



# Applicazione dell'Indice "Qualità Biologica Suolo - artropodi" (QBS-ar) in Aziende Agricole della Riserva Naturale Sentina

Risultati campagna 2023



## Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria

### Laboratorio di Biodiversità del suolo e agricoltura sostenibile

*Responsabile scientifico:*

- Prof.ssa Antonietta La Terza

*Campionamenti:*

- Prof.ssa Antonietta La Terza; Dott.ri: Aurora Torresi, Martina Coletta, Marco Monticelli, Mario Marconi

*Elaborazioni:*

- Dott.ssa Aurora Torresi



1336

# INDICE

<b>FINALITÀ GENERALI DEL PROGETTO</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
BIODIVERSITÀ E SERVIZI ECOSISTEMICI	4
RUOLO DELL'AGRICOLTURA NELLA SALUTE DEL SUOLO	4
STRUMENTI NORMATIVI LEGATI AL SUOLO	6
INDICE DI QUALITÀ BIOLOGICA DEL SUOLO BASATO SUI MICROARTROPODI (QBS-AR)	7
• <i>Origine e approccio metodologico</i>	7
<b>MATERIALI E METODI</b>	<b>9</b>
INQUADRAMENTO DELLE AZIENDE AGRICOLE SELEZIONATE	9
CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI STUDIO	13
• <i>Pratiche agricole</i>	13
• <i>Contesto climatico</i>	14
• <i>Contesto pedologico</i>	14
CAMPIONAMENTI DEL SUOLO	15
• <i>Prelievo di suolo per QBS-ar</i>	15
• <i>Prelievo di suolo per analisi chimiche</i>	16
METODO DI ESTRAZIONE MICROARTROPODI	17
RICONOSCIMENTO DELLE FORME BIOLOGICHE, PUNTEGGIO EMI E QBS-AR	19
CLASSI DI QUALITÀ DEL SUOLO	20
INDICI STRUTTURALI	21
• <i>Abbondanza</i>	21
• <i>Forme biologiche (FB)</i>	21
• <i>Forme euedafiche (FE)</i>	21
• <i>Rapporto Acari/Collemboli (A/C)</i>	21
• <i>Percentuale di Acari Oribatidi sul totale degli Acari (%AO)</i>	21
ANALISI STATISTICA	22
<b>RISULTATI</b>	<b>23</b>
VALUTAZIONE DELLE PRATICHE AGRICOLE	23
RISULTATI DELLE ANALISI CLIMATICHE	23
RISULTATI DELLE ANALISI CHIMICHE	24
RISULTATI DELLE ANALISI BIOLOGICHE	26
• <i>QBS-ar</i>	27
• <i>Confronto delle classi di giudizio rispetto alle classi di qualità biologica</i>	29
STRUTTURA DELLA COMUNITÀ DI MICROARTROPODI	30
• <i>Abbondanza totale</i>	30
• <i>Abbondanza di Acari, Collembola, Imenotteri e degli altri taxa rispetto all'abbondanza totale.</i>	31
• <i>Indicatori strutturali della comunità</i>	33
• <i>Proporzione di Oribatidi su Acari totali</i>	34
• <i>Focus sugli Isopodi</i>	35
• <i>Heatmaps</i>	36
• <i>Risultato dell'nMDS</i>	38
<b>DISCUSSIONE</b>	<b>40</b>
<b>CONCLUSIONE</b>	<b>44</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>45</b>

## FINALITÀ GENERALI DEL PROGETTO

Il progetto triennale di monitoraggio del suolo (2021-2023) intitolato "Applicazione dell'Indice di Qualità Biologica del Suolo - artropodi (QBS-ar) in aziende agricole della Riserva Naturale Regionale della Sentina", è stato sviluppato dal Laboratorio di Biodiversità del Suolo e Agricoltura Sostenibile, della Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria dell'Università di Camerino (UNICAM), in accordo con il Comune di San Benedetto del Tronto (AP), autorità gestionale della Riserva Naturale Regionale della Sentina, e con la collaborazione del Dr. Stefano Chelli, consulente scientifico-tecnico della Riserva.

L'obiettivo del progetto era valutare, nel corso dei tre anni, la qualità biologica del suolo di due diverse aziende agricole (Fattoria Ferri e SelvaGiurata) utilizzando l'indice QBS-ar, prendendo in considerazione due siti di studio per ciascuna fattoria situati all'interno della Riserva della Sentina.

Data la posizione ravvicinata tra i quattro suoli campionanti, questi mostrano lo stesso andamento climatico e sulla base di analisi chimico-fisiche, effettuate nel primo anno del progetto, risultano avere anche simili condizioni chimico-fisiche del suolo. I quattro siti sono soggetti a una gestione agricola di tipo convenzionale; tuttavia, Fattoria Ferri e SelvaGiurata differiscono per l'intensità delle pratiche agricole applicate, poiché dai dati delle lavorazioni del suolo fornite dagli agricoltori, Fattoria Ferri adotta più frequentemente l'aratura profonda e non utilizza né colture di copertura né colture azoto-fissatrici.

L'obiettivo principale di questo progetto era quello di valutare la qualità biologica dei suoli appartenenti alle due aziende agricole selezionate attraverso l'Indice di QBS-ar. In aggiunta, in quest'ultimo anno di analisi si è deciso di confrontare le due aziende agricole in termini di sostenibilità relativa a una diversa intensità di pratiche agricole implementate. Per effettuare quest'ulteriore indagine, oltre al QBS-ar sono stati utilizzati anche altri indicatori biologici (Forme Biologiche ed Euedafiche, abbondanza totale, rapporto Acari/Collembola (rapporto A/C), percentuale di Oribatidi sul totale degli Acari (%AO) e abbondanza di Isopodi).

Questa relazione finale riguarda le attività di biomonitoraggio svolte nel 2023, ultimo anno in cui i campioni di suolo sono stati prelevati in ciascun sito selezionato, sia in primavera che in autunno, per un indagare anche una possibile variazione stagionale della comunità di microartropodi presenti nel suolo.

## INTRODUZIONE

### BIODIVERSITÀ E SERVIZI ECOSISTEMICI

Il suolo è definito come una risorsa limitata e non rinnovabile in quanto si forma nel corso di centinaia o migliaia di anni ma al contempo si degrada molto rapidamente. Mantenere la sua condizione è importante a causa della presenza di numerosi organismi viventi, tra cui microrganismi (ad es. batteri, protozoi e funghi) e, la più conosciuta, meso- e macrofauna (ad es. microartropodi, lombrichi). Questi organismi interagendo tra loro e con le piante danno vita all'intricata rete alimentare del suolo: energia e nutrienti vengono convertiti e scambiati tra gli organismi, risultando nei cosiddetti servizi ecosistemici del suolo, definiti come tutti quei benefici che le persone ricavano dal capitale naturale e che risultano essere essenziali per superare le attuali sfide ambientali e sociali (cambiamento climatico, sicurezza alimentare, salvaguardia della biodiversità e della salute umana) (Montanarella & Panagos, 2021).

Il progetto di ricerca sulla Valutazione degli ecosistemi del Millennio (MEA) (Reid et al., 2005) condotto dal 2001 al 2005 è stato realizzato per definire lo stato degli ecosistemi mondiali e degli associati servizi che forniscono, per valutare le conseguenze dei loro cambiamenti per il benessere umano e infine per fornire una solida base scientifica volta a formulare politiche di conservazione e di uso sostenibile degli ecosistemi. Il MEA classifica i servizi ecosistemici in quattro categorie:

- 1) *Servizi di approvvigionamento*, ossia prodotti degli ecosistemi come cibo e acqua dolce.
- 2) *Servizi di regolazione*, vale a dire tutti quei benefici che derivano dal controllo delle funzioni e dei processi del suolo (regolazione della qualità dell'aria e dell'acqua, impollinazione e attenuazione degli eventi estremi).
- 3) *Servizi culturali*, ovvero i benefici intangibili che le persone ricavano dalla loro interazione con il suolo (paesaggio, natura, educazione ambientale, ricreazione e turismo).
- 4) *Servizi di supporto*, cioè quei servizi come la formazione del suolo, il riciclo dei nutrienti e la fotosintesi, che sono necessari per la produzione di tutti gli altri servizi ecosistemici.

### RUOLO DELL'AGRICOLTURA NELLA SALUTE DEL SUOLO

I suoli sono essenziali per la vita sulla Terra e la loro capacità di fornire cibo sano e nutriente è cruciale per la nostra sopravvivenza. La FAO ha stimato che circa il 95% degli alimenti che consumiamo proviene dal suolo, un sistema avente la capacità naturale di sostenere la produzione di colture agricole fornendo loro nutrienti essenziali alla crescita (FAO, 2022).

La biodiversità del suolo, con le sue molteplici funzioni, è stata definita come una "soluzione basata sulla natura" (FAO, 2020), in grado di fornire diversi servizi ecosistemici vitali correlati al suolo. Tuttavia, per mantenere la fornitura di tali servizi, e quindi per sostenere la vita sul pianeta Terra, il suolo deve essere "sano", ovvero essere costantemente in grado di funzionare come un ecosistema vitale in grado di supportare piante, animali e noi esseri umani (USDA, 2018).

Attualmente, ci troviamo di fronte a uno scenario globale in cui vi sono suoli con evidenti squilibri nutritivi. In alcune regioni, i suoli sono carenti di nutrienti, il che può rappresentare una sfida per la crescita delle colture, a causa di un'infertilità naturale del suolo, che deriva dalla sua degradazione. Al contrario, in altri suoli si verifica il problema opposto, ovvero, un impiego eccessivo di nutrienti, per via di uno scorretto impiego di fertilizzanti, che è causa di inquinamento dell'aria, del suolo e dell'acqua. Questo squilibrio nutritivo dei suoli è una delle cause dell'insicurezza alimentare, che porta a un incremento delle attività agricole, al fine di aumentare la produzione agricola, alimentando ulteriormente il problema del cambiamento climatico a seguito di dell'eccessiva applicazione di N tramite fertilizzazione (i microbi presenti nel suolo possono scomporre i fertilizzanti azotati producendo protossido di azoto, il terzo gas serra più abbondante nell'atmosfera).

I suoli agricoli sono tra i più colpiti dai disturbi antropici e dalle attività agricole come l'aratura, l'uso di prodotti chimici e la compattazione del suolo dovuta al passaggio di macchine agricole.

Negli ultimi decenni, sono emerse diverse minacce alla salute del suolo. Una di queste è l'adozione sempre più diffusa di pratiche agricole intensive, caratterizzate da monoculture, lavorazione profonda del suolo (fino a 30-40 cm di profondità), intenso uso di pesticidi e/o fertilizzanti minerali. Queste pratiche agricole non sostenibili impattano la biodiversità del suolo e, di conseguenza, la "salute" stessa del suolo.

Nel 2015, la FAO ha pubblicato il primo "Rapporto sullo Stato delle Risorse del Suolo nel Mondo" (FAO, 2015A), fornendo una prospettiva globale dello stato dei suoli. Il rapporto riporta quali sono le minacce al funzionamento del suolo e ricorda che alcune di queste (come erosione del suolo, alterazione del carbonio organico, squilibrio nutritivo, compattazione e perdita di biodiversità) sono strettamente legate alla gestione delle pratiche agricole.

Ad esempio, il sistema di gestione agricola di tipo convenzionale è caratterizzato da un elevato input di fertilizzanti minerali, impiego di fitofarmaci, lavorazioni intensive del suolo e ridotta frequenza di rotazioni colturali (Sumberg, J. et al, 2022). Questo sistema implica uno squilibrio tra input e output poiché, per la produzione dei prodotti alimentari, vengono rimosse importanti risorse come: porzioni di suolo, acqua e nutrienti essenziali. Di conseguenza, questo metodo di gestione agricola contribuisce al fenomeno di degradazione dei suoli, attraverso un progressivo impoverimento di carbonio organico (TOC) presente nel suolo, poiché questo viene rimosso in quantità eccessive per via dell'intensiva produzione colturale. Ciò provoca una diminuzione della biodiversità edafica e riduce le funzionalità del suolo, portando a un declino della sua "salute". Difatti, la riduzione del carbonio organico del suolo compromette la capacità del suolo di resistere a disturbi climatici, come siccità ed eventi piovosi importanti, che stanno diventando sempre più frequenti e che possono avere un impatto devastante sulla produttività delle colture. Infatti, suoli con un quantitativo più basso di carbonio organico implica minor cibo a disposizione per gli organismi viventi nel suolo, il che porta a una riduzione della biodiversità edafica e quindi, essendoci meno organismi che decompongono la materia organica del suolo e che legano le particelle di suolo, la struttura del suolo verrà danneggiata più facilmente da agenti atmosferici come pioggia, vento e sole.

Tuttavia, esistono alcune pratiche di gestione del suolo ecosostenibili utili ad un incremento della "salute" del suolo, riducendo al tempo stesso anche i costi sostenuti in agricoltura, che

possono essere implementate anche in un sistema di tipo convenzionale. Ad esempio, è stato dimostrato che l'applicazione di azoto può essere ridotta fino al 50% senza compromettere la resa o la qualità del grano, riducendo così le perdite di N nell'ambiente (Gomiero, T. et al, 2011). Per migliorare la qualità del suolo, è raccomandata l'attuazione di strategie come la lavorazione minima del suolo e l'adozione di un sistema di rotazione che preveda l'alternanza di colture azoto-fissatrici a colture cerealicole. In aggiunta, adottare un sistema che prevede un periodo di riposo del terreno con colture di copertura permettere sia di ridurre l'erosione del suolo che di aumentare la disponibilità di nutrienti necessari alle coltivazioni.

L'attuazione di un sistema di gestione sostenibile del suolo è essenziale, non solo per potenziare la produzione agricola e per incrementare il reddito agricolo utilizzando meno input esterni, ma anche per sbloccare la potenzialità dei suoli di mitigazione dei cambiamenti climatici. Per esempio, l'attuazione pratiche sostenibili di gestione del suolo incentrate sull'aumento della sostanza organica dei suoli insieme a una corretta gestione della fertilizzazione azotata, sono cruciali per trasformare i terreni coltivati da sorgenti di anidride carbonica immessa in atmosfera atmosferica a magazzini di CO<sub>2</sub> (FAO, 2021).

## **STRUMENTI NORMATIVI LEGATI AL SUOLO**

L'Unione Europea (UE) ha incluso il concetto di "suolo sano" al centro del *Green Deal* Europeo (EGD) adottato nel 2019, che include la strategia sul cambiamento climatico mirata a raggiungere l'ambizioso obiettivo della neutralità climatica entro il 2050. Il ripristino del suolo dovrebbe essere al cuore di questa strategia, poiché i suoli sani possono immagazzinare grandi quantità di carbonio sotto forma di carbonio organico del suolo (SOC). La Gestione Sostenibile del Suolo supporta il mantenimento e l'aumento dello stoccaggio di carbonio nel suolo e quindi la mitigazione del cambiamento climatico, con benefici per l'agricoltura, per la sicurezza alimentare e per le qualità nutrizionali. La salute del suolo è infatti strettamente legata alla qualità del cibo, e a tal fine è necessaria la conservazione della biodiversità del suolo. In linea con questo, l'UE ha lanciato la Strategia sulla Biodiversità per il 2030, che mira a fermare il degrado degli ecosistemi attraverso diversi obiettivi: una grande proporzione di terreni agricoli con elevata biodiversità insieme a un aumento di terreni protetti; miglioramento della fertilità del suolo; bonifica di terreni contaminati; riduzione del fenomeno di degradamento del suolo; limitazione dell'espansione urbana; e la piantumazione di più di tre miliardi di alberi entro il 2030 (Montanarella & Panagos, 2021).

Come già detto, il degrado del suolo e il suo ripristino sono due aspetti strettamente collegati alla gestione dei sistemi agricoli e svolgono un ruolo importante nel sostenere la vita sulla Terra. Queste due problematiche fanno parte degli obiettivi 15 e 17 degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite) dell'Agenda 2030 (FAO, 2015B). A tal proposito, l'UE ha lanciato nel 2020 la Strategia "*Farm to Fork*" per migliorare la sicurezza alimentare introducendo nuove pratiche agricole e tecnologie (come la genomica e il sequenziamento di DNA e RNA), riducendo l'uso fertilizzanti e pesticidi e focalizzando le risorse sul problema dell'erosione del suolo. Questa strategia dovrà monitorare i progressi delle misure adottate per fornire i dati necessari all'attuazione della nuova Politica Agricola Comune (PAC) 2023-2027, i cui obiettivi principali sono quelli di sostenere la crescita sostenibile della produzione alimentare e il *greening* delle pratiche agricole.

Nell'ambito del *Green Deal* Europeo, la strategia per la biodiversità dell'UE per il 2030 ha sviluppato una nuova strategia per il suolo dell'UE per il 2030, al fine di garantire un buono stato di "salute" dei suoli dell'UE entro il 2050. Per raggiungere questo obiettivo, è stata proposta una direttiva per il monitoraggio e la resilienza del suolo (Halleaux, 2024). La proposta è importante poiché attualmente a livello Europeo non esiste alcuna legislazione specifica sul suolo. Gli obiettivi specifici di tale proposta sono l'inversione di rotta della perdita di biodiversità (Commissione europea, 2023), opporsi al degrado della porzione superficiale dei suoli, fornire molteplici servizi ecosistemici attraverso suoli sani e infine ridurre la contaminazione dei suoli a livelli non più considerati dannosi per la salute umana entro il 2050.

## **INDICE DI QUALITÀ BIOLOGICA DEL SUOLO BASATO SUI MICROARTROPODI (QBS-ar)**

I parametri fisici e chimici sono gli indicatori più utilizzati per definire la qualità di un suolo, ma anche per valutarne le variazioni e infine monitorare la sostenibilità delle pratiche gestionali legate al suolo (Schoenholtz et al., 2000). Tuttavia, questi indicatori andrebbero integrati con gli indicatori biologici, che sono migliori nell'indicazione del livello di disturbo di un suolo nel breve termine, diversi studi hanno dimostrato che il monitoraggio biologico è un modo affidabile per monitorare la salute del suolo (Parisi et al., 2005).

In questo contesto, i microartropodi del suolo sono considerati bioindicatori affidabili per valutare lo stato di salute del suolo e la sostenibilità delle pratiche agricole adottate, per via della loro sensibilità alle perturbazioni del suolo e del loro ruolo nella fornitura di servizi ecosistemici correlati al suolo. Questi invertebrati sono sempre più utilizzati come bioindicatori nei programmi di monitoraggio del suolo a livello globale (*Soil BON Initiative*, Potapov et al., 2022), europeo (dataset LUCAS, Fernandez-Ugalde et al., 2022) e locale (progetto MOSYSS, Tiberi et al., 2013).

Ad oggi, uno degli indici di qualità del suolo più utilizzati in Italia è basato sull'analisi della struttura della comunità dei microartropodi del suolo: il QBS-ar, ovvero l'Indice di Qualità Biologica del Suolo basato sugli artropodi (Parisi et al., 2001; 2005). L'Indice rappresenta un metodo accessibile e piuttosto semplice, sempre più utilizzato per il monitoraggio dei suoli di diversi ambienti, tra cui gli agroecosistemi. Il QBS-ar ha il vantaggio di poter essere utilizzato anche da non specialisti, poiché non richiede l'identificazione tassonomica a livello di specie degli artropodi del suolo.

### **Origine e approccio metodologico**

Sviluppato nel 2001 dal Professore Vittorio Parisi, il metodo QBS-ar è stato applicato per oltre due decenni in diversi ambienti e sistemi di gestione sia in Italia che all'estero (Menta et al., 2018). L'indice si basa sull'identificazione dei gruppi di microartropodi presenti in un campione di suolo (Parisi et al., 2005).

Per ciascun gruppo presente nel campione, questo metodo prevede l'assegnazione di un punteggio (chiamato indice eco-morfologico, EMI) basato sulle sue caratteristiche morfologiche, che riflettono il grado di adattamento all'ambiente del suolo. Tali adattamenti includono riduzione/perdita di pigmentazione e apparato visivo; perdita di strutture corporee

per volare, saltare o correre; forma aerodinamica con appendici ridotte e più compatte (peli, antenne, zampe); cuticola più sottile. Ogni esemplare nel campione è separato in base all'approccio della Forma Biologica (FB): per ciascuna forma biologica, viene assegnato un indice eco-morfologico (EMI) che varia da 1 (per forme scarsamente adattate alla vita nel suolo) a 20 (per forme ben adattate alla vita nel suolo, definite forme euedafiche, FE).

Il QBS-ar è un metodo principalmente qualitativo ma l'abbondanza di ciascun taxon registrato può essere calcolata contando il numero di individui in ciascun gruppo, fornendo informazioni aggiuntive all'indice QBS-ar.

Per definire l'indice QBS-ar, il metodo prevede il prelievo un campione di suolo, costituito da tre sottocampioni (A, B, C) di 10x10x10 cm. Per ciascun sottocampione, viene calcolato il QBS-ar parziale. L'indice QBS-ar corrisponde al QBS-ar totale, derivante dalla somma dei punteggi EMI più alti (considerati solo una volta per ciascuna forma biologica (FB) trovata in ogni sottocampione di suolo).

Infine, un giudizio di qualità viene assegnato confrontando il valore QBS-ar con degli intervalli numerici elencati in Tab.1 (Menta et al., 2011), che variano a seconda dell'ambiente considerato.

SEMINATIVI E COLTURE ERBACEE		COLTURE ARBOREE E VIGNETI		AMBIENTI NATURALI, BOSCHI E 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 con valutazioni di qualità corrispondenti basate sull'ambiente (Menta et al., 2011).

Per garantire una rappresentazione chiara dei dati, a ciascun giudizio di qualità nella tabella soprastante è stato assegnato un colore basato su un sistema a "semaforo", in cui i giudizi positivi vengono visualizzati in verde mentre in rosso quelli negativi.

## MATERIALI E METODI

### INQUADRAMENTO DELLE AZIENDE AGRICOLE SELEZIONATE

Il progetto di monitoraggio ha coinvolto due aziende agricole (aziende SelvaGiurata e Fattoria Ferri), situate nella Riserva Naturale Regionale della Sentina a San Benedetto del Tronto (AP, Italia). Per ciascuna azienda sono stati selezionati due campi (denominati RL1 e RL2 per SelvaGiurata e FE1 e FE2 per Fattoria Ferri), come riportato in Fig. 1. Il perimetro dei quattro campi monitorati è mostrato in rosso, mentre il verde delimita il confine della Riserva.

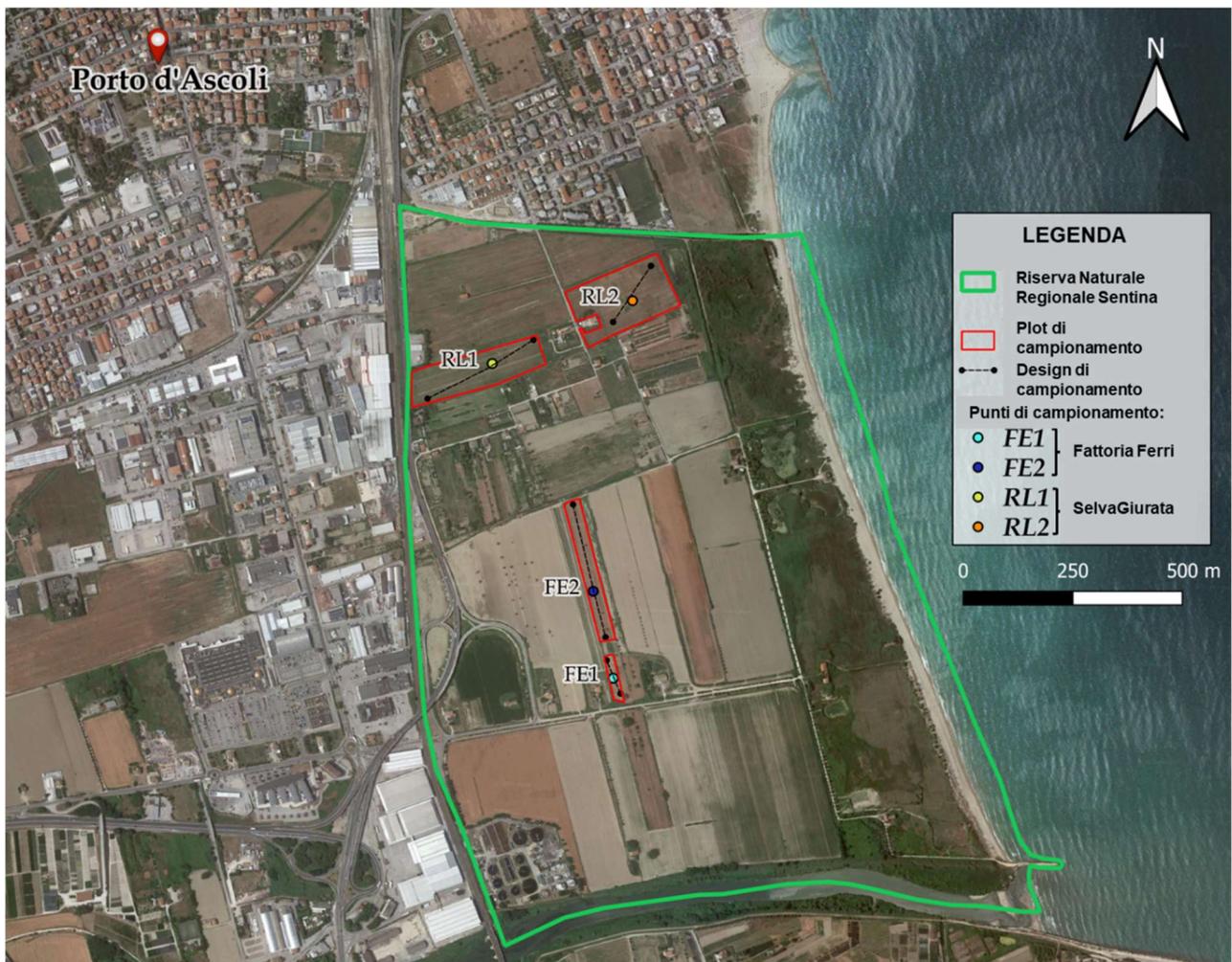


Fig. 1 - Fotografia aerea dei quattro siti di studio all'interno della Riserva Naturale Regionale della Sentina (in verde) con il perimetro dei quattro siti monitorati mostrato in rosso. Il design di campionamento scelto è anche visibile con i punti centrali di campionamento.

Per ottenere informazioni sulla gestione delle pratiche agricole, è stato chiesto agli agricoltori di compilare un modulo con informazioni generali sulla propria azienda agricola ma anche dettagli sulle pratiche agricole adottate (come la rotazione colturale, la frequenza e la profondità dell'aratura e informazioni su concimazione, irrigazione e uso di pesticidi). Tab.2 associa ai nomi delle aziende selezionate i codici dei siti di studio utilizzati nei campionamenti, la tipologia di terreno agricolo, il sistema di gestione agricola impiegato e le date di campionamento del 2023.

Sito di studio	Nome azienda	Tipologia colturale	Conduzione agricola	Data campionamento	Sigla campione
FE1	Fattoria Ferri	Seminativo	Convenzionale	16/06/2023	FE1-16/06/2023
				26/10/2023	FE1- 26/10/2023
FE2	Fattoria Ferri	Seminativo	Convenzionale	16/06/2023	FE2-16/06/2023
				26/10/2023	FE2-26/10/2023
RL1	SelvaGiurata	Seminativo	Convenzionale	16/06/2023	RL1- 16/06/2023
				26/10/2023	RL1-26/10/2023
RL2	SelvaGiurata	Seminativo	Convenzionale	16/06/2023	RL2-16/06/2023
				26/10/2023	RL2-26/10/2023

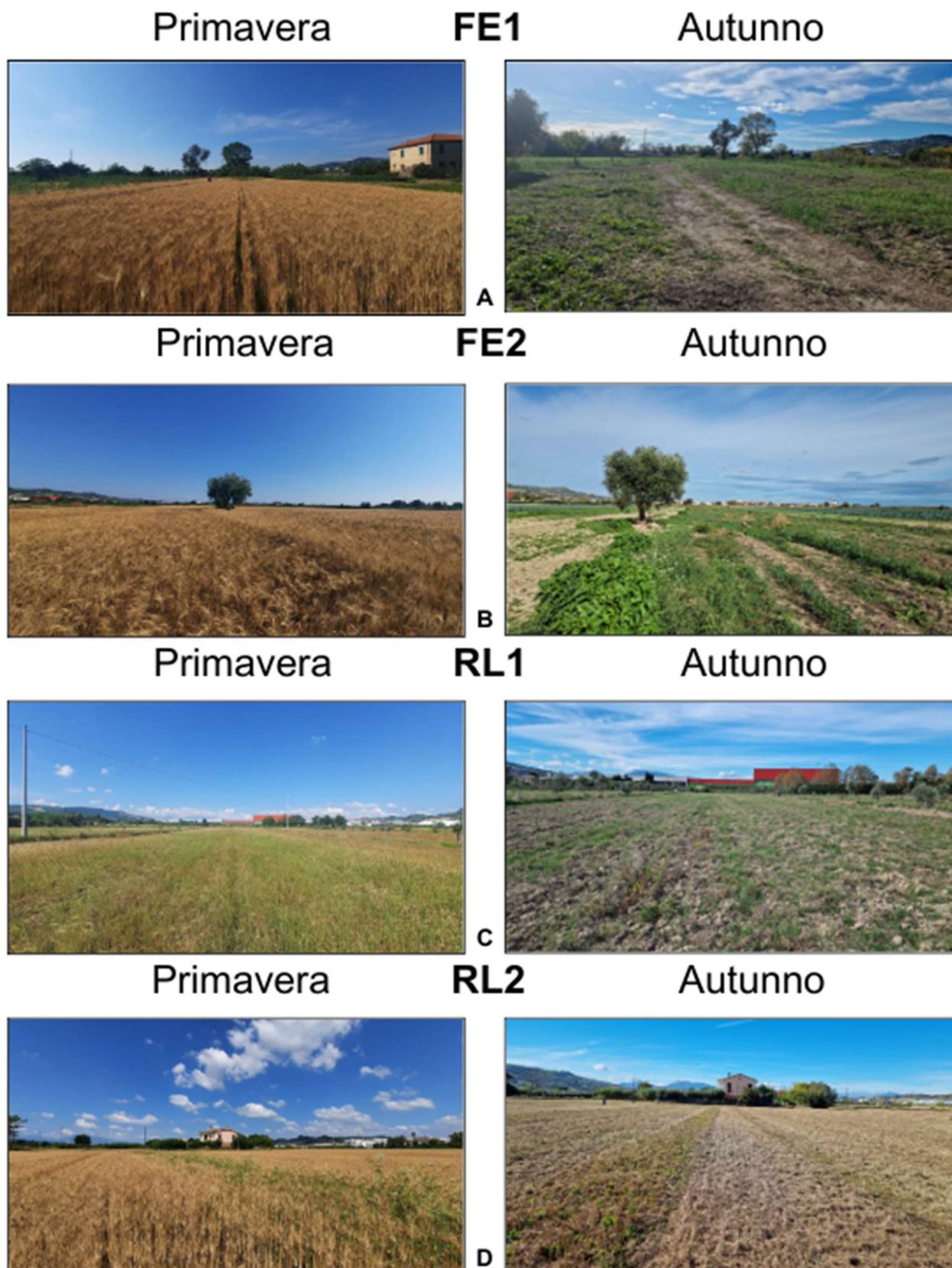
*Tab.2 - Panoramica generale dei siti monitorati nel 2023 per analizzare sia la componente biologica del suolo (QBS-ar) che le proprietà chimiche.*

Secondo il progetto della Regione Marche “Sistema di Monitoraggio dei Suoli a Multi-Scala (Tiberi et al., 2014), tutti i siti nell'area di studio appartengono al sistema di gestione SG1, ossia ai seminativi senza colture foraggere.

Le analisi chimico-fisiche del suolo sono state effettuate nel 2021 per investigare la pedologia del suolo e lo stato di fertilità nei quattro siti selezionati per la valutazione della salute del suolo attraverso il metodo QBS-ar. Nell'autunno 2023, sono state effettuate solo alcune analisi chimiche per valutare la variazione della fertilità dei suoli.

La Fig. 2 rappresenta la situazione nei quattro siti campionati alla data di campionamento primaverile (16/06/2023) e autunnale (26/10/2023).

L'attività di campionamento è stata svolta per raccogliere campioni di suolo per l'analisi QBS-ar e per le analisi chimiche.



*Fig. 2 – Foto dei quattro siti di studio scattate durante il campionamento del 2023, in primavera (sinistra) e autunno (destra). A) Sito FE1 in primavera e autunno B) Sito FE2 in primavera e autunno C) Sito RL1 in primavera e autunno D) Sito RL2 in primavera e autunno.*

Per ciascun sito, sono state registrate le coordinate geografiche, la descrizione della coltura in atto e informazioni sulla copertura vegetale ma anche misurazioni della temperatura del suolo/dell'aria e dell'umidità del suolo. In Tab.3 vengono riportate le principali informazioni annotate in campo durante i campionamenti.

Siti di studio	CAMPIONAMENTO PRIMAVERILE (16-06-2023)	CAMPIONAMENTO AUTUNNALE (26-10-2023)
	Coltura presente e note colturali	Coltura presente e note colturali
FE1	<b>Grano duro.</b> Cambio vegetazionale, presente al centro del sito, con canneto caratterizzato da ristagno idrico.	<b>Incolto.</b> Mietitura avvenuta all'inizio di luglio, dopodiché non è stata effettuata alcuna lavorazione agricola. Nel 2024, è prevista nuovamente la coltivazione di grano duro.
FE2	<b>Grano duro.</b> (Coltura più densa e più sviluppato rispetto al sito FE1). Numerose specie vegetali presenti nell'appezzamento. Il sottocampione A presentava del muschio.	<b>Incolto</b> (condizione interessante poiché FE2 era sempre ricoltivato in autunno nei due anni di analisi precedenti). Mietitura avvenuta all'inizio di luglio, dopodiché non è stata effettuata alcuna lavorazione agricola. Nel 2024, è prevista nuovamente la coltivazione di grano duro.
RL1	<b>Grano duro.</b> (coltivazione molto rada ed eterogenea con grano in fase di sviluppo più arretrata rispetto agli altri siti.	<b>Incolto.</b> Campo trebbiato a luglio. Erpicatura superficiale effettuata un mese prima del campionamento. il campo è più corto, sono state aggiunte 2 file di ulivi
RL2	<b>Grano duro</b> Campo con scheletro avente canneto e carota selvatica diffusi nell'appezzamento.	<b>Incolto.</b> In attesa di trinciatura. Campo con scheletro.
<b>Campionamento primaverile – note aggiuntive:</b> - Data di posizionamento dei campioni negli estrattori: 16/06/2023 - Data di fine estrazione: 23/06/2023 (durata estrazione 7 giorni).		<b>Campionamento autunnale – note aggiuntive:</b> È piovuto sia quattro che due giorni prima del campionamento. - Data di posizionamento dei campioni negli estrattori: 26/10/2023 - Data di fine estrazione: 02/11/2023 (durata estrazione 7 giorni).

Tab.3 - Appunti di campo relativi al campionamento effettuato nel 2023.

## CARATTERIZZAZIONE DEI SITI DI STUDIO

### Pratiche agricole

Tab.4 presenta un riepilogo della gestione agricola applicata nei quattro siti studio sulla base dei dati forniti dagli agricoltori. Per una miglior comparazione delle pratiche di gestione del suolo impiegate dalle due aziende, sono state riassunte le informazioni delle pratiche agricole attuate quando il grano è la coltura principale in atto. I dati a disposizione sono divisi in tre sezioni: sistema di successione e rotazione colturale, concimazione e trattamenti, e pratiche agricole applicate al suolo.

Siti di studio	Successioni colturali e schema di rotazione	Concimazioni e trattamenti	Lavorazioni agricole effettuate
FE1	Rotazione colturale non prevista, si utilizzano solo colture cerealicole (principalmente grano duro) Periodo di riposo del suolo: Ago. - Nov.	Generalmente, Fosfato (Nov.) e Urea (Marzo); uso di diserbante	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aratura pre-semina a 35 cm di profondità;</li> <li>- Erpicatura pre-semina;</li> <li>- Semina;</li> <li>- Applicazione di concimi e diserbanti</li> <li>- Trebbiatura e trinciatura.</li> </ul>
FE2	un avvicendamento colturale nell'anno con alternanza di colture cerealicole (principalmente mais e grano duro); in alternativa, si avvicenda il porro, come coltura secondaria, al grano tenero. Periodo di riposo del suolo: Ago. - Nov.		
RL1	Alternanza di colture azoto fissatrici (es: cece) ogni due anni di coltivazione con grano duro. Sistema di rotazione colturale che prevede il riposo colturale ogni 4 anni (EFA) con presenza di colture di copertura (favino+rafano) soggette a trinciatura e interrimento del residuo colturale.	Generalmente, fosfato biammonico e urea (alla semina e ad aprile); uso di diserbanti ad aprile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aratura a 50 cm di profondità ogni 4 anni per RL1 e ogni 3 anni per RL2.</li> <li>- Erpicatura presemina,</li> <li>- Falsa semina (a volte in RL1),</li> <li>- Semina</li> <li>- Applicazione di concimi e diserbanti</li> <li>- Trebbiatura e trinciatura.</li> </ul>
RL2	Rotazione colturale con avvicendamento di colture azoto-fissatrici (es: cece) dopo due anni di coltivazione con colture cerealicole depauperanti (frumento duro/frumento tenero/orzo).  Periodo di riposo del suolo: Ago. - Nov.		

Tab.4 - Descrizione delle principali pratiche agricole correlate al suolo adottate nei quattro siti di studio.

## **Contesto climatico**

La Riserva si trova nella zona climatica temperata, nello specifico in un clima di transizione tra il sottotipo Mediterraneo e quello Europeo Subcontinentale.

Il clima è generalmente mite, con estati moderatamente calde e secche e inverni non molto freddi e talvolta nebbiosi. Le precipitazioni raggiungono tipicamente il picco nelle stagioni intermedie.

Secondo la relazione finale del Piano di Gestione della Riserva (Sinatra, A., 2014), la temperatura media annua nelle aree costiere della Regione Marche varia da 13 a 15 °C e la Riserva Sentina è una delle aree più calde della regione. La costa tra Cupra Marittima e Porto d'Ascoli è la porzione meno piovosa della Regione Marche, con una media di 550-650 mm/anno.

Per definire la situazione climatica della Riserva Sentina durante questo progetto, sono stati analizzati i dati meteorologici forniti dall' "Agenzia Marche, Agricoltura, Pesca" (AMAP), situata a Osimo (AN). Il dataset utilizzato includeva la temperatura media mensile e le precipitazioni totali per gli anni 2020-2023 registrati dalla stazione di Spinetoli (AP), la stazione più vicina all'area di studio.

Poiché i siti di studio sono molto vicini tra loro, questi sono soggetti a uno stesso *pattern* climatico.

## **Contesto pedologico**

Il contesto pedologico dei siti di studio è stato definito nel 2021, durante la fase iniziale del progetto di monitoraggio per determinare le proprietà chimiche e fisiche dei suoli investigati.

L'analisi fisica del suolo ha permesso di determinare la classe tessiturale di ciascun sito monitorato: I siti FE2 e RL2 mostrano la stessa classe di tessitura franco sabbiosa, mentre il sito FE1 presenta una tessitura franco-limosa e il sito RL1 ha tessitura limosa.

In generale, in base alle valutazioni di analisi chimiche effettuate nel 2021, i livelli di pH variano da neutro a leggermente alcalino, mentre il rapporto carbonio/azoto (C/N) rimane costantemente basso (<9) in tutti i siti. Il contenuto di materia organica è medio, così come il contenuto di azoto totale (TN), mentre il contenuto di zinco assimilabile (Zn) è basso. Le principali differenze riguardano i contenuti di fosforo (P) e di potassio (K), particolarmente elevati in RL2.

## CAMPIONAMENTI DEL SUOLO

Nel 2023 campioni di suolo sono stati prelevati dai quattro siti di studio per due scopi: derivare l'indice di qualità biologica QBS-ar ed effettuare analisi chimiche.

### Prelievo di suolo per QBS-ar

In conformità al metodo (Menta et al., 2018), la raccolta dei campioni di suolo è stata effettuata durante la primavera e l'autunno, periodi ottimali per evitare la migrazione verticale dei microartropodi, nonché l'immobilizzazione e l'estivazione, che si verificano in periodi secchi.

I campioni sono stati prelevati in aree uniformi escludendo le aree marginali ed evitando aree disturbate (come punti con allettamento della coltura, zone di passaggio dei trattori, fosse o zone con ristagno idrico).

Per riassumere, in linea con il disegno sperimentale del progetto MOSYSS della Regione Marche (Tiberi et al., 2014), è stato raccolto un campione di suolo (composto da tre sottocampioni) per ciascun sito, per un totale di 12 sottocampioni prelevati per stagione. Ogni sottocampione di suolo è stato prelevato utilizzando un carotatore in acciaio con un diametro di 10 cm (contenente un volume di circa 1000 cm<sup>3</sup>), e qualsiasi eccesso di vegetazione presente sulla superficie del suolo è stata reciso prima dell'utilizzo del carotatore.

I sottocampioni di suolo di uno stesso campione sono stati prelevati a una distanza di diversi metri l'un l'altro, lungo una retta posta secondo il lato di massima lunghezza di ciascun sito monitorato. Nello specifico, i sottocampioni di suolo sono stati prelevati in tre diverse posizioni all'interno del ciascun appezzamento: il sottocampione A è stato prelevato nella posizione più vicina al punto di accesso al campo, il sottocampione B dall'area centrale e il sottocampione C nella posizione più lontana dal punto di accesso.

Una volta effettuati i prelievi, ciascun sottocampione di è stato etichettato e posto in un sacchetto di plastica, dopodiché tutti i campioni sono stati trasportati in laboratorio il giorno stesso del campionamento (Fig 3).



*Fig. 3 - A) Carotatore con volume di circa 1000 cm<sup>3</sup> utilizzato per il campionamento di suolo per determinare l'indice QBS-ar. B) Per il trasporto, ogni sottocampione raccolto viene posto in un sacchetto di plastica.*

## Prelievo di suolo per analisi chimiche

Seguendo le normative operative previste dalla regione Marche (Assam, 2001), le analisi chimico-fisiche di suolo effettuate nel 2021 sono state considerate ancora valide nel 2023 poiché queste analisi del suolo sono considerate valide per tre anni dalla data di analisi. Nell'autunno 2023, sono state condotte nuove analisi chimiche per verificare lo stato di fertilità del suolo.

Ai sensi del Decreto Ministeriale 13/09/99, pubblicato il 21/10/1999, Gazzetta Ufficiale Supplemento Ordinario n. 248, che ha approvato i "Metodi Ufficiali di Analisi Chimica del Suolo", i campioni di suolo prelevati per l'analisi chimica sono stati raccolti come campioni compositi. Circa 10 sottocampioni sono stati prelevati presso ciascun sito poi miscelati e combinati in un unico campione composito di circa 1 kg rappresentativo dell'intero sito di analisi. Ciascun campione composito è stato posto in un sacchetto di plastica e portato al laboratorio AMAP per le analisi chimiche e fisiche del suolo.

I parametri analizzati con la relativa descrizione sono forniti di seguito:

- **pH in acqua:** misura la concentrazione di ioni idrogeno nella soluzione circolante, ossia quella presente negli spazi liberi tra le particelle solide del suolo. Il valore del parametro è influenzato da tre fattori: 1) presenza di ioni di idrogeno nella soluzione circolante, 2) natura e il grado di saturazione di argille e colloidali organici, 3) natura delle basi di scambio (Assam, 2001).
- **Sostanza organica (SO):** definita come "la chiave di volta" della fertilità di un suolo, viene misurata per valutare se il potenziale produttivo di un suolo viene mantenuto a un livello soddisfacente (Assam, 2001).
- **Carbonio organico totale (TOC):** misurato utilizzando il metodo di ossidativo per combustione, si riferisce al carbonio immagazzinato nella sostanza organica del suolo. I suoli contengono carbonio organico (CO) dalla decomposizione dei residui vegetali e animali, dei microrganismi vivi o morti e degli essudati radicali. Il carbonio organico del suolo (TOC) è un componente cruciale del suolo ed è essenziale per la crescita delle piante poiché fornisce energia e rende possibile la disponibilità dei nutrienti attraverso il processo di mineralizzazione (USDA, 2009).
- **Azoto totale (TN):** questo parametro è stato misurato utilizzando un analizzatore elementare mediante il metodo di combustione a secco, che consente di quantificare sia l'azoto organico che inorganico. L'azoto (N) è un macroelemento essenziale per lo sviluppo delle piante, poiché gioca un ruolo chiave nella sintesi delle proteine, del DNA e dell'RNA. La disponibilità di azoto derivante dalla decomposizione della materia organica è stimata quantificando l'azoto totale (TN) nel suolo. Quando il tasso di mineralizzazione è conosciuto, il test TN effettuato nei suoli arabili è utile per guidare le decisioni su come gestire la fertilizzazione azotata (FAO, 2021).
- **Rapporto carbonio/azoto (C/N):** questo parametro, ottenuto dividendo la percentuale di carbonio organico per quella di azoto totale, può indicare se un determinato campo sta vivendo un'accelerazione o un rallentamento nella trasformazione della materia organica. Infatti, è spesso usato per quantificare il grado di umificazione della materia organica nei suoli agricoli (Assam, 2001).

- **Fosforo assimilabile:** la quantificazione di questo parametro chimico è utile per stabilire se la concimazione è necessaria o meno oppure per valutare se l'apporto di fosforo è adeguato. Questo parametro è di solito analizzato perché, sebbene il potassio sia presente nei tessuti delle piante a livelli più bassi rispetto ad altri elementi (come l'azoto), la sua bassa mobilità nel suolo e la propensione a diventare insolubile in suoli non neutrali lo rendono un potenziale fattore limitante per la produttività delle colture (Assam, 2001).
- **Capacità di scambio cationico (CSC):** è la somma delle basi di scambio più l'acidità totale del suolo a un determinato pH, solitamente 7,0 o 8,0 (SSSA 2008). Questo parametro misura l'intensità dello scambio di ioni con carica positiva con la soluzione circolante del suolo, un fenomeno causato dalla presenza di argille e colloidali organici aventi carica negativa sulla superficie esterna. All'aumentare della capacità di scambio, aumenta anche il quantitativo di elementi scambiabili nel suolo (Assam, 2001).
- **Conduttività elettrica (CE):** viene comunemente utilizzata per stimare il contenuto di sali solubili in soluzione, attraverso un estratto di suolo (SSSA, 2008).
- **Potassio scambiabile:** il potassio è un elemento chimico del suolo scambiabile perché può interagire con le superfici delle particelle di suolo organiche e minerali formando legami ionici. Le forme di potassio presenti nel suolo possono essere divise in tre categorie in base alla loro disponibilità per l'assorbimento da parte delle colture: non disponibile, poco disponibile e disponibile (in quest'ultimo caso può essere in forma scambiabile o solubile). Il potassio scambiabile è la forma di potassio che può essere facilmente assorbita dalle piante poiché è adsorbito sulle superfici di scambio (Assam, 2001).

TOC e SO sono stati misurati utilizzando la tecnica di combustione ossidativa, mentre gli altri parametri sono stati misurati seguendo il Decreto Ministeriale 13/09/99, O.G.S. nr. 248.

## **METODO DI ESTRAZIONE MICROARTROPODI**

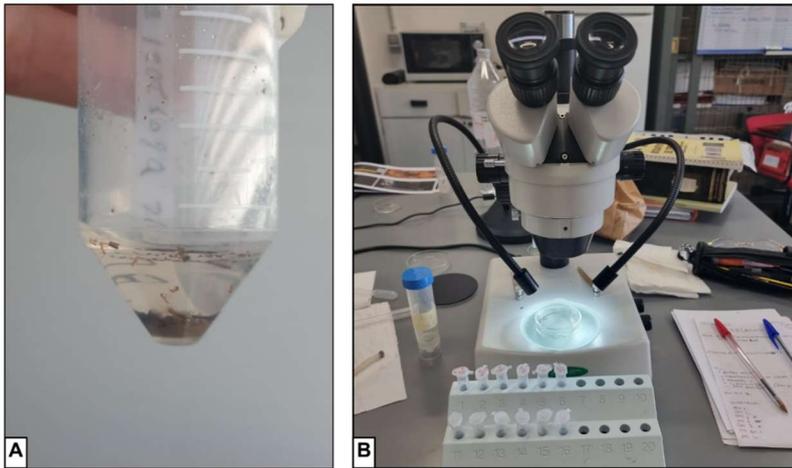
In laboratorio ciascun campione di suolo è stato posizionato nell'estrattore Berlese-Tullgren (Bano & Roy, 2016), uno strumento di estrazione a basso costo e di facile uso che consente di estrarre efficacemente i microartropodi dai campioni di suolo attraverso un gradiente di temperatura che spinge gli animali verso i recipienti di raccolta (Fig. 4). Seguendo il metodo QBS-ar, il processo di estrazione è iniziato entro 24 ore dal prelievo del suolo ed è durato per 7 giorni.



*Fig. 4 - Il selettore Berlese-Tullgren nel Laboratorio di Biodiversità del Suolo e Agricoltura Sostenibile presso il Polo di Bioscienze dell'Università di Camerino.*

L'estrattore è composto da un imbuto su cui è posizionato un setaccio in acciaio inossidabile, avente maglie da 2 mm, e da una lampada da 25W posizionata circa 25 cm sopra l'imbuto. Una volta posto sul setaccio, il calore della lampada asciuga e riscalda il campione di suolo, facendo migrare i microartropodi verso il fondo dell'imbuto e facendoli poi finire in un contenitore agganciato all'imbuto, contenente del liquido conservante (alcol al 75% e glicerina al 25%).

Dopo il processo di estrazione i campioni raccolti vengono osservati allo stereomicroscopio (Fig. 5).



*Fig. 5 - A) Liquido conservante utilizzato per la raccolta e la conservazione dei microartropodi estratti. B) Stereoscopio per l'osservazione dei microartropodi estratti dai campioni di suolo.*

### **RICONOSCIMENTO DELLE FORME BIOLOGICHE, PUNTEGGIO EMI E QBS-ar**

L'indice QBS-ar viene applicato attraverso una procedura che prevede l'identificazione delle forme biologiche, l'assegnazione dei punteggi EMI, la determinazione del valore parziale QBS-ar e infine il calcolo dell'indice totale di QBS-ar per ciascun campione di suolo (Parisi, 2001; Parisi et al., 2005). Il metodo prevede una separazione degli individui in "Forme Biologiche" (FB), ossia gruppi omogenei sulla base di specifiche morfologie degli individui osservati. Questa divisione avviene in base agli attributi adattativi che consentendo l'assegnazione di un valore numerico definito come Indice Morfo-Ecologico (EMI) che varia da 1 fino a un massimo di 20, a seconda del grado di adattamento dei microartropodi al suolo. Nel dettaglio, un EMI di 1 indica un organismo poco adattato che vive in superficie, mentre un EMI di 20 indica un organismo altamente adattato a trascorrere l'intera vita nel suolo.

Il valore QBS-ar parziale è calcolato per ciascun sottocampione (A, B e C). Tutti i valori EMI, attribuiti alle FB presenti all'intero del sottocampione, vengono sommati considerando solo l'EMI più alto per ciascun gruppo. Infine, il valore QBS-ar totale del campione (composto da tre sottocampioni) è calcolato sommando i valori EMI assegnati ai tre sottocampioni, tenendo conto solo del valore EMI più alto per ciascuna FB (ad esempio, se una sottocampione contiene due Coleotteri, uno con un EMI di 10 e l'altro con un EMI di 20, il massimo EMI del gruppo Coleotteri da considerare per la determinazione del QBS-ar è 20).

Per calcolare il valore QBS-ar totale di ciascun campione, i punteggi EMI assegnati devono essere considerati una sola volta, senza ripetizioni, per ciascuna forma biologica; pertanto, bisogna ignorare il valore EMI delle forme biologiche già riscontrate in altri sottocampioni di uno stesso campione.

Visto che i quattro siti monitorati sono tutti seminativi, il giudizio di qualità, associato al valore di QBS-ar ottenuto, è stato determinato considerando gli intervalli numerici di qualità definiti da Menta (2011) per l'ambiente: "seminativi e colture erbacee" (vedi Tab.1).

## CLASSI DI QUALITÀ DEL SUOLO

Il metodo Menta (2011), che assegna un giudizio di qualità in base al tipo di ambiente considerato, non è l'unico metodo disponibile per ottenere un'indicazione sulla qualità biologica di un suolo. Esistono altri due sistemi di classificazione della qualità dei suoli che, combinando il valore di QBS-ar con la presenza/assenza di specifiche forme biologiche o il numero di forme euedafiche trovate in un campione, permettono la classificazione di un suolo in classi di qualità biologica.

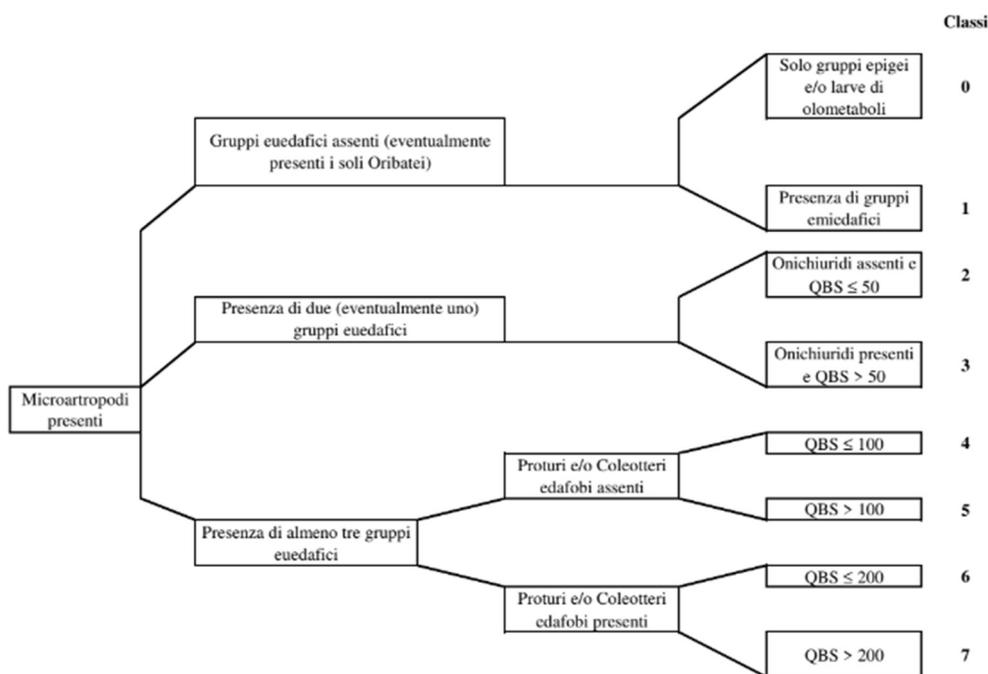
Un sistema di classificazione è stato sviluppato da D'Avino nel 2002, mentre l'altro è stato sviluppato dall'ARPA Piemonte nel 2007. In quest'ultimo anno di monitoraggio della qualità biologica del suolo nei quattro siti in esame, sono stati considerati anche questi due sistemi di classificazione, per verificare la performance della classi di qualità rispetto al metodo del giudizio di qualità di un suolo di Menta (2011).

La Tab.5 mostra il metodo di classificazione sviluppato dall'ARPA Piemonte (ARPA, 2007) per i terreni coltivabili.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
SG1	QBS < 80	QBS > 80	QBS > 100 e almeno 2 Forme Edafiche	QBS > 160 e presenza di Proturi e/o Pseudoscorpioni
SG2	QBS < 100	QBS > 100 e almeno 2 Forme Edafiche	QBS > 130 e almeno 2 forme edafiche o Proturi e/o Pseudoscorpioni	QBS > 180 e presenza di Proturi e/o Pseudoscorpioni

Tab.5 - Suddivisioni delle classi QBS-ar in base al metodo ARPA Piemonte, 2007.

Questo metodo divide i seminativi in due categorie (SG1 e SG2), in base alla presenza o assenza di colture foraggere. Il sistema definisce quattro "classi di qualità" basate sul valore QBS-ar e sulla presenza/assenza di due forme biologiche specifiche: Pseudoscorpioni e/o Protura. L'immagine seguente (Fig. 6) mostra il sistema di punteggio sviluppato dal Dr. D'Avino. Questo metodo di classificazione, a differenza del metodo ARPA, può essere applicato in qualsiasi sistema di gestione e definisce sette classi di qualità si un suolo sulla base del valore di QBS-ar e sulla presenza o assenza di tre gruppi euedafici (EMI 20): Onichiuridae, Protura e/o Coleotteri edafici.



note: 1- per gruppi euedafici si intendono le forme biologiche con EMI = 20  
 2- nel caso di Onichiuridi assenti e QBS > 50 o di Onichiuridi presenti e QBS ≤ 50 si propongono rispettivamente le classi 2/3 e 3/2

Fig. 6 - Classi di qualità del suolo basate sul QBS-ar (Parisi, 2001 modificato D'Avino, 2002).

## INDICI STRUTTURALI

Per ogni campione raccolto, insieme all'indice QBS-ar, sono stati valutati altri parametri biologici.

- **Abbondanza totale:** è il numero totale di individui trovati in un campione.
- **Forme biologiche (FB):** è il numero di individui con specifiche caratteristiche morfologiche in base al grado di adattamento alla vita nel suolo (Parisi, 2001).
- **Forme euedafiche (FE):** è il numero di forme biologiche classificate con EMI 20 poiché rappresentano solamente le forme biologiche maggiormente adattate alla vita nel suolo (Parisi et al., 2005).
- **Rapporto Acari/Collemboli (A/C):** questo rapporto può essere un indicatore dello stato di equilibrio di un ambiente, poiché studi hanno dimostrato che il valore di questo indice diminuisce man mano che l'ecosistema diventa più semplificato e instabile (Bachelier, 1978).
- **Percentuale di acari Oribatidi sul totale degli Acari (%AO):** gli Oribatida, distinti dagli altri Acari per la loro forma sferica e il corpo marrone scuro (Codurri et al., 2005), sono gli artropodi più abbondanti al mondo che vivono nel suolo. Questo gruppo di Acari vive in densi ammassi nelle lettiere in decomposizione negli strati superiori di suolo. In questo caso studio, la loro percentuale rispetto al numero totale di Acari è stata investigata perché gli Oribatidi sono un importante componente detritivora del suolo, nutrendosi di legno in decomposizione e di una vasta gamma di batteri, lieviti, alghe e funghi (Gonçalves et al., 2021). Il valore dell'indice diminuisce in suoli con una forte pressione antropica e invece in suoli non disturbati (o poco disturbati) risulta essere più alto (Sommaggio e Paoletti, 2018).

## ANALISI STATISTICA

Tutti gli indicatori considerati per il biomonitoraggio dei suoli di Fattoria Ferri e SelvaGiurata nel 2023 sono stati analizzati statisticamente, considerando sia i dati parziali, dai sottocampioni A, B e C), che i dati totali (derivanti dalla valutazione cumulativa dei tre sottocampioni costituenti il campione).

- **Dati biologici:** Per le analisi statistiche dei dati biologici, è stata prima valutata la distribuzione dei dati utilizzando il test di normalità di Shapiro-Wilk. I dati sono stati confrontati tra stagioni (primavera vs autunno) e tra le due gestioni per ciascuna stagione (in termini di diversa intensità di pratiche agricole impiegate, ovvero Fattoria Ferri vs SelvaGiurata in primavera; Fattoria Ferri vs SelvaGiurata in autunno). Per confrontare la gestione adottata nelle due aziende agricole, i dati dei due siti studio per ciascuna azienda agricola sono stati combinati. Quest'aggregazione dei dati è stata anche utile per ottenere una statistica più valida.

Per il confronto tra stagione e gestione, è stato utilizzato il test T di Student o il test di Wilcoxon-Mann-Whitney, a seconda della distribuzione dei dati determinata dal test di Shapiro-Wilk. Per tutti i parametri, le statistiche sono state eseguite utilizzando il software R versione 4.2.0 (R Development Core Team, 2021). Il pacchetto "ggplot2" è stato utilizzato per le rappresentazioni grafiche. Un *p-value* inferiore a 0,05 è stato considerato significativo. La significatività statistica è stata valutata separatamente per i dati totali e i dati parziali.

L'analisi statistica ha valutato l'abbondanza totale, l'abbondanza delle Forme Biologiche diverse da Acari, Collemboli, Imenotteri, e poi, l'abbondanza specifica di Acari, Collemboli, Imenotteri e Isopodi. In particolare, nella valutazione dell'abbondanza degli Acari è stata prima analizzata considerando il numero di Acari totali (incluso sia Oribatidi che Non-Oribatidi), e poi separatamente per gli Acari Oribatidi e i Non-Oribatidi.

- **Analisi chimica:** A seconda della distribuzione dei dati (come determinato dal test di Shapiro-Wilk), le caratteristiche chimiche del suolo delle due aziende agricole sono state analizzate utilizzando il test T o il test di Wilcoxon-Mann-Whitney. Un *p-value* inferiore a 0,05 è stato considerato significativo. Come per i dati biologici, le analisi sono state condotte combinando i risultati dei due siti per ciascuna azienda.

- **nMDS:** Lo scaling multidimensionale non metrico (nMDS) basato sull'indice di similarità di Bray-Curtis è stato utilizzato per visualizzare il raggruppamento delle comunità di artropodi. La funzione "envfit" è stata utilizzata per correlare la composizione della comunità di microartropodi con le caratteristiche del suolo e valutare le associazioni tra i punteggi dei siti mostrato nell'nMDS. Per testare le differenze nell'assemblaggio tra i diversi patterns mostrati dal nMDS, è stata utilizzata l'analisi della varianza multivariata per permutazioni (PERMANOVA). L'analisi di ordinamento, PERMANOVA e SIMPER sono stati effettuate utilizzando i pacchetti R "vegan" e "pairwiseAdonis", mentre "ggplot2" è stato utilizzato per la generazione di grafici e per il diagramma di ordinamento nMDS.

- **Heatmap:** Il sito web Heatmapper ([www.heatmapper.ca](http://www.heatmapper.ca); Babicki et al., 2016) è stato utilizzato per generare *heatmaps* dell'abbondanza totale, trasformata in log<sub>10</sub>, dei microartropodi del suolo.

## RISULTATI

### VALUTAZIONE DELLE PRATICHE AGRICOLE

Comparando SelvaGiurata e Fattoria Ferri in termini di intensità delle pratiche agricole implementate, esaminando le schede aziendali fornite dagli agricoltori con informazioni sulla tipologia di lavorazioni agricole implementate, frequenza di concimazione e dei trattamenti fitosanitari e sullo schema di rotazione colturale adottato, è emerso che Fattoria Ferri ha adottato un sistema di gestione delle pratiche agricole più impattante rispetto all'approccio usato da SelvaGiurata. Nello specifico, Fattoria Ferri pratica un'aratura annuale a una profondità di 35 cm e non utilizza colture di copertura o colture azoto-fissatrici. Al contrario, SelvaGiurata utilizza meno frequente l'aratura profonda (prevista solo una volta ogni tre o quattro anni a una profondità di 50 cm) e utilizza sia colture di copertura che azoto-fissatrici, e adotta un sistema di rotazione che nel complesso presenta un maggior tempo di riposo del suolo rispetto a Fattoria Ferri. Per questi motivi, la distinzione tra le due aziende agricole analizzate riguarda l'intensità delle pratiche agricole legate al suolo che ci ha portato a classificare SelvaGiurata come l'azienda meno impattante, e quindi ritenuta più sostenibile, rispetto a Fattoria Ferri, che invece adotta pratiche più intensive che recano un maggior disturbo al sistema del suolo.

### RISULTATI DELLE ANALISI CLIMATICHE

Secondo le analisi dei dati climatici (Fig.7), i periodi estivi dei tre anni analizzati sono stati prevalentemente secchi. Maggio 2023 è risultato eccezionalmente piovoso in quanto ha registrato una piovosità significativamente superiore rispetto agli anni precedenti (visibile dal picco di piovosità mostrato nel lato destro del grafico, freccia nera).

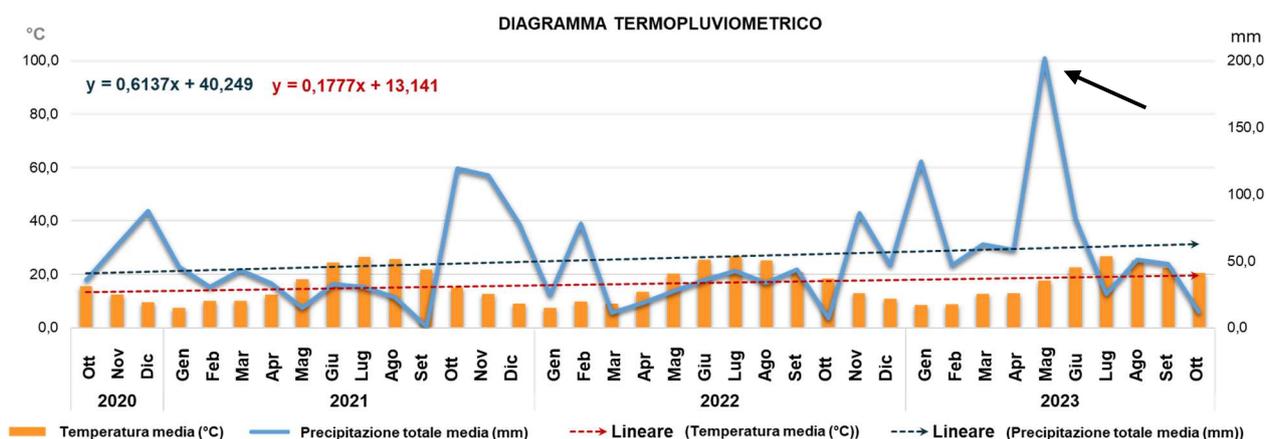


Fig. 7 - Grafico raffigurante le condizioni climatiche dell'area di studio da ottobre 2020 a ottobre 2023. Le colonne arancioni mostrano la temperatura media (°C), mentre la linea blu rappresenta la tendenza della precipitazione totale media (mm).

Le precipitazioni di maggio 2023 si discostano dalla situazione meteorologica osservata nel mese di maggio dei due anni precedenti. Pertanto, i risultati dell'analisi biologica del campionamento effettuato in primavera 2023 potrebbero essere stati influenzati da questa variazione.

Osservando la tendenza climatica, si potrebbe ipotizzare che il periodo autunnale sia caratterizzato da un rapporto costante tra precipitazioni e temperatura, con ottobre (il mese di campionamento autunnale) sempre in deficit idrico. Pertanto, le condizioni climatiche durante il campionamento autunnale del 2023 risultavano uniformi rispetto agli altri due anni di campionamento. Il limite di questa osservazione è rappresentato dal breve periodo temporale dei dati a disposizione. Pertanto, una serie storica di dati climatici, almeno decennale, è consigliata per una ricostruzione più accurata dell'andamento climatico locale. Per concludere, i dati climatici del triennio 2020-2023 mostrano una tendenza di crescita sia per quanto riguarda le temperature medie che per le precipitazioni totali. Tale andamento potrebbe alterare la componente biologica del suolo, future indagini potrebbero verificare questa ipotesi.

## RISULTATI DELLE ANALISI CHIMICHE

Tab.6 riporta i valori di ciascun parametro chimico analizzato nell'ottobre 2023. I giudizi, ad eccezione delle classi di salinità (Abrol et al, 1988), sono stati riportati dall'esito delle analisi realizzate dall'AMAP.

Parameter	U.M.	FE1	Giudizio	FE2	Giudizio
pH in H <sub>2</sub> O	pH unit	8,02	Leg. alcalino	8,01	Leggermente alcalino
C/N		7,5	basso	6,9	basso
SO	g/kg	16,7	basso	17,25	basso
TOC	g/kg	9,69		10	
TN	g/kg	1,3	Mediamente dotato	1,45	Mediamente dotato
P assimilabile	mg/kg	17	Elevato	15,4	Elevato
K scambiabile	mg/kg	83	Basso	86	Basso
CE	dS/m	1,334	Non salino	1,824	Non salino
CSC	meq/100 g	14,6	Media	13,5	Media
Parameter	U.M.	RL1	Giudizio	RL2	Giudizio
pH in H <sub>2</sub> O	pH unit	8,17	Leggermente alcalino	8,26	alcalino
C/N		7,5	basso	8,5	basso
SO	g/kg	13,55	basso	10,2	basso
TOC	g/kg	7,86		5,92	
TN	g/kg	1,05	Mediamente dotato	0,7	Scarsamente dotato
P assimilabile	mg/kg	13,9	Medio	13,8	Medio
K scambiabile	mg/kg	83	Basso	228	Elevato
CE	dS/m	2,473	Non salino	0,523	Leggermente salino
CSC	meq/100 g	14,9	Media	13,5	Media

Tab.6 - Risultati dei test chimici per ciascun sito di studio monitorato nel 2023.

Le differenze nei parametri indagati sono state osservate principalmente tra RL2 e gli altri campi, in termini di pH, conducibilità elettrica, azoto totale e fosforo assimilabile e potassio scambiabile. In particolare, RL 1 è risultato alcalino e debolmente salino, mentre gli altri tre campi sono risultati debolmente alcalini e non salini. Inoltre, RL2 ha mostrato un basso contenuto di azoto totale e un alto contenuto di potassio, mentre tutti gli altri campi avevano un basso contenuto di potassio e una dotazione media di azoto totale. Infine, i siti di SelvaGiurata differivano da quelli di Fattoria Ferri per quanto riguarda il fosforo assimilabile: FE1 e FE2 il contenuto era alto mentre in RL1 e RL2 è risultato medio.

I risultati di tutte le analisi chimiche del suolo effettuate nell'ottobre 2023 per ciascun sito di studio sono stati rappresentate mediante un grafico a barre (Fig. 8).

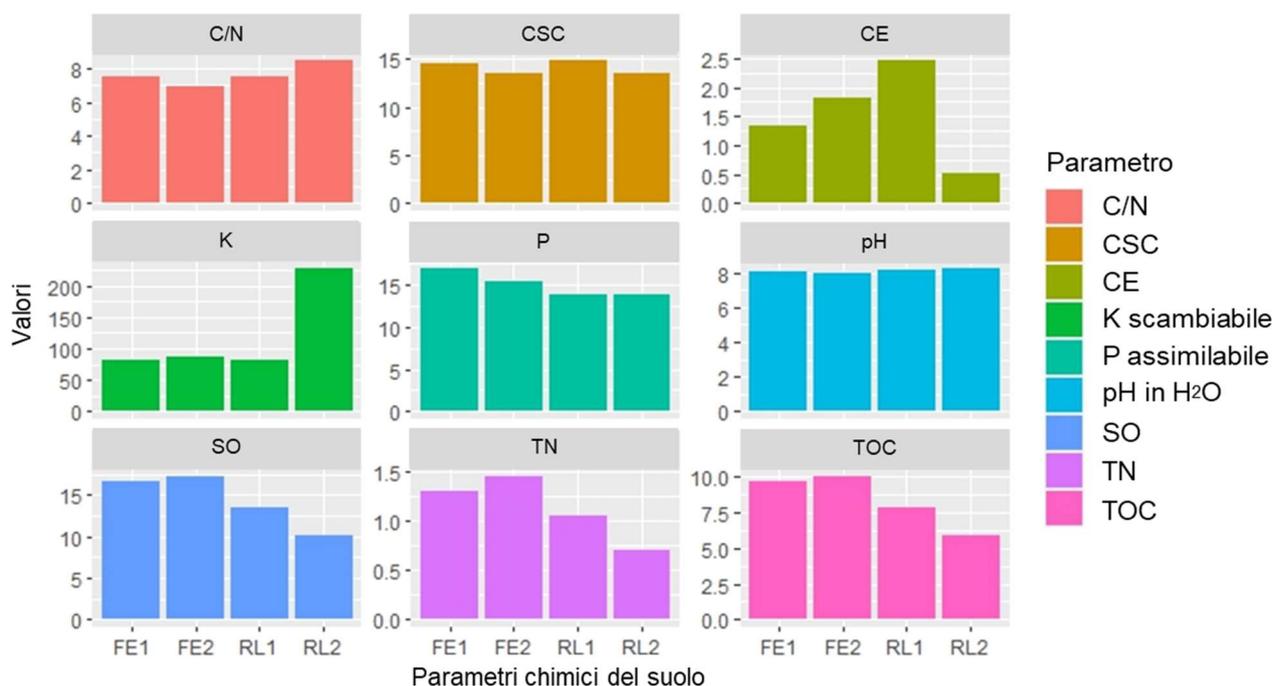


Fig. 8 - Diagramma a barre dei parametri chimici analizzati per ciascun sito di campionamento.

Il risultato più evidente è stata la differenza tra RL2 e gli altri siti. RL2 ha mostrato una forte diminuzione di CE e una quantità di Potassio scambiabile ampiamente più alta rispetto agli altri siti di studio. L'unico parametro che è rimasto costante è stato il pH, seguito da una leggera fluttuazione nel rapporto C/N e nella conducibilità elettrica tra i quattro siti di studio.

Il Fosforo assimilabile ha mostrato una leggera diminuzione da FE1 a RL2; i valori di SO, TN e TOC sono aumentati leggermente da FE1 a FE2, per poi diminuire in RL1 e ancor di più in RL2.

Seguendo l'obiettivo dello studio, i risultati delle analisi chimiche per i due campi gestiti da ciascuna azienda sono stati analizzati insieme (Fig. 9). La barra di errore indica il grado di deviazione tra i due valori riscontrati, per ciascun parametro chimico, in FE1 e FE2 per Fattoria Ferri e in RL1 e RL2 per SelvaGiurata.

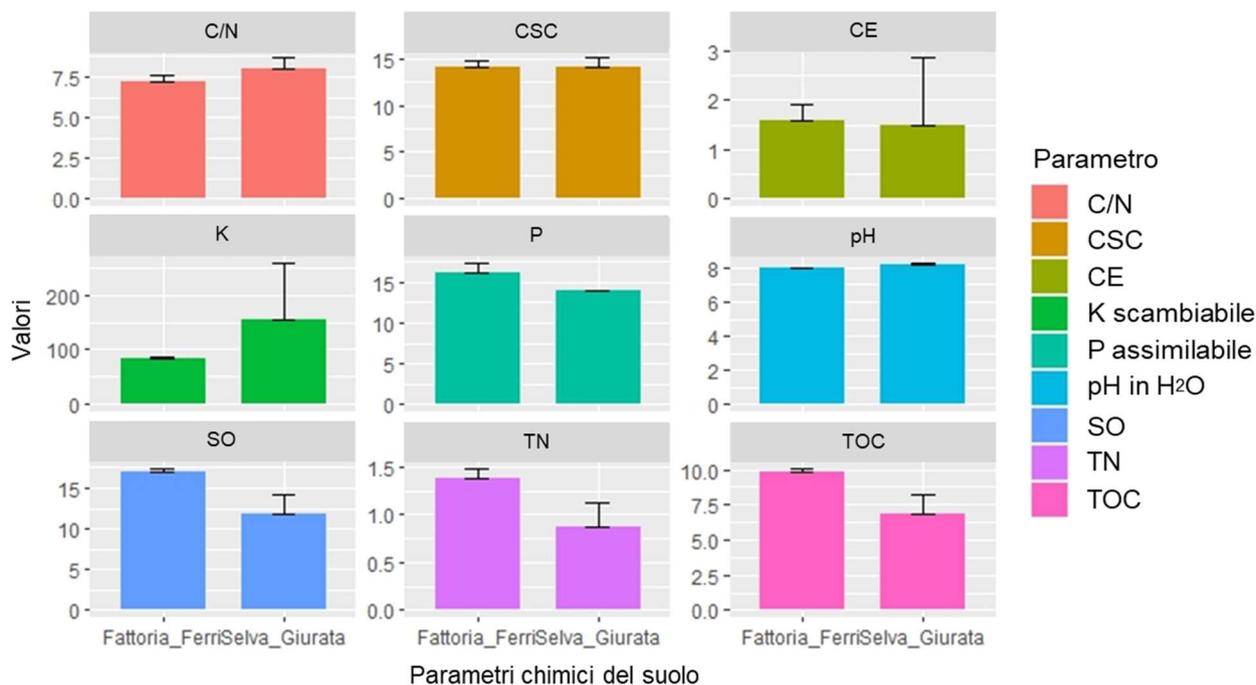


Fig.9 - Grafico a barre con i risultati dei parametri chimici analizzati per ciascuna azienda agricola, con linea di errore.

Solo il potassio ha mostrato una differenza piuttosto importante tra le due aziende agricole in questione, ma l'analisi statistica non ha rivelato differenze significative tra Fattoria Ferri e SelvaGiurata pertanto l'analisi statistica ha confermato che i suoli monitorati erano omogenei dal punto di vista chimico.

## RISULTATI DELLE ANALISI BIOLOGICHE

L'indice QBS-ar è stato definito per ciascun sito di studio (FE1, FE2, RL1 e RL2) per entrambe le stagioni. Al fine di confrontare la sostenibilità delle pratiche agricole applicate da Fattoria Ferri e SelvaGiurata e valutare l'influenza della stagionalità sulla qualità biologica del suolo, sono stati analizzati altri parametri biologici che permettono di valutare la struttura della comunità di microartropodi.

I risultati ottenuti da ciascun bioindicatore considerato sono stati analizzati singolarmente: valori totali e parziali QBS-ar, numero di forme biologiche (FB) e forme euedafiche (FE), abbondanza totale di microartropodi, rapporto A/C, percentuale di Acari Oribatidi rispetto agli Acari totali (AO%). Successivamente, la diversità e l'abbondanza dei microartropodi sono stati valutati all'interno di ciascun sito di studio utilizzando *heatmaps* (mappe termiche) e tramite analisi di ordinamento (nMDS) per valutare l'influenza della composizione chimica del suolo sull'organizzazione della comunità dei microartropodi.

Nella discussione, gli indicatori biologici sono stati analizzati a blocchi in risposta a delle ipotesi iniziali circa i risultati attesi.

## QBS-ar

Per raggiungere l'obiettivo finale di questo progetto, cioè comprendere se diversi metodi di gestione del suolo e/o stagionalità influenzino o meno la comunità di microartropodi presenti nel suolo (e di conseguenza la qualità complessiva del suolo stesso), è stato utilizzato il QBS-ar come principale bioindicatore.

- **Primavera**

In primavera (Fig. 10), tutti i valori totali di QBS-ar registrati nei quattro siti hanno superato il valore soglia stabilito per i seminativi, ovvero un punteggio maggiore di 120, (Menta et al., 2011) e quindi hanno tutti ottenuto un giudizio di qualità del suolo ottima. Il punteggio più alto è stato raggiunto da RL2 (209), che si è avvicinato molto al valore soglia stabilito per gli ambienti naturali (200), come indicato nella tabella Menta (Menta et al., 2011; Tab.1).

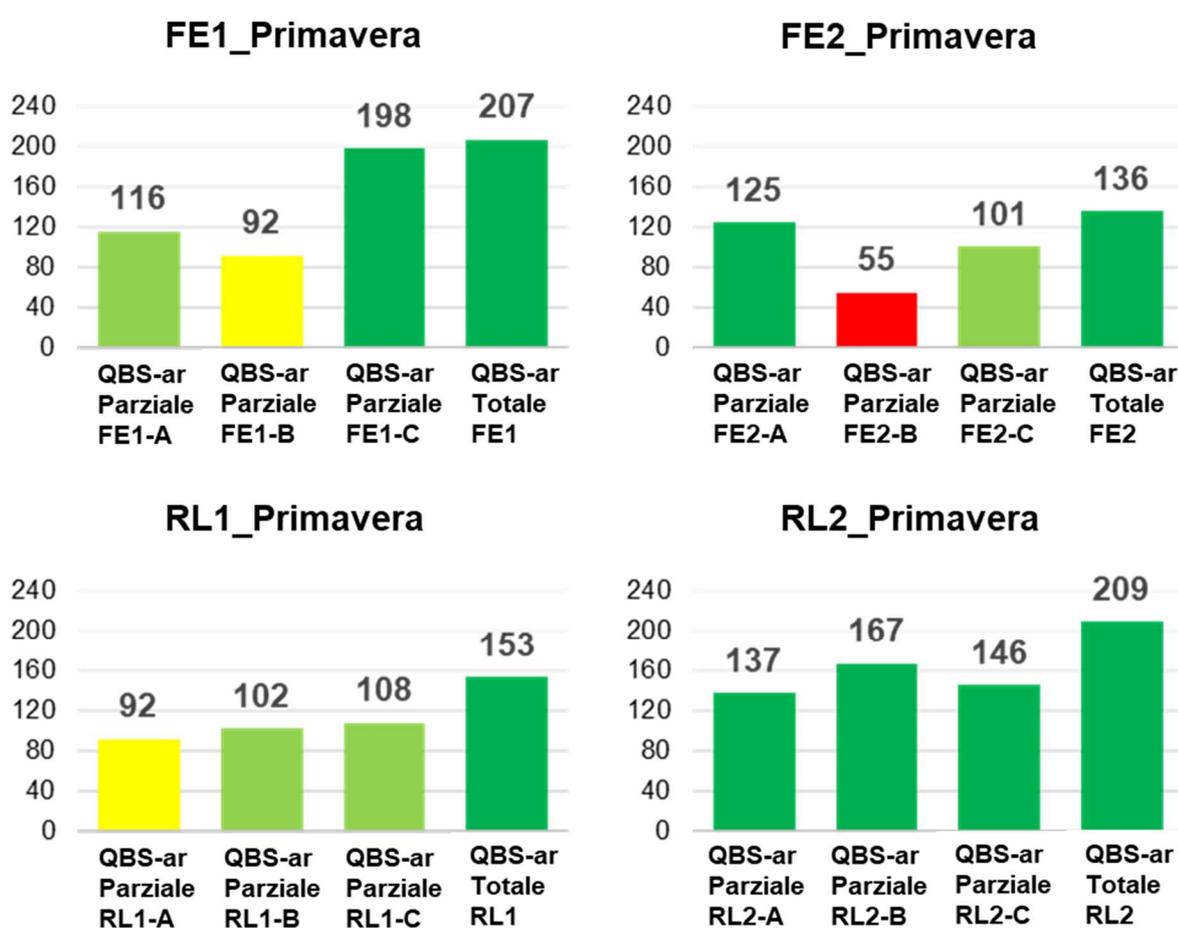


Fig. 10 - Valori totali e parziali di QBS-ar calcolati dai campioni di suolo prelevati in primavera.

In dettaglio, RL2 ha ottenuto valori parziali di QBS-ar molto alti (>120): presentava una qualità del suolo eccellente, con tutti i sottocampioni aventi un giudizio ottimo. D'altra parte, i valori parziali di QBS-ar ottenuti negli altri siti (FE1, FE2 e RL1) mostravano invece una maggiore variabilità e incoerenza tra loro, sebbene presentassero comunque valori elevati. La performance del QBS-ar nel sito RL1 potrebbe essere stata influenzata dallo stadio fenologico del grano, poiché questo aveva uno stadio di sviluppo più precoce rispetto agli altri siti. FE2 è stato l'unico sito ad avere un sottocampione con una qualità del suolo modesta (55).

- **Autunno**

In autunno, tutti i siti avevano valori totali di QBS-ar elevati (>120) e giudizi di qualità del suolo eccellenti (Fig. 11).

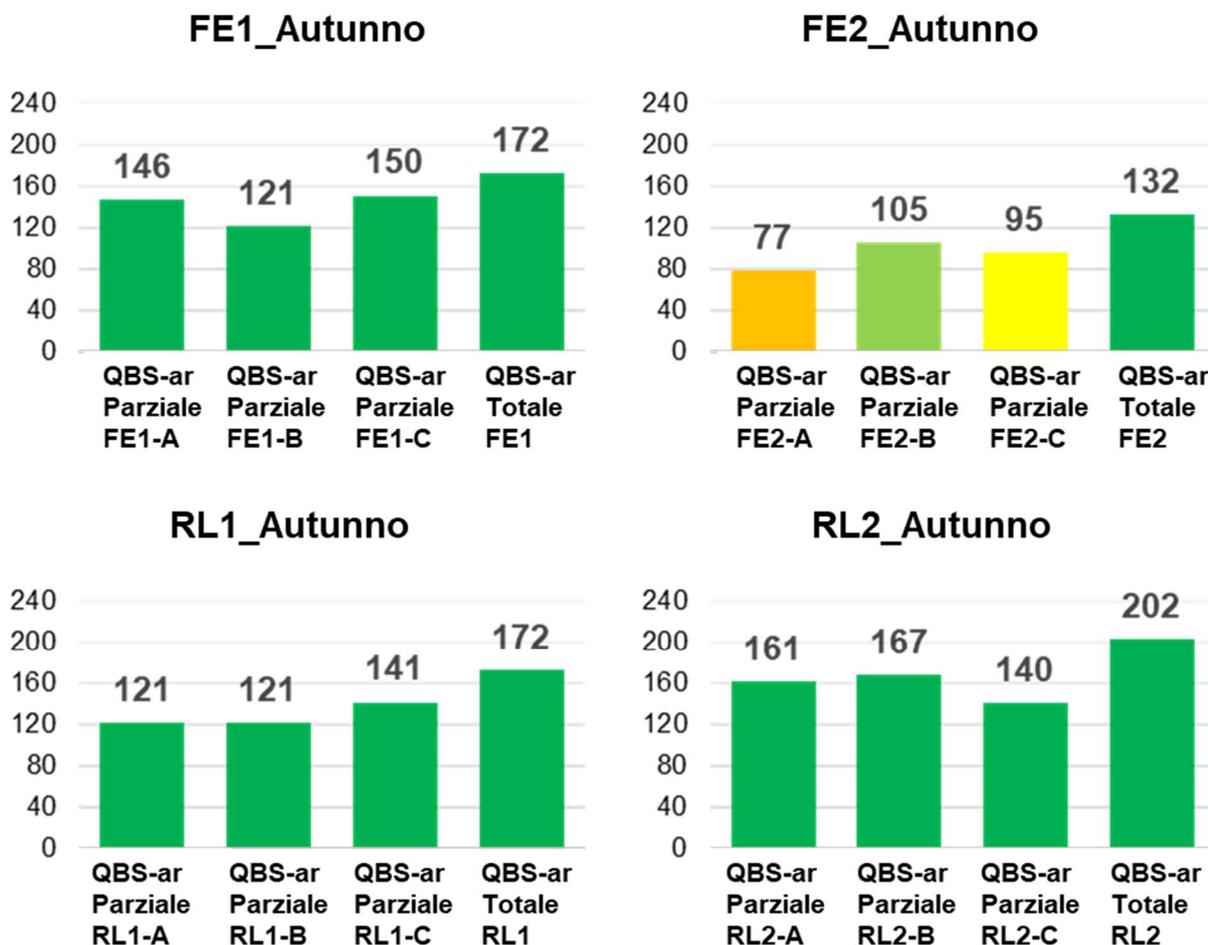


Fig. 11 - Valori totali e parziali di QBS-ar calcolati dai campioni di suolo prelevati in autunno.

Come in primavera, il valore totale più alto di QBS-ar è stato registrato in RL2 (202) ma a differenza dei risultati riscontrati in primavera, la maggior parte dei siti monitorati in autunno presentavano una maggiore coerenza tra i valori parziali di QBS-ar: in autunno, infatti, una qualità di suolo eccellente è stata riscontrata nella maggior parte dei sottocampioni e in accordo con i valori di QBS-ar totali. FE2 è stato il sito in cui è stata trovata una grande discrepanza tra i giudizi di qualità dei tre sottocampioni.

L'analisi statistica dei valori totali e parziali di QBS-ar non ha mostrato differenze significative confrontando le stagioni (autunno vs. primavera) e il tipo gestionale all'interno di ciascuna stagione (Fattoria Ferri vs. SelvaGiurata). Tuttavia, le differenze tra le due aziende agricole sono state più pronunciate in autunno, con valori più elevati riscontrati in SelvaGiurata rispetto a Fattoria Ferri. Anche se queste differenze non sono risultate statisticamente significative, i risultati evidenziano che sistemi agricoli meno impattanti possono favorire la qualità biologica del suolo.

## **Confronto delle classi di giudizio rispetto alle classi di qualità biologica**

Il confronto dei tre metodi utilizzati per valutare la qualità del suolo, ovvero le classi di qualità del suolo di D'Avino e Arpa insieme ai giudizi di qualità del suolo di Menta (D'Avino, 2002; ARPA, 2007; Menta et al., 2011), è stato eseguito come mostrato nella Fig. 12. Nello specifico, i tre sistemi di classificazione sono stati utilizzati per confrontare i risultati ottenuti nelle due stagioni utilizzando colori differenti: il rosso che indica punteggi bassi, il giallo punteggi intermedi e il verde punteggi elevato (Fig. 12A).

Dal confronto dei valori totali ottenuti utilizzando i tre metodi di valutazione (Menta et al., 2011; D'Avino, 2002, ARPA, 2007), emerge che RL2 è stato l'unico sito in cui le prestazioni sono risultate eccellenti e coerenti tra i metodi di valutazione, sia in primavera che in autunno.

A)

Giudizi di qualità (Menta et al., 2011)	Classi di qualità metodo D'Avino (D'Avino, 2002)	Classi di qualità metodo Arpa (ARPA, 2007)
Ottimo	7	
Buono	6	4
Discreto	5	3
Sufficiente	4	2
Modesto	3	1
Scadente	2	
Nulla	1	
	0	

**B) PRIMAVERA**

	FE1-A	FE1-B	FE1-C	FE1-tot	FE2-A	FE2-B	FE2-C	FE2-tot
Giudizio di qualità_Menta	Buono	Discreto	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Modest	Buono	Ottimo
Classe di qualità_D'Avino	5	4	6	7	6	3	5	6
Classe di qualità_Arpa	3	2	4	4	3	1	3	3

	RL1-A	RL1-B	RL1-C	RL1-tot	RL2-A	RL2-B	RL2-C	RL2-tot
Giudizio di qualità_Menta	Discreto	Buono	Buono	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Ottimo
Classe di qualità_D'Avino	4	6	5	6	5	5	6	7
Classe di qualità_Arpa	2	3	3	3	3	3	3	4

**C) AUTUNNO**

	FE1-A	FE1-B	FE1-C	FE1-tot	FE2-A	FE2-B	FE2-C	FE2-tot
Giudizio di qualità_Menta	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Sufficiente	Buono	Discreto	Ottimo
Classe di qualità_D'Avino	6	5	5	6	4	5	4	5
Classe di qualità_Arpa	3	3	3	3	1	3	2	3

	RL1-A	RL1-B	RL1-C	RL1-tot	RL2-A	RL2-B	RL2-C	RL2-tot
Giudizio di qualità_Menta	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Ottimo	Ottimo
Classe di qualità_D'Avino	5	5	6	6	5	5	6	7
Classe di qualità_Arpa	3	3	3	4	3	3	3	4

Fig. 12 - Confronto dei tre metodi di classificazione adottati per stabilire la qualità di un suolo (Menta, D'Avino, Arpa) in primavera e autunno. I risultati sono rappresentati utilizzando colori diversi: rosso per punteggi bassi, giallo per punteggi intermedi e verde per punteggi alti. B) Risultati per il campionamento della primavera 2023. C) Risultati per il campionamento dell'autunno 2023.

In primavera, insieme a RL2, anche FE1 ha avuto un'eccellente *performance*, ottenendo un valore di elevata qualità biologica del suolo per tutti e tre i metodi utilizzati. FE2 e RL1 hanno avuto la stessa *performance* ma è si può notare che, considerando i singoli sottocampioni, FE2 ha avuto valori più bassi in uno dei tre sottocampioni analizzati in tutti i e tre i metodi di valutazione.

In autunno, RL2 ha avuto la miglior *performance* secondo tutti i metodi di valutazione considerati, seguito da RL1, FE1 e FE2. I valori parziali ottenuti da FE1, RL1 e RL2 erano concordi tra loro. Al contrario, FE2 ha avuto la peggiore *performance* e i risultati ottenuti dalla valutazione tra i suoi tre sottocampioni non sono risultati coerenti tra loro.

Nel complesso, anche integrando i tre sistemi di valutazione, è emerso che l'azienda con pratiche di gestione del suolo meno intensive, ossia SelvaGiurata, ha avuto un miglior risposta dalla comunità biologica vivente nel suolo.

## STRUTTURA DELLA COMUNITÀ DI MICROARTROPODI

### Abbondanza totale

La Tab.7 mostra valori parziali e totali dell'abbondanza dei microartropodi presenti nei campioni in primavera e autunno 2023.

L'osservazione più evidente è stata il forte aumento del numero di individui dalla primavera all'autunno, in tutti e quattro i siti considerati.

 <b>PRIMAVERA</b>			<b>AUTUNNO</b> 		
Nome sottocampioni	Abbondanza	Abbondanza Tot. campioni	Nome sottocampioni	Abbondanza	Abbondanza Tot. campioni
FE1-A	954	1962	FE1-A	2354	3170
FE1-B	385		FE1-B	349	
FE1-C	623		FE1-C	467	
FE2-A	818	1177	FE2-A	230	2037
FE2-B	208		FE2-B	1169	
FE2-C	151		FE2-C	638	
RL1-A	481	1625	RL1-A	1929	4095
RL1-B	522		RL1-B	1436	
RL1-C	622		RL1-C	730	
RL2-A	645	2414	RL2-A	763	3220
RL2-B	1242		RL2-B	1572	
RL2-C	527		RL2-C	885	

Tab.7 – *Abbondanza parziale e totale di microartropodi in ciascun sito monitorato nel 2023. Dati divisi per stagione di campionamento.*

In primavera, RL2 aveva l'abbondanza più alta, mentre in autunno l'abbondanza più elevata è stata registrata da RL1.

Pertanto, sia in primavera che in autunno, l'abbondanza maggiore è stata registrata nei siti gestiti da SelvaGiurata. Al contrario, per entrambe le stagioni, il sito con l'abbondanza minore è stato FE2. Nonostante queste osservazioni, le analisi statistiche non hanno mostrato differenze significative nelle abbondanze parziali confrontate per stagione o per gestione (considerando ciascuna stagione separatamente). Per l'abbondanza totale, sono state trovate differenze significative solo nel confronto tra primavera e autunno (valore  $p=0,043$ , Test T di Student).

### **Abbondanza di Acari, Collembola, Imenotteri e degli altri taxa rispetto all'abbondanza totale**

Il grafico sottostante (Fig. 13) mostra l'abbondanza totale dei microartropodi e le abbondanze dei taxa numericamente dominanti (Acari, Collemboli e Imenotteri) per ogni sito considerato, sia in primavera che in autunno. Confermando i risultati statistici presentati in precedenza per l'abbondanza di microartropodi, il grafico sottostante mostra che l'abbondanza totale è stata maggiore in autunno per ogni sito campionato.

Gli Acari rappresentavano la FB più abbondante nella maggior parte dei campioni, ad eccezione di FE2 in primavera, stagione in cui i Collemboli erano invece il gruppo più abbondante. Si tratta di un risultato non frequente che merita ulteriori approfondimenti.

Per quanto riguarda i Collemboli, questi hanno avuto valori simili in tutti i siti sia in primavera che in autunno, ad eccezione di RL1. Questo sito è stato caratterizzato da una bassa abbondanza di Collemboli durante la stagione primaverile e di un forte aumento del loro numero durante la stagione autunnale: in RL1 sia l'abbondanza di Collemboli, che l'abbondanza totale di microartropodi, in autunno sono più che raddoppiati rispetto ai valori primaverili. Nello specifico, in primavera, RL1 rappresenta il sito in cui il grano è stato piantato più tardi rispetto agli altri tre siti, con conseguente copertura vegetale molto rada, il che probabilmente ha influenzato la comunità di microartropodi del suolo; questa considerazione sarà ulteriormente approfondita nella discussione.

Il gruppo degli Imenotteri è stato più abbondante in primavera, soprattutto nei siti di SelvaGiurata, con RL1 avente il numero più alto di Imenotteri (208).

Per quanto riguarda gli Acari, la loro abbondanza è quasi raddoppiata in autunno rispetto alla primavera. Gli Acari rappresentano l'unico *taxon* che mostra differenze significative tra le due stagioni (Test t di Student, *p-value*: 0,025) per tutti i siti, un'osservazione particolarmente evidente per RL1. Complessivamente, confrontando le due aziende agricole, l'abbondanza di Acari è stata maggiore in SelvaGiurata, poiché FE2 in entrambe le stagioni ha avuto una abbondanza molto bassa di Acari.

Per gli altri taxa (escludendo Acari, Collemboli e Imenotteri), non è emerso un chiaro *trend* nel passaggio da una stagione all'altra. Confrontando la gestione, l'abbondanza di queste FB è sempre stata maggiore in SelvaGiurata, anche se questa differenza è stata statisticamente significativa solo in autunno.

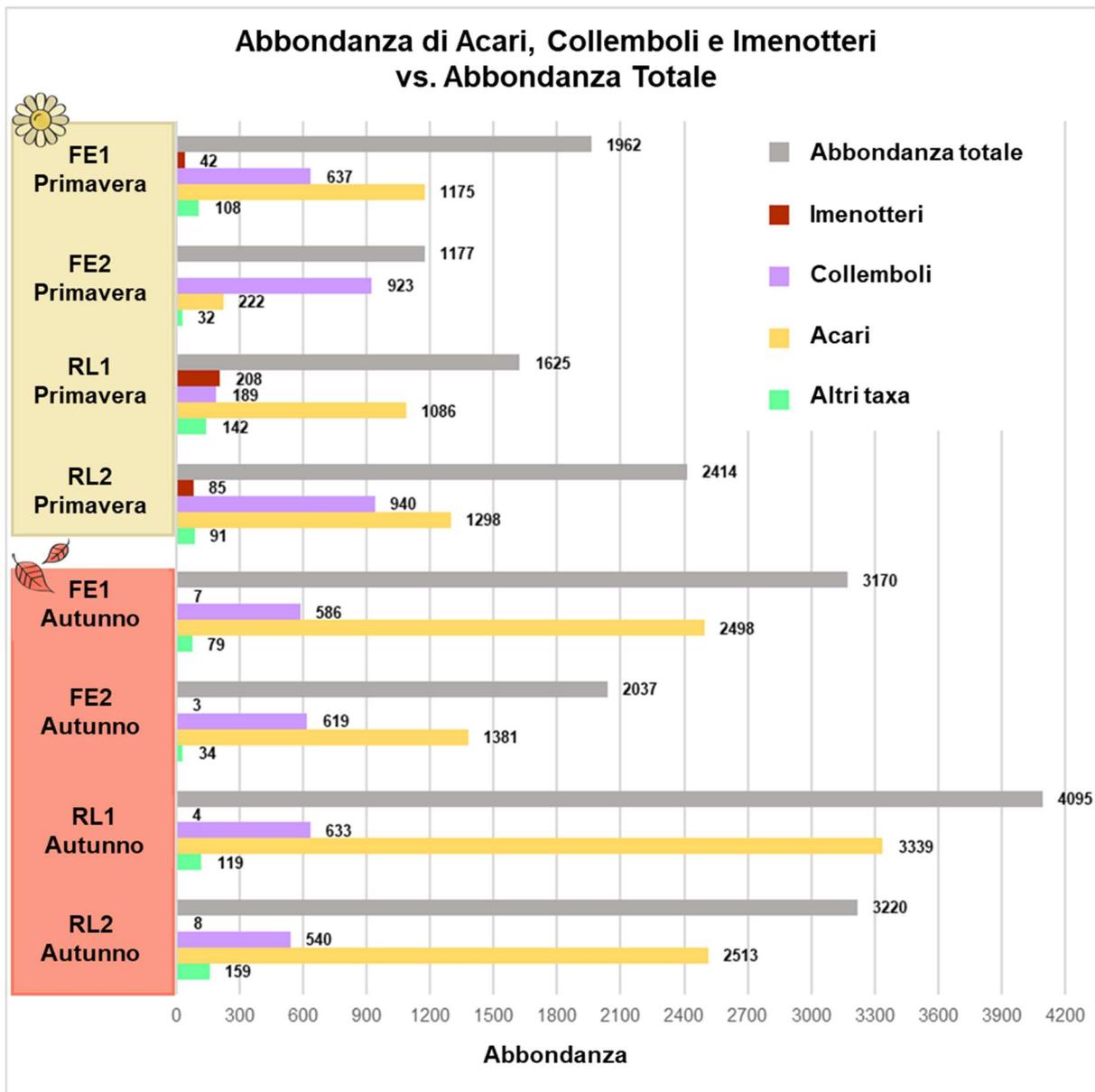


Fig. 13 - Grafico a barre raggruppate in rappresentanza delle abbondanze di acari, collemboli e imenotteri rispetto all'abbondanza totale riscontrata per ciascun sito campionato, rispettivamente in primavera e autunno.

Considerando i valori parziali, non sono state trovate differenze statistiche né per gli Acari Oribatidi né per i Collemboli. Tuttavia, l'abbondanza di Acari che quella di Acari Non-Oribatidi è risultata significativamente diversa tra le due stagioni (Test di Wilcoxon-Mann-Whitney, valore p di 0,012 e 0,019, rispettivamente): per entrambi i parametri i valori più alti sono stati registrati in autunno. Per quanto riguarda i punteggi parziali di FB senza considerare Acari, Collemboli e Imenotteri, sono state trovate differenze significative solo nel confronto tra le due gestioni in autunno (Test t di Student, *p-value*: 0,037), con SelvaGiurata avente una maggior abbondanza media (46) rispetto a Fattoria Ferri (19).

Per concludere, le abbondanze parziali di Imenotteri sono risultate significativamente differenti quando confrontate per gestione (SelvaGiurata vs. Fattoria Ferri) in primavera (Test di Wilcoxon-Mann-Whitney, *p-value*: 0,027). Questo risultato non è particolarmente rilevante poiché la presenza di questo gruppo è generalmente associata alla presenza di un formicaio.

## Indicatori strutturali della comunità

Nella tabella seguente sono riportati i valori parziali e totali di FB ed FE, rapporto A/C e AO% ottenuti nei quattro siti, suddivisi per stagione. I risultati hanno mostrato che la primavera è stata la stagione più disturbata, poiché il rapporto A/C medio considerando i valori parziali era di 2,47, mentre in autunno era di 6,42, risultato che sarà ulteriormente investigato nella discussione (Tab.8).

		PRIMAVERA				AUTUNNO					
		Rapporto A/C	% di Oribatidi rispetto al totale degli Acari	Forme Biologiche (FB)	Forme Euedafiche (FE)			Rapporto A/C	% di Oribatidi rispetto al totale degli Acari	Forme Biologiche (FB)	Forme Euedafiche (FE)
FE1	A	1,7	21%	10	3	FE1	A	5,1	62%	10	6
	B	1,4	17%	8	3		B	3,2	22%	9	5
	C	2,7	16%	16	7		C	2,4	38%	9	6
	<b>tot.</b>	<b>1,8</b>	<b>19%</b>	<b>16</b>	<b>7</b>		<b>tot.</b>	<b>4,3</b>	<b>55%</b>	<b>13</b>	<b>7</b>
FE2	A	0,2	23%	8	5	FE2	A	0,7	10%	6	3
	B	0,3	14%	4	2		B	1,7	7%	6	5
	C	0,4	8%	8	3		C	9,0	2%	6	4
	<b>tot.</b>	<b>0,2</b>	<b>18%</b>	<b>10</b>	<b>5</b>		<b>tot.</b>	<b>2,2</b>	<b>5%</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
RL1	A	5,9	35%	8	3	RL1	A	3,1	59%	10	4
	B	4,9	30%	10	3		B	8,1	41%	10	4
	C	6,7	46%	10	4		C	28,2	71%	10	5
	<b>tot.</b>	<b>5,7</b>	<b>38%</b>	<b>14</b>	<b>5</b>		<b>tot.</b>	<b>5,3</b>	<b>55%</b>	<b>14</b>	<b>6</b>
RL2	A	2,6	37%	11	5	RL2	A	1,9	65%	12	6
	B	0,9	52%	13	6		B	7,7	35%	13	6
	C	1,9	53%	11	5		C	6,0	46%	11	4
	<b>tot.</b>	<b>1,4</b>	<b>48%</b>	<b>18</b>	<b>7</b>		<b>tot.</b>	<b>4,7</b>	<b>44%</b>	<b>16</b>	<b>7</b>

Tab.8 - Risultati del rapporto Acari/Collemboli, % di Acari Oribatidi rispetto al totale degli Acari, numero di forme biologiche ed euedafiche, per ciascun sito di studio e suddivisi per stagione di campionamento.

In primavera SelvaGiurata (valore medio 3.82) è risultata essere meno disturbata rispetto a Fattoria Ferri (valore medio 1.12), confermando l'effetto meno stressante della gestione attuata da SelvaGiurata. In particolare, il rapporto A/C più alto è stato osservato in primavera in RL1 (5,7), un valore che si discosta significativamente dagli altri siti. In autunno, invece, non c'erano differenze evidenti nei valori A/C tra i quattro siti.

Esaminando i valori parziali, il rapporto A/C ha mostrato una differenza significativa tra le due stagioni (test di Wilcoxon-Mann-Whitney,  $p$ -value= 0,035) e solo in primavera tra le due gestioni (test di Wilcoxon-Mann-Whitney,  $p$ -value= 0,041). Dato che, secondo la letteratura, questo indicatore risulta utile nel valutare la stabilità di un ecosistema: secondo la letteratura (Sommaggio e Paoletti, 2018), il valore di AO% sembra essere più elevato per i suoli poco disturbati, mentre diminuisce nei suoli con elevata pressione antropica. Pertanto, i risultati A/C verranno approfonditi nella sezione discussione.

Considerando i valori parziali di AO%, sono stati trovati valori più alti in autunno ma non sono state riscontrate differenze significative confrontando le due stagioni. Tuttavia, confrontando le due aziende agricole in primavera, Fattoria Ferri ha mostrato valori più bassi (18% e 19%) rispetto a SelvaGiurata (circa 40%), anche se questa differenza non è risultata statisticamente significativa. Al contrario, in autunno le due fattorie hanno mostrato differenze significative (test T di Student,  $p$ -value 0,027), con valori medi di AO% del 23% in Fattoria Ferri e del 53% in SelvaGiurata. Una differenza importante nel comportamento dell'indice AO% è stata osservata in autunno in FE2, sito con valore di AO% significativamente più basso (5%) rispetto ai valori osservati negli altri tre siti (circa 50%).

In generale, il numero di FB è risultato più elevato in primavera che in autunno. Nel confronto gestionale, è stato trovato un numero maggiore di FB in SelvaGiurata. Secondo le statistiche, i valori parziali di FB differivano solo considerando il confronto gestionale in autunno, con un *p-value* di 0,006 (test T di Student). A tal proposito, SelvaGiurata ha mostrato un numero medio di FB più alto (11) rispetto a Fattoria Ferri (8). Infine, non sono state trovate differenze significative in nessun caso né considerando i valori totali di FB né prendendo in considerazione i valori totali o parziali di FE.

### Proporzione di Oribatidi su Acari totali

Il grafico seguente (Fig. 14) mostra in dettaglio l'abbondanza relativa degli Oribatidi rispetto agli Acari totali. Come già riportato dall'analisi statistica descritta in precedenza, in Fattoria Ferri è stata riscontrata una proporzione più bassa di Oribatidi rispetto agli Acari totali rispetto a SelvaGiurata, che invece, complessivamente, ha avuto un'abbondanza maggiore di Oribatidi rispetto a Fattoria Ferri in entrambe le stagioni. Questo aspetto è stato particolarmente evidente in primavera (Fig. 14A).

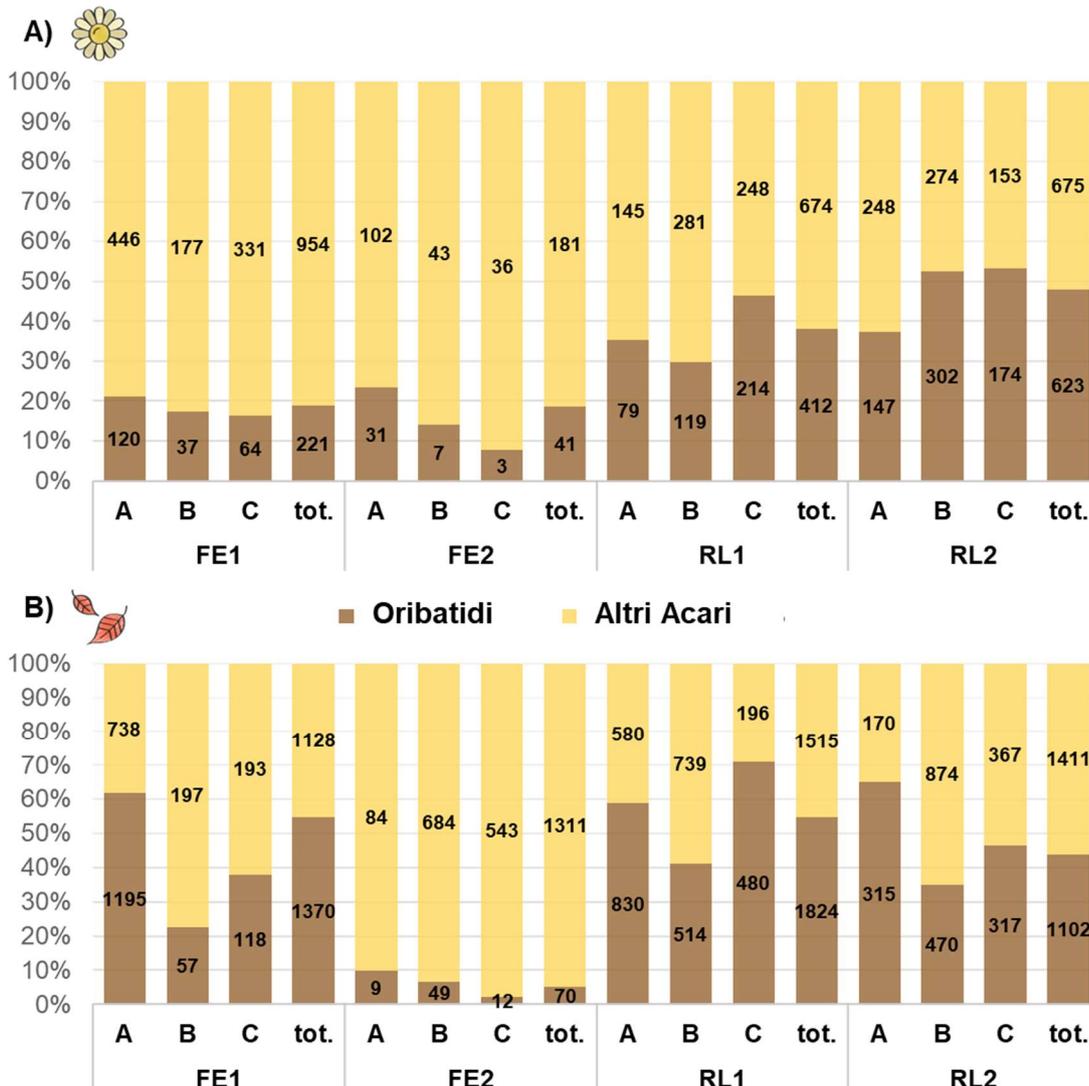


Fig. 14 - Abbondanza relativa degli Acari Oribatidi sul totale di Acari. Gli Acari Oribatidi sono rappresentati in marrone, mentre i Non-Oribatidi sono in giallo. A) Risultati primaverili; B) Risultati autunnali.

Come mostrato dal grafico, in generale la proporzione di Oribatidi rispetto al totale degli Acari aumentata andando dalla primavera all'autunno, e in diversi casi supera addirittura il 50%, probabilmente perché il campionamento autunnale è avvenuto dopo mesi di riposo del suolo (in seguito al raccolto del grano) o dopo l'interramento dei residui colturali (sovescio).

In autunno, la proporzione di Oribatidi ha mostrato valori simili sia nei due siti gestiti da SelvaGiurata che in FE1. FE2 è risultato l'unico sito avente una performance completamente diversa rispetto agli altri siti. Specificamente, FE2 ha mostrato non solo una minore abbondanza, ma anche un *trend* opposto per questo parametro rispetto agli altri siti: FE2 è l'unico sito che mostra un forte calo nella proporzione di Oribatidi passando dalla primavera all'autunno.

Considerando, gli Acari Non-Oribatidi, la loro abbondanza è risultata significativamente più alta in autunno (test T di Student, *p-value*: 0,013).

### **Focus sugli Isopodi**

Concentrando l'attenzione esclusivamente sul gruppo degli Isopodi, di seguito viene mostrata l'abbondanza di questo *taxa* (gruppo) in primavera e autunno per ciascun sito (Tab.9).

 <b>PRIMAVERA</b>			<b>AUTUNNO</b> 		
Abbondanza Isopodi			Abbondanza Isopodi		
FE1	A	0	FE1	A	0
	B	0		B	0
	C	1		C	1
	<b>tot.</b>	<b>1</b>		<b>tot.</b>	<b>1</b>
FE2	A	0	FE2	A	0
	B	0		B	0
	C	0		C	0
	<b>tot.</b>	<b>0</b>		<b>tot.</b>	<b>0</b>
RL1	A	0	RL1	A	31
	B	0		B	9
	C	1		C	8
	<b>tot.</b>	<b>1</b>		<b>tot.</b>	<b>48</b>
RL2	A	3	RL2	A	8
	B	3		B	31
	C	0		C	53
	<b>tot.</b>	<b>6</b>		<b>tot.</b>	<b>92</b>

Tab.9 - Abbondanza parziale e totale di Isopodi in ciascun sito, suddivisi per stagione.

L'abbondanza degli Isopodi trovati in Fattoria Ferri è rimasta costante tra le due stagioni, con un solo individuo osservato in FE1 e totale assenza in FE2. Al contrario, l'abbondanza di Isopodi in SelvaGiurata è variata in maniera significativa passando dalla primavera all'autunno.

È rilevante considerare i valori dei sottocampioni (abbondanze parziali) poiché questi evidenziano che l'abbondanza degli Isopodi si distribuiva su tutti e tre i punti di campionamento di SelvaGiurata. Pertanto, è stato possibile presumere che l'abbondanza degli Isopodi fosse diffusa in maniera rappresentativa tra i siti di SelvaGiurata. Non sono emerse differenze significative considerando l'abbondanza totale. Tuttavia, esaminando i dati parziali, è stata osservata una differenza significativa nel confronto autunnale tra SelvaGiurata e Fattoria Ferri (test di Wilcoxon-Mann-Whitney, *p-value*: 0,0035), con l'abbondanza media di Isopodi che risulta essere circa 20 volte superiore in SelvaGiurata rispetto a Fattoria Ferri.

### **Heatmaps**

Per entrambe le stagioni di campionamento e per ciascun sito (Fig. 15), è stato generato un *heatmap* rappresentativo della diversità di FB dei microartropodi e dell'abbondanza totale trasformata in log<sub>10</sub>, escludendo Acari e Collemboli, per via della loro elevata abbondanza.

L'*heatmap* è utile nel fornire informazioni riguardo la diversità e l'abbondanza della comunità di microartropodi presenti nel suolo. La presenza o assenza di una FB è indicata dal colore di una casella: quando questa è bianca indica l'assenza di FB. I gradienti di colore consentono la visualizzazione dell'abbondanza per ciascuna FB: più intenso è il colore, maggiore è il numero di individui osservati di quella specifica FB (il cui nome del gruppo di appartenenza è specificato a fine riga dell'*heatmap*).

Per creare questo grafico a colori, le due FB più abbondanti, Acari e Collemboli, sono stati esclusi poiché la loro presenza avrebbe mascherato le differenze trovate nei quattro siti tra le FB meno abbondanti (pertanto, senza rimuovere Acari e Collemboli, sarebbe stato impossibile visualizzare la variazione di ricorrenza delle altre FB).

Come riportato nella Fig. 15, in primavera e autunno complessivamente sono state osservate le stesse FB, ad eccezione delle larve di Imenotteri, che sono state osservate solo in primavera. È importante notare che la presenza di queste larve in primavera è probabilmente più dovuta punto di campionamento piuttosto che all'influenza della stagione o alle caratteristiche del terreno, poiché gli Imenotteri Formicidi tendono ad essere distribuiti intorno al punto in cui è localizzato un formicaio. Infatti, le larve sono state trovate dove il numero di formiche adulte risultava essere piuttosto elevato.

Infine, confrontando le due stagioni di campionamento, si può osservare che le stesse FB solitamente mostrano una diversa intensità di colore tra primavera e autunno, il che indica una differenza in abbondanza, quindi nel numero di individui osservati per ciascuna FB, tra le due stagioni.



Fig. 15 - Heatmaps che mostrano la diversità di FB e l'abbondanza totale trasformata in log10 nei quattro siti di campionamento, escludendo Acari e Collemboli. A) Heatmap dei risultati primaverili. B) Heatmap dei risultati autunnali.

Nel valutare la diversità di microartropodi tra le due aziende agricole, si può notare che SelvaGiurata aveva il maggior numero di FB in entrambe le stagioni e che il numero più alto di FB è stato registrato in primavera (18). Al contrario, il minor numero di FB è stato 10 per entrambe le stagioni ed è stato riscontrato in Fattoria Ferri, nello specifico in FE2.

Confrontando SelvaGiurata e Fattoria Ferri in ciascuna stagione, sono emerse differenze sia nel numero di FB presenti che nella loro abbondanza. Sommando il numero di FB osservate all'interno di ciascuna azienda, SelvaGiurata aveva sempre 7 FB in più rispetto a Fattoria Ferri, sia in primavera che in autunno.

Di seguito viene esaminata la differenza tra le tipologie di forme biologiche riscontrate nelle due stagioni tra Rebez e Ferri, focalizzando l'attenzione solamente sulle forme biologiche maggiormente adattate alla vita nel suolo (EMI 10 e 20), che permettono di differenziare i siti in esame.

Paupodi, Sinfili e Chilopodi sono le uniche forme biologiche presenti in tutti i campi e in entrambe le stagioni. Nel dettaglio, Paupodi e Chilopodi risultano più abbondanti in autunno, con quest'ultimo gruppo che sempre in autunno risulta essere più numeroso in Fattoria Ferri rispetto a SelvaGiurata. I Sinfili sono stati osservati in misura maggiore in RL1 sia in primavera che in autunno.

I Dipluri, come i Proturi, sono risultati essere sempre assenti in FE2 in entrambe le stagioni campionate. In particolare, quando i Diplura erano presenti, la loro quantità è sempre stata parecchio elevata.

Le aziende agricole Fattoria Ferri e SelvaGiurata si sono distinte per la presenza o assenza di Proturi, una forma biologica che è stata trovata solamente in SelvaGiurata durante la stagione di campionamento autunnale. Infine, per quanto riguarda le larve, la differenza tra le due aziende è stata osservata in autunno, stagione in cui le larve di Ditteri e Lepidotteri sono state individuate solamente in SelvaGiurata.

### **Risultato dell'nMDS**

La relazione tra le proprietà chimiche del suolo con l'abbondanza e la diversità della comunità di microartropodi di ciascun sito delle due aziende agricole è stata esaminata attraverso un'analisi di ordinamento e viene mostrata dal grafico nMDS (Fig. 16). Per condurre questa analisi, sono stati considerati solo i dati biologici autunnali insieme ai dati delle analisi chimiche, poiché queste ultime analisi sono state effettuate solo nella stagione autunnale.

Sono state quindi confrontate le variabili biologiche con quelle chimiche analizzate nel 2023 in un contesto stagionale uniforme, approccio che ha permesso una corretta valutazione dell'influenza dei parametri chimici del suolo sulla componente biologica in esame.

Lo *scaling* multidimensionale non metrico (nMDS) basato sull'indice di similarità di Bray-Curtis (*stress* = 0,16) ha mostrato che la comunità di microartropodi in ciascun sito si organizza in maniera differente diversa (senza alcuna sovrapposizione) tra i vari siti, ma è possibile osservare un raggruppamento basato sull'appartenenza dei siti alla stessa azienda agricola: due comunità distinte possono essere individuate guardando in basso e in alto nella porzione centrale del grafico nMDS.

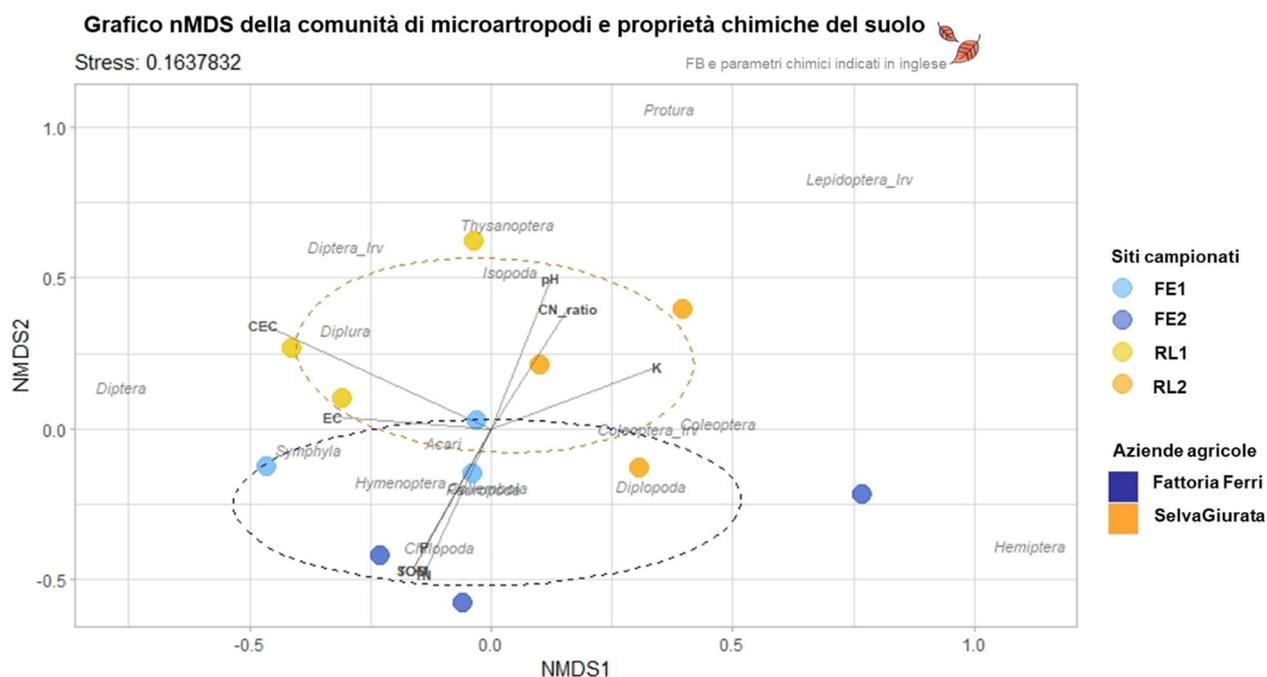


Fig. 16 – grafico NMDS costruito sulla base dell'analisi biologica e chimica effettuata in autunno 2023.

La struttura della comunità di microartropodi è risultata essere influenzata principalmente dal pH, dalla materia organica (SOM), dal contenuto di azoto totale (TN) e di carbonio organico totale (TOC). La capacità di scambio cationico ha avuto l'effetto maggiore, sebbene non in maniera significativa.

La PERMANOVA non ha rivelato differenze statisticamente significative riguardo l'organizzazione delle comunità di microartropodi tra i due sistemi gestionali (valore  $p = 0,36$ , PERMANOVA). L'analisi SIMPER ha identificato il potassio (K) come parametro che influenza maggiormente l'assemblaggio delle comunità, sebbene non in maniera significativa a livello statistico.

## DISCUSSIONE

Visto lo scopo generale di questo ultimo anno di monitoraggio, ossia quello di confrontare la gestione della Fattoria Ferri con quella di SelvaGiurata, ciascun parametro biologico considerato è stato analizzato singolarmente per valutare lo *status* di qualità biologica dei suoli in esame. Tuttavia, a causa della complessità dell'analisi in termini di valutazione dell'effetto della gestione (Fattoria Ferri vs. SelvaGiurata) e della stagionalità (primavera vs autunno), e dell'elevato numero di indicatori utilizzati, la discussione è organizzata in risposta a quattro ipotesi formulate precedentemente alle analisi dati del 2023.

### ***1) La varietà e la variabilità dei microartropodi cambiano in base al grado di disturbo del suolo; pertanto, ci si aspettava di trovare un valore più alto di QBS-ar insieme a una maggiore diversità e abbondanza in SelvaGiurata rispetto a Fattoria Ferri.***

Considerando il numero di FB per ciascuna azienda (come riportato nelle *heatmaps*), una forte differenza tra Fattoria Ferri e SelvaGiurata era presente sia in primavera che in autunno, con la maggiore diversità sempre riscontrata nella SelvaGiurata (risultato più evidente nell'osservazione autunnale). In linea con ciò, anche l'abbondanza era maggiore in SelvaGiurata in entrambe le stagioni anche se non in termini statistici. In particolare, FE2 aveva la minore abbondanza sia in primavera che in autunno. Lo stesso risultato è stato riscontrato anche per l'abbondanza totale di Acari e degli Acari Non-Oribatidi, poiché valori più elevati sono stati trovati in SelvaGiurata rispetto a Fattoria Ferri, a causa della scarsa abbondanza di Acari osservata in FE2 sia in primavera e autunno.

Riguardo ad AO%, SelvaGiurata è risultata essere l'azienda meno disturbata in entrambe le stagioni, con valori sempre più alti rispetto a quelli osservati in Fattoria Ferri. Questo diverso comportamento tra le due aziende in termini di AO% è stato confermato anche prendendo in considerazione la proporzione di Oribatidi rispetto agli Acari totali, poiché sono stati trovati valori più elevati in SelvaGiurata in entrambe le stagioni. Questo risultato è stato correlato alle diverse intensità di pratiche agricole impiegate in campo, poiché Fattoria Ferri adottava una gestione del suolo definita più impattante, con un'aratura profonda frequente e alcun uso di colture di copertura.

Dai risultati dell'abbondanza di Collemboli è emersa una differenza nel comportamento di FE2 e RL1 in primavera rispetto agli altri due siti. In particolare, in FE2 i Collemboli sono risultati essere più abbondanti rispetto agli Acari, mentre in RL1 il loro numero era il più basso probabilmente per via di un problema di ristagno idrico verificatosi sia nei siti RL1 che in FE2 ma causato da due motivi differenti: in RL1 dovuto a una ridotta copertura vegetale in FE2 a causa della cosiddetta "suola di aratura".

Considerando i valori di QBS-ar, i risultati indicavano differenze tra le due aziende, particolarmente evidenti in autunno. Anche se non statisticamente significativi, i valori più alti di QBS-ar osservati nella SelvaGiurata potrebbero essere spiegati dalla ridotta intensità delle pratiche agricole adottate. La stessa spiegazione vale per le FB, l'abbondanza totale, l'abbondanza di Acari e l'abbondanza delle altre FB (escludendo Acari, Collembola e Imenottera). Infatti, come spiegato nella sezione "Valutazione delle pratiche agricole", Fattoria Ferri e SelvaGiurata differiscono principalmente in termini di frequenza delle lavorazioni profonde del suolo e per l'uso di colture di copertura, con la SelvaGiurata che risultava avere un approccio gestionali più sostenibile di quello usato da Fattoria Ferri.

EF è stato l'unico indicatore che non ha mostrato differenze tra le due aziende agricole.

In conclusione, anche integrando i tre sistemi di valutazione nel confronto dei valori totali di QBS-ar (Menta et al., 2011; D'Avino, 2002, ARPA, 2007), RL2 è stato l'unico sito in cui le *performance* sono risultate eccellenti e coerenti tra i tre metodi di valutazione sia in primavera che in autunno. FE2 ha invece sempre avuto le prestazioni peggiori. Pertanto, ancora una volta è emerso che SelvaGiurata è l'azienda agricola che adotta pratiche di gestione del suolo in grado di favorire la qualità biologica del suolo.

***2) Per valutare l'effetto della stagionalità sui microartropodi del suolo, si è scelto di concentrarsi sulla diversità e sull'abbondanza dei microartropodi poiché questi due parametri possono variare in base alle caratteristiche climatiche. Infatti, poiché la mesofauna è strettamente legata alla disponibilità di acqua nel suolo, ci si aspettava valori più alti di QBS-ar, diversità e abbondanza per la primavera, poiché la primavera segue un periodo più umido, mentre l'autunno entra dopo una stagione più secca.***

Secondo l'analisi climatica, nel maggio 2023 c'è stato un picco molto alto di precipitazioni, con oltre 200 mm di pioggia caduta. Si è ipotizzato che il campionamento effettuato in giugno potesse essere influenzato da questo evento eccezionale, che si discosta dai valori normali di precipitazioni primaverili, poiché l'area geografica considerata è caratterizzata da una pioggia media annua di 550-650 mm. Di conseguenza, questo evento potrebbe aver causato una saturazione dei pori del suolo, causando effetti avversi sulla componente biotica del suolo.

Dall'analisi del clima, è emerso che la temperatura media durante gli anni monitorati in questo progetto, è stata più elevata in primavera che in autunno. Maggio 2023 si è rivelato particolarmente umido, mentre ottobre è stato soggetto a un deficit idrico.

In entrambe le stagioni, i valori di QBS-ar sono stati elevati, ma valori maggiori osservati in autunno. Tuttavia, questo indice non è stato in grado di rilevare differenze significative tra le due stagioni e quindi il risultato non è stato in linea con l'ipotesi iniziale.

L'analisi dei dati di abbondanza dei microartropodi ha rivelato che gli Acari rappresentavano la FB con maggiore influenza sull'abbondanza totale. Sono state quindi indagate possibili variazioni all'interno di questo gruppo in base alla stagionalità. L'abbondanza totale di Acari e l'abbondanza di Acari Non-Oribatidi sono state entrambe significativamente più alte in autunno (Test T di Student, valore p: 0,013). Anche negli Oribatidi è stato osservato lo stesso comportamento, sebbene non in maniera significativa. Questo risultato è probabilmente dovuto all'eccessiva quantità di pioggia caduta poco prima del campionamento primaverile del 2023, che ha creato una condizione di disequilibrio all'interno del sistema suolo. Inoltre, la letteratura scientifica (Gonçalves et al., 2021) afferma che l'abbondanza di Oribatidi aumenta in presenza di materia organica più recalcitrante, altra condizione che potrebbe spiegare la variazione stagionale osservata in RL1, visto che questo è stato l'unico sito che in autunno è stato soggetto ad interrimento dei residui colturali (sovescio). Tuttavia, la maggiore parte degli Acari veniva rappresentata dagli Acari Non-Oribatidi, ma al momento non sono noti specifici motivi per spiegare la loro variazione; pertanto, ulteriori studi sarebbero necessari per indagare questo aspetto.

Per quanto riguarda AO%, l'autunno è risultato essere la stagione meno disturbata, con valori più alti rispetto a quelli ottenuti in primavera, anche se non in modo significativo, risultato probabilmente correlato alle eccessive precipitazioni primaverili. Riguardo alla proporzione di Oribatidi rispetto agli Acari totali, è stato osservato che gli Oribatidi risultavano generalmente più abbondanti in autunno e, in molti casi, superavano addirittura il 50%. Questo risultato può essere dovuto al fatto che il campionamento autunnale è stato effettuato dopo mesi di riposo del suolo o dopo aver effettuato la trinciatura e l'interramento dei residui colturali.

Il numero di FB riscontrate è stato più alto in primavera che in autunno sebbene per la sola presenza di larve di Imenotteri, il che non fornisce molte informazioni sulla qualità biologica del suolo, poiché il loro ritrovamento è legato alla presenza di un formicaio. Pertanto, questo indicatore non ha confermato l'ipotesi. Le FE, l'abbondanza di Collembola e l'abbondanza delle altre FB (escludendo Acari, Collembola e Imenotteri) non hanno mostrato una chiara tendenza differente tra le due stagioni.

***3) Il rapporto A/C può essere utilizzato come indicatore dello stato di equilibrio di un ambiente poiché questo rapporto diminuisce quando l'ecosistema diventa più semplificato e meno stabile (Bachelier, 1978), pertanto ci si aspettava di trovare un valore più basso di questo parametro in Fattoria Ferri, l'azienda agricola con approccio di gestione agricola definito più intensivo. Inoltre, ci si aspettava di trovare un livello di disturbo più alto in autunno, poiché questa è la stagione in cui la maggior parte delle pratiche agricole viene effettuata per la preparazione del letto di semina.***

Secondo i risultati ottenuti, la primavera è stata la stagione più disturbata, poiché il valore medio del rapporto A/C è stato più alto in autunno che in primavera. Il risultato ottenuto contraddice l'ipotesi di partenza, poiché era previsto un autunno più disturbato. Tuttavia, verificando le informazioni della gestione agricola fornite dagli agricoltori, è emerso che il tempo di entrata in campo dei mezzi agricoli è risultato essere pressoché equidistante dal tempo di vista temporale tra le due aziende agricole. Pertanto, queste informazioni hanno permesso una rivalutazione dell'influenza della variabile gestionale e ha messo in luce un potenziale effetto della variazione climatica.

Analizzando i dati meteorologici è emerso un eccezionale evento piovoso in primavera del 2023, con 200 mm di pioggia caduti a maggio, il che potrebbe aver avuto un effetto stressante sulla fauna edafica, che ha così portato alla riduzione del rapporto A/C. Il risultato ottenuto per questo indicatore nel confronto primaverile tra Fattoria Ferri e SelvaGiurata è a supporto di questa terza ipotesi poiché in primavera il rapporto A/C era più alto in SelvaGiurata rispetto a quello osservato in Fattoria Ferri. Questa ipotesi risulta essere valida anche per il confronto autunnale delle due gestioni, anche se non in maniera significativa. Quindi, seguendo i risultati del rapporto A/C, Fattoria Ferri risulta essere l'azienda agricola con un suolo più instabile e disturbato rispetto a quello di SelvaGiurata.

Nel dettaglio, il rapporto A/C ha rilevato una situazione particolare che si è verificata in primavera nel sito RL1, dove si è osservata un elevato numero di Acari e un basso numero di Collemboli, che ha portato ad ottenere un valore elevato dell'indice. In particolare, la grande quantità di precipitazioni primaverili probabilmente ha causato un maggior impatto nel sito RL1 che negli altri tre siti.

Ciò è legato al fatto che, alla data di campionamento autunnale, RL1 era l'unico sito avente scarsa copertura vegetale e quindi una porzione più alta di terreno scoperto legata all'arretrato sviluppo vegetativo del grano (coltura piantata in ritardo in RL1 rispetto agli altri tre appezzamenti).

Questa condizione potrebbe aver causato un fenomeno di ristagno idrico che ha portato a una diminuzione del numero di forme biologiche particolarmente sensibili a questa condizione.

***4) Infine, si ipotizzava di trovare un maggior numero di Isopodi in SelvaGiurata rispetto a Fattoria Ferri, poiché gli Isopodi sono un gruppo biologico fortemente influenzato da alterazioni del substrato e, secondo la letteratura scientifica (Paoletti e Hassell, 1999), la loro popolazione può aumentare con l'adozione di sistemi di gestione agricola meno impattanti verso la biodiversità del suolo.***

Generalmente, gli Isopodi sono più influenzati da cambiamenti strutturali del suolo che da variazioni climatiche. Nel presente studio, è stato trovato un solo Isopode in Fattoria Ferri per entrambe le stagioni. Al contrario, in SelvaGiurata c'è stato un aumento significativo dell'abbondanza di Isopodi durante l'autunno: questo incremento è stato osservato in tutti e tre i sottocampioni, il che indica una presenza diffusa di questo *taxa* in entrambi i siti gestiti da SelvaGiurata.

In sintesi, il nostro risultato è stato fortemente a sostegno dell'ipotesi iniziale poiché SelvaGiurata, azienda con approccio meno intensivo e quindi ritenuto più sostenibile, ha avuto un numero statisticamente più elevato di isopodi rispetto a Fattoria Ferri.

Questo risultato è in accordo con informazioni ricavate dalla letteratura scientifica, in cui si afferma che l'abbondanza degli Isopodi è fortemente influenzata dai cambiamenti di condizione del substrato dovuti a lavorazioni di suolo profonde (come l'aratura), che causa alterazioni di umidità e di cibo a disposizione per questo *taxon* (Souty-Grasset et al., 2018).

## CONCLUSIONE

Dopo aver analizzato tutti i dati raccolti, è emerso che tutti e quattro gli appezzamenti agricoli monitorati nel 2023 all'interno della Riserva Naturale Regionale della Sentina mostravano un elevato livello di qualità biologica del suolo.

Come riportato in precedenza, dal momento che i quattro siti di studio si ubicavano vicini, questi sono sottoposti a stesse condizioni climatiche e simili caratteristiche del suolo; pertanto, i quattro campi selezionati rappresentano ottimi siti studio per indagare l'impatto di diverse intensità di pratiche agricole nei confronti della componente biologica del suolo. Per questo motivo, uno degli obiettivi di questo lavoro era quello di confrontare la sostenibilità delle due aziende agricole che hanno preso parte a questo progetto. In linea con le ipotesi iniziali, nel confronto gestionale, SelvaGiurata ha mostrato una maggiore qualità biologica del suolo e una maggiore abbondanza totale rispetto a Fattoria Ferri. Ciò è dovuto al fatto che SelvaGiurata ha utilizzato pratiche agricole meno impattanti per la comunità edafica rispetto a Fattoria Ferri, confermando così SelvaGiurata come l'azienda agricola che implementa pratiche agricole più amichevoli per la biodiversità del suolo.

Il lavoro svolto sottolinea la necessità di conservare la biodiversità del suolo, sia per il suo valore intrinseco che per i numerosi benefici che potremmo trarre dalla sua conservazione, come la produzione di alimenti. Questa prerogativa è inoltre sottolineata nella Strategia per la Biodiversità 2030, adottata dalla Commissione Europea nel 2020, che tra i vari obiettivi legati al suolo come il raggiungimento di un sistema di gestione del suolo sostenibile (aspetto cruciale per il *Green Deal* europeo), include anche un piano d'azione volto a garantire la protezione legale di almeno il 30% dei suoli dell'UE (Montanarella e Panagos, 2021).

Per ricapitolare, i risultati delle analisi ottenute nel corso di questo progetto di monitoraggio, indicano che il QBS-ar può rappresentare un efficace bioindicatore per confrontare l'intensità di diverse pratiche di gestione del suolo implementate negli agroecosistemi. Tuttavia, per ottenere risultati più chiari, è consigliabile condurre un monitoraggio sistematico per diversi anni consecutivi anziché effettuare un'unica indagine poiché altrimenti, ciò rappresenterebbe solo un'informazione puntuale di un preciso istante, invece di portare alla luce la vera tendenza di qualità biologica di un suolo.

In conclusione, dai risultati mostrati in questa relazione si possono estrarre delle linee guida di buone pratiche gestionali utili agli agricoltori: riduzione della frequenza d'uso di lavorazioni profonde del suolo (aratura), adozione di colture di copertura e sovescio, uniti a un maggior tempo di riposo del suolo sono consigli gestionali che andrebbero presi in considerazione specialmente per gestire agroecosistemi localizzati all'interno di aree protette.

## BIBLIOGRAFIA

- Abrol, I. P., Yadav, J. S. P., & Massoud, F. I. (1988). *Salt-affected soils and their management* (Vol. 39). Food & Agriculture Org.
- AMAP (Agency 'Marche, Agricoltura, Pesca'). Web address: <https://www.amap.marche.it/>
- Assam 2001. *Analisi dei terreni e consigli di concimazione – la fertilità dei suoli agrari marchigiani*. II ed.
- ARPA Piemonte, Rapporto Stato Ambiente (RSA) 2007, Capitolo 19 “Natura e biodiversità”. ISBN 88-7479-065  
<https://www.arpa.piemonte.it/reporting/rapporto-stato-ambiente-2007>
- Babicki, S., Arndt, D., Marcu, A., Liang, Y., Grant, J. R., Maciejewski, A., & Wishart, D. S. (2016). Heatmapper: web-enabled heat mapping for all. *Nucleic Acids Research*, 44(W1), W147–W153. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw419>
- Bachelier, G. (1978). *La faune des sols, son écologie et son action*. Paris: Orstom. Init. Doc. Tech. n. 38 391 pp. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-oc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_6/ldt/09691.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-oc/pleins_textes/pleins_textes_6/ldt/09691.pdf)
- Bano, R., & Roy, S. 2016. Extraction of Soil Microarthropods: A low cost Berlese-Tullgren funnels extractor. *Int. J. Fauna Biol. Stud.* 3(2): 14-17.
- Codurri, M., Truzzi, A., & Bertonazzi, M. C. (2005). Microartropodi del terreno: manuale da campo per il riconoscimento dei microartropodi del terreno come indicatori della qualità biologica del suolo (metodo QBS-ar). *Quaderno di campo*, (4). <https://www.ogliosud.it/pdfuff/PROGSdocumento-133-2.pdf>
- D'avino L., 2002 - Esposizione del metodo di Vittorio Parisi per la valutazione della Qualità Biologica del Suolo (QBS) e proposta di standardizzazione delle procedure. Depositato presso il Museo di Storia Naturale, Dipartimento di Biologia Evolutiva e Funzionale, Università degli Studi di Parma. All.4-Suddivisione in classi dei valori di QBS.
- European Commission, 2019. The European Green Deal. COM(2019) 640 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- European Commission, 2023. Proposal for a Directive on Soil Monitoring and Resilience [https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring-and-resilience\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-directive-soil-monitoring-and-resilience_en)
- Fernandez-Ugalde, O., Scarpa, S., Orgiazzi, A., Panagos, P., Van Liedekerke, M., Maréchal, A. & Jones, A. 2022. *LUCAS 2018 soil module – Presentation of dataset and results*. EUR 31144 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-76-54832-4, doi:10.2760/215013, JRC129926. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129926>
- Food and Agriculture Organization (FAO), (2015A). Status of the world’s soil resources, technical summary.
- Food and Agriculture Organization (FAO), (2015B). General Assembly of the United Nations, 21 October 2015. Web address: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2020. Soil biodiversity: a nature-based solution. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/areas-of-work/soil-biodiversity/en/>
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2021. Soil Organic Carbon and Nitrogen- REVIEWING THE CHALLENGES FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION AND ADAPTATION IN AGRI-FOOD SYSTEMS. ITPS Soil Letters #2. Global Soil Partnership. In: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2021. Standard operating procedure for soil total nitrogen - Dumas dry combustion method. - Rome, Italy. <https://www.fao.org/3/cb3646en/cb3646en.pdf>

- Food and Agriculture Organization (FAO), 2022. Soils for nutrition: state of the art. Rome.
- Gomiero, T., Pimentel, D., & Paoletti, M. G. (2011). Is there a need for a more sustainable agriculture? *Critical reviews in plant sciences*, 30(1-2), 6-23.
- Gonçalves F., Carlos C., Crespo L., Zina V., Oliveira A., Salvação J., Pereira J.A., Torres L. (2021). Soil Arthropods in the Douro Demarcated Region Vineyards: General Characteristics and Ecosystem Services Provided. *Sustainability*, 13(14), 7837. <https://doi.org/10.3390/su13147837>
- Halleaux.,V. (2024). Soil monitoring and resilience directive. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS\\_BRI\(2024\)757627](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2024)757627)
- Menta C., Leoni A., Conti F.D. (2011). 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.
- Menta, C., Conti, F. D., Pinto, S., & Bodini, A. (2018). Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale. *Ecological Indicators*, 85, 773-780.
- Montanarella L., Panagos P., 2021. The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land Use Policy* 100, 104950 <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104950>
- 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).
- Parisi, V. (2001). La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*, 37(3/4), 105-114.
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., & Mozzanica, E. (2005). Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, ecosystems & environment*, 105(1-2),323-333. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>
- Potapov, A. M., Sun, X., Barnes, A. D., Briones, M. J., Brown, G. G., Cameron, E. K., Chang, C.-H., Cortet, J., Eisenhauer, N., Franco, A. L., Fujii, S., Geisen, S., Guerra, C., Gongalsky, K., Haimi, J., Handa, I. T., Janion-Sheepers, C., Karaban, K., Lindo, Z., Mathieu, J., Moreno, M. L., Murvanidze, M., Nielsen, U., Scheu, S., Schmidt, O., Schneider, C., Seeber, J., Tsiafouli, M., Tuma, J., Tiunov, A., Zaytsev, A. S., Ashwood, F., Callaham, M., & Wall, D. (2022). Global monitoring of soil animal communities using a common methodology. *SOIL ORGANISMS*, 94(1), 55–68. <https://soil-organisms.org/index.php/SO/article/view/178/175>
- Schoenholtz, S. H., Van Miegroet, H., & Burger, J. A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 138(1-3), 335-356. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0)
- Sinatra, A. 2014 Piano di Gestione della Riserva Naturale Regionale Sentina. [https://www.riservasentina.it/documenti/amministrativi/RELAZIONE\\_FINALE.pdf](https://www.riservasentina.it/documenti/amministrativi/RELAZIONE_FINALE.pdf)
- Soil Science Society of America. 2008. *Glossary of soil science terms*. ASA-CSSA-SSSA. ISBN:9780891188513 DOI:10.2136/2008.glossarysoilscienceterms
- Sommaggio D. e Paoletti M. (2018). *Gli invertebrati come bioindicatori di un paesaggio sostenibile*. libreria universitaria.it edizioni.
- Souty-Grosset C, Faberi A (2018) Effect of agricultural practices on terrestrial isopods: a review. In: Hornung E, Taiti S, Szlavecz K (Eds) *Isopods in a Changing World*. *ZooKeys* 801: 63–96. <https://doi.org/10.3897/zookeys.801.24680>
- Sumberg, J., & Giller, K. E. (2022). What is 'conventional' agriculture? *Global Food Security*, 32, 100617.

- Tiberi, M., Ciabocco, G., Bernacconi, C., Bampa, F., Dunbar, M. B., Montanarella, L. (2014). MOSYSS Project MONitoring SYstem of Soils at multiScale. Monitoring system of physical, chemical and biological soil parameters in relation to forest and agricultural land management. EUR 26386. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; JRC86066  
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC86066>
- United States Department of Agriculture (USDA), (2018). Soil health definition. Web address: <https://www.fs.usda.gov/nac/topics/soil-health.php>
- USDA. 2009. "Soil Quality Indicators: Total Organic Carbon." *Natural Resources Conservation Service*. October.  
[https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/total\\_organic\\_carbon.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/total_organic_carbon.pdf)
- WWF. 2016. Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era. WWF International, Gland, Switzerland.