



Applicazione dell'Indice "Qualità Biologica Suolo - artropodi" (QBS-ar) in
Aziende Agricole della Riserva Naturale Regionale Sentina (San Benedetto
del Tronto, AP)

Relazione finale 2022



Università degli Studi di Camerino
Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria
Laboratorio Biodiversità del Suolo ed Agricoltura Sostenibile

Responsabile Scientifico:

Prof.ssa Antonietta La Terza

Campionamenti: Dr.ssa Martina Coletta e Dr. Aldo D'Alessandro

Elaborazioni: Dr.ssa Martina Coletta

Indice

1. Finalità generali del Progetto.....	3
2. Introduzione	4
2.1 Biodiversità e Salute del Suolo (<i>Soil Health</i>).....	4
3. Indice di Qualità Biologica del Suolo mediante artropodi (QBS-ar): generalità e approccio metodologico.....	6
3.1 Definizione dell'Indice di Qualità Biologica del Suolo mediante artropodi (QBS-ar) e caratterizzazione delle comunità di microartropodi del suolo.....	6
3.2 Spiegazione del metodo	7
4. Materiali e Metodi per le attività di Campo e Laboratorio.....	8
4.1 Identificazione delle Aziende Agricole e scelta dei siti di campionamento	8
4.2 Selezione dei siti di campionamento: seminativi avvicendati (SG1).....	9
4.3 Prelievo campioni di suolo per il QBS-ar (microartropodi).....	10
4.4 Estrazione dei microartropodi dal suolo e loro identificazione ed altri Indici.....	10
4.5 Densità Apparente (DA)	13
4.6 Raccolta campioni suolo per le analisi chimico-fisiche	15
4.7 Trattamento statistico dei dati.....	16
5. Risultati e Discussione	16
5.1 Sito n° 1 – FE1	17
5.2 Sito n° 2 – FE2	19
5.3 Sito n° 3 – RL1.....	20
5.4 Sito n° 4 – RL2.....	22
5.5 Confronto tra i siti: QBS-ar ed ulteriori parametri biologici.....	24
5.6 <i>Boxplots</i> relativi agli Indici di Biodiversità	25
5.7 Confronto tra valori di QBS-ar totale, QBS-ar parziale e QBS-ab.....	26
5.8 <i>Heatmaps</i> e forme biologiche.....	28
5.9 Parametri chimico-fisici	30
5.10 Analisi di Correlazione di Spearman	31
5.11 Densità apparente (DA) e porosità	32
6. Conclusione e prospettive future.....	33
7. Bibliografia.....	34

1. Finalità generali del Progetto

L'attuazione del Progetto "Applicazione dell'Indice "Qualità Biologica Suolo - artropodi" (QBS-ar) in Aziende Agricole della Riserva Naturale Regionale Sentina (San Benedetto del Tronto, AP)" ha previsto l'applicazione del sopracitato Indice per attuare una prima "misura" della qualità biologica dei suoli agricoli, appartenenti a due diverse Aziende Agricole, presenti all'interno della Riserva con particolare riferimento all'analisi della struttura della comunità dei microartropodi (Indice QBS-ar) e considerando due diverse stagioni: primavera ed autunno.

Le due Aziende Agricole selezionate nell'ambito del presente studio, si caratterizzano per la diversa intensità di alcune pratiche agricole (es. profondità di aratura, tasso di fertilizzazione, impiego di fitofarmaci, rotazioni colturali), e rappresentano, pertanto, un buon "modello" ai fini del confronto dello stato di "salute" dei loro suoli, col fine ultimo di identificare eventuali *best practices* maggiormente rispettose della biodiversità edafica (e non solo), possibilmente da adottare ed estendere anche alle altre Aziende presenti nella Riserva.

Le attività a carico della Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria dell'Università degli Studi di Camerino si sono svolte presso il laboratorio di Biodiversità del Suolo ed Agricoltura Sostenibile di cui la Prof.ssa Antonietta La Terza è responsabile.

Il progetto ha avuto una durata di 12 mesi e le attività di campionamento sono state effettuate nelle due stagioni favorevoli al campionamento, la primavera e l'autunno.

2. Introduzione

2.1 Biodiversità e Salute del Suolo (*Soil Health*)

Il suolo è da considerare come una risorsa limitata e non rinnovabile poiché i processi che portano alla sua degradazione (es. gestioni agricole non sostenibili, ecc.) possono instaurarsi molto rapidamente (determinando la perdita delle sue capacità funzionale). Al contrario sia i processi di formazione che di rigenerazione del suolo, necessitano di tempi estremamente lunghi e non percepibili su una scala temporale umana. A titolo di esempio, la formazione di 1 cm di suolo fertile richiede migliaia di anni. A livello mondiale la superficie di suolo coltivabile si sta sempre più riducendo principalmente a causa, dell'incremento delle attività antropiche, tra le quali l'intensificazione agricola, il cambiamento di uso del suolo, ed anche in relazione ad una sempre più impetuosa crescita demografica, con conseguente richiesta di quantità maggiori di cibo, energia e materie prime. In maniera diretta e indiretta circa il 95% del nostro cibo (fibre ed altro) arriva dal suolo e dalla sua biodiversità (FAO, 2015).

Il suolo nasconde al suo interno un'enorme riserva di biodiversità, ed anch'essa subisce gli effetti negativi dell'antropizzazione. Si parla del suolo come un "vital living system" (Bertola *et al.*, 2021) e degli organismi che lo abitano come una potenziale (e ancorché poco conosciuta) *nature-based solution*, in grado cioè di garantire numerosi servizi ecosistemici *soil-based* essenziali ai fini del benessere umano, tra cui: il riciclo dei nutrienti (*nutrient cycling*) a supporto della crescita e produttività delle piante, la formazione del suolo ed il miglioramento della sua struttura, la capacità di contrastare vari parassiti e malattie (FAO, 2020) (**Fig.1**).

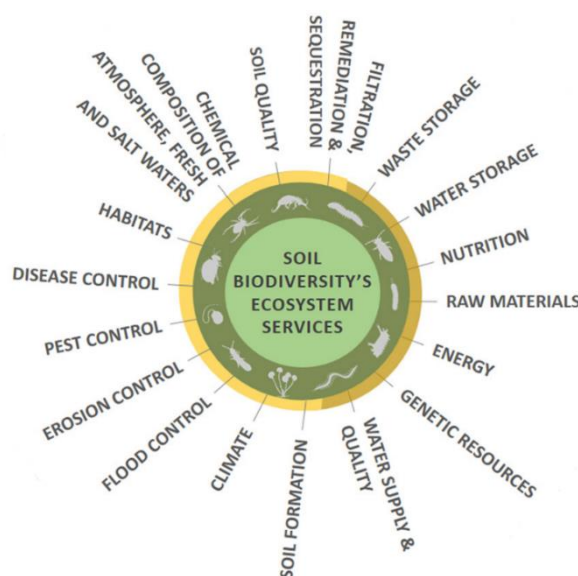


Fig.1 – Biodiversità del suolo e servizi ecosistemici. I servizi ecosistemici sono al centro delle misure di conservazione del suolo, compresi i servizi ecosistemici rilevanti per il suolo secondo la classificazione internazionale comune dei servizi ecosistemici (Paul *et al.*, 2021). I servizi si dividono in servizi di regolazione (giallo chiaro) e servizi di fornitura (giallo scuro). Adattato da Koninger *et al.*, 2022.

Un prerequisito affinché questi servizi possano essere espletati è che il suolo sia in "salute" (cioè funzionale); il deterioramento della condizione di salute del suolo comporta conseguenze di vasta portata sia per la sicurezza alimentare, che per l'integrità degli ecosistemi e la fruizione dei benefici multipli per l'essere umano.

A questo riguardo la "Salute del Suolo" è stata definita come: "...quel suolo in grado di sostenere la produzione di cibo e fibre, ad un livello e con una qualità sufficiente da soddisfare le richieste umane, insieme ad una continua fornitura di altri servizi ecosistemici che sono essenziali per il mantenimento della qualità della vita e la conservazione della biodiversità" (Kibblewhite *et al.*, 2008).

A livello comunitario, l'UE attraverso l'*European Green Deal*, ha posto particolare attenzione alla conservazione del suolo, in particolare, con le strategie *Farm to Fork*, *Biodiversity2030* e *Zero Pollution Action Plan*. Inoltre, la UE ha sottolineato l'importanza della protezione del suolo attraverso la *Soil Thematic Strategy* e più recentemente con il suo aggiornamento: *EU Soil Strategy*, mentre *Horizon Europe* attraverso la missione *Soil Health and Food*, e lo slogan «*Caring for soil is caring for life*», ha evidenziato il nesso tra salute del suolo e qualità degli alimenti, ed ancor più la con la recente *Common Agricultural Policy (CAP)* si è posta l'attenzione sull'importanza di una gestione agricola sostenibile. Le differenti pratiche di gestione agricola, difatti, hanno dimostrato avere un diverso grado di impatto sugli organismi del suolo, sia in termini qualitativi (struttura/composizione delle comunità biologiche) che quantitativi. In particolare, sia le tipologie di lavorazione dei suoli, soprattutto in relazione alla profondità cui vengono effettuate - come ad es. l'aratura convenzionale (*tillage*) - che le tecniche (modalità e tipologia di concimi minerali o organici) di concimazione esercitano una profonda influenza sulla biodiversità del suolo, e di conseguenza sui servizi multipli che essa sostiene. Negli ultimi tempi l'importanza del ruolo funzionale della biodiversità del suolo negli agroecosistemi è stata ampiamente riconosciuta a livello Internazionale (vedasi ad es. il rapporto 2010 della Commissione Europea DG ENV "*Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers*" disponibile sul sito http://ec.europa.eu/environment/soil/publications_en.htm). Ulteriori iniziative e progettualità a livello nazionale hanno enfatizzato e portato all'attenzione sia del largo pubblico che quello più specialistico l'importanza del suolo e della sua biodiversità, tra cui, ad esempio, il programma REMO relativo alla costituzione di un tavolo tecnico presso ISPRA (Roma) al fine di costituire una rete nazionale di monitoraggio della biodiversità e del degrado dei suoli italiani (AAVV, 2012) e a livello regionale il progetto MOSYSS (*MONitoring SYstem of Soils at multiScale - Monitoring system of physical, chemical and biological soil parameters in relation to forest and agricultural land management*) della Regione Marche (Tiberi *et al.*, 2015 e A. La Terza, M. Tiberi, manoscritto in preparazione).

L'identificazione di indicatori (chimici, fisici e soprattutto biologici) in grado di fornire indicazioni riguardanti la condizione di salute del suolo e la sua capacità di espletare i vari processi e funzioni è pertanto di fondamentale importanza. La componente biologica del suolo nel corso del tempo si è affermata come uno degli elementi/proprietà chiave da valutare per ottenere informazioni rilevanti in tal senso, e alla più comune analisi della componente chimico-fisica. Sono stati sviluppati diversi indici di qualità biologica dei suoli basati sul monitoraggio di alcuni gruppi (taxa) di organismi del suolo. Tra gli indici di qualità biologica maggiormente utilizzati in Italia, il QBS-ar (Qualità Biologica del Suolo riferita agli artropodi) analizza la struttura delle comunità di microartropodi del suolo (Parisi *et al.*, 2005), ed è stato applicato nel presente Progetto.

3. Indice di Qualità Biologica del Suolo mediante artropodi (QBS-ar): generalità e approccio metodologico

3.1 Definizione dell'Indice di Qualità Biologica del Suolo mediante artropodi (QBS-ar) e caratterizzazione delle comunità di microartropodi del suolo

L'Indice di Qualità Biologica del Suolo mediante artropodi (QBS-ar) (Parisi *et al.*, 2005) permette di fornire un'indicazione riguardo la condizione di salute del suolo attraverso l'indagine dello stato della sua mesofauna, cioè della fauna edafica comprendente tutti gli artropodi di dimensioni inferiori a 2mm (Fig.2).

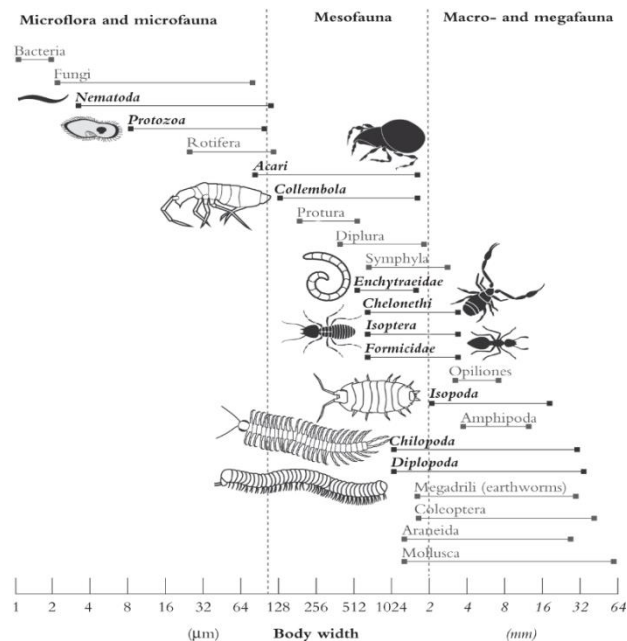


Fig.2 - Una classificazione schematica del biota del suolo basata sulla dimensione del corpo. Modificato da Swift, Heal e Anderson, 1979.

Attualmente, l'Indice è in fase di standardizzazione avanzata a cura del Gruppo di Lavoro "QBS-ar" attivato nell'ambito della Società Scienza del Suolo (SISS). L'obiettivo finale del GdL è quello di promuovere sia a livello nazionale che internazionale, l'uso dell'Indice in particolare per valutare la sostenibilità delle varie pratiche agricole. L'Indice si basa sul riconoscimento dei diversi gruppi di artropodi (acari, collemboli, isopodi, pauropodi, etc.) e sull'attribuzione a ciascuna Forma Biologica (FB) di un valore EMI (Indice Eco-morfologico) il cui punteggio è compreso tra 1 e 20, in relazione al grado di adattamento al suolo (es. da EMI 1 per le forme epigee non adattate al suolo a EMI 20 per forme maggiormente adattate al suolo anche dette Forme Euedafiche, FE) (Fig.3). Ad ogni forma biologica (FB) viene associato il corrispondente valore EMI ed in caso di più individui appartenenti allo stesso taxon con valori EMI differenti come nel caso ad es. dei collemboli (con valori di EMI da 1 a 20), si considera per il calcolo finale dell'Indice QBS-ar il valore EMI più alto. La somma degli EMI fornisce il valore finale di QBS-ar. L'Indice, si fonda, su un'assunzione molto semplice: più alta è la qualità del suolo, maggiore sarà il numero di gruppi di microartropodi ben adattati alla vita nel suolo (Parisi *et al.*, 2005). Tale adattamento viene valutato attraverso l'osservazione di alcuni specifici caratteri morfologici come: riduzione o perdita di pigmentazione e apparato visivo, forma corporea

maggiormente affusolata, con appendici ridotte e più compatte, riduzione o perdita di adattamenti al volo, al salto o alla corsa (Parisi, 1974). Inoltre, è importante evidenziare come l'Indice QBS-ar nella sua forma originale sia un indice qualitativo (non valuta cioè l'abbondanza delle varie FB) e non quantitativo.

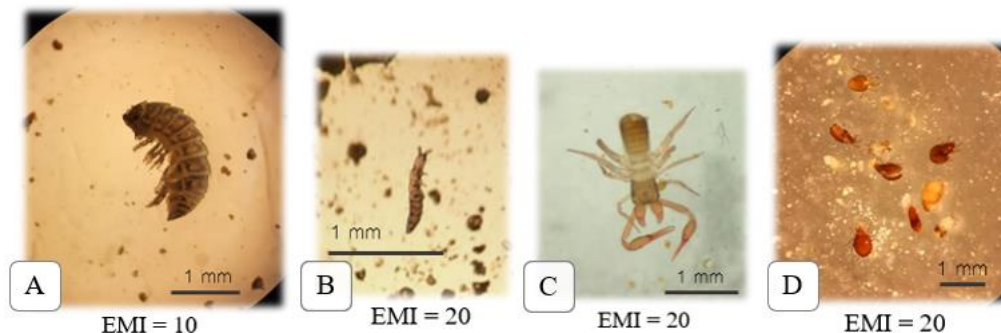


Fig.3 - Microfotografie scattate allo stereoscopio di varie forme biologiche (FB) riscontrate nei campioni di suolo provenienti dalle Aziende agricole della Sentina e relativo valore EMI. Barra= 1mm. **A.** Isopode, **B.** Collembolo, **C.** Pseudoscorpione, **D.** Acari.

3.2 Spiegazione del metodo

Le fasi principali del metodo QBS-ar sono: (1) campionamento, (2) estrazione dei microartropodi, (3) determinazione delle Forme Biologiche, (4) calcolo dell'Indice QBS-ar. Nel presente Progetto non è stato adottato il classico approccio qualitativo, bensì quello quantitativo, cioè per ogni taxon rilevato è stato registrato il numero di individui presenti in ogni campione, in questo modo lo studio è stato implementato con la valutazione della densità e delle abbondanze dei vari gruppi di artropodi, che hanno consentito anche il calcolo dell'Indice QBS-ab, una recentissima ri-formulazione del QBS-ar che considera anche l'abbondanza dei vari gruppi (Mantoni *et al.*, 2021). A questo riguardo, i siti in cui è stato applicato il nuovo Indice QBS-ab, sono molto pochi se confrontati con i siti in cui è stato applicato l'indice qualitativo originale (QBS-ar) dagli anni 2000 in poi. Inoltre, il QBS-ab attualmente è stato applicato non facendo distinzioni tra le stagioni e pertanto la sua applicazione nel presente studio che ne prevede l'applicazione sia nella stagione primaverile che autunnale, fornirà un'opportunità preziosa per poter confrontare la *performance* dei due Indici su base stagionale e rilevarne eventuali differenze ai fini della descrizione della qualità biologica degli agroecosistemi (seminativi) valutati. In ogni caso e indipendentemente dal metodo QBS-ar o QBS-ab applicato, il protocollo prevede che in ogni stazione oggetto di studio venga individuata un'area omogenea per pendenza, esposizione e copertura vegetale, entro la quale vengono prelevati 3 campioni di suolo (repliche A, B, C) di 10x10x10 cm. Successivamente i campioni vengono portati in laboratorio e posti (entro 24 ore) in un selettore di Berlese-Tullgren per effettuare l'estrazione dei microartropodi (tempo minimo di selettura: 7 giorni, max 15 giorni). Terminata l'estrazione, si procede all'esame del contenuto in microartropodi in ogni campione/replica e alla separazione degli individui in gruppi omogenei dal punto di vista morfologico (Forme Biologiche, FB). Tale ripartizione, come riportato in precedenza, viene effettuata in relazione ai caratteri di adattamento, che consentono di associare ad ogni gruppo un valore numerico definito Indice Ecomorfologico (EMI; Parisi, 2001; Parisi *et al.*, 2005). Come anticipato la somma degli EMI fornisce, il valore finale di QBS-ar e che in questo report verrà definito come QBS-ar totale (oltreché ai valori di QBS-ar parziali riferiti alle tre repliche).

In relazione all'ambiente considerato (agroecosistema o sistema naturale) e del valore registrato di QBS-ar totale viene attribuito al suolo in esame un valore di qualità.

SEMINATIVI E COLTURE ERBACEE		COLTURE ARBOREE E VIGNETI		AMBIENTI NATURALI, BOSCHI, PRATI-PASCOLI	
Valore QBS-ar	Qualità	Valore QBS-ar	Qualità	Valore QBS-ar	Qualità
>120	Ottimo	>160	Ottimo	>200	Ottimo
101-120	Buono	141-160	Buono	171-200	Buono
81-100	Discreto	121-140	Discreto	151-170	Discreto
61-80	Sufficiente	101-120	Sufficiente	131-150	Sufficiente
41-60	Modesto	81-100	Modesto	111-130	Modesto
31-40	Scadente	61-80	Scadente	91-110	Scadente
<30	Nulla	<60	Nulla	<90	Nulla

Tab.1 - Suddivisione dei valori di QBS-ar in intervalli e corrispettivo giudizio di qualità, relativamente ai diversi ambienti (Menta *et al.*,2011).

La **Tab.1** riporta la suddivisione dei valori di QBS-ar ed il corrispettivo giudizio di qualità, relativamente a diversi ambienti (Menta *et al.*, 2011). Per quanto riguarda il calcolo del QBS-ab quantitativo è importante evidenziare come esso non restituisca un valore QBS-ab complessivo per le tre repliche come nel caso del QBS-ar (totale), ma solo valori riferiti a ciascuna delle tre repliche (A, B, C). Pertanto, il confronto con il QBS-ar qualitativo verrà effettuato considerando i tre valori dei QBS-ar parziali come effettuato in Mantoni (2021).

4. Materiali e Metodi per le attività di Campo e Laboratorio

4.1 Identificazione delle Aziende Agricole e scelta dei siti di campionamento

L'identificazione delle Aziende Agricole è stata resa possibile grazie alla collaborazione del Dott. Stefano Chelli, consulente tecnico-scientifico della Riserva Naturale Sentina. La partecipazione delle Aziende è stata su base volontaria. Le due Aziende partecipanti: l'Azienda Agricola Fattoria Ferri e l'Azienda Agricola SelvaGiurata hanno entrambe messo a disposizione due appezzamenti agricoli per la definizione dell'Indice QBS-ar totale per un totale di quattro siti monitorati. Nell'immagine satellitare, ottenuta da *Google Earth*, sono evidenziati in rosso gli appezzamenti considerati, mentre il punto di campionamento è indicato dalla puntina in giallo (**Fig.4**). Tali siti, trovandosi in prossimità l'uno dell'altro, non subiscono l'effetto di variabilità legata a differenze climatiche e geospaziali, che pertanto non sono state considerate nel presente studio. L'attività di monitoraggio è stata svolta su uno dei sistemi di gestione agronomica più diffusi nella Regione Marche e più dinamici; l'SG1 (Seminativo avvicendato senza foraggio). Per tale sistema di gestione a livello regionale si dispone di un'ampia base dati per l'Indice QBS-ar, al fine di effettuare confronti (Prog. MOSYSS - Prof. Antonietta La Terza, UniCam e Dott.re Mauro Tiberi, Osservatorio Regionale Suoli). In questa prima fase sono state richieste, agli agricoltori coinvolti, informazioni relative alle varie pratiche di gestione agricola (es. fertilizzazione, lavorazioni del suolo/*tillage*, uso di fitofarmaci, rotazioni colturali ecc.) attuate nelle loro aziende al fine di poter meglio interpretare il risultato dell'Indice. A questo riguardo, ai proprietari è stata richiesta la compilazione di un'apposita Scheda Aziendale in cui poter annotare le informazioni relative alle pratiche di gestione agricola degli ultimi tre anni negli appezzamenti considerati, in



Fig.4 - Immagine satellitare della Riserva Naturale Sentina ottenuta da Google Earth dove è evidenziato il perimetro degli appezzamenti analizzati ed il punto di campionamento.

modo da poter meglio interpretare eventuali differenze tra gli stessi eventualmente riconducibili a pratiche agricole diverse. (**Allegato 1 – Schede Aziendali**). La tabella seguente (**Tab.2**) riporta in maniera sintetica i codici impiegati nel presente studio, il sistema gestionale, la conduzione delle Aziende Agricole e le date di campionamento.

N° Sito	Codice Azienda	Denominazione dell'Azienda	Sistema gestionale	Conduzione	Date campionamento	Sigla campione
1	FE	Az. Agr. Fattoria Ferri	Seminativo	Convenzionale	16/06/2021 e 28/09/2021	FE1-16062021 e FE1-28092021
2	FE	Az. Agr. Fattoria Ferri	Seminativo	Convenzionale	16/06/2021 e 28/09/2021	FE2-16062021 e FE2-28092021
3	RL	Az. Agr. SelvaGiurata	Seminativo	Convenzionale	16/06/2021 e 28/09/2021	RL1-16062021 e RL1-28092021
4	RL	Az. Agr. SelvaGiurata	Seminativo	Convenzionale	16/06/2021 e 28/09/2021	RL2-16062021 e RL2-28092021

Tab.2 - Siti di monitoraggio per la misura delle componenti chimico-fisiche e biologiche del suolo (QBS-ar).

4.2 Selezione dei siti di campionamento: seminativi avvicendati (SG1)

Come riportato precedentemente, il campionamento di suolo è stato effettuato in due appezzamenti per ogni Azienda Agricola coinvolta. Sono stati effettuati due campionamenti in due diverse stagioni, primavera (16/06/2021) ed autunno 2021 (28/09/2021) (**Allegato 2 - Foto rappresentative delle Aziende Agricole in primavera ed autunno**). In ogni appezzamento e per ogni stagione, contestualmente al campionamento, sono stati rilevati parametri ambientali (temperatura atmosferica e del suolo, umidità del suolo), sono stati prelevati campioni di suolo per la valutazione dell'Indice QBS-ar, per la determinazione della densità apparente e per lo svolgimento di analisi chimico-fisiche. Nel corso dei campionamenti, inoltre, sono state registrate le coordinate geografiche precise del punto di campionamento, sono stati effettuati rilievi fotografici per ciascun

punto e compilate le schede di rilevamento, comprendenti anche informazioni sulla copertura del suolo e sulla vegetazione presente. In allegato il modello della scheda di rilevamento (**Allegato 3 – Scheda di Rilevamento**). In accordo con D'Avino (2002), l'area di campionamento è stata scelta in aree omogenee in quanto a copertura e caratteristiche del suolo, e rappresentative dell'ecosistema in esame e della comunità di microartropodi. Affinché ciò sia garantito, è bene assicurarsi dell'assenza di situazioni locali che alterino la struttura del popolamento, come, ad esempio, la presenza di un formicaio o compattamenti del terreno o ristagni idrici. Nel presente progetto, al fine di poter conferire una valutazione generale della condizione di qualità biologica dei siti analizzati, si è considerato il punto centrale di ogni appezzamento.

4.3 Prelievo campioni di suolo per il QBS-ar (microartropodi)

Il campionamento di suolo per la determinazione dell'Indice QBS-ar è stato effettuato nella porzione centrale dei campi considerando in quest'area un quadrato di dimensione 10 x 10 m. Il campione, composto da 3 repliche (A, B, C), è stato prelevato lungo un transetto lineare corrispondente alla diagonale (circa 14 m) del quadrato, in accordo con il disegno di campionamento del progetto MOSYSS della Regione Marche (**Fig.5 A**). Sostanzialmente, le repliche sono state raccolte in corrispondenza degli angoli opposti e al centro del quadrato, lungo la suddetta diagonale, distanziate l'una dall'altra per circa 7 m. Mediante l'impiego di una vanga, in corrispondenza dei 3 punti, sono stati prelevati dei cubi di suolo di dimensione 10 x 10 cm ad una profondità di 10 cm (**Fig.5 B**). Ognuna delle tre repliche di suolo è stata singolarmente trasferita in una busta di plastica (**Fig.5 C**) nella quale è stato inserito un cartellino identificativo del campione/replica e trasportata in laboratorio entro le 24 ore.



Fig.5 - Prelievo suolo per la determinazione del QBS-ar -**A.** Raffigurazione dell'organizzazione spaziale del campionamento QBS-ar, secondo MOSYSS. **B.** Prelievo di un cubo di suolo 10x10x10 per QBS-ar tramite vanga. **C.** Cubo di suolo 10x10x10 appena prelevato ed inserito in busta di plastica.

4.4 Estrazione dei microartropodi dal suolo e loro identificazione ed altri Indici

Una volta arrivati in laboratorio i campioni di suolo (3repliche per ogni sito) sono stati posti (entro 24 ore) nel selettore di Berlese-Tullgren (**Fig.6 A**) per effettuare l'estrazione dei microartropodi. Terminata l'estrazione, si è proceduto all'esame allo stereoscopio del contenuto in microartropodi in ogni campione (selettura) (**Fig.6 B - C**) e alla separazione degli individui in gruppi omogenei dal punto di vista morfologico (Forme Biologiche, FB). Tale ripartizione è effettuata in relazione ai caratteri di adattamento, che consentono di associare ad ogni

gruppo un valore numerico definito Indice Ecomorfologico (EMI; Parisi, 2001; Parisi *et al.*, 2005). La somma degli EMI fornisce il valore di QBS-ar.

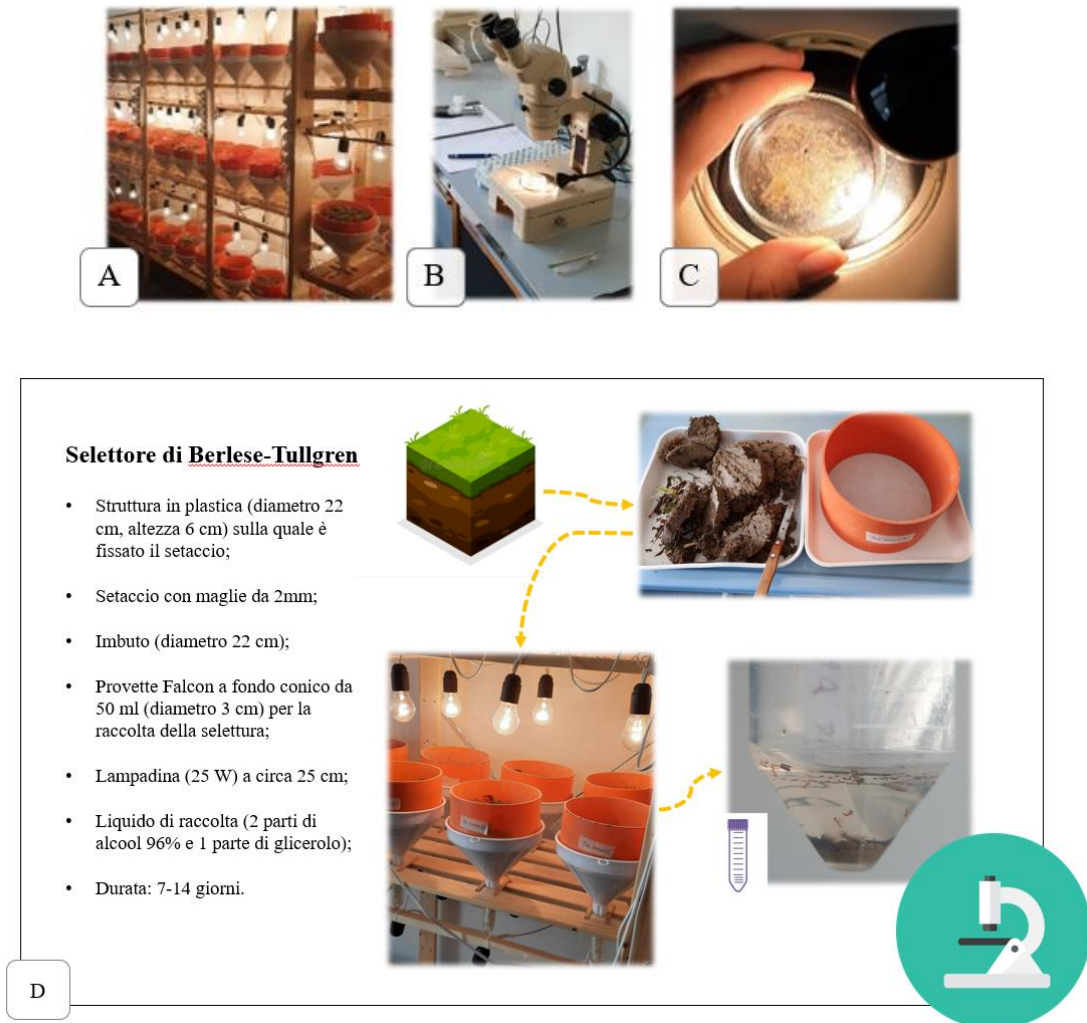


Fig.6 - Estrazione dei microartropodi ed analisi della selettura - **A**. Il selettore di Berlese-Tullgren presente nel laboratorio di Biodiversità del Suolo ed Agricoltura Sostenibile del Polo di Bioscienze dell'Università degli Studi di Camerino. **B-C**. Analisi allo stereoscopio della selettura relativa ai microartropodi estratti dal suolo. **D**. Descrizione delle varie componenti del selettore Berlese-Tullgren.

Inoltre, per ogni campione sono stati calcolati ulteriori parametri biologici:

- Numero di Forme Biologiche (FB): numero di individui che condividono caratteri morfologici di adattamento ed a cui è attribuito un valore numerico EMI specifico.
- Numero di Forme Euedafiche (FE): numero di FB con valore EMI compresi tra 10-20, cioè con maggior grado di adattamento alla vita nel suolo.
- Abbondanze totali e relative: numerosità delle singole FB riscontrate e numerosità delle singole FB sul totale degli individui riscontrati per ogni campione. Per ogni sito è stata prodotta una *heatmap* delle abbondanze totali trasformate (\log_{10}) per le due stagioni considerate. Sono stati esclusi acari e collemboli, per via della loro numerosità che verranno considerati a parte.

- Densità (ind/m²): numero di individui rilevati in ogni campione (considerando cumulativamente le 3 repliche) divisi per 0.03 m², cioè per la superficie totale campionata con le 3 repliche (3 cubi da 10 cm x 10 cm x 10 cm).
- QBS-ab quantitativo (Mantoni *et al.*, 2021): si tratta di nuovo metodo di calcolo in cui il valore di QBS-ar viene pesato in relazione all'abbondanza di ogni gruppo. Il valore EMI di ogni FB riscontrata viene moltiplicata per l'abbondanza totale degli individui rilevati, precedentemente trasformata - log₁₀(x + 1) - al fine di ridurre l'impatto di gruppi estremamente abbondanti, come acari e collemboli. Per gruppi con diversi livelli di adattamento, quindi con valori EMI multipli, vengono effettuati calcoli separati a seconda dei diversi livelli di adattamento, al fine di riflettere la reale composizione della comunità esaminata.
- Valore massimo di QBS-ar (QBS-ar max): si tratta del più alto valore di QBS-ar ottenibile dall'analisi di un campione, ed è pari a 353 (Menta, 2008). Il rapporto in percentuale tra esso ed il valore di QBS-ar totale è impiegato per attuare confronti tra diversi campioni.
- Classi di qualità del suolo (Parisi, 2001 modificata D'Avino, 2002): si tratta di un'ulteriore classificazione che consente l'attribuzione di un valore di qualità biologica del suolo sia attraverso i valori di QBS-ar ottenuti, che la presenza di specifiche FE. La scala spazia tra i valori 1 e 7, dove 1 è la classe di qualità peggiore e 7 la migliore (**Fig.7**).

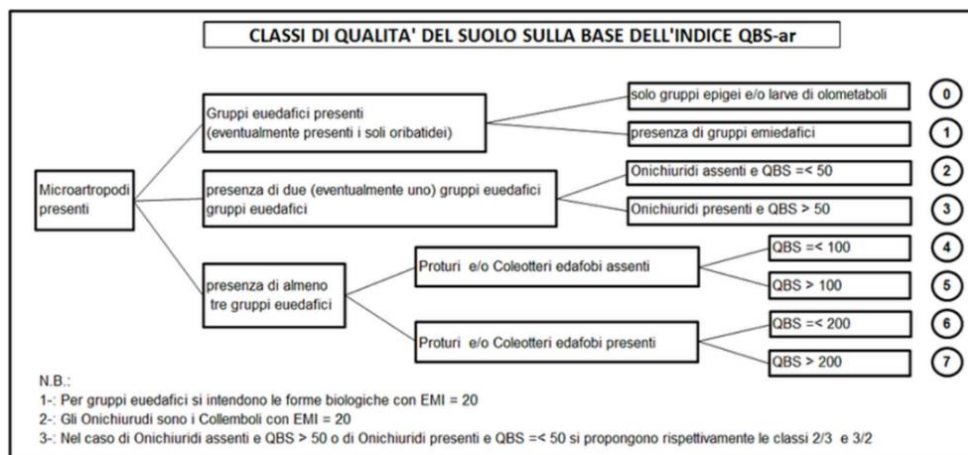


Fig.7 - Attribuzione delle classi di qualità del suolo sulla base dell'indice QBS-ar (Parisi, 2001 modificata da D'Avino, 2002).

- Rapporto acari/collemboli (A/C) (Bachelier, 1986): il presente rapporto si basa sul confronto tra la numerosità degli acari e quella dei collemboli. Permette di evidenziare eventuali condizioni di disturbo del suolo attraverso squilibri quantitativi tra i suoi due gruppi dominanti: acari (i più numerosi) e collemboli. In generale, in suoli non disturbati il rapporto A/C è molto alto e tende a diminuire man mano che aumentano i fattori di stress (Sommaggio e Paoletti, 2007).
- Percentuale di Oribatidi su acari totali: considerando la comunità degli acari è interessante valutare le percentuali del gruppo Oribatidi sugli acari totali. È un indice molto simile al precedente, ma meno utilizzato. Gli Oribatidi costituiscono uno dei più importanti gruppi di detritivori del suolo, la cui presenza è fortemente associata alla disponibilità di sostanza organica, in particolare della sua frazione

recalcitrante (Gonçalves *et al.*, 2021). Hanno forma globosa con esoscheletro sclerificato e di colore scuro (Codurri *et al.*, 2005). Il valore dell'indice è elevato per suoli non o poco disturbati, mentre diminuisce in suoli a forte pressione antropica (Sommaggio e Paoletti, 2007).

Sono stati definiti anche alcuni indici di biodiversità:

- **Indice Shannon** (indice di Shannon – Wiener, 1948): permette di ottenere informazioni in merito alla biodiversità di una cenosi. I valori ottenibili vanno da 0 (presenza di una sola specie) ad un valore massimo (H' max) rappresentato dal logaritmo naturale del numero totale di specie, raggiunto teoricamente quando tutte le specie presenti sono equiripartite. I valori normalmente si aggirano tra 1.5 a 3.5, raramente superano il valore 4.5.
- **Evenness** (o indice di equiripartizione di Pielou, 1977) è in grado di rilevare l'equitabilità della comunità, l'omogeneità delle abbondanze relative ai diversi gruppi presenti all'interno dell'area considerata. L'indice assume valori compresi tra 0 e 1, dove il valore 1 rappresenta una condizione di equiripartizione delle abbondanze dei gruppi.

Inoltre, al fine di verificare l'omogeneità della stazione, cioè l'omogeneità delle tre repliche costituenti il campione nel sito specifico, è stata condotta l'Analisi Spettrale (AS) (Menta, 2008). Tale analisi di basa sulla Differenza Spettrale (DS). Quest'ultima si ricava dalla sommatoria delle differenze, a livello delle FB, tra due campioni di una stessa stazione, ovvero la somma delle differenze dei valori di EMI tra due repliche, valutate forma biologica per forma biologica. L'analisi spettrale prevede il calcolo della differenza spettrale tra ognuna delle repliche e tutte le altre. Maggiori dettagli sono forniti in allegato (**Allegato 4 – Analisi spettrale**). In allegato è presente anche la scheda per la definizione dell'Indice QBS-ar (**Allegato 5 - Scheda per la definizione dell'Indice QBS-ar**).

4.5 Densità Apparente (DA)

All'interno del medesimo quadrato in prossimità dei punti di raccolta delle repliche per la valutazione dell'Indice QBS-ar, sono stati raccolti campioni di suolo per la determinazione della densità apparente (DA), (**Fig.8**). La densità apparente rappresenta la misura della massa di un volume unitario di suolo indisturbato (spazi vuoti inclusi). È un parametro in grado di fornire informazioni relative alla "abitabilità" del suolo riferita cioè alla sua capacità di ospitare la componente biologica e relative funzioni in grado di condizionarne la fertilità. La DA è inversamente proporzionale alla porosità (ovvero lo spazio a disposizione per la componente biologica ed in particolare per la mesofauna). È possibile ottenere il valore di densità apparente attraverso il rapporto tra il peso del suolo secco (g) e il volume di suolo secco (cm^3). Al suolo viene posta una fustella cilindrica in acciaio a volume noto (100 cm^3), con la quale si preleva una carota di suolo indisturbato. Successivamente al prelievo, vengono posti ad entrambi i lati della fustella due coperchi, in modo tale da evitare perdite di suolo, il campione viene etichettato e conservato all'interno di una busta in plastica pulita a chiusura ermetica. Tutti i campioni sono stati trasferiti in laboratorio entro le 24 ore. Una volta in laboratorio i campioni sono stati rimossi con cautela dalle buste di plastica (**Fig.9 A**), sono stati rimossi i coperchi presenti

ad entrambi i lati della fustella e la fustella contenente il suolo al suo interno è stata trasferita su apposite vaschette in carta di alluminio, avendo cura di trasferire anche i frammenti di suolo rimasti adesi alle superfici dei coperchi rimaste a contatto con essa. Si è proceduto a pesare tutti i campioni e successivamente, dopo aver registrato il peso, al loro trasferimento all'interno del forno, in cui sono stati mantenuti in forno a 105°C per almeno 48 ore, fino a raggiungere la stabilità di peso (**Fig.9 B**). Al termine tutti i campioni sono stati nuovamente pesati.

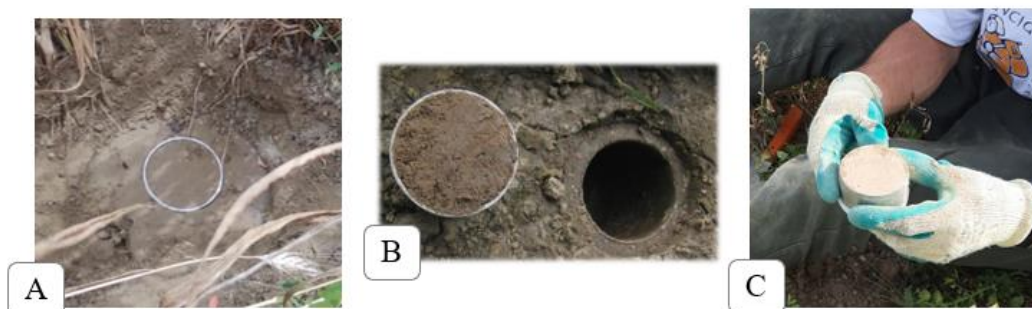


Fig.8 - Fasi del prelievo di carote di suolo indisturbato per la determinazione della densità apparente - **A**. Rimozione del suolo fino ad ottenere una superficie piana e successivo inserimento della fustella per il prelievo del campione per la densità apparente. **B-C**. Fustella rimossa dal suolo.

La densità apparente (DA) è stata calcolata dividendo il peso secco del campione di suolo per il volume noto del cilindro, come di seguito:

$$DA = \frac{PS - T}{V_c}$$

Dove:

- PS = Peso secco del campione dopo essiccamento;
- T = Tara della fustella e del vassoio in alluminio;
- V_c = Volume noto della fustella con cui si è prelevato il campione.

Tale rapporto rappresenta la densità apparente, e costituisce un importante parametro per la valutazione della qualità del suolo e per la previsione del suo comportamento.

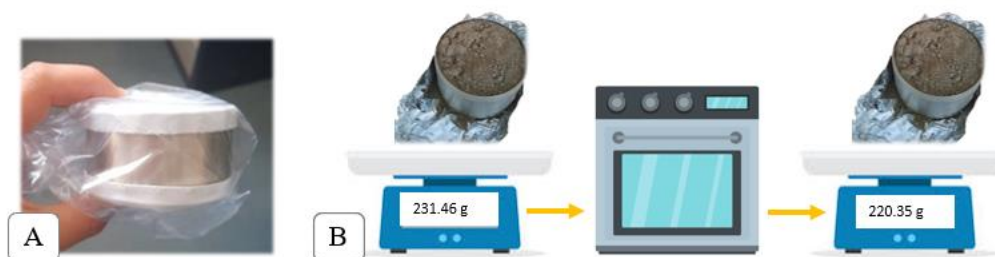


Fig.9 – Procedimento per la determinazione della densità apparente - **A**. Campione correttamente conservato in busta di plastica e contenuto da due tappi alle estremità. **B**. Pesatura, trasferimento in forno e successiva pesatura.

Inoltre, è stata valutata anche la porosità, un parametro complementare al precedente. Sapendo che mediamente la densità della fase solida di un suolo è pari a circa 2,65 g/cm³, la porosità è calcolata come segue:

$$Porosità (\%) = \frac{DA}{2,65}$$

4.6 Raccolta campioni suolo per le analisi chimico-fisiche

In accordo con il DM 13/09/1999 (Approvazione dei “Metodi Ufficiali di analisi chimica del suolo”) si è proceduto alla raccolta del campione destinato alle analisi chimico-fisiche. Sono stati raccolti diversi sub-campioni, che sono poi stati mescolati e ridotti ad unico campione del peso superiore ad 1 kg che è stato posto all’interno di un sacchetto in plastica pulito. Il campione è tipo composito, in modo che sia rappresentativo dell’appezzamento di provenienza. Il campione è stato trasferito presso il laboratorio, per la conduzione delle varie analisi (TOC, SO, etc.). Parte delle analisi chimico-fisiche sono state svolte presso L’Agenzia dei Servizi Settore Agroalimentare delle Marche (ASSAM) in accordo con i metodi di prova descritti dal D.M. 13/09/1999 GU SO n. 248 del 21/10/1999 e D.M. 11/05/92 GU n. 121 del 25/05/1992. I parametri analizzati sono di seguito elencati:

- Tessitura: rappresenta la classificazione delle particelle elementari del suolo in diverse classi dimensionali. Gli intervalli considerati sono quelli utilizzati dall’USDA (*United States Department of Agriculture*): scheletro (> 2mm), sabbia (2-0,05 mm), limo (0,05-0,002 mm) e argilla (<0,002). Da tale parametro è possibile prevedere il comportamento dell’acqua nel suolo, il livello di fertilità chimica, la suscettibilità all’erosione, il livello di biodiversità ospitata, ecc.
- Reazione (pH): rappresenta il grado di acidità o alcalinità di un suolo, influenza la quasi totalità delle proprietà chimico-fisiche e biologiche e la disponibilità degli elementi.
- Carbonio organico totale (TOC) e Azoto totale (TN): rappresentano degli indicatori della fertilità di un suolo e della sua funzionalità ecosistemica.
- Rapporto carbonio/azoto (C/N): fornisce informazioni sul grado di accelerazione o rallentamento dei processi di trasformazione della sostanza organica. È impiegato per quantificare il grado di umificazione del materiale organico nel terreno.
- Contenuto di sostanza organica (SO): rappresenta una proprietà intrinseca del suolo legata sia alle caratteristiche fisiche che a quelle chimiche e biologiche, nonché ai flussi di energia, acqua e aria nell’interfaccia suolo-atmosfera; rappresenta un efficace indicatore della fertilità di un suolo.
- Fosforo assimilabile (P): anch’esso è considerato un macroelemento fondamentale per il mantenimento di un buon livello di fertilità. È scarsamente mobile all’interno del terreno.
- Potassio scambiabile (K): la forma scambiabile, o solubile, di tale elemento chimico è adsorbita alle superfici delle particelle organiche e minerali del suolo per via delle sue cariche positive. La sua disponibilità ad essere assorbito dalle colture varia in relazione al contenuto di argilla, all’aumentare di tale componente aumenta la quota di K fissato ed indisponibile per le piante.
- Metalli assimilabili: Ferro (Fe), Rame (Cu), Zinco (Zn) e Manganese (Mn) sono microelementi essenziali per i vegetali. La loro mobilità nel terreno è la loro assimilabilità è notevolmente influenzata dalle condizioni del suolo, in particolare da pH, umidità e tessitura.

- Conducibilità elettrica (EC): misura del contenuto di sali solubili del suolo (salinità).
- Capacità di Scambio Cationico (CSC): misura dell'intensità del fenomeno di rilascio di elementi chimici con carica positiva nella soluzione del suolo. Maggiore è tale capacità, maggiore è la quantità di Potassio (K), Magnesio (Mg) e Calcio (Ca) scambiabili presente nel terreno.

4.7 Trattamento statistico dei dati

I dati relativi a QBS-ar, QBS-ab, abbondanze totali, numero di FB ed FE sono stati confrontati per sito, stagione e gestione, intesa come appartenenza alle due diverse Az. Agricole. I dati sono stati confrontati attraverso l'applicazione del T test a campioni appaiati (*Paired Student's T-test*) e attraverso l'analisi della varianza ad una via (*ONE-WAY ANOVA*), dopo avere testato le condizioni di validità. Le differenze all'interno dei gruppi sono state ulteriormente valutate mediante test di Tukey come *post-hoc*. Nei casi in cui le condizioni di validità del precedente test non sono state soddisfatte, è stato impiegato il test di Kruskal Wallis. Le analisi sono state svolte attraverso il programma statistico R (versione 4.2.0).

I parametri biologici sono stati correlati con i parametri chimico-fisici attraverso l'analisi di correlazione al fine di valutare eventuali relazioni. È stato impiegato il coefficiente di correlazione di Spearman. I *boxplots* della distribuzione dei dati ed i grafici delle correlazioni sono stati realizzati utilizzando il *package* ggplot2 nel programma statistico R (versione 4.2.0), mentre le *heatmaps*, utilizzate per la rappresentazione grafica delle abbondanze totali, sono state prodotte attraverso il programma *Heatmapper* (<http://www.heatmapper.ca/>).

Le elaborazioni statistiche derivano oltretutto dal dato totale (QBS-ar totale) anche dalla valutazione dei dati parziali (cioè riferiti alle tre repliche-sottocampioni A, B, C costituenti il campione).

5. Risultati e Discussione

I risultati del monitoraggio della qualità biologica dei quattro siti selezionati vengono di seguito riportati considerando *in primis* il singolo sito, ponendo in rilievo le differenze stagionali eventualmente rilevate e relative ai: valori di QBS-ar totale, n° di FB e FE e loro abbondanze (attraverso *heatmaps* rappresentative dell'abbondanza totale). e densità totali. Successivamente, viene presentato il confronto tra i vari siti oggetto del presente monitoraggio, considerando i seguenti parametri:

- Tabelle riassuntive dei parametri biologici considerati (valori di QBS-ar totali, rapporto con QBS-ar max (Menta, 2008), abbondanza totale, densità totale, n° di FB e di FE, classi di qualità del suolo (Parisi, 2001 modificata D'Avino, 2002), rapporto acari/collemboli (A/C) (Bachelier, 1986), percentuale di acari oribatidi).
- *Boxplots* descrittivi della distribuzione del dato medio relativo agli indici di biodiversità calcolato sulle singole repliche (indice di Shannon – Wiener, 1948 ed *Evenness* o indice di equiripartizione di Pielou, 1977).
- Confronto tra dato medio di QBS-ar totale, QBS-ar parziale e QBS-ab (Mantoni *et al.*, 2021).

- *Heatmaps* delle abbondanze totali delle FB confrontate sia per stagione che per appartenenza alle diverse Az. Agr.
- Parametri chimico-fisici ed analisi di correlazione con parametri biologici.
- Densità apparente (DA) e porosità ed analisi di correlazione con parametri biologici.

5.1 Sito n° 1 – FE1

N° Sito	Codice Azienda	Denominazione dell'Azienda	Sistema gestionale	Conduzione	Date campionamento	Sigla campione
1	FE	Az.Agr. Fattoria Ferri	Seminativo	Convenzionale	16/06/2021 e 28/09/2021	FE1-16062021 e FE1-28092021

FE1

Giugno 2021

Settembre 2021



Fig. 10 - Immagini rappresentative del sito FE1 nelle due stagioni monitorate.

Le immagini in **Fig.10** sono rappresentative del sito FE1 durante i monitoraggi primaverili ed autunnali. Durante il campionamento primaverile l'appezzamento ospitava grano duro (*Triticum turgidum* L.). La trebbiatura è avvenuta a metà luglio 2021, dopodiché il suolo è stato lasciato a riposo fino alla nuova semina, avvenuta a novembre 2021. Come riportato in **Tab.3 e 4**, in entrambe le stagioni, il valore di QBS-ar totale del sito FE1 rileva un'ottima qualità del suolo. Sia il valore primaverile (138), che l'autunnale (168) superano la soglia di 120 che decreta un'eccellente qualità biologica del suolo (**Tab.1**). Il valore di QBS-ar totale, il numero di FB ed FE (cioè quelle maggiormente adattate al suolo) è maggiore in autunno; laddove l'abbondanza totale e la densità sono maggiori in primavera. La ricchezza di FB rilevate in FE1 è di 16 totali e può essere graficamente apprezzata nella *heatmap* in **Fig.11**. In particolare, nelle due stagioni sono stati riscontrati:

- **Primavera (12):** acari, isopodi, pauropodi, collemboli, dipluri, ortotteri, emitteri, tisanotteri, imenotteri, ditteri, larve di coleottero e larve di dittero.
- **Autunno (14):** araneidi, acari, isopodi, pauropodi, sinfili, chilopodi, collemboli, dipluri, emitteri, tisanotteri, coleotteri, imenotteri, larve di coleottero e larve di dittero.

Rispetto all'autunno in primavera non sono stati riscontrati: araneidi, sinfili, chilopodi e coleotteri. Rispetto alla primavera in autunno non sono stati riscontrati: ditteri ed ortotteri. Le larve di dittero e coleottero (EMI 10) presentano abbondanze maggiori in primavera, questo riscontro si osserva per tutti i siti ed è relazionato semplicemente all'ecologia di tali forme. In entrambe le stagioni è considerevole anche la presenza di imenotteri formicidi (EMI=5), ma non assume particolare significato essendo una forma generalmente

ubiquitaria. Lo stesso vale per la presenza di tisanotteri ed emitteri (entrambi EMI 1), sono state rilevate forme epigee probabilmente fitofaghe e legate quindi alla presenza della coltura o comunque alla presenza di orticole, nei campi adiacenti.

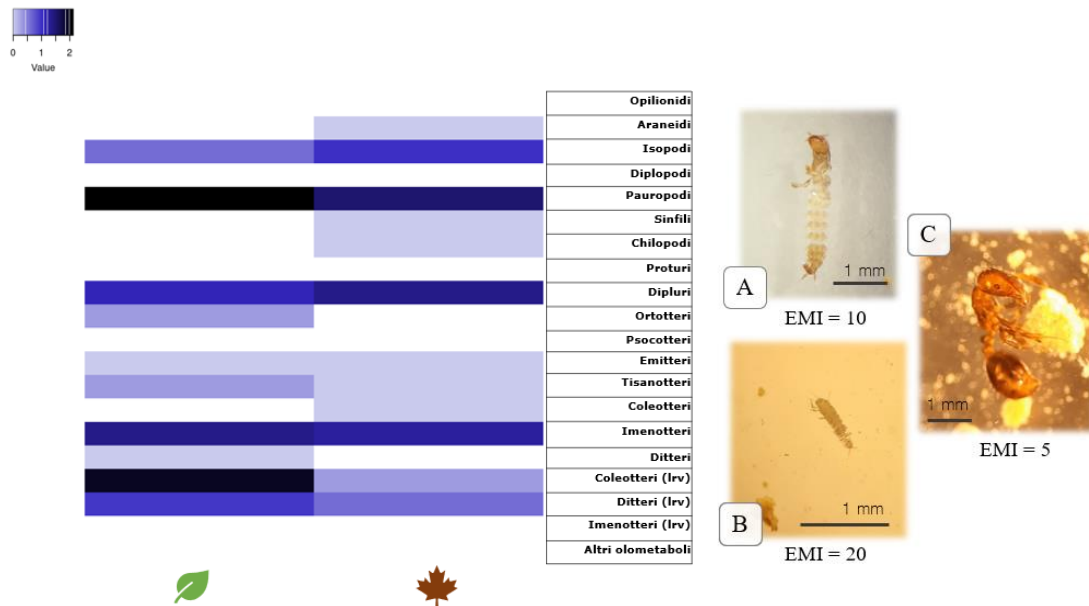


Fig.11 - *Heatmap* delle abbondanze totali delle FB rilevate nelle due stagioni, ad eccezione di acari e collemboli. La foglia verde rappresenta la stagione primaverile, la foglia marrone la stagione autunnale. Le microfotografie a lato mostrano alcuni degli esemplari riscontrati nel campione, unità di misura e relativo valore EMI. **A.** Larva di coleottero, **B.** Pauropode, **C.** Imenottero formicide.

La presenza di sinfili, l'incremento delle abbondanze dei dipluri (entrambi EMI 20) e degli isopodi in autunno potrebbe essere dovuto alla condizione di riposo pre-aratura del sito, poiché queste forme euedafiche sono molto sensibili al disturbo meccanico del suolo ed anche a variazioni della % di umidità del suolo, essendo molto sensibili all'essiccazione. L'analisi spettrale soddisfa il principio di omogeneità della stazione in entrambe le stagioni (**Allegato 4 – Analisi spettrale**).

Primavera - Parametri biologici									
Sito	QBS-ar totale	Rapporto con QBS-ar max	Classe di qualità del suolo	Abbondanza totale	Densità totale (ind/m ²)	N° forme biologiche totali	N° forme euedafiche totali	Rapporto A/C	% di acari oribatidi
FE1	138	39%	5	6872	229067	12	5	15	16%
FE2	174	49%	6	2248	74933	13	6	3	21%
RL1	158	45%	5	11647	388233	14	5	43	14%
RL2	194	55%	5	24948	831600	17	6	21	18%

Tab.3 – Tabella riassuntiva relativa ad alcuni parametri biologici registrati in primavera: QBS-ar totale, rapporto con QBS-ar max (Menta, 2008), abbondanza totale, densità totale, n° di FB e di FE, classi di qualità del suolo (Parisi, 2001 modificata D'Avino, 2002), rapporto acari/collemboli (A/C) (Bachelier, 1986), percentuale di acari oribatidi.

Autunno - Parametri biologici									
Sito	QBS-ar totale	Rapporto con QBS-ar max	Classe di qualità del suolo	Abbondanza totale	Densità totale (ind/m ²)	N° forme biologiche totali	N° forme euedafiche totali	Rapporto A/C	% di acari oribatidi
FE1	168	48%	5	3142	104733	14	6	8	42%
FE2	120	34%	5	228	7600	7	5	10	11%
RL1	175	50%	5	5548	184933	12	6	4	40%
RL2	163	46%	5	10109	336967	14	6	8	27%

Tab.4 – Tabella riassuntiva relativa ad alcuni parametri biologici registrati in autunno: QBS-ar totale, rapporto con QBS-ar max (Menta, 2008), abbondanza totale, densità totale, n° di FB e di FE, classi di qualità del suolo (Parisi, 2001 modificata D'Avino, 2002), rapporto acari/collemboli (A/C) (Bachelier, 1986), percentuale di acari oribatidi.

5.2 Sito n° 2 – FE2

N° Sito	Codice Azienda	Denominazione dell'Azienda	Sistema gestionale	Conduzione	Date campionamento	Sigla campione
2	FE	Az. Agr. Fattoria Ferri	Seminativo (primavera) Orticolo (autunno)	Convenzionale	16/06/2021 e 28/09/2021	FE2-16062021 e FE2-28092021

FE2

Giugno 2021

Settembre 2021



Fig. 12 - Immagini rappresentative del sito FE2 nelle due stagioni monitorate.

Le immagini in **Fig.12** sono rappresentative del sito FE2 durante i monitoraggi primaverili ed autunnali. Durante il campionamento primaverile l'appezzamento ospitava grano duro. La trebbiatura è avvenuta a metà luglio 2021, dopodiché, si è proceduto all'aratura e alla messa a dimora dei porri (*Allium porrum* L.). Come riportato in **Tab.3** e **4**, in FE2 il valore di QBS-ar totale, in primavera (174) e in autunno (120), rileva anche per il secondo sito dell'Azienda Ferri, un'ottima qualità del suolo (**Tab.1**). Il valore di QBS-ar totale, il numero di FB e FE, l'abbondanza totale e la densità totale sono maggiori in primavera. La ricchezza di FB in FE2 è di 14 totali. Nelle due stagioni sono stati riscontrati:

- **Primavera (13):** acari, pauropodi, sinfili, collemboli, proturi, dipluri, emitteri, tisanotteri, coleotteri, imenotteri, ditteri, larve di coleottero e larve di dittero.

- **Autunno (7):** acari, pauropodi, sinfili, chilopodi, collemboli, larve di coleottero e larve di dittero.

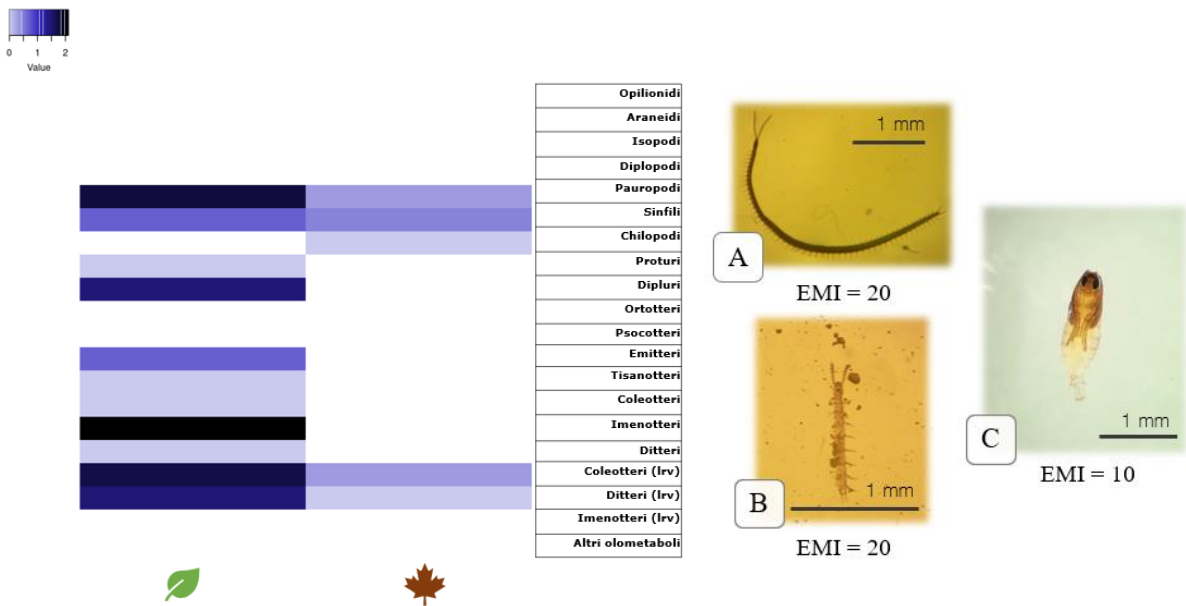


Fig.13 - *Heatmap* delle abbondanze totali delle FB rilevate nelle due stagioni, ad eccezione di acari e collemboli. La foglia verde rappresenta la stagione primaverile, la foglia marrone la stagione autunnale. Le microfotografie a lato mostrano alcuni degli esemplari riscontrati nel campione, unità di misura e relativo valore EMI. **A.** chilopode, **B.** sinfilo, **C.** larva di dittero.

Cioè che emerge dalla *heatmap* di **Fig.13** è la forte riduzione della ricchezza di FB nella stagione autunnale rispetto a quella primaverile (13 vs 7). Rispetto alla primavera in autunno non sono stati riscontrati: proturi, dipluri, emitteri, tisanotteri, coleotteri, imenotteri e ditteri. Attraverso la *heatmap*, in primavera, è possibile evidenziare l'elevata presenza di imenotteri (formicidi) (128), di pauropodi, dipluri, larve di coleottero e di dittero. Come nel caso precedente, queste ultime presentano abbondanze maggiori in primavera, e lo stesso vale per la presenza di emitteri e tisanotteri. La presenza di proturi e dipluri (EMI 20) ed una maggior abbondanza di sinfili (EMI 20) registrate in primavera, rispecchia l'alto valore di qualità biologica del suolo del sito (QBS-ar totale 174) ed è probabilmente associato a valori più elevati di umidità riscontrati per FE2 rispetto agli altri siti monitorati (**Allegato 6 – parametri ambientali**). La peggiore *performance* del sito FE2 nella stagione autunnale è da mettere in relazione con le pratiche agricole attuate nell'intervallo tra la primavera e l'autunno, e che hanno comportato delle lavorazioni aggiuntive per la messa a dimora della coltura successiva. Il campo è stato infatti sottoposto ad un numero maggiore di lavorazioni rispetto agli altri siti, ed inoltre, il campionamento è stato effettuato nell'interfila, in un'area scoperta ("nuda") non interessata dalla copertura vegetale e quindi tendenzialmente meno ricca di fauna edafica. L'analisi spettrale soddisfa il principio di omogeneità della stazione unicamente in primavera (**Allegato 4 – Analisi spettrale**).

5.3 Sito n° 3 – RL1

N° Sito	Codice Azienda	Denominazione dell'Azienda	Sistema gestionale	Conduzione	Date campionamento	Sigla campione
3	RL	Az. Agr. SelvaGiurata di Paolo Rebez Laureati	Seminativo	Convenzionale	16/06/2021 e 28/09/2021	RL1-16062021 e RL1-28092021



Fig. 14 – Immagini rappresentative del sito RL1 nelle due stagioni monitorate.

Le immagini in **Fig. 14** sono rappresentative del sito RL1 durante i monitoraggi primaverili ed autunnali. Rispetto ai campi in gestione all'Az. Ferri caratterizzati da una limitata rotazione delle colture (almeno nell'intervallo di tempo considerato: 2018-2021) ed i cui risultati in termini di qualità biologica suolo sono stati descritti in precedenza, l'Az. Agr. SelvaGiurata applica una più ampia (e varia) rotazione delle colture nei suoi campi, alternando leguminose (cece - *Cicer arietinum* L.) e graminacee (frumento duro e tenero - *Triticum turgidum* L. e *Triticum aestivum* L.) ed inserendo nel ciclo rotazionale anche una condizione di riposo (*set-aside EFA - Ecological Focus Area*). Quest'ultima è proprio la condizione del sito RL1 al momento del campionamento primaverile e con presenza di rafano (*Armoracia rusticana* L.), una brassicacea, e favino (*Vicia faba* L.), una leguminosa. Queste colture, ed in particolare quella del rafano, offrono diversi vantaggi alla "salute" complessiva del suolo, quali: un miglioramento della sua struttura dovuto all'apparato radicale profondo, proprio delle brassicacee, un ricco apporto di sostanza organica, proveniente dal sovescio.

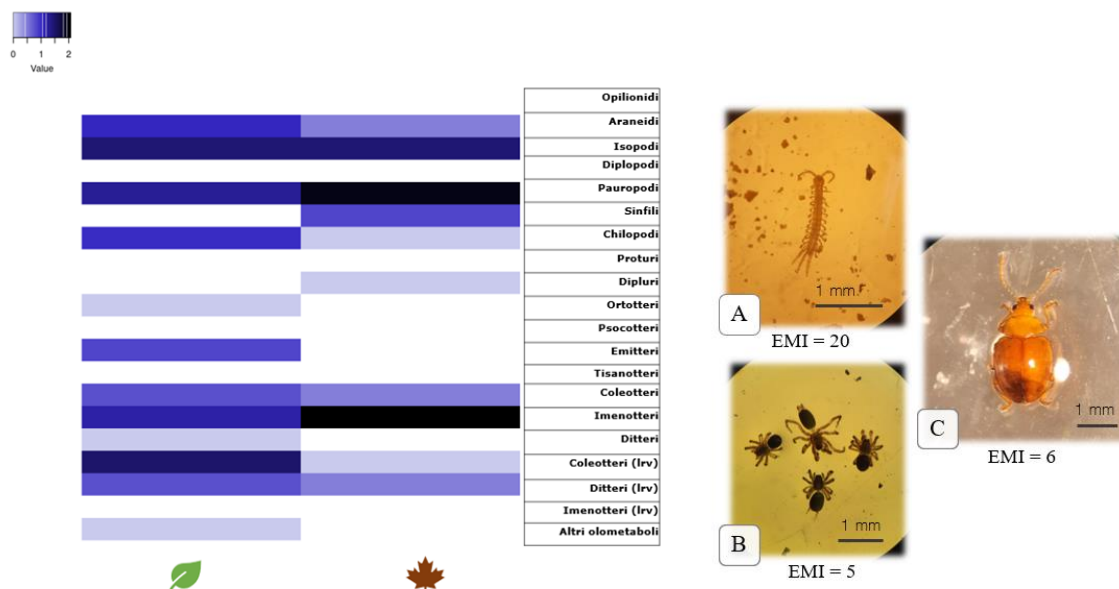


Fig.15 - *Heatmap* delle abbondanze totali delle FB rilevate nelle due stagioni, ad eccezione di acari e collemboli. La foglia verde rappresenta la stagione primaverile, la foglia marrone la stagione autunnale. Le microfotografie a lato, scattate allo stereoscopio, mostrano alcuni degli esemplari riscontrati nel campione, unità di misura e relativo valore EMI. **A.** chilopode, **B.** araneidi, **C.** coleottero.

All'inizio del mese di settembre la coltura è stata trinciata ed interrata con erpice a dischi con un affinamento superficiale del terreno ad una profondità di 10/15 cm. In RL1 il valore di QBS-ar totale rileva un'ottima

qualità del suolo in entrambe le stagioni, primavera (158) ed autunno (175). Il valore di QBS-ar totale ed il numero di FE sono maggiori in autunno, mentre il numero di FB, l'abbondanza e la densità totale sono maggiori in primavera (**Tab.3**). Come mostra la *heatmap* in **Fig.15**, la ricchezza di FB rilevate in RL1 è di 16 totali; nelle due stagioni sono stati riscontrati:

- **Primavera (14):** araneidi, acari, isopodi, pauropodi, chilopodi, collemboli, ortotteri, emitteri, coleotteri, imenotteri, ditteri, larve di coleottero, larve di dittero ed altri olometaboli
- **Autunno (12):** araneidi, acari, isopodi, pauropodi, sinfili, chilopodi, collemboli, dipluri, coleotteri, imenotteri, larve di coleottero e larve di dittero.

Rispetto all'autunno in primavera non sono stati riscontrati: sinfili e dipluri. Rispetto alla primavera in autunno non sono stati riscontrati: ortotteri, emitteri, ditteri ed altri olometaboli, i quali in primavera potrebbero essere legati principalmente alla presenza della coltura. In autunno è possibile evidenziare l'elevata presenza di imenotteri (formicidi) (118) e di pauropodi. Diversi gruppi vengono riscontrati in entrambe le stagioni, in particolare gli isopodi (EMI 10) rimangono costanti anche in termini di abbondanza, nonostante le lavorazioni intercorse. Le larve di coleottero e di dittero (EMI 10) presentano abbondanze maggiori in primavera, come rilevato nei siti precedenti. Mentre, sinfili e dipluri (EMI 20), si riscontrano unicamente in autunno probabilmente per via della maggiore umidità del suolo. L'analisi spettrale soddisfa il principio di omogeneità della stazione in entrambe le stagioni (**Allegato 4 – Analisi spettrale**)

5.4 Sito n° 4 – RL2

N° Sito	Codice Azienda	Denominazione dell'Azienda	Sistema gestionale	Conduzione	Date campionamento	Sigla campione
4	RL	Az. Agr. SelvaGiurata di Paolo Rebez Laureati	Seminativo	Convenzionale	16/06/2021 e 28/09/2021	RL2-16062021 e RL2-28092021

RL2

Giugno 2021

Settembre 2021



Fig.16 – Immagini rappresentative del sito RL2 nelle due stagioni monitorate.

Il sito RL2 durante il monitoraggio primaverile ospitava grano tenero (*Triticum aestivum* L.). La trebbiatura è avvenuta a fine giugno 2021, dopodiché, all'inizio del mese di agosto è stato effettuato un passaggio con erpice a dischi per interrare i residui della coltura e per affinare il terreno, ad una profondità di 10/15 cm, come nel caso precedente. Le foto riportano le condizioni dell'appezzamento al momento del campionamento nelle due stagioni (**Fig. 16**). In RL2 il valore di QBS-ar totale rileva un'ottima qualità del suolo in entrambe le stagioni, primavera (194) ed autunno (163) (**Tab.3 e 4**). Occorre sottolineare come i

valori riportati per il sito RL2 siano eccezionalmente elevati per un seminativo e prossimi alla classe di qualità ottima per gli ambienti naturali quali boschi, prati-pascoli (**Tab.1**). Il valore di QBS-ar totale, il numero di FB, l'abbondanza totale e la densità sono maggiori in autunno, mentre il numero di FE è il medesimo in entrambe le stagioni (**Tab.3 e 4**).

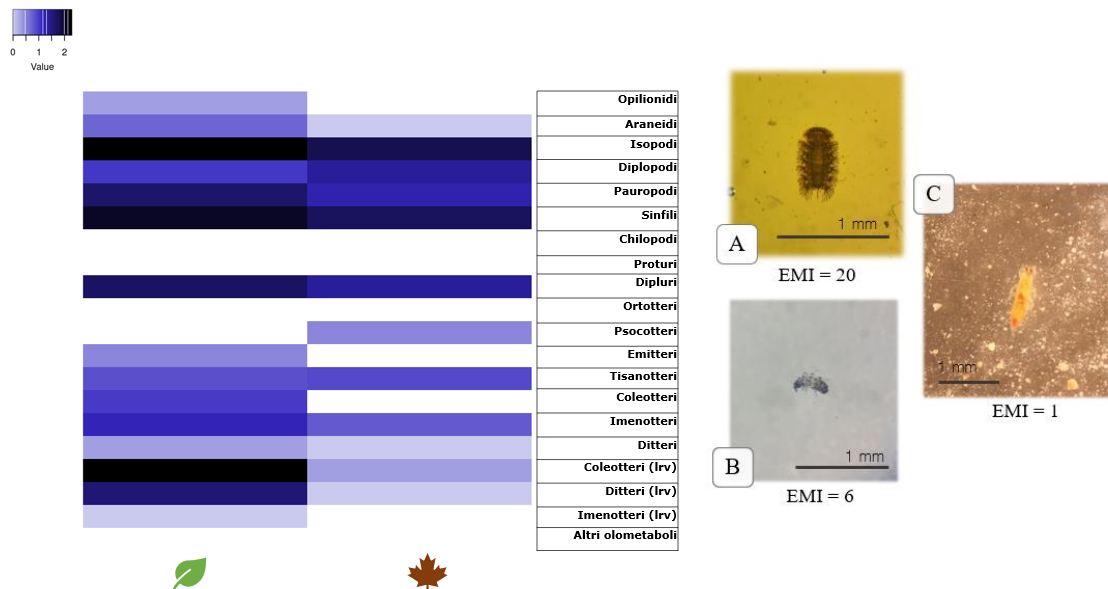


Fig.17 - Heatmap delle abbondanze totali delle FB rilevate nelle due stagioni, ad eccezione di acari e collemboli. La foglia verde rappresenta la stagione primaverile, la foglia marrone la stagione autunnale. Le microfotografie a lato raffigurano alcuni degli esemplari riscontrati nel campione, unità di misura e relativo valore EMI. **A.** diplopode, **B.** collembolo, **C.** tisanottero.

La ricchezza di FB totali rilevate in RL2 (18) è la maggiore riscontrata tra i siti monitorati. In dettaglio, nelle due stagioni sono stati riscontrati:

- **Primavera (17):** opilionidi, araneidi, acari, isopodi, diplopodi, paupodi, sinfili, dipluri, collemboli, emitteri, tisanotteri, coleotteri, imenotteri, ditteri, larve di coleottero, dittero ed imenottero.
- **Autunno (14):** araneidi, acari, isopodi, diplopodi, paupodi, sinfili, dipluri, collemboli, psocotteri, tisanotteri, imenotteri, ditteri, larve di coleottero e larve di dittero.

Rispetto alla primavera in autunno non sono stati riscontrati: opilionidi, emitteri, coleotteri e larve di imenottero. In primavera, vi è un'elevata presenza di isopodi, sinfili e larve di coleottero, in misura minore di paupodi e dipluri. Di particolare rilievo è la presenza di opilionidi (EMI 10), che verrà approfondita successivamente nella Discussione. In autunno isopodi, sinfili e dipluri rappresentano i gruppi con abbondanze maggiori. Il valore di QBS-ar totale (194) in primavera raggiunge il 55% del valore QBS-ar max (pari a 349) – cioè il valore di qualità biologica del suolo più elevato registrato in questo monitoraggio (**Tab.3**). L'analisi spettrale soddisfa il principio di omogeneità della stazione in entrambe le stagioni. (**Allegato 4 – Analisi spettrale**).

5.5 Confronto tra i siti: QBS-ar ed ulteriori parametri biologici

L'istogramma (**Fig.18**) riporta i valori di QBS-ar totale, relativi ai quattro siti in entrambe le stagioni.

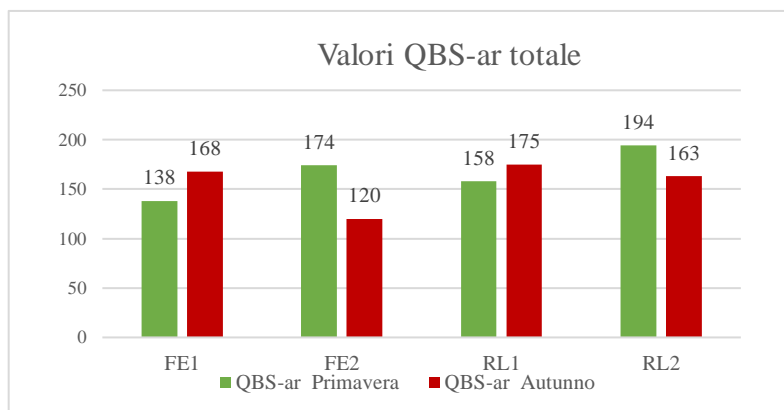


Fig.18 - Istogramma dei valori di QBS-ar totale registrati nei quattro siti in entrambe le stagioni. In verde il dato primaverile, in rosso il dato autunnale.

La qualità biologica dei quattro siti analizzati appare in tutte le stagioni di elevata qualità, e ben oltre il punteggio soglia di 120 per i seminativi, che decreta l'ottima qualità biologica del suolo. Particolarmente elevato è il valore di QBS-ar totale primaverile in RL2 (194) che rappresenta il 55% del valore QBS-ar max (353) (**Tab.3**) e che si avvicina al valore 200, la soglia che attribuisce gli ambienti naturali un'eccellente qualità biologica del suolo (Menta *et al.*, 2011) (**Tab.1**). In autunno, la migliore qualità biologica del suolo è rilevata nel sito RL1 (175) che rappresenta il 50% del valore di QBS-ar max (**Tab.3**). Il risultato complessivo è di grande interesse, in quanto rivela come i suoli agricoli analizzati all'interno della Riserva Naturale Regionale Sentina posseggono un'ottima qualità biologica del suolo. La valutazione delle classi di qualità del suolo (Parisi, 2001 modificata D'Avino, 2002) conferma il riscontro precedente. I siti monitorati in entrambe le stagioni mostrano classi di qualità comprese tra 5 e 6. Solamente il sito FE2 in primavera presenta classe di qualità 6 per via del rilevamento di proturi (EMI 20) (**Tab.3**), una FB che raramente viene rilevata in agroecosistema (Menta e Ramelli, 2020), il cui riscontro potrebbe essere associato alla elevata percentuale di umidità (32.5 %) presente nel sito al momento del campionamento (**Allegato 6 – Parametri ambientali**).

Il numero di FE rimane generalmente costante tra le due stagioni. Nei siti FE1, RL1 e RL2, il rapporto A/C è generalmente maggiore in primavera e la percentuale di acari oribatidi è maggiore in autunno. Ciò è probabilmente dovuto all'interramento dei residui delle colture precedenti che ha portato ad un aumento della sostanza organica disponibile, favorendo così un incremento dei detritivori, collemboli ed acari oribatidi. La percentuale di acari oribatidi è particolarmente alta nei siti FE1 (42%) e per RL1 (40%) in autunno (**Tab.3**). In tali siti, in alcune delle repliche, il gruppo degli oribatidi supera numericamente gli altri gruppi di acari, e ciò è rapportabile all'aumento della sostanza organica. Il rapporto A/C è particolarmente alto in RL1 (43) in primavera (**Tab.3**) denotando una condizione di assenza di stress nel sito. Di fatti, si tratta dell'unico sito che si trovava in una condizione di riposo (*set-aside EFA - Ecological Focus Area*). Il sito FE2 è l'unico in cui il rapporto A/C e la percentuale di oribatidi non seguono gli andamenti precedentemente

descritti; in autunno presentava coltura orticola in atto (porri), alla quale è probabilmente imputabile la ridotta performance del rapporto A/C in relazione sia ad una minore, disponibilità di sostanza organica che ad un maggiore numero di lavorazioni aggiuntive rispetto ai precedenti e, difatti, tali rapporti sottolineano un aumento dei fattori di stress.

Le successive elaborazioni statistiche, come riportato in precedenza, derivano dalla valutazione dei dati parziali (**Cap. 4.7. Trattamento statistico dei dati**). L'abbondanza, i valori di QBS-ab ed il numero di FB risultano significativamente maggiori in primavera in tutti i siti (*Paired Student's T-test*, $p < 0.05$). Questi risultati sono in parte aspettati poiché la primavera rappresenta il momento del "risveglio" della fauna edafica, in quanto le condizioni di temperatura e umidità determinano delle condizioni più favorevoli al loro sviluppo che comporta un aumento dell'abbondanza, della densità rilevate e dell'Indice QBS-ab, che a loro è relazionato. Ugualmente, il numero di FB generalmente si riduce al passaggio alla stagione autunnale, oltre alle condizioni climatiche ciò è anche imputabile al disturbo del suolo dovuto alle lavorazioni agricole, particolarmente rilevanti, per i seminativi avvicendati, che sono realizzate tra le due stagioni. Nel sito FE1 tale riduzione non si verifica (**Tab.3**), anzi c'è un incremento delle FB (da 12 a 14 in autunno) e ciò è interpretabile considerando che è l'unico sito in cui, a seguito del raccolto estivo, non sono state poi svolte ulteriori lavorazioni.

L'abbondanza, i valori di QBS-ar, QBS-ab e numero di FB risultano significativamente più alti nei siti dell'Azienda Agricola SelvaGiurata rispetto alla Fattoria Ferri (*Paired Student's T-test*, $p < 0.05$). Come riportato in precedenza, tale azienda, nonostante abbia una gestione convenzionale, applica pratiche agricole sostenibili, attente al rispetto della biodiversità edafica, come: lavorazioni minime (15 cm), rotazioni delle colture con legumi, false semine e *set-aside* con rafano. Al contrario, la Fattoria Ferri mette in atto lavorazioni più frequenti e più profonde (35 cm), la rotazione non prevede l'impiego di legumi e vengono applicati fitofarmaci. Inoltre, il confronto dei siti mostra, per tutti i precedenti parametri, differenze significative (*ONE WAY ANOVA*, $p\text{-value} < 0.05$). In particolare, risultano significative le differenze in termini di abbondanza tra il sito RL2 ed FE1 e le differenze in abbondanza, QBS-ar, QBS-ab e numero di FB tra RL2 e FE2 (*Tukey test*, $p < 0.01$).

5.6 Boxplots relativi agli Indici di Biodiversità

I *boxplots* successivi (**Fig.19** e **20**) mostrano la distribuzione dei dati relativi agli Indici di Biodiversità. L'indice Shannon mostra per il sito FE1 un incremento del valore nel passaggio alla stagione autunnale (**Fig.19**); un incremento dei valori, in tale sito, si verifica anche per: numero di FB, FE, QBS-ar totale (**Tab.3**) ed *Evenness* (**Fig.20**). Come indicato precedentemente, dopo la trebbiatura avvenuta a luglio, il sito, differentemente dagli altri, non ha subito ulteriori lavorazioni del suolo, ciò ha comportato il raggiungimento di una condizione di maggiore equilibrio e stabilità dell'ecosistema suolo (**Fig.20**). Di contro, i siti FE2, RL1 ed RL2 mostrano tutti un decremento dei valori dell'indice Shannon. In RL1, nonostante si rilevi un aumento del numero di FB e del valore di QBS-ar totale registrato, entrambi gli indici di biodiversità si riducono; la

comunità non raggiunge una condizione di maggiore equilibrio, probabilmente per via di elevate abbondanze relative di imenotteri (46.5%) e pauropodi (34.6%) (**Fig.13**).

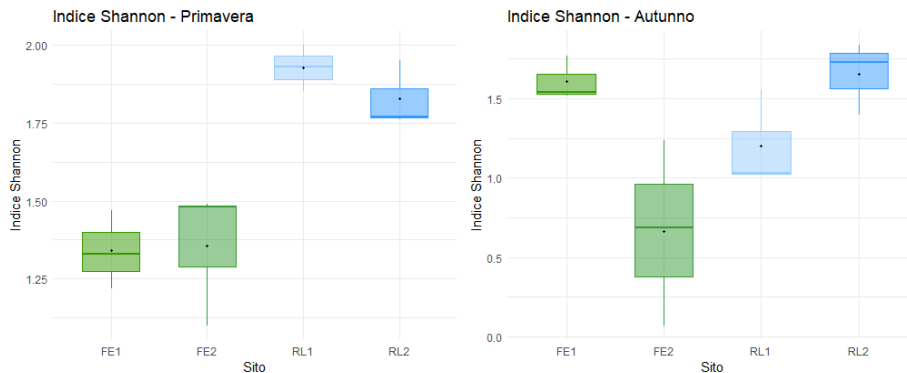


Fig.19 - Boxplots relativo all'indice Shannon e all'*Evenness* registrati nei quattro siti in entrambe le stagioni, senza considerare acari e collemboli. Da sinistra a destra, rispettivamente; FE1, FE2, RL1, RL2, il dato primaverile e quello autunnale. Il dato non comprende acari e collemboli per via della loro elevata numerosità.

In primavera tale sito mostrava il più alto valore di *Evenness* (0.87) indicativo di una migliore equiripartizione delle abbondanze relative (**Fig.20**). Nel sito RL2 la riduzione dell'indice di Shannon in autunno è associata alla riduzione del numero di FB e del valore di QBS-ar totale.

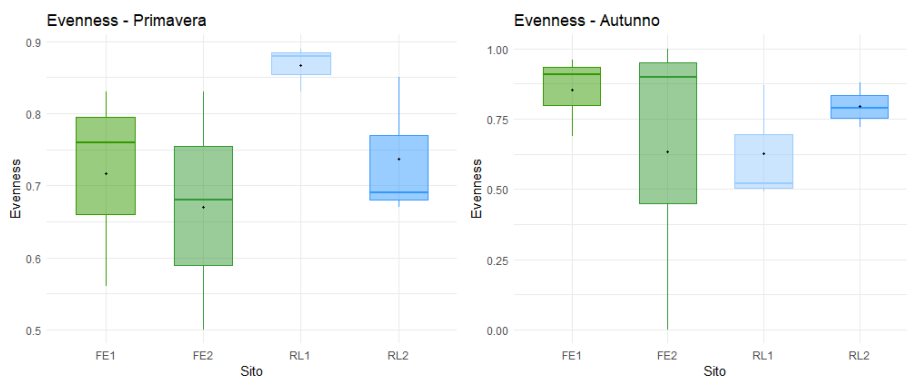


Fig.20 - Boxplots della distribuzione del dato parziale relativo all'indice Shannon e all'*Evenness* registrati nei quattro siti in entrambe le stagioni, senza considerare acari e collemboli. Da sinistra a destra, rispettivamente; FE1, FE2, RL1, RL2, il dato primaverile e quello autunnale. Il dato non comprende acari e collemboli per via della loro elevata numerosità

In generale, gli indici mostrano un'elevata rispondenza alle perturbazioni (in particolare a quelle prodotte dalle lavorazioni al suolo) che si verificano nei diversi siti monitorati e che rispecchiano le condizioni rilevate dai parametri precedentemente analizzati.

5.7 Confronto tra valori di QBS-ar totale, QBS-ar parziale e QBS-ab

Al fine di meglio apprezzare come il parametro abbondanza, possa eventualmente "influenzare" il dato di qualità biologica del suolo ed aiutare a rilevare eventuali altre differenze tra i siti, è sicuramente utile poter confrontare i risultati ottenuti usando il classico calcolo qualitativo del QBS-ar (totale e parziale), con quelli ottenuti applicando il nuovo metodo di calcolo QBS-ab che prevede per l'appunto, l'inclusione nel calcolo finale delle abbondanze dei vari gruppi (Mantoni *et al.*, 2022).

		FE1	FE2	RL1	RL2
Primavera	QBS-ab	194	182	184	302
	QBS-ar parziale	116	130	130	173
	QBS-ar totale	138	174	158	194
	Abbondanza totale	6872	2248	11 647	24 948

Autunno	QBS-ab	167	57	193	218
	QBS-ar parziale	119	69	122	144
	QBS-ar totale	168	120	175	163
	Abbondanza totale	3142	228	5548	10 109

Tab.5 – Confronto tra i valori ottenuti mediante l'applicazione dei diversi metodi di calcolo (QBS-ar e QBSab) per la valutazione della qualità biologica del suolo.

In **Tab.5** è presentato tale confronto e come si può apprezzare, RL2 in primavera risulta come il sito con la migliore *performance* per tutti gli indici: QBS-ar totale e parziale e QBS-ab (ed anche con l'abbondanza totale più alta). Tuttavia, non sempre i risultati sono concordanti. Ad es. in primavera, la distribuzione del dato medio del QBS-ab rileva il sito FE1 al secondo posto, mentre il dato di QBS-ar totale, in accordo con il dato di QBS-ar parziale, attribuisce a tale sito la peggior *performance*. In primavera, per i siti FE2 e RL1 i dati medi di QBS-ar parziale e QBS-ab sono simili (FE2: QBS-ar = 130, QBS-ab = 182, RL1: QBS-ar = 130, QBS-ab = 184). Il QBS-ar parziale attribuisce il medesimo valore ai due siti mentre, il QBS-ab definisce il sito RL1 migliore per sole due unità, nonostante il dato di abbondanza sia molto più elevato per RL1 (11647 esemplari contro i 2248 del sito FE2) (**Tab.5**). In tale situazione il QBS-ab appare maggiormente discriminate rispetto al QBS-ar parziale, ma, il QBS-ar totale risulta in grado di evidenziare un divario maggiore tra gli score ottenuti (FE2: 174, RL1: 158). Considerando la stagione autunnale, invece, la condizione descritta dal dato medio dei valori di QBS-ab è in accordo con il dato medio dei valori di QBS-ar parziale, e con il dato di abbondanza totale, (in ordine decrescente di valori: RL2, RL1, FE1 e FE2). Il QBS-ar totale mostra una classificazione differente (RL1, FE1, RL2, FE2). Tutti gli approcci rilevano il sito FE2 come quello dalla peggior *performance*. In conclusione, in entrambe le stagioni i diversi metodi di calcolo valutati condividono la capacità di discriminare tra i siti, ma non sempre la classificazione rilevata dalle analisi combacia. Come indicato in precedenza, il metodo QBS-ab è stato recentemente sviluppato (nel 2022) e necessita, pertanto, di essere "tarato" mediante la sua applicazione ad un maggiore numero di siti nelle due stagioni considerate e confrontato, ovviamente, con i risultati del classico QBS-ar (totale e parziale) qualitativo. Inoltre, se tali indici sono applicati ad agroecosistemi è essenziale ai fini dell'interpretazione del dato, conoscere le modalità di gestione agricola degli stessi. Inoltre, il QBS-ab presenta una scala numerica ipoteticamente infinita rispetto a QBS-ar totale, che raggiunge il suo valore massimo a 353. Il QBS-ar nel suo sviluppo originario non contempla la valutazione del dato di abbondanza, si basa esclusivamente sul criterio di presenza/assenza di determinate FB. Ciò costituisce nel contempo sia il punto di forza che di debolezza del metodo QBS-ar, da un lato rendendolo più veloce e meno impegnativo per l'operatore, che non deve contare esemplare per esemplare, dall'altro perdendo importanti informazioni sulle abbondanze

degli individui che potrebbero meglio evidenziare eventuali, ulteriori differenze tra i siti. Il QBS-ab, nonostante il suo approccio quantitativo, non risulta sempre in accordo con la condizione rilevata dall'abbondanza, ma in alcuni casi può essere utile a rilevare differenze leggermente più marcate rispetto al QBS-ar parziale, come nel caso primaverile. In generale, attraverso il QBS-ar totale si attua una valutazione cumulativa delle FB e dei relativi valori EMI, in pratica si sommano i valori EMI considerando, se presenti in numero maggiore di due (ma con diverso grado di adattamento al suolo e quindi EMI diversi), i valori più alti. Il dato non nasce quindi da una media numerica, come è stato fatto per QBS-ar parziale e QBS-ab. In queste ultime due applicazioni si verifica una sottostima del dato che viene mediato matematicamente.

5.8 Heatmaps e forme biologiche

Attraverso le *heatmaps* presentate in **Fig.21** è possibile apprezzare, per mezzo dell'intensità dei colori, le differenze relative alle abbondanze rilevate nei quattro siti nelle due stagioni considerate. Sono 22 le FB totali rilevate all'interno della Riserva; in primavera sono state 21 FB: opilionidi, araneidi, acari, isopodi, diplopodi, pauropodi, sinfili, chilopodi, proturi, dipluri, collemboli, ortotteri, emitteri, tisanotteri, coleotteri, imenotteri, ditteri, larve di coleottero, dittero, imenottero ed altri olometaboli. Rispetto al campionamento autunnale non sono stati rilevati psocotteri. Questo gruppo, non presentando particolari adattamenti al suolo, ha un valore EMI 1, ed è considerato un contaminante, e pertanto, la loro presenza non presenta particolare significatività o né rileva particolari differenze tra le due stagioni considerate. In autunno le FB rilevate sono 17: araneidi, acari, isopodi, diplopodi, pauropodi, sinfili, chilopodi, dipluri, collemboli, psocotteri, emitteri, tisanotteri, coleotteri, imenotteri, ditteri, larve di coleottero e larve di dittero. Mentre, non sono stati rilevati: opilionidi, proturi, ortotteri, larve di imenottero ed altri olometaboli.

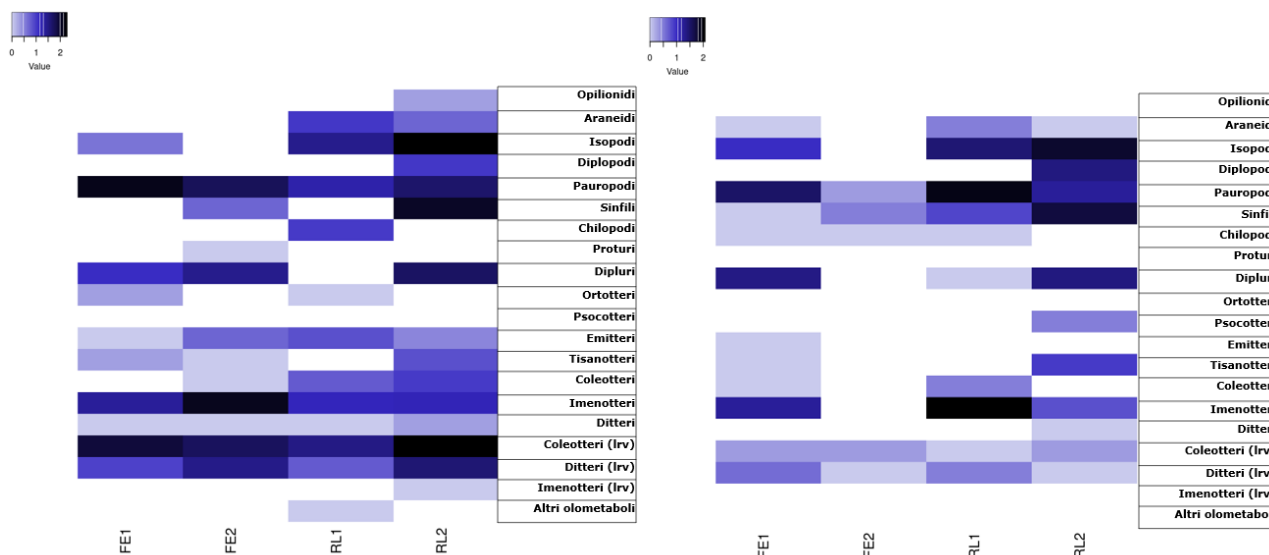


Fig.21 - *Heatmaps* delle abbondanze totali relative alle forme biologiche registrate nei quattro siti in entrambe le stagioni, ad eccezione di acari e collemboli. Da sinistra a destra, rispettivamente; FE1, FE2, RL1, RL2, il dato primaverile e quello autunnale.

La presenza di opilionidi (EMI 10) (**Fig.22 A**) è stata rilevata unicamente in primavera ed unicamente nel sito RL2, che presentava il maggior numero di FB (17), maggior valore di QBS-ar totale e di abbondanza

totale (**Tab.3**). In generale, gli opilionidi sono considerati, come dei validi indicatori di elevata qualità dell'habitat (Gonçalves *et al.*, 2021; Menta e Remelli, 2020). Il loro riscontro conferma oltre all'ottima condizione di qualità biologica del suolo evidenziata a livello degli agroecosistemi della Riserva, anche, come una gestione attenta alle pratiche agricole, come quella adottata nell'Az. Agr. SelvaGiurata, possa realmente contribuire al mantenimento della biodiversità edafica e dei suoi preziosi servizi ecosistemi. Gli ortotteri, *Gryllidae*, con valore EMI 20, sono stati riscontrati in due siti in primavera (FE1 ed RL1) - con abbondanza relativa < all' 1%, esclusi acari e collemboli (no A/C).

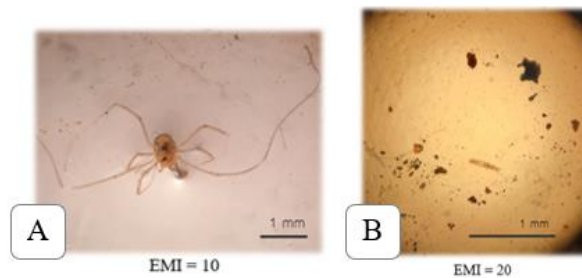


Fig.22 - Le microfotografie raffigurano alcuni degli esemplari riscontrati nei campioni di suolo, unità di misura e relativo valore EMI. **A.** opilionide, **B.** proturo.

Si tratta di un gruppo suscettibile all'inquinamento industriale (Menta e Remelli 2020). La loro presenza all'interno dell'area considerata è sicuramente legata alla stagionalità, ma può essere interpretata anche come un'ulteriore conferma del giudizio positivo relativo alla salute del suolo della Riserva, nonostante essa sia a ridosso di una area urbana fortemente antropizzata. Il riscontro di proturi (EMI 20) (**Fig.22 B**), avvenuto unicamente nel sito FE2 in primavera, con abbondanza relativa (no A/C) < 1%, può essere interpretato come un indicatore della stabilità del suolo. L'assenza di tale gruppo è spesso relazionata a disturbi meccanici ripetuti del suolo o all'utilizzo di sostanze agrochimiche, ma anche a particolari caratteristiche chimico-fisiche del suolo quali ad esempio pH e sostanza organica (SO) ma anche l'umidità (Gonçalves *et al.*, 2021). Relativamente a quest'ultima caratteristica la presenza dei proturi può essere riconducibile alla maggiore umidità (18.8%) presente nel sito FE2, in primavera (**Allegato 6 – Parametri ambientali**).

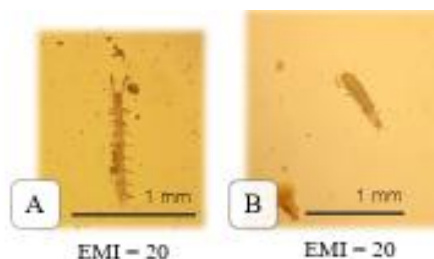


Fig.23 - Le microfotografie raffigurano alcuni degli esemplari riscontrati nel campione, unità di misura e relativo valore EMI. **A.** sinfilo, **B.** pauropode.

Le forme riscontrate in ogni stagione ed in ogni campionamento, oltre ad acari e collemboli - forme ubiquitarie e caratterizzate da abbondanze molto elevate – sono: larve di coleottero e di dittero (EMI 10), che in accordo con la loro ecologia appaiono maggiormente frequenti in primavera, e pauropodi (EMI 20) (**Fig.23 B**). Anche quest'ultimo gruppo come i proturi è considerato come un eccellente indicatore di una

gestione agricola sostenibile. Generalmente la presenza di pauropodi è sfavorita dal disturbo meccanico del suolo e frequentemente sono riscontrati in associazione con i sinfili (EMI 20) (**Fig.23 A**). Questo gruppo è stato riscontrato in tutti i siti in autunno, con rilevanti abbondanze nei siti dell’Az. Agr. SelvaGiurata. Come i pauropodi, i sinfili sono anch’essi molto sensibili al disturbo meccanico del suolo. La presenza di araneidi (EMI 5, forme piccole e poco pigmentate) (**Fig.24 A**) è più frequente e con abbondanze maggiori nei siti dell’Azienda Agricola SelvaGiurata. Ad esempio, in primavera in RL1 si raggiunge un’abbondanza relativa dell’8% (no A/C). I ragni sono predatori, generalmente considerati come validi indicatori del potenziale disturbo causato dall’impiego di agrochimici. A questo riguardo la presenza di questo gruppo in una Azienda piuttosto che nell’altra può essere relazionata all’impiego di diserbanti. Nella Fattoria Ferri tale gruppo viene rilevato unicamente in FE1 nella condizione autunnale, di riposo pre-aratura del campo. Anche gli isopodi (EMI 10) (**Fig.24 B**) sono stati rilevati nei siti RL1 ed RL2 con abbondanze maggiori, mai sono stati rilevati in FE2.

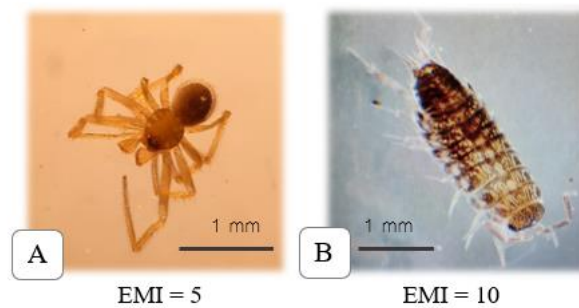


Fig.24 - Le microfotografie raffigurano alcuni degli esemplari riscontrati nel campione, unità di misura e relativo valore EMI. **A.** araneide, **B.** isopode

Negli agroecosistemi, gli isopodi assolvono ad un ruolo importante nel processo di decomposizione e mineralizzazione della sostanza organica e sono anch’essi ritenuti dei validi indicatori di qualità del suolo in relazione alla produzione agricola. Risentono fortemente delle alterazioni nella condizione del substrato e, difatti, sistemi di gestione meno impattanti favoriscono un incremento della loro popolazione (Paoletti e Hassell, 1999). Anche in questo caso, l’osservazione è a supporto della sostenibilità delle pratiche agricole adottate dall’Azienda SelvaGiurata. Infine, i diplopodi (EMI 10 o 20) vengono rilevati unicamente nel sito RL2 con abbondanza maggiore in autunno. Sono indicatori della qualità dell’habitat, della stabilità di esso e della diversità della comunità dei decompositori della lettiera.

5.9 Parametri chimico-fisici

Le tabelle successive (**Tab.6**, **Tab.7**) riportano i risultati delle analisi chimico-fisiche. I siti FE2 e RL2 mostrano la medesima classe tessiturale franco sabbiosa, mentre il sito FE1 possiede una tessitura franco limosa ed il sito RL1 presenta un terreno a medio impasto (franco) (**Tab.6**). La **Tab.7** riporta i valori dei parametri chimici misurati per ogni sito monitorato. In generale, il pH è compreso tra 7 ed 8, tra la condizione di neutralità e lieve alcalinità, il rapporto carbonio/azoto (C/N) risulta in tutti i siti basso (<9), il contenuto di sostanza organica risulta medio, il contenuto di azoto totale (TN) risulta medio, il contenuto di Zinco (Zn) assimilabile risulta basso.

Az Agr.	Tessitura a 3 frazioni			Tipo di tessitura (USDA)	Classificazione semplificata (USDA)
	Sabbia	Limo	Argilla		
FE1	31.40%	51.10%	17.50%	Silt loam	FL -tessitura franco limosa
FE2	55%	35.50%	9.50%	Sandy loam	FS -tessitura franco sabbiosa
RL1	39.70%	39.90%	20.40%	Loam	F -tessitura franco
RL2	61.30%	26.20%	12.50%	Sandy loam	FS -tessitura franco sabbiosa

Tab. 6 – Percentuali delle diverse frazioni, tipo di tessitura ottenute attraverso il sito del United States Department of Agriculture (USDA) e classificazione tessiturale semplificata per ogni sito.

Le maggiori differenze riguardano il contenuto di Fosforo (P) e di Potassio (K) particolarmente elevato per il sito RL2. Il contenuto di Ferro (Fe) assimilabile alto per FE1, il contenuto di rame (Cu) assimilabile medio per RL1, il Manganese (Mn) assimilabile, particolarmente basso per RL1. La Capacità di Scambio Cationico (CSC) risulta media per tutti i siti e bassa per FE2, mentre la Conducibilità Elettrica (CE) rileva i siti FE1 e RL2 non salini, FE2 debolmente salino e RL1 debolmente salino (Classi di salinità secondo Richards (1954) e *Soil Survey Manual* dell'USDA).

Sito	pH	C/N	SO (g/kg)	TOC (g/kg)	TN (g/kg)	P assimilabile (mg/kg)	K scambiabile (mg/kg)	Fe assimilabile (mg/kg)	Cu assimilabile (mg/kg)	Zn assimilabile (mg/kg)	Mn assimilabile (mg/kg)	CE (dS/m)	CSC (meq/100g)
FE1	8	6.7	18.55	10.75	1.6	24.4	123	25.3	6.5	0.83	5.15	0.983	18.1
E2	7	6.9	14.15	8.2	1.2	18.4	77	18.3	5.7	0.81	5.8	2.425	9.6
RL1	7.5	6.8	14.1	8.18	1.2	23.1	126	12.5	3.65	0.57	4.08	4.588	12.2
RL2	7.5	7.3	17.6	10.2	1.4	40	314	18.5	8.4	1.4	6.3	1.108	13.5

Tab. 7 – La tabella riporta i parametri chimici dei diversi siti analizzati nel presente studio.

5.10 Analisi di Correlazione di Spearman

L'analisi di correlazione (Spearman, $p > 0.05$) è stata svolta considerando i parametri chimici, precedentemente elencati, ed alcuni parametri biologici (QBS-ar totale, QBS-ar parziale, QBS-ab ed abbondanze totali e parziali). Sono stati considerati i dati rilevati nelle due stagioni cumulativamente e separatamente (dati primaverili e dati autunnali). Di seguito sono riportate le correlazioni individuate in entrambi i precedenti casi (**Fig.25**). Il dato parziale di abbondanza (cioè il numero di esemplari rilevato per singola replica A, B, C), mostra una correlazione positiva con gli elementi K e P e con i valori di QBS-ar parziale e QBS-ab. Il dato di abbondanza totale (cioè la somma del numero di esemplari rilevato in ogni replica del campione) mostra una correlazione positiva unicamente con K. Il dato di QBS-ar totale valutato, considerando i dati delle due stagioni cumulativamente, mostra una correlazione con K. Mentre, considerandole singole stagioni tale rapporto non viene rilevato. In primavera il dato appare correlato positivamente con: C/N, sabbia, Mn e correlato negativamente con: pH, limo, argilla. Le presenti correlazioni si invertono durante la stagione autunnale. Per il QBS-ar parziale si rileva, in tutti i casi, una correlazione positiva con K e con le abbondanze parziali. Inoltre, considerando i dati autunnali e primaverili cumulativamente si rilevano correlazioni positive con: C/N, sabbia, Mn e negative per: pH, limo, argilla. Le

medesime rilevate dal QBS-ar totale durante la sola stagione primaverile. Anche nel presente caso è bene considerare che il dataset a disposizione presenta un numero limitato di dati, pertanto, quelle descritte sono delle associazioni che dovranno essere ulteriormente approfondite.

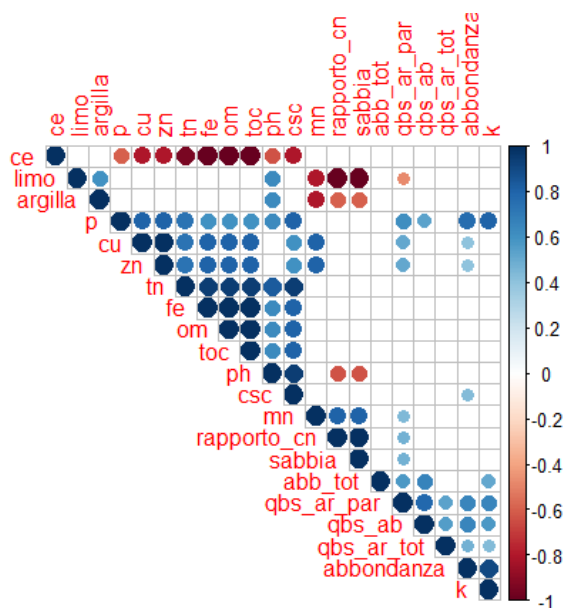


Fig.25 – Output dell’analisi di correlazione (Spearman) per i parametri biologici e parametri chimico-fisici considerando cumulativamente i dati primaverili ed autunnali. Gli spazi bianchi all’interno del triangolo rappresentano assenza di correlazione. In blu le correlazioni positive, in rosso le correlazioni negative.

5.11 Densità apparente (DA) e porosità

La **Tab.8** mostra il dato medio relativo alla densità apparente (DA) e alla porosità nei quattro siti e nelle due stagioni considerate. Per valutare una possibile relazione tra i due parametri ed i dati biologici è stata considerata unicamente la stagione primaverile, momento in cui i siti FE1, FE2, RL2 presentavano la medesima coltura (grano) e nei tempi più recenti avevano subito le medesime lavorazioni. Come ricordato precedentemente, tali parametri sono in grado di fornire informazioni in merito all’abitabilità ed al grado di compattamento del suolo.

	Densità apparente (g/cm ³)		Porosità (%)	
	Primavera	Autunno	Primavera	Autunno
FE1	1.37	1.41	48%	47%
FE2	1.51	1.35	43%	49%
RL1	1.61	1.56	39%	41%
RL2	1.42	1.37	47%	48%

Tab.8 – Parametri fisici ed ambientali dei diversi siti analizzati e nelle due stagioni nel presente studio.

A seconda della tessitura, però, il suolo risponde diversamente a tale processo poiché l'interazione tra percentuali diverse di particelle di varia dimensione, fa sì che si formino aggregati più o meno voluminosi e compatti. Nel caso in esame i siti FE2 e RL2 presentano la medesima classe tessiturale (**Tab.6**). L'analisi di correlazione (Spearman, $p > 0.05$) non ha rilevato correlazioni significative tra i parametri fisici considerati e i parametri biologici (QBS-ar totale, QBS-ar parziale, QBS-ab ed abbondanza totale e parziale).

6. Conclusione e prospettive future

Gli agroecosistemi considerati, ubicati all'interno della Riserva Naturale Regionale Sentina, risultano possedere un'ottima qualità biologica del suolo. In alcuni casi si registrano valori particolarmente elevati, non comuni in agroecosistemi con gestione convenzionale. La presenza di un così alto livello di "salute" del suolo è attribuibile alla localizzazione dei siti all'interno di un'area protetta, cioè una matrice di alta qualità ambientale (Mantoni *et al.*, 2021). Ciò conferma l'importanza delle aree naturali nel preservare ed implementare la biodiversità, come ampiamente riconosciuto e sottolineato dalla *Biodiversity Strategy 2030*, tra gli obiettivi della quale vi è proprio l'aumento del 30% delle aree protette in Europa. La presenza di aree naturali in prossimità di agroecosistemi, difatti, favorisce un più rapido ripopolamento a seguito dei disturbi dovuti alle lavorazioni (Jackson *et al.*, 2018) e fa sì che la vitalità delle popolazioni venga mantenuta grazie all'immigrazione da aree adiacenti (Mantoni *et al.*, 2021). L'analisi della struttura della comunità dei microartropodi rileva la presenza di una comunità attiva e resiliente e conferma, per tutti i siti, un elevato livello di conservazione dell'ambiente e della biodiversità. Ciò è particolarmente evidente per i campi dell'Az. Agr. SelvaGiurata, che mostra una migliore *performance* rispetto all'Az. Agr. Ferri. A questo riguardo, nonostante entrambe adottino un sistema di gestione di tipo convenzionale, l'intensità delle pratiche agricole applicate è differente. L'Azienda SelvaGiurata applica pratiche agricole sostenibili ed attente al rispetto della biodiversità edafica (lavorazioni minime, rotazioni delle colture con legumi, false semine, *set-aside* con rafano) che si rispecchiano nei risultati ottenuti nel presente studio. Il confronto tra le due Aziende offre l'opportunità di identificare alcune *agricultural best practices*, auspicabilmente da adottare ed estendere anche ad altre Aziende presenti all'interno della Riserva della Sentina. A questo riguardo, tra le pratiche applicate, sarebbe interessante approfondire, nell'anno successivo, l'effetto del rafano sulla comunità dei microartropodi, per via dei benefici che il suo apparato radicale profondo apporta in termini di miglioramento della struttura del suolo e incremento della porosità. Sarebbe, inoltre, interessante approfondire l'aspetto delle correlazioni tra i parametri chimico-fisici ed i parametri biologici, per comprendere se le relazioni trovate nel presente anno siano mantenute o meno. Per concludere, preservare ed implementare la biodiversità del suolo significa mantenere e potenziare i servizi ecosistemici da essa forniti e, quindi, la condizione di salute e benessere delle piante, degli animali e dell'uomo (Mania *et al.*, 2016). A livello europeo, raggiungere una gestione sostenibile del suolo è cruciale per raggiungere gli obiettivi del Green Deal (Montanarella & Panagos, 2021). Il suolo è la matrice dove avviene la produzione agricola; pertanto, la qualità dell'alimento dipende dalla condizione di salute di esso. La messa in opera di pratiche di gestione agricola sostenibile permette di ottenere un sistema resiliente ed economicamente

produttivo, andando a soddisfare sia le esigenze di produzione che quelle di tutela dell'agroecosistema e della sua biodiversità funzionale.

7. Bibliografia

1. AA. VV. "Programma REMO. Rete nazionale monitoraggio biodiversità e degrado dei suoli" (Quaderni Natura e Biodiversità, ISPRA - Roma. (2012) ISBN: 978-88-448-0570-8.
2. Bachelier G., La vie animale dans les sols. Orstom (1963).
3. Bertola M., Ferrarini A., Visioli G., Improvement of Soil Microbial Diversity through Sustainable Agricultural Practices, and Its Evaluation by -Omics Approaches: A Perspective for the Environment. Food Quality and Human Safety. *Microorganisms*. 9(7):1400 (2021).
4. Bünemann E.K., Bongiorno G., Baic Z., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mädera P., Pulleman M., Sukke W., van Groenigen J.W., Brussaard L., Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, p. 105-125 (2018).
5. Codurri M., Truzzi A. e Bertonazzi M. C., "Microartropodi del terreno. Manuale da campo per il riconoscimento dei microartropodi del terreno come indicatori della qualità biologica del suolo (metodo QBS-ar)". Consorzio del Parco Naturale dell'Oglio Sud. Calvatone (2005).
6. D'Avino L., "Esposizione del metodo di Vittorio Parisi per la valutazione della Qualità Biologica del Suolo (QBS) e proposta di standardizzazione delle procedure." Parma (2002)
7. FAO, ITPS, GSBI, CBD and EC. 2020. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
8. Gonçalves F., Carlos C., Crespo L., Zina V., Oliveira A., Salvação J., Pereira J.A., Torres L., Soil Arthropods in the Douro Demarcated Region Vineyards: General Characteristics and Ecosystem Services Provided. *Sustainability*, 13, 7837 (2021).
9. Jackson L.E., Bowles T.M., Ferris H., Margenot A.J., Hollander A., Garcia-Palacios P., Daufresne T., Sánchez-Moreno S., Plant, and soil microfaunal biodiversity across borders between arable and forest ecosystem in a Mediterranean landscape. *Applied Soil Ecology*, 136, 0929-1393 (2018).
10. Koninger J., Panagos P., Jones A., Briones M.J.I., Orgiazzi A., In defence of soil biodiversity: Towards an inclusive protection in the European Union. *Biological Conservation* 268, 109475 (2021).
11. Mania E., Piazzini M., Gangemi L., Rossi A.E., Cassi F., Isocrono D., Pedullà M., Guidoni S., The Soil Biodiversity as a Support to Environmental Sustainability in Vineyard. In Proceedings of the XI International Terroir Congress, Willamette Valley, OR, USA, p. 316–320 (2016)
12. Mantoni, C.; Pellegrini, M.; Dapporto, L.; Del Gallo, M.M.; Pace, L.; Silveri, D.; Fattorini, S. Comparison of Soil Biology Quality in Organically and Conventionally Managed Agro-Ecosystems Using Microarthropods. *Agriculture*, 11, 1022 (2021)
13. Menta C., "Guida alla conoscenza della biologia e dell'ecologia del suolo: funzionalità, diversità biologica, indicatori." Gruppo Perdisa Editore, Bologna (2008).
14. Menta C., Leoni A., Conti F.D., 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 (2011)
15. Menta C. e Remelli S., Soil Health and Arthropods: From Complex System to Worthwhile Investigation *Insects*, 11, 54 (2020).

16. Meyer, M.; Ott, D.; Götze, P.; Koch, H.; Scherber, C. Crop identity and memory effects on aboveground arthropods in a long-term crop rotation experiment. *Ecol. Evol.*, 9, p. 7307–7323 (2019).
17. Montanarella L., Panagos P., The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land Use Policy* 100, (2021).
18. Paoletti M.G., Hassal M., Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 74, p. 157–165 (1999).
19. Parisi, V., Soil biology and ecology, techniques of research. Boringhieri, Torino (1974).
20. Parisi, V., The biological soil quality, a method based on microarthropods. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, 37, p. 97–106 (2001).
21. Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C., Mozzanica E., Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(1–2) p. 323–333 (2005).
22. Paul, C., Kuhn, K., Steinhoff-Knopp, B., Weisshuhn, P., Helming, K., Towards a standardization of soil-related ecosystem service assessments. *Eur. J. Soil Sci.* 72 (4), p. 1543–1558 (2021).
23. Pielou E.C., *Mathematical Ecology*. Wiley, New York, p. 385 (1977).
24. Richards L.A., *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Agriculture Handbook 60, U.S.D.A. (1954)
25. Soil is a non-renewable resource. Its preservation is essential for food security and our sustainable future. FAO, 2015 - <https://www.fao.org/3/i4373e/i4373e.pdf>
26. Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
27. Sommaggio D. e Paoletti M., *Gli invertebrati come bioindicatori di un paesaggio sostenibile*. libreria universitaria.it edizioni (2018).
28. Swift, M. J. *et al.*, “Decomposition and Mineral-Nutrient Dynamics of Plant Litter in a Regenerating Bush-Fallow in Sub-Humid Tropical Nigeria.” *Journal of Ecology*, 69(3), p. 981–95 (1981).
29. Tiberi, M. *et al.*, MOSYSS (MONitoring SYstem of Soils at multiScale) REPORT EU, ISBN 978-92-79-34890-7 (2015)
30. United States Department of Agriculture (USDA) https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167
31. Wiener N., *Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine*, The MIT Press, Cambridge (Mass.) (1948).

Allegati - Applicazione dell'Indice "Qualità Biologica Suolo - artropodi" (QBS-ar) in Aziende Agricole della Riserva Naturale Regionale Sentina (San Benedetto del Tronto, AP) – Relazione finale 2022

- Allegato 1 – Schede Aziendali
- Allegato 2 – Foto rappresentative delle Aziende Agricole in primavera ed autunno
- Allegato 3 – Scheda di Rilevamento
- Allegato 4 – Analisi Spettrale
- Allegato 5 – Scheda per la definizione dell'Indice QBS-ar
- Allegato 6 – Parametri ambientali

Allegato 1 – Schede Aziendali

Informazioni generali	
Nome Azienda	
Proprietario	
Sede legale	
Ente certificatore biologico	
Anno passaggio al biologico	

Presenza di allevamento animale	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Tipo di allevamento	

Informazioni sull'appezzamento considerato per lo studio	
Numero particella catastale	
Indirizzo	
Coordinate geografiche	Latitudine:
	Longitudine:
Superficie seminabile (ha)	

Se possibile, allegare mappa catastale dell'appezzamento considerato.

Successioni culturali nell'appezzamento considerato				
Anno	2018	2019	2020	2021
Coltura				

Varietà				
Resa produttiva				

Concimazioni e trattamenti				
Anno	2018	2019	2020	2021
Concimazione	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Tipologia di prodotto				
Quantità				
Data applicazione				
Utilizzo di spargi-concime	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Fitofarmaci	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Tipologia di prodotto				
Quantità				
Data applicazione				
Irrigazione	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Se sì, metodo impiegato				
Fonte dell'acqua				

Lavorazioni effettuate nell'appezzamento nei rispettivi anni (es: aratura pre-semina e <u>profondità</u> , erpicatura pre-semina, semina, sfalcio, strigliatura pre-concimazione, trebbiatura con trinciatura paglia etc.)			
2018	2019	2020	2021

Schema di Rotazione



Schema di rotazione (es: 2 anni coltura e 1 maggese o riposo)	
Nel periodo di riposo vengono effettuate lavorazioni?	Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Se sì, quali sono le pratiche effettuate?	

Disponibilità analisi chimico-fisiche (es: pH, carbonio totale e organico, tessitura, sostanza organica, NPK, metalli scambiabili etc.)
Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

Allegare documentazione relativa alle analisi chimico-fisiche

Allegato 2 – Foto rappresentative delle Aziende Agricole in primavera ed autunno

1. Az. Agr. Ferri

1.1 Campo 1		Giugno 2021	Settembre 2021
		<p>QBS-ar totale: 138</p> <p>Densità totale: 229067 ind/m²</p>	 <p>QBS-ar totale: 168</p> <p>Densità totale: 104733 ind/m²</p>
Coltivazione:	Grano	Mietitura e trebbiatura metà luglio 2021. Riposo fino a semina novembre 2021	
1.2 Campo 2		Giugno 2021	Settembre 2021
		<p>QBS-ar totale: 174</p> <p>Densità totale: 74933 ind/m²</p>	 <p>QBS-ar totale: 120</p> <p>Densità totale: 7600 ind/m²</p>
Coltivazione:	Grano	Mietitura e trebbiatura metà luglio 2021. Aratura. Porri	

2 Az. Agr. Rebez Laureati

2.1 Campo 1		Giugno 2021	Settembre 2021
		<p>QBS-ar totale: 158</p> <p>Densità totale: 388233 ind/m²</p>	 <p>QBS-ar totale: 175</p> <p>Densità totale: 184933 ind/m²</p>
Coltivazione:	Rafano + Favino	Trinciatura ed interrimento con erpice a dischi (10-15 cm)	
2.2 Campo 2		Giugno 2021	Settembre 2021
		<p>QBS-ar totale: 194</p> <p>Densità totale: 831600 ind/m²</p>	 <p>QBS-ar totale: 163</p> <p>Densità totale: 336967 ind/m²</p>
Coltivazione:	Grano	Mietitura e trebbiatura a fine giugno 2021. Passaggio con erpice a dischi (10-15 cm) all'inizio di agosto 2021.	

Allegato 4 – Analisi spettrale

La finalità dell'applicazione dell'Analisi Spettrale (AS) è quella di verificare l'omogeneità della stazione, cioè l'omogeneità in termini di valori EMI, relativi alle forme biologiche, rilevati nelle tre repliche costituenti il campione. L'analisi si basa sul calcolo della Differenza Spettrale (DS) che rappresenta la sommatoria delle differenze tra i valori EMI delle repliche di una stessa stazione, valutate forma biologica per forma biologica. La DS è calcolata tra ognuna delle repliche e tutte le altre (D'Avino, 2002; Menta, 2008). Minore è il valore di DS rispetto ai valori di due QBS-ar parziali coinvolti nel confronto, più la stazione è omogenea e più il valore QBS-ar totale sarà rappresentativo. Di contro, maggiore è il valore di DS, più la stazione sarà disomogenea ed il valore di QBS-ar totale sarà meno rappresentativo. Se la DS risulta superiore al valore di almeno uno dei due QBS-ar parziali confrontati, anche solo in uno dei confronti tra le repliche, la stazione viene definita disomogenea. Ciò comporta l'invalidamento del campionamento o, quantomeno, segnala che la stazione appare composta, dal punto di vista della sua biocenosi, da più stazioni differenti, le cui cause potrebbero poi essere indagate successivamente modificando il piano di campionamento (D'Avino, 2002).

		FE 1			FE 2			RL 1			RL 2		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Primavera	QBS-ar parziale	86	126	137	152	111	128	136	133	121	183	167	169
	DS	42	53	11	41	28	17	46	55	12	18	36	32
Autunno	QBS-ar parziale	137	126	95	38	58	110	135	101	130	140	137	156
	DS	73	62	31	40	72	72	54	85	31	7	26	23

Tab. A – Tabella riassuntiva dei valori di QBS-ar parziale ottenuti nei quattro siti monitorati nelle due stagioni nell'ambito del presente studio e corrispondenti valori di Differenza Spettrale (DS) calcolati tra le tre repliche costituenti il campione.

La **Tab.A** riporta l'esito dell'AS condotta nel presente studio. Tutte le stazioni risultano omogenee in entrambe le stagioni, le comunità di microartropodi caratterizzano le porzioni di suolo prelevate, difatti le DS sono sempre minori dei QBS-ar parziali. L'unica eccezione è rappresentata dal sito FE2 in autunno, dove il principio di omogeneità non viene soddisfatto. In questo caso, ad esempio, i valori di QBS-ar parziale della replica A (38) e della replica B (58) non sono contemporaneamente maggiori al valore di DS A (40), ottenuto dalla differenza tra i valori EMI delle repliche A e B, valutate forma biologica per forma biologica. Alla stessa maniera i valori di QBS-ar parziale A (38) e C (110) non sono contemporaneamente maggiori al valore di DS B (72), né i valori di QBS-ar parziali B (58) e C (110) sono contemporaneamente maggiori al valore di DS C (72).

Allegato 5 – Scheda per la definizione dell'Indice QBS-ar

SCHEDA QBS-ar		Date		
Sigla	Località	Prelievo	Fine Estr.	Smistamento

GRUPPO	FORMA BIOLOGICA	EMI	RA	WA	RB	WB	RC	WC	RT	W	EMI max	NT
Pseudoscorpioni		20										
Scorpioni	<i>Forme giovanili</i>	10										
Palpigradi		20										
Opilioni		10										
Araneidi	<i>Forme superiori a 5mm</i>	1										
	<i>Forme piccole e poco pigmentale</i>	5										
Acari	<i>Oribatidi</i>	20										
	<i>Altri</i>											
Isopodi		10										
Diplopodi	<i>Forme superiori a 5mm</i>	10										
	<i>Forme inferiori a 5mm</i>	20										
Pauropodi		20										
Sinfili		20										
Chilopodi	<i>Forme > 5 mm, ma con zampe ben sviluppate</i>	10										
	<i>Altre forme (Geofilomorfi)</i>	20										
Proturi		20										
Dipluri		20										
Collemboli												
<i>Forme epigee: appendici allungate, ben sviluppate. Apparato visivo (macchia ocellare e occhi) ben sviluppato. Dimensioni medie/grandi, presenza di livrea complessa</i>		1										
<i>Forme epigee non legate alla vegetazione arborea con buon sviluppo delle appendici con forte sviluppo di setole o squame. Apparato visivo ben sviluppato.</i>		2										
<i>Forme di piccola dimensione con medio sviluppo delle appendici, apparato visivo ben sviluppato, livrea modesta, forme limitate alla lettiera</i>		4										
<i>Forme emiedafiche con apparato visivo ben sviluppato, appendici non allungate, livrea con colore</i>		6										
<i>Forme emiedafiche con riduzione del numero di ocelli, appendici poco sviluppate, con furca ridotta o assente. Presenza di pigmentazione.</i>		8										
<i>Forme euedafiche con pigmentazione assente, riduzione o assenza di ocelli. Furca presente, ma ridotta</i>		10										
<i>Forme euedafiche depigmentate, prive di furca, appendici tozze, presenza di pseudoculi, organo postantennale sviluppato (ma non necessariamente presente), strutture sensoriali apomorfiche</i>		20										
Microcorifi		10										
Zigentomi		10										
Dermatteri		1										
Ortotteri	<i>In generale</i>	1										
	<i>Famiglia Grillidae</i>	20										
Embiotteri		10										
Fasmodei		1										
Mantodei		1										
Mecotteri		1										
Isotteri		10										
Blattari		5										
Psocotteri		1										

Emitteri	<i>Forme epigee</i>	1										
	<i>Larve cicala</i>	10										

GRUPPO	FORMA BIOLOGICA	EMI	RA	WA	RB	WB	RC	WC	RT	W	EMI max	NT
Rafidiotteri		1										
Tisanotteri		1										
Coleotteri (*)	<i>Forme epigee</i>	1										
	<i>Dimensioni < 2mm</i>	+ 4										
	<i>Tegumenti sottili, con colori testacei</i>	+ 5										
	<i>Microatterismo o atterismo</i>	+ 5										
	<i>Microfalmia o anoftalmia</i>	+ 5										
	<i>Nel caso di forme edafobie</i>	20										
Imenotteri	<i>In generale</i>	1										
	<i>Formicidi</i>	5										
Ditteri	<i>Adulti</i>	1										
Tisanuri		10										
Planipenni		1										
Mecotteri (Irv)		10										
Coleotteri (Irv)		10										
Ditteri (Irv)		10										
Imenotteri (Irv)		10										
Lepidotteri		10										
Altri olometaboli	<i>Adulti</i>	1										
QBS-ar per ogni replica (R)												
QBS-ar massimo												

(*) per le forme chiaramente **NON epigee**, si assegnano 5 punti per la presenza di ciascuno dei caratteri elencati con il + (max = 20)

GRUPPO	Taxon/FORMA BIOLOGICA	EMI	RA	WA	RB	WB	RC	WC	RT	W	EMI max	NT
Diplopodi	<i>Glomeridae</i> (10 se <5mm; 20 se > 5mm)											
	<i>Polixenidae</i> (< 5mm)	20										
	<i>Polydesmidae</i> (10 se < 5mm; 20 se >)											
	<i>Julidae</i> (10 se <5mm; 20 se > 5mm)											
Dipluri	<i>Japix</i>	20										
	<i>Campoidae</i>	20										

Allegato 6 – Parametri ambientali

	Temperatura atmosferica (°C)		Temperatura del suolo (°C)		Umidità del suolo (%)	
	Primavera	Autunno	Primavera	Autunno	Primavera	Autunno
FE1	30.2 °C	23.2 °C	20.6 °C	21.2 °C	8.10%	14.30%
FE2	33.0 °C	23.8 °C	21.8 °C	21.5°C	18.80%	32.50%
RL1	33.6 °C	28.8 °C	23.6 °C	22.6°C	9.90%	8.80%
RL2	30.0 °C	28.2 °C	23.9 °C	22.2°C	5.20%	10.90%

Tab.B – Parametri ambientali (temperatura atmosferica, temperatura ed umidità del suolo) registrati nei quattro siti durante il campionamento primaverile e autunnale.