchi da parassiti terricoli; il **secondo livello** è rappresentato da tutte le pratiche agronomiche virtuose capaci di aumentare la ricchezza in specie presenti nel terreno (micro e macro organismi): la biodiversità terricola è favorita sia dalla biodiversità coltivata (ricchezza di specie nel campo), sia dalle condizioni del suolo (buona permeabilità all'aria e all'acqua, assenza di sostanze tossiche, buon contenuto di sostanza organica). Il **terzo livello** prevede, in caso di conclamata presenza di parassiti terricoli, l'avvicendamento delle colture da reddito con erbai da sovescio di specie ad azione biocida, come sono alcune varietà di senape nera, rafano e rucola.



Erbaio da sovescio ad azione biocida (*Brassica juncea*).



I nematodi sono i tipici parassiti terricoli presenti laddove gli avvicendamenti sono assenti o mal progettati (galle radicali provocate da *Meloidogyne* spp.).

Un consiglio finale

Sarebbe opportuno che ogni agricoltore si facesse questa domanda: l'ordinamento produttivo dell'azienda e la relativa organizzazione commerciale sono compatibili con la progettazione di avvicendamenti virtuosi, utili nel prevenire l'accumulo di parassiti nel terreno e di erbe infestanti, adatti per prevenire la perdita di sostanza organica ed efficaci nel mantenere il terreno fertile, ospite di vita, permeabile all'aria e all'acqua?

Da questo punto di vista è evidente che la specializzazione colturale in agricoltura (cioè la ripetuta coltivazione di poche specie da reddito), essendo incompatibile con i principi che regolano gli ecosistemi naturali, non potrà che comportare ripetuti e onerosi interventi correttivi per la gestione della fertilità del suolo, per il contenimento dei parassiti e delle erbe infestanti.

PARASSITI TERRICOLI CONDIVISI FRA ALCUNE SPECIE ORTICOLE						
	<i>Verticillium</i> spp.	<i>Rhizoctonia</i> <i>solani</i>	<i>Pyrenochaeta</i> <i>lycopersici</i>	<i>Thielaviopsis</i> <i>basicola</i>	<i>Phytophthora</i> <i>capsici</i>	<i>Meloidogyne</i> <i>incognita</i>
	fungo	fungo	fungo	fungo	fungo	nematode
Famiglia delle Solanacee						
Melanzana	X	X	X	X	X	X
Patata	X	X				X
Peperone	X	X	X	X	X	X
Pomodoro	X	X	X	X		X
Famiglia delle Cucurbitacee						
Anguria	X	X	X	X	X	X
Cetriolo	X	X	X	X	X	X
Melone	X	X	X	X	X	X
Zucchini	X	X	X	X	X	X
Famiglia delle Composite						
Lattuga	X	X				X



Le essenze ad azione biocida (famiglia delle crucifere) permettono di associare un cospicuo apporto di sostanza organica (soprattutto nel caso del rafano, foto a sinistra) all'azione rinettante da nematodi e parassiti fungini (sovescio di rucola nematocida, foto a destra).

IN SINTESI: I NUMEROSI VANTAGGI DI UN AVVICENDAMENTO VIRTUOSO

1. L'avvicendamento fra specie diverse può essere realizzato in una sequenza che impedisce di fornire in modo continuativo alimento ad un determinato parassita.
2. I residui colturali di diversa quantità e composizione chimica promuovono un aumento della biodiversità terricola: numerose specie di micro e macro organismi trovano nutrimento sia direttamente dalla massa vegetale, sia nella catena alimentare che nasce da essa; alcuni di questi organismi sono molto utili: contribuiranno alla protezione delle piante dagli attacchi parassitari.
3. I residui colturali, gli erbai da sovescio, le colture foraggere poliennali hanno una resa in humus che contribuisce a rimpinguare le riserve di questo prezioso elemento.
4. Gli apparati radicali degli erbai da sovescio e delle colture foraggere, in misura diversa a seconda della specie, lavorano il terreno migliorandolo nella struttura e lo riequilibrano in termini di micro e macro porosità; l'apparato radicale fascicolato delle graminacee migliora sensibilmente la struttura nei primi 20 cm del terreno, l'apparato fittonante delle crucifere e delle leguminose crea dei larghi canali che facilitano lo sgrondo dell'acqua caduta in eccesso.
5. Un miglioramento delle caratteristiche strutturali del terreno è fornito anche dalle specie da reddito caratterizzate da particolari apparati radicali o associate a particolari tecniche colturali: per esempio, l'erba medica ed i trifogli coi loro poderosi apparati radicali fittonanti migliorano il drenaggio; la patata ed il porro sia per la morfologia dei loro apparati radicali, sia per la tecnica colturale, lasciano un terreno molto soffice alla coltura che seguirà.



Esempio di biodiversità in un unico erbaio da sovescio (sono visibili: veccia, facelia, trifoglio incarnato, trifoglio alessandrino).



Il suolo è uno dei beni più preziosi dell'umanità. Consente la vita dei vegetali, degli animali e dell'uomo sulla superficie della terra.

(Dalla Carta Europea del Suolo, Consiglio d'Europa, 1972)

- Adam G., Duncan H., (2001). *Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. Soil Biology & Biochemistry*, 33, 943-951.
- Burges A., Raw F., (1967). *Soil Biology*. Academic Press, London and New York.
- Chiarini F., Conte L., (2006). *Tutti i numeri dei sovesci estivi. Bioagricoltura*, 100, 36-40.
- Chiarini F., Conte L., (2007). *Le brassicacee, regine dei sovesci primaverili. Bioagricoltura*, 105, 29-33.
- De Nobili M., Chen Y., (1999). *Size exclusion chromatography of humic substances: Limits, perspectives and prospectives. Soil Science*, 164, 825-833.
- Hillel D., (1998). *Environmental Soil Physics*. Academic Press, Elsevier, USA.
- Howard A., (1956). *An agricultural testament*. The Other India press, GOA, 262.
- Mader P., Fliessbach A., Dubois D., Gunst L., Fried P., Niggli U., (2002). *Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science*, 296, 1694-1697.
- Schulten H. R., Leinweber P., (2000). *New insights into organic-mineral particles: composition, properties and models of molecular structure. Biology and fertility of soils*, 30(5-6), 399-432.
- Vierheilig H., Coughlan A.P., Wyss U., Y. Pichè, (1998). *Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. Applied and Environmental Microbiology*, 5004-5007.

Lecture per l'approfondimento:

Multifunzionalità dell'azienda agricola e sostenibilità ambientale. ISPRA Rapporti - N. 128/2010
http://www.isprambiente.it/site/it-IT/Pubblicazioni/Rapporti/Documenti/rapporto128_2010.html.



La gestione del suolo in agricoltura biologica Veneto Agricoltura, 2008 – Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agroalimentare. Scaricabile gratuitamente all'indirizzo: <http://www.venetoagricoltura.org/basic.php?ID=2011>.

A proposito di... Suolo. AA.VV., 2005. Edizioni ARPAV Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, Padova. www.arpa.veneto.it

Il suolo, un patrimonio da salvare. Bourguignon C., Bourguignon L., 2004. Slow Food Editore, Bra (CN).

Il suolo, questo sconosciuto! Test della vanga e profilo culturale. Pierre J., 2001. Edizioni Agridea, Lausanne, Svizzera. <http://www.agridea-lausanne.ch/scripts/publications/info.php?id=430>

La valutazione della fertilità del terreno. Diagnosi del terreno con la vanga. Mor P., 1991. La Buona Terra - news, set-ott 1991. Notiziario dell'Associazione Lombarda degli Agricoltori Biologici, Lonato (BS). www.labuonaterra.it

Alcune iniziative del BioVeneto sulla fertilità del suolo:

REGIONE DEL VENETO
 giunta regionale
VENETO AGRICOLTURA
 Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agroalimentare

LA GESTIONE DELLA FERTILITÀ DEL SUOLO NELL'AZIENDA AGRICOLA BIOLOGICA

13, 14 maggio
 10, 26 giugno 2008
 Veneto Agricoltura
 Corte Benedettina – Legnaro (PD)

CIP

REGIONE DEL VENETO
 giunta regionale
VENETO AGRICOLTURA
 Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agroalimentare

COME SI MISURA LA FERTILITÀ FISICA E BIOLOGICA DEL TERRENO: DAI METODI SCIENTIFICI ALLA PROVA DELLA VANGA

Incontro tecnico e visita al campo catalogo dei sovesci primaverili

Martedì 10 giugno 2008

AGRICOLTURA BIOLOGICA

Centro Sperimentale Ortofloricolo "Po di Tramontana"

CIP

REGIONE DEL VENETO
 giunta regionale
VENETO AGRICOLTURA
 Azienda Regionale per i Settori Agricolo, Forestale e Agroalimentare

LA FERTILITÀ DEL TERRENO E IL COMPATTAMENTO

Incontro tecnico e visita al campo catalogo dei sovesci autunno-primaverili

Mercoledì 6 maggio 2009
 ore 9,00

Centro Sperimentale Ortofloricolo "Po di Tramontana"

www.veneto.it



Il Centro Regionale Ortofloricolo 'Po di Tramontana' sito a Rosolina (RO).

Finito di stampare nel mese di Dicembre 2010
presso Chinchio Industria Grafica S.p.A.
Via Pacinotti, 10/12 - 35030 Rubano (PD)
Tel. +39 049 8738711 - Fax +39 049 8738708
info@chinchio.it - www.chinchio.it

