

Proposta di Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS-e) basato sui Lombrichi e applicato agli Agroecosistemi

Maurizio Guido Paoletti*, Daniele Sommaggio, Silvia Fusaro

Dipartimento di Biologia, Laboratorio di Agroecologia ed Etnobiologia, Università di Padova, via U. Bassi 58/B – 35121 Padova

* *Referente per la corrispondenza: paoletti@bio.unipd.it*

Pervenuto il 20.2.2013; accettato il 7.3.2013

Riassunto

Viene proposto un sistema di valutazione della sostenibilità delle pratiche di gestione dell'agroecosistema basato sui lombrichi, bioindicatori rappresentativi della biodiversità del suolo (QBS-e), partendo dall'importanza della biodiversità della fauna edafica per la salute del suolo e degli agro ecosistemi prendendo come modello l'indice QBS-ar di PARISI, 2001. Questa metodologia è stata pensata per l'agricoltore e l'operatore non necessariamente esperto in tassonomia delle specie per monitorare in autonomia lo stato dell'ambiente prevalentemente agricolo.

PAROLE CHIAVE: qualità biologica / suolo / lombrichi / bioindicatori / agroecosistema / sostenibilità / monitoraggio / biodiversità

An Earthworms Soil Quality Index Proposal (QBS-e) applied to Agroecosystems

We propose a system for assessing the sustainability of agroecosystem management practices based on Earthworms, as Bioindicators of Soil Biodiversity (QBS-e), starting from the importance of the biodiversity of soil fauna for healthy soils and taking as a model the index QBS-ar (PARISI, 2001). This methodology is designed for the farmer and the operator with limited expertise on species taxonomy who can monitor in autonomy the status of the agricultural environment.

KEY WORDS: biological quality / soil / earthworms / bioindicators / agroecosystem / sustainability / monitoring / biodiversity

INTRODUZIONE

L'attività dell'uomo ha profondamente modificato le condizioni ambientali della Terra. Le migrazioni umane possono aver influito su queste modificazioni e l'avvento dell'agricoltura le ha di certo amplificate (DIAMOND, 2005). Questo processo è stato particolarmente evidente negli ultimi 60 anni quando la crescita della popolazione umana, associata ad una maggiore domanda di cibo, acqua, energia, ha comportato un consumo considerevole delle risorse disponibili (TAIN-

TER, 1988; JOHNSON e EARLE, 2000; MA, 2005). Per esempio DAILY (1995) ha stimato che dal 1945 ad oggi l'uomo ha modificato dal 40% al 50% degli ecosistemi naturali della Terra. Un cambiamento nell'utilizzo del suolo viene considerata come la causa principale nella degradazione degli ecosistemi naturali (SALA *et al.*, 2000). Questo impoverimento ha comportato anche ricadute negative sugli agroecosistemi, che rappresentano una delle principali destinazioni di utilizzo del

territorio in seguito all'attività umana (PAOLETTI *et al.*, 1992; 2011). Per esempio circa il 40 % dei terreni coltivati è soggetto a fenomeni di erosione del suolo, ridotta fertilità o "overgrazing" (WOOD *et al.*, 2000; MONTGOMERY, 2007; REYNOLDS *et al.*, 2007). Ciò ha comportato una sempre più pressante richiesta per forme di agricoltura che abbiano come obiettivo primario la sostenibilità delle produzioni e non solamente le rese a breve termine (PAOLETTI *et al.* 1992; 2011; GLIESSMANN, 2007). In quest'ottica diventa di primaria importanza la disponibilità di strumenti che permettano una facile valutazione delle condizioni dell'agroecosistema stesso, in modo da pianificare eventuali interventi e monitorarne la loro efficienza (PAOLETTI, 1999a; HOLE *et al.*, 2005; BIAGINI *et al.*, 2006; GARDI *et al.*, 2009; PAOLETTI *et al.*, 2011).

La scelta del bioindicatore da utilizzare può essere un processo complesso e talora difficile (McGEOCH, 1998; ANDERSEN, 1999; VANDEWALLE *et al.*, 2010). Una prima difficoltà nasce dalla mole elevata di indicatori che sono stati proposti a vario titolo. Per esempio FELD *et al.* (2009), analizzando la letteratura scientifica dal 1994 al 2007 presente nel Science Citation Index Expanded, hanno riscontrato 617 lavori che coprono 531 possibili indicatori di biodiversità. McGEOCH (1998) e CARO e O'DOHERTY (1999) hanno tentato una classificazione dei vari tipi di bioindicatori al fine di favorire una maggiore chiarezza nella pletora di possibili indicatori con varie funzionalità. PAOLETTI (1999a) e PAOLETTI *et al.* (2007) riportano diversi taxa e strategie che possono essere utilizzati come indicatori di biodiversità e sostenibilità negli agroecosistemi.

La fauna del suolo è stata oggetto di studi per valutare la possibilità di utilizzare vari taxa come indicatori di sostenibilità: si possono citare per esempio l'indice di maturità applicato ai Nematodi (BONGERS, 1990; YEATES, 1994) o quello applicato ai Mesostigmati (RUFF, 1998). PARISI e collaboratori (2001, 2005; D'AVINO *et al.*, 2002; ANGELINI *et al.*, 2002; BLASI *et al.*, 2012) hanno proposto un indice di valutazione della qualità del suolo (QBS-ar e QBS-c) che viene elaborato utilizzando la microfauna del terreno come indicatore di sostenibilità.

Il QBS risponde in particolare a tre importanti requisiti che dovrebbe possedere un buon indicatore.

1. La necessità di utilizzare informazioni funzionali prima che tassonomiche. Alcuni autori hanno evidenziato come l'utilizzo di indici che sfruttano come indicatore solo la ricchezza in specie (o di altri gruppi tassonomici) sia riduttivo ed in questo modo si rischi la perdita di informazione (MORETTI *et al.*, 2009; DE BELLO *et al.*, 2010; VANDEWALLE *et al.*, 2010). È necessario poter associare ad ogni gruppo tassonomico, indipendentemente dal suo livello sistematico,

caratteristiche ecologiche (come livello trofico, esigenze ambientali, lunghezza del ciclo di sviluppo). Questi tipi di approccio sono stati ampiamente utilizzati in altri ambiti come nella valutazione della qualità dei corsi d'acqua (es. MOUILLOT *et al.*, 2006; Ghetti, 2001) o nell'utilizzo delle piante come indicatori (es. CORNELISSEN *et al.*, 2003). Nel caso del QBS viene data particolare importanza alla condizione terrestre dei taxa riscontrati. Se viene rilevata la presenza di organismi con caratteristiche spiccatamente edafiche di profondità (come depigmentazione, sviluppo degli occhi scarso o nullo, scarsa mobilità), quel suolo sarà in buono stato di conservazione, rispetto ad uno in cui vengono rilevati organismi con caratteristiche di superficie (come elevata mobilità, pigmentazione, occhi e appendici ben sviluppate) che non sono strettamente legati alla vita all'interno di quel suolo.

2. È importante che il metodo possa essere facilmente utilizzato anche da non specialisti. Nel caso del QBS vengono scelti taxa che appartengono alla microfauna del terreno e che sono di difficile determinazione. Proprio per questo motivo le categorie tassonomiche scelte nel QBS sono ad alto livello sistematico in modo da permettere il riconoscimento anche ad opera di tecnici che non siano degli specialisti del gruppo (PARISI, 2001; PARISI *et al.*, 2005).
3. È fondamentale esprimere il risultato in termini facilmente comprensibili. Molto spesso il risultato di valutazioni ambientali si riduce a lunghi elenchi di specie che hanno poco valore in termini di valutazione del territorio, mentre un buon indicatore dovrebbe fornire dati di facile comprensione (NORTON, 1998; BÜCHS, 2003). In questo senso l'utilizzo di un indice con pochi valori a cui corrispondono delle condizioni di qualità del suolo rende il QBS un sistema di più semplificata lettura e comprensione.

Tuttavia permangono alcuni elementi di criticità legati al QBS. In primo luogo gli indici proposti sinora dal QBS presuppongono l'estrazione degli organismi mediante estrattore Berlese-Tullgren (PAOLETTI *et al.*, 1991) e la successiva osservazione dei campioni allo stereomicroscopio. Ciò comporta la disponibilità di una strumentazione che non è alla portata, per esempio, degli agricoltori. Benché si faccia riferimento a gruppi tassonomici con caratteristiche funzionali omogenee, la necessità di evitare l'identificazione delle specie determina una perdita importante di informazione (PAOLETTI *et al.*, 2010). Infine il QBS rileva solo la presenza di un determinato gruppo di animali con un preciso indicatore—punteggio EcoMorfologico (EMI)—tralasciando l'abbondanza degli individui appartenenti a quel gruppo, cosa che sarebbe di ardua fattibilità dal momento che gli organismi considerati sono molto piccoli e spesso presenti in numero considerevole.

I lombrichi sono conosciuti, fra i bioindicatori del suolo, come un taxon di elevata qualità e ciò richiama all'interesse prestato loro dal grande naturalista Charles Darwin che ha dedicato a questi organismi l'ultimo libro da lui scritto (DARWIN, 1881).

Essi sono infatti poco mobili e quindi strettamente legati al suolo, facilmente campionabili in modo standard con la tecnica dell'*hand-sorting* o *hand-sorting* preceduto dall'uso di soluzione acquosa irritante. Si possono impiegare svariate sostanze irritanti; ad es. tradizionalmente una soluzione acquosa di formaldeide 0,2-0,5%, ma anche una sospensione acquosa con farina di senape o una soluzione acquosa con allyl isotiocianato.

I lombrichi sono molto sensibili alla gestione del suolo sia per lavorazioni, sia per utilizzo di agrofarmaci o fertilizzanti chimici e liquami, rotazioni, pacciamature, salinizzazione e compattazione dei suoli (PAOLETTI, 1988, 1999a; PAOLETTI *et al.*, 1988; PAOLETTI *et al.*, 1991; PAOLETTI *et al.*, 1995a, 1995b; PAOLETTI *et al.*, 1998; PAOLETTI e CANTARINO, 2000; BLAKEMORE e PAOLETTI, 2006; PEIGNÉ *et al.*, 2009).

Lo scopo del presente articolo è quello di proporre un indice analogo a quello di PARISI (2001), da applicare al suolo degli agroecosistemi o degli ambienti semi-naturali presenti nel contesto rurale e basato sui lombrichi, più conosciuti anche dagli operatori agricoli. Quindi l'obiettivo dell'Indice che chiameremo *QBS-e* (Qualità Biologica del Suolo applicato ai lombrichi- *earthworms*) è di valutare la qualità e lo stato di salute del suolo in base al monitoraggio della comunità di lombrichi in esso ospitata. Essendo i lombrichi dei buoni bioindicatori, ciò permette di stimare la sostenibilità delle pratiche di gestione dell'ambiente in questione.

L'ambito di applicazione dell'indice *QBS-e* è pensato essere l'agroecosistema definito come un ambiente semplificato dal punto di vista ecologico con caratteristiche determinate dall'attività dell'uomo che utilizza il suolo per coltivare piante al fine di ricavare prodotti utili al suo sostentamento. Oltre alle specie coltivate, questo ambiente ospita altri organismi selvatici o spontanei più o meno antropofili legati da interazioni ecologiche e svolgenti funzioni integranti dell'ecosistema. In particolare il suolo è la sede di produzione dell'attività agricola, quindi si è scelto di operare con dei bioindicatori, i lombrichi, strettamente legati ad esso e in grado di fornirci informazioni sul suo stato. Sono stati inclusi nel monitoraggio anche altri ambienti che solitamente si ritrovano nel contesto rurale e che vengono definiti semi-naturali come siepi, alberature, capezzagne, fasce inerbite, sponde di piccoli corsi d'acqua che ospitano flora e fauna più o meno spontanee ma che non vengono utilizzate intensamente a

fini produttivi.

Come presupposto si considera che l'operatore (un agricoltore o un addetto al monitoraggio del suolo) non abbia particolari competenze di tassonomia e che possa procedere in autonomia, senza ricorrere all'aiuto di esperti o alla consulenza di un laboratorio. Inoltre non è necessario sopprimerne gli individui raccolti per la determinazione, ma solo prelevarli per un periodo di tempo e poi rilasciarli nell'ambiente; ciò riduce notevolmente l'impatto sulla comunità locale di questi animali. Fra i limiti di questo tipo di monitoraggio è da annoverarsi la scarsa applicabilità in alcune tipologie di ambienti naturalmente poco ospitali per i lombrichi come per esempio quelli con climi troppo asciutti oppure con terreni molto sabbiosi o troppo sassosi.

MATERIALI E METODI

Per effettuare il monitoraggio si applica la tecnica dell'*hand-sorting*, ovvero il prelievo di una zolla di terreno (ad esempio 30cm x 30cm, profondità 20 cm), e lo sminuzzamento di questa su un telo bianco alla ricerca di tutti i lombrichi visibili. Questi vengono prelevati e ripuliti dalla terra servendosi di un contenitore con acqua. Si consiglia di ripetere il prelievo da 5 a 10 volte ad una distanza minima di 6-10 m fra le diverse repliche per ottenere un campione rappresentativo della popolazione di lombrichi dell'area in esame.

Materiali utili

- forca vanga (per evitare di tagliare gli individui),
- telo bianco,
- corda metrica,
- decimetro rigido,
- contenitore con acqua,
- eventuale sospensione di polvere di senape (essenziale per valutare la presenza di lombrichi profondi scavatori),
- scheda di monitoraggio (Fig.1).

Periodo di campionamento

Le stagioni più favorevoli per il campionamento dei lombrichi sono la primavera e l'autunno. Infatti in questo periodo vi è maggiore piovosità e ciò determina una maggiore attività dei lombrichi, che sono rinvenibili più in prossimità della superficie, entro le prime decine di centimetri di suolo. In ogni caso è sempre meglio effettuare il campionamento in seguito a periodi piovosi quando il terreno è in tempera.

Categorie Ecologiche

Una volta estratti gli animali e ripuliti dalla terra, l'attribuzione della categoria ecologica cui appartengono avviene in base alla profondità dove sono stati rinvenuti gli stessi e alle loro caratteristiche anatomiche.

che (ed ecologiche) valutabili ad occhio nudo. Le categorie ecologiche individuabili dalla letteratura (BOUCHÉ, 1972; SIMS e GERARD, 1985; LEE, 1985; PAOLETTI, 1999b; EDWARDS, 1998; GREAT LAKES WORM WATCH) e qui proposte sono:

- **Epigei:** pigmentati dorsalmente, frequentano lo strato della lettiera L e l'orizzonte A01 del suolo, in cui è riconoscibile la forma del materiale organico originario (Fig. 2);
- **Endogei:** in genere ma non sempre meno pigmentati, frequentano l'orizzonte A02 (strato organico in cui la forma del materiale originario non è riconoscibile) fino all'orizzonte A1 (evoluto in seguito all'accumulo di sostanza organica umificata associata alla frazione minerale) (Fig. 2); scavano gallerie prevalentemente orizzontali;
- **Anecici o profondi scavatori:** anche di grandi dimensioni, possono arrivare fino all'orizzonte A2 (caratterizzato dalla perdita di argilla, ferro o alluminio con concentrazione di minerali resistenti) e B (ove si accumulano argilla, minerali di ferro, carbonati, humus rendendo questo orizzonte colorato) (Fig. 2); scavano gallerie verticali che possono raggiungere anche qualche metro di profondità, spesso salgono presso la superficie per nutrirsi di lettiera;
- **Coprofagi:** lombrichi che vivono nel letame o nel compost e sono strettamente associati ad esso e quindi raramente si raccolgono nei suoli dove non sopravvivono a lungo, in seguito allo spandimento di materiali organici (letame e compost);
- **Idrofilo:** lombrichi amanti di suoli con falda freatica superficiale, anche in prossimità di fiumi, nelle bonifiche e nelle zone intertidali. Fra questi, piuttosto comune è *Eiseniella tetraedra* che, come tratto distintivo, presenta una doccia concava dorsale longitudinale all'estremità caudale.

Importante è altresì la determinazione dello stadio di sviluppo degli individui in base alla presenza del clitello, organo rigonfio a forma di manicotto o sella, nella parte anteriore dell'animale che indica il raggiungimento della maturità sessuale. Si possono quindi distingue-

re individui:

- **Giovani:** con clitello non distinguibile;
- **Adulti:** con clitello ben visibile, talora di differente colore e ingrossato (Fig. 3).

Per descrivere la popolazione di lombrichi di un ambiente è bene sapere la quantità di giovani e di adulti, in quanto i primi indicano il tasso di ricambio generazionale, mentre la presenza dei secondi presuppone che abbiano avuto le condizioni necessarie e sufficienti per crescere e svilupparsi e sono dei potenziali riproduttori, fondamentali per la prosecuzione della specie.

Non si ritiene necessario distinguere fra specie esotiche, alloctone ed endemiche, in quanto un operatore poco esperto non è in grado di attribuire un individuo rilevato ad una o all'altra categoria; inoltre presupporrebbe la determinazione della specie, cosa che per applicare l'indice QBS-e non è richiesta.

Nella tabella I sono elencati in dettaglio i caratteri anatomico-etologici per definire le categorie ecologiche.

Nella tavola illustrata (Fig. 5) sono raccolte alcune foto rappresentative di specie appartenenti alle categorie ecologiche summenzionate.

Si propone in seguito una chiave dicotomica semplificata come strumento utile all'agricoltore o ad un operatore sul campo, per distinguere le cinque categorie ecologiche durante le fasi di monitoraggio (Tab. II).

Nella tabella III si riporta l'elenco completo delle specie di lombrichi rinvenibili in Italia, con la categoria ecologica attribuita.

La designazione di una categoria ecologica ad ogni specie di lombrico è avvenuta in base all'interazione di più caratteristiche sia anatomiche sia etologiche. È doveroso aggiungere che a volte è stato necessario far prevalere una caratteristica ad un'altra (ed esempio il *modus vivendi* rispetto al colore o alle dimensioni) al fine di attribuire la categoria ecologica più appropriata alla specie. Ciò è quanto accade volendo semplificare e incasellare la complessa realtà di organismi viventi: vengono perse alcune informazioni, ma l'indice che ne deriva diventa uno strumento di facile utilizzo.

Campo:				Data:		
Dimensione zolla:				N° di ripetizioni:		
N° di individui	Colore	Stadio (giovane o adulto)	Lunghezza (cm)	Profondità di ritrovamento	Gallerie	Categoria ecologica

Fig. 1. Esempio di scheda per il monitoraggio dei lombrichi utile per il calcolo dell'Indice QBS-e.

Fra questi, piuttosto comune è *Eiseniella tetraedra* che, come tratto distintivo, presenta una doccia concava dorsale longitudinale all'estremità caudale.

Tab. I. Elenco dei caratteri utili per distinguere le categorie ecologiche dei lombrichi campionati. Sono evidenziati in grassetto gli aspetti più facilmente riscontrati nella categoria.

Categoria ecologica	Pigmento	Lunghezza adulto (cm)	Diametro (mm)	Muscolatura	Mobilità	Forma regione caudale	Tipo di gallerie	Cibo	Habitat preferito	Capacità riproduttiva	Reazione al disseccamento del suolo	Capacità rigenerativa
EPIGEI	Marrone, rossiccio, vinaccia, più scuro sul dorso e verso la testa	Piccola (Vivo: < 14; Conservato: < 8)	$1 < X > 2,5$	Ridotta	Elevata	Cilindrica	Non permanenti	Lettera, funghi e microrganismi di essa	Lettera fino ai primi 2,5 cm di profondità, anche sotto corteccia	Elevata (65-106 bozzoli /anno)	Bozzoli	Ridotta
ENDOGEI	Grigiastro, bluastro, giallastro, a volte con la testa rosa chiaro (depigmentazione)	Piccola-media-grande (Vivo: $6 < X > 22$; Conservato: $3 < X > 18$)	$1 < X > 6,5$	Ben sviluppata	Variabile	Cilindrica	Sistemi ramificati di gallerie sub-orizzontali	Suolo, sostanza organica, funghi e microrganismi presenti in esso	Prevalentemente entro i primi 50 cm di profondità	Scarsa (8-27 bozzoli /anno)	Quiescenza (Fig. 4)	Variabile
ANECICI	Rossiccio, marrone, anche a bande, più scuro sul dorso, iridescente, anche depigmentati	Media-grande (Vivo: > 20; Conservato: > 12,5)	$4 < X > 15$	Ben sviluppata	Altamente contrattili, capaci di rapide retrazioni nelle gallerie	Depressa, a forma di pala lanceolata	Prevalentemente verticali, permanenti che possono raggiungere i 3 m di profondità	Letteriera fresca, suolo	Percorrono tutti gli strati del suolo fino a circa 2-3 m: di notte salgono in superficie	Bassa (1-8 bozzoli/anno)	Diapausa	Sviluppata
COPROFAGI	Vario, anche a bande	Piccola (Vivo: < 14; Conservato: < 7)	$2 < X > 5$	Non particolarmente sviluppata	Elevata	Cilindrica	Non scavano gallerie	Solo sostanza organica fresca	Letame o compost	Elevata (107 bozzoli /anno *E. foetida)		Sviluppata
IDROFILI	Vario, rosso, verdastro	Piccola-media (Vivo: < 15; Conservato: < 12)	$2 < X > 5$	Non particolarmente sviluppata	Elevata	Con doccia dorsale	Non scavano gallerie	Sostanza organica	Terreni con falda superficiale, benthos di piccoli corsi d'acqua	Media (41 bozzoli /anno)		

Tab. II. CHIAVE DICOTOMICA SEMPLIFICATA PER CATEGORIE ECOLOGICHE DI LOMBRICHI
(con quesiti relativi ad ecologia, etologia ed anatomia di questi macroinvertebrati)

1) ANATOMIA → Forma del corpo:	
- Cilindrica	2)
- Con una doccia (parte allungata) dorsale concava nella parte posteriore	IDROFILO
2) ECOLOGIA → Habitat di ritrovamento:	
- Dentro il suolo, lungo il profilo	4)
- Presso la superficie del suolo	3)
3) ECOLOGIA → Tipo di superficie del suolo in cui è avvenuto il ritrovamento:	
- Suolo intriso d'acqua	IDROFILO
- Con molta sostanza organica fresca come compost e/o letame	COPROFAGO
4) ECOLOGIA → Profondità di ritrovamento:	
- Entro i primi 5-10 cm dalla superficie	5)
- Entro i primi 30-40 cm dalla superficie	6)
5) ETOLOGIA → Gallerie (visibili nella zolla):	
- Presenti	6)
- Assenti	7)
6) ETOLOGIA → Forma delle gallerie:	
- Ben sviluppate anche in verticale, di 0,5-2 cm di diametro	ANECICO
- Sviluppate prevalentemente in orizzontale e con un diametro indicativo entro 0,5 cm	ENDOGEI
7) ANATOMIA → Dimensione del corpo da vivo:	
- Lunghezza entro 15 cm e diametro fino a 3 mm	8)
- Lunghezza entro 20 cm e diametro fino a 5-6 mm	ENDOGEI
- Lunghezza oltre 20 cm e diametro da 5 a 15 mm a volte con parte caudale appiattita	ANECICO
8) ANATOMIA → Colore del corpo da vivo:	
- Più scuro sul dorso e/o sulla parte anteriore, più chiaro sulla parte ventrale	EPIGEO
- Depigmentato o con colore molto scarso	ENDOGEI

**CATEGORIE ECOLOGICHE DEI LOMBRICHI
O GRUPPI FUNZIONALI**

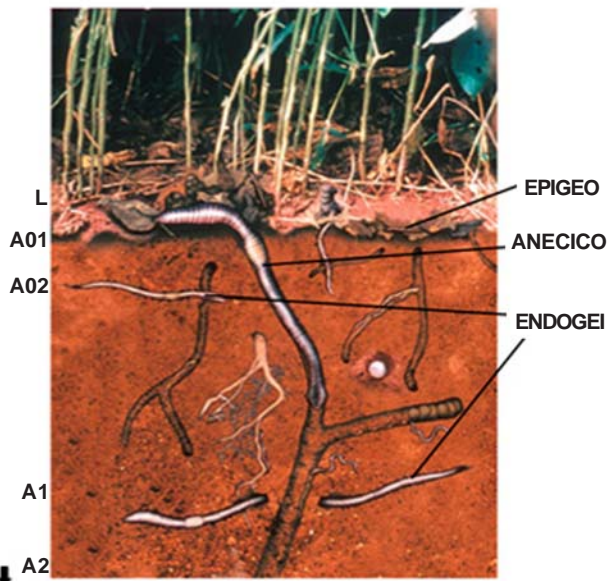


Fig. 2. Schema di profilo pedologico con rappresentazione di alcune categorie ecologiche di lombrichi (modificato da P. LAVELLE, 1996).



Fig. 3. Individuo adulto, profondo scavatore, di *Eophila gestroi* conservato in alcol, in cui è visibile il clitello a forma di sella nella parte anteriore del corpo.

Tab. III. Elenco delle specie di lombrichi censite nel software di determinazione LOMBRI-CDrom (tratto da PAOLETTI e GRADENIGO, 1996) con l'aggiunta della categoria ecologica di appartenenza (EPI= epigeo, END= endogeo, ANE= anecico, COP= coprofago, IDR= idrofilo). La lunghezza e il diametro si riferiscono agli esemplari adulti conservati.

GENERE	SPECIE	CATEG. ECOL.	PIGMENTO	FORMA CORPO	ECOLOGIA	LUNGHEZZA Adulto (cm)	DIAMETRO Adulto (mm)
<i>Allolobophora</i>	<i>smaragdina</i>	END	verde smeraldo (sbiadiscono in etanolo)	cilindrica un po' depressa inferiormente; vivi a semicerchio	boschi di peccio e misti, lettiera, legno marcescente	4-8	6
<i>Allolobophora</i>	<i>chlorotica</i>	END	scarso-bruno. Colore: verdognolo, giallastro o carneo	cilindrica con clitello appiattito	prati, debole scavatore	3,5-8,5	3-5
<i>Allolobophora</i>	<i>rubiconda</i>	EPI	rosso	cilindrica, caudalmente sub trapezoidale	prati degradati	8-10	3-5
<i>Allolobophora</i>	<i>cupulifera</i>	END	assente	cilindrica con appiattimento caudale		4,5-5	2 - 2,5
<i>Allolobophora</i>	<i>schnaideri</i>	END	assente		prati denudati	4,3-7,2	2,5-3
<i>Allolobophora</i>	<i>leoni</i>	END	assente		terreni argillosi, boschi e suoli coltivati	9-13,5	3,5-6,5
<i>Allolobophora</i>	<i>georgii</i>	END	assente	cilindrica, coda troncata, fenditura anale estesa dorsalmente	prati, boschi, coltivi	3,5-7	2,5 - 5
<i>Allolobophora</i>	<i>jassyensis</i>	END	assente	cilindrica, clavata caudalmente; 10-13 segmenti biannulati, oltre triannulati		6-11	3-3,5
<i>Allolobophora</i>	<i>cuginii</i>	END	assente	cilindrica		7,5	4
<i>Allolobophora</i>	<i>icterica</i>	IDR	giallastro		in terreni umidi in prossimità dell'acqua	5-14	3-4
<i>Allolobophora</i>	<i>rosea</i>	END	sempre assente	cilindrica piuttosto tozza	prati, pascoli, coltivi, tra l'erba	2-5	1,5-3,5
<i>Allolobophora</i>	<i>caliginosa</i>	END	da bruno chiaro a bruno scuro quasi nero sul dorso	anteriamente cilindrica, posteriormente trapezoidale	predilige prati e pascoli umidi, coltivi, argini di canali	6-18	2,5-5,5
<i>Allolobophora</i>	<i>terrestris</i>	END	da bruno scuro a nero sul dorso, chiaro il ventre	anteriamente cilindrica, trapezoidale posteriormente	prati e pascoli montani	12-22	5-6
<i>Amyntas</i>	<i>corticis</i>	IDR	grigio scarso	cilindrica, poco affusolata alle estremità	semiacquatica, predilige le sponde di ruscelli ed alta umidità	6-16	3-4
<i>Bimastus</i>	<i>minusculus</i>	END	assente, da vivo biancastro	cilindrica	debole scavatore, suoli coltivati e boschi planiziali	1,2-2,5	1-1,8
<i>Bimastus</i>	<i>eiseni</i>	EPI	rosso purpureo	cilindrica	lettiera, sotto escrementi vaccini, cortecce, legno marcescente	3-6	3-4
<i>Criodrilus</i>	<i>lacuum</i>	IDR	da verde scuro a nero	quadrangolare con dorso incavato a doccia, ano in posizione dorsale	fango sommerso in corsi d'acqua; bozzoli fusiformi verdi di 4-5 cm	6,5-14 (anche sino a 32)	4-5
<i>Dendrobaena</i>	<i>cognettii</i>	EPI	rossiccio anteriormente	cilindrica, clavata anteriormente	lettiera di bosco	1,1-3	1-1,5
<i>Dendrobaena</i>	<i>attemsi</i>	EPI	rosso chiaro, macchia chiara dorsale presso spermatopori	cilindrica	lettiera, bordure coltivi, sotto cortecce	2-6	2-2,5
<i>Dendrobaena</i>	<i>pantaleonis</i>	EPI	rosa molto scarso	esile a sezione indistintamente poligonale	lettiera di bosco	1,8-4	1,2-2,6

GENERE	SPECIE	CATEG. ECOL.	PIGMENTO	FORMA CORPO	ECOLOGIA	LUNGHEZZA Adulto (cm)	DIAMETRO Adulto (mm)
<i>Dendrobaena</i>	<i>alpina</i>	EPI	roseo molto scarso	cilindrica	pascoli alpini, terriccio di bosco, sotto cortecce	3,5-7,5	3-4,5
<i>Dendrobaena</i>	<i>octaedra</i>	EPI	viola-bruno scuro	a sezione ottaedrica	lettiera, sotto cortecce, legno marcescente, sotto escrementi bovini	1,6-4	1,5-4
<i>Dendrobaena</i>	<i>schmidtii</i>	EPI	viola-bruno scuro anche sul ventre	lievemente prismatica		3,2	3
<i>Dendrobaena</i>	<i>veneta</i>	COP	rosso-violaceo ad anelli trasversi, solchi intersegmentali chiari	alquanto appiattita, tozza	ambienti umidi, ricchi materiale organico, concimaie, orti, tronchi	4-9	4,5-5,8
<i>Dendrobaena</i>	<i>hortensis</i>	EPI	rosso-porpora scarso; talora interrotto da fasce chiare	appiattita	luoghi molto umidi, materiale organico, spesso in grotta	2,6-6	2,3-2,5
<i>Dendrobaena</i>	<i>byblica</i>	END	roseo molto scarso	sezione ottagonale	lettiera, bordi di coltivi, sotto cortecce	2,6-5	2,4-3,2
<i>Dendrodrilus</i>	<i>rubidus rubidus</i>	EPI	rosso, più scuro alle estremità	cilindrica appiattita	prati e pascoli montani anche in quota; lettiera di boschi e sotto cortecce	2,4-4	2-3,5
<i>Dendrodrilus</i>	<i>rubidus subrubicundus</i>	EPI	rosso purpureo talora scarso	cilindrica appiattita	prati, pascoli lettiera, tronchi marci, non alle alte quote	3,5-6,5	3-3,5
<i>Diporodrilus</i>	<i>bouchei</i>	END	assente	cilindrica-tozza, estremità posteriore tronca	con <i>H. redii</i> , sabbie umide, pendii	3,3-4,4	3,5-4,5
<i>Diporodrilus</i>	<i>pilosus</i>	END	assente	cilindrica, tozza	prati e boschi	6,0-11	6,5-9
<i>Eisenia</i>	<i>spelaea</i>	COP/IDR	assente; colore biancastro; rosso mattone a bande	alquanto appiattita dorso ventralmente	sub acquatica, fango, guano, anche fuori da grotte	7-11	5,6-6
<i>Eisenia</i>	<i>foetida</i>	COP	a fasce trasversali, rosso violetto	cilindrica con appiattimento clitellare e caudale	legata ai letamai. Probabilmente è di origine corticicola	5-12	2-4
<i>Eiseniella</i>	<i>tetraedra</i>	IDR	bruno-ocra	quadrangolare	sub acquatica, bordi di torrenti, muschi bagnati	1,2-6	1,5 - 3
<i>Eiseniella</i>	<i>neapolitana</i>	IDR	da vivo verdastro, clitello roseo-aranciato	a sezione quadrata con dorso incavato a doccia	corpi d'acqua stagnante	4-8	2,5-3,5
<i>Eiseniona</i>	<i>handlirschi</i>	EPI	assente; da vivo: rosso chiaro	snella, posteriormente trapezoidale	boschi, prati, luoghi molto umidi	3,5-9,5	2,5-4,5
<i>Eiseniona</i>	<i>sineporis</i>	EPI	rosso-mattone	cilindrica, leggermente quadrangolare posteriormente	prevalentemente nello strato della lettiera	3-4	3
<i>Eiseniona</i>	<i>gabriellae</i>	EPI	rosso, scarso	cilindrica, assottigliata anteriormente	sotto lettiera di boschi mediterranei, campi coltivati	4-7	2,1-3,5
<i>Eiseniona</i>	<i>gabriellae gallurae</i>	EPI	rosso, scarso	cilindrica, assottigliata anteriormente		4-7	2,1-3,5
<i>Eophila</i>	<i>andreinii</i>	ANE	ardesia	cilindrica	macchia mediterranea	12-18	7-10
<i>Eophila</i>	<i>targionii</i>	ANE	ardesia	cilindrica, depressa posteriormente		30	5
<i>Eophila</i>	<i>dugesii</i>	ANE	bruno	cilindrica, rigonfia anteriormente clavata posteriormente	boschi	20-30	10-15
<i>Eophila</i>	<i>gestroi</i>	ANE	assente, ma con tracce di pigmento a bande trasversali	cilindrica, rigonfia nella parte anteriore	boschi, profondo scavatore	9-12	4-7

GENERE	SPECIE	CATEG. ECOL.	PIGMENTO	FORMA CORPO	ECOLOGIA	LUNGHEZZA Adulto (cm)	DIAMETRO Adulto (mm)
<i>Eophila</i>	<i>tellinii</i>	ANE	anelli trasversali bruno-violacei marcati sui segmenti	cilindrica, clavata posteriormente	profondo scavatore: le gallerie sboccano sotto grossi massi	23-45; vivo anche 50-60	12-16
<i>Eophila</i>	<i>asconensis</i>	ANE	assente	cilindrica, posteriormente clavata	profondo scavatore, boschi, incolti	6,5-13	4-5
<i>Eophila</i>	<i>januaeargenti</i>	ANE	assente	cilindrica, clavata posteriormente	profondo scavatore, boschi	7-12	3,5-5
<i>Eophila</i>	<i>corsicana simplex</i>	ANE	assente		profondo scavatore	10,5-11,2	5-7
<i>Helodrilus</i>	<i>patriarchalis</i>	IDR	assente	cilindrica	acquatico, fanghi asfittici sommersi	6-13	4-6
<i>Helodrilus</i>	<i>antipai</i>	END	assente	assottigliata posteriormente	terreni coltivati, pascoli	2,5-6	2-4
<i>Helodrilus</i>	<i>oculatus</i>	IDR	assente	cilindrica	acquatica, fanghi putridi	3,5-8	1,5 - 2
<i>Helodrilus</i>	<i>festai</i>	END	assente	cilindrica	boschi, coltivati	3-6	2
<i>Hormogaster</i>	<i>samnitica</i>	ANE	bruno-grigio chiaro	cilindrica, clavata anteriormente, clitello appiattito	euriecio, tollera condizioni estreme di salinità ed umidità	8,5-30	6-11
<i>Hormogaster</i>	<i>pretiosa</i>	ANE	da argento ad acciaio	cilindrica, clavata anteriormente	boschi di quercia e ruderi	24-34, vivo oltre 50	12-18
<i>Hormogaster</i>	<i>redii</i>	ANE	bruno chiaro-ardesia	cilindrica, clavata anteriormente	euriecio, tollera condizioni estreme di salinità ed umidità	12-30	9-13
<i>Lumbricus</i>	<i>rubellus</i>	EPI	rosso castano-violetto sul dorso	clavata anteriormente, appiattita posteriormente	lettiera, sotto pietre, mediocre scavatore, in prati, boschi	3,8-12	3,5-5,5
<i>Lumbricus</i>	<i>castaneus</i>	EPI	rosso castano-violetto sul dorso	clavata anteriormente, quasi cilindrico	più rigorosamente nella lettiera di bosco misto	3-5	2,5-4
<i>Lumbricus</i>	<i>meliboeus</i>	EPI	rosso- castano- violetto sul dorso	clavata anteriormente, appiattita posteriormente	lettiera, sotto pietre, mediocre scavatore	5-9	3-5
<i>Lumbricus</i>	<i>terrestris</i>	ANE	dorso: rosso-bruno, ventre: giallognolo	clavata anteriormente, appiattita posteriormente	giardini, pascoli, margini boschi, pascoli prealpini	7-20	7-8
<i>Microeophila</i>	<i>marcuzzii</i>	END	assente	cilindrica, ingrossata posteriormente		3,5	3-4
<i>Microeophila</i>	<i>nematogena</i>	END	roseo livido, clitello roseo aranciato	cilindrica	incolti e coltivati	8-10	5
<i>Microeophila</i>	<i>alzonai</i>	COP	grigio cenere	cilindrica, segmenti 16-23 e postclitello bi-triannulato	a 150 m dall'ingresso tra il guano, in grotta	6	2,5
<i>Microscolex</i>	<i>dubius</i>	END	assente	cilindrica	terrestre antropofilo, in orti e giardini, manca nelle zone montane	3-10	1-3
<i>Microscolex</i>	<i>phosphureus</i>	END	assente	cilindrica	terrestre, antropofilo manca nelle regioni montane	1-3,5	1-1,5
<i>Ocnodrilus</i>	<i>occidentalis</i>	IDR	rossi da vivi, pigmento assente	cilindrica	acquatico, fanghi sommersi	1,5-3	1
<i>Octodrilus</i>	<i>lissaensis</i>	END	rosso chiaro	cilindrica, caudalmente affusolata	terreni ricchi di humus di boschi, prati, pascoli	3,3-6	3,5-4,5
<i>Octodrilus</i>	<i>minor</i>	END	bruno chiaro	cilindrica		10-11	5,5-6
<i>Octodrilus</i>	<i>croaticus</i>	IDR	viola purpureo scuro sia da vivo che da conservato	cilindrica, coda troncata	igrofilo, in prossimità di golene, sponde di canali, boschi	3,5-5,2	3,5-5

GENERE	SPECIE	CATEG. ECOL.	PIGMENTO	FORMA CORPO	ECOLOGIA	LUNGHEZZA Adulto (cm)	DIAMETRO Adulto (mm)
<i>Octodrilus</i>	<i>pseudocomplanatus</i>	ANE	da bruno-rossiccio ad ardesia	cilindrica, clavata anteriormente	collinare, montano, in boschi, pascoli	10-18	6,6-10
<i>Octodrilus</i>	<i>boninoi</i>	ANE	bruno, bruno-rossiccio, manca nei solchi intersegmentali	clavata anteriormente	prealpino, alpino, in boschi e pascoli	13-24	10-12
<i>Octodrilus</i>	<i>complanatus</i>	ANE	da bruno a grigio ardesia			11-22	7-10
<i>Octodrilus</i>	<i>transpadanus</i>	END	bruno			5-7	4-5
<i>Octodrilus</i>	<i>kamnense</i>	END	bruno terreo			9 (5,2-7 Omodeo, M.Matajur)	6
<i>Octodrilus</i>	<i>mima</i>	ANE	bruno, con fasce anulari nei segmenti più scure		boschi misti, bordi di coltivi; produce turricoli a forma di ciminiera 8-20 cm	14,3-19,5	10
<i>Octodrilus</i>	<i>omodeoi</i>	END	grigio			5,5-6	0,5-0,6
<i>Octodrilus</i>	<i>ruffoi</i>	END	bruno-rossiccio			5-8	5-7
<i>Octodrilus</i>	<i>argoviensis</i>	END	assente				
<i>Octodrilus</i>	<i>eubenhami</i>	END	rosso-bruno			4,3-6,5	4-5
<i>Octodrilus</i>	<i>hemiander</i>	ANE	rosso pallido		boschi mediterranei	4,6-6,8	4,5-5
<i>Octodrilus</i>	<i>phaenoemidrum</i>	END	rosso-bruno		bosco	4,1-11,5	3-6
<i>Octodrilus</i>	<i>pseudokovacevici</i>	END	rosso-bruno			4,5-6,8	4-5
<i>Octodrilus</i>	<i>rucneri</i>	END	assente				
<i>Octolasion</i>	<i>cyaneum</i>	END	pressoché assente	cilindrica, appiattito il clitello e leggermente la coda		8-14	6-8
<i>Octolasion</i>	<i>lacteum</i>	END	pressoché assente, talora da vivo bruno sul dorso	cilindrica, clitello appiattito	prati, boschi, coltivi; igrofilo, debole scavatore	2,7-16	2,5-5
<i>Pontodrilus</i>	<i>litoralis</i>	IDR	rosso bruno sui primi segmenti	cilindrica	ambiente intertidale tra posidonie spiaggiate e substrato	8-10	4-4,5



Fig. 4. Stato di quiescenza (nel riquadro) durante stress idrico nel suolo della specie endogea *Allolobophora caliginosa*.

Indicatore EMI

Dopo aver definito la categoria ecologica e la classe d'età agli individui campionati, si attribuisce un punteggio EMI (Indicatore EcoMorfologico) (PARISI, 2001). Tale punteggio si basa sull'adattamento dei lombrichi ai vari strati del suolo e a differenti nicchie ecologiche prevalentemente occupate. Nella tabella IV sono elencati i dettagli dei punteggi attribuiti alle varie categorie ecologiche.

Calcolo dell'Indice QBS-e

Il calcolo dell'indice QBS-e è dato dalla somma dei punteggi EMI (Tab. IV) attribuiti alle varie categorie ecologiche moltiplicato per il numero di individui/m² appartenenti a quella categoria.

Di seguito la formula:

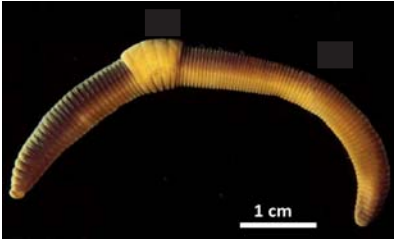









ESEMPI RAPPRESENTATIVI DI CATEGORIE ECOLOGICHE			
EPIGEI	 <p><i>Dendrobaena octaedra</i></p>	 <p><i>Lumbricus rubellus</i></p>	 <p>Colore più scuro sul dorso e verso la parte anteriore</p> <p><i>Lumbricus castaneus</i></p>
ENDOGEI	 <p>Tubercula pubertatis a ventose in posizione 31-33-35</p> <p>Colore caratteristico giallastro-verdastro</p> <p><i>Allolobophora chlorotica</i></p>	 <p>Tubercula pubertatis a forma di B</p> <p>Bozzoli</p> <p>Pori maschili molto evidenti e ingrossati</p> <p>Colore marrone grigiastro più o meno chiaro</p> <p><i>Allolobophora caliginosa</i></p>	 <p>clitello arancio</p> <p>(Foza Asiago, VI)</p> <p><i>Octolasion lacteum</i></p>
ANECICI	 <p>colore a bande</p> <p>Pianezza (TV)</p> <p><i>Eophila tellinii</i></p>	 <p>Clitello</p> <p>Tubercula pubertatis continuano oltre il clitello</p> <p><i>Octodrilus complanatus</i></p>	 <p>Clitello in posizione 31-32-37</p> <p><i>Lumbricus terrestris</i></p>
COPROFAGI	 <p><i>Eisenia foetida</i></p> <p>Follina (TV)</p>	 <p>colore a bande</p> <p>Veggiano (PD)</p> <p><i>Dendrobaena veneta</i></p>	
IDROFILI	 <p><i>Eiseniella tetraedra</i></p>		<p>Nota. Il riconoscimento delle specie è facilitato dall'uso della versione a colori delle figure che può essere ottenuta scaricando l'articolo direttamente dalla home page: http://www.bio.unipd.it/agroecology/</p>

Fig. 5. Specie rappresentative di lombrichi appartenenti alle categorie ecologiche di epigei, endogei, anecici, coprofagi e idrofili.

Tab. IV. Punteggio EMI (Indicatore EcoMorfologico) attribuito ad ogni categoria ecologica.

Categoria ecologica	Stadio	Punteggio EMI
Idrofilo (IDR)	Giovane (G)	1
Idrofilo (IDR)	Adulto (AD)	1
Coprofago (COP)	Giovane (G)	2
Coprofago (COP)	Adulto (AD)	2
Epigeo (EPI)	Giovane (G)	2,5
Endogeo (END)	Giovane (G)	2,5
Epigeo (EPI)	Adulto (AD)	3
Endogeo (END)	Adulto (AD)	3,2
Anecico (ANE)	Giovane (G)	10
Anecico (ANE)	Adulto (AD)	14,4

Motivazioni dell'attribuzione del punteggio EMI

Il valore minimo (1) è stato attribuito agli idrofili in quanto sono tipici di ambienti con falda freatica superficiale e soggetti a possibili allagamenti con eventuale anossia del suolo e scarsa degradazione della sostanza organica: tutte condizioni non favorevoli all'agricoltura (se si esclude la risicoltura in acqua). Poi ci sono i coprofagi con il valore 2, che possono essere immessi in campo con la fertilizzazione (letame o compost o vermicompost); questi, pur avendo scarse possibilità di sopravvivere nel suolo, sono utili ai fini della produzione agricola, essendo abbinati alla letamazione, e del mantenimento della fertilità del suolo. Successivamente sono annoverate categorie che rappresentano condizioni più naturali e che più spesso si rinvengono anche in ambienti naturali non agricoli. L'attribuzione del punteggio alle ultime 3 categorie è stata effettuata partendo da considerazioni relative alla massa degli individui nonché al ruolo ecologico giocato dalle varie categorie. Per quanto riguarda la massa bisogna considerare che un individuo di dimensioni maggiori è in grado di influire maggiormente nel suolo con la sua attività fisiologica (quantità di terreno ingerito, quantità di escrementi, ecc.). I dati di massa relativi alle specie italiane sono stati ricavati da ERNST e EMMERLING (2009) e PAOLETTI *et al.* (1998). Da quanto ricavato in letteratura non vi è molta differenza tra la massa media degli individui endogei ed epigei, mentre gli anecici risultano di maggiori dimensioni. Considerando questi calcoli, dato che non si è riscontrata molta differenza fra il punteggio di epigei (3) ed endogei (3,2) adulti, si è deciso di assegnare lo stesso punteggio ai giovani delle due categorie (2,5). Questa assegnazione di punteggio, oltre che da dati relativi al peso degli animali appartenenti a tali categorie, è giustificata anche dal punto di vista ecologico in quanto l'esistenza degli epigei descrive uno strato di lettiera superficiale in buono stato, mentre la presenza degli endogei presuppone un profilo del suolo abbastanza ben conservato. La presenza di anecici adulti, profondi scavatori, invece presuppone una condizione ottimale del suolo con un profilo ben strutturato fino in profondità, un disturbo scarso/nullo degli orizzonti di questo e che permette la circolazione di aria e acqua rendendolo un luogo ospitale anche per altri organismi edafici: queste considerazioni ecologiche giustificano l'attribuzione del punteggio massimo (14,4). Per quanto riguarda invece il punteggio assegnato ai giovani anecici (10), si è deciso di attribuirgli un valore maggiore della media fra punteggio di endogei adulti (3,2) e anecici adulti (14,4) in quanto si ritiene abbiano un'importanza maggiore anche in relazione alla scarsa capacità riproduttiva propria della categoria. In genere i giovani hanno un punteggio minore in quanto hanno una capacità di scavo inferiore, la loro funzione nel suolo è meno incisiva e sono più facile preda.

$$\begin{aligned} \text{QBS-e} = & (\text{punti IDR G,AD} \cdot N) \\ & + (\text{punti COP G,AD} \cdot N) + (\text{punti EPI G} \cdot N) \\ & + (\text{punti END G} \cdot N) + (\text{punti EPI AD} \cdot N) \\ & + (\text{punti END AD} \cdot N) + (\text{punti ANE G} \cdot N) \\ & + (\text{punti ANE AD} \cdot N) \end{aligned}$$

È importante che il numero di lombrichi (N) sia espresso in ind/m², così da poter standardizzare i dati e confrontarli fra loro qualora si volesse monitorare nel tempo la qualità del suolo. Per farlo si deve moltiplicare il numero di lombrichi trovato (n°) per un fattore di conversione (F.C.) calcolato in base al numero di repliche e alla superficie analizzata per ogni replica come nel seguente esempio.

Si effettuano 5 repliche di campionamento con zolle di 30 cm x 30 cm;

allora la superficie totale campionata è di 4500 cm²; il fattore di conversione da moltiplicare al numero assoluto di lombrichi (trovati nella zolla 30 cm x 30 cm), sarà:

$$\text{F.C.} = 10000 \text{ cm}^2 / 4500 \text{ cm}^2 = 2,2$$

Quindi, generalizzando, si ha che:

$$N = n^\circ \cdot \text{F.C.}$$

Inserendo il dato numerico degli individui appartenenti ad ogni categoria ecologica è possibile ponderare la rappresentanza delle varie categorie nel sito studiato e si ottiene un quadro più preciso della composizione funzionale del popolamento di lombrichi dell'area.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Classi di qualità del suolo

Per ottenere un giudizio sullo stato di salute e conservazione del suolo dell'agroecosistema, sono state individuate alcune classi di qualità in seguito al calcolo del valore QBS-e da dati tratti da fonti bibliografiche (PAOLETTI *et al.*, 1988; PAOLETTI *et al.*, 1995a; PAOLETTI *et al.*, 1995b; PAOLETTI *et al.*, 1998; TONIN, 2006; BEVILACQUA, 2010) (Fig. 6, 7, 8, 9, 10) e da altri inediti ottenuti nel 2012 durante un progetto (Fusaro, ricerca di dottorato in progress) in corso all'Università di Padova (Fig. 11). Nella tabella V sono elencati i valori del QBS-e relativi alle classi di qualità di un agroecosistema o ambiente semi-naturale associato ad esso. Ciò che viene valutato quindi è la sostenibilità della gestione di tale ambiente.

In particolare la classe di qualità 'scadente' indica una situazione con suolo non strutturato, inquinato, oggetto di profonde o non appropriate lavorazioni, molto compatto e con scarsa circolazione di aria e acqua al suo interno. Salendo con il valore della classe di qualità le condizioni migliorano fino ad una situazione ottimale in cui il suolo è poco disturbato, ha una buona circolazione di aria e acqua e ciò permette la vita di una ricca comunità edafica, di cui i lombrichi fanno parte.

Considerazioni ed esempi di applicazione delle classi di qualità

Esempio 1 – *Ambienti coltivati temporanei, permanenti e semi-naturali.* (Tab. VI)

Gli ambienti meno disturbati come la golena fluviale hanno una classe di qualità maggiore rispetto a colture temporanee annuali come il mais oppure permanenti come i vigneti, interessati da trattamenti dannosi per i lombrichi e per il resto della fauna legata al suolo.

Esempio 2 – *Frutteti a differente gestione e ambiente semi-naturale.* (Tab. VII)

Il meleto a gestione convenzionale presenta la classe di qualità più bassa: ciò indica che questo tipo di gestione, caratterizzata in genere da lavorazioni invasive, dal frequente uso di agrofarmaci e fertilizzanti chimici, ma anche dallo scarso interesse per gli ambienti semi-naturali di margine, influisce negativamente sugli organismi edafici, di cui i lombrichi sono dei buoni bioindicatori.

Esempio 3 – *Differenti agroecosistemi con colture temporanee e permanenti.* (Tab. VIII)

La classe di qualità dei vigneti (agroecosistema permanente) è molto più bassa rispetto agli altri agroecosistemi temporanei. Probabilmente incidono pesantemente gli agrofarmaci utilizzati e in particolare il solfato di rame, che influisce negativamente sulla popolazione di lombrichi (es. PAOLETTI *et al.*, 1998).

Esempio 4 – *Differenti frutteti con lavorazioni più (tillage) o meno intense (no tillage).* (Tab. IX)

Per la maggior parte dei frutteti, agroecosistemi permanenti, la classe di qualità diminuisce di un punto se viene aumentato il disturbo del suolo dato da lavorazioni più incisive (*tillage*).

Per quanto riguarda il frutteto a kiwi la classe di qualità rimane invariata fra “*tillage*” e “*no-tillage*” e ciò è dovuto al fatto che c’è stato un abbondante apporto di concime organico che ha favorito la presenza di lombrichi coprofagi ed epigei. Una situazione di tal genere richiede il monitoraggio durante l’anno e anno dopo anno per constatare se il momento descritto da un solo campionamento sia dipendente da operazioni, interventi, lavorazioni contingenti e occasionali come in questo caso la letamazione/concimazione, oppure se sia una tendenza generale dell’agroecosistema.

Esempio 5 – *Aziende agricole a vigneto con differenti gestioni.* (Tab. X)

In genere pur essendo il vigneto un agroecosistema non particolarmente favorevole ai lombrichi (infatti non si raggiungono quasi mai classi di qualità elevate), si osserva come le aziende a gestione biologica abbiano un valore QBS-e per la maggior parte delle volte superiore rispetto alle aziende convenzionali corrispondenti.

Esempio 6 – *Aziende agricole a ortaggi con differenti gestioni.* (Tab. XI)

Il seguente esempio mette in luce l’importanza di poter eseguire almeno due campionamenti in momenti differenti dell’anno, in modo da eliminare variabili imputabili a fattori climatici e non alla conduzione dell’agroecosistema. Infatti in primavera le differenze tra le varie aziende sono molto contenute a causa probabilmente di condizioni climatiche avverse che deprimono la fauna indipendentemente dal tipo di gestione aziendale. Nel campionamento di ottobre invece emerge una maggiore diversità tra le varie aziende: quelle a gestione biodinamico-biologica infatti hanno avuto una classe di qualità sempre superiore a quelle convenzionali.

Tab. V. Corrispondenza fra il valore dell’indice QBS-e e le classi di qualità del suolo.

Valore Indice QBS-e	Classe di Qualità (agroecosistema, ambiente semi-naturale)
QBS-e > 1000	Ottima - 4
600 < QBS-e < 1000	Buona - 3
300 < QBS-e < 600	Discreta - 2
100 < QBS-e < 300	Sufficiente - 1
0 < QBS-e < 100	Scadente - 0

Indice QBS-e in relazione alla tessitura del suolo

Gli indici biotici, come il qui proposto QBS-e, sono basati su organismi viventi con delle precise esigenze ecologiche. In particolare, la presenza di lombrichi è, in genere, influenzata dalla tessitura del terreno: in suoli prevalentemente sabbiosi, anche se ben gestiti e in buone condizioni biotiche, la presenza di lombrichi sarà comunque scarsa. Si veda l’esempio sotto riportato (Fig. 12) relativo ad uno studio (TONIN, 2006) effettuato in vari ambienti dell’area di Valvecchia, sito costiero non urbanizzato del litorale veneto (TONIN, 2006; PAOLETTI *et al.*, 2010) che presenta una tessitura prevalentemente sabbiosa (Fig. 13).

Mettendo in corrispondenza il grafico del QBS-e di figura 12 con quello della tessitura del suolo in figura 13 è possibile notare come il valore molto basso di QBS-e ottenuto per gli ambienti di pineta e lecceta (considerati semi-naturali e quindi poco disturbati, in cui ci si aspetterebbe un valore più alto) probabilmente è in relazione alla composizione quasi totale di sabbia del terreno, poco ospitale per i lombrichi. Anche l'ambiente salmastro è da considerarsi poco adatto ai lombrichi, infatti ha ottenuto un valore QBS-e molto basso, ma ciò non implica che sia disturbato o mal gestito. Gli altri ambienti risultano essere un po' più ospitali per questi animali (avendo una tessitura definibile come franco limosa in base al triangolo tessiturale USDA) ed è possibile confrontare i valori di QBS-e ottenuti fra loro, pur rimanendo bassi in una scala generale in quanto la situazione attuale si è evoluta da un terreno sabbioso.

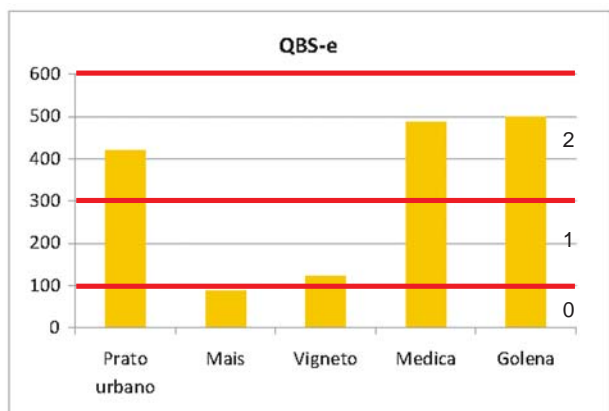


Fig. 6. Indice QBS-e calcolato in base ai dati tratti da PAOLETTI *et al.*, 1988: i campionamenti dei lombrichi sono stati effettuati in differenti ambienti coltivati (mais, vigneto, medica) e semi-naturali (golena fluviale, prato) in provincia di Padova.

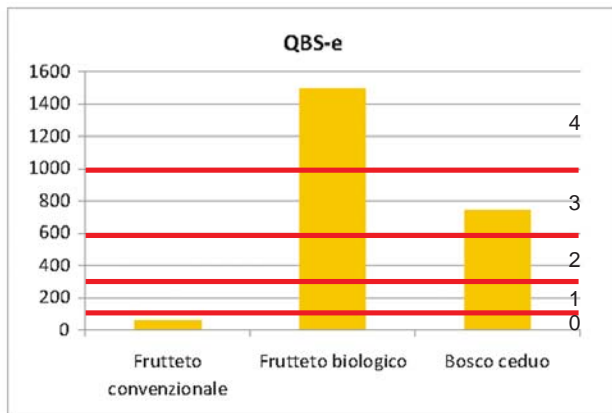


Fig. 7. Indice QBS-e calcolato in base ai dati tratti da Paoletti *et al.*, 1995a: i campionamenti dei lombrichi sono stati effettuati comparando meleti a differente gestione (convenzionale e biologico) con un ambiente semi-naturale (bosco ceduo) in provincia di Bolzano.

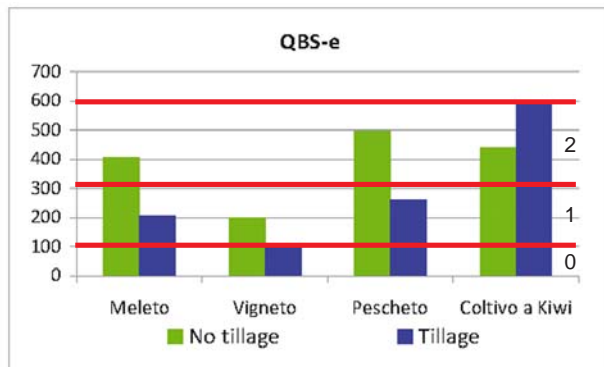


Fig. 9. Indice QBS-e calcolato in base ai dati tratti da Paoletti *et al.*, 1998: i campionamenti dei lombrichi sono stati effettuati in differenti frutteti e con lavorazioni più (*tillage*) o meno intense (*no tillage*) in Romagna.

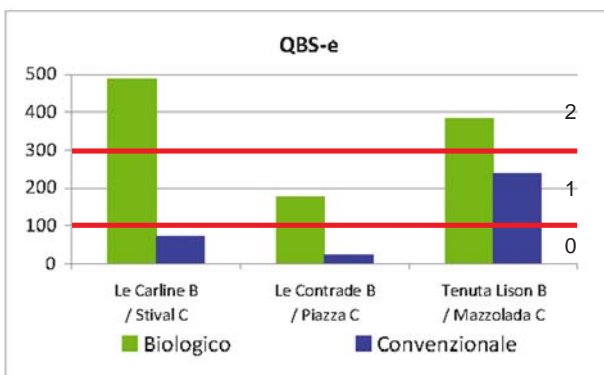


Fig. 10. Indice QBS-e calcolato in base ai dati tratti da Bevilacqua, 2010: i campionamenti dei lombrichi sono stati effettuati in aziende agricole a vigneto con differenti gestioni biologica (B) e convenzionale (C) in provincia di Venezia.

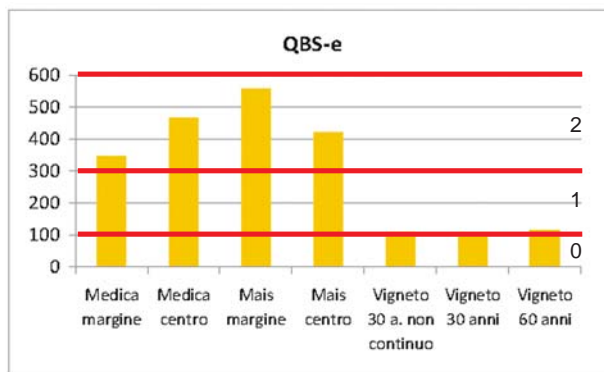


Fig. 8. Indice QBS-e calcolato in base ai dati tratti da Paoletti *et al.*, 1995b: i campionamenti dei lombrichi sono stati effettuati comparando differenti agro ecosistemi temporanei (medica e mais) e permanenti (vigneti) in provincia di Venezia.

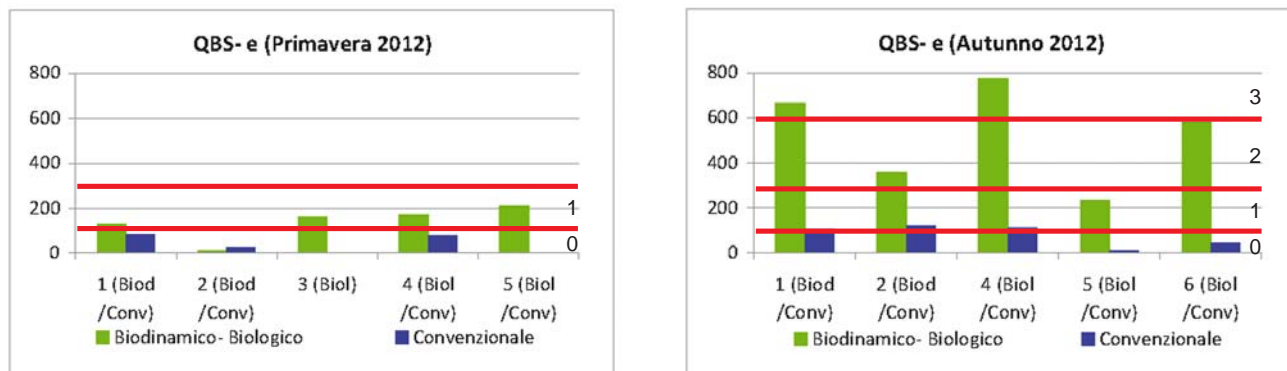


Fig. 11. Indice QBS-e calcolato in base ai dati raccolti nell'ambito di un dottorato di ricerca dell'Università di Padova (Fusaro, ricerca di dottorato in progress): i campionamenti dei lombrichi sono stati effettuati nel 2012 in aziende agricole a ortaggi con diverse gestioni dell'agroecosistema: biodinamica (Biod)-biologica (Biol) e convenzionale (Conv), in Veneto.

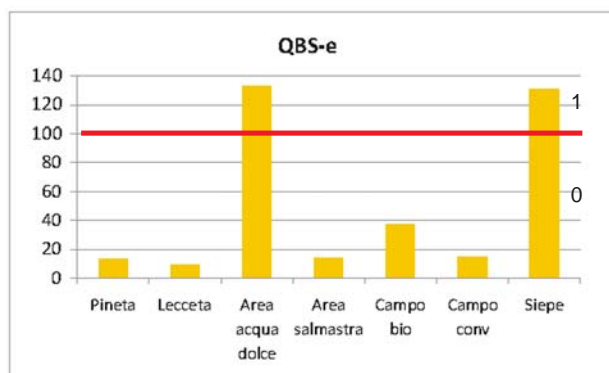


Fig. 12. Indice QBS-e calcolato in base ai dati tratti da **Tonin (2006)**: i campionamenti dei lombrichi sono stati effettuati in ambienti a diversa vocazione di una stessa area con terreno prevalentemente sabbioso (Vallevecchia, Caorle, VE).

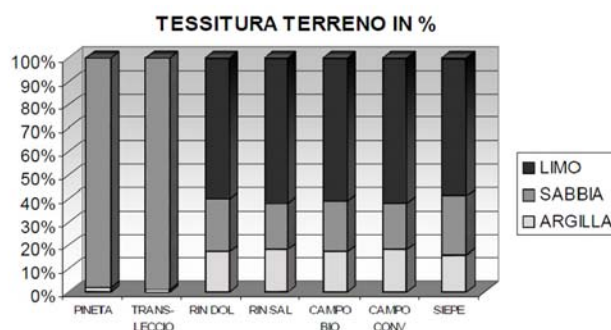


Fig. 13. Tessitura (dati espressi in percentuale) del terreno nei sette siti campionati (Tratto da Tonin, 2006.). N.B. Si fa riferimento ai siti di Fig. 12.

Tab. VI. Valori dell'indice QBS-e relativi ai dati tratti da **Paoletti et al., 1988**.

Habitat/Coltura	QBS-e	Classe di Qualità
Prato urbano	418,9	2
Mais	88,1	0
Vigneto	122,8	1
Medica	487,7	2
Golena fluviale	498,8	2

Tab. VII. Valori dell'indice QBS-e relativi ai dati tratti da **Paoletti et al., 1995a**.

Habitat/Coltura	QBS-e	Classe di Qualità
Frutteto convenzionale	61,7	0
Frutteto biologico	1497,3	4
Bosco ceduo	741,7	3

Tab. VIII. Valori dell'indice QBS-e relativi ai dati tratti da Paoletti *et al.*, 1995b.

Habitat/Coltura	QBS-e	Classe di Qualità
Medica margine	346,4	2
Medica centro	466,1	2
Mais margine	556,6	2
Mais centro	419,8	2
Vigneto 30 anni non continuo	108,1	1
Vigneto 30 anni	103,8	1
Vigneto 60 anni	114,2	1

Tab. X. Valori dell'indice QBS-e relativi ai dati tratti da Bevilacqua, 2010.

Azienda	QBS-e	Classe di Qualità
Le Carline BIO	487,4	2
Le Contrade BIO	176,3	1
Tenuta Lison BIO	385,2	2
Stival CONV	72	0
Piazza CONV	23,1	0
La Mazzolada CONV	238,3	1

Tab. IX. Valori dell'indice QBS-e relativi ai dati tratti da Paoletti *et al.*, 1998.

Frutteto	QBS-e (No tillage)	Classe di Qualità	QBS-e (Tillage)	Classe di Qualità
Meleto	405,3	2	206	1
Vigneto	197,6	1	101,8	1
Pescheto	499	2	262,5	1
Coltivo a Kiwi	440,3	2	594,4	2

Tab. XI. Valori dell'indice QBS-e relativi ai dati raccolti nel 2012 nell'ambito di un dottorato di ricerca in corso all'Università di Padova.

Azienda	QBS-e (Primavera 2012)	Classe di Qualità	QBS-e (Autunno 2012)	Classe di Qualità
1 BIOD	129,5	1	664,5	3
2 BIOD	10,5	0	355,4	2
3 BIOL	161,3	1	/	/
4 BIOL	170	1	774,3	3
5 BIOL	211	1	231,7	1
6 BIOL	/	/	584	2
1 CONV	81,2	0	102,7	1
2 CONV	25,7	0	117,8	1
4 CONV	75,1	0	109,4	1
5 CONV	0	0	7,9	0
6 CONV	/	/	44,2	0

CONCLUSIONI

La disponibilità di indici in grado di fornire informazioni sullo stato di conservazione dell'ecosistema e contemporaneamente facili da utilizzare rappresenta un traguardo ancora lontano almeno per quanto riguarda la valutazione degli ambienti terrestri (PAOLETTI, 1999a,b; PARISI, 2001; HILL *et al.*, 2005; PAOLETTI e SOMMAGGIO, in stampa). In questi ultimi anni diversi taxa sono stati proposti quali possibili indicatori di

sostenibilità negli agroecosistemi (PAOLETTI, 1999a,b; BÜCHS, 2003). Molto spesso tuttavia non vengono indicate e/o standardizzate le metodologie di applicazione di questi bioindicatori, mentre in altri casi le metodologie proposte sono troppo complesse e di non sempre facile utilizzo (McGEOCH, 1998; NORTON, 1998; VANDEWALLE *et al.*, 2010). Nel presente articolo viene proposto l'indice QBS-e sulla stregua degli indici QBS-c e QBS-ar (PARISI, 2001; PARISI *et al.*, 2005; BLASI *et*

al., 2012) per la valutazione della qualità ed uso del suolo utilizzando i lombrichi.

L'indice qui proposto vuole essere uno strumento di facile utilizzo per gli addetti ai lavori e operatori sul campo, non necessariamente esperti nella determinazione delle specie di lombrichi, funzionale al monitoraggio della sostenibilità ambientale della gestione del campo coltivato. Come per gran parte degli indici biotici, la semplicità di utilizzo per contro comporta una semplificazione a volte eccessiva che non può tenere conto di eccezioni e casi particolari presenti in natura. Ciononostante la rielaborazione del popolamento di lombrichi in alcuni casi studio nel Nord Italia sembra permettere il raggiungimento di conclusioni analoghe a quelle ottenute partendo dalla identificazione delle specie di lombrichi. In definitiva quindi il sistema QBS-e sembra proporsi come uno strumento di facile utilizzo, ma nello stesso tempo altamente informativo sulle condizioni di conservazione e vitalità del suolo negli agroecosistemi. È sicuramente interessante poter testare nel futuro la funzionalità di questo indice in una gamma molto più ampia di ambienti antropizzati ed in particolare di agroecosistemi, al fine di saggiarne la funzionalità e l'applicabilità.

È già possibile comunque individuare alcuni eventuali interventi migliorativi da pianificare o pratiche da mettere a punto qualora, in seguito al monitoraggio utilizzando l'indice QBS-e, si fosse raggiunta una classe di qualità bassa:

- ridurre la compattazione del terreno, utilizzando mezzi agricoli meno pesanti o effettuando passaggi meno

frequenti;

- limitare il più possibile l'utilizzo di agrofarmaci soprattutto dei fungicidi compresi quelli a base di rame;
- preferire la fertilizzazione con materiale organico come compost o letame, al posto di quella esclusivamente minerale;
- evitare, se possibile, di lasciare il suolo privo di copertura vegetale, incrementando ad esempio le pacciamature;
- limitare la pratica dell'aratura oppure, se non è possibile, limitare la profondità di questa;
- mantenere le fasce di margine inerbite e preservare le siepi con latifoglie in modo da creare delle isole di rifugio per i lombrichi e il resto della fauna edafica soprattutto per il superamento della stagione avversa;
- creare delle fasce inerbite anche all'interno del campo per il motivo suddetto.

È bene ricordare inoltre che aree eccessivamente siccitose, terreni molto sabbiosi e/o con elevata presenza di sassi sono scarsamente valutabili con bioindicatori costituiti da lombrichi.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Azienda EcorNaturaSi per aver in parte finanziato la ricerca e per appoggiare la tematica della sostenibilità ambientale in agricoltura. Si ringraziano Davide Prandini, Federico Gavnelli, Nicola Manno, Greta Busseni, Alessandra Rossi, Enrico Ruzzier e Vladimiro Toniello per aver fornito consigli utili e per la lettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSEN A.N., 1999. My bioindicators or yours? Making the selection. *Journal of insect Conservation*, **3**: 61-64.
- ANGELINI P., FENOGLIO S., ISAIA M., JACOMINI C., MIGLIORINI M., MORISI A., 2002. *Tecniche di biomonitoraggio della qualità del suolo*. Torino.
- BEVILACQUA S., 2010. *Confronto tra vigneti a conduzione biologica e convenzionale della provincia di Venezia attraverso l'uso di bioindicatori*. Tesi di laurea Università di Padova.
- BIAGINI B., BARBUTO M., ZULLINI A., 2006. Bioindicatori della qualità del suolo. *Biologia Ambientale* **20**(2): 19-41.
- BLAKEMORE R.J., PAOLETTI M.G., 2006. Australian earthworms as a natural agroecological resource. *Annals of Arid Zone* **45**(3-4): 309-330.
- BLASI S., MENTA C., BALDUCCI L., CONTI F.D., PETRINI E., PIOVESAN G., 2012. Soil microarthropod communities from Mediterranean forest ecosystems in Central Italy under different disturbances. *Environmental Monitoring and Assessment* **185**(2): 1637-1655.
- BONGERS T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* **83**(1): 14-19.
- BOUCHÉ M.B., 1972. *Lombriciens de France. Ecologie et Systematique*. Institut National de la Recherche Agronomique. 671 pp.
- BÜCHS W., 2003. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. *Agriculture, Agroecosystems & Environment* **98**(1-3): 35-78.
- CARO T.M., O'DOHERTY G., 1999. On the use of surrogate species in conservation biology. *Conservation Biology* **13**(4): 805-814.
- CORNELISSEN J.H.C., LAVOREL S., GARNIER E., DÍAZ S., BUCHMANN N., GURVICH D.E. *et al.*, 2003. A handbook of

- protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, **51**: 335-380.
- D'AVINO L., PARISI V., MOZZANICA E., 2002. Qualità Biologica dei Suoli: un metodo innovativo. *ARPA Rivista* n.6, Parma.
- DAILY G.C., 1995. Restoring value to the worlds degraded lands. *Science* **269** (5222): 350-354.
- DARWIN C.R., 1881. *The formation of vegetable mould, through the action of worms, with observations on their habit*. S. Murray, London, pp. 1-328.
- DE BELLO F., LAVOREL S., DÍAZ S., HARRINGTON R., CORNELISSEN J.H.C., BARDGETT R.D., BERG M.P., CIPRIOTTI P., FELD C.K., HERING D., MARINS DA SILVA P., POTTS S.G., SANDIN L., SOUSA J.P., STORKEY J., WARDLE D.A., HARRISON P.A., 2010. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity Conservation* **19**: 2873-2893.
- DIAMOND J.M., 2005. *Collapse: How societies choose to fail or succeed*. New York, Viking.
- EDWARDS, C.A., 1998. *Earthworms Ecology*. St. Lucie Press. 389 pp.
- ERNST G., EMMERLING C., 2009. Impact of five different tillage systems on soil organic carbon content and the density, biomass, and community composition of earthworms after a ten year period. *European Journal of Soil Biology* **45**: 247-251.
- FELD C.K., DA SILVA P.M., SOUSA J.P., DE BELLO F., BUGTER R., GRANDIN U., HERING D., LAVOREL S., MOUNTFORD O., PARDO I., PARTEL M., RÖMBKE J., SANDIN L., JONES K.B., HARRISON P., 2009. Indicators of biodiversity and ecosystem services: a synthesis across ecosystems and spatial scales. *Oikos* **118**: 1862-1871.
- GARDI C., MONTANARELLA L., ARROUAYS D., BISPO A., LEMANCEAU P., JOLIVET C., MULDER C., RANJARD L., RÖMBKE J., RUTGERS M., MENTA C., 2009. Soil biodiversità monitoring in Europe: ongoing activities and challenges. *European Journal of Soil Science* **60**: 807-819.
- GHETTI P.F., 2001. *Manuale di applicazione: Indice Biotico Esteso. I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti*. II ed. Provincia Autonoma di Trento, Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente. 222 pp.
- GLIESSMAN S.R., 2007. *Agroecology: The ecology of sustainable systems*. Taylor & Francis, 384 pp.
- GREAT LAKES WORM WATCH – Earthworms by Ecological Group - A guide to Earthworms you'll find in the Great Lakes Region. Scaricabile al sito: http://www.nrri.umn.edu/worms/identification/ecology_groups.html (ultimo accesso: 15.02.2013)
- HILL D. FASHAM M., TUCKER G., SHEWRY M. SHAW P., 2005. *Handbook of Biodiversity Methods. Survey, Evaluation and Monitoring*. Cambridge University Press, 573 pp.
- HOLE D.G., PERKINS A.J., WILSON J.D., ALEXANDER I.H., GRICE P.V., EVANS A.D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* **122**: 113-130.
- JOHNSON A.W., EARLE T.K., 2000. *The evolution of human society. From foraging group to agrarian state*. Stanford University Press, 440 pp.
- LAVELLE P., 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International* **33**: 3-16.
- LEE K.E., 1985. *Earthworms. Their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press. 411 pp.
- McGEOCH M.A., 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* **73**(02): 181-201.
- MA (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT), 2005. *Ecosystems and Human Wellbeing: Policy Responses* Volume 3. Chapter 9: Nutrient Management: pp. 295-311. Primary Authors: Howarth, R. and K. Ramakrishna. Eds. K. Chopra, R. Leemans, P. Kumar, and H. Simons. Washington, DC: Island Press.
- MONTGOMERY D.R., 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *PNAS* **33**(104): 13268-13272.
- MORETTI M., DE BELLO F., ROBERTS S.P.M., POTTS S.G., 2009. Taxonomical vs. functional responses of bee communities to fire in two contrasting climatic regions. *Journal Animal Ecology* **78**: 98-108.
- MOUILLOT D., SPATHARIS S., REIZPOULOU S., LAUGIER T., SABETTA L., BASSET A., CHI T.D., 2006. Alternative to taxonomic-based approaches to assess change in transitional water communities. *Aquat. Conserv.* **16**: 469-482.
- NORTON B.G., 1998. Improving ecological communication: the role of ecologists in environmental policy formation. *Ecological Application* **8**: 350-364.
- PAOLETTI M.G., 1988. Soil invertebrates in cultivated and uncultivated soils in Northeastern Italy. *REDIA* **LXXI**(2): 501-563.
- PAOLETTI M.G., 1999a. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **74**: 1-18.
- PAOLETTI, M.G., 1999b. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **74**: 137-155.
- PAOLETTI M.G., CANTARINO C.M., 2000. The Use of Invertebrates in Evaluating Rural Sustainability. In: B. Ekbom, M.E. Irwin and Y. Robert. *Interchanges of insects between Agricultural and Surrounding Landscapes*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, pp. 33-52.
- PAOLETTI M.G., GRADENIGO C., 1996. *Lombri CD-ROM*. Lapis, Padova.
- PAOLETTI M.G., IOVANE E., CORTESE M., 1988. Pedofauna bioindicators and heavy metals in five agroecosystems in north-east Italy. *Rev. Ecol. Biol. Sol.* **25**(1): 33-58.
- PAOLETTI M.G., FAVRETTO M.R., STINNER B.R., PURRINGTON F.F., BATER J.E., 1991. Invertebrates as bioindicators of soil use. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **34**: 341-362.
- PAOLETTI M.G., PIMENTEL D., STINNER B.R., STINNER D., 1992. *Agroecosystem biodiversity: matching production and conservation biology*. Agriculture, Ecosystem and Environment **40**: 3-23.
- PAOLETTI M.G., SCHWEIGL U., FAVRETTO M.R., 1995a. Soil macroinvertebrates, heavy metals and organochlorines in low and high input apple orchards and a coppiced woodland. *Pedobiologia* **39**: 20-33.
- PAOLETTI M.G., SOMMAGGIO D., PETRUZZELLI G., PEZZAROSSA B., BARBAFIERI M., 1995b. Soil invertebrates as monitoring

- tools for agricultural sustainability. *Bulletin Entomologique de Pologne* **64**: 113-122.
- PAOLETTI M.G., SOMMAGGIO D., FAVRETTO M.R., PETRUZZELLI G., PEZZAROSSA B., BARBAFIERI M., 1998. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* **10**: 137-150.
- PAOLETTI M.G., THOMSON L. J., HOFFMANN A.A., 2007. Using invertebrate bioindicators to assess agricultural sustainability in Australia: proposals and current practices. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **47**: 379-383.
- PAOLETTI M.G., D'INCÀ A., TONIN E., TONON S., MIGLIORINI C., PETRUZZELLI G., PEZZAROSSA B., GOMIERO T., SOMMAGGIO D., 2010. Soil invertebrates as Bio-indicators in a natural area converted from agricultural use: the case study of Vallevicchia-Lugugnana in North-Eastern Italy. *Journal of Sustainable Agriculture* **34**: 38-56.
- PAOLETTI M.G., GOMIERO T., PIMENTEL D. (Eds.), 2011. Towards a more Sustainable Agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences* **30** (1,2): 1-237.
- PAOLETTI M.G., SOMMAGGIO D., (in prep.). Biodiversità e Bioindicatori di qualità dell'ambiente terrestre o *Bioindicazioni per la sostenibilità del territorio*. Liguori Editore, Napoli.
- PARISI V., 2001. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. *Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense"* **37**(3/4): 105-114.
- PARISI V., MENTA C., GARDI C., JACOMINI C., MOZZANICA E., 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **105**: 323-333.
- PEIGNÉ J., CANNAVACIUOLO M., GAUTRONNEAU Y., AVELINE A., GITEAU J.L., CLUZEAU D., 2009. Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil & Tillage Research* **104**: 207-214.
- REYNOLDS J.F., STAFFORD SMITH D. M., LAMBIN E.F., TURNER B. L., MORTIMORE M., BATTERBURY S.P.J., DOWNING T.E., DOWLATABADI H., FERNÁNDEZ R.J., HERRICK J.E., HUBER-SANNWALD E., JIANG H., LEEMANS R., LYNAM T., MAESTRE F.T., AYARZA M., WALKER B., 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* **316** (5826): 847-851.
- RUFF A., 1998. A maturity index for predatory soil mites (Mesostigmata: Gamasina) as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. *Applied Soil Ecology* **9**: 447-452.
- SALA O.E., STUART CHAPIN F., ARMESTO J.J., BERLOW E., BLOOMFIELD J., DIRZO R., HUBER-SANNWALD E., HUENNEKE L.F., JACKSON R.B., KINZIG A., LEEMANS R., LODGE D.M., MOONEY H.A., OESTERHELD M., LE ROY POFF N., SYKES M.T., WALKER B.H., WALKER M., WALL D.H., 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* **287**(5459): 1770-1774.
- SIMS, R.W., GERARD, B.M., 1985. *Earthworms*. 171 pp.
- TAINTER J.A., 1988. *The collapse of complex societies*. Cambridge University Press.
- TONIN E., 2006. *Impiego dei bioindicatori per l'analisi di un ambiente antropizzato e in fase di rinaturalizzazione: Vallevicchia (VE)*. Tesi di laurea Università di Padova.
- VANDEWALLE M., DE BELLO F., BERG M., BOLGER T., DOLEDEC S., DUBS F., FELD C.F., HARRINGTON R., HARRISON P.A., LAVOREL S., DA SILVA P.M., MORETTI M., NIEMELÄ J., SANTOS P., SATTLER T., SOUSA J.P., SYKES M., VANBERGEN A.J., WOODCOCK B.A., 2010. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. *Biodiversity Conservation* **19**: 2921-2947.
- WOOD A., STEDMAN-EDWARDS P., MANG J. (editors), 2000. *The Root Causes of Biodiversity Loss*. World Wildlife Fund and Earthscan Publications, Ltd., London, UK. 304 pp.
- YEATES G. W., 1994. Modification and qualification of the nematode maturity index. *Pedobiologia* **38**: 97-101.

