



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
118° (2000), Vol. XXIV, pp. 299-308

F. PINZARI* - A. TRINCHERA* - A. BENEDETTI*

Indicatori di qualità del suolo in ecosistemi mediterranei**

INTRODUZIONE

Le attività umane in Italia contribuiscono o sono responsabili dei processi di erosione e di degrado dei suoli: i cambiamenti di uso dei terreni dovuti a pratiche quali le coltivazioni, la fruizione dei boschi, il rimboschimento e la gestione del paesaggio, hanno un impatto talvolta invasivo sulla qualità dell'ambiente, sia a livello locale che su scala più ampia (per esempio attraverso l'aumento delle emissioni dei gas-serra). L'alterazione dei cicli biogeochimici, nello specifico, hanno come primo risultato, a livello del suolo, una ridotta efficienza nei processi di accumulo di sostanza organica stabile. Poiché la fertilità dei suoli, soprattutto nell'area mediterranea, è strettamente vincolata al contenuto in carbonio organico, un uso non sostenibile del territorio può facilmente portare, in breve tempo, ad una perdita irreversibile di produttività e di funzionalità. La necessità di disporre di strumenti affidabili per l'accertamento della sostenibilità delle attività umane sul territorio e per una definizione oggettiva di "qualità del suolo" è ormai ampiamente riconosciuta. Il termine "qualità" d'altra parte ha un'accezione decisamente antropocentrica, riferendosi all'ambiente in quanto luogo nel quale l'uso delle risorse da parte dell'uomo non viene mai messo in discussione. Peraltro, quando la scienza del suolo si trova a dover indicare la "qualità" di sistemi sia naturali che artificiali, quali rispettivamente i boschi ed i pascoli, allo scopo di valutare ed eventualmente prevenire l'erosione e il declino dei suoli, il termine è chiamato ad avere un significato differente (Pinzari *et al.*, 1997). La descrizione della qualità di suoli di sistemi

* Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante, Via della Navicella 2/4, 00184 Roma, Italia.

** Relazione presentata al Convegno su "Indicatori per la qualità del suolo: prospettive ed applicabilità", Roma, 29 marzo 2000.

naturali indisturbati dovrebbe infatti rappresentare, per ogni singolo ecosistema, lo standard ecologico cui fare riferimento. Chiaramente le variabili che andrebbero tenute in considerazione anche in ambienti relativamente integri sono pressoché infinite soprattutto perché le proprietà del suolo nel loro insieme hanno un effetto, sui parametri misurabili, maggiore di quello stimabile facendo semplicemente la somma delle singole proprietà (Tate, 1995). In un simile contesto acquisiscono quindi un valore particolare gli indicatori “riassuntivi”, ovvero le misure quantitative di proprietà o di manifestazioni di fenomeni naturali che hanno luogo al livello del suolo e che contengono le risultanti di più variabili nel contempo.

Un “ecosistema-suolo” si può descrivere come un sistema in continua evoluzione verso una condizione di equilibrio dettata a sua volta dall’interazione di ciascuna componente dinamica: tra le proprietà utilizzate come indicatori di cambiamento della qualità del suolo, molte sono considerate descrittori “statici” o all’equilibrio (è il caso del contenuto in sostanza organica, del rapporto carbonio organico/azoto totale, etc.) dal momento che permettono di individuare i cambiamenti solo nel lungo periodo. Altri indicatori sono invece considerati particolarmente sensibili nel segnalare cambiamenti di stato nel breve periodo e vengono pertanto definiti descrittori “dinamici” (è il caso delle cinetiche di mineralizzazione del carbonio organico, del carbonio della biomassa microbica, del rapporto carbonio della biomassa/carbonio organico totale). Un indice potenzialmente molto informativo è costituito dal rapporto fra il valore della respirazione basale della biomassa microbica e il carbonio della biomassa; esso viene definito come “quoziente metabolico, $q(\text{CO}_2)$ ” ed è basato sulla teoria della successione degli ecosistemi di Odum (1969). Il $q(\text{CO}_2)$ rappresenta uno degli indicatori più usati nello studio dei processi di disturbo del suolo e dello sviluppo degli ecosistemi. Questo studio è stato condotto al fine di comparare suoli assoggettati ad alcuni processi di disturbo in grado di modificarne i parametri di qualità. Lo scopo principale è stato di saggiare l’attività della biomassa microbica sia come possibile indicatore di disturbo che come descrittore di stato in suoli di sistemi naturali.

AREA DI STUDIO

Sono stati prelevati campioni di suolo da 8 differenti siti all’interno della Riserva Naturale “Tenuta Presidenziale di Castelporziano”, nei pressi di Roma (Italia). L’area, ampia 4.800 ettari, situata circa a 30 m s.l.m., è caratterizzata da un clima mediterraneo. Le precipitazioni sono in media fra i 123.8 mm (Ottobre e Novembre) ed i 12,2 mm (Luglio). La temperatura media annua va dai 4°C (Gennaio e Febbraio) ai 30°C (Luglio e Agosto). I suoli sono principalmente sabbiosi e di natura alluvionale, con formazioni di duna sia antica che recente. I siti di campionamento si caratterizzano come segue: (1) bosco di *Quercus ilex* L.; (2) macchia mediterranea (*Myrtus communis* L., *Erica arborea* L., *Pistacia lentiscus* L., *Arbutus*

unedo L., *Juniperus* spp., *Phyllirea* spp., *Smilax aspera* L., *Cistus* spp., etc.); (3) rimboschimento di 60 anni di *Pinus pinea* L.; (4) bosco misto idrofilo retrodunale (*Populus alba* L., *Quercus cerris* L., *Fraxinus oxycarpa* L.); (5) pascolo intensamente frequentato da cinghiali e fauna selvatica; (6) pascolo indisturbato, limitrofo e confrontabile con il precedente (controllo); (7) campo coltivato; (8) campo abbandonato, limitrofo e confrontabile con il precedente (controllo).

MATERIALI E METODI

Per ogni sito sono stati prelevati cinque campioni di suolo, alla profondità di 0-20 cm, in punti distanti tra loro circa 200 cm (schema di campionamento quadrato, ortogonale). Ciascun campione è stato seccato all'aria e setacciato a mano (<2 mm). Alcune caratteristiche chimico-fisiche dei suoli sono riportate nella Tabella 1. La ritenzione idrica dei terreni è stata misurata, su campioni setacciati, per mezzo dell'apparato di Richards (cella a pressione) (Richards et Fireman, 1943). Il contenuto in Na⁺ (cmol/kg di suolo, riferito al peso del terreno seccato in stufa a 105°C), K⁺ e Ca²⁺ è stato determinato per mezzo di una estrazione in *aqua regia* e lettura degli estratti in assorbimento atomico. Il contenuto in carbonio organico totale (C_{org}) è stato ottenuto secondo il metodo di Springer & Klee (1954), come riportato nei Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo del MiRAFF (1994). Il carbonio della biomassa microbica (C_{mic}) è stato misurato con il metodo della fumigazione-estrazione secondo Vance *et al.* (1987), su campioni di terreno seccati all'aria e quindi condizionati attraverso un'incubazione di 10 giorni in contenitori aperti di vetro, con umidità (corrispondente alla ritenzione idrica dei campioni a -33 KPa) e temperatura (30°C) costanti. L'incubazione è stata impiegata allo scopo di riportare l'attività microbica, nei limiti sperimentali (Stotzky *et al.*, 1962), al massimo livello ipotizzabile in campo (condizioni potenziali). I valori medi di C_{mic} sono riportati in mg-C/kg di suolo, riferito al peso del terreno seccato in stufa a 105°C. La respirazione di ciascun campione di terreno è stata misurata in un sistema chiuso secondo la metodica descritta da Isermeyer (1952). Quattro repliche (25 g ciascuna, riferiti a peso secco) di ciascun campione di suolo sono state umidificate fino al relativo valore di ritenzione idrica ed incubate a 30°C. L'evoluzione di CO₂ è stata misurata dopo 1, 2, 4, 7, 10, 14, 17, 21, e 28 giorni. I valori medi ottenuti per il 28° giorno per ciascun campione, sono stati utilizzati come valori di respirazione basale della biomassa. La mineralizzazione del carbonio organico è stata calcolata dai valori giornalieri di respirazione attraverso un modello esponenziale di decomposizione di primo ordine [$C_t = C_o(1 - e^{-kt})$] (Statistica 4.0 for Windows). Nel modello C_t corrisponde al valore cumulativo del carbonio mineralizzato nel tempo t di osservazione (giorni), mentre il C_o è il carbonio potenzialmente mineralizzabile e k è la costante cinetica (Tittarelli, 1995; Riffaldi *et al.*, 1996). I valori di R² (Tabella 2) indicano la corrispondenza statistica del modello ai dati spe-

Tabella 1. Parametri chimici e fisici dei suoli. Risultati espressi, per ciascun sito, come valori medi di cinque repliche (la deviazione standard è riportata in parentesi).

Sito	1	2	3	4	5	6	7	8
Descrizione	bosco di <i>Q. ilex</i>	macchia	bosco di <i>P. pinea</i>	bosco igrofilo	pascolo disturbato	pascolo non disturbato	coltivo	set-aside
CEC (1) (cmol/kg)	10.2 (0.72)	4.6 (0.32)	6.3 (0.42)	9.3 (0.52)	3.6 (0.58)	3.2 (0.72)	5.2 (0.32)	3.3 (0.66)
Na ⁺ (cmol/kg)	0.160 (0.020)	0.160 (0.010)	0.217 (0.020)	0.313 (0.080)	0.17 (0.045)	0.4 (0.100)	0.073 (0.030)	0.186 (0.055)
K ⁺ (cmol/kg)	0.150 (0.030)	0.090 (0.005)	0.268 (0.055)	0.651 (0.020)	0.46 (0.025)	0.6 (0.085)	0.383 (0.100)	0.268 (0.110)
Ca ²⁺ (cmol/kg)	4.0 (0.50)	3.6 (0.27)	4.5 (0.20)	5.6 (0.75)	2.0 (0.20)	1.8 (0.35)	3.7 (0.40)	2.2 (0.80)
K ₂ O _{estr.} (cmol/kg) (2)	0.007 (0.001)	0.003 (0.001)	0.012 (0.003)	0.030 (0.004)	0.02 (0.004)	0.008 (0.005)	0.02 (0.010)	0.012 (0.004)
CaCO ₃ (%)	0.12 (0.04)	0.80 (0.03)	0.10 (0.06)	0.28 (0.02)	0.12 (0.02)	0.11 (0.04)	0.18 (0.08)	0.11 (0.02)
Tessitura (3)	Sabbioso	Sabbioso	Sabbioso	Sabbioso	Sabbioso	Sabbioso	Sabbioso franco	Sabbioso franco
pH (4)	5.6 (0.20)	8.3 (0.40)	5.9 (0.20)	7.3 (0.30)	6.2 (0.08)	5.8 (0.04)	4.9 (0.02)	5.9 (0.02)
N _{tot} (%) (5)	0.12 (0.018)	0.20 (0.022)	0.12 (0.034)	0.25 (0.039)	0.10 (0.052)	0.10 (0.030)	0.14 (0.065)	0.08 (0.020)

I dati sono riferiti al peso del terreno seccato in stufa a 105°C.

(1) Capacità di Scambio Cationico (cmol/kg).

(2) K₂O scambiabile (cmol/kg).

(3) Secondo USDA.

(4) pH (suolo: H₂O, 1:2.5).

(5) Azoto totale.

rimentali. Il quoziente metabolico $q(\text{CO}_2)$ [(mg C/kg_{soil})/h], definito come respirazione specifica della biomassa microbica, è stato calcolato dalle misure di respirazione basale dei campioni con l'espressione $q(\text{CO}_2) = [(\text{mg CO}_2\text{-C} / \text{mg } C_{\text{mic}} \times \text{kg}_{\text{suolo}}) / \text{ore}]$ (Anderson et Domsch, 1985). Il rapporto $[C_{\text{mic}} : C_{\text{org}}]$ è stato utilizzato come indice del contributo della biomassa microbica al contenuto in carbonio organico totale. Tutti i risultati (Tabelle 1 e 2) sono riferiti al peso del terreno seccato in stufa a 105°C per 24 ore e sono le medie di misure effettuate, per ciascun sito, su cinque campioni di suolo.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Gli ecosistemi che evidenziano una sorta di bilanciamento dei flussi di energia ed un contenimento della spesa energetica per lo svolgimento dei cicli degli elementi nutritivi sono in teoria caratterizzati da un equilibrio fra gli apporti di sostanza organica, il livello di biomassa microbica attiva e la quantità di carbonio organico effettivamente disponibile. Il rapporto fra carbonio della biomassa e carbonio organico totale ($C_{mic}: C_{org}$), rappresentando quantitativamente la correlazione fra la sostanza organica del suolo e la biomassa microbica, dovrebbe rimanere costante nei sistemi stabili. In quest'ottica, valori elevati del rapporto ($C_{mic}: C_{org}$) indicherebbero una condizione di equilibrio fra l'immissione di sostanza organica nel sistema e l'attività mineralizzante della biomassa microbica. Una deviazione dallo stato di equilibrio e quindi dal valore iniziale del rapporto, indicherebbe invece un aumento o una diminuzione dell'appetibilità della sostanza organica per le popolazioni microbiche.

Il $q(CO_2)$ rappresentando invece l'efficienza metabolica della comunità di microrganismi attivi dovrebbe essere più basso nei suoli in cui la biomassa microbica è particolarmente efficace nel conservare l'energia e quindi anche nel mantenere un equilibrio metabolico, mostrando quindi valori decrescenti nel passare da ecosistemi giovani ad ecosistemi più maturi. Il $q(CO_2)$ dovrebbe inoltre rispondere positivamente agli eventi di disturbo antropico o naturale del suolo (come per esempio eventi di compattamento, inquinamento organico od inorganico, arature, pascolamento, etc.) aumentando cioè il suo valore in caso di turbamento del sistema (venir meno dell'equilibrio metabolico e conseguente maggiore spesa energetica per ristabilire l'omeostasi del sistema).

I risultati di questo studio sono in accordo con quanto esposto in teoria. Confrontando infatti i valori dei parametri ottenuti per i siti 5 e 7, con i siti di controllo (rispettivamente il sito non pascolato, ed il sito non coltivato) sia il $q(CO_2)$, che il rapporto ($C_{mic}: C_{org}$) individuano nei siti disturbati una minore efficienza nel conservare l'energia.

Inoltre, i valori del $q(CO_2)$, del rapporto ($C_{mic}: C_{org}$) e dei coefficienti di mineralizzazione del carbonio organico (C_o , K) risultano estremamente informativi anche come descrittori dello stato dei suoli dei sistemi naturali. Questi parametri mostrano che i suoli con un'elevata diversità della copertura vegetale (sito 2, con macchia mediterranea e sito 4 con vegetazione di bosco misto retrodunale) posseggono, rispetto ai suoli caratterizzati da una copertura vegetale omogenea naturale od artificiale, tassi di decomposizione della sostanza organica più rapidi ed una maggiore presenza di biomassa microbica dotata peraltro di una elevata efficienza respiratoria, (Tabella 2 e Grafico 1).

Nei suoli dei siti 2 e 4 infatti, valori di $q(CO_2)$ relativamente più elevati e valori del rapporto ($C_{mic}: C_{org}$) relativamente più bassi, indicano che il ciclo della sostanza organica è più rapido. Il sito 3 è riconducibile ad una situazione di tipo *para-climax*

Tabella 2. Parametri di attività della biomassa microbica dei suoli. Risultati espressi, per ciascuno sito, come valori medi di cinque repliche (la deviazione standard è riportata in parentesi).

Sito	1	2	3	4	5	6	7	8
Descrizione	bosco di <i>Q. ilex</i>	macchia	bosco di <i>P. pinea</i>	bosco igrofilo	pascolo disturbato	pascolo non disturbato	coltivo	set-aside
Corg (%) (1)	1.60 (0.16)	3.10 (0.25)	2.01 (0.26)	2.27 (0.21)	1.22 (0.70)	0.91 (0.15)	0.85 (0.12)	0.81 (0.22)
CO ₂ -C (2)	284 (16.3)	871 (65.4)	375 (13.9)	1023 (49.2)	372 (65.8)	267 (35.7)	371 (46.7)	190 (36.5)
Cmic (3) (mg-C/kg suolo)	342 (33.2)	399 (27.3)	339 (26.5)	234 (24.8)	129 (11.5)	190 (14.7)	113 (10.7)	169 (21.4)
Cmic (%) (4) Corg (a)	2.14	1.29	1.69	1.03	1.06	2.09	1.33	2.10
q(CO ₂) (5) (mg-C/kg (a) suolo)/ore	5x10 ⁻⁴	19x10 ⁻⁴	6x10 ⁻⁴	21x10 ⁻⁴	26x10 ⁻⁴	7x10 ⁻⁴	15x10 ⁻⁴	8x10 ⁻⁴
Co(mg-C/ (6) Kg suolo) (b)	292	883	384	1126	410	267	375	180
k (1/giorni) (7) (costante (b) cinetica)	0.105	0.095	0.108	0.082	0.073	0.125	0.119	0.149
R ² (8) (b)	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97
CO ₂ -C _{basale} (9) (mg-C/Kg suolo)	4 (1.6)	18 (6.7)	5 (2.0)	12 (4.2)	8 (2.7)	3 (1.7)	4 (2.5)	3 (0.6)
C _{org} /N _{tot} (10) (a)	13.3	15.5	16.8	9.1	12.2	9.10	6.1	10.1

I dati sono riferiti al peso del terreno seccato in stufa a 105°C.

(1) Carbonio Organico Totale (%).

(2) Valori cumulativi del carbonio mineralizzato (mg-C/kg suolo).

(3) Carbonio della Biomassa Microbica (mg-C/kg suolo).

(4) Rapporto Carbonio della biomassa (C_{mic}): Carbonio Organico Totale (C_{org}) (%).

(5) Quoziente Metabolico, calcolato dai valori di respirazione basale con la formula: (mg-C/kg suolo)/ore.

(6) Carbonio potenzialmente mineralizzabile (mg C/kg suolo).

(7) Costante cinetica di mineralizzazione (1/giorni).

(8) Corrispondenza statistica del modello di primo ordine con i valori sperimentali.

(9) Respirazione basale (media delle misure ottenute nel 28° giorno di osservazione) (mg-C/kg suolo).

(10) Rapporto Carbonio Organico Totale: Azoto Totale.

(a) Quozienti ottenuti utilizzando le medie dei valori.

(b) Valori ottenuti attraverso un modello cinetico esponenziale di primo ordine del tipo: Ct=Co (1-e^{-kt}).

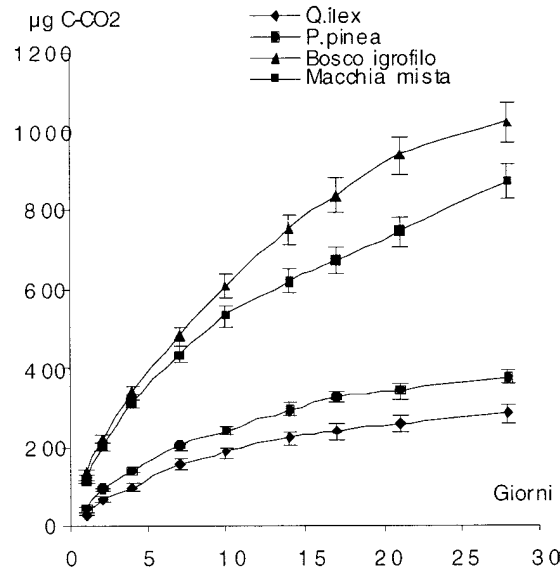


Grafico 1: Confronto fra le curve cumulative di respirazione dei suoli con copertura vegetale forestale, rispettivamente di *Quercus ilex*, *Pinus pinea*, macchia mediterranea mista, bosco misto retrodunale.

(un rimboschimento dove il rinnovo del bosco con specie spontanee è fortemente inibito, almeno finché gli individui piantati non vengono appositamente eliminati) (Whittaker, 1974), in questo suolo i parametri dell'attività della biomassa microbica indicano un elevato grado di omeostasi, confrontabile con quanto evidenziato per il sito con copertura a *Q. ilex*, ma il sistema è assai recente, trattandosi di un rimboschimento di 60 anni impiantato al posto della preesistente macchia mediterranea, si tratta pertanto di una stabilità indotta dall'impedimento nella naturale successione vegetale dovuto alle caratteristiche fortemente allelopatiche del *P. pinea* (Rice, 1979).

In una incubazione sperimentale a breve termine, i valori di C_0 indicano essenzialmente l'ammontare della frazione labile del carbonio organico del suolo. Sia l'attività di pascolamento e di scavo operata dai cinghiali (sito 5), che l'aratura (sito 7) producono chiari effetti sui *pools* di carbonio organico del suolo, come evidenziato dal confronto fra i valori dei parametri C_0 , k e CO_2-C ottenuti per i suoli disturbati e per i loro rispettivi siti di controllo. Tassi di respirazione più elevati, che rispecchiano cinetiche di mineralizzazione della sostanza organica più accelerate, caratterizzano infatti i siti disturbati che risultano pertanto soggetti ad una costante perdita di sostanza organica, con le relative conseguenze negative (perdita di struttura, minore ritenzione idrica, perdita di fertilità, erosione). Basti infatti osservare nel Grafico 2 il confronto fra le curve cumulative di respirazione ottenute

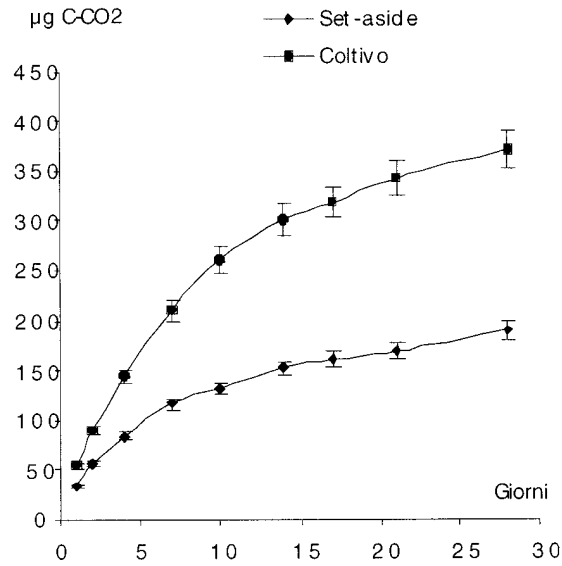


Grafico 2: Confronto fra le curve cumulative di respirazione dei suoli con copertura rispettivamente a seminativo e set aside.

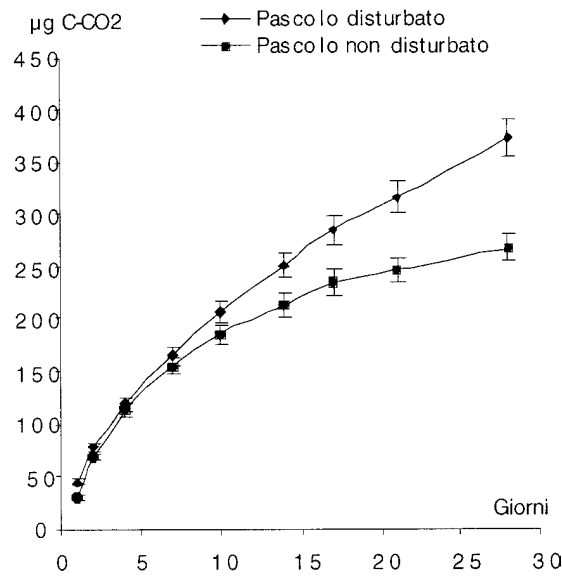


Grafico 3: Confronto fra le curve cumulative di respirazione dei suoli con copertura a pascolo, rispettivamente interessato e non interessato dall'attività di scavo della fauna selvatica.

per il suolo coltivato ed il suolo di controllo (set-aside) per notare come l'attività mineralizzante sia più spinta nel primo che nel secondo. Una situazione simile si osserva nel caso del confronto fra le curve cumulative di respirazione ottenute per il suolo disturbato dallo scavo della fauna selvatica ed il controllo (Grafico 3).

Anche il monitoraggio dei tassi metabolici ha contribuito a fornire interessanti informazioni su come differenti comunità vegetali influenzano le dimensioni e la qualità della sostanza organica dei rispettivi suoli: le comunità di ecosistemi dotati di elevata diversità (boschi misti) se confrontati con i siti a copertura omogenea di *Q. ilex* e di *P. pinea*, mostrano tassi di mineralizzazione più elevati e valori maggiori di C_{mic} . Ciò è in accordo con la presenza nei siti con maggiore diversità di un numero più elevato di nicchie ecologiche per le specie di organismi decompositori. Il bosco igrofilo retrodunale si distingue per i valori dei parametri considerati rispetto a tutti gli altri siti esaminati. Nel sito 4, infatti, il suolo possiede i valori più elevati di respirazione, di C_o e di N%. Valori relativamente contenuti di $(C_{mic}: C_{org})\%$ ed elevati di $q(CO_2)$ indicano la tendenza ad evolvere ulteriormente verso una maggiore stabilità. L'insieme dei parametri (elevata respirazione, maggiore presenza della frazione labile di C organico, etc.) sembrano riflettere la storia pregressa del sito: si tratta infatti di un'area soggetta a periodici innalzamenti della falda, che tipicamente affiora nelle depressioni retrodunali dove il bosco in questione è situato. La lettiera delle specie decidue che caratterizzano il sito si accumulano durante l'inverno senza andare incontro a decomposizione per via delle condizioni riducenti del suolo sommerso; con l'abbassamento periodico della falda si rende disponibile per la microflora tellurica una grande quantità di carbonio organico facilmente mineralizzabile (C_o).

Nel complesso, sembrano esistere differenze piuttosto marcate nell'attività microbica e nella dinamica del carbonio organico fra suoli adiacenti ma con differenti coperture vegetali e soggetti a differente uso, e ciò a dispetto di condizioni fisiche e climatiche paragonabili. L'attività della biomassa microbica e gli indicatori di qualità della sostanza organica del suolo possono essere utilizzati con successo sia come descrittori di stato dei suoli di sistemi naturali, che come indicatori di disturbo. Lo studio del comportamento metabolico della biomassa microbica nei confronti dell'accumulo della sostanza organica, può contribuire positivamente nella comprensione e nella prevenzione dei meccanismi di declino dei suoli.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Dr. Ing. A. Tinelli per la collaborazione nella Tenuta Presidenziale di Castelporziano e il Dr. G. Mecella con il suo *staff* per la caratterizzazione dei parametri chimico-fisici dei campioni di suolo.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson H., Domsch K.H. (1985): "Determination of eco-physiological maintenance requirements of soil microorganism in a dormant state". *Biol. Fert. of Soils*, 1, 81-89.
- Isermeyer H. (1952): "Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden". *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, 56, 26-38.
- Odum E.P. (1969): "The strategy of ecosystem development". *Science*, 164, 242-270.
- Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo* (1994): Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali - MiRAAF (Rome), Italy.
- Pinzari F., Trincherà A., Benedetti A., Sequi P. (1997): "Defining soil quality in mediterranean forest systems: microbial biomass activity". *MESAEP-9th International Symposium on Environmental Pollution and its Impact on Life in the Mediterranean Region*. October 4-9, 1997. S. Agnello di Sorrento, Italy.
- Rice E.L. (1979): "Allelopathy-an update". *Bot. Rev.*, 45, 15-109.
- Richards L.A., Fireman M. (1943): "Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils". *Soil Sci.*, 56, 395-404.
- Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R. (1996): "Carbon mineralization kinetics as influenced by soil properties". *Biol. Fert. Soils*, 22, 293-298.
- Stotzky G., Goos R.D., Timonin M.I. (1962): "Microbial changes occurring in soil as a result of storage". *Plant and Soil*, 16, 1-18.
- Tittarelli F. (1995): "Tecniche biochimiche e mineralizzazione della sostanza organica dei reflui zootecnici e delle biomasse di recupero", in: *Atti del Convegno P.A.N.D.A. "Tecnologie chimiche avanzate per l'agricoltura"*. Roma, 10-11 Aprile 1995, pp. 137-144.
- Tate R.L. (1995): *Soil Microbiology*. John Wiley & Sons, New York, 398 pp.
- Vance E.D., Brookes P.C., Jenkinson D.S. (1987): "An extraction method for measuring microbial biomass C", *Soil Biol. Biochem.*, 19, 703-707.
- Whittaker R.K. (1974): "Climax concepts and recognition", in: R. Knapp (Ed.), *Vegetation Dynamics*, Dr. W. Junk Publishers, The Hague, pp. 137-154.