

La qualità del suolo: chiave delle produzioni sostenibili

Anna Benedetti*, Stefano Mocali

CRA – Centro per lo Studio delle Relazioni tra Pianta e Suolo
Via della Navicella 2, 00184 Roma

Società Italiana della Scienza del Suolo (SISS)

Riassunto

Negli ultimi anni sono state formulate molte definizioni sulla qualità del suolo, ma tra tutte certamente la più apprezzata è quella di Doran e Parkin del 1994 nella quale la qualità del suolo viene definita come “la capacità di interagire con l’ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute animale e vegetale”. In realtà molti studiosi del suolo attribuiscono ad essa un significato concettuale fondamentale nella programmazione territoriale e nella gestione aziendale, altri invece sostengono che in tale definizione non risieda alcun valore aggiunto nella comprensione e descrizione delle proprietà del suolo ma che il concetto di qualità del suolo viene a sovrapporsi con il concetto di “adatto per “ e quindi impone di definire in primo luogo la sua destinazione d’uso. La qualità degli alimenti è caratterizzata da un insieme di proprietà che vanno in primo luogo dalla salubrità al valore nutritivo, alle quantità prodotte, alla conservabilità, alla tipicità, alle proprietà organolettiche, ecc. Molte di queste proprietà dipendono dalla qualità ambientale ed in modo particolare dalla qualità del suolo. Il suolo rappresenta il substrato naturale per la crescita e produttività della maggior parte degli organismi vegetali che popolano la terra in quanto dal suolo le piante traggono gli elementi nutritivi indispensabili al loro sviluppo; conseguentemente ogni elemento presente nel suolo in forma biodisponibile alle piante è destinato potenzialmente ad entrare nella catena alimentare degli animali e dell’uomo. Nel controllo di qualità del processo produttivo degli alimenti dunque sarà fondamentale garantire la giusta qualità del suolo in termini sia di elementi indesiderati, che non costituiscono l’oggetto della presente nota, quanto degli elementi della fertilità, essenziali a garantire quantità e qualità nelle produzioni. Nella presente nota verranno discusse le relazioni che legano la qualità e la biodiversità del suolo alla qualità ed alla sostenibilità delle produzioni. Infine verrà discussa la peculiarità del suolo come “biota”, nodo di tutti gli equilibri ambientali e pertanto comparto chiave nella regolazione della vita sulla terra, e degli indicatori come strumenti di valutazione della qualità del suolo.

Parole chiave: biota suolo, indicatori di qualità del suolo, sostenibilità delle produzioni, qualità del suolo, biodiversità del suolo.

Summary

SOIL QUALITY: KEY FOR SUSTAINABLE PRODUCTION

In the last few years several definitions of “soil quality” have been advanced, but among them the most appreciated is “the ability of soils to interact with the ecosystem in order to maintain the biological productivity, the environmental quality and to promote animal and vegetal health” as defined by Doran and Parkin in 1994. Many researchers place more emphasis on its conceptual meaning for land planning and farm management, while others consider that definition to be worth nothing in order to understand soil properties and the concept of soil quality looks like the concept of “to be suitable for”. For this reason a definition of “soil use” is needed. The food quality is characterized by several properties: the healthiness and the nutritional value, the amount of the production, the typicalness and organoleptic properties, etc.. A lot of these properties depend on environmental quality and, in particular, on soil quality. In fact soil represents the natural substrate for growth and productivity of most of the plants that live on the Earth because they get all the essential nutritional elements from it for their own development; consequently each nutritional element present into the soil as bioavailable form for the plants is potentially destined to entry in the animal (and human) food chain. In the quality process of food productive process it will be important to assure the best soil quality as possible, without any unwanted element (which will not be discussed in this note) and with the right amount of fertility elements in order to guarantee the best production. In this paper the relationships between soil quality, soil biodiversity and crop sustainability will be discussed. Finally the concept of soil “biota” as nodal point for the environment regulation and the application of the indicators for soil quality will be discussed.

Key-words: indicators of soil quality, production sustainability, soil biota, soil quality, soil biodiversity.

* Autore corrispondente: tel.: +39 06 7008721; fax: +39 06 7005711. Indirizzo e-mail: anna.benedetti@entecra.it

Premessa

Dall'inizio degli anni Ottanta si sta verificando nel mondo un decremento della capacità produttiva del suolo in oltre il 10% delle terre coltivate, come risultato dell'erosione, dell'inquinamento dell'atmosfera, delle coltivazioni intensive, dell'eccesso di pascolamento, della salificazione e soprattutto della perdita di sostanza organica e della biodiversità (Jones et al., 2004). Come per l'aria e per l'acqua anche per il suolo la sua qualità complessiva ha un impatto diretto sulla produttività dei sistemi agricoli.

Molte le proposte da parte della comunità scientifica per individuare un'insieme di indicatori in grado di definire e stimare la qualità del suolo a supporto dei decisori politici e dei pianificatori territoriali. Doran e Parkin (1994) hanno definito la qualità del suolo "la capacità del suolo di interagire con l'ecosistema per mantenere la produttività biologica, la qualità ambientale e promuovere la salute animale e vegetale". Il dibattito a livello scientifico non è ancora concluso e in realtà molti studiosi attribuiscono ad essa un significato concettuale fondamentale nella programmazione territoriale e nella gestione aziendale, altri invece sostengono che in tale definizione non risieda alcun valore aggiunto nella comprensione e descrizione delle proprietà del suolo ma che il concetto di qualità viene a sovrapporsi con il concetto di "adatto per" e quindi impone di definire in primo luogo la sua destinazione d'uso. In realtà appare evidente come non sia sufficiente un solo indicatore o anche un set di indicatori universale per definire la qualità del suolo, ma di volta in volta debbano essere individuati e tarati in funzione della diversa destinazione d'uso (Brookes, 1995).

Per l'Italia e per l'area mediterranea in genere le problematiche principali di perdita della fertilità riguardano il pericolo della desertificazione dei suoli (Jones et al., 2004). In questo contesto gli indicatori legati alla sostanza organica ed alla fertilità biologica dei suoli sembrano essere i più rispondenti alla caratterizzazione delle "funzioni del suolo", così come definite dalla strategia tematica sulla conservazione del suolo.

Nella presente relazione verrà brevemente descritto il "soil biota" quale moderatore dell'intera vita sulla terra.

Il suolo come "biota"

"Soil biota" è un termine praticamente in traducibile che sta ad indicare l'intera comunità microbica vivente nel suolo e che esprime le funzioni vitali del suolo quasi a rappresentarlo come un unico organismo vivente; esso è caratterizzato anche da una significativa diversità spaziale con macroscopiche differenze tra suolo rizosferico e non rizosferico, tra macropori e micropori, tra diversi orizzonti lungo il profilo, ecc. Numerosi sono i fattori noti che possono interagire con il biota come, ad esempio, condizioni di eterogeneità spaziale e temporale (trattata d'acqua, presenza di nutrienti, aggregazione, composizione granulometrica, ecc.), nonché fattori di stress negativi o positivi che vanno direttamente ad interagire con il potenziamento della stabilità, resilienza e resistenza agli stress ed in ultima analisi con la produttività delle specie vegetali. È stato osservato che a volte le dimensioni delle particelle di suolo hanno un impatto sulla diversità e la struttura delle comunità microbiche più evidente di quanto non facciano pH e sostanza organica (Sessitsch et al., 2001). Tuttavia è stato osservato che il parametro che influenza maggiormente i microrganismi sono la qualità del suolo e soprattutto il suo pH (Girvan et al., 2003; Fierer e Jackson, 2006).

Nonostante i fattori ambientali e la tipologia di suolo influenzino la diversità microbica del suolo, spesso è la tipologia di pratica agricola utilizzata o il tipo di trattamento applicato che possono determinare rilevanti alterazioni della biodiversità (Gomez et al., 2006) con conseguenze che talvolta sono difficili – se non impossibili – da recuperare (Mocali et al., 2008).

Il suolo naturale è infatti un sistema ecologico aperto, che riceve e perde energia. Le modificazioni energetiche a cui va incontro sono determinate dalla nutrizione e dalla respirazione delle popolazioni microbiche, dal trasferimento e circolazione ciclica degli elementi, dalla sintesi e degradazione della sostanza organica. Si può affermare, quindi, che l'equilibrio del suolo naturale, cioè non coltivato, sia governato essenzialmente da quattro parametri: *bioenergetica, trasformazioni cicliche, umificazione e pedogenesi*, strettamente connessi l'uno con l'altro in modo da mantenere in equilibrio ecologico il terreno con l'ambiente. Lo sfruttamento agricolo modifica questi rapporti: le pratiche

agronomiche ad esempio accelerano le trasformazioni cicliche, pertanto questa maggiore dinamicità fa sì che il terreno agrario abbia un minor grado di stabilità rispetto al terreno naturale. Una delle funzioni più importanti dei microrganismi dei suoli agrari è, appunto, quella di presiedere alle trasformazioni a carico degli elementi nutritivi in modo da mantenere un equilibrio di scambio tra suolo e pianta, contribuendo così allo stato di fertilità dei terreni. Pertanto la moderna agricoltura dovrebbe prefiggersi lo scopo di raggiungere la massima produttività consentita dalle condizioni edafiche, mantenendo elevato non solo il livello della fertilità chimica, ma anche quello della *fertilità biologica*.

La fertilità biologica di un suolo può essere definita come una espressione della vita microbica dei suoli e dipende soprattutto dalla sostanza organica e dall'ambiente (Benedetti, 1983). L'ambiente inteso come clima non solo condiziona lo sviluppo dei microrganismi ma anche la loro attività e quindi l'evoluzione della sostanza organica, che è la fonte di energia necessaria per lo svolgimento della vita microbica. In particolare, per quanto riguarda la sostanza organica, si deve sottolineare che i residui vegetali sono costituiti da circa il 75% di cellulosa, il 15% di lignina, il 5% di proteine ed il 5% di ceneri. La quantità dei residui vegetali che si accumula nel terreno varia moltissimo, specie in rapporto alle diverse condizioni ambientali. Le proteine vengono trasformate in proteine microbiche, attraverso una serie di passaggi intermedi, la cellulosa viene ossidata in gran parte ad anidride carbonica dai microrganismi, quale fonte di energia, oppure utilizzata per la formazione di sostanza microbica. La lignina è molto più resistente alla degradazione ed è considerata il materiale principale da cui si produce l'humus (Sequi, 2005).

La sostanza organica dunque è un parametro molto importante per la fertilità biologica perché interviene non solo sulla formazione dell'humus, ma anche sulla formazione di sostanze specifiche microbiche e sul loro metabolismo. I microrganismi eterotrofi si servono infatti di monosaccaridi e azoto per le loro sintesi cellulari ed è stato dimostrato che il tenore in carbonio di un terreno influenza grandemente il metabolismo dell'azoto: un substrato con un elevato C/N favorisce l'immobilizzazione dell'azo-

to, mentre un C/N basso favorisce la mineralizzazione (Sequi, 1992).

La fertilità biologica unitamente alla fertilità chimica ed a quella fisica costituisce la fertilità agronomica o *integrale* dalla quale dipende la produttività. La fertilità tuttavia non è sinonimo di produttività in quanto la prima dipende dal terreno mentre la seconda sia dal terreno che dalla pianta. Inoltre le basi biologiche della produttività riferite ad un terreno naturale non coincidono con quelle della produttività agronomica in quanto quest'ultima rappresenta un livello produttivo superiore a quello naturale.

Sono state avanzate proposte sulle procedure da adottare a livello internazionale per la valutazione della qualità del suolo, e sono stati indicati dei parametri fisici, chimici e biologici come indicatori base per la qualità del suolo (Sparling et al., 2006). I microrganismi, ad esempio, vengono utilizzati come indicatori della qualità del suolo perché svolgono delle funzioni chiave nella degradazione e nel ricircolo della sostanza organica e dei nutrienti o rispondono prontamente ai cambiamenti dell'ambiente suolo. Inoltre l'attività microbica nel suolo rispecchia la somma di tutti i fattori che regolano la degradazione e la trasformazione dei nutrienti (Bloem et al., 2006).

La biodiversità del suolo

In genere nello studio della diversità biologica (biodiversità) le teorie ecologiche sono sempre state sviluppate essenzialmente per gli ecosistemi presenti sulla superficie del suolo, per gli animali e le piante superiori, trascurando per lungo tempo tutte quelle forme di vita che sono presenti all'interno di esso, in particolare i microrganismi, che rappresentano una enorme quantità di "vita invisibile" di fondamentale importanza per l'intera vita sulla terra (Wardle e Giller, 1996). Basti pensare che nel suolo è possibile trovare dal 95 al 98% della biodiversità della Terra. Infatti la microflora rappresenta la parte più rilevante della biomassa del suolo, ed è quella che maggiormente influisce sulle sue proprietà biologiche, regolando tutti i processi biochimici che ne determinano le proprietà nutrizionali (Bloem et al., 2003).

Nonostante la biodiversità sia così importante, al momento è ancora molto difficile riu-

scire a “misurarla”. Questo non è dovuto solo a motivi tecnici ma anche concettuali: basti pensare alla definizione classica di diversità biologica e la sua suddivisione in diversità “ecosistemica, di specie e genetica” attribuita ad animali e piante e alla difficoltà di definire il concetto di diversità di “specie” microbica in quanto non applicabile ad organismi che si riproducono per via asessuata come batteri e virus. La diversità microbica è quindi comunemente definita in termini di *richness*, ovvero il numero degli individui appartenenti a diversi “gruppi” detti *taxa*, e di *evenness* cioè alla loro distribuzione all’interno dei *taxa* stessi (Atlas e Bartha 1998). Inoltre lo studio dei microrganismi richiede necessariamente strumenti e metodologie differenti rispetto a quelli utilizzati per lo studio degli organismi superiori. Nonostante l’uso di sofisticate apparecchiature abbia consentito la stima di circa un miliardo di batteri per grammo di suolo, suddivisi in svariate migliaia di taxa differenti, la maggior parte di questi microrganismi rimane ancora sconosciuto. Utilizzando tecniche di microscopia, infatti, è stato dimostrato che solo l’1% del numero totale delle cellule batteriche presenti in campioni di suolo può essere coltivato sui terreni di coltura di laboratorio e successivamente caratterizzato (Torsvik et al., 1990), lasciando quindi ancora aperta la grande sfida di mettere in relazione la funzione con l’individuo (Nannipieri et al., 2003).

Come detto la composizione delle comunità microbiche può variare nel tempo in conseguenza dei cambiamenti che si verificano nel microambiente o per azione dei microrganismi che ne fanno parte (o di quelli che vi vengono immessi). Tuttavia molti microrganismi possono mantenere la medesima composizione all’interno di una comunità, ma modificare alcuni processi metabolici con conseguenze a livello funzionale ed ecologico. Ecco che si deve parlare anche di *diversità funzionale* dei microrganismi del suolo. Questa visione comporta anche una correlazione degli individui alla loro funzione, associando lo studio della singola cellula con quelli genomici e proteomici del suolo.

La biodiversità dei microrganismi del suolo, in virtù della varietà dei processi chimico-metabolici coinvolti, ha perciò un ruolo importante nel mantenere gli ecosistemi naturali in uno stato funzionalmente efficiente. L’equilibrio che si instaura nell’ecosistema microbico del suolo, do-

vuto alla stabilizzazione delle interrelazioni funzionali tra i vari microrganismi, si riflette positivamente sulle piante e, conseguentemente, sulla comunità animale sovrastante. L’agricoltura intensiva ad esempio, basata sulle monocolture e l’uso di pesticidi ed erbicidi, può influire sulla biodiversità del suolo ed in particolare sulla biodiversità dell’ecosistema, alterando gli equilibri strutturali della comunità microbica presenti e la composizione delle varie popolazioni che compongono tale comunità (Bolton et al., 1985; Doran, 1980; Ramsay et al., 1986).

Come già accennato in precedenza, la composizione e la struttura delle comunità microbiche del suolo dipendono, oltre che dalle interazioni tra le singole specie presenti, anche e soprattutto dalla natura chimico-fisica del terreno (Garbeva et al., 2004). La composizione del suolo rappresenta quindi uno dei principali fattori che influenzano significativamente la comunità microbica a livello sia interspecifico sia intraspecifico (McCaig et al., 2001; Girvan et al., 2003), agendo sia sulla densità microbica che sulla struttura della comunità microbica rizosferica (Chiarini et al., 1998) ed è responsabile della diversità fenotipica di popolazioni rizobatteriche (Latour et al., 1996). I cambiamenti nella composizione microbica del suolo sono quindi il punto cruciale del mantenimento delle funzioni vitali del suolo. Nannipieri e collaboratori in una recente review hanno evidenziato le relazioni esistenti tra diversità microbica e funzioni del suolo (Nannipieri et al., 2003).

Intorno agli anni Cinquanta si è sviluppata la teoria secondo la quale i concetti di diversità biologica e stabilità ecosistemica sono direttamente relazionate per cui la fluttuazione delle popolazioni fornisce una misura della stabilità ecosistemica. MacArthur ha ipotizzato che la stabilità di una comunità microbica dipenda sempre dalle reti trofiche del sistema piuttosto che da fenomeni di autoregolazione da parte di certe specie. Secondo questa ipotesi in un ecosistema dotato di numerose vie metaboliche ed energetiche l’alterazione di una specie determina un effetto minore sulle altre specie presenti di quanto potrebbe causare la medesima alterazione a carico di una specie di un ecosistema dotato di una scarsa rete energetica. Sulla base del modello proposto da MacArthur sono nate numerose teorie ecologiche per spiegare la relazione tra la biodiversità e la stabilità o la pro-

duttività di un suolo (Lynch et al., 2004). Una di queste è la “ipotesi dell’eterogeneità delle risorse” (Resource heterogeneity hypothesis – RHH) proposta da Tilman (1982): essa parte dal presupposto che un suolo uniformemente arido avrà una bassa biodiversità. All’aumentare della fertilità del suolo, aumenteranno anche la distribuzione e la diversità delle risorse nutrizionali determinando, di conseguenza, un incremento della biodiversità e della produttività. Ad un certo punto però la tendenza si inverte e ad una elevata fertilità del suolo corrisponde un abbattimento della eterogeneità delle risorse e quindi della biodiversità. Questo fenomeno è dovuto al fatto che, all’aumentare della fertilità, il suolo si avvicina sempre di più ad un plateau di nutrienti che saranno uniformemente distribuiti su tutto il suolo, selezionando così quei microrganismi che meglio si adattano a quelle condizioni.

Indicatori chimici e microbiologici

Verranno di seguito descritti alcuni indicatori utili per la qualificazione del suolo da poter utilizzare come stima della fertilità integrale.

Indicatori chimici

Tra i numerosi indicatori chimici del suolo, la sostanza organica, caratterizzata sotto diversi aspetti, è stata scelta come indicatore di qualità. Il suo contenuto nel suolo, infatti, è un potenziale indicatore ambientale in quanto si correla con numerosi aspetti della produttività e sostenibilità degli agroecosistemi e della conservazione ambientale (Sequi, 1992; Smith et al., 2000). In generale, alla presenza di elevate quantità di sostanza organica nel suolo vengono attribuiti molteplici benefici: la sostanza organica esplica infatti la propria azione sulle proprietà nutrizionali del terreno, sia perché costituisce una riserva di elementi nutritivi ed energetici per i microrganismi del suolo e di elementi nutritivi per le piante, sia perché attraverso i meccanismi di scambio, adsorbimento, complessazione e chelazione, modula la disponibilità degli elementi medesimi.

La sostanza organica influenza non solo le proprietà chimiche e biologiche del suolo, ma anche quelle fisiche. La sola proprietà fisica non modificabile è la tessitura, mentre la stabilità di struttura, la ritenzione idrica, il colore e la ca-

pacità termica sono in relazione con la quantità e qualità della sostanza organica nel suolo. Proprio questa relazione tra stabilità di struttura e sostanza organica sta alla base della scelta di quest’ultima, insieme ad altri parametri correlati, come indicatore di qualità del suolo. Inoltre alla sostanza organica vengono attribuite attività fisiologiche da parte di alcune molecole organiche, in particolare le sostanze umiche, che modificano direttamente il metabolismo dei microrganismi e delle piante.

Pertanto sono stati considerati i seguenti parametri, il cui elenco non è da considerarsi esaustivo:

- C organico totale
- C delle frazioni umica e fulvica
- Parametri dell’umificazione (grado, tasso ed indice di umificazione)
- Azoto totale e rapporto C/N
- Il comportamento alla focalizzazione isoelettrica e la stabilità all’analisi termica.

Le motivazioni della scelta della sostanza organica come indicatore chimico della qualità del suolo sono molteplici; infatti tra i diversi costituenti del suolo la sostanza organica è di gran lunga la parte più reattiva dal punto di vista chimico. Essa, insieme ai minerali argillosi, contribuisce in maniera sostanziale alla superficie specifica totale. Infatti nel suolo la maggior parte delle reazioni chimiche avvengono all’interfaccia tra la fase solida e la fase liquida, dove i numerosi gruppi funzionali reattivi delle molecole umiche e degli altri costituenti della sostanza organica interagiscono con i soluti presenti nella soluzione del terreno.

La media nazionale del contenuto di sostanza organica dei suoli agrari italiani si aggira intorno al 1,5%; inoltre in ambiente mediterraneo, senza le dovute reintegrazioni, si perde mediamente ogni anno l’1,5% di humus. Un database pedologico sul contenuto di carbonio organico negli orizzonti superficiali (0-30 cm) di suolo nell’Europa meridionale è stato elaborato a cura dell’European Soil Bureau (Montanarella e Jones, 1999). Stime preliminari sono state effettuate assegnando le unità della mappa dei suoli europei a due sole classi di contenuto di carbonio organico: valori $\leq 2\%$ e valori $> 2\%$. Secondo tali stime l’86,4% della superficie di suolo totale in Italia è caratterizzata da valori di carbonio organico $\leq 2\%$ mentre solo il 12,4% ne contiene più del 2% (Zdruli et al., 2004).

Indicatori microbiologici

È estremamente difficile utilizzare parametri microbiologici, biochimici o molecolari del suolo per la definizione delle qualità di un suolo perché i microrganismi reagiscono molto rapidamente anche a variazioni stagionali e si adattano alle diverse necessità ambientali (Benedetti et al., 2006). È problematico distinguere fluttuazioni naturali da alterazioni causate da attività antropiche, specialmente quando il dato viene determinato tardi e sprovvisto di controllo.

Domsh (1980, 1983) ha stabilito che qualsiasi alterazione provocata sia da agenti naturali che da inquinanti che ritorna a valori microbiologici normali entro 30 giorni è da considerarsi come una fluttuazione normale. Diversamente, alterazioni che durano 60 giorni sono tollerabili, mentre quelle che persistono per più di 90 giorni sono veri e propri agenti di stress. Brookes (1996) ha affermato che nessun parametro possa essere utilizzato da solo, ma che si dovrebbero identificare altri parametri correlati da utilizzare insieme come “controllo interno”.

Bloem et al. (2006) hanno invece proposto un insieme di indicatori da utilizzare secondo un livello gerarchico prestabilito e funzionale alla diversa problematica da affrontare. In termini di qualità del suolo è fondamentale preservare sia la diversità genetica che quella funzionale del suolo, secondo il principio che per definire la fertilità biologica di un suolo occorre conoscere: il numero di individui presenti, la loro attività, la loro diversità genetica e funzionale, le relazioni che possono instaurare con le colture (tab. 1). In particolare disponiamo di metodi in grado di definire:

- *Biomassa e titolo microbico nel suolo.* Questi includono tutti i metodi capaci di definire il peso ed il numero dei microrganismi del suolo, sia come carica totale che come gruppi fisiologici o nutrizionali, come ad esempio la conta su piastra, la microscopia colorimetrica, metodi biochimici in grado di fornire informazioni sulle popolazioni attive.
- *Attività microbica nel suolo.* Questo gruppo abbraccia tutti i metodi biochimici dando informazioni sui processi metabolici della comunità microbica, sia nella sua totalità che in gruppi funzionali.
- *Diversità microbica del suolo e struttura della comunità.* Questo gruppo include tra i più aggiornati metodi di acquisizione di dati ecologici e molecolari.
- *Interazioni pianta-microrganismi.* La rizosfera viene riconosciuta come zona di influenza di tutte le radici sui biota e sul suolo circostante. Molti degli studi danno una descrizione ecofisiologica della regione, con particolare enfasi per quanto riguarda l'influenza dei nutrienti sulle piante, comprendente anche quella mediata da simbionti e da microrganismi liberi, e per gli efflussi della fotosintesi come i prodotti della deposizione rizosferica per fornire i substrati per i biota associati. Questi studi qualitativi e quantitativi sono stati molto rivalutati allo scopo di fare stime energetiche per le piante e di produttività dei raccolti.

Da quanto sino ad ora discusso appare evidente che, sia pure con una certa difficoltà e con un certo margine di approssimazione, è possibile definire la diversità microbica di un suolo e

Tabella 1. Gruppi di metodi selezionati come indicatori microbici per la qualità del suolo.

Table 1. Selected microbial methods as indicators assessing soil quality.

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

di darne una caratterizzazione temporale in termini di fluttuazioni naturali o patologiche.

La caratterizzazione della fertilità biologica e della diversità microbica di un suolo va costruita per livelli di approssimazione:

- Il *primo livello* di conoscenza dovrà basarsi sulla caratterizzazione di base del suolo in termini fisici, chimici e biologici. In quest'ultimo caso sarà molto utile definire in primo luogo la fertilità biologica del suolo come parametro routinario, veloce e sintetico. Dovranno essere determinati parametri quali la tessitura, il pH, la capacità idrica di campo, il contenuto in N totale, C organico totale e sostanza organica. Sarà, inoltre, indispensabile determinare la respirazione microbica e il suo contenuto in biomassa totale.
- Sarà poi indispensabile procedere, per il *secondo livello* di approfondimento, alla caratterizzazione della diversità genetica dei microrganismi del suolo, ma anche in questo caso sarà fondamentale disporre di dati complessivi ottenuti secondo procedure standardizzate da correlare con le caratteristiche ambientali, gestionali ed evolutive del sito in esame. Si procede con l'estrazione degli acidi nucleici (DNA, RNA) dal suolo e si procede con le opportune tecniche molecolari come, ad esempio, la DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis).
- Il *terzo livello* è da effettuarsi su base comparativa. È questa la fase più delicata e di maggiore difficoltà interpretativa sarà definire la diversità microbica specifica, che comporterà l'isolamento di singoli organismi e l'attribuzione ad essi della corrispondente funzione.
- Infine nel *quarto livello* di intervento si passerà dalla definizione di *diversità attuale*, che corrisponde all'osservazione analitica del momento, alla definizione di *diversità assoluta*, intendendo con questa, la dotazione in termini sia di ricchezza che di abbondanza di specie con le relative funzioni di un determinato sito costante nel tempo. Sarà questa la biodiversità di quel suolo. A tale definizione si giungerà solo nel tempo dopo un lungo periodo di monitoraggio spazio-temporale conseguito con l'applicazione delle procedure sopraelencate.

Le analisi di IV livello prevedono la possibilità di intraprendere o meno un percorso di

monitoraggio spazio-temporale della biodiversità del suolo sulla base dell'analisi comparativa dei risultati ottenuti nei livelli precedenti. È bene specificare che questo livello di approfondimento può essere correlato indipendentemente sia alle analisi di I, che di II che di III livello, in funzione della *fitness for use*, ovvero il livello di approfondimento sulla conoscenza della biodiversità del suolo: fertilità biologica e abbondanza del biota (I livello), richness e evenness (II livello), identificazione degli individui (III livello).

Appropriati metodi di studio biologici del suolo combinati con proprietà fisico-chimiche potrebbero servire come indicatori dei cambiamenti della qualità del suolo e fornire delle prime indicazioni se vi sia stata una alterazione o modificazione del "soil biota".

Conclusioni

La definizione di sostenibilità più conosciuta è quella della Commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo (la cosiddetta Commissione Brundtland) che consiste in "uno sviluppo che soddisfa le esigenze del presente senza compromettere la possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri bisogni" (WCED, 1987).

Nel 1992 l'OCSE stabilisce tre requisiti irrinunciabili per il raggiungimento di uno sviluppo sostenibile:

- sostenibilità delle risorse;
- sostenibilità della salute umana;
- sostenibilità delle risorse economiche.

Relativamente alla sostenibilità delle risorse è importante sottolineare che alcuni elementi che concorrono alla dotazione di capitale naturale non possono essere sostituiti (se non su base limitata) da capitale costruito dall'uomo. Alcune delle funzioni e dei servizi degli ecosistemi, sostengono Turner et al. (2003), sono essenziali per la sopravvivenza umana, in quanto servizi di sostegno alla vita (ad esempio i cicli biogeochimici) e non possono essere rimpiazzati da altri. Altri beni ecologici sono altrettanto essenziali per il benessere umano, quali il paesaggio, lo spazio nonché una certa pace e tranquillità. Questi beni costituiscono un bene capitale critico e non essendo facilmente sostituibili devono essere tutelati secondo la regola della sostenibilità forte.

L'uso di indicatori di qualità del suolo può contribuire a focalizzare le problematiche relative alla sostenibilità della risorsa suolo ed in modo particolare l'uso combinato di indicatori di tipo microbiologico, biochimico e molecolare, associati all'uso di indicatori chimici caratterizzanti la sostanza organica può contribuire, soprattutto nei paesi del bacino del Mediterraneo, a monitorare possibili fenomeni di innesco di processi degradativi (che preludono a fenomeni di desertificazione) e rendendo possibile una quantificazione relativa alle funzioni del suolo.

La nuova strategia tematica sulla conservazione del suolo focalizza l'attenzione sulle seguenti minacce: erosione, inquinamento, perdita di sostanza organica e biodiversità. È importante, dunque, che gli sforzi maggiori del mondo della ricerca si concentrino sullo sviluppo di strumenti idonei all'implementazione della normativa, al fine di mantenere e migliorare la risorsa suolo al pari dell'aria e dell'acqua per la sostenibilità delle produzioni destinate all'alimentazione umana.

Bibliografia

- Atlas R.M., Bartha R. 1998. Microbial ecology. Fundamentals and applications, 4th ed. Addison-Wesley, Reading.
- Benedetti A. 1983. Fertilità biologica del terreno e concimi ad azoto lento. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante (Roma)*, vol. XII, Anno 1983-1984, 3:1-14.
- Benedetti A., Dell'Abate M.T., Mocali S., Pompili L. 2006. Indicatori microbiologici e biochimici della qualità del suolo. In: *ATLAS – Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Osservatorio Nazionale Podologico. Edizioni Delta Grafica, Città di Castello (Perugia).
- Bloem J., Benedetti A., Hopkins D. (eds.) 2006. Microbial methods assessing soil quality. CABI Publishing.
- Bloem J., Schouten T., Didden W., Akkerius G.J., Keidel H., Rutgers M., Breure T. 2003. Measuring soil biodiversity: experiences, impediments and research needs. In: *Agricultural Impacts on soil erosion and soil biodiversity: developing indicators for policy analysis*. Proceedings from OECD Expert Meeting, Rome, Italy, March 2003, 109. Ed. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio,
- Bolton Jr. H., Elliott L.F., Papendick R.I., Bezdicek D.F. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effects of fertilization and cropping practices. *Soil Biol. Biochem.*, 17:297-302.
- Brookes P.C. 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soil*, 19:269-279.
- Chiarini L., Bevivino A., Dalmastrì C., Nacamulli C., Tabacchioni S. 1998. Influence of plant development, cultivar and soil type on microbial colonization of maize roots. *Appl. Soil Ecol.*, 8:11-18.
- Domsch K.H., Jagnow G., Anderson T.H. 1983. An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil micro-organism. *Residue Reviews*, 86:65-105.
- Domsch K.H. 1980. Interpretation and evaluation of data. In: *Recommended tests for assessing the side-effects of pesticides on the soil microflora*. Weed Research Organization Technical Report, N. 59, 6-8.
- Doran J.W., Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Stewart B.A. (eds.): *Defining soil quality for a Sustainable Environment*, 35, 3-21. American society of agronomy special publication, Madison, WI.
- Fierer N., Jackson R.B. 2006. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *PNAS*, 103, 3:626-631.
- Garbeva P., van Veen J.A., van Elsas J.D. 2004. Microbial diversity in soil: selection of microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 42:243-70.
- Girvan M.S., Bullimore J., Pretty J.N., Osborn A.M., Ball A.S. 2003. Soil Type Is the Primary Determinant of the Composition of the Total and Active Bacterial Communities in Arable Soils. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69, 3:1800-1809.
- Gomez E., Ferreras L., Toresani S. 2006. Soil bacterial functional diversity as influenced by organic amendment application. *Bioresour. Technol.*, 97, 13:1484-1489.
- Jones R.J.A., Hiederer R., Rusco E., Loveland P.J., Montanarella L. 2004. The map of organic carbon in topsoils in Europe: version 1.2. Special Publication Ispra 2004, n. 72, SPL04.72, European Commission – Joint Research Centre.
- Latour X., Corberand T., Laguerre G., Allard F., Lemanceau P. 1996. The composition of fluorescent pseudomonad populations associated with roots is influenced by plant and soil type. *Appl. Environ. Microbiol.*, 62:2449-2456.
- Lynch J.M., Benedetti A., Insam H., Nuti M., Smalla K., Torsvik V., Nannipieri P. 2004. Microbial diversity in soil: ecological theories, the contribution of molecular techniques and the impact of transgenic plants and transgenic microorganisms. *Biol. Fertil. Soils*, 40:363-385.
- McCaig A.E., Grayston S.J., Prosser J.I., Glover L.A. 2001. Impact of cultivation on characterisation of spe-

- cies composition of soil bacterial communities. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 35:37-48.
- Mocali S., Paffetti D., Emiliani G., Benedetti A., Fani R. 2008. Diversity of heterotrophic aerobic cultivable microbial communities of soils treated with fumigants and dynamics of metabolic, microbial, and mineralization quotients. *Biol. Fertil. Soils*, 44:557-569.
- Montanarella L., Jones R.S.A. 1999. The European Soil Bureau. In: Bullock P., Jones R.J.A., Montanarella L. (eds.): *Soil Resources of Europe*. European Soil Bureau Research Report N. 6, EUR 18991 EN, 3-14. Office for official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G. 2003. Microbial diversity and soil functions. *Eur. J. Soil. Sci.*, 54:655-670.
- Ramsay A.J., Standard R.E., Churchman O.J. 1986. Effect of conversion from ryegrass pasture to wheat cropping on aggregation and bacterial population in a silt loam soil in New Zealand. *Australian J. Soil. Res.*, 24:253-264.
- Sequi P. 1992. Sostanza organica del terreno. Proprietà agronomiche, funzioni ambientali, quando serve. RE-DA Editore, Roma.
- Sequi P. 2005. *Fondamenti di Chimica del Suolo*. Patron Editore, Bologna.
- Sessitsch A., Weilharter A., Gerzabek M.H., Kirchmann H., Kandeler E. 2001. Microbial population structures in soil particle size fractions of a long-term fertilizer field experiment. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67:4215-4224.
- Smith O.H., Petersen G.W., Needelman B.A. 2000. Environmental indicators of agroecosystems. *Advances in Agronomy*, 69:75-97.
- Sparling G.P., Wheeler D., Vesely E.-T., Schipper L.A. 2006. What is soil organic worth? Technical Reports: Ecological Risk Assessment. *J. Environ. Qual.*, 35:548-557.
- Tilman D. 1982. *Resource competition and community structure*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Torsvik V., Goksøyr J., Daae F.L. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56:782-787.
- Turner B.L., Kasperonb R.E., Matson P.A., McCarthy J.J., Corell R.W., Christensen L., Eckley N., Kasperon J.X., Luers A., Martello M.L., Polsky C., Pulsipher A., Schiller A. 2003. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 100, 14:8074-8079.
- Wardle D.A., Giller K.E. 1996. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. *Soil. Biol. Biochem.*, 28:1549-1554.
- Zdruli P., Jones R.J.A., Montanarella L. 2004. Organic Matter in the soils of Southern Europe. European Soil Bureau Research Report, EUR 21083 EN, 16. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.