

RAPPORTI TECNICI

DEL SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI

2018

A close-up photograph of two large, reddish-brown earthworms (likely Lumbricus terrestris) in dark, rich soil. The worms are coiled, with one in the foreground and another behind it. The soil is dark brown and appears moist, with some roots visible.

QUALITÀ
BIOLOGICA DEI
SUOLI EMILIANO-
ROMAGNOLI

Responsabile di progetto:

Francesca Staffilani - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli RER

Responsabile scientifico:

Cristina Menta - Dip.di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale - Università di Parma

Testi ed elaborazioni dati:

Francesca Staffilani (RER)

Federica D. Conti (Università di Parma)

Campionamento ed analisi

Federica D. Conti (Università di Parma)

Carlos Lózano-Fondon (Università di Parma)

Fotografie

Federica D. Conti, Cristina Menta

In copertina:

foto: Università di Parma

Editing: Simonetta Scappini - SGSS

Il presente documento è rilasciato secondo i termini della licenza Creative Commons 4.0 Attribution (Attribuzione). I contenuti (salvo marchi, segni distintivi o altro diversamente specificato) possono essere riprodotti, distribuiti, comunicati, esposti, rappresentati e modificati rispettando la seguente condizione:

citazione della fonte ("Regione Emilia-Romagna") e il titolo del documento.

Una sintesi della licenza si trova alla pagina <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it>

Per eventuali aggregazioni o rielaborazioni dei contenuti finalizzate alla realizzazione di prodotti diversi dall'originale, pur permanendo l'obbligo di citazione della fonte, si declina ogni responsabilità



Direzione Generale cura del territorio e dell'ambiente

Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Viale della Fiera 8, 40127 Bologna

telefono: 051 5274792

fax: 051 5274208

e-mail: segrgeol@regione.emilia-romagna.it

PEC: segrgeol@postacert.regione.emilia-romagna.it

Sito web: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cosa-fa-la-regione-2>

Disclaimer (...)

Sommario

PREMESSA	2
INTRODUZIONE.....	3
Il ruolo della fauna edafica nei sistemi agrari	4
Indicatori e Indici biotici	5
MATERIALI E METODI.....	9
Approfondimento relativo agli indici di qualità biologica del suolo QBS-ar e QBS-c.....	9
Determinazione del QBS-ar e QBS-c.....	13
Scelta dei siti di campionamento	19
Prelievo dei campioni di suolo	23
Estrazione ed identificazione dei microartropodi edafici	23
Indici e parametri calcolati	26
Trattamento statistico dei dati.....	26
RISULTATI E DISCUSSIONE.....	27
QBS-ar, stagionalità e uso del suolo	28
QBS-ar e suoli	32
QBS-ar e parametri chimico-fisici del suolo	36
QBR-ar e QBS-c.....	37
CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE.....	39
BIBLIOGRAFIA.....	41
Precedenti lavori pubblicati sul QBS-ar.....	44
Agricoltura	44
Prati, boschi e ambienti naturali	45
Aree urbane, parchi cittadini, effetti del calpestio	46
Cave, suoli ricchi di metalli pesanti o inquinati	46

PREMESSA

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito dell'incarico di *Servizio di acquisizione di nuovi dati riguardanti l'Indice di Qualità Biologica del suolo QBS-ar ed analisi dei dati in relazione ai parametri chimico-fisici dei suoli* affidato al Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale dell'Università di Parma (CIG ZE01AA07FD).

Il lavoro ha avuto lo scopo di avviare una raccolta ed analisi di dati relativi alla qualità biologica dei suoli agrari della Regione Emilia-Romagna al fine di poter:

- 1) Descrivere lo stato di qualità biologica dei suoli agricoli della regione E-R.
- 2) Stabilire valori di riferimento che possano descrivere le tipicità dei suoli nei diversi contesti di uso del suolo della regione E-R.
- 3) Definire la qualità biologica dei suoli regionali in riferimento al contesto nazionale ed europeo.
- 4) Sperimentare un indicatore capace di evidenziare situazioni di degrado o di riduzione della biodiversità, qualità biologica e funzionalità edafica in relazione all'impatto di politiche agricole regionali e comunitarie.

INTRODUZIONE

Il suolo è una risorsa naturale indispensabile per il sostentamento della vita poiché i processi che avvengono in esso contribuiscono alla funzionalità degli ecosistemi terrestri (Jeffery et al., 2010; Menta, 2012). Il suolo infatti coopera nel provvedere a diversi servizi ecosistemici: sostiene le popolazioni attraverso le produzioni agro-alimentari (*Provisioning services*); in esso avviene la degradazione della sostanza organica ad opera della fauna edafica e alcuni cicli biogeochimici si concludono rimettendo in circolo le sostanze nutritive (*Supporting services*); coopera o è attore diretto nel sequestro del carbonio e nel regolare il ciclo dell'acqua (*Regulation services*); sorregge le attività umane, comprese quelle ricreative, e contiene la testimonianza del passato sotto forma di siti archeologici (*Cultural services*) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Ciò nonostante, lo stato di salute dei suoli è spesso compromesso dalle tante attività umane e di conseguenza le funzioni che esso sostiene tendono a ridursi. L'importanza di avere un suolo "in salute", e quindi funzionale, è stato rivalutato negli ultimi decenni. Accanto ai classici metodi chimici e fisici di determinazione puntuale dei parametri investigati, sono state sviluppate metodologie per valutare la componente biologica del suolo (microrganismi, piante e animali che vivono nel suolo). Nell'ambito della fauna edafica, questa non solo è coinvolta in numerosi processi che garantiscono la funzionalità del comparto, ma è possibile utilizzarla come indicatore della qualità del suolo (van Straalen, 1998, 2004; Menta, 2008). Un bioindicatore è un organismo che, mediante reazioni identificabili (biochimiche, fisiologiche, morfologiche) permette di ottenere indicazioni sintetiche dei cambiamenti che possono verificarsi in un dato ambiente. Gli organismi edafici trascorrono nel suolo l'intero ciclo vitale o parte di esso, hanno nel tempo acquisito caratteristiche morfologiche (miniaturizzazione, riduzione o perdita degli apparati visivi, riduzione della pigmentazione, riduzione degli arti e delle antenne) e fisiologiche (sviluppo di igrorecettori e chemiorecettori) specifiche di adattamento a questo particolare habitat. Ciò li rende particolarmente adattati al comparto suolo che difficilmente riusciranno a lasciare in caso di disturbo o variazione dei parametri ad essi favorevoli. L'applicazione dell'indice di qualità biologica dei suoli, **QBS-ar**, basato sul grado di adattamento al suolo dei microartropodi edafici, permette di ottenere un **valore sintetico di qualità biologica e funzionalità dei suoli**. I valori dell'indice hanno dimostrato di essere generalmente correlabili all'uso e allo stato dei suoli al momento del campionamento (Menta et al., 2010; Menta et al., 2011; Menta, et al. 2014), permettendo di formulare differenti conclusioni utili alla gestione dei suoli da diversi punti di vista, in relazione alle necessità.

Il ruolo della fauna edafica nei sistemi agrari

La frazione vivente del suolo comprende **microflora** (batteri, protozoi, funghi ed alghe), **fauna edafica** (nematodi, lombrichi, artropodi come acari e collemboli, piccoli mammiferi) e radici delle piante (**rizosfera**). Gli organismi animali che popolano il suolo sono estremamente diversificati vista la molteplicità di nicchie ecologiche che occupano. Usher et al. (1979) hanno definito il suolo come “la foresta pluviale dei poveri”: 1 m² di un suolo agricolo può contenere anche 1000 specie diverse con densità delle popolazioni nell’ordine di 10⁶ per i nematodi, 10⁵ per i microartropodi e 10⁴ per altri invertebrati (Altieri, 1999). Non solo il suolo riveste, quindi, grande rilevanza come riserva di biodiversità, ma l’azione svolta dalla fauna edafica è fondamentale nel processo di formazione e funzionalità dei suoli. Alcune delle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli come porosità, aerazione e dislocazione della sostanza organica vengono positivamente modificate, migliorandone la fertilità. La fauna edafica ha un ruolo chiave in diversi servizi ecosistemici tra cui la degradazione della sostanza organica, il riciclo dei nutrienti e dei flussi energetici (Jeffery et al., 2010). In particolare, le funzioni che vengono svolte dai vari organismi del suolo nel processo di decomposizione dei residui vegetali ed animali sono cruciali per la crescita delle piante e della produzione primaria (Maharning et al., 2008). Il **tasso di decomposizione** è generalmente **correlato positivamente con la biomassa animale** ed è necessaria una fauna ben diversificata al fine di stimolare la diversità microbica (Marshall, 2000). Ogni funzione svolta da ogni singolo organismo, da quelle prettamente di disgregazione meccanica a quelle chimiche, risulta fondamentale ai fini del successo del processo, essendo strettamente connesse le une con le altre (Fig. 1).

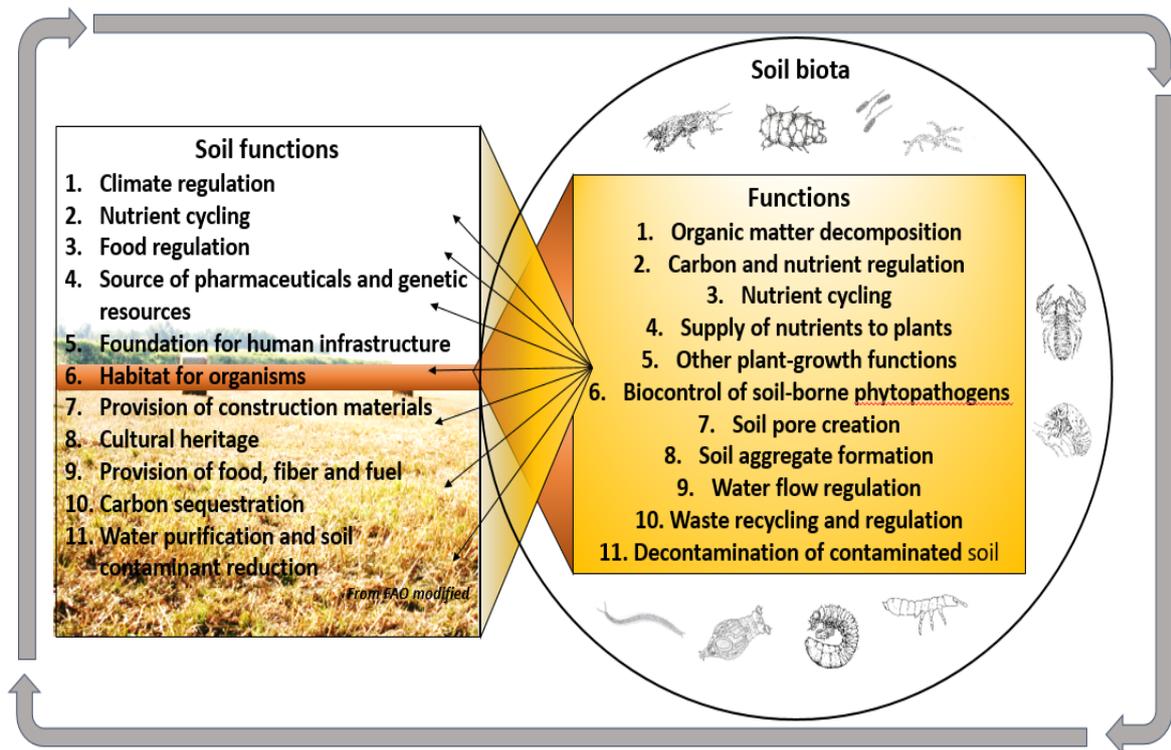


Figura 1. Relazioni tra funzioni del suolo e biota del suolo (da Menta, 2017)

Le pratiche agricole, tra cui l'aratura, l'intensificazione delle colture, l'utilizzo di ammendanti e di sostanze chimiche come fertilizzanti, erbicidi e pesticidi, hanno influenzato anche in modo serio le abbondanze e la diversità delle comunità del suolo (Backer, 1998; Altieri, 1999; Bedano et al., 2006; Tabaglio et al., 2009). Da un lato si assiste ad una riduzione delle abbondanze degli organismi edafici e, dall'altro, si ha una semplificazione delle comunità. Alcuni taxa maggiormente adattati al suolo e quindi più vulnerabili al disturbo diminuiscono o scompaiono; mentre altri taxa, più resistenti, tendono a predominare. L'aratura tradizionalmente svolta, fino ad oltre 30-40 cm di profondità, altera la normale stratificazione del terreno facendo tornare l'ecosistema ad uno stadio iniziale di successione ecologica (Altieri, 1999; Dittmer and Schrader, 2000), causando la perdita delle condizioni favorevoli allo sviluppo per numerosi organismi.

Indicatori e Indici biotici

Per mantenere la funzionalità dei suoli e degli ecosistemi agricoli e per rispondere alle direttive mondiali ed europee in materia di difesa e protezione degli habitat (Biodiversity Action Plan for Agriculture, 2001; Kiev Resolution on Biodiversity, 2003; EU Soil Thematic Strategy, 2006), è indispensabile monitorare la qualità dei suoli utilizzando parametri classici, quali i **parametri chimico-fisici** che permettono di individuare puntualmente l'eventuale pressione sul comparto suolo e **parametri biologici** basati sugli organismi viventi che popolano il suolo (indicatori). Un indicatore biologico o **bioindicatore** è un organismo che,

mediante reazioni identificabili (biochimiche, fisiologiche, morfologiche, comportamentali...) permette di ottenere informazioni sulla qualità dell'ambiente (van Straalen, 1998; Menta, 2008). L'uso di bioindicatori permette di avere indicazioni dei processi che avvengono in un dato ambiente e viene comunemente negli ultimi decenni utilizzato per diagnosticare le cause di un problema ambientale in uno stadio precoce (Dale & Beyeler, 2001). In genere, i bioindicatori hanno specifiche richieste e caratteristiche ecologiche che possono subire modifiche nel caso in cui si verificano alterazioni dell'ambiente naturale: dalla loro osservazione si può risalire a eventuali cambiamenti intercorsi, sia di tipo meccanico (ad esempio l'aratura) sia chimico (inquinamento). L'utilizzo di più bioindicatori permette di costruire indici biologici che sintetizzano l'informazione in un unico valore. L'informazione corrisponde ad una indicazione semplificata, di tipo qualitativo, che permette però di determinare in tempi brevi la condizione dell'ambiente considerato.

Le caratteristiche del popolamento edafico hanno ricevuto negli ultimi anni una crescente attenzione. Tuttavia, per lo studio delle comunità edafiche esiste a tutt'oggi un numero limitato di procedure standardizzate e, anche quando le procedure sono routinarie in alcuni casi, mancano valori di riferimento per i suoli caratterizzati da buona qualità secondo i diversi usi, tipologie e livello di disturbo del suolo.

Tra gli indici basati sulle comunità edafiche troviamo il **Maturity index** (Bongers, 1990) basato sullo studio delle famiglie di nematodi presenti nel suolo o nel sedimento. Ad ogni famiglia si attribuisce un valore ecologico da 1 a 5, dove 1 corrisponde alle famiglie tolleranti mentre 5 a quelli più sensibili tipiche degli ambienti intatti. I nematodi a cui vengono attribuiti punteggi bassi appartengono agli opportunisti e sono in genere colonizzatori (c), capaci di invadere velocemente habitat instabili. Al contrario, i nematodi persistenti (p) hanno cicli riproduttivi più lenti e quindi necessitano di condizioni stabili dell'ambiente per potersi sviluppare, risultando molto sensibili agli stress di vario tipo. L'indice viene calcolato come media pesata dei valori c-p individuali, desunti da specifiche tabelle. Si tratta di un ottimo indicatore, il quale però presuppone una puntuale conoscenza delle caratteristiche morfologiche dei nematodi. Risulta quindi spesso poco applicabile su larga scala da personale non specializzato.

Altro importante gruppo di organismi edafici sono i lombrichi. Essi svolgono numerose ed importanti funzioni nel suolo, legate soprattutto alla loro attività di scavo, influenzando la struttura del suolo, la traslocazione e l'immagazzinamento della sostanza organica. La classificazione ecologica della **Comunità dei Lombrichi** proposta da Bouché nel 1977 individua tre categorie nell'ambito della comunità di lombrichi: le **specie epigee** sono superficiali, pigmentate e non scavatrici; le **specie endogee** scavano gallerie orizzontali e vivono nei primi strati di suolo (tra l'orizzonte organico e la superficie minerale); le **specie aneciche** scavano gallerie profonde e di notte riemergono in superficie attratti dalla lettiera. La proporzione tra le specie fornisce un sistema piuttosto semplice ed efficace di bioindicazione.

L'**indice di qualità biologica** dei suoli (**QBS-ar** per la comunità di microartropodi e **QBS-c** per la comunità di collemboli) è un indice di facile utilizzo proposto da Parisi nel 2001. I microartropodi edafici sono contraddistinti da caratteristiche morfologiche peculiari dipendenti dal grado di adattamento agli ambienti edafici. Questo aspetto permette di considerare l'intera comunità di microartropodi (o di collemboli) suddividendola secondo l'approccio delle forme biologiche. Tale approccio permette di valutare i microartropodi sulla base dell'adattamento alla vita nel suolo e superare, quindi, le difficoltà dell'analisi tassonomica. Risulta quindi possibile applicare l'indice su larga scala, essendo caratterizzato da costi contenuti e necessità di personale preparato, ma senza specifiche competenze tassonomiche.

Recentemente sullo schema proposto da Parisi per il QBS-ar, Paoletti et al. (2013) hanno proposto il **QBS-e**, indice di qualità del suolo basato sui lombrichi (earthworms).

Lo studio delle comunità edafiche può inoltre essere trattato da un punto di vista ecologico per valutarne la biodiversità, utilizzando in questa fase i dati relativi alle abbondanze dei singoli taxa rinvenuti. Contando gli organismi presenti nella selezione del campione, è infatti possibile calcolare diversi indici di ricchezza e di biodiversità. Tra questi è possibile calcolare l'indice di diversità di Shannon (1948) e l'indice di equiripartizione di Pielou (1966).

L'**indice di Shannon** (H') rappresenta la biodiversità di una cenosi con un valore compreso tra 0 (cenosi con un'unica specie) ed un valore massimo (H'_{max}) rappresentato dal logaritmo naturale del numero totale di specie, raggiunto teoricamente quando tutte le specie presenti sono equiripartite, ovvero ogni taxon sia rappresentato da uguale abbondanza. Il valore dell'indice si calcola con la seguente formula:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i \qquad p_i = n_i / N$$

Dove:

H' -indice di Shannon (indica la diversità di un ecosistema)

N -è l'insieme degli organismi

n_i -numero di organismi nel campione che appartengono alla specie i

p_i -abbondanza relativa, la probabilità che un individuo della comunità preso a caso appartenga alla specie i

La diversità di una cenosi può essere determinata sia dal numero di specie sia dalla loro distribuzione o ripartizione tra i gruppi. Per tale motivo oltre all'indice di Shannon si utilizza anche l'**indice di Pielou J**. Esso varia tra 0 e 1, avvicinandosi al valore unitario più le specie sono ugualmente rappresentate. L'evenness è calcolata come:

$$J = H' / H'_{max}$$

$$H'_{max} = \ln S$$

Dove:

J - indice di evenness (indica il grado di equipartizione tra le specie)

H' - indice di Shannon

H'_{max} - valore dell'indice di Shannon nel caso in cui tutte le specie siano ripartite

S- n° totale delle specie

Il **rapporto Acari /Collemboli** (A/C, Bachelier, 1986), seppur a volte di difficile interpretazione, permette di determinare le condizioni biodinamiche del suolo: in condizioni di equilibrio la percentuale di acari rispetto ai collemboli, è elevata mentre questa tende a diminuire in favore di questi ultimi in condizioni di degrado. Può rappresentare una stima della stabilità della comunità al momento del campionamento.

MATERIALI E METODI

Approfondimento relativo agli indici di qualità biologica del suolo QBS-ar e QBS-c

Il suolo è un ambiente che può essere considerato “estremo” a causa della presenza di condizioni particolari quali l’assenza di luce, la presenza di pori di ridotte dimensioni tra le particelle che lo compongono, la minore presenza di ossigeno rispetto all’atmosfera epigea, ecc. Queste condizioni, nel corso dei processi evolutivi, sono state motore di modificazioni morfologiche, anatomiche e fisiologiche che hanno permesso agli organismi del suolo la vita in esso (Parisi e Menta, 2008). In relazione a questa pressione adattativa, gli organismi ipogei hanno sviluppato caratteri di adattamento al suolo convergenti quali: la riduzione delle dimensioni del corpo e delle appendici (antenne e zampe, strutture per il salto), l’anoftalmia o la microftalmia (assenza o riduzione dell’apparato visivo), l’atterismo o il microatterismo (assenza o la riduzione delle ali), la riduzione dell’ispessimento del tegumento (cuticole più sottili) e la depigmentazione. La presenza di tutti questi caratteri è associata all’*euèdaphon*, ossia quel complesso di organismi del suolo altamente adattati alle condizioni di vita presenti in esso e che quindi risultano maggiormente vulnerabili agli stress ambientali, non essendo in grado di fuggire alle condizioni sfavorevoli.

L’indice di qualità biologica del suolo QBS-ar è stato ideato presso L’Università degli Studi di Parma agli inizi degli anni del nuovo millennio (Parisi, 2001) e proposto a livello internazionale qualche anno più tardi (Parisi et al., 2005). L’acronimo QBS-ar indica Qualità Biologica del Suolo basato sulla comunità di microartropodi del suolo. Esso si basa sul concetto che: la presenza/assenza dei gruppi euedafici, più adattati alla vita nel suolo, può essere utilizzata per valutare la stabilità e la qualità biologica di questo (definita come “la



capacità del suolo di mantenere la propria funzionalità per sostenere la produttività biologica, di mantenere la qualità dell’ecosistema e di promuovere la salute di piante ed animali”, Knoepp et al., 2000).

Uno dei gruppi maggiormente presente negli ecosistemi edafici, sia in termini di abbondanza che di numero di specie, è quello dei Collemboli (Fig. 2). Questi esapodi svolgono importanti funzioni nel turnover della sostanza organica, sono influenzati dalle condizioni di umidità del suolo e sensibili alla compattazione e a diverse pratiche agricole. Ciononostante, sono presenti in qualsiasi tipologia di

Figura 2 Collembolo *Folsomia candida*

suolo presentando diversi adattamenti all'ambiente. Possono quindi rappresentare un ulteriore buon indicatore delle condizioni di funzionalità e di qualità del suolo, andando a completare le informazioni che il QBS-ar fornisce.

Il secondo indice QBS-c applicato al suolo in questo studio è basato sulla comunità di collemboli. QBS-c è l'acronimo di Qualità Biologica del Suolo basato sulla comunità di Collemboli ed è stato sviluppato sempre nel laboratorio di Biologia del Suolo dell'Università di Parma (Parisi e Menta, 2008). Il principio su cui si basa il QBS-c è parzialmente sovrapponibile a quello del QBS-ar: maggiore è il numero di collemboli maggiormente adattati al suolo e maggiore è la qualità del suolo in quanto sostiene la vita e lo sviluppo di animali sensibili al degrado. La comunità di collemboli risulta più sensibile alle variazioni di umidità del suolo dovute principalmente alle lavorazioni come l'aratura, l'erpatura e alla alterazione delle reti trofiche ipogee, essendo i collemboli organismi principalmente microfagi e regolatori delle microreti.

Gli studi finora effettuati dal laboratorio di Biologia del Suolo di UNIPR hanno considerato diversi ambiti (boschi e prati stabili in aree protette e non, aree ad uso agricolo, greti fluviali, aree antropizzate e discariche) e hanno evidenziato la sensibilità di tale indice a differenti fattori ambientali quali le tipologie di utilizzo del suolo, di copertura vegetale, di gestione delle aree coltivate (Gardi & Menta, 2004; Gardi et al, 2008; Menta et al., 2008; Tabaglio et al., 2008; Tabaglio et al., 2009; Menta et al., 2014). Indicazioni relative ai risultati ottenuti sono riportati nelle Tab. 1 e 2.

L'implementazione dell'indice prevede la definizione puntuale di valori di riferimento a seconda dell'uso del suolo, in modo da fornire agli addetti ai lavori un valido contributo nel monitoraggio e nella valutazione dello stato dell'ambiente.

Dagli studi effettuati in Italia dal gruppo di lavoro dell'Università di Parma sono stati elaborati i dati relativi a 205 siti ottenuti dai vari studi condotti in Italia nei primi 10 anni di applicazione dell'indice. Sono quindi stati individuati alcuni valori dell'indice che possono essere usati come primo riferimento per alcuni usi del suolo (seminativi, prati e boschi; Menta et al., 2011a), nonostante siano ancora da completare e confermare con ulteriori usi del suolo e ambiti territoriali. In una recente pubblicazione (Menta et al., 2018) inoltre sono stati elaborati i dati di pubblicazioni internazionali relative all'applicazione del QBS-ar in alcuni paesi europei e extraeuropei, mettendo in evidenza alcuni punti di forza dell'indice e alcuni aspetti di cui è necessario un approfondimento.

Coltura	Valori di QBS-ar	Fonte
Mais	41-101	
n.s.	40-120	Gardi et al., 2008
Orzo	90-126	Tabaglio et al., 2008
Mais	56 in media	Tabaglio et al., 2009
Mais	40-86	Aspetti et al., 2010
frumento e mais	40-126	Menta et al., 2011°
mais e erba medica	in media 62 in primavera e 102 in autunno	Menta et al., 2011b
Mais	43-75	Sapkota et al., 2012

Tabella 1 Valori di QBS-ar ottenuti in studi precedenti per colture annuali (n.s.- non specificata la coltura)

Uso	Valori di QBS-ar	Fonte
Prati avvicendati	Erba medica	67-132
		87-184
	Prato	132-172
		71-116
Prati stabili		92 e 106
		147 (media in primavera)
		140 (media in autunno)
		128 (media)
		Parisi et al., 2005
		Parisi et al., 2005
		Gardi et al., 2002
		Parisi et al., 2005
		Menta et al., 2011b
		Rüdisser et al., 2015

Tabella 2 Valori di QBS-ar ottenuti in studi precedenti per i prati (avvicendati e stabili)

In Italia, l'indice ha ricevuto un notevole interesse da parte delle ARPA Regionali, le quali lo utilizzano in diverse realtà in maniera routinaria (in particolare ARPA Piemonte, ARPA Veneto e ARPA Molise). Anche all'interno della comunità scientifica italiana l'indice ha ottenuto e sta ottenendo una certa attenzione e ha portato ad avere una buona produzione scientifica con oltre 35 lavori pubblicati su riviste italiane ed internazionali tra il 2002 e il 2016. I temi trattati variano dal monitoraggio delle attività agricole, la valutazione di ecosistemi ad alta naturalità (boschi e prati stabili), la stima del popolamento edafico in contesti urbani, parchi e lati delle strade, gli effetti delle attività di escavazione e effetto dei metalli pesanti sul popolamento edafico, le conseguenze sulla fauna edafica del pascolo. A livello internazionale, il QBS-ar è rientrato tra i metodi ufficiali di monitoraggio della fauna edafica nel progetto ExpeER -Experimentation in Ecosystem Research (Seventh Framework Programme, agreement No 262060), il quale ha coinvolto 35 Istituti di Ricerca e Università in 19 paesi europei. L'indice è annoverato nel protocollo di campionamento della fauna edafica (ExpeER protocols) ed è stato applicato in Israele in 5 siti dell'area di ricerca di lungo periodo LTER del Negev. La fig. 3 riporta l'elaborazione di 41 articoli pubblicati su riviste internazionali che riportano l'applicazione dell'indice QBS-ar (Menta et al., 2018).

La fig. 4 riporta le nazioni in cui l'applicazione del QBS-ar ha portato alla pubblicazione dei dati su riviste internazionali (Menta et al., 2018).

In bibliografia vengono riportati alcuni articoli relativi a casi di studio dell'applicazione del QBS-ar.

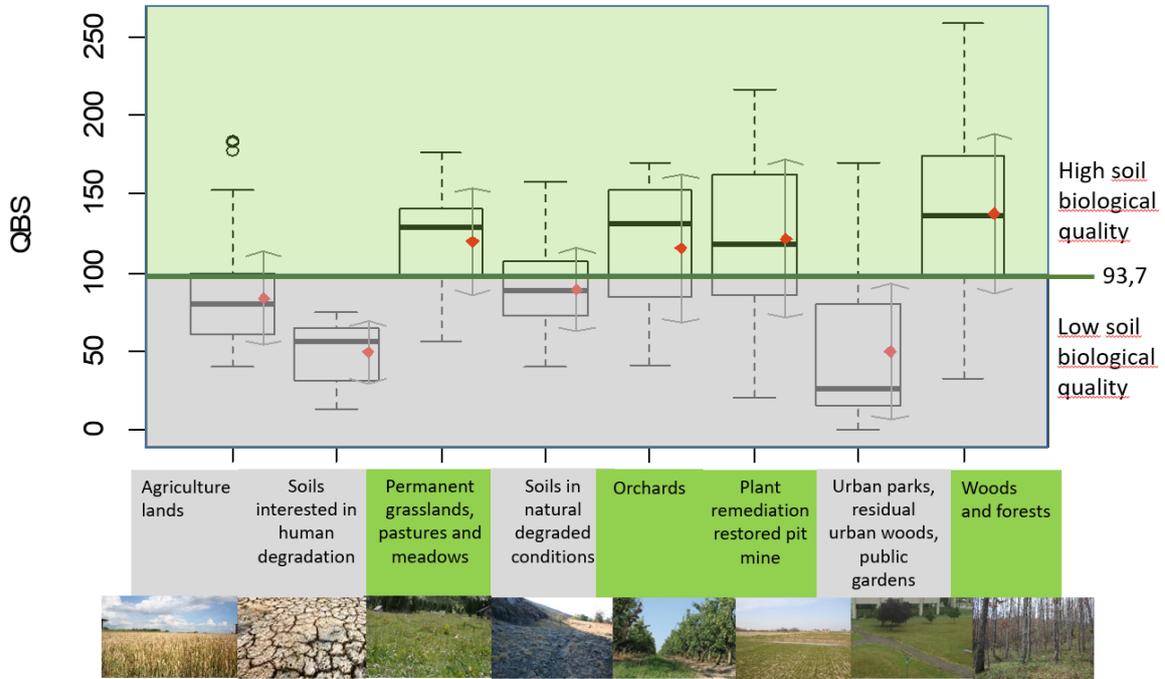


Figura 3 Risultati ottenuti da una meta-analisi relativa a 41 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali riportanti l'applicazione dell'indice QBS-ar (da Menta et. al., 2018)

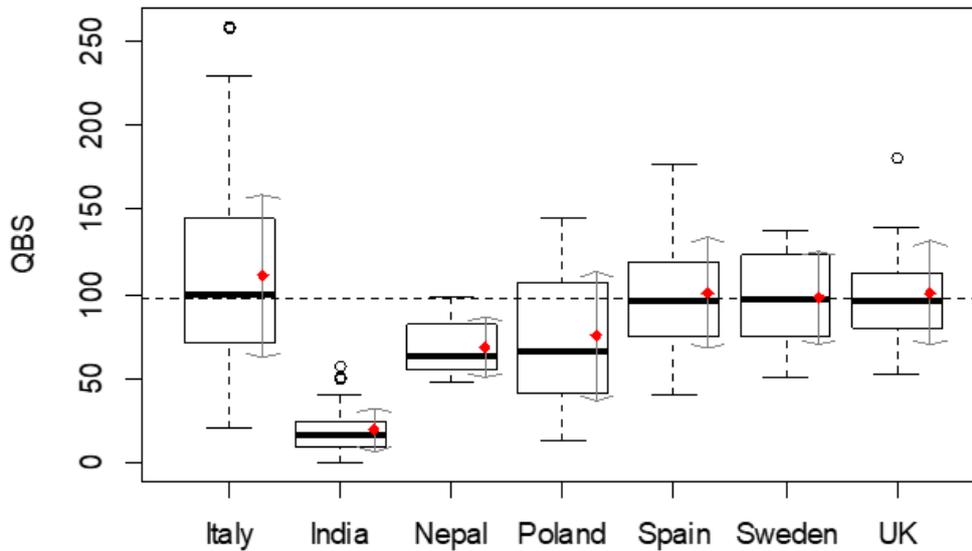


Figura 4 Risultati relativi ad una meta-analisi relativa alle 41 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali riportanti l'applicazione dell'indice QBS-ar (da Menta et. al., 2018)

Determinazione del QBS-ar e QBS-c

L'indice QBS-ar valuta l'intera comunità di microartropodi edafici, suddividendoli utilizzando l'approccio delle forme biologiche (FB). L'attribuzione degli organismi alla corretta FB tiene conto sia della tassonomia sia dell'adattamento alla vita nel suolo. Ad ognuna di esse è associato un valore di **Indice Ecomorfologico (EMI)**, compreso tra 1 e 20 (Tab. 3). In alcuni casi il punteggio è univoco, sottolineando le caratteristiche del gruppo di affinità con il comparto suolo: ad esempio, pauropodi e proturi possono ottenere solamente un punteggio pari a 20 indicando un grande adattamento al suolo e quindi una maggiore vulnerabilità in caso di disturbo; gli imenotteri formicidi vivono nel suolo, ma non presentano alcuni dei caratteri di adattamento, per cui l'EMI corrispondente è 5; alcuni artropodi presenti sono essenzialmente superficiali o epigei, come gli psocotteri o i tisanotteri, e quindi il punteggio è 1. In altri casi, il punteggio può variare e assumere punteggi differenti tra due possibilità: gli araneidi possono avere un EMI pari a 1 (ragni con le dimensioni del corpo maggiori di 5 mm) o a 5 (ragni di dimensioni minori di 5 mm e con scarsa pigmentazione); i diplopodi e i chilopodi possono assumere punteggi di 10 (diplopodi con dimensioni maggiori di 5mm, chilopodi con zampe sviluppate di dimensioni maggiori di 5 mm) o di 20 (diplopodi con dimensioni inferiori a 5 mm o appartenenti all'ordine Polixena, chilopodi geofilomorfi); gli ortotteri assumono generalmente punteggio 1 a meno che non siano presenti giovani individui di grillootalpa (10); gli emitteri sono in generale epigei assumendo un punteggio unitario, ad eccezione delle larve di cicala, alle quali viene attribuito un valore EMI di 10. In altri casi il punteggio può assumere valori da 1 a 20, aumentando progressivamente con la presenza delle caratteristiche morfologiche di adattamento all'ambiente ipogeo. Ad esempio, i collemboli possono assumere diversi punteggi in base alle caratteristiche morfologiche che si osservano (dimensioni, pigmentazione, squame e/o peli, apparato visivo, lunghezza di antenne e zampe, furca -organo di salto tipico del gruppo-) e ai livelli di adattamento che ne derivano. Anche i coleotteri possono avere punteggi differenti, compresi tra 1 e 20, a seconda della presenza di 4 caratteristiche morfologiche principali. Per ogni individuo appartenente al taxon, si considerano le dimensioni (minore di 2 mm), se è presente pigmentazione, se sono presenti occhi e ali. Per ognuna di queste caratteristiche, se presente, si attribuiscono 5 punti e il valore finale dell'EMI corrisponde alla loro somma. In caso nessuno dei caratteri sia presente, all'individuo si attribuisce un EMI pari a 1 indicando la presenza di un esemplare epigeo.

Ad ogni FB riconosciuta viene associato il rispettivo valore EMI. In caso di più individui appartenenti allo stesso taxon con valori EMI differenti e quindi corrispondenti a diversi livelli di adattamento, si considera solamente il valore più alto, corrispondente ad un maggiore adattamento al suolo.

La somma di tutti gli EMI costituisce il valore dell'indice QBS-ar.

Per la caratterizzazione di un sito, è necessario eseguire un campionamento in triplo su cui si determina un unico valore di QBS-ar detto **massimale**. Esso è il valore derivante dall'unione dei risultati delle presenze e degli indici EMI attribuiti alle FB osservate nelle tre repliche. Per ogni taxon presente almeno in una delle repliche, si considera il valore maggiore di EMI attribuito, considerando così il massimo grado di adattamento possibile. Sommando tutti i valori di EMI attribuiti in questa fase si ottiene il valore massimale dell'indice QBS-ar (Tab. 4 mostra un esempio di calcolo). Più elevato è il valore dell'indice, maggiore è la presenza di forme biologiche adattate al suolo e quindi più vulnerabili. Dalla Tab. 3 si può notare, inoltre, come il valore di QBS-ar massimale non equivalga alla media dei valori calcolati per le repliche. Le repliche sono funzionali per rappresentare al meglio un ambiente naturalmente eterogeneo. Il valore finale che si ottiene con il QBS-ar massimale sottolinea il potenziale dell'area investigata in termini di popolamento edafico e adattamento di questo al comparto suolo.



Larva di coleottero



Piccolo ragno della lettiera



Diplopode



Isopodi

Figura 5 Alcuni microartropodi edafici

Subphylum/Classe	Gruppo	EMI
Aracnidi	Pseudoscorpioni	20
	Palpigradi	20
	Opilioni	10
	Araneidi	1 o 5
	Acari	20
Crostacei	Isopodi	10
Miriapodi	Diplopodi	10 o 20
	Paupodi	20
	Sinfili	20
	Chilopodi	10 o 20
Esapodi	Proturi	20
	Dipluri	20
	Collemboli	da 1 a 20
Insetti	Microcoryphia	10
	Zygentomata	10
	Dermatteri	1
	Ortotteri	1 o 20
	Embiotteri	10
	Blattari	5
	Psocotteri	1
	Emitteri	1 o 10
	Tisanotteri	1
	Coleotteri adulti	da 1 a 20
	Coleotteri larve	10
	Imenotteri	1 o 5
	Ditteri adulti	1
	Ditteri larve	10
	Lepidotteri adulti	1
Lepidotteri larve	10	

Tabella 3 Punteggi degli EMI (Indice Ecomorfologico) attribuibili a ogni gruppo di microartropodi edafici

	r1	r2	r3	QBS-ar massimale
Pseudoscorpioni	20			→ 20
Palpigradi				
Opilioni				
Araneidi	5		5	→ 5
Acari	20	20	20	→ 20
Isopodi				
Diplopodi	10			→ 10
Paupodi	20		20	→ 20
Sinfili	20	20	20	→ 20
Chilopoda	10	20	20	→ 20
Proturi	20		20	→ 20
Dipluri	20	20	20	→ 20
Collemboli	10	20	8	→ 20
Psocotteri	1		1	→ 1
Emitteri	1	1		→ 1
Tisanotteri		1	1	→ 1
Coleotteri	5	10	20	→ 20
Imenotteri			5	→ 5
Ditteri (larve)	10	10	10	→ 10
Coleotteri (larve)	10	10	10	→ 10
Lepidotteri (larve)				
QBS-ar	182	132	180	→ 223

Tabella 4 Esempio di calcolo dell'indice QBS-ar massimale a partire dai risultati ottenuti dall'osservazione delle tre repliche.

Per la determinazione dell'indice QBS-c, i collemboli presenti nell'estratto vengono osservati allo stereomicroscopio. Ognuno di essi viene raggruppato, secondo il principio delle Forme Biologiche valutando 7 caratteri morfologici a cui viene attribuito un punteggio in relazione al grado di adattamento al suolo (Tab. 5), la somma dei punteggi dei singoli caratteri costituisce il valore EMI di ogni Forma Biologica. Collemboli che differiscono anche solo per un carattere appartengono a forme biologiche diverse anche se il valore finale di EMI è uguale. Il QBS-c è dato dalla somma degli EMI di tutte le forme biologiche.

Analogamente per quanto previsto per il QBS-ar, anche in questo caso per caratterizzare un sito si calcola un unico valore di QBS-c (valore massimale) che deriva dalla combinazione delle forme biologiche trovate nei tre campioni, la stessa forma biologica verrà conteggiata una sola volta (Tab. 6).

Carattere	Punteggio EMI
Dimensioni	
– grandi >3 mm	0
– medie 2 – 3 mm	2
– piccole <2 mm	4
Pigmentazione	
– con livrea complessa (es. <i>Orchesella</i> , <i>Seira</i>)	0
– con livrea semplice (es. <i>Isotomurus</i> , <i>Tomocerus</i>)	1
– con colore (o limitata alle appendici, distalmente)	3
– assente	6
Fanere ed altre strutture tegumentarie	
– grande sviluppo di macrochete e/o squame, presenza di tricobotri	0
– ricoprimento modesto di fanere	1
– specializzazione topografica delle chete, ridotte di numero, sensili particolari sulle antenne, PAO presente, AD (spine anali) presenti (questi caratteri possono non essere tutti presenti)	3
– poche chete, sensori e strutture particolari e presenti in più parti del corpo	6
Anoftalmia	
– 8 + 8 ocelli	0
– 6 + 6 ocelli	2
– da 5 + 5 a 1 + 1	3
– 0 + 0	6
Antenne	
– antenne molto più lunghe della diagonale del capo	0
– circa equidimensionali	2
– più corte 3	3
– molto ridotte (spesso con sensili particolari)	6
Zampe	
– molto sviluppate	0
– mediamente sviluppate	2
– corte	3

- ridotte o con empodio ridotto o assente, unghia spesso senza denticolazione 6

Furca

- molto sviluppata 0
- mediamente sviluppata 2
- poco sviluppata con riduzione del numero di setole 3
- assenza di mucrone e/o alterazioni della forma del manubrio e dei denti 5
- assenza della furca o sua riduzione a rudimento 6

Si osservi che l'EMI calcolato con questa tabella ha come valore massimo 40 pertanto può essere eventualmente utilizzato per il calcolo del QBS-ar solo dopo averlo diviso per due.

Tabella 5 Caratteri da analizzare per la determinazione del punteggio di EMI per i collemboli rinvenuti nel campione estratto (da Parisi, 2001)

Punteggi attribuiti ai singoli caratteri previsti

Dimensioni							FB	r1	r2	r3	QBS-c massimale
Pigmentazione	Fanere e altre strutt. teg.	Apparati visivo	Antenne	Zampe	Furca						
2	0	0	0	0	0	0	Orchesellide	2			→ 2
4	1	1	0	0	0	0	Lepidocirtoide	6	6		→ 6
4	6	1	0	0	0	0	Isotomide	11	11		→ 11
4	6	6	2	2	2	6	Folsomide		28		→ 28
4	3	3	3	3	3	6	Folsomide			25	→ 25
4	3	3	2	3	3	6	Ipogastruride	24		24	→ 24
4	3	3	3	3	3	3	Ipogastruride			24	→ 24
4	3	3	3	6	3	3	Ipogastruride			25	→ 25
4	3	3	0	3	3	3	Ipogastruride	19	19		→ 19
4	6	3	3	2	2	2	Criptopigide			22	→ 22
4	3	3	2	0	2	2	Criptopigide			16	→ 16
4	6	3	0	2	2	6	Anuforide			23	→ 23
QBS-c								62	64	159	→ 225

Tabella 6 Esempio di calcolo del QBS-c massimale a partire dal punteggio ottenuto nelle singole repliche.

Scelta dei siti di campionamento

I campionamenti sono stati effettuati in **58** siti nell'arco temporale tra il 2015 e il 2017 con differente tipologia di suolo (Tab. 9) e di uso del suolo (Tab. 10) localizzati nella pianura e nella prima collina della Regione Emilia-Romagna (Fig. 6).

I siti sono stati individuati in base alle caratteristiche pedologiche descritte nella Banca Dati dei Suoli della Regione Emilia-Romagna con l'obiettivo di scegliere siti rappresentativi dei suoli maggiormente diffusi. I diversi tipi di suolo (UTS) sono stati raggruppati in Gruppi Funzionali (Tab. 7 e 8) ossia associazioni di suoli affini per uno o più dei seguenti aspetti: classe tessiturale dell'orizzonte superficiale, disponibilità di ossigeno, presenza di orizzonti organici.

Classe tessiturale generale	classe tessiturale USDA
GROSSOLANA	S, SF
MOD. GROSSOLANA	FS, F
MEDIA	FL, L
MEDIA-FINE	FLA, FA, FAS con valore modale <35%
MOD. FINE	FLA, FA con valore modale >35%
FINE	AL, A, AS
ORGANICO	Suoli organici e suoli con orizzonti superficiali minerali ma con contenuto di CO tipicamente > 2.5%

Tabella 7 Classi generali di tessitura per la costituzione dei Gruppi Funzionali

Gruppo	Sottogruppo	Classe tessiturale	Disponibilità O ₂	Numero UTS
A	1	Fine	Buona/moderata	31
	2		Imperfetta	12
B	1	Moderatamente fine	Buona/moderata	29
	2		Imperfetta	3
C	1	Media-fine	Buona/moderata	55
	2		Imperfetta	3
D	1	Media	Buona/moderata	44
	2		Imperfetta	4
E	1	Mod. grossolana	Buona/moderata	23
F	1	Grossolana	Buona/moderata	12
	2		Imperfetta	2
O	2	Organico	Imperfetta	2
P	2	Org. da fine a moderatamente fine	Imperfetta	3
Q	2	Org. da media a media-fine	Imperfetta	4
R	1	Org. da grossolana a mod. grossolana	Moderata	2
	2	Org. moderatamente grossolana	Imperfetta	2

Tabella 8 Descrizione sintetica dei Gruppi Funzionali

G.F.	n° siti	n° dati
A	15	34
B	8	18
C	16	36
D	6	12
E	11	24
F	2	4

Tabella 9 Rappresentatività dei siti di campionamento per Gruppi Funzionali

Ogni sito è stato campionato due volte, in primavera e in autunno, per verificare l'influenza della stagionalità sulle popolazioni dei microartropodi.

Gli usi del suolo considerati sono stati i seguenti:

- 1) Seminativi annuali (colture annuali e terreni a riposo)
- 2) Prati avvicendati (colture foraggere poliennale in avvicendamento che occupano il terreno per un massimo di 5 anni)
- 3) Prati permanenti (coltivazioni foraggere fuori avvicendamento che occupano il terreno per un periodo superiore a cinque anni)
- 4) Prati stabili (prati permanenti storici mantenuti per più di 30 anni)
- 5) Coltivazioni legnose agrarie (vigneti e frutteti)

Uso del suolo	n° siti	n° dati
SEMINATIVO	22	52
PRATO AVVICENDATO	8	18
PRATO PERMANENTE	6	11
PRATO STABILE	5	10
FRUTTETO	11	21
VITE	8	16

Tabella 10 Rappresentatività dei siti di campionamento in funzione dell'uso del suolo (due siti hanno cambiato uso del suolo tra il primo e il secondo campionamento).

Sono inclusi nei seminativi del presente lavoro i siti del *Progetto Life HelpSoil* (LIFE12 ENV/IT/000578): il progetto, conclusosi nel giugno 2017, ha avuto come obiettivo la valutazione delle ricadute ambientali dell'agricoltura conservativa, ossia un'agricoltura basata sulla non lavorazione del suolo, sull'uso di cover crops e sull'avvicendamento colturale. In questi siti sono stati effettuati campionamenti aggiuntivi rispetto al piano delle attività del Progetto Life.

Tra i siti sono presenti anche tre aziende aderenti al *Gruppo Operativo PRATI-CO PARMIGIANO-REGGIANO* (operazione 16.1.01 del PSR 2014-2020) dove sono stati campionati tre prati storici di età compresa tra i 50 e i 100 anni e due prati avvicendati di erba medica.

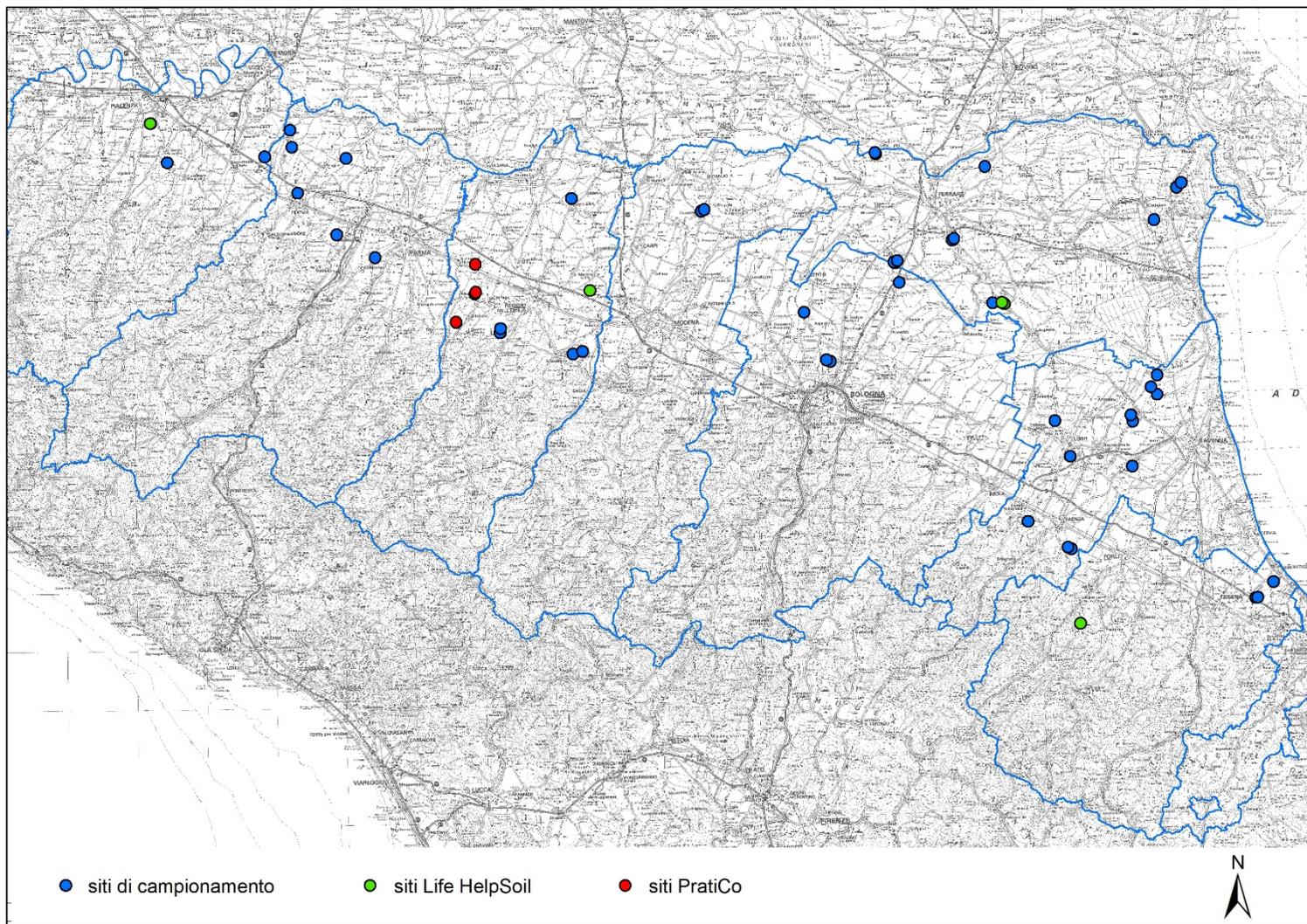


Figura 6 Distribuzione dei siti di campionamento

Prelievo dei campioni di suolo

In ogni sito sono stati prelevati, con l'ausilio di una vanga, 3 zolle di suolo (100 cm² e 10 cm di profondità) (Fig. 7) prelevate ai vertici di uno schema a triangolo distanti dai 10 ai 15m. I frutteti e i vigneti, tutti inerbiti, sono stati campionati nell'interfila. I campioni sono stati riposti in buste di polietilene debitamente etichettate e fatte giungere al laboratorio entro le successive 48 ore.



Figura 7 Prelievo della zolla di terreno per l'estrazione dei microartropodi del suolo

Estrazione ed identificazione dei microartropodi edafici

In laboratorio i campioni sono stati disposti sugli estrattori di Berlese-Tüllgren per consentire agli individui la fuoriuscita dalla colonna di suolo (Fig. 8). L'estrattore è composto da un imbuto e un selettore a maglie di 2 mm. Al di sopra del selettore è posta una lampadina ad incandescenza che gradualmente scalda la superficie e la illumina, spingendo gli organismi verso il fondo dello strato di suolo finché non cadono nell'imbuto e nel contenitore con liquido di conservazione (un rapporto di 2:1 di alcool etilico e glicerina). Si tratta di un metodo di estrazione dinamico, che sfrutta gli spostamenti degli organismi i quali fuggono le condizioni non più ideali della superficie. Si raccolgono quindi gli organismi presenti e attivi al momento del campionamento.



Figura 8 Estrattore di Berlese-Tüllgren utilizzato per l'estrazione dei microartropodi del suolo.

Per ogni sito vengono separatamente analizzate allo stereomicroscopio le selettive delle tre repliche. Ogni organismo individuato viene identificato e attribuito al taxon a cui appartiene. I microartropodi vengono identificati a livello di ordine per Chelicerata, Hexapoda e Insecta, e di classe per Myriapoda; ad ognuno di essi viene assegnato il valore EMI appropriato (Tab.3) secondo le modalità descritte nel precedente paragrafo. È stato quindi determinato il QBS-ar massimale per ogni sito.

Al fine di arricchire le informazioni ottenute da questo studio si è proceduto anche alla conta degli individui appartenenti ad ogni taxon; per ogni sito sono state quindi calcolate:

- le abbondanze dei singoli gruppi (il numero degli animali ritrovati alla profondità considerata – 0-10 cm – in relazione alla superficie di 1 m² (ind/m²))
- gli indici di biodiversità e stabilità H', J, A/C.

Per ogni replica di suolo prelevata si è proceduto al prelievo di campioni per la determinazione dell'umidità e della densità apparente del suolo (Fig. 9).



Figura 9 Prelievo del campione per la determinazione di umidità e densità apparente

Il cilindro di volume noto (100 cm³) è stato inserito nel suolo. Estratto con attenzione, il suolo è stato posto in un barattolo di vetro, precedentemente tarato, per il trasporto in laboratorio. All'arrivo in laboratorio i barattoli sono stati pesati e quindi posti in stufa a 105 °C per 24 h. Una volta raffreddati sono stati ripesati. Il contenuto di acqua percentuale (umidità) è stato calcolato come differenza in peso secondo la formula

$$U\% = \frac{PU - PS}{PS - T} * 100$$

Dove:

PU – peso umido

PS – peso secco (dopo essiccamento in stufa)

T – tara del barattolo

La densità apparente è stata calcolata dividendo il peso secco del campione di suolo per il volume noto del cilindro.

$$BD = \frac{PS-T}{Vc}$$

Dove:

PS – Peso secco del campione dopo essiccamento

T – tara del barattolo

Vc – volume noto del cilindro con cui si è prelevato il campione

Indici e parametri calcolati

La qualità del suolo è stata determinata attraverso il calcolo del QBS-ar. Il QBS-ar massimale è il risultato, come precedentemente illustrato, ottenuto sommando i vari EMI attribuiti alle forme biologiche rinvenute ed identificate in ogni replica. Maggiore è il valore dell'indice, maggiore sarà la presenza di gruppi di microartropodi maggiormente adattati al suolo, quindi più sensibili e vulnerabili in caso di disturbo. Un QBS-ar elevato indica che le condizioni del suolo sono pertanto ideali per lo sviluppo e il sostentamento degli organismi più sensibili e quindi viene associato ad una maggiore qualità.

Per alcuni prati stabili è stato calcolato anche l'indice QBS-c, il quale permette una più dettagliata descrizione della comunità di collemboli al fine di fornire ulteriori caratteristiche della categoria di uso del suolo individuata.

Trattamento statistico dei dati

I confronti tra i valori del QBS-ar, le stagioni e i differenti usi del suolo sono stati eseguiti mediante l'applicazione dell'analisi della varianza a due vie (TWO-WAY ANOVA), dopo avere testato le condizioni di validità. Le differenze, quando presenti, sono state successivamente valutate mediante Test di Tukey come post-hoc.

I valori di QBS-ar sono stati correlati con alcuni parametri (U%, BD, sostanza organica, e tipologia di suolo) per valutare eventuali relazioni applicando il test di Kendall, il quale indica l'intensità delle relazioni tra i parametri. I grafici delle correlazioni sono stati realizzati utilizzando il package ggpubr (Kassambara, 2017) nel programma statistico R (versione 3.4.3).

RISULTATI E DISCUSSIONE

L'elaborazione statistica riporta dapprima una sintesi dei parametri descrittivi dei suoli raggruppati per Gruppi Funzionali (Tab. 11), quindi analizza i valori di QBS-ar in relazione alla stagionalità e all'uso del suolo, infine viene esaminata la correlazione tra l'indice e i principali parametri del suolo per testare l'effetto delle caratteristiche del suolo sulla qualità biologica.

Gruppo Funzionale	Variable	n° dati	media	Std. Dev.	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Mediana)	75%ile (Q3)	Max
A	CORG	15	1.461	0.626	0.48	1.28	1.5	1.67	3.12
	ARGILLA	15	44.68	5.319	40	41	43	46	60
	SABBIA	15	11.67	5.762	8	8.5	10	12	30.5
	pH	15	7.68	0.463	6.8	7.57	7.8	7.99	8.19
B	CORG	8	1.669	0.275	1.1	1.628	1.67	1.778	2.05
	ARGILLA	8	36.95	1.401	36	36	36	38	39.6
	SABBIA	8	14.4	7.093	8	10.75	11.5	15.75	30.2
	pH	8	7.775	0.429	7.1	7.39	7.93	8.098	8.25
C	CORG	16	2.067	1.451	0.59	1.115	1.485	2.373	5.27
	ARGILLA	16	30.94	2.383	27.3	29.98	30	33.33	34.3
	SABBIA	16	20.44	7.832	10	12	21.3	26.7	32.2
	pH	14	7.697	0.492	6.6	7.425	7.84	7.983	8.6
D	CORG	6	1.24	0.535	0.49	0.943	1.28	1.46	2.04
	ARGILLA	6	17.67	3.204	14	15	18	19.5	22
	SABBIA	6	21.33	3.67	16	20	20.5	24	26
	pH	6	7.945	0.301	7.55	7.778	7.915	8.09	8.41
E	CORG	11	1.235	0.499	0.58	0.94	1.21	1.34	2.37
	ARGILLA	11	16.07	5.328	11	13.35	14	16.15	26.5
	SABBIA	11	48.3	16.08	27.2	38.6	41.7	58.1	78
	pH	11	7.969	0.191	7.7	7.875	7.9	8.04	8.35
F	CORG	2	2.49	2.376	0.81	1.65	2.49	3.33	4.17
	ARGILLA	2	8	2.828	6	7	8	9	10
	SABBIA	2	83.5	0.707	83	83.25	83.5	83.75	84
	pH	2	7.915	0.191	7.78	7.848	7.915	7.983	8.05

Tabella 11 Descrizione statistica dei caratteri del suolo dei 58 siti raggruppati per Gruppi Funzionali

QBS-ar, stagionalità e uso del suolo

Una prima valutazione è stata eseguita per verificare se la stagionalità influenza il valore dell'indice QBS-ar e quindi poter formulare una strategia futura di campionamento, anche tenuto conto dell'uso del suolo.

Dall'analisi della Varianza a due vie (Tab 11), che permettere di mettere in relazione l'influenza della stagionalità in combinazione con l'uso del suolo, emerge che quest'ultimo è il fattore che maggiormente determina i valori di QBS-ar (p value <0.001) mentre la stagionalità non influenza significativamente il valore dell'indice (p value > 0.05)

È necessario considerare che i campionamenti sono stati effettuati nei due periodi notoriamente più favorevoli per la fauna del suolo, primavera e autunno e, in alcune condizioni come i prati stabili o i frutteti e vigneti inerbiti, la situazione del suolo è generalmente stabile e comparabile tra i due periodi in termini di umidità, temperatura, insolazione.

Tabella 12 Analisi della Varianza a due vie.

	Gradi di libertà	P
Uso	5	2.333e-10 ***
Stag	1	0.7135
Uso × Stag	5	0.4992
Residuals	116	-

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

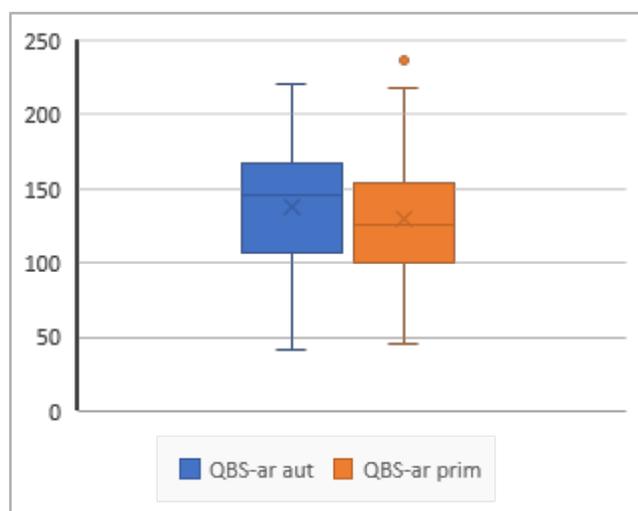


Figura 10 Rappresentazione tramite boxplot dei valori statistici di QBS-ar in autunno e primavera

	NumObs	Mean	Min	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)	Max	SD	CV
Autunno	56	137.3	41	108.3	146	167.3	221	40.21	0.293
Primavera	72	129.6	45	102	125.5	152.5	239	43.16	0.333

Tabella 13 Valori statistici descrittivi del QBS-ar per stagione di campionamento.

Non vi è una differenza significativa dei valori stagionali neanche all'interno delle singole categorie di uso del suolo; si riportano comunque a titolo descrittivo i valori statistici (Tab.14) e la loro rappresentazione tramite boxplot (Fig.11).

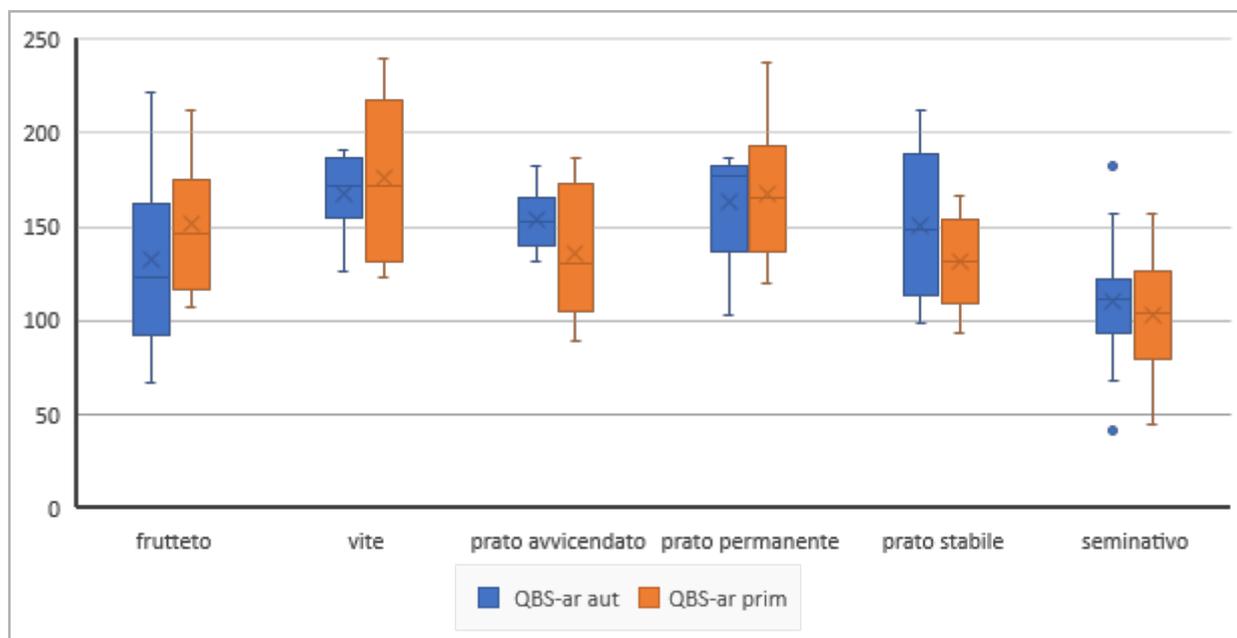


Figura 11 Rappresentazione tramite boxplot dei valori statistici di QBS-ar raggruppati per uso del suolo e per stagione di campionamento.

Uso del suolo	Stagione	n° dati	Mean	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	Max	SD	CV
frutteto	Autunno	11	132.3	67	92	123	162	221	47.97	0.363
	Primavera	10	151.7	107	116.75	146	174.5	212	36.4	0.24
vite	Autunno	8	167.9	126	160.3	171.5	181	191	21.4	0.127
	Primavera	8	175.9	123	139.8	171.5	214.3	239	44.49	0.253
prato avvicendato	Autunno	8	153.8	132	144	153	161	182	16.1	0.105
	Primavera	10	135.3	89	112	130	165	187	35.13	0.26
prato permanente	Autunno	5	163.2	103	171	177	178	187	34.14	0.209
	Primavera	6	168	120	145.8	165	177.5	237	40.12	0.239
prato stabile	Autunno	5	150.8	99	129	148	166	212	42.26	0.28
	Primavera	5	131.6	93	125	132	142	166	26.58	0.202
seminativo	Autunno	19	109.9	41	94.5	111	118.5	182	33.91	0.308
	Primavera	33	102.7	45	80	104	126	157	30.32	0.295

Tabella 14 Valori statistici descrittivi del QBS-ar per uso del suolo e per stagione di campionamento.

Vista la significatività dell'influenza dell'uso del suolo sull'indice QBS-ar emersa dall'analisi della varianza a due vie (Tab.15) si è proceduto all'analisi posthoc dei dati applicando il test di Tukey per mettere in evidenza le differenze tra i diversi usi del suolo.

	frutteto	vite	prato avvicendato	prato permanente	prato stabile	seminativo
frutteto	-	-	-	-	-	-
vite	0.093	-	-	-	-	-
prato avvicendato	1.000	0.166	-	-	-	-
prato permanente	0.411	0.998	0.540	-	-	-
prato stabile	1.000	0.242	1.000	0.577	-	-
seminativo	0.001	0.000	0.001	0.000	0.037	-

Tabella 15 Risultati dei confronti posthoc applicando il test di Tukey per le differenze del QBS-ar. In grassetto le categorie significativamente diverse tra loro (p -value<0.05)

Il test di Tukey conferma differenze significative tra i seminativi e gli altri usi del suolo: emerge in modo molto chiaro che i seminativi mostrano i valori di QBS-ar più bassi tra le cinque categorie considerate, con valori compresi tra 41 e 182 e un valore medio di 105. La categoria dei prati, comprendente gli avvicendati, i permanenti e gli stabili, dimostra valori dell'indice superiori; i prati avvicendati hanno valori compresi tra 89 e 187 e valore medio 143, valori superiori dell'indice sono emersi nei prati permanenti con range compreso tra 103 e 237 e media 166, valori più bassi nei prati stabili, con range compreso tra 93 e 212, media 141 (Fig.12 e Tab.16). Valori di QBS-ar superiori a 150 dimostrano una comunità decisamente ricca di organismi adattati al suolo e conseguentemente vulnerabile. Come riportato anche in lavori precedenti, i prati in genere devono quindi essere considerati come importanti habitat per la salvaguardia della biodiversità, non solo sotto l'aspetto vegetazionale e della comunità animale epigea ma anche di quella ipogea. I prati permanenti in particolare risultano avere la massima espressione di riserva di biodiversità.

Anche i frutteti e i vigneti (Fig.12 e Tab.16) hanno riportato valori decisamente interessanti sotto il profilo della ricchezza in comunità del suolo. I vigneti mostrano range compresi tra 123 e 239, con media 172 mentre i frutteti mostrano valori un più bassi rispetto ai vigneti, valore minimo 67, massimo 221 e valore medio 141. Entrambi questi usi del suolo risentono delle pratiche di gestione adottate e in particolare della presenza della copertura erbosa che crea un ambiente ipogeo molto simile al prato.

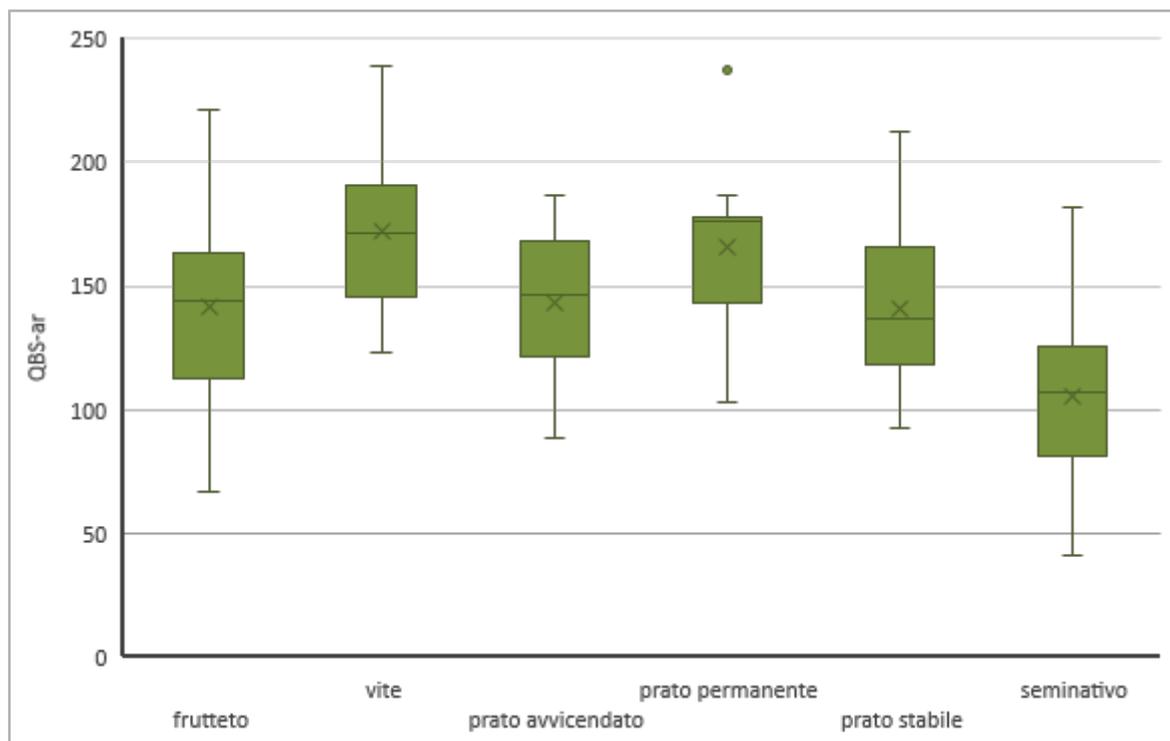


Figura 12 Rappresentazione tramite boxplot dei valori statistici di QBS-ar secondo l'uso del suolo

Uso	n° dati	Mean	Min	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)	Max	SD	CV
frutteto	21	141.5	67	116	144	163	221	42.96	0.304
vite	16	171.9	123	150	171.5	190.3	239	33.98	0.198
prato avvicendato	18	143.5	89	125.3	146.5	165	187	29.14	0.203
prato permanente	11	165.8	103	148.5	176	178	237	35.74	0.216
prato stabile	10	141.2	93	126	137	161.5	212	34.78	0.246
seminativo	52	105.3	41	82.5	107	124.5	182	31.55	0.299

Tabella 16 Valori statistici descrittivi del QBS-ar per uso del suolo

QBS-ar e suoli

Come anticipato nei precedenti paragrafi, i siti sono stati scelti anche in funzione della loro caratteristiche pedologiche con l'obiettivo di tentare una prima caratterizzazione dei suoli anche per l'aspetto della biodiversità edafica e per verificare l'influenza di alcuni caratteri del suolo sulla comunità edafica. I diversi tipi di suolo sono raggruppati in Gruppi Funzionali secondo le indicazioni riportate nelle tabelle 6 e 7 le cui caratteristiche sono sintetizzate nella tabella 10.

Tenuto conto della forte influenza dell'uso del suolo sull'indice QBS-ar si è proceduto all'analisi della varianza a due vie per mettere in relazione l'influenza del suolo in combinazione con l'uso. La ripartizione dei dati per Gruppi Funzionali e uso del suolo determina gruppi troppo poco numerosi per un'analisi statistica e si è quindi proceduto ad accorpate gli usi in sole tre categorie unendo tutti i tipi di prati in un'unica categoria "prati", nonché i frutteti e i vigneti nella categoria "arboree" e quindi i seminativi.

Dall'analisi della varianza (Tab.17) emerge che sia l'uso del suolo, come atteso, che il tipo di suolo determinano differenze significative dell'indice QBS-ar (p value <0.05); la significatività si perde nell'interazione tra suolo e uso del suolo (p value $=0.1386$), bisogna però tener presente la bassa e diversa numerosità dei dati all'interno delle singole categorie (Tab.18).

Tabella 17 Analisi della Varianza a due vie.

	Gradi di libertà	P
Uso	2	3.804e-11 ***
GF	5	0.0213 *
Uso × GF	8	0.1386
Residuals	112	-

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

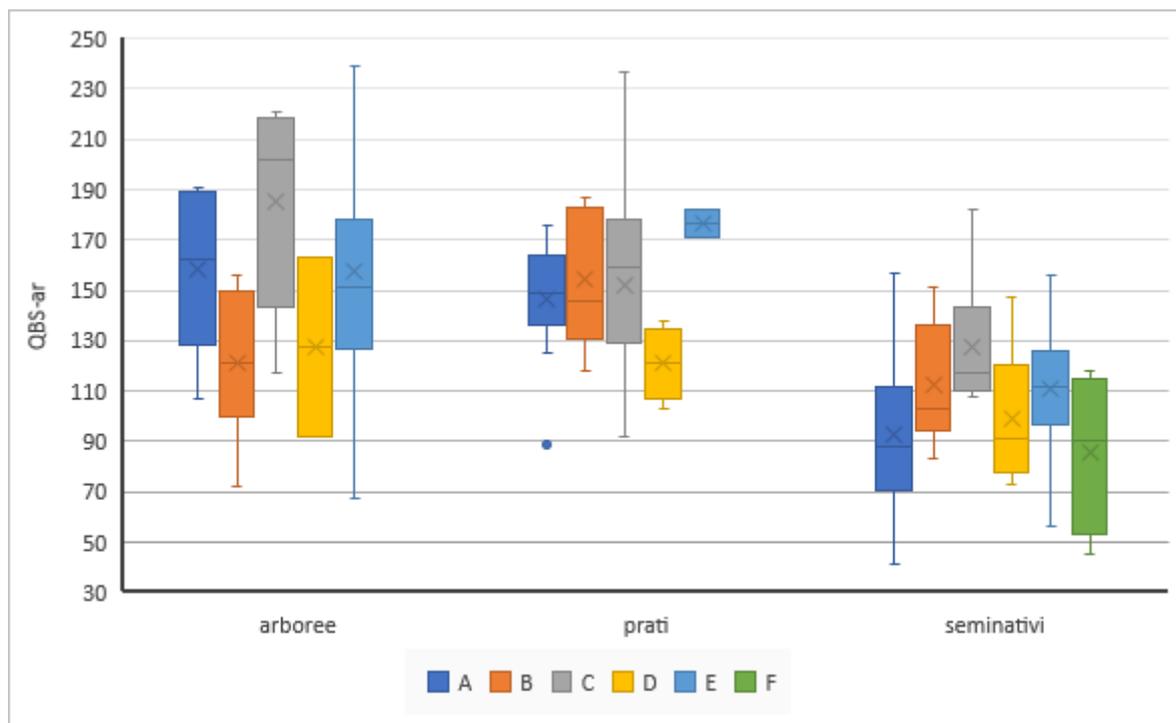


Figura 13 Rappresentazione tramite boxplot dei valori statistici di QBS-ar secondo i Gruppi Funzionali e l'uso del suolo

uso	Gruppo Funzionale	n° dati	Mean	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	Max	SD	CV
arboree	A	8	158.4	107	138.8	162.5	187.8	191	31.66	0.2
	B	6	121.2	72	110.8	121	142.5	156	30.16	0.249
	C	6	185.2	117	161.8	201.5	216.5	221	42.1	0.227
	D	2	127.5	92	109.8	127.5	145.3	163	50.2	0.394
	E	15	157.5	67	132.5	151	176.5	239	42.78	0.272
prati	A	9	146.2	89	147	149	157	176	26.01	0.178
	B	5	154.4	118	143	146	178	187	28.04	0.182
	C	19	152.3	92	130.5	159	177.5	237	39.48	0.259
	D	4	121	103	115.8	121.5	126.8	138	14.35	0.119
	E	2	176.5	171	173.8	176.5	179.3	182	7.778	0.0441
seminativi	A	17	92.53	41	73	88	111	157	33.64	0.364
	B	7	112.6	83	96.5	103	129	151	24.53	0.218
	C	11	127.7	108	111	117	135	182	23.78	0.186
	D	6	98.67	73	79.25	91	108.8	147	27.9	0.283
	E	7	111	56	101.5	112	125	156	30.73	0.277
	F	4	85.75	45	68.25	90	107.5	118	32.29	0.377

Tabella 18 Statistica descrittiva dell'indice QBS-ar secondo Gruppi Funzionali di suolo in relazione all'uso del suolo.

Per dettagliare la significatività delle differenze tra Gruppi Funzionali si è proceduto con un'analisi posthoc dei dati applicando il test di Tukey.

Tutti i valori di significatività tra gruppi sono riportati nella tabella 19, in grassetto i gruppi che si discostano con un p value <0.05.

	A	B	C	D	E
A	-	-	-	-	-
B	0.998	-	-	-	-
C	0.040	0.325	-	-	-
D	0.956	0.880	0.038	-	-
E	0.238	0.663	0.997	0.137	-
F	0.500	0.409	0.027	0.878	0.063

Tabella 19 Risultati dei confronti posthoc applicando il test di Tukey per le differenze dei valori di QBS-ar per Gruppi Funzionali del suolo.

Non vi è una chiara relazione tra il tipo di suolo e l'indice QBS-ar, l'unico GF che si discosta significativamente dagli altri è il gruppo C dei suoli a tessitura media. Il gruppo C è significativamente diverso dal gruppo dei suoli fini (GF A), dai suoli a tessitura media (GF D) e dai suoli a tessitura grossolana (GF F). Tale risultato è sicuramente influenzato anche dal fatto che il gruppo D è ben rappresentato dai prati diversamente dagli altri gruppi, in particolare il gruppo F ha pochi dati e questi sono riferiti ai soli seminativi (Tab.20).

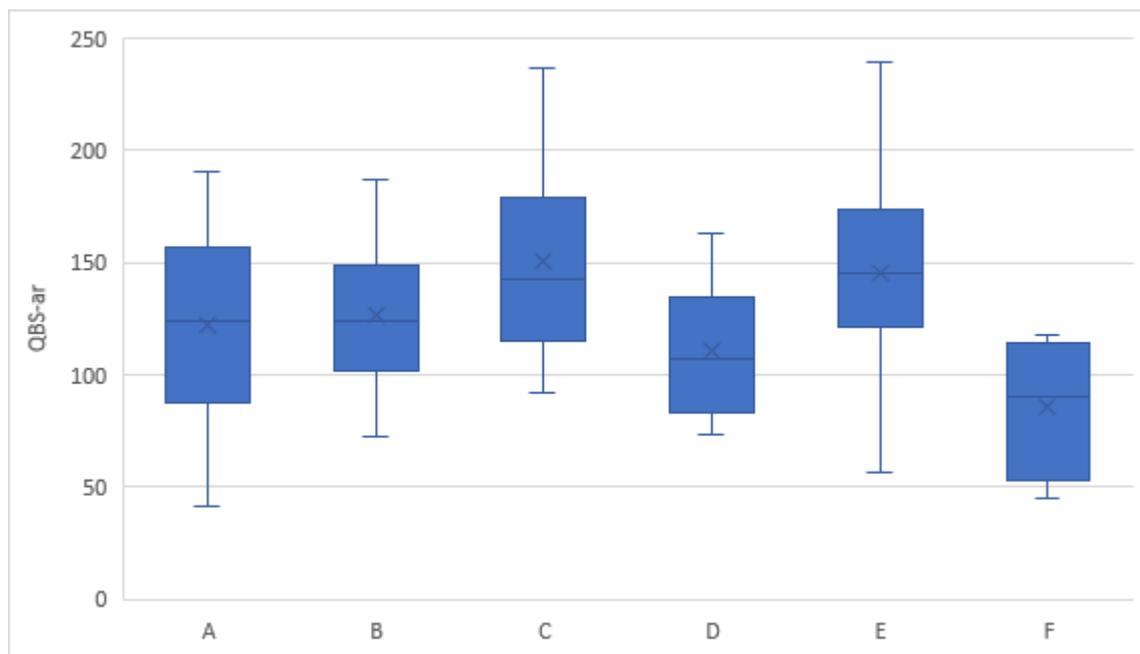


Figura 14 Rappresentazione tramite boxplot dei valori statistici di QBS-ar secondo i Gruppi Funzionali e l'uso del suolo

Gruppo Funzionale	n° dati	Mean	Min	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)	Max	SD	CV
A	34	122.2	41	88.25	124	124	191	43.05	0.352
B	18	127.1	72	104.5	124	124	187	31.36	0.247
C	36	150.3	92	116.5	142.5	142.5	237	39.84	0.265
D	12	110.9	73	89	107	107	163	28.43	0.256
E	24	145.5	56	122.5	145	145	239	43.61	0.3
F	4	85.75	45	68.25	90	90	118	32.29	0.377

Tabella 20 Statistica descrittiva dell'indice QBS-ar secondo i Gruppi Funzionali

QBS-ar e parametri chimico-fisici del suolo

Al fine di evidenziare una eventuale correlazione tra i valori di QBS-ar e i principali parametri chimico-fisici dei suoli è stato utilizzato il test di Kendall; come evidenziato dai grafici (Fig.15) non è emersa una chiara relazione tra i parametri considerati e l'indice.

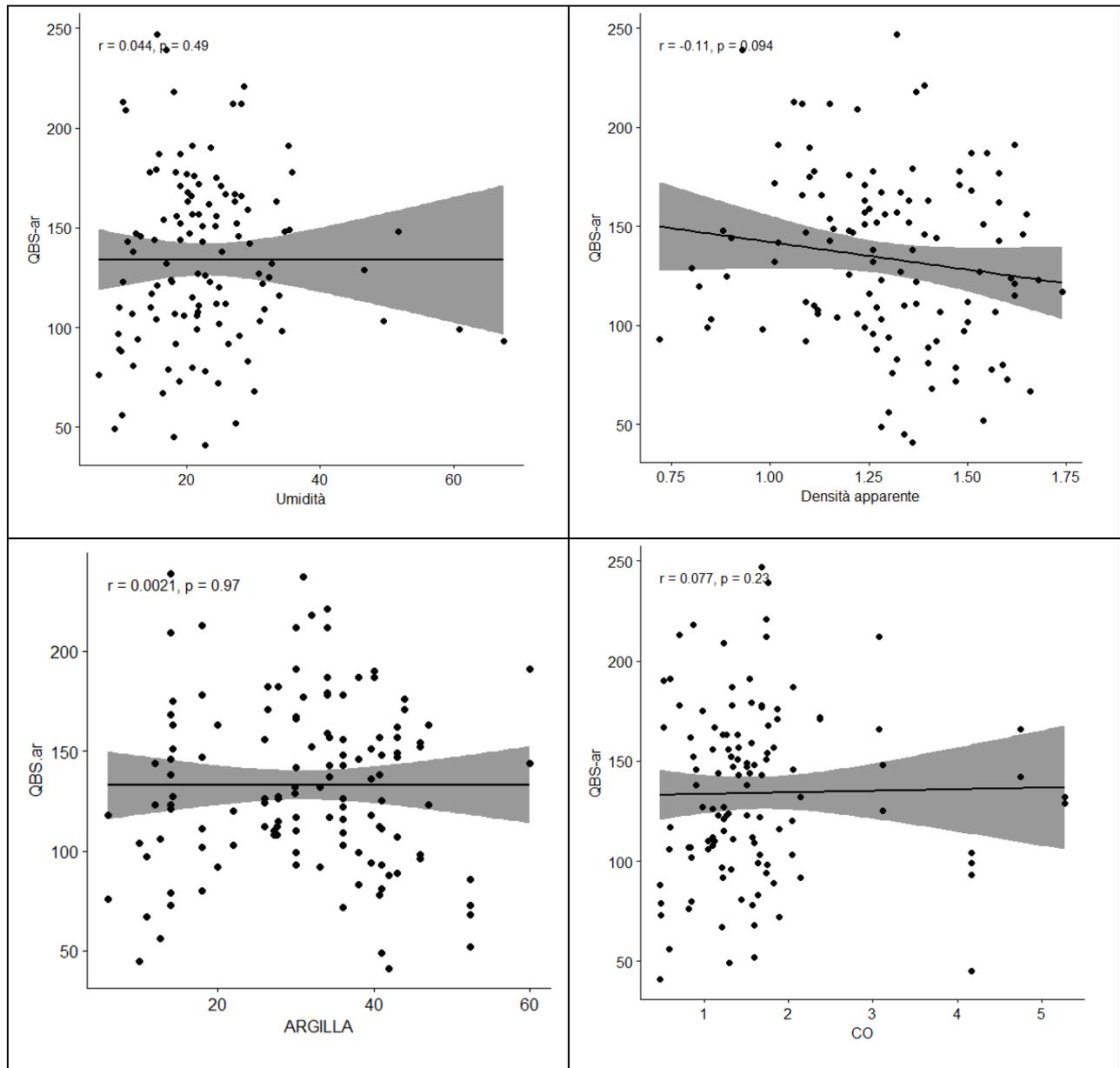


Figura 15 Correlazione tra parametri dei suoli e QBS-ar

QBR-ar e QBS-c

In tre siti a prato stabile è stata studiata anche la comunità dei collemboli per la determinazione dell'indice di qualità biologica QBS-c; i campionamenti sono stati eseguiti in due periodi dell'anno, primavera e autunno.

Come emerge dalla figura 16, i valori di QBS-c mostrano differenze interessanti a livello stagionale in due siti, mettendo in evidenza valori più elevati in primavera rispetto all'autunno; trend opposto si osserva nel sito M55.

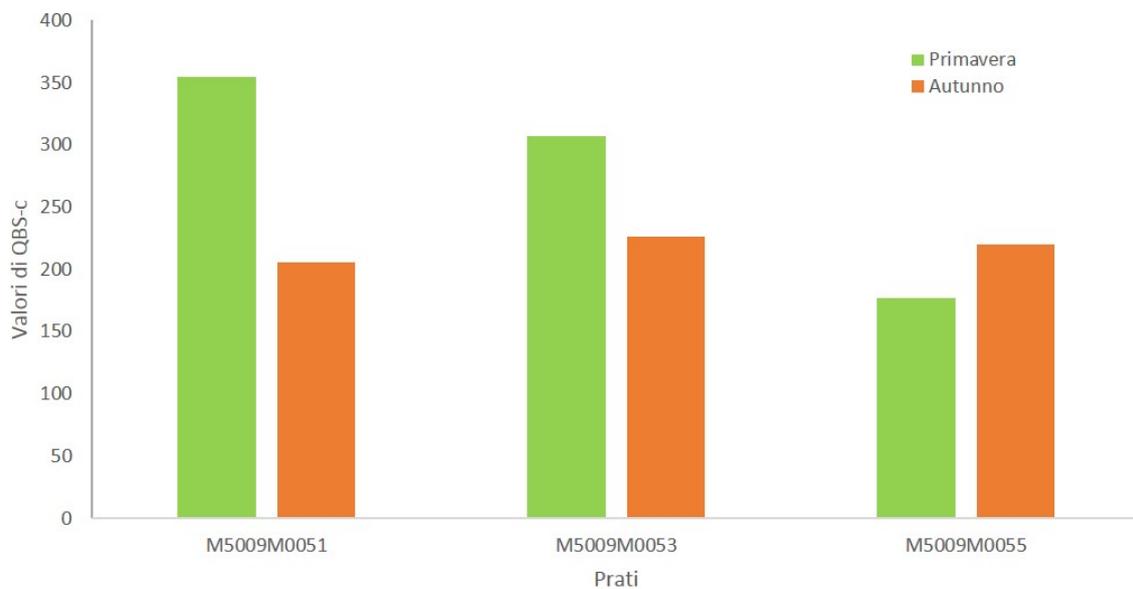


Figura 16 Valori di QBS-c osservati nei tre siti in cui l'uso era "Prato stabile" rispettivamente in primavera e in autunno.

Analizzando la comunità di collemboli riscontrata nei campioni, sono state rinvenute comunità in alcuni casi non particolarmente abbondanti nel numero di forme biologiche, ma ricche nel numero di individui presenti. Nell'ambito delle diverse forme biologiche sono stati osservati gruppi di collemboli estremamente adattati al suolo, quindi più vulnerabili, in tutti e tre i siti. Da quanto emerso si conferma come il prato stabile possa rappresentare un habitat in cui le condizioni di vita sono ottimali anche per gli organismi edafici che hanno maggiori esigenze.

Precisando che il numero di dati di QBS-c ottenuti in questo progetto è estremamente ridotto, effettuando il test di correlazione tra QBS-ar e QBS-c, non risultano correlazioni significative ($\tau=0.138$, $p=0.71$). Come si può notare nella figura 17, in effetti i due indici sembrano avere andamenti differenti nei tre siti considerati.

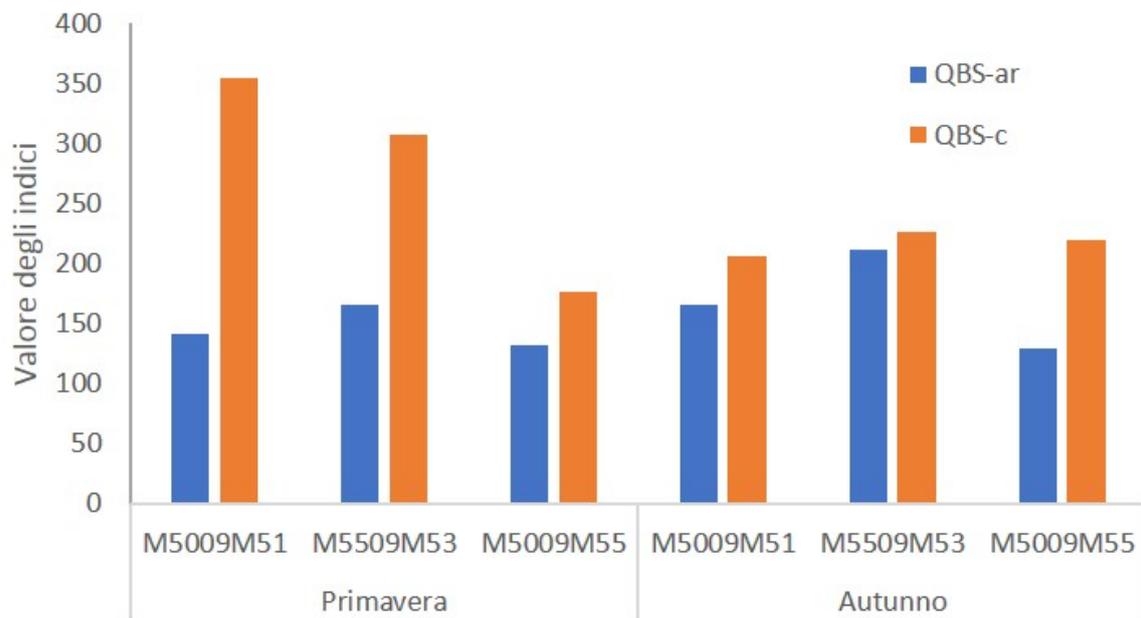


Figura 17 Valori di QBS-ar e QBS-c osservati nei tre siti coinvolti

Da questa trattazione, da considerarsi però del tutto preliminare dato il numero ridotto di dati, sembra emergere che i due indici siano da considerarsi complementari, cioè in grado di fornire indicazioni diverse. I collemboli sono un gruppo edafico strettamente influenzato dal tenore idrico del suolo. Pertanto, aumentando la banca dati di applicazione di questo indice sarà possibile capire se il QBS-c risulta più sensibile agli stress idrici del suolo rispetto al QBS-ar. Nell'applicazione dei due indici va comunque considerato che il QBS-ar è di più facile applicazione e richiede conoscenze tassonomiche minori e meno specializzate rispetto al QBS-c. Sarebbe interessante inserire entrambi gli indici in piani di monitoraggio mirati, in particolare in sistemi a buona-alta naturalità e riserva di biodiversità come i prati stabili.

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Lo studio condotto ha permesso una prima valutazione importante sulla qualità biologica dei suoli agricoli della Regione Emilia-Romagna.

I risultati ottenuti nelle due campagne di monitoraggio hanno messo in evidenza **l'influenza dell'uso del suolo** sulla qualità biologica dello stesso e sulla comunità di microartropodi edafici, come tra l'altro già ampiamente discusso in letteratura. L'applicazione di altri indici oltre il QBS-ar quali il numero di taxa presenti (NT), gli indici di diversità (H'), equiripartizione (J) e stabilità (A/C), permetterà di indagare la comunità vivente dei microartropodi con maggiore dettaglio, ottenendo indicazioni anche sui livelli di biodiversità.

Prendendo come riferimento il **valore soglia** pari a **93.7** individuato da Menta et al., 2018, nella elaborazione di dati raccolti da 41 articoli pubblicati su riviste internazionali che hanno applicato il QBS-ar in paesi europei e non, le cinque categorie di uso del suolo monitorate in questo studio si distribuiscono come valore medio tutte al di sopra del valore soglia.

Analizzando le singole categorie, nell'ambito dei seminativi il valore medio è molto prossimo al valore soglia (Menta et al., 2018) e numerosi dati ottenuti nei seminativi presentano valori di QBS-ar al di sotto del valore soglia per tutte e tre le repliche del sito corrispondente. Diversamente dai seminativi, i prati avvicendati, permanenti e stabili si posizionano al di sopra della soglia con una differenza in valore medio di 40-70 punti, con il valore massimo osservato nei prati permanenti. Frutteti e vigneti si confermano categorie particolarmente interessanti nella salvaguardia della biodiversità edafica avendo valori medi di QBS-ar superiori alla media di riferimento e decisamente comparabili con i prati. Da quanto osservato emerge quindi che la presenza di una copertura erbosa permanente, come viene riscontrata nei prati, in molti vigneti e frutteti, è un elemento chiave per il mantenimento di una comunità ad artropodi complessa e in grado di sostenere quasi tutti i taxa più vulnerabili. In effetti, i siti con un costante inerbimento (frutteti e vigneti) hanno messo in evidenza elevati valori dell'indice QBS-ar sia in primavera che in autunno, mentre i seminativi e i siti sottoposti a maggiori lavorazioni sono caratterizzati da comunità più semplici, con minori abbondanze e valori di QBS-ar più contenuti.

Come descritto nella sezione dei risultati, non sono emerse relazioni significative tra i valori di QBS-ar e i singoli parametri del suolo quali CO, densità apparente, umidità ecc. L'uso e la gestione del suolo hanno un impatto elevato sulla comunità edafica andando probabilmente a mascherare l'influenza del suolo, una maggiore numerosità di dati all'interno delle singole categorie di uso del suolo potrebbe evidenziare invece maggiore correlazione.

Per poter ottenere una mappa e un quadro il più possibile dettagliati della condizione dei suoli agricoli della Regione E-R, si rende necessario continuare l'attività di monitoraggio. Una banca dati più ampia e distribuita su lungo periodo (5-10 anni) consentirebbe la raccolta di un numero di dati sufficientemente ampio per stabilire, con un buon livello di precisione, i range di QBS-ar nelle quali un determinato uso del suolo è atteso e stabilire, qualora si abbia un nuovo dato, se ricade nel range previsto per l'uso di suolo corrispondente, potendo evidenziare situazioni di sofferenza o al contrario di ottima salute. Inoltre, con una banca dati più numerosa è possibile

stabilire all'interno delle categorie di uso del suolo quale gestione agricola risulta meno impattante sulla fauna del suolo e quale, soprattutto tra i seminativi, consentono una qualità biologica dei suoli più elevata.

I risultati fino ad ora ottenuti possono già definire un andamento ma in alcuni casi non può essere considerato ancora sufficientemente robusto, essendo i dati per alcune categorie ancora troppo limitati.

In questo piano di monitoraggio sono stati individuati come periodi di campionamento i due ottimali, primavera e autunno, in termini di numerosità e diversità per la fauna del suolo a microartropodi. Effettuare campionamenti in periodi sfavorevoli potrebbe essere un aspetto da inserire nei futuri piani di monitoraggio al fine di capire come si evolve la comunità, in termini di numerosità e vulnerabilità, proprio nei periodi di maggiore sofferenza a causa delle temperature molto alte o viceversa, basse e in relazione agli stress di umidità. Potrebbe essere interessante relazionare questi tipi di risposte con le caratteristiche chimico-fisiche del suolo, con le pratiche agricole con i trattamenti effettuati ecc. Infine, in particolare nei seminativi dove è stato osservato lo stato di sofferenza maggiore, si ritiene molto interessante poter comparare i dati di QBS-ar con le pratiche agricole effettuate almeno nei 2 mesi precedenti il campionamento. Questo studio sarebbe possibile solo predisponendo una scheda di campo-intervista all'agricoltore utile a raccogliere informazioni importanti per una corretta interpretazione del dato.

Dallo studio condotto nell'arco delle due annualità è emerso come il QBS-ar sia un indice sintetico in grado di fornire indicazioni della qualità biologica del suolo discriminando tra i diversi usi del suolo. Pertanto, questo indice può essere considerato un valido strumento da inserire in piani di monitoraggio territoriale su larga scala.

BIBLIOGRAFIA

- Altieri, M.A., 1999: "The ecological role of biodiversity in agroecosystems". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74: 19-31.
- Bachelier, G., 1986: "La vie animale dans le sol". ORSTOM, Paris.
- Backer, G.H., 1998: "Recognising and responding to the influences of agriculture and other land-use practices on soil fauna in Australia". *Applied Soil Ecology*, 9: 303-310.
- Bedano, J.C., Cantú, M.P., Doucet M.E., 2006: "Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina)". *European Journal of Soil Biology*, 42: 107-119.
- COM (Commission of the European Communities), 2006: "Thematic Strategy for soil protection". Document 231.
- Dale, V.H., Beyeler, S.C., 2001: "Challenges in the development and use of ecological indicators". *Ecological Indicators*, 1: 3-10.
- Dittmer, S., Schrader, 2000: "Longterm effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil". *Pedobiologia*, 44: 527-538.
- EU (European Union), 2001: "Biodiversity Action Plan for Agriculture". Brussels, 27 March 2001. COM 162 Vol. 3.
- Gardi, C., Menta, C., Leoni, A., 2008: "Evaluation of the environmental impact of agricultural management practices using soil microarthropods". *Fresenius Environmental Bulletin*, 17: 1165-1169.
- Hendrix, P.F., Parmelee, R.W., Crossley Jr, D.A., Coleman, D.C., Odum, E.P., Groffman, P.M., 1986: "Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems". *Bioscience*, 36: 374-380.
- Jeffery, S., Gardi, C., Jones, A., Montanarella, L., Marmo, L., Miko, L., Ritz, K., Peres, G., Römbke, J., van der Putten, W.H., eds, 2010: "European Atlas of Soil Biodiversity". Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Kassambara A., 2017: "Package ggpubr. 'ggplot2' Based Publication Ready Plots". <https://cran.r-project.org/web/packages/ggpubr/ggpubr.pdf>
- Knoepp J. D., Coleman D. C., Crossley Jr D. A., Clark J. S., 2000: "Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use". *Forest Ecology and Management*, 138: 357-368.
- Maharning, A.R.; Mills, A.A.; Adl, S.M., 2008: "Soil community changes during secondary succession to naturalized grasslands". *Applied Soil Ecology*, 41: 137-147.

- Marshall, V.G., 2000: "Impacts of forest harvesting on biological processes in northern forest soils". *Forest Ecology and Management*, 133: 43-60.
- Menta C., 2017. Soil Biodiversity: a pivotal element that sustains soil functions. Annual Congress on Soil Sciences, 4-5/12/2017, Madrid, Spain. Pp. 23. *Journal of Geology & Geophysics*, 6(6) (Suppl), DOI: 10.4172/2381-8719-C1-014. ISSN: 2381-8719.
- Menta C., Conti F.D., Pinto S., Bodini A., 2018. Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecol. Indic.* 85, 773-780.
- Menta, C., 2008: "Guida alla conoscenza della biologia e dell'ecologia del suolo. Funzionalità, Diversità biologica, indicatori". Gruppo Perdisa Editore/Airplane srl, Bologna: pp. 163-170.
- Menta, C., 2012: "Soil fauna diversity - function, soil degradation, biological indices, soil restoration". In: Lameed, G.A. (Ed.), *Biodiversity conservation and utilization in a diverse world*. InTech Published, Croatia.
- Menta, C., Leoni, A., Gardi, C., Conti, F.D., 2011b: "Are grasslands important habitats for soil microarthropod conservation?". *Biodiversity and Conservation*, 20: 1173-1087.
- Menta, C., Leoni, A., Tarasconi, T., Affanni, P., 2010: "Does compost use affect microarthropod soil communities?". *Fresenius environmental Bulletin*, 19: 2303-2311.
- Menta. C., Leoni, A., Conti, F.D., 2011a: "Il ruolo della fauna edafica nel mantenimento della funzionalità del suolo". In: Carmelo Dazzi (Ed.). *La percezione del suolo*. Brienza (PO), Le penseur, p. 179-183.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005: "Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis". Island Press, Washington.
- Paoletti M.G., Sommaggio D., Fusaro S., 2013: "Proposta di Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS-e) basato sui lombrichi e applicato agli agroecosistemi". *Biologia Ambientale*, 27(2): 25-43.
- Paoletti, M.G., Favretto, M.R., Stinner, B.R., Purrington, F.F., Bajer, J.E., 1991: "Invertebrates as bioindicators of soil use". *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 34: 341-362.
- Parisi, V., 1974: "Biologia e ecologia del suolo: tecniche di ricerca". Boringheri, Torino.
- Parisi, V., 2001: "La qualità biologica dei suoli, un metodo basato sui microartropodi". *Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense*, 37: 97-106.
- Parisi, V., Menta, C., 2008: "Microarthropods of the soil: convergence phenomena and evaluation of soil quality using QBS-ar and QBS-c". *Fresenius Environmental Bulletin*, 17 (8): 1170-1174.
- 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.

- Pielou, 1966: "The measurement of diversity in different types of biological collections". *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-144.
- Ponce, C., Bravo, C., García de León, D., Magaña, M., Alonso, J.C., 2011: "Effects of organic farming on plant and arthropod communities: a case study in Mediterranean dryland cereal". *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 141: 193-201.
- The R Foundation for Statistical Computing, 2017: R version 3.4.3 -- "Kite-Eating Tree". <https://www.r-project.org/>
- Sapkota, T.B., Mazzoncini, M., Bàrberi, P., Antichi, D., Silvestri, N., 2012: "Fifteen years of no till increase soil organic matter, microbial biomass and arthropod diversity in cover crop-based arable cropping systems". *Agronomy for sustainable development*, 32 (4): 853-863.
- Shannon, 1948: "A mathematical theory of communication". *Bell System Technical Journal*, 27: 379-423.
- Tabaglio, V., Gavazzi, C., Menta, C., 2008: "The influence of no-till, conventional tillage and nitrogen fertilization on physico-chemical and biological indicators after three years of monoculture barley". *Italian Journal of Agronomy*, 4: 233-240.
- Tabaglio, V., Gavazzi, C., Menta, C., 2009: "Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize". *Soil and Tillage Research*, 105: 135-142.
- UN/ECE (United Nations, Economic Commission for Europe). 2003: "Kyiv resolution on biodiversity". Fifth Ministerial Conference 'Environment for Europe', Kyiv, Ukraine, 21-23 May 2003. Document ECE/CEP/108.
- Usher M.B., Davis P., Harris J. and Longstaff B. 1979: "A profusion of species? Approaches towards understanding the dynamics of the populations of microarthropods in decomposer communities". In: *Populations dynamics*. Blackwell Scientific Publications, 359-384.
- van Straalen, 1998: "Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities". *Applied Soil Ecology*: 9, 429-437.
- van Straalen, N. M., 2004: "The use of soil invertebrates in ecological survey of contaminated soils". In: P. Doelman, H.J.P. Eijsackers (Eds.), *Vital Soil Function, Value and Properties*, Elsevier, pp. 99-125.
- Wardle, D.A., 1995: "Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices". In: Begon M., Fitter A.H. (eds) *Advances in Ecological Research*. Academic, New York, pp 105-185.

Precedenti lavori pubblicati sul QBS-ar

(in grassetto i lavori condotti da team internazionali)

Agricoltura

- 1) **Andrés et al., 2011. "Effects of digested, composted, and thermally dried sewage sludge on soil microbiota and mesofauna". *Applied Soil Ecology*, 48: 236-242**
- 2) Aspetti GP et al. 2010. "Assessment of soil-quality index based on microarthropods in corn cultivation in Northern Italy". *Ecological Indicators*, 10: 129-135
- 3) **Begum et al., 2010. "Influence of slope aspect on soil physico-chemical and biological properties in the mid hills of central Nepal". *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17: 438-443**
- 4) **Begum et al., 2014. "Seasonal dynamics and land use effect on soil microarthropod communities in the Mid-hills of Nepal". *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 5: 114-123**
- 5) Biaggini et al., 2011. "Effectiveness of the GAEC cross compliance standards rational management of set aside, grass strips to control soil erosion and vegetation buffers along watercourses on surface animal diversity and biological quality of soil". *Italian Journal of Agronomy*, 6: e14
- 6) Gardi et al., 2003. "Evaluation of land use and crop management impacts on soil quality: application of QBS methods". *Proceedings of the OECD Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators*, Rome.
- 7) Gardi et al., 2008. "Evaluation of the environmental impact of agricultural management practices using soil microarthropods". *Fresenius Environmental Bulletin*, 17: 1165-1169
- 8) Mazzoncini et al., 2010. "Comparison of organic and conventional stockless arable systems: a multidisciplinary approach to soil quality evaluation". *Applied Soil Ecology*, 44: 124-132
- 9) Menta C et al. 2010. "Does compost use affect microarthropod soil communities?", *Fresenius Environmental Bulletin*, 19: 2303-2311
- 10) Menta et al., 2015. "IBS-bf and QBS-ar comparison: two quantitative indices based on soil fauna community". *EC Agriculture*, 2.5: 427-439
- 11) Mocali et al., 2015. "Biodiversità e biomassa su ritirati dalla produzione. Report finale" *Italian Journal of Agronomy*
- 12) Mocali et al., 2015. "Efficacia dello Standard 4.2 di BCAA sulla biodiversità nei suoli agrari ritirati dalla produzione e valutazione del differenziale economico di competitività indotto dallo standard a carico delle aziende agricole (parte I)". *Italian Journal of Agronomy*, 10: 9pp.
- 13) Parisi et al., 2005. "Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105: 323-333

- 14) Raglione et al., 2011. "Effectiveness of the GAEC cross compliance standard Rational management of set aside (weed control through mowing) in assuring a minimum level of habitats maintenance". Italian Journal of Agronomy, 6: e13
- 15) Rüdisser et al., 2015. "The dark side of biodiversity: spatial application of the biological soil quality indicator (BSQ)". Ecological Indicators, 53: 240-246
- 16) Sapkota et al., 2012. "Fifteen years of no till increase soil organic matter, microbial biomass and arthropod diversity in cover crop-based arable cropping systems". Agronomy for Sustainable Development, 32: 853-863
- 17) Simoni et al., 2013. "Abundance and biodiversity of soil arthropods in one conventional and two organic fields of maize in stockless arable systems". Redia, XCVI: 37-44
- 18) Tabaglio et al. 2008. "The influence of no-till, conventional tillage and nitrogen fertilization on physico-chemical and biological indicators after three years of monoculture Barley". Italian Journal of Agronomy, 4: 233-240
- 19) Tabaglio et al. 2009. "Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize". Soil & Tillage Research, 105: 135-142
- 20) Talarico et al., 2006. "Valutazione della qualità biologica del suolo (QBS) in un agrumeto della provincia di Vibo Valentia". 16th Meeting of the Italian Society of Ecology, Viterbo/Civitavecchia 2006
- 21) Zucca et al., 2010. "Soil degradation by land use change in an agropastoral area in Sardinia (Italy)". Catena, 83: 46-54

Prati, boschi e ambienti naturali

- 1) Blasi et al., 2013. "Soil microarthropod communities from Mediterranean forest ecosystems in Central Italy under different disturbances". Environmental Monitoring and Assessment
- 2) Galli et al., 2014. "Is the QBS-ar index a good tool to detect the soil quality in Mediterranean areas? A cork tree *Quercus suber* L. (Fagaceae) wood as a case of study". Italian Journal of Zoology, 1-10
- 3) Gardi et al., 2002. "Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands". European Journal of Soil Biology, 38: 103-110
- 4) Menta et al., 2011. "Are grasslands important habitats for soil microarthropod conservation?". Biodiversity and Conservation, 20: 1073-1087
- 5) Menta et al., 2013. "The role and Diversity of soil fauna in different woodlands". In: Lazaro Manzanares (Ed.), Woodlands. Structure, Species diversity and Sustainable Management", 43-74
- 6) Menta et al., 2014. "Does the natural "microcosm" created by *Tuber aestivum* affect soil microarthropods? A new hypothesis based on Collembola in truffle culture". Applied Soil Ecology, 84: 31-37

- 7) Podrini et al., 2006. "Relationships between pedological matrix and soil mesofauna in the Natural Reserve of Decima-Malafede (Latium): a new approach and possible applications". 16th Meeting of the Italian Society of Ecology, Viterbo/Civitavecchia 2006
- 8) **Rybak, 2010. "The assessment of biological diversity of spruce forest degradation area based on arthropod communities". *Opera Corcontica*, 47: 239-246**
- 9) Testi et al., 2012. "Characterizing river habitat quality using plant and animal bioindicators: a case study of Tirino River (Abruzzo Region, Central Italy)". *Ecological Indicators*, 20: 24-33
- 10) Venanzi et al., 2016. "Silvicultural and logging impact on soil characteristics in Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) Mediterranean coppice". *Ecological Engineering*, 92: 82-89

Aree urbane, parchi cittadini, effetti del calpestio

- 1) **Elia et al., 2010. "Impacts of moose (*Alces alces*) at different simulated densities on ecomorphological groups of soil mesofauna". *Entomologica Fennica*, 21: 168-180**
- 2) Galli et al., 2015. "Assessment of the impact of trampling on soil Arthropoda in a Mediterranean habitat". *Acta Societatis Zoologicae Bohemica*, 79: 193-198
- 3) **Hartley et al., 2008. "Assessing biological indicators for remediated anthropogenic urban soils". *Science of the Total Environment*, 405: 358-369**
- 4) **Lakshmi and Joseph, 2016. "Soil microarthropods as indicators of soil quality of tropical home gardens in a village in Kerala, India". *Agroforestry Systems***
- 5) **Magro et al., 2013. "Soil functionality at the roadside: Zooming in on a microarthropod community in an anthropogenic soil". *Ecological Engineering*, 60: 81-87**
- 6) Maisto et al., 2016. "Relationship between *Quercus ilex* L. litter characteristics and soil microarthropod community in an urban environment at different climatic conditions". *Applied Soil Ecology*, 99: 98-109
- 7) Menta et al., 2008. "Nematode and microarthropod communities: comparative use of soil quality bioindicators in covered dump and natural soils". *Environmental bioindicators*, 3: 35-46

Cave, suoli ricchi di metalli pesanti o inquinati

- 1) **Hartley et al., 2011. "Planting woody crops on dredged contaminated sediment provides both positive and negative effects in terms of remediation". *Environmental Pollution*, 159: 3416-3424**
- 2) **Madej and Kozub, 2014. "Possibilities of using soil microarthropods, with emphasis on mites (*Arachnida*, *Acari*, *Mesostigmata*), in assessment of successional stages in a reclaimed coal mine dump (Pszóm, S Poland)**

- 3) **Madej et al., 2011. "Evaluation of Soil Biological Quality Index (QBS-ar): its sensitivity and usefulness in the Post-mining chronosequence- Preliminary research". Polish Journal of Environmental Studies, 20: 1367-1372**
- 4) Migliorini et al., 2004. "The effects of heavy metals contamination on the soil arthropod community of a shooting range". *Environmental Pollution*, 129: 331-340
- 5) Pellegrini et al., 2016. "Impact of mechanical mowing and chemical treatment on phytosociological, pedochemical and biological parameters in roadside soils and vegetation". *Ecotoxicology*
- 6) Santorufo et al., 2012. "Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality". *Environmental Pollution*, 161: 57-63
- 7) Semenzin et al., 2008. "Integration of bioavailability, ecology and ecotoxicology by three lines of evidence into ecological risk indexes for contaminated soil assessment". *Science of the Total Environment*, 389: 71-86
- 8) Visioli et al., 2013. "Metal toxicity and biodiversity in serpentine soils: application of bioassay tests and microarthropod index". *Chemosphere*, 90: 1267-1273
- 9) Wahsha et al., 2012. "Soil quality evaluation of spolic technosols. Case study from the abandoned mining site in Imperins Valley (Belluno, Italy)". *EQA. Environmental Quality*, 9: 1-9

