Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
118° (2000), Vol. XXIV, pp. 321-330

PATRIZIA ZACCHEO * - CARLA ASTORI * - DARIA ORFEO *
LAURA CRIPPA * - PIERLUIGI GENEVINI *

Verifica della qualità del suolo attraverso la risposta produttiva di bioindicatori vegetali **

Introduzione

Il degrado dei suoli, conseguente ad una gestione territoriale non sempre corretta, interessa una sempre più ampia quota del territorio italiano. È quindi necessità improrogabile la piena conoscenza dei fenomeni che hanno influito negativamente sullo stato di salute dei suoli e lo studio di idonee strategie di intervento per contenere e, ove sia possibile, ovviare ai danni già presenti (Sequi e Vianello, 1998). Negli ultimi anni sono state formulate numerose proposte per definire la qualità del suolo, riconducibili a due fondamentali concetti, di cui il primo, "la capacità del suolo a funzionare", è legato principalmente alle caratteristiche strutturali del terreno ed il secondo, "la capacità per l'uso" esprime un concetto dinamico ed è correlato all'influenza delle attività umane (Doran e Parkin, 1994; Doran e Jones, 1996; Snakin, 1996; Seybold, 1997).

In effetti la qualità del suolo può essere distinta in qualità originaria e qualità dinamica. La qualità originaria, o intrinseca, deriva da caratteristiche proprie del suolo, che sono state determinate dai fattori di formazione (clima, topografia, vegetazione, tempo). La qualità dinamica può essere definita come la componente antropica della qualità di un suolo, in quanto risultante dei cambiamenti nelle proprietà del suolo che sono influenzati da decisioni o interventi dell'uomo. Differenti indicatori possono contribuire, di volta in volta, a distinguere le due forme di qualità dei suoli (Kumar, 1989).

* Dipartimento di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano, Via Celoria 2, 20133 Milano.

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

La possibilità di impiegare come indicatori dello stato di salute dei suoli i saggi biologici è attualmente argomento di grande interesse nel mondo scientifico, per gli indubbi vantaggi che i biosaggi offrono rispetto alle tradizionali analisi chimiche. Quando si applicano ai suoli, i biosaggi evidenziano l'insieme degli effetti di tutte le componenti in grado di interferire positivamente e negativamente sulle funzioni monitorate dell'organismo testato.

La sezione di Fisiologia delle Piante Coltivate e Chimica Agraria del Di.PRO.VE. dell'Università degli Studi di Milano ha già da tempo messo a punto un test di vegetazione con lattuga per la valutazione della idoneità all'impiego in campo agricolo di compost, fanghi di depurazione e sottoprodotti industriali. Il saggio prevede il confronto delle produzioni di biomassa ottenute da dosi crescenti dei materiali in esame aggiunte ad un substrato standard rispetto ad un controllo costituito dal substrato standard non trattato. È stata scelta la lattuga come pianta test, in quanto specie molto sensibile a rilevare la presenza di elementi nutritivi e di inquinanti inorganici e organici in forma biodisponibile; il test consente inoltre di indagare sul possibile trasferimento nei tessuti vegetali dei contaminanti.

Nel presente lavoro un lotto di campioni di suoli, presumibilmente non contaminati e con caratteristiche chimico-fisiche molto diverse, è stato sottoposto al test di vegetazione, con l'obiettivo di valutare la sensibilità di risposta del biosaggio alla qualità dei suoli e di proporre eventuali modificazioni nel protocollo operativo per poter distinguere la componente originaria da quella dinamica.

Parte sperimentale

Sono stati prelevati campioni superficiali (0-30 cm) di suoli da 26 siti a differente uso e copertura vegetale localizzati in Lombardia, Piemonte ed Emilia Romagna. Di questi, solo il suolo n. 25 appartiene a un'area fortemente contaminata da metalli pesanti, ed è stato appositamente introdotto nella sperimentazione per la validazione del metodo.

Il criterio di selezione dei campioni si è basato sull'ottenimento di un lotto di suoli supposti non contaminati, aventi caratteristiche chimiche e fisiche molto differenti. In particolare l'attenzione è stata posta a pH e tessitura, considerati da molti autori come i parametri che maggiormente incidono sulla risposta ai test di vegetazione.

I campioni, sono stati caratterizzati analiticamente utilizzando le metodiche previste dai "Metodi ufficiali di analisi chimica dei suoli" (Ministero delle Politiche Agricole e Forestali), nelle Tabelle 1 e 2 vengono riportati i risultati ottenuti.

I suoli sono stati sottoposti al test di vegetazione, sostituendo integralmente il substrato di crescita delle lattughe con i suoli e mantenendo, come trattamento di controllo, il substrato standard previsto dalla metodica.

I risultati conseguiti al termine della prova durata 21 giorni, sono stati espressi

Tabella 1. *Caratterizzazione analitica dei campioni.*

Suolo	pH H_2O	C org. g kg^{-1}	N tot. g kg^{-1}	sabbia %	limo %	argilla %	C.S.C. $cmol^{(+)}$ kg^{-1}
1	6,9	19,0	1,5	47,8	27,1	25,1	15,7
2	7,8	10,9	1,2	16,7	35,6	47,7	23,8
3	6,4	18,0	2,1	73,2	23,1	3,7	13,3
4	4,6	13,4	1,5	80,8	16,2	3,0	5,2
5	6,5	15,9	1,9	78,9	19,9	1,2	9,1
6	7,9	8,1	1,0	51,4	29,7	18,9	9,1
7	7,8	12,0	1,7	59,4	28,3	12,3	9,0
8	7,7	14,0	2,0	61,7	26,0	12,3	10,6
9	7,7	6,0	0,6	81,7	14,1	4,2	4,5
10	7,8	5,0	1,0	91,5	6,1	2,4	3,3
11	7,6	26,0	2,9	33,6	46,1	20,2	18,8
12	4,4	18,0	1,8	72,9	23,9	3,2	6,7
13	5,6	6,0	0,6	79,2	17,6	3,2	7,2
14	5,3	8,0	0,9	68,1	22,3	9,6	10,6
15	6,8	1,0	0,6	56,9	12,3	30,8	17,0
16	4,5	10,0	1,0	94,4	4,4	1,2	8,9
17	5,7	13,0	1,5	67,4	25,4	7,2	7,8
18	6,4	22,0	2,0	77,3	18,4	4,3	10,2
19	7,7	17,0	2,1	43,5	39,8	16,7	11,8
20	6,5	7,0	0,6	52,2	26,5	21,3	10,7
21	6,5	0,3	0,6	46,1	19,2	34,7	19,9
22	7,3	10,0	1,0	65,9	26,2	7,9	10,0
23	7,8	21,0	2,2	61,7	29,8	8,5	16,2
24	6,6	35,0	2,9	81,2	14,9	3,9	18,4
25	6,3	40,0	3,7	77,9	17,5	4,6	14,6
26	5,3	6,0	0,6	76,5	16,8	6,7	7,2
Media	6.6	13	1.4	65	23	12	11
Dev. std	1.1	8.0	0.7	18	9.6	12	5.2

Tabella 2. *Caratterizzazione analitica dei campioni.*

Suolo	Ca $cmol^{(+)}\ kg^{-1}$	Mg $cmol^{(+)}\ kg^{-1}$	K $cmol^{(+)}\ kg^{-1}$	P ass ppm	Cd ppm	Cr ppm	Cu ppm	Pb ppm	Ni ppm	Zn ppm
1	20,64	0,86	0,95	15	1,36	91,2	242	37,8	39,4	80,5
2	24,39	7,19	0,95	26	2,72	156	38,5	44,1	110	109
3	7,01	0,37	0,48	124	0,96	36,1	16,8	53,6	14,5	79,2
4	1,88	0,09	0,48	108	1,48	66,2	415	56,7	36,5	119
5	7,82	0,35	0,48	102	1,56	81,2	285	45,7	48,2	135
6	14,5	0,47	0,95	34	2,04	63,68	6,05	59,9	42,5	101
7	12,8	1,56	0,97	77	17,0	28	27,1	29,4	24,1	103
8	14,7	1,60	0,70	25	1,46	26,2	29,4	34,2	23,7	110
9	7,66	0,64	0,24	32	14,6	28,9	50,1	333	22,8	1365
10	7,86	0,74	0,10	15	6,63	25,4	36,9	236	20,3	667
11	25,5	2,85	0,96	89	2,03	50,9	53,5	124	36,4	170
12	0,63	0,29	0,21	56	0,60	43	20,3	38,4	25,4	90,7
13	2,68	0,39	0,20	24	0,57	26,1	17,1	19,6	26	90,8
14	3,65	0,80	0,07	23	0,50	44,8	14,1	27,5	22,7	47,3
15	14,2	6,03	0,08	27	0,67	47,1	27,1	23,6	53,6	103
16	0,11	0,27	0,02	12	0,60	34,7	13,4	16,6	20,8	43,8
17	2,80	0,50	0,21	32	0,63	47,9	19,3	33,3	30,6	94,3
18	13,9	1,64	0,39	163	13,3	251	123	377	17,3	4362
19	17,9	3,53	0,92	38	1,20	55,6	41,4	47,1	34,2	131
20	8,05	2,28	0,07	10	0,70	62,9	48,7	63,0	38,5	102
21	11,3	6,58	0,11	15	0,70	66,3	29,5	26,9	60,4	91,4
22	14	8,11	0,14	15	0,50	31,5	20,3	23,8	29,1	61,9
23	18,0	1,89	1,04	57	1,93	27,9	33,4	44,3	24,1	133
24	16,0	1,53	0,3	59	1,20	58,9	77,9	9,66	31	229
25	25,2	1,85	0,09	78	58,5	607	482	1517	64,3	3566
26	5,52	1,18	0,17	39	0,60	54,1	22,7	18,1	28,2	48,7
Media	11	2.1	0.45	49	3.0	60	69	73	34	347
Dev. std	7.2	2.4	0.36	40	4.7	49	99	96	19	880

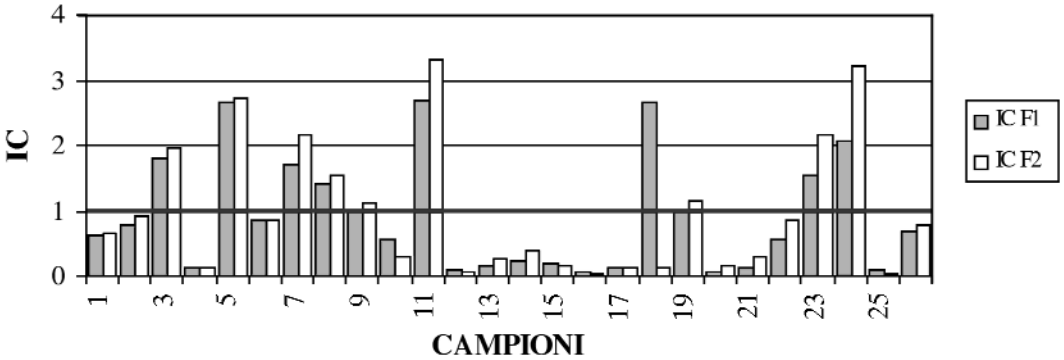

Fig. 1. Produzione di sostanza fresca nelle due prove di vegetazione (F1 ed F2): confronto degli indici di crescita (IC).

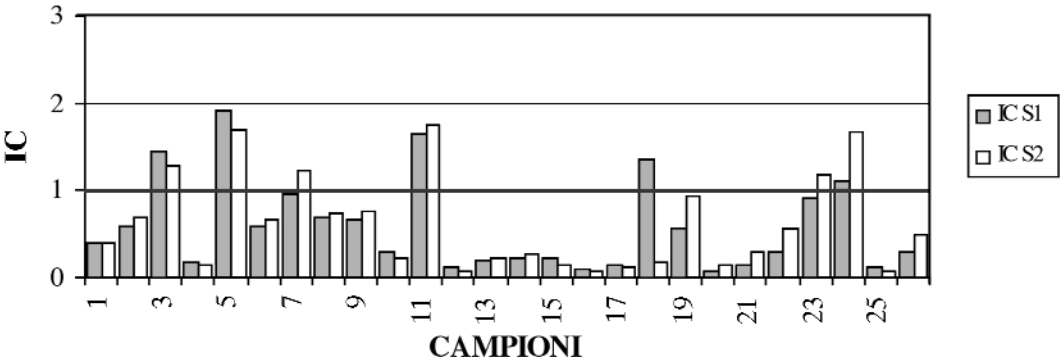

Fig. 2. Produzione di sostanza secca nelle due prove di vegetazione (S1 ed S2): confronto degli indici di crescita (IC).

sia come produzione di sostanza secca e fresca, sia come indice di crescita (ICS e ICF) ottenuto dal rapporto: produzione (secca o fresca) suolo campione/produzione (secca o fresca) substrato standard. Il test è stato effettuato in due periodi differenti (nella stagione primaverile e nella stagione estiva), utilizzando due varietà di lattuga, per verificare la variabilità nella risposta.

Come si osserva dai grafici in Figg. 1 e 2, il test si rivela molto sensibile alle diverse tipologie di suoli, e non sembra modificare la risposta replicando la prova. Le risposte ottenute sono infatti molto diversificate, con risultati nettamente inferiori a quello del suolo standard (indicato con una linea rossa nei grafici), e risultati superiori. Valutando le caratteristiche medie dei suoli che hanno riportato un indice di crescita maggiore di 1 (n.° 3, 5, 7, 11, 23, 24), si osservano valori di pH intorno al 7,

Tabella 3. *Suoli con IC > 1.*

	N	Minimo	Massimo	Media	Dev. Std
pH (H_2O)	6	6.4	7.8	7.1	0.7
C org. (g kg^{-1})	6	15.9	35.0	22	7.3
N tot. (g kg^{-1})	6	1.9	2.9	2.3	0.43
Sabbia (%)	6	33.6	81.17	62	20
C.S.C. ($cmol^{(+)}$ kg^{-1})	6	9.1	18.8	14.6	3.9
P ass. (mg kg^{-1})	6	38	124	78	33
Cd tot. (mg kg^{-1})	6	0.96	17.0	3.7	5.9
Cr tot. (mg kg^{-1})	6	27.9	81.2	48.4	19.3
Cu tot. (mg kg^{-1})	6	16.8	285	76	94
Pb tot. (mg kg^{-1})	6	9.66	124	50	35
Ni tot. (mg kg^{-1})	6	14.5	48.19	30.3	10.8
Zn tot. (mg kg^{-1})	6	79	229	140	48

Tabella 4. *Suoli con IC < 0.5.*

	N	Minimo	Massimo	Media	Dev. Std
pH (H_2O)	13	4.4	7.8	5.9	1.0
C org. (g kg^{-1})	13	0.3	40	12	11
N tot. (g kg^{-1})	13	0.6	3.7	1.3	0.6
Sabbia (%)	13	46	94	70	16
C.S.C. ($cmol^{(+)}$ kg^{-1})	13	3.3	20	11	4.9
P ass. (mg kg^{-1})	13	10	163	44	46
Cd tot. (mg kg^{-1})	13	0.5	59	6.6	16
Cr tot. (mg kg^{-1})	13	25	607	109	161
Cu tot. (mg kg^{-1})	13	13	482	114	162
Pb tot. (mg kg^{-1})	13	17	1517	190	413
Ni tot. (mg kg^{-1})	13	17	64	35	16
Zn tot. (mg kg^{-1})	13	44	4362	728	1455

ricchezza in sostanza organica, un buon complesso di scambio, maggiormente saturo in calcio (tabella 3). Si tratta di suoli con fertilità elevata, nei quali i fattori che possono influenzare la produttività denunciano valori ottimali. Per quanto riguarda i metalli pesanti, la media risulta inferiore alla media dell'intera popolazione ad eccezione del cadmio; infatti il suolo n.° 7, pur avendo una produttività elevata, presenta un alto tenore per questo metallo. Considerando i suoli con ICS < 0.5 (suoli n.° 1, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 26), che hanno pertanto risposto in modo nettamente negativo al test, i parametri analitici più rilevanti come reazione, tenore in carbonio organico entità e composizione del complesso di scambio, presentano range di valori inferiori rispetto a quelli dell'intera popolazione (tabella 4).

Alla luce di questi risultati si può affermare che il test, così applicato, consente di discriminare bene i suoli con buona qualità intrinseca, mentre in caso di risultati negativi rispetto al suolo standard, non si riesce a distinguere uno stato di contaminazione (scarsa qualità dinamica) da una scarsa qualità originaria.

Nell'intento di chiarire l'influenza delle caratteristiche chimiche e fisiche dei suoli sulla risposta al biosaggio, si sono analizzate le relazioni tra i parametri analitici e i risultati del biosaggio, mediante un'analisi statistica condotta con SPSS/PC 7.0. L'analisi è stata effettuata escludendo i dati relativi al suolo contaminato (n. 25).

Preliminarmente, l'informazione analitica è stata ridotta mediante analisi fattoriale; sono stati estratti i primi 3 fattori in grado di spiegare l'80% circa della variabilità complessiva della popolazione (Tab. 5), che risultano avere i coefficienti di correlazione con le variabili originarie riportati in Tab. 6. I fattori sono stati ruotati ortogonalmente in quanto alcuni parametri analitici avevano un alto coefficiente di caricamento (loading) per più di una componente, e quindi le tre componenti non risultavano indipendenti tra loro.

Il fattore 1 presenta un autovalore molto alto e quindi descrive bene come tendono a variare congiuntamente le 13 variabili esaminate: è altamente correlato alla sabbia, alla C.S.C. e al calcio scambiabile, pertanto rappresenta le caratteristiche della matrice minerale del suolo, il calcio essendo il catione più abbondante sul complesso di scambio, risulta l'elemento più importante nel fattore 1. Il fattore 2 contiene le variabili legate alla reazione del suolo, sia nella sua natura attuale che potenziale, e l'influenza dei carbonati su di essa. Infatti il carbonio totale risulta altamente correlato, per la frazione inorganica, con i valori di pH. Il fattore 3 indica la sostanza organica del suolo, in quanto contiene le informazioni relative al carbonio organico, all'azoto totale e, anche se in misura minore, al fosforo assimilabile.

I fattori ottenuti sono stati utilizzati per studiare le relazioni esistenti tra le caratteristiche analitiche dei suoli e le risposte dei suoli al test di vegetazione con lattuga.

È stata effettuata l'analisi di regressione lineare tra la produzione di sostanza fresca e secca delle piante di lattuga, considerate come variabili dipendenti, e i fattori riassuntivi delle proprietà dei suoli, considerati come variabili indipendenti.

Sono stati elaborati i dati provenienti sia dalla prima prova di vegetazione, sia

Tabella 5. *Varianza totale spiegata.*

Fattori	Pesi dei fattori non ruotati			Pesi dei fattori ruotati		
	Autovalori iniziali	% di varianza	% cumulata	Autovalori iniziali	% di varianza	% cumulata
1	5.716	43.969	43.969	4.267	32.824	**32.824**
2	2.777	21.362	65.330	3.215	24.732	**57.555**
3	1.847	14.205	76.535	2.857	21.979	**79.535**
4	.994	7.646	87.181			
5	.606	4.658	91.839			
6	.334	2.566	94.405			

Tabella 6. *Matrice dei fattori ruotati (loading).*

	FATTORI		
	1	**2**	3
pH (H_2O)	0.403	**0.870**	-0.107
pH (KCl)	0.212	**0.960**	5.392 E-02
C TOT.	-0.140	**0.867**	0.242
C ORG.	0.162	0.117	**0.914**
AZOTO TOT.	0.198	0.224	**0.907**
SABBIA	**-0.906**	-0.171	7.453 E-02
LIMO	0.688	0.257	0.311
CAP. IDR.	0.705	0.164	0.108
C.S.C.	**0.885**	-2.844 E-02	0.123
CALCIO	**0.790**	0.525	0.179
MAGNESIO	0.744	-1.473 E-02	-0.422
POTASSIO	0.452	0.567	0.439
FOSFORO	-0.142	-3.544 E-02	**0.771**

dalla seconda; con risultati molto simili. Pertanto si riportano unicamente le equazioni di regressione della prima prova che sono risultate, per l'accrescimento in sostanza fresca (Pf):

$$Pf = 3.73 \cdot 10^{-2} + 0.125\ F1 + 0.420\ F2 + 0.706\ F3$$

$$(r^2 = 0.688\ F = 15.433\ Sig. = 0.000)$$

e per l'accrescimento in sostanza secca (Ps):

$$Ps = 3.49 \cdot 10^{-2} + 0.115\ F1 + 0.373\ F2 + 0.696\ F3$$

$$(r^2 = 0.632\ F = 12.006\ Sig. = 0.000)$$

Le rette di regressione hanno una costante quasi prossima allo zero, per cui i tre fattori spiegano bene le variabili dipendenti. Il fattore 3 risulta avere il coefficiente più alto, sia rispetto all'accrescimento fresco che all'accrescimento secco, il fattore 2 ha valori intermedi e il fattore 1 ha valori molto ridotti. Si può affermare che la produzione delle piante di lattuga è dovuta principalmente al tenore in sostanza organica e in nutrienti dei suoli, seguito dalle caratteristiche legate alle reazione, mentre i parametri legati alla tessitura e al complesso di scambio appaiono meno importanti.

Pertanto, nell'ipotesi di voler evidenziare uno stato di contaminazione di un suolo mediante il test su lattuga, sarà necessario disporre di informazioni circa la dotazione in sostanza organica e nutrienti del suolo stesso. Questo sia per una prima valutazione della risposta del test, sia per un eventuale inserimento di un suolo testimone avente simili caratteristiche. In questo senso si stanno orientando successivi studi, che mirano a identificare suoli standard idonei ad una valutazione più precisa della qualità dei suoli.

Conclusioni

I test biologici possono essere di grande ausilio per una valutazione preliminare dello stato di contaminazione di un suolo, nonché come strumento di monitoraggio dell'efficacia di interventi di ripristino della fertilità dei suoli compromessi e come strumento di controllo periodico della qualità di suoli bonificati. La loro semplicità di esecuzione, i costi ridotti e, soprattutto, il fatto che forniscono un'informazione sintetica sul potenziale disturbo agli organismi viventi, li rendono uno strumento di controllo ambientale indispensabile.

L'applicazione del test con lattuga ad un campione rappresentativo di suoli lombardi e limitrofi, supposti non contaminati, ha dimostrato come il biosaggio, per la prima volta impiegato sui suoli, risponda in modo estremamente sensibile

alle differenti condizioni fisico-chimiche dei suoli e quindi, opportunamente modificato, possa segnalare i fattori di disturbo eventualmente presenti. In particolare, la ricerca ha dimostrato chiaramente come la dotazione in sostanza organica, in azoto e fosforo assimilabile siano i principali responsabili di differenze di risposta al test, seguite dai fattori legati alla reazione. I requisiti del suolo di controllo, perfezionati in ricerche successive, sono stati in questo studio chiaramente delineati. La verifica del test con un suolo particolarmente contaminato in metalli pesanti ha dimostrato l'applicabilità del biosaggio, anche in assenza di un suolo di riferimento idoneo, in quanto l'elevata sensibilità del test consente comunque di evidenziare stati di compromissione.

(*La ricerca è stata effettuata con il contributo dell'Associazione Cremona Ambiente*).

BIBLIOGRAFIA

Camusi A., Möller F., Ottavano E., Sari Gorla M. (1986): *Metodi statistici per la sperimentazione biologica*. Zanichelli, Bologna.

Doran J.W., Parking T.B. (1994): "Defining soil quality for a sustanibility environment". In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F., Steward B.A., *Defining Soil quality for a Sustanibility Environment*. Soil Science Society of America, Madison, WI. SSSA Spec. Publ. 35.

Doran J.W., Sarrantonio M., Liebig M.A. (1996): "Soil health and sustainability. Advances in Agronomy". *Academic Press, San Diego, CA.*, *56*, 1-54.

Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Osservatorio Nazionale Podologico e per la Qualità del suolo (2000): *Metodi di Analisi Chimica del Suolo*. Franco Angeli, Milano.

Karlen D.L., Easch N.S., Unger P.W. (1992): "Soil and crop management effect on soil quality indicators". *Amer. J. Altern. Agric.*, *7*, 48-55.

Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., Schuman G.E. (1997): "Soil quality: a concept, definition, and framework foe evaluation". *Soil Science American Journal.*, *6*, 4-10.

Sequi P., Vianello G. (1998): *Sensibilità e vulnerabilità del suolo*. Franco Angeli, Milano.

Seybold C.A., Herrick J.E, Brejda J.J. (1999): "Soil resilience: a fundamental component of soil quality". *Soil Science. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.*, *164*, (4), 224-234.