

RAPPORTI TECNICI

AREA GEOLOGIA, SUOLI E SISMICA

2024



RISULTATI FINALI
DELL'ATTIVITÀ DI
MONITORAGGIO
2019-2022 SULLA
QUALITÀ DEI SUOLI
AGRICOLI

A cura di:

Alessandra Aprea – Area Geologia, Suoli e Sismica. Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

Paola Tarocco – Area Geologia, Suoli e Sismica. Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

Francesca Staffilani – ex Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna

Fabio Gatti – collaboratore I.TER

Cristina Menta – Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale. Università di Parma

Sara Remelli – collaboratore I.TER

Carla Scotti – Coop I.ter. Bologna

Con il contributo di:

Chiara Ferronato - Area Agricoltura Sostenibile. Settore programmazione, sviluppo del territorio e sostenibilità delle produzioni– Regione Emilia-Romagna

Lorenzo Bertuzzi - Area Geologia, Suoli e Sismica. Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

Rilevamento pedologico, campionamento ed estrazione QBS:

I.Ter. Progettazione Ecologica del Territorio

Analisi chimico-fisiche

Gruppo C.S.A.

In copertina:

foto: Archivio Area Geologia, Suoli e Sismica. Sito RE_I_PSR_2

Immagine coordinata:

Simonetta Scappini

Area Geologia, Suoli e Sismica - Settore Difesa del Territorio – Regione Emilia-Romagna

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

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

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

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



Direzione Generale cura del territorio e dell'ambiente

Area Geologia, Suoli e Sismica

Viale della Fiera 8, 40127 Bologna

telefono: 051 5274792

fax: 051 5274208

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

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

Sito web: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli>

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	INTRODUZIONE.....	5
3	MATERIALI E METODI.....	6
3.1	Definizioni.....	6
3.2	Scelta degli indicatori.....	8
3.2.1	Dotazione di carbonio/sostanza organica	10
3.2.2	Carbonio organico e stock di carbonio	11
3.2.3	Rapporto C/N.....	11
3.2.4	Capacità di scambio cationico (CSC).....	11
3.2.5	Azoto totale.....	11
3.2.6	Fosforo assimilabile	12
3.2.7	Potassio scambiabile.....	12
3.2.8	Sodio scambiabile (ESP).....	12
3.2.9	Salinità	12
3.2.10	pH.....	13
3.2.11	Fertilità biologica (IBF).....	13
3.2.12	Qualità Biologica dei suoli- Indice QBS-ar	13
3.2.13	Contenuto di metalli pesanti	14
3.3	Metodo di campionamento	15
3.4	Scelta dei siti di monitoraggio.....	15
4	RISULTATI ATTIVITA' DELLE DUE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO.....	20
4.1	Statistica descrittiva.....	20
4.2	Qualità dei suoli per indicatori	25
5	APPROFONDIMENTI.....	30
5.1	Contenuto di Carbonio Organico %.....	31
5.1.1	Valutazioni generali	31
5.1.2	Contenuto di CO% per tipi di suolo (gruppi funzionali)	32
5.1.3	Contenuto di CO% per uso del suolo	34
5.1.4	Contenuto di CO% per uso del suolo e tipo di suolo.....	35
5.1.5	Contenuto di CO% e sistema produttivo	38
5.1.6	Contenuto di CO% per uso del suolo nei diversi sistemi produttivi	39
5.1.7	Contenuto di CO% per ambiente (pianura e collina).....	41
5.2	Gestione aziendale e riflessi sui contenuti di carbonio organico	43
5.2.1	Indagine statistica generale sull'incremento di CO%	44
5.2.2	Valutazione generale per coltura.....	48
5.2.3	Valutazione generale per gestione	49
5.2.4	Valutazione generale per Tipologia di Suolo.....	50
5.2.5	Valutazione generale per Provincia.....	51
5.3	Qualità biologica del suolo. Analisi dei microartropodi	69
5.3.1	Campionamento e analisi	69
5.3.2	Risultati.....	71
5.3.3	Elaborazione statistica e modellistica dei dati	73

5.4	Contenuto di metalli potenzialmente tossici	94
5.4.1	Contenuto di metalli in funzione dell'uso del suolo.....	94
5.4.2	Contenuto di As, Cd, Cu e Zn in funzione dell'uso del suolo e dei sistemi produttivi	98
6	BIBLIOGRAFIA	104

1 PREMESSA

La rete di monitoraggio delle caratteristiche chimico-fisiche e biologiche dei suoli agricoli della Regione Emilia-Romagna (2019-2023) è stata finanziata dalla Misura 20 del PSR 2014-2020, e vede il coinvolgimento di due settori afferenti a due diverse direzioni: il settore Difesa del Territorio della Direzione Generale Cura del territorio e dell'ambiente e il settore Programmazione, Sviluppo del territorio e Sostenibilità delle Produzioni della Direzione Generale Agricoltura, caccia e pesca.

L'esecuzione del lavoro è stata affidata tramite gare a ditte esterne:

- Il servizio di monitoraggio delle caratteristiche chimico-fisiche e biologiche dei suoli è stato affidato (CIG 7285488EE0) alla RTI I.TER-CSA. I.Ter di Bologna ha avuto ruolo di capofila, collaborando all'impostazione metodologica nella scelta siti campionamento, eseguendo il rilevamento pedologico, il campionamento dei suoli, l'estrazione e analisi del QBS e l'elaborazione statistica e modellistica dei dati del QBS_ar, mentre il gruppo C.S.A. di Rimini ha eseguito presso il proprio laboratorio le analisi chimico-fisiche dei suoli;
- il lavoro di raccolta di informazioni sulla gestione agronomica è stato affidato alla società Agriconsulting (CIG 7404544701) che ha realizzato l'indagine campionaria per la valutazione delle misure Agroambientali del PSR 2014-2020 (Indagine impieghi) per il periodo 2017-2019, mentre per il periodo 2020-2022 i dati sono stati raccolti da I.ter (CIG 7285488EE0).

I dati raccolti sono di esclusiva proprietà della Regione Emilia-Romagna.

2 INTRODUZIONE

La Regione Emilia-Romagna ha cominciato a strutturare una propria **rete di monitoraggio della qualità dei suoli agricoli** nel 2015 grazie all'integrazione di attività tra l'Assessorato Agricoltura (Area Agricoltura Sostenibile), che già da anni finanzia tramite il PSR la raccolta di dati analitici dei suoli agricoli finalizzata a mantenere aggiornato il Catalogo dei suoli destinato all'uso da parte degli agricoltori, e l'Assessorato Difesa del Suolo e della Costa, alla Protezione Civile e all'Ambiente (Area Geologia, Suoli e Sismica.) che si occupa di elaborare i dati del suolo, produrre e aggiornare la cartografia dei suoli.

Tra il 2015 e il 2017 è stata strutturata una prima rete di monitoraggio (finanziata dalla Direzione Cura del territorio e dell'ambiente) costituita da **58 siti (lotto M5009)** scelti fra i 1738 siti SACT della campagna 2011-2013 finanziata con fondi del PSR 2007-2013. In questi siti, oltre ai consolidati indicatori legati alla chimica del suolo (CSC, NPK, salinità, pH, SO) già raccolti nella campagna SACT, sono state condotte analisi sulla qualità biologica dei suoli tramite lo studio dei microartropodi (indice QBS-ar, Parisi, 2005) eseguito dall'Università di Parma (CIG ZE111C629A e CIG ZE01AA07FD) e analisi del contenuto dei metalli pesanti potenzialmente tossici, eseguite da ARPAE Sez. di Ravenna.

Con il monitoraggio 2019-2022 si vuole, oltre che integrare la rete preesistente, mettere in evidenza lo stato di qualità dei suoli sottoposti a gestione agricola ed evidenziare se i diversi sistemi produttivi esercitano pressioni diverse causando o meno degrado del suolo e perdita di funzionalità.

Il progetto prevede l'integrazione della rete di monitoraggio su tutto il territorio a maggior vocazione agricola della collina e della pianura emiliano-romagnola che includa le tipologie di suolo più diffuse con diversi usi del suolo sottoposti a diversa gestione agricola.

Comprende due attività, una legata al rilevamento e al campionamento dei suoli e alle analisi chimico-fisiche e biologiche, l'altra alla raccolta di tutte le informazioni di gestione agronomica.

L'attività ha avuto inizio nel 2018 e si è conclusa nel 2023, ha interessato **123 siti (lotti M5013 e M5014)**; il campionamento e le analisi del suolo sono state realizzate due volte, nel 2019 e nel 2022; le informazioni di carattere gestionale sono state rilevate per ogni anno dell'arco temporale dal 2017 al 2022.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Definizioni

La **qualità del suolo** si potrebbe definire come “la capacità del suolo di mantenere la propria funzionalità per sostenere la produttività biologica, la qualità dell’ecosistema e di promuovere la salute di piante e animali” (Knoepp et al., 2000).

Il Natural Resources Conservation Service degli USA definisce la qualità del suolo come “la capacità di funzionare come un ecosistema che sostiene la vita di piante, animali ed esseri umani”. Il concetto di qualità è forse più chiaro se evidenziamo come grazie alle sue proprietà il suolo svolge determinate funzioni fornendo servizi eco-sistemici, ossia i benefici che l’uomo deriva dagli ecosistemi. L’alterazione delle sue funzioni costituiscono minacce di degrado del suolo e quindi perdita di qualità.

Ma ancora più esplicita delle diverse funzioni svolte dal suolo è il concetto di qualità indicata come la capacità del suolo di promuovere la crescita delle piante, proteggere le falde regolando l’infiltrazione dell’acqua piovana e prevenire l’inquinamento dell’acqua e dell’aria attraverso l’azione di buffering nei confronti di inquinanti derivanti dall’attività antropica (National Research Council, 1993).

Sempre più spesso più che **qualità del suolo** si tende a sostituire il termine con **salute del suolo**. Una differenziazione fra salute del suolo e qualità del suolo non è sempre chiara.

Secondo Bonfante et al (2020) si definisce come **salute del suolo** l’effettiva capacità di un suolo di svolgere le sue funzioni principali e di fornire servizi ecosistemici e la **qualità del suolo** come la capacità intrinseca di un particolare suolo di funzionare, contribuendo ai servizi ecosistemici.

Secondo la proposta di Direttiva sul monitoraggio e resilienza del suolo COM(2023) 416, uscita nel luglio 2023 e successivamente modificata, definisce che “I **suoli sani** sono in buone condizioni chimiche, biologiche e fisiche, in modo da poter fornire servizi ecosistemici vitali per l’uomo e l’ambiente, quali alimenti sicuri, nutrienti e sufficienti, biomassa, acqua pulita, ciclo dei nutrienti, stoccaggio del carbonio e habitat della biodiversità.”

In questo documento ci si riferisce nei termini di qualità del suolo, in quanto alcuni indicatori tendono per lo più a rappresentare le caratteristiche intrinseche del suolo. Vi sono alcuni parametri, tuttavia, che sono fortemente influenzati dalla gestione agronomica quali il contenuto di carbonio organico, dei macronutrienti (N, P, K), il contenuto di alcuni metalli /es. rame) e la qualità biologica e che possono anche essere definiti come indicatori della salute del suolo.

Per **monitoraggio dei suoli** si intende la determinazione sistematica di variabili del suolo al fine di evidenziare cambiamenti nel tempo e per **rete di monitoraggio** dei suoli si intende un insieme di siti/aree nei quali sono documentati cambiamenti delle caratteristiche del suolo attraverso analisi periodiche, effettuate con metodologie comuni, di un set di parametri appositamente scelti.

Una **rete per siti rappresentativi** è costituita da un insieme di siti non uniformemente distribuiti sulla superficie da monitorare ma selezionati in base alla loro rappresentatività, nella quale eseguire un monitoraggio intensivo e permanente anche di parametri di più complessa determinazione.

Tale sistema è il più adatto per l’acquisizione di conoscenze approfondite su processi dinamici che interessano i suoli (es. percolazione di nitrati e di fitofarmaci, erosione ...). Tale tipo di rete si contrappone alla rete a maglia fissa, costituita da un insieme di punti di campionamento omogeneamente distribuiti sul territorio. Tale struttura viene adottata in modo particolare in presenza di un monitoraggio sistematico, sul territorio prescelto, di alcuni parametri fondamentali di semplice determinazione.

Gli **indicatori di qualità** del suolo sono grandezze quantificabili e misurabili in grado di fornire informazioni su proprietà, processi e caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche, al fine di monitorare cambiamenti nel suolo. Il suolo ha proprietà sia intrinseche sia dinamiche.

Le **proprietà intrinseche non cambiano facilmente**, si sviluppano nei millenni e sono primariamente il risultato dei fattori che formano il terreno: clima, topografia, roccia madre, fattori biologici e tempo. Esempi di proprietà intrinseche sono la tessitura, il tipo di argilla, la profondità della roccia in posto e la classe di drenaggio.

Le **proprietà dinamiche** del suolo sono quelle legate al suo utilizzo, sono influenzate dalla gestione umana e dai disturbi naturali avvenuti nel corso dei tempi umani. Utilizzi vari del terreno, come coltivazione, allevamento o la costruzione di edifici e strade modificano i suoli. Esistono numerose proprietà dinamiche; alcuni esempi

sono il contenuto di sostanza organica, l'attività biologica, la stabilità degli aggregati, l'infiltrazione, la fertilità e la reazione.

Le variazioni delle proprietà dinamiche possono essere condizionate dalle proprietà intrinseche del suolo, in particolar modo dalla tessitura, e/o da un'altra proprietà dinamica, specialmente il contenuto di sostanza organica. Per esempio, la potenzialità di costruire sostanza organica in un suolo franco-limoso può essere maggiore rispetto ad un suolo sabbioso-franco, poiché il primo ha una maggior capacità idrica disponibile per sostenere la crescita delle piante e produrre biomassa vegetale. Se la sostanza organica del suolo aumenta, migliorano le altre proprietà dinamiche come aggregazione, stabilità degli aggregati, infiltrazione e densità apparente.

Gli indicatori, per essere definiti tali, necessitano di alcuni **requisiti**: devono essere indicativi di una data minaccia del suolo, funzione o servizio ecosistemico e devono essere rilevanti; devono essere facili da rilevare e misurare, sostenibili economicamente; devono essere sensibili ai cambiamenti di uso e gestione dei suoli; devono avere uno schema interpretativo chiaro. Per lo più gli indicatori si riferiscono a proprietà dinamiche del suolo, in particolare quando si tratta di suoli agricoli, che possono essere influenzate dalla gestione del suolo e sono principalmente monitorate nell'orizzonte superficiale (0-30 cm).

3.2 Scelta degli indicatori

La rete di monitoraggio è progettata per rilevare sia le proprietà intrinseche dei suoli, sia le proprietà dinamiche che meglio definiscono gli indicatori di qualità del suolo e che più sono influenzate dall'uso e dalla gestione del suolo.

A tal fine sono stati determinati i seguenti parametri del suolo:

Parametro	U.M.	Metodo	Riferimenti
Sabbia 2000-100µm	%	Setacci	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5
Sabbia 100- 50µm	%	Setacci	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5
Limo 50-20µm	%	Pipetta (tess. Apparente)	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5
Limo 20-2µm	%	Pipetta (tess. Apparente)	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5
Argilla	%	Pipetta (tess. Apparente)	D.M. 13/09/1999. Metodo II.5
pH	-	in acqua 1:2,5	D.M. 13/09/1999. Metodo III.1
Calcare totale	%	Gasvolumetrico	D.M. 13/09/1999. Metodo V.1
Calcare attivo	%	Droineau	D.M. 13/09/1999. Metodo V.2
Carbonio organico	%	Analizzatore elementare	D.M. 13/09/1999. Metodo VII.1, VII.3
N totale	per mille	Analizzatore elementare	D.M. 13/09/1999. Metodo XIV.3 o XIV.1
P2O5 assimilabile	mg/kg	Olsen	D.M. 13/09/1999. Metodo XV.3
K2O scambiabile/assimilabile	mg/kg	BaCl2 pH 8,1 per suoli calcarei, NH4 acetato 1N per suoli acidi	D.M. 13/09/1999. Metodo XIII.5 XIII.4
Salinità	dS/m	Conducibilità elettrica rapporto acqua/soilo 5:1	DM 13/09/1999 Metodo IV.1
CSC	meq/100g	BaCl2 pH 8,1 per suoli calcarei, NH4 acetato per suoli acidi	D.M. 13/09/1999. Metodo XIII.2, XIII.1
Ca, Mg, K, Na di scambio	meq/100g	BaCl2 pH 8,1 per suoli calcarei, NH4 acetato 1N per suoli acidi	D.M. 13/09/1999. Metodo XIII.5 XIII.4
GSB tasso (o grado) di saturazione basica	-	parametro derivato = basi di scambio/CSC *100	
ESP percentuale di sodio scambiabile	-	parametro derivato = Na scambiabile/CSC *100	

Parametro	U.M.	Metodi	Riferimenti
Arsenico (As)	mg/kg	Estrazione in acqua regia + Lettura ICP-MS o ICP-OES	UNI EN 13346 2002 oppure EPA 3051A 2007 + EPA 6020 oppure EPA 6010
Cromo (Cr)	mg/kg		
Nichel (Ni)	mg/kg		
Piombo (Pb)	mg/kg		
Zinco (Zn)	mg/kg		
Rame (Cu)	mg/kg		
Cadmio (Cd)	mg/kg		
Vanadio (V)	mg/kg		

Parametro	U.M.	Metodo	Riferimenti
densità apparente	g/cm ³	Metodo del carotaggio	GU 173 2/9/1997
umidità	%	Metodo termo-gravimetrico	GU 173 2/9/1997

Parametro	U.M.	Metodo	Riferimenti
QBS-ar	-	Determinazione degli EMI e del QBS-ar massimale	APAT RTI CTN_TES 1/2004 Parisi 2001, Parisi 2005
Densità degli individui	Ind/m ²	Conta degli individui	Parisi 2001, Parisi 2005

Parametro	U.M.	Metodo	N. metodo
C organico totale (TOC)	g/kg s.s.	Springer-Klee	DM 13/09/1999 SO n. 185 GU 248 21/10/1999 VII.2
Respirazione basale e cumulata	mgC-CO2/kg s.s.	Determinazione della CO2 per tritrimetria	DM 23/02/2004 SO GU n 61 13/03/2004 Parte II 1.2.1
Carbonio biomassa microbica	µgC/g s.s.	Metodo della fumigazione/ estrazione	DM 23/02/2004 SO GU n 61 13/03/2004 Parte I5 1.3.2
Quoziente metabolico	%/h	Da calcolo = rapporto fra la respirazione basale ed il carbonio della biomassa microbica	
Quoziente di mineralizzazione	%	Da calcolo = rapporto fra il dato della respirazione cumulativa ed il valore del carbonio organico totale	

Tabella 1. Elenco parametri analizzati. In azzurro le analisi replicate anche nella seconda annualità (2022)

Dai parametri del suolo si definiscono i seguenti **indicatori**:

Indicatore	unità	Schema valutativo	Descrizione
Dotazione di carbonio/sostanza organica	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER	La sostanza organica costituisce una grossa parte delle superfici attive del suolo, ha un ruolo fondamentale sia per la nutrizione delle piante (mineralizzazione e rilascio degli elementi nutritivi, sostentamento dei microrganismi, trasporto di P e dei microelementi alle radici, formazione del complesso di scambio dei nutrienti) e sia per la struttura del terreno (aerazione, aumento della capacità di ritenzione idrica nei suoli sabbiosi, limitazione nella formazione di strati impermeabili nei suoli limosi, limitazione, compattamento ed erosione nei suoli argillosi)
	classe	Proposta Direttiva Monitoraggio Suolo (2023)	
Contenuto % di carbonio organico	classe	MIPAF, 2006	Il carbonio organico del suolo (SOC) è una componente della materia organica del suolo (SOM) ed è con essa in stretta relazione. Data la complessità strutturale della materia organica, in laboratorio si preferisce eseguire la determinazione del contenuto di carbonio organico che per convenzione può essere ricondotto al valore di sostanza organica (SO) attraverso il fattore di Van Bemmelen (SO = 1,724 CO, Jackson, 1965). La determinazione di laboratorio fornisce valori di carbonio organico (CO) espressi in percentuale o in g*kg ⁻¹
	classe	Jones et al, 2003	
Stock di carbonio organico	Mg/ha	-	Restituisce i quantitativi in t/ha di carbonio organico immagazzinato in un dato spessore di suolo, fornendo indicazione di quanta CO ₂ è presente e i potenziali di accumulo o perdita in funzione dell'uso e della gestione dei suoli.
Rapporto C/N	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER	Viene utilizzato per quantificare il grado di umificazione del materiale organico nel terreno. Tale rapporto è generalmente elevato in presenza di notevoli quantità di residui vegetali indecomposti (paglia, stoppie, ecc.), dato il basso contenuto in sostanze azotate, e diminuisce all'aumentare dei composti organici ricchi d'azoto (letame, liquami), in caso di rapida mineralizzazione della sostanza organica o di una presenza consistente di azoto minerale. I terreni con un valore compreso tra 9 e 12 hanno una buona dotazione di sostanza organica, ben umificata ed abbastanza stabile nel tempo.
Capacità di scambio cationico (CSC)	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER (Fonte SILPA)	Esprime la capacità del suolo di trattenere sulle fasi solide, ed in forma reversibile, una certa quantità di cationi, in modo particolare calcio, magnesio, potassio e sodio. Un valore troppo elevato della CSC può evidenziare condizioni che rendono non disponibili per le colture alcuni elementi quali potassio, calcio, magnesio. Viceversa, un valore troppo basso è indice di condizioni che rendono possibili perdite per dilavamento degli elementi nutritivi. Pertanto, una buona CSC garantisce la presenza nel suolo di un pool di elementi nutritivi conservati in forma labile e dunque disponibile per la nutrizione vegetale.
Azoto totale	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER	Esprime la dotazione nel suolo delle frazioni di azoto organico. Il valore di azoto totale può essere considerato un indice di dotazione azotata del terreno, comunque non strettamente correlato alla disponibilità dell'azoto per le piante. Un'eccessiva disponibilità di N nel suolo provoca un ritardo di fioritura, fruttificazione e maturazione, una minor resistenza al freddo e ai parassiti, un aumento dei consumi idrici e un accumulo di nitrati nella pianta.
Fosforo assimilabile	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER	Si trova nel suolo in forme molto stabili e quindi difficilmente solubili (la velocità con cui il fosforo viene immobilizzato in forme insolubili dipende da pH, contenuto in Ca, Fe e Al, quantità e tipo di argilla e di sostanza organica). Il fosforo è presente sia in forma inorganica (fosfati minerali), sia in forma di fosforo organico (in residui animali e vegetali); la mineralizzazione del fosforo organico aumenta all'aumentare del pH. Agevola la fioritura, l'accrescimento e la maturazione dei frutti oltre che un miglior sviluppo dell'apparato radicale

Indicatore	unità	Schema valutativo	Descrizione
Dotazione di potassio scambiabile	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER	Il K è presente nel suolo in diverse forme, la forma utile ai fini analitici è quella scambiabile, ossia quella quota di K presente nel suolo cedibile dal complesso di scambio alla soluzione circolante o da questa restituita e quindi più disponibile all'assorbimento. Il K nella pianta regola la permeabilità cellulare, la sintesi di zuccheri, proteine e grassi, la resistenza al freddo e alle patologie, il contenuto di zuccheri nei frutti.
ESP (Sodio scambiabile)	classe	Paolo Sequi 1989	Percentuale di sodio scambiabile rispetto alla CSC; l'elevata percentuale di sodio scambiabile condiziona la quantità degli altri cationi magnesio e potassio, determina la insolubilizzazione del ferro, del rame e del manganese, deprime l'attività microbica, causa destrutturazione del suolo.
Salinità (conducibilità elettrica in pasta satura)	classe	Soil Survey Manual dell'USDA	Descrive il grado di salinità attraverso la misurazione della conducibilità elettrica. L'eccesso di sali determina diminuzione della produttività delle colture con la formazione di aree nelle quali le piante sono poco sviluppate o del tutto assenti.
pH	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER (Fonte SILPA)	Indica la concentrazione di ioni idrogeno nella soluzione circolante nel terreno; il suo valore dà un'indicazione sulla disponibilità di molti macro e microelementi ad essere assorbiti. Il pH influisce sull'attività microbiologica (ad es. i batteri azotofissatori e nitrificanti prediligono pH subacido-subalcalini, gli attinomiceti prediligono pH neutri-subalcalini) e sulla disponibilità di elementi minerali, in quanto ne condiziona la solubilità e quindi l'accumulo o la lisciviazione.
Fertilità biologica (IBF)	classe	Benedetti et al., 2006, CREA	Indice di fertilità del suolo basato sull'attività (respirazione) microbica; definisce l'attività dei microrganismi di un suolo dai quali dipendono tutti gli equilibri dei cicli dei principali elementi nutritivi per le piante.
	classe	Franaviglia et al, 2017	
QBS-ar	classe	Schema HELPSOIL	Indice di qualità biologica basato sulla comunità degli microartropodi del suolo (Parisi, 2001). Si basa sul concetto che: la presenza/assenza dei gruppi euedafici, più adattati alla vita nel suolo, può essere utilizzata per valutare la stabilità e la qualità biologica del suolo.
	classe	Schema RER. Qualità biologica dei suoli emiliano-romagnoli, 2018	I valori dell'indice hanno dimostrato di essere direttamente correlabili all'uso e allo stato dei suoli al momento del campionamento permettendo di formulare differenti conclusioni utili alla gestione dei suoli.
Contenuto di metalli pesanti (rame e zinco)	Valore soglia	DECRETO 01/03/2019, n. 46	Valuta il grado di tossicità della concentrazione di metalli pesanti nel suolo per superamento di valori soglia

Tabella 2. Elenco degli indicatori di qualità del suolo

Gli indicatori, per essere realmente utili, devono poter essere facilmente interpretabili e rispondere a valutazioni qualitative. È necessario quindi adottare degli schemi interpretativi che siano condivisi e verificati anche a livello locale.

Di seguito sono elencati gli schemi interpretativi proposti e adottati per gli indicatori scelti:

3.2.1 Dotazione di carbonio/sostanza organica

Dotazione di Sostanza Organica %			
Giudizio	Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	Terreni medio impasto (F-FL-FA-FSA)	Terreni argillosi e limosi (A-AL-FLA-AS-L)
molto bassa	<0.8	<1.0	<1.2
bassa	0.8-1.4	1.0-1.8	1.2-2.2
media	1.4-2.0	1.8-2.5	2.2-3.0
elevata	>2.0	>2.5	>3

Tabella 3. Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER

Si propone anche un altro indicatore che pone in relazione il carbonio organico con l'argilla ed è quello scelto nella proposta di Direttiva per il monitoraggio e resilienza del suolo (COM(2023) 416), nell'allegato 1, parte A. Gli indicatori della parte A dovrebbero essere uguali per tutti gli stati membri, ma nei fatti questo indicatore, proposto da Prout et.al (2020), si adatta meglio ai suoli del Nord-Europa e risulta penalizzante per i paesi mediterranei, in particolare in Italia dove i suoli argillosi sono molto diffusi e il contenuto di carbonio organico in media, per motivi climatici, non riesce comunque ad arrivare a valori molto elevati, anche nei casi di gestione virtuosa.

Valutazione	Corg/argilla
Suolo in salute	> 0.0769
Suolo non in salute	< 0.0769

Tabella 4. Proposta di Direttiva sul monitoraggio del suolo e la resilienza COM(2023) 416. Allegato 1, parte A.

3.2.2 Carbonio organico e stock di carbonio

Oltre alla valutazione della dotazione di sostanza organica secondo i disciplinari di produzione integrata, vi sono altre possibili classificazioni sul contenuto di carbonio organico, non relazionato alla quantità di argilla. Ne vengono proposti due: il primo (MIPAF, 2006) è a livello nazionale, il secondo è la classazione adottata per la carta europea del contenuto di carbonio organico nel topsoil (Jones et al, 2003), che presenta la soglia del 2%. Questa è la soglia al di sotto della quale, secondo molti autori, può verificarsi un degrado potenzialmente grave del suolo. Secondo altri autori invece la soglia critica è 1% (EEA Report No 08/2022). Non esistono ad oggi schemi condivisi di valutazione in funzione dello **stock di carbonio organico**.

Valutazione	C organico %
Molto scarso	<0.45
Scarso	0.45–0.90
Medio	0.91–1.36
Elevato	1.37–1.81
Molto elevato	>1.81

Tabella 5. MiPAF, Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2006

Valutazione	C organico %
molto basso	< 1
basso	1÷2
medio	2÷6
alto	> 6

Tabella 6. Jones et al, 2003

3.2.3 Rapporto C/N

Giudizio	Rapporto C/N	Descrizione
basso	<9	Mineralizzazione veloce
equilibrato	9-12	Mineralizzazione normale
elevato	>12	Mineralizzazione lenta

Tabella 7. Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER

3.2.4 Capacità di scambio cationico (CSC)

Giudizio	Capacità di scambio cationico (meq/100g)
bassa	<10
media	10-20
elevata	>20

Tabella 8. Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER. Fonte SILPA

3.2.5 Azoto totale

Giudizio	Azoto totale (g/Kg)
molto basso	<0.5
basso	0.5-1.0
medio	1.1-2.0
elevato	2.1-2.5
molto elevato	>2.5

Tabella 9. Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER

3.2.6 Fosforo assimilabile

Dotazione in fosforo assimilabile	
Giudizio	P2O5 mg/kg
molto basso	<11.45
basso	11.45-22.9
medio	22.9-34.35
elevato	34.35-68.7
molto elevato	>68.7

Tabella 10. Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER.

3.2.7 Potassio scambiabile

Dotazione di K scambiabile (K2O ppm)*			
Giudizio	Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	Terreni medio impasto (F-FL-FA-FSA-L)	Terreni argillosi e limosi (A-AL-FLA-AS)
molto basso	<=48	<=72	<=96
basso	>48-<=96	>72-<=120	>96-<=144
medio	>96-<=144	>120-<=180	>144-<=216
elevato	>144	>180	>216

Tabella 11. Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER

3.2.8 Sodio scambiabile (ESP)

Convenzionalmente viene definito sodico un suolo con ESP > 15%.

Giudizio	Na scambiabile (meq/100g)	ESP (%)
normale	>1.0	>5.0
leggermente alto	1.1-2.0	5.1-10.0
alto	2.1-3.0	10.1-15.0
molto alto	>3.0	>15.0

Tabella 12. AA.VV., 2006. Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli.

3.2.9 Salinità

Classe	ECe (dSm ⁻¹)	Effetti sulle produzioni agricole
Non salino	< 2	Effetto della salinità per lo più trascurabile.
Leggermente salino	2-4	Produttività di colture molto sensibili si possono ridurre.
Moderatamente salino	4-8	Produttività ridotta di molte colture.
Molto salino	8-16	Solo colture tolleranti producono in modo soddisfacente.
Estremamente salino	> 16	Solo poche colture molto tolleranti producono in modo soddisfacente

Tabella 13. Classi conducibilità elettrica secondo Richards (1954). In USDA- Soil Survey Manual (2017)

Giudizio	ECe (dSm ⁻¹)	EC 1:5 (dSm ⁻¹)			
		Suoli sabbiosi (S-SF)	Suoli medio impasto (FLA-FL-F-FA-L-FS)	Suoli argillosi (A-AL)	HISTOSUOLI
Non salino	<2	<0.3	<0.5	<0.5	<0.8
Molto debolmente salino	2-4	0.3-0.6	0.5-1.4	0.5-1	0.8-1.7
Debolmente salino	4-8	0.6-1.1	1.4-3.3	1-2.1	1.7-3.4
Moderatamente salino	8-16	1.1-2.2	3.3-7	2.1-4.1	3.4-6.8
Fortemente salino	>16	>2.2	>7	>4.1	>6.8

Tabella 14. Conversione delle Classi Richards (1954) da ECe a EC1:5 secondo funzioni di conversione adottate dalla RER (2015)

Di seguito le equazioni utilizzate per determinare ECe a partire da EC1:5 con i valori dei relativi coefficienti di correlazione:

Gruppo funzionale	Formula conversione	R ²
Gruppo C	$E_{ce} = 3.889 * EC_{1:5}$	0.939
Gruppo L	$E_{ce} = 0.871 + 2.150 * EC_{1:5}$	0.726
Gruppo S	$E_{ce} = 7.149 * EC_{1:5}$	0.969
Gruppo O	$E_{ce} = 2.361 * EC_{1:5}$	0.933

Tabella 15. Funzioni di conversione adottate dalla RER (2015) per i gruppi funzionali dei suoli

Dove

gruppo O: orizzonti organici compresi quelli minerali se appartengono a Histosuoli;

gruppo C: orizzonti argillosi ossia classi tessiturali A e AL;

gruppo L: orizzonti di medio impasto ossia classi tessiturali FLA, FL, F, FA, L ed FS;

gruppo S: orizzonti sabbiosi ossia classi tessiturali S ed SF.

3.2.10 pH

Giudizio	Valori (pH in H ₂ O)
fortemente acido	<5.4
acido	5.4-6.0
leggermente acido	6.1-6.7
neutro	6.8-7.3
leggermente alcalino	7.4-8.1
alcalino	8.2-8.6
fortemente alcalino	>8.6

Tabella 16. Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali, RER. Fonte SILPA

3.2.11 Fertilità biologica (IBF)

Si propongono due classificazioni dell'indice di fertilità biologica (IBF). Il primo schema è quello proposto inizialmente da Benedetti et al (2006); il secondo schema invece quello proposto da Francaviglia et al., 2017, dove il calcolo è stato semplificato in accordo con Vittori Antisari et al., (2021), togliendo alcuni termini ridondanti e variabili autocorrelate quali la respirazione basale e Ccum. Questo secondo indice tiene conto quindi solo di SOM, Cmic, qCO₂ e qM.

PARAMETRO	Punti da assegnare				
	1	2	3	4	5
Sostanza organica % (SOM)	<1	1-1.5	1.5-2	2-3	>3
Carbonio della biomassa microbica ppm (Cmic)	<100	100-200	200-300	300-400	>400
Respirazione basale ppm (RB)	<5	5-10	10-15	15-20	>20
Respirazione cumulata ppm (Ccum)	<100	100-250	250-400	100-600	>600
Quoziente metabolico (qCO ₂)	>0.4	0.3-0.4	0.2-0.3	0.1-0.2	<0.1
Quoziente di mineralizzazione (qM)	<1.0	1-2	2-3	3-4	>4
IBF somma	6	7-12	13-18	19-24	25-30
Classe fertilità	I	II	III	IV	V
Descrizione stato	Stress allarme	Stress Preallarme	Media	Buona	Alta

Tabella 17. Classi fertilità biologica (Benedetti et al., 2006, CREA)

PARAMETRO	Punti da assegnare				
	1	2	3	4	5
Sostanza organica % (SOM)	<1	≥1	>1.5	>2	>3
Carbonio della biomassa microbica ppm (Cmic)	<100	≥100	>250	>400	>600
Quoziente metabolico (qCO ₂)	≥0.4	<0.4≥0.3	<0.3≥0.2	0.2≥0.1	<0.1
Quoziente di mineralizzazione (qM)	<1.0	≥1≤2	>2≤3	>3≤4	>4
IBF somma	4	5-8	9-12	13-16	17-20
Classe fertilità	I	II	III	IV	V
Descrizione stato	Stress	Pre-stress	Media	Buona	Alta

Tabella 18. Classi fertilità biologica (Francaviglia et al., 2017, Vittori Antisari et al., 2021)

3.2.12 Qualità Biologica dei suoli- Indice QBS-ar

L'indice QBS-ar, ideato dal prof. Parisi nel 2001, sta in questi ultimi anni trovando sempre maggiore diffusione in diversi ambiti (Menta, 2018). Non sono però ad oggi ancora disponibili degli schemi interpretativi condivisi e i valori di QBS-ar necessitano di essere contestualizzati al proprio ambiente pedo-climatico nonché all'uso del suolo. Si riportano di seguito due schemi che possono rappresentare dei primi riferimenti per la definizione di classi qualitative sulla base del valore di QBS-ar massimale:

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
120-101	Buono	160-141	Buono	200-171	Buono
100-81	Discreto	140-121	Discreto	170-151	Discreto
80-61	Sufficiente	120-101	Sufficiente	150-131	Sufficiente
60-41	Modesto	100-81	Modesto	130-111	Modesto
40-31	Scadente	80-61	Scadente	110-91	Scadente
<30	Nulla	<60	Nulla	<90	Nulla

Tabella 19. Schema 1. Da progetto LIFE HelpSoil

Classe QBS-ar		limiti	Frutteto/vigneto	Prato avvicendato	Prato permanente	Seminativo
Alta	A	>Q3	>187	>165	>177	>124
Moderatamente alta	MA	Q3-Q2	187-152	165-146	177-154	124-107
Moderatamente bassa	MB	Q2-Q1	151-123	147-125	155-129	108-82
Bassa	B	<Q1	<123	<125	<129	<82

Tabella 20. Schema 2. Classi definite sulla base dei valori statistici calcolati sul set di dati di riferimento da monitoraggio RER (M5009)

3.2.13 Contenuto di metalli pesanti

Si utilizzano i valori soglia indicati dal DM 1 marzo 2019, n. 46. Regolamento relativo agli interventi di bonifica, di ripristino ambientale e di messa in sicurezza, d'emergenza, operativa e permanente, delle aree destinate alla produzione agricola e all'allevamento, ai sensi dell'articolo 241 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. (19G00052) (GU Serie Generale n.132 del 07-06-2019)

Parametro	Valori soglia (mg/Kg)
Arsenico	30
Cadmio	5
Cromo Totale	150
Cromo VI	2
Rame	200
Nichel	120
Piombo	100
Vanadio	90
Zinco	300

Tabella 21. Valori soglia dei metalli pesanti per i suoli agricoli (DM 46/2019)

3.3 Metodo di campionamento

Il campionamento è stato condotto secondo quanto stabilito nella “**Guida per il campionamento della rete di monitoraggio dei suoli**”¹ a cui si rimanda. Si evidenzia che il campionamento produce due principali tipi di campione su cui vengono eseguite le analisi di laboratorio: uno composto riferito a tutto il Sito di Monitoraggio (SM) e prelevato alla profondità fissa 0-30 cm, su cui si determinano i parametri descritti nel paragrafo 4.1 e 4.2; una seconda serie di campioni, sempre composti, ma riferiti alle singole aree di campionamento (AC) prelevati o alla profondità 0-30 cm o alle due profondità 0-15 e 15-30 cm in funzione dell’uso del suolo, su cui si determina CO, N totale, densità apparente e umidità ed i cui dati vengono illustrati negli approfondimenti del capitolo 5.

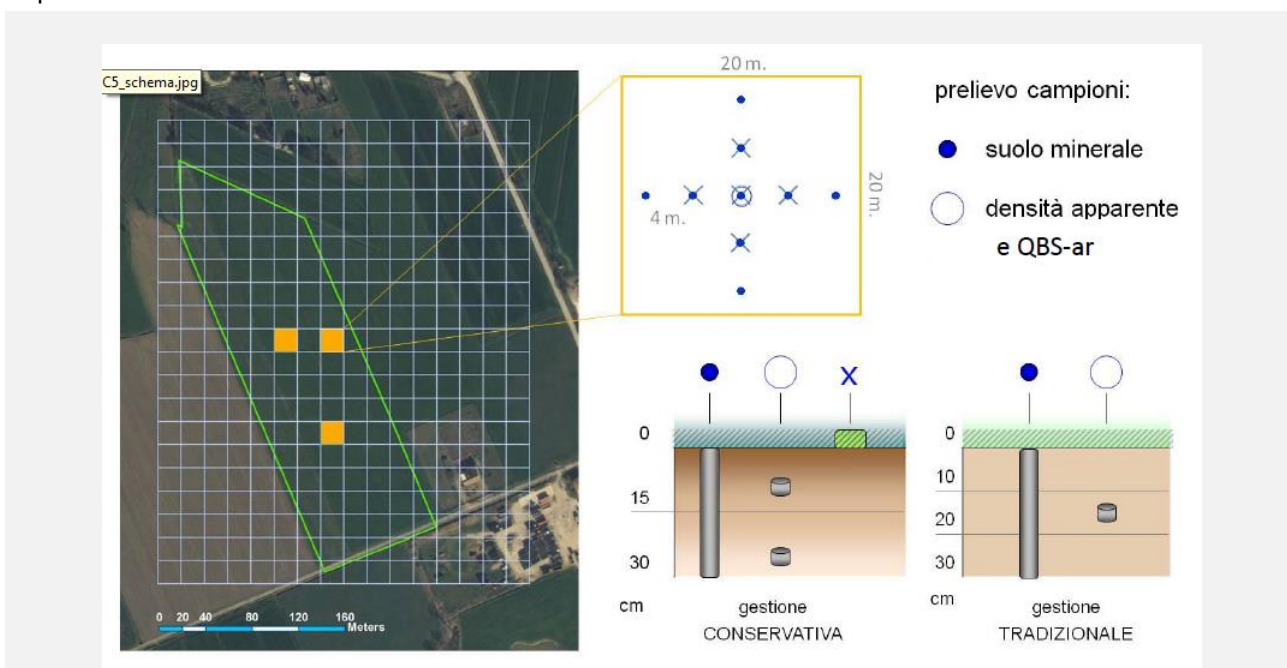


Figura 1. Schema di campionamento del sito di monitoraggio: in verde la delimitazione del sito, in giallo le tre aree di campionamento

3.4 Scelta dei siti di monitoraggio

La selezione dei siti oggetto di monitoraggio dei suoli risponde alla logica adottata per l’Indagine impieghi: ad ogni azienda beneficiaria (detta azienda PSR) per le misure 11.2.01 (agricoltura biologica), 10.2.01 (produzione integrata) e 10.1.04 (agricoltura conservativa) viene associata un’azienda, detta controfattuale (azienda DU da domanda unica), che adotta pratiche di agricoltura convenzionale (non aderisce ad alcuna misura PSR).

Ai fini del monitoraggio dei suoli sono state selezionate anche tre aziende della misura 10.1.07 (gestione sostenibile della praticoltura estensiva) senza le controfattuali, obiettivo principe in questo ultimo caso è indagare i potenziali di accumulo del carbonio organico in suoli di collina poco disturbati dalle lavorazioni e con colture particolarmente conservative.

I **123 siti** sono stati quindi scelti all’interno di aziende già selezionate per l’Indagine impieghi (iniziata nel 2017) secondo la loro rappresentatività tenuto conto dei seguenti fattori:

- sistema produttivo;
- uso del suolo;
- tipologia di suoli in relazione ai diversi ambienti pedoclimatici (pedopaesaggistici e/o climatici);
- minacce e rischio di degrado del suolo

¹ https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/pdf/manuale-di-campionamento_monitoraggio_2020.pdf/@_@download/file/MANUALE%20DI%20CAMPIONAMENTO_monitoraggio_2020.pdf

Tenuto conto dei sistemi produttivi

- 3 aziende in praticoltura estensiva 10.1.07 (fuori indagine impieghi);
- 22 coppie legate al biologico 11.2.01 (22 PSR, 22 DU scelte tra l'indagine impieghi)
- 32 coppie legate all'integrata 10.2.01 (32 PSR, 32 DU scelte tra l'indagine impieghi)
- 6 coppie legate alla conservativa 10.1.04 (6 PSR e 6 DU fuori dall'indagine impieghi)

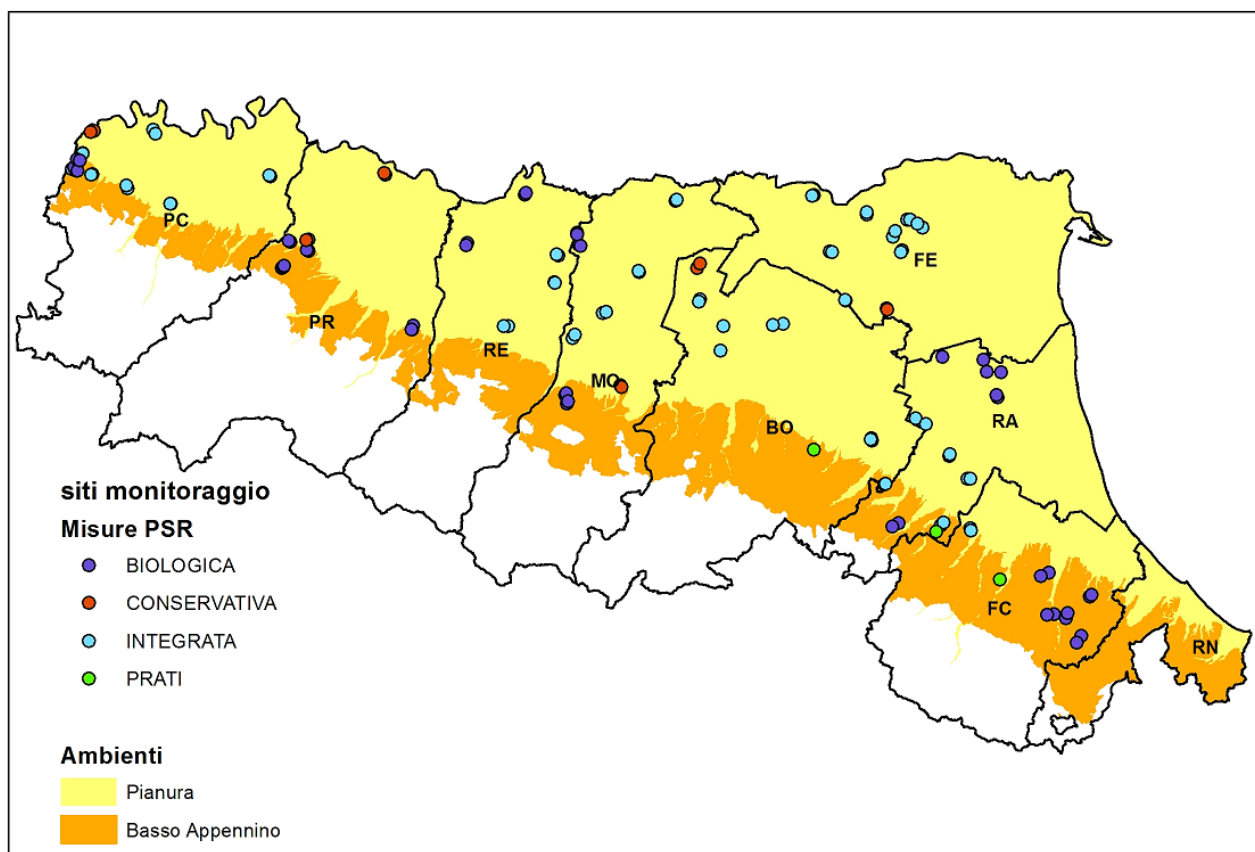


Figura 2. Localizzazione dei siti di monitoraggio differenziati per gestione agronomica

Tenuto conto dell'uso del suolo

- 16 pero
- 24 vite
- 24 seminativo
- 3 prati permanenti

Tuttavia, è poi risultato che un sito che nel 2017 (MO_I_PSR_1) era vite, al momento del primo monitoraggio nel 2019 era risultato espantato e di fatto rientra nella categoria dei seminativi.

Incrocio tra sistemi produttivi e uso del suolo

USO DEL SUOLO	INT. PSR	INT. DU	BIOL. PSR	BIOL. DU	CONS. PSR	CONS. DU	PRATI PSR
PERO	8	8	0	0	0	0	0
VITE	12	11	6	6	0	0	0
SEMINATIVI	12	13	16	16	6	6	0
PRATI PERMANENTI	0	0	0	0	0	0	3

Tabella 22. Numero dei siti per uso del suolo e gestione (2019)

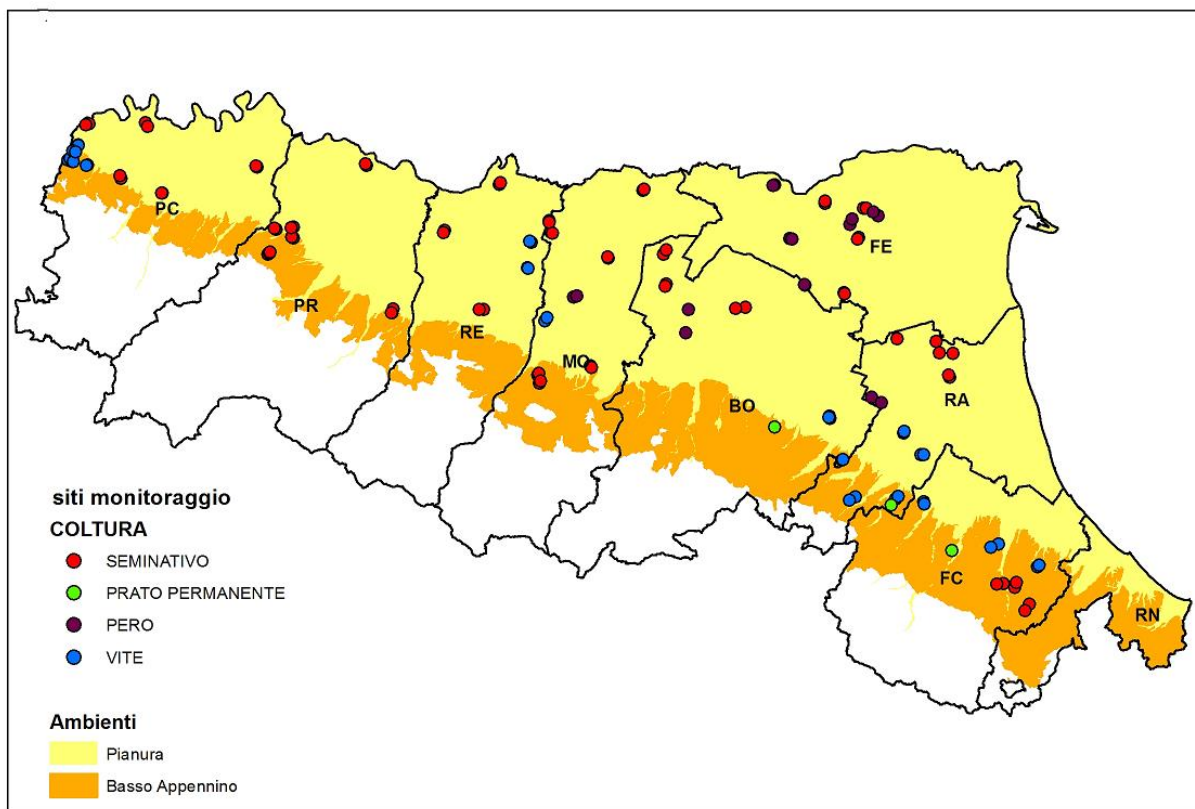


Figura 3. Localizzazione dei siti di monitoraggio differenziati per uso del suolo

Inoltre, nel 2022 (secondo monitoraggio) tre siti del gruppo “PERO” risultavano aver cambiato l’uso del suolo.

SITO	Gestione	Gruppo	2019	2020	2021	2022
BO_I_DU_2	Tradizionale	Integrata	PERO	PERO	PERO	GIRASOLE
FE_I_DU_5	Tradizionale	Integrata	PERO	MELO	MELO	MELO
FE_I_DU_6	Tradizionale	Integrata	PERO	PERO	MAIS	GRANO DURO

Tabella 23. Siti con cambiamento di uso del suolo nel 2022

Rappresentatività dei suoli:

I suoli hanno un’estrema **variabilità spaziale** sia a livello locale che a scala regionale, ma essendo dei corpi tridimensionali si differenziano anche per la loro **organizzazione verticale**: la profondità dei suoli regionali, infatti, può variare da pochi cm, come i suoli su substrato roccioso molto pendenti, a uno o due metri; i suoli alluvionali della pianura sono per lo più molto profondi (> di 150 cm), i suoli agricoli di collina sono generalmente da profondi a molto profondi (> di 100 cm).

Suoli simili per caratteri intrinseci e funzionali definiscono le Unità Tipologiche di Suolo (UTS).

La rete di monitoraggio si estende in pianura e nel basso Appennino (collina) in aree interamente coperte dalla carta dei suoli in scala 1: 50.000 (ed. 2021). I suoli descritti in questa carta sono rappresentati da 466 UTS (210 in pianura, 162 nel basso Appennino, 90 nel medio Appennino e 4 nell’Alto Appennino); considerando le finalità del monitoraggio, ossia l’obiettivo di descrivere i caratteri dei suoli influenzati dalla gestione agricola che impatta soprattutto sull’orizzonte superficiale (primi 30/40 cm di suolo) e non potendo monitorare direttamente tutte le tipologie di suolo così come definite nel concetto di UTS, i suoli sono stati raggruppati in **Gruppi Funzionali**² ossia associazioni di suoli affini per uno o più dei seguenti aspetti: classe tessiturale dell’orizzonte superficiale, disponibilità di ossigeno, contenuto di carbonio organico.

² I gruppi funzionali descritti sono stati utilizzati la prima volta per la Carta del carbonio organico percentuale dei suoli di pianura (2015)

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

Tabella 24. Elenco delle unità funzionali in cui sono state raggruppati i suoli di pianura e del margine appenninico

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

Tabella 25. Classi generali di tessitura per la costituzione dei Gruppi Funzionali

I siti sono poi stati scelti tra i gruppi funzionali maggiormente diffusi in regione. In questa rete di monitoraggio non sono presenti i suoli sabbiosi della costa (gruppo funzionale F) e i suoli organici diffusi nella piana deltizia esterna del ferrarese (gruppi O, P, Q ed R).

Nella tabella di seguito è riportato il numero dei siti di monitoraggio per gruppo funzionale.

Gruppo Funzionale	Numero di siti
A	27
B	17
C	32
D	31
E	16

Tabella 26. Rappresentatività dei siti di campionamento per Gruppi Funzionali

Attività di monitoraggio nei siti

La rete di monitoraggio si è articolata in due attività principali:

- attività rivolta ad approfondire la relazione tra suolo/uso del suolo/gestione e carbonio organico che coinvolge tutti i 123 siti (M5013 e M5014), considerando anche il diverso accumulo di C.O. nei primi 15 cm di suolo là dove la gestione agricola non prevede lavorazioni (frutteti e vigneti inerbiti, seminativi in agricoltura conservativa, prati permanenti; 21 siti M5013 e 4 siti M5014);
- attività di approfondimento della qualità dei suoli con analisi dei metalli pesanti (49 siti M5013) e degli indicatori biologici quali QBS-ar (49 siti M5013) e IBF (16 siti M5013).

LOTTO	N siti	QBS_1	QBS_2	2camp	IBF
M5013	8	X			
M5013	4	X			X
M5013	13	X		X	
M5013	4	X		X	X
M5013	10	X	X		
M5013	6	X	X		X

LOTTO	N siti	QBS_1	QBS_2	2camp	IBF
M5013	2	X	X	X	
M5013	2	X	X	X	X
M5014	70				
M5014	4			X	

Tabella 27. Numero di siti con ciascuna attività: QBS_1 campionamento per QBS-ar primaverile; QBS_2 secondo campionamento per QBS-ar autunnale; 2camp campionamento differenziato alle profondità 0-15 e 15-30 cm; siti con analisi IBF

4 RISULTATI ATTIVITA' DELLE DUE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO

4.1 Statistica descrittiva

Nelle tabelle seguenti si riassumono i dati delle due campagne di monitoraggio 2019-2022 attraverso i principali parametri statistici.

Parametro	Descrizione	unità misura	di N dati	media	std dev	min	5%ile	Q1 (25%ile)	mediana (50%ile)	Q3 (75%ile)	95%ile	max
SABBIA	50-2000 µm	%	123	15,98	12,67	1,00	2,00	6,50	11,00	21,50	40,90	58
LIMO	2-50 µm	%	123	53,13	8,93	32,00	38,00	46,50	54,00	60,00	66,90	78
ARGILLA	<2µm	%	123	30,89	12,02	8,00	15,00	22,00	30,00	37,00	54,70	66
PHH2O	pH (in acqua 1:2,5)	-	123	7,86	0,51	6,20	7,01	7,50	7,90	8,30	8,59	8,90
CORG	Carbonio organico	%	123	1,37	0,38	0,55	0,81	1,12	1,35	1,58	2,02	3,01
SO ³	Sostanza organica	%	123	2,36	0,65	0,95	1,39	1,92	2,33	2,72	3,48	5,19
SOC-stock	Stock di carbonio organico	Mg*ha-1	123	60.01	15.53	29.03	37.70	48.96	58.40	69.05	89.65	102.71
C/N	Rapporto C/N	-	123	9,88	0,78	6,80	8,70	9,50	9,90	10,40	10,90	11,90
NTOT	Azoto totale (come N)	per mille	123	1,39	0,37	0,60	0,83	1,13	1,37	1,61	1,97	2,84
P2O5	Fosforo assimilabile (come P2O5)	mg/Kg	123	51,63	25,73	2,00	16,27	35,05	48,00	62,00	95,90	151
K2O	Potassio assimilabile/scambiabile (come K2O)	mg/Kg	123	427,85	230,33	35,00	155,40	254,00	393,00	545,50	910,00	1100
CSC	Capacità di scambio cationico (CSC)	meq/100g	123	26,70	9,94	8,00	13,00	20,00	25,00	31,00	46,00	58
CASC	Calcio scambiabile	meq/100g	123	21,91	8,79	5,28	10,24	16,10	20,20	26,55	38,08	51,50
MGSC	Magnesio scambiabile	meq/100g	123	2,68	1,67	0,75	1,07	1,57	2,18	3,14	5,68	11,20
KSC	Potassio scambiabile	meq/100g	123	0,91	0,49	0,08	0,33	0,54	0,84	1,17	1,93	2,34
NASC	Sodio scambiabile	meq/100g	123	0,12	0,12	0,03	0,03	0,05	0,08	0,14	0,36	0,61
SB	Grado di saturazione basica (G.S.B.)	-	123	99,96	0,32	97	100	100	100	100	100	100
ESP	percentuale di sodio scambiabile	-	123	0,49	0,52	0,05	0,10	0,20	0,30	0,50	1,20	2,80
EC_1_5	Salinità (rapporto acqua/ suolo 5:1)	dS/m	123	0,26	0,09	0,05	0,10	0,20	0,20	0,30	0,40	0,55

Tabella 28. Parametri statistici dei dati chimico-fisici (2019). In azzurro i dati monitorati anche nel 2022

³ *il dato di SO è ottenuto moltiplicando il CORG*1,724 (fattore di Van Bemmelen)

Parametro	Descrizione	unità di misura	N dati	media	std dev	min	5%ile	Q1 (25%ile)	mediana (50%ile)	Q3 (75%ile)	95%ile	max
CORG	Carbonio organico	%	123	1.53	0.41	0.50	0.98	1.21	1.50	1.77	2.31	2.77
SO	Sostanza organica	%	123	2.63	0.70	0.86	1.69	2.08	2.59	3.05	3.98	4.77
SOC-stock	Stock di carbonio organico	Mg*ha-1	123	66.90	16.55	22.62	42.51	54.84	66.68	79.31	95.26	117.55
C/N	Rapporto C/N	-	123	9.47	0.66	7.74	8.53	9.03	9.46	9.93	10.48	11.80
NTOT	Azoto totale (come N)	per mille	123	1.61	0.39	0.55	1.06	1.32	1.59	1.83	2.34	2.78
P2O5	Fosforo assimilabile (come P2O5)	mg/Kg	123	37.44	28.00	0.50	6.86	26.30	33.90	43.15	86.90	250.00
K2O	Potassio scambiabile (come K2O)	mg/Kg	123	405.82	165.44	47.60	140.20	298.00	418.00	504.50	688.00	890.00
EC_1_5	Salinità (rapporto acqua/ suolo 5:1)	dS/m	123	0.29	0.10	0.05	0.16	0.22	0.28	0.35	0.47	0.66

Tabella 29. Parametri statistici dei dati chimico-fisici (2022)

Per confrontare i dati tra le due campagne di campionamento eseguite nelle annualità 2019 e 2022, è stato effettuato il test di Wilcoxon paired.

Il Wilcoxon Paired test (o anche Wilcoxon signed-rank test) si utilizza come alternativa al test t quando i dati di partenza sono non parametrici e accoppiati. Nel caso dell'analisi per "Stagione" i dati sono appunto non normali ma accoppiati in quanto vi è un set di dati di campioni prelevati e misurati in estate ed esattamente lo stesso set di dati misurati in inverno.

Nei boxplot di confronto che seguono (figura 4) viene riportato il p.value relativo al test Wilcoxon effettuato per ognuno dei parametri in esame. In rosso sono evidenziati i casi in cui per quel parametro la differenza tra i dati analizzati nel 2019 e quelli del 2022 è statisticamente significativa.

Risulta evidente che quasi tutti i parametri (CORG, SO, Stock_CO, N_TOT, CN ed EC_1:5) risultano aumentati rispetto al 2019 in maniera significativa, mentre K2O e P2O5 non mostrano differenze significative dal punto di vista statistico.

Di seguito viene illustrata in modo dettagliato la statistica. Figura 4. Confronto dei dati tra le due annualità tramite Wilcoxon paired test. In rosso i parametri chimico-fisici per i quali si riscontro una differenza significativa.

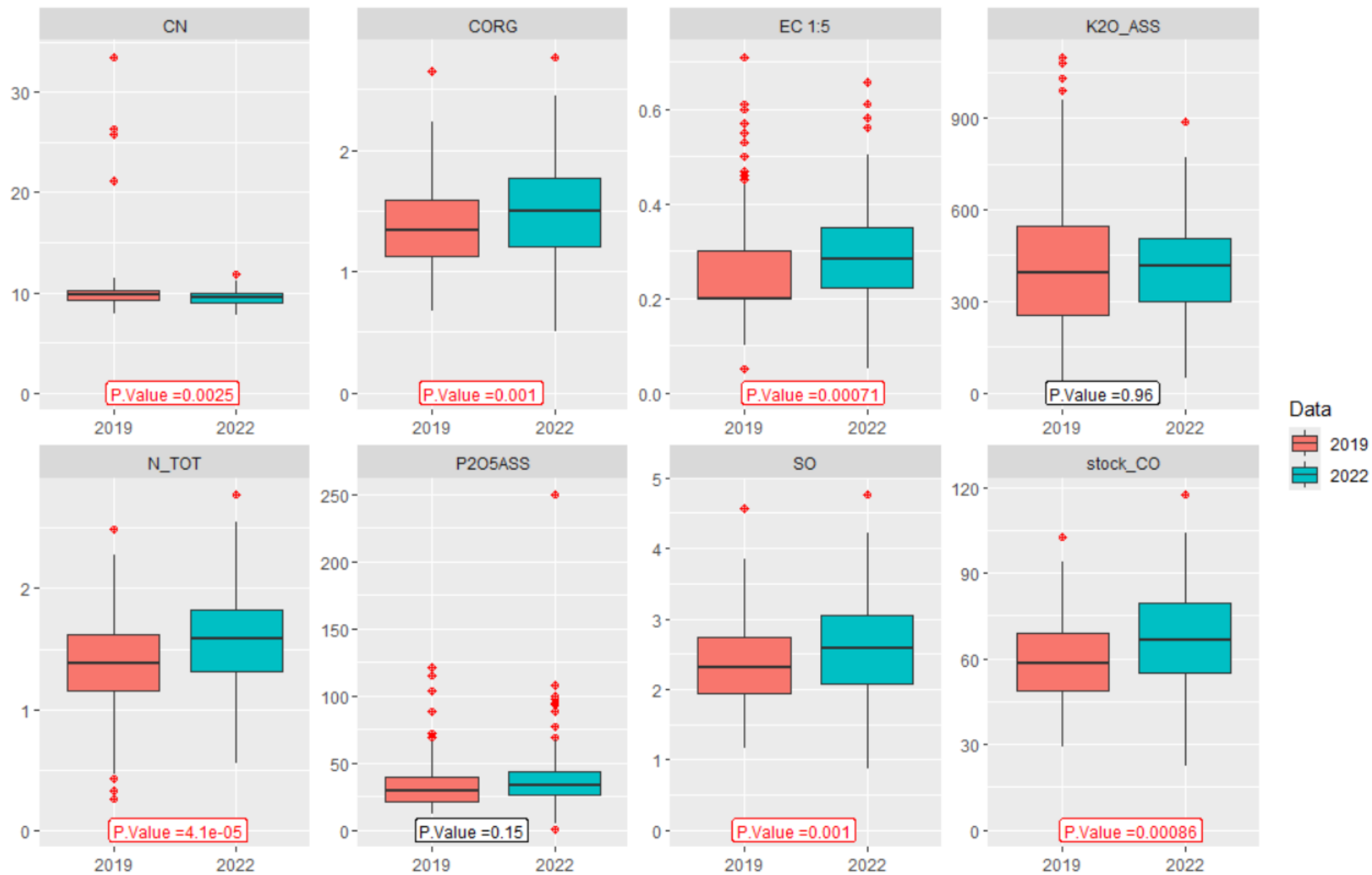


Figura 4. Confronto dei dati tra le due annualità tramite Wilcoxon paired test. In rosso i parametri chimico-fisici per i quali si riscontro una differenza significativa.

Parametro	unità di misura	N dati	media	std dev	min	5%ile	Q1 (25%ile)	mediana (50%ile)	Q3 (75%ile)	95%ile	max
Arsenico	mg/kg	49	6,35	2,50	2,80	3,32	4,70	5,90	7,60	10,08	15,90
Cromo	mg/kg	49	56,32	19,52	24,40	29,28	45,00	52,20	64,30	96,64	101,00
Nichel	mg/kg	49	48,71	21,21	22,00	24,96	33,90	41,60	52,30	92,04	103,00
Piombo	mg/kg	49	16,12	6,27	5,20	8,04	11,30	14,60	21,00	25,20	37,80
Rame	mg/kg	49	73,79	44,23	18,40	24,68	44,00	63,70	87,90	154,60	258,00
Zinco	mg/kg	49	84,60	19,35	44,30	52,34	75,00	89,00	99,00	112,00	117,00
Cadmio	mg/kg	49	0,29	0,17	0,05	0,09	0,16	0,26	0,42	0,59	0,68
Vanadio	mg/kg	49	38,53	10,24	21,30	24,26	30,40	40,00	44,30	55,10	61,40

Tabella 30. Parametri statistici dei metalli pesanti (2019)

Parametro	unità di misura	N dati	media	std dev	min	5%ile	Q1 (25%ile)	mediana (50%ile)	Q3 (75%ile)	95%ile	max
Arsenico	mg/kg	49	5,65	2,53	1,60	2,00	4,40	5,60	7,00	9,00	14,00
Cromo	mg/kg	49	44,38	16,41	17,70	23,32	33,50	41,80	51,00	81,36	86,60
Nichel	mg/kg	49	43,69	19,04	18,80	21,06	33,60	38,70	48,60	86,52	102,00
Piombo	mg/kg	49	11,52	6,68	3,00	4,40	7,00	10,50	13,00	19,80	45,00
Rame	mg/kg	49	70,79	53,45	14,50	17,78	37,30	56,20	87,10	148,00	297,00
Zinco	mg/kg	49	79,57	21,96	36,70	50,56	66,00	78,00	97,00	107,20	147,00
Cadmio	mg/kg	49	0,40	0,12	0,23	0,26	0,30	0,36	0,48	0,60	0,67
Vanadio	mg/kg	49	32,87	9,65	16,80	20,18	25,70	32,50	37,60	44,44	67,40

Tabella 31. Parametri statistici dei metalli pesanti (2022)

Anche per i metalli si è scelto di confrontare i dati tra le due campagne di campionamento eseguite nelle annualità 2019 e 2022 attraverso il test di Wilcoxon paired. Nei boxplot di confronto che seguono (Figura 5), viene riportato il p.value relativo al test Wilcoxon effettuato per ognuno dei parametri in esame. In rosso sono evidenziati i casi in cui per quel parametro la differenza tra i dati analizzati nel 2019 e quelli del 2022 è statisticamente significativa.

Si nota:

- I metalli cromo, nichel, piombo e vanadio risultano diminuiti rispetto al 2019;
- Il cadmio è aumentato rispetto al 2019;
- L'arsenico, il rame e lo zinco invece risultano uguali al 2019.

Confronto_dati_METALLI_per annualità

In rosso sono evidenziati i casi in cui c'è differenza significativa tra le due annualità

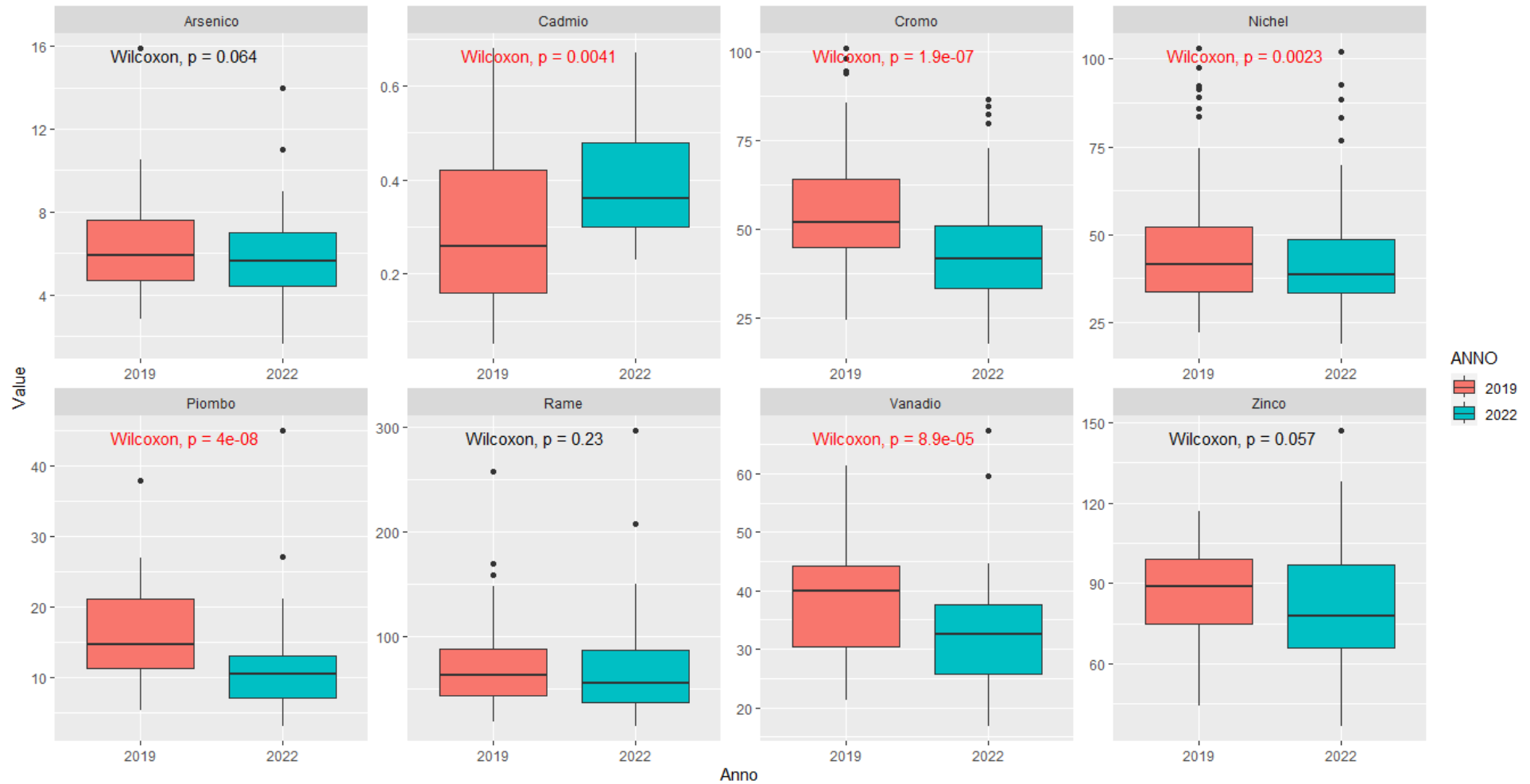


Figura 5. Confronto dei dati tra le due annualità tramite Wilcoxon paired test. In rosso i metalli per i quali si riscontro una differenza significativa.

4.2 Qualità dei suoli per indicatori

Si riporta di seguito, per ogni indicatore descritto nel paragrafo 3.2, il numero di siti appartenenti a ciascuna classe in funzione dei risultati del monitoraggio 2019-2022 e la percentuale che essi rappresentano sul totale dei siti.

Dotazione di carbonio/sostanza organica (su 123 siti)

Giudizio	Anno	N siti Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	N siti Terreni medio impasto (F-FL-FA-FSA)	N siti Terreni argillosi e limosi (A-AL-FLA-AS-L)	Totale siti	%
molto bassa	2019	0	0	1	1	0.8
	2022	0	0	0	0	0
bassa	2019	2	11	16	29	23.6
	2022	1	7	12	20	16.3
media	2019	0	29	38	67	54.5
	2022	1	27	36	64	52.0
elevata	2019	0	11	15	26	21.1
	2022	0	17	22	39	31.7

Tabella 32. Giudizi di qualità sulla dotazione di sostanza organica (DPI, 2023)

Giudizio	Anno	Totale siti	%
In salute	2019	10	8
	2022	21	17
Non in salute	2019	113	92
	2022	102	83

Tabella 33. Giudizio di salute del suolo sulla base dell'indicatore della Proposta di Direttiva COM(2023) 416

Come si può notare la seconda classificazione è molto punitiva nei confronti dei suoli regionali. L'ultima versione della proposta della Direttiva aggiunge anche "Gli Stati membri sono tenuti ad applicare fattori correttivi all'indicatore, laddove specifici tipi di suolo o condizioni climatiche lo giustificano, tenendo conto del legame con la stabilità strutturale".

Contenuto percentuale di carbonio organico (su 123 siti)

Sono stati scelti due schemi classificatori, fra quelli disponibili, per evidenziare anche la differente valutazione dello stesso parametro a livello nazionale (da medio ad elevato) oppure europeo (basso).

Giudizio	Anno	Totale siti	%
Molto scarso	2019	0	0.00
	2022	0	0.00
Scarso	2019	11	8.94
	2022	2	1.63
Medio	2019	53	43.09
	2022	45	36.59
Elevato	2019	46	37.40
	2022	47	38.21
Molto elevato	2019	13	10.57
	2022	29	23.58

Tabella 34. Giudizio di qualità sulla base del contenuto di carbonio organico % secondo schema MIPAF, 2006

Giudizio	Anno	Totale siti	%
Molto basso	2019	20	16.26
	2022	8	6.50
Basso	2019	94	76.42
	2022	101	82.11
Medio	2019	9	7.32
	2022	14	11.38
Alto	2019	0	0.00
	2022	0	0.00

Tabella 35. Giudizio di qualità sulla base del contenuto di carbonio organico % secondo Jones et al, 2003

Stock di carbonio (su 123 siti)

Non esiste uno schema classificatorio dei valori di stock di carbonio valido per tutte le situazioni, in quanto il carbonio organico accumulato nei suoli varia a scala locale, dipendente dalle condizioni climatiche, dal tipo di suolo, dall'uso del suolo e dalla gestione agronomica.

Nella tabella 36 sono riportate le statistiche sullo stock nelle due annualità, differenziate in base all'uso del suolo. Lo stock è stato calcolato per lo strato 0-30 cm utilizzando il valore di densità apparente calcolata con pedofunzioni, in quanto i valori di densità apparente misurati sono relativi solo ai campioni per il QBS (solo 49 su 123) e non a quelli per il carbonio organico. Per il calcolo della densità apparente sono state utilizzate le pedofunzioni per gli orizzonti Ap e per gli orizzonti organici (CO>2.15%) (Ungaro e Calzolari, 2015).

I valori riscontrati sui 123 siti risultano più alti nelle arboree (quasi tutte inerbite) e nei prati avvicendati; a seguire i seminativi e poi i prati permanenti (dove ci sono però pochi dati). A parte i prati stabili, i valori medi rispecchiano i valori medi regionali per i **suoli agricoli** riportati nella tabella 37; i dati del 2022 risultano anche più elevati.

I valori riscontrati risultano inoltre più elevati dei valori medi mondiali di stock per tipi di suolo secondo la classificazione WRB riportati in tabella 38.

Uso del suolo	Anno	n. siti	SOCSTOCK (Mg/ha)						
			Min	Max	Media	Devst	Mediana	25° perc	75° perc
Arboree (colture permanenti)	2019	50	28.76	101.25	62.46	16.78	60.435	52.655	44.41
	2022	48	22.62	117.55	69.80	19.89	70.09	57.34	94.93
Prati stabili	2019	3	39.55	57.07	50.87	9.82	56.00	47.78	53.53
	2022	3	45.45	66.61	54.67	10.84	51.94	48.70	59.28
Prati avvicendati	2019	29	37.37	96.37	61.52	14.90	60.1	48.05	73.93
	2022	26	42	96.37	68.62	14.89	70.65	57.3	80.49
Seminativi	2019	40	36.53	91.02	55.77	13.40	53.415	45.52	63.48
	2022	46	41.18	92.75	63.70	13.05	62.45	52.9	73.00

Tabella 36. Valori statistici dello stock di carbonio per anno e coltura

	CORINE Land Cover 2° Livello		Superficie (ha)	% superficie regionale	Valore medio SOC-Stock (Mg/ha)	Contenuto totale Stock (Mt)	% SOC-Stock sul totale
TERRITORI AGRICOLI	21	Seminativi	969080	43.2	58.3	56.5	42.1
	22	Colture permanenti	139591	6.2	46.6	6.5	4.8
	23	Prati stabili	79898	3.6	67.3	5.4	4.0
	24	Zone agricole eterogenee	13829	0.6	60.0	0.8	0.6
		totale	1202398	53.6		69.2	51.6

Tabella 37. SOC-Stock nei primi 30 cm di suolo nei diversi territori e usi del suolo regionali⁴

WRB	N. siti	ANNO	SOC STOCK (Mg/ha)				
			Min	Max	Media	Dev.st.	Media (GSP, 2018) ⁵
ARENOSOLS	1	2019	43.15	43.15	43.15	-	24.17
		2022	50.63	50.63	50.63	-	
CALCISOLS	29	2019	28.76	101.25	59.44	18.63	21.22
		2022	38.09	103.63	66.67	18.743	
CAMBISOLS	63	2019	31.19	91.14	61.74	14.273	62.94
		2022	22.62	117.55	67.64	16.73	
LUVISOLS	15	2019	37.37	65.77	51.92	8.64	44.71
		2022	46.18	88.88	64.392	14.13	
REGOSOLS	7	2019	39.55	72.28	49.81	10.85	57.32
		2022	45.45	80.22	58.44	13.75	
VERTISOLS	8	2019	56.28	91.02	70.97	13.61	30.68
		2022	59.23	92.75	76.03	10.37	

Tabella 38. Confronto fra i valori medi di SOC STOCK e i valori medi mondiali per tipi di suolo secondo WRB

Rapporto C/N (su 123 siti)

⁴ Tabella completa in <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/suoli/proprietà-e-qualità-dei-suoli/carbonio-organico-immagazzinato-nei-suoli>

⁵ Table 6.4 pag.29 Global Soil Organic Carbon Map. Technical Report. FAO, 2018

Giudizio	Descrizione	Anno	Totale siti	%
basso	Mineralizzazione veloce	2019	13	11
		2022	29	24
equilibrato	Mineralizzazione normale	2019	110	89
		2022	94	76
elevato	Mineralizzazione lenta	2019	0	0
		2022	4	3

Tabella 39. Giudizi di qualità sul rapporto C/N

Capacità di scambio cationico (su 123 siti). Nel 2022 non è stata ripetuta l'analisi.

Giudizio	Anno	Totale siti	%
bassa	2019	2	2
media	2019	33	26
elevata	2019	88	72

Tabella 40. Giudizi di qualità sulla CSC

Azoto totale e fosforo assimilabile (su 123 siti)

Giudizio	Anno	Azoto totale		Fosforo (P2O5) assimilabile	
		N siti	%	N siti	%
molto basso	2019	0	0	0	0
	2022	0	0	15	13
basso	2019	13	11	35	28
	2022	4	3	12	10
medio	2019	105	85	42	34
	2022	97	79	36	29
elevato	2019	4	3	39	32
	2022	16	13	51	41
molto elevato	2019	1	1	7	6
	2022	6	5	9	7

Tabella 41. Giudizi di qualità per i parametri N e P

Dotazione di potassio scambiabile (su 123 siti)

Giudizio	Anno	N siti Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	N siti Terreni medio impasto (F-FL-FA-FSA)	N siti Terreni argillosi e limosi (A-AL-FLA-AS-L)	Totale siti	%
molto bassa	2019	0	2	0	2	1.6
	2022	0	1	0	1	0.8
bassa	2019	0	3	0	3	2.4
	2022	0	3	0	3	2.4
media	2019	0	7	7	14	11.4
	2022	1	7	2	10	8.1
elevata	2019	2	39	63	104	84.6
	2022	1	40	68	109	88.6

Tabella 42. Giudizi di qualità per il parametro K

Salinità (su 123 siti).

Giudizio	Anno	N siti Terreni sabbiosi (S-SF)	N siti Terreni medio impasto (FLA-FL-F-FA-L-FS)	N siti Terreni argillosi e limosi (A-AL)	Totale siti	%
Non salino	2019	0	93	24	117	95
	2022	0	96	23	119	97
Molto debolmente salino	2019	0	3	3	6	5
	2022	0	0	4	4	3
Debolmente salino	2019	0	0	0	0	
	2022	0	0	0	0	
Moderatamente salino	2019	0	0	0	0	
	2022	0	0	0	0	
Fortemente salino	2019	0	0	0	0	
	2022	0	0	0	0	

Tabella 43. Giudizi di qualità per il parametro salinità (conducibilità elettrica in pasta saturata)

Sodio scambiabile o ESP (su 123 siti). Nel 2022 non è stata ripetuta l'analisi. Tutti i siti hanno un ESP < 5%, non hanno quindi nessuna limitazione dovuta al sodio.

pH (su 123 siti)

Nel 2022 non è stata ripetuta l'analisi. I valori riscontrati nei siti di monitoraggio rispecchiano quelli della carta del pH nello strato 0-30 cm (2023).

Giudizio	Anno	N siti	%
fortemente acido	2019	0	0
acido	2019	0	0
leggermente acido	2019	3	2
neutro	2019	16	13
leggermente alcalino	2019	59	48
alcalino	2019	40	33
fortemente alcalino	2019	5	4

Tabella 44. Giudizi di qualità per il pH

Fertilità biologica (su 16 siti)

Nel 2022 non è stata ripetuta l'analisi. In entrambi gli schemi adottati il risultato è identico.

Classe di fertilità	N siti	%
I – stanchezza allarme	-	0
II – stress preallarme	1	6
III - media	14	88
IV -buona	1	6
V -alta	-	0

Tabella 45. Giudizi di qualità sulla base dell'indice IBF (schema 1)

Classe di fertilità	N siti	%
I – stress	-	0
II – pre-stress	1	6
III - media	14	88
IV -buona	1	6
V -alta	-	0

Tabella 46. Giudizi di qualità sulla base dell'indice IBF (schema 2)

Indice di qualità biologica – QBS-ar (su 49 siti)

Nel paragrafo 5.3 si trova una disamina accurata dei risultati delle analisi sul QBS-ar. Nelle tabelle sottostanti si fornisce un giudizio di qualità in base a due classificazioni.

Classe QBS-ar	Anno	Seminativi e colture erbacee		Colture arboree e vigneti		Ambienti naturali, boschi e prati pascoli	totale	
		Seminativi	Prati avvicendati	Frutteti	Vigneti	Prati permanenti		
		N siti	N siti	N siti	N siti	N siti	N siti	%
Ottimo	2019	7	8	6	16	1	38	78
	2022	14	3	7	16	0	40	82
Buono	2019	2	0	1	0	0	3	6
	2022	1	0	0	1	2	4	8
Discreto	2019	0	0	2	1	0	3	6
	2022	1	0	0	0	1	2	4
Sufficiente	2019	0	0	1	1	2	4	8
	2022	0	0	1	0	0	1	2
Modesto	2019	0	0	0	0	0	0	0
	2022	0	0	1	1	0	2	4
Scadente	2019	0	0	0	0	0	0	0
	2022	0	0	0	0	0	0	0
Nullo	2019	0	0	0	0	0	0	0
	2022	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 47. Giudizi sulla qualità biologica (QBS-ar) sui dati primaverili 2019-2022 (classificazione secondo Schema 1)

Classe QBS-ar	Anno	Seminativi	Prati avvicendati	Frutteti	Vigneti	Prati permanenti	totale	
		N siti	N siti	N siti	N siti	N siti	N siti	%
Alta	2019	7	4	3	7	1	22	49
	2022	14	2	5	9	2	32	65
Moderatamente alta	2019	1	2	4	9	0	16	33
	2022	0	0	2	8	0	10	20
Moderatamente bassa	2019	1	1	2	1	2	7	16
	2022	2	1	0	0	1	4	8
Bassa	2019	1	1	1	1	0	4	8
	2022	0	0	2	1	0	3	6

Tabella 48. Giudizi sulla qualità biologica (QBS-ar) sui dati primaverili 2019-2022 (classificazione secondo Schema 2)

Contenuto di metalli pesanti (su 49 siti)

Tutti i 49 siti di cui si dispone delle analisi dei metalli pesanti hanno contenuto inferiore al limite di legge (rif. DM 46/2019) ad eccezione di due siti in regime di gestione tradizionale nella provincia di Piacenza. A fronte di un limite di 200 mg/kg si è riscontrato un sito con vite con contenuto di rame maggiore del limite di legge sia nel 2019 (258 mg/kg) che nel 2022 (297 mg/kg) ed un altro sempre coltivato a vite e non aderente al PSR (quindi gestione tradizionale) risultato con contenuto di rame maggiore del limite solo nel 2022 (208 mg/kg).

Giudizio	Anno	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn	Totale siti	%
Sopra soglia	2019	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2
	2022	0	0	0	2	0	0	0	0	2	4
Sottosoglia	2019	49	49	49	48	49	49	49	49	48	98
	2022	49	49	49	47	49	49	49	49	47	96

Tabella 49. Giudizio di qualità per il contenuto in metalli pesanti

Nella tabella seguente si trova uno schema riassuntivo degli indicatori considerati e il giudizio di qualità prevalente. Se ci sono due giudizi il primo è riferito alla campagna 2019, il secondo alla campagna 2022. In rosso gli indicatori testati solo su una parte dei siti.

Sulla base di questo si può affermare che la maggior parte dei siti di monitoraggio (rappresentativi in buona misura della maggior parte dei suoli di pianura e in piccola parte dei suoli di collina) sono in una condizione di **media/buona qualità**.

L'indicatore del contenuto di carbonio organico è quello più controverso (a seconda dello schema di valutazione adottato), ma il monitoraggio ha determinato che i valori di carbonio organico nel 2022 risultano aumentati rispetto al 2019, spesso in maniera significativa, sia nelle aziende aderenti alle misure del PSR, sia in quelle a conduzione tradizionale.

Indicatore	unità	Schema valutativo	Giudizio/valore più frequente
Dotazione di carbonio/sostanza organica	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali	Media
	classe	Proposta di Direttiva sul monitoraggio del suolo e la resilienza COM(2023) 416. Allegato 1, parte A	Non in salute
Contenuto % carbonio organico	classe	Osservatorio Nazionale Pedologico per la Qualità del suolo, 2006	Medio/elevato
	classe	Jones et al, 2003	Basso
Rapporto C/N	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali	Equilibrato
Capacità di scambio cationico (CSC)	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali	Elevata
Azoto totale	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali	Medio
Fosforo assimilabile	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali	Medio/elevato
Dotazione di potassio scambiabile	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali,	Elevata
ESP (Sodio scambiabile)	classe	Paolo Sequi 1989	Non sodico
Salinità (conducibilità elettrica in pasta satura)	classe	Soil Survey Manual dell'USDA	Non salino
pH	classe	Disciplinare di produzione integrata 2023 norme generali	Leggermente alcalino

Indicatore	unità	Schema valutativo	Giudizio/valore più frequente
Fertilità biologica (IBF)	classe	Benedetti et al., 2006, CREA	III-media
		Franca viglia et al, 2017	III-media
QBS-ar	classe	Schema 1	Ottimo
	classe	Schema 2	Alta
Contenuto di metalli pesanti (rame e zinco)	Valore soglia	DECRETO 1 marzo 2019, n. 46	Sottosoglia

Tabella 50. Schema riassuntivo delle valutazioni di qualità prevalente dei siti del monitoraggio, in base agli indicatori scelti.

5 APPROFONDIMENTI

Oggetto di approfondimento dell'attività di monitoraggio sono:

- **Confronto del contenuto di carbonio organico in termini percentuali;**
- **Gestione aziendale e riflessi sui contenuti di carbonio organico**
- **Variazione del contenuto di carbonio organico in funzione delle fertilizzazioni;**
- **Qualità biologica dei suoli;**
- **Contenuto di metalli potenzialmente tossici**

I test statistici sono stati eseguiti anche in caso di popolazioni di dati < 10 in quanto il programma RStudio lo consente; nella lettura dell'elaborato si consiglia però di tenere in considerazione la numerosità delle osservazioni considerando che un dataset con meno di 10 valori potrebbe non essere rappresentativo a livello regionale.

Letture dei Boxplot:

- le **scatole** (box) includono il 50% delle osservazioni;
- il bordo inferiore delle scatole corrisponde al 25° percentile o **primo quartile** (Q_1);
- la linea interna alle scatole corrisponde alla **mediana** ovvero al 50° percentile o secondo quartile (Q_2);
- il bordo superiore delle scatole corrisponde al 75° percentile o **terzo quartile** (Q_3);
- i **baffi** (whiskers) corrispondono al **valore minimo** (baffo inferiore) e al **valore massimo** (baffo superiore) osservati dopo avere escluso gli outliers (vedi sotto);
- la **differenza interquartile** viene definita come $IQR = Q_3 - Q_1$ ovvero come differenza tra il valore corrispondente al terzo quartile (Q_3) e il valore corrispondente al primo quartile (Q_1);
- i valori inferiori a $Q_2 - 1.5IQR$ e i valori superiori a $Q_2 + 1.5IQR$ sono considerati **outliers** (dati anomali o dati aberranti), sono esclusi dal computo dei valori minimo e massimo (vedi sopra), e sono riportati come punti singoli separati.

I boxplot forniscono una **analisi non parametrica dei dati** complementare a quella numerica.

5.1 Contenuto di Carbonio Organico %

Nella proposta di Direttiva sul Monitoraggio e Resilienza del Suolo (2023) la sostanza organica del suolo è definita come “fondamentale per la fornitura di servizi e funzioni ecosistemiche del suolo, in quanto riduce il degrado del suolo, come l'erosione e la compattazione, e aumentando al contempo la capacità di filtro, la ritenzione idrica, l'infiltrazione e la capacità di scambio cationico del suolo. La sostanza organica del suolo, generalmente misurata attraverso il contenuto di carbonio organico del suolo, può non solo migliorare la stabilità strutturale del suolo, riflessa dal suo rapporto carbonio organico/argilla, ma anche lo sviluppo della biomassa, compreso un aumento della resa delle colture. Inoltre, la sostanza organica del suolo influisce positivamente sulla biodiversità del suolo e può aumentare la quantità di carbonio sequestrato nel suolo e quindi le scorte di carbonio organico, contribuendo così alla mitigazione dei cambiamenti climatici e all'adattamento”.

Nei paragrafi seguenti vengono riportate le analisi fatte relativamente ai dati di Carbonio Organico (di seguito CORG o CO). Queste analisi sono state eseguite utilizzando tutto il dataset a disposizione. In particolare, per il calcolo dei valori di CO di ogni sito sono state considerate tutte le misure a disposizione ovvero 3 valori per ogni sito di monitoraggio (3 diverse AC secondo il metodo di campionamento riportato nel paragrafo 3.3). Questa scelta è stata fatta in quanto si è riscontrato in fase preliminare che per i suoli di pianura i singoli valori delle AC non si discostano dai valori della misura singola fatta sul campione composto ovvero mescolando i 3 AC; inoltre in questo modo la numerosità dei dati aumenta rendendo il campione statisticamente più robusto. Il metodo di analisi ha previsto una prima valutazione generale del dataset e dei dati nel loro complesso per poi entrare via via più nel dettaglio dei diversi possibili raggruppamenti.

In generale si è sempre effettuata una valutazione degli indicatori statistici principali (riportati nelle tabelle) confrontando le due annualità di rilevamento 2019 e 2022, ed effettuando anche un T-test tra di essi per valutare se vi fosse stato o meno un aumento significativo di CO. Gli stessi dati vengono poi anche rappresentati tramite Boxplot riportando anche il valore del test: P.Value <0.05 indica che i due gruppi di dati sono significativamente diversi. Successivamente vengono invece confrontate tra loro le diverse categorie in esame ed i risultati rappresentati anche in questo caso con boxplot che riportano i valori dei test di confronto.

5.1.1 Valutazioni generali

Come prima valutazione si è fatta un'analisi dei dati tra le 2 annualità di rilevamento 2019 vs 2022: analizzando i dati di Corg in quelli del 2022 si riscontra un aumento significativo più alto del 11%.

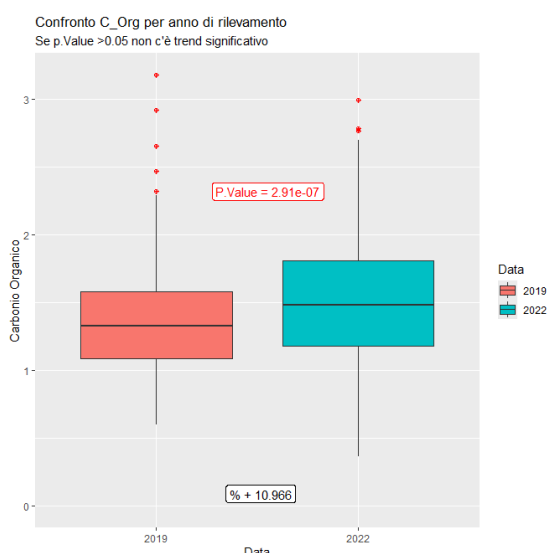


Figura 6. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO%

Anno	Num SITI	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità	Incremento %
2019	123	372	0.60	1.09	1.33	1.36	1.58	2.07	3.18	0.39	SIGNIFICATIVO	11.0
2022	123	372	0.37	1.18	1.48	1.53	1.81	2.39	3.00	0.45		

Tabella 51. Statistica descrittiva CO%

Analogamente si sono analizzati e confrontati due campioni derivanti dalla suddivisione del dataset in funzione delle **diverse tipologie di aziende**, ovvero distinguendo quelle aderenti al PSR dalle tradizionali: in entrambi i casi il CORG aumenta in maniera significativa e con percentuali di incremento comparabili.

Tipo azienda	Anno	Num SITI	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità	Incremento %
CONVENZIONALE	2019	60	180	0.61	1.06	1.33	1.38	1.59	2.15	3.18	0.44	SIGNIFICATIVO	12.0
	2022	60	180	0.65	1.19	1.49	1.57	1.87	2.52	3.00	0.50		
PSR	2019	63	189	0.60	1.10	1.34	1.34	1.56	1.92	2.47	0.34	SIGNIFICATIVO	11.0
	2022	63	189	0.37	1.17	1.48	1.48	1.78	2.10	2.57	0.39		

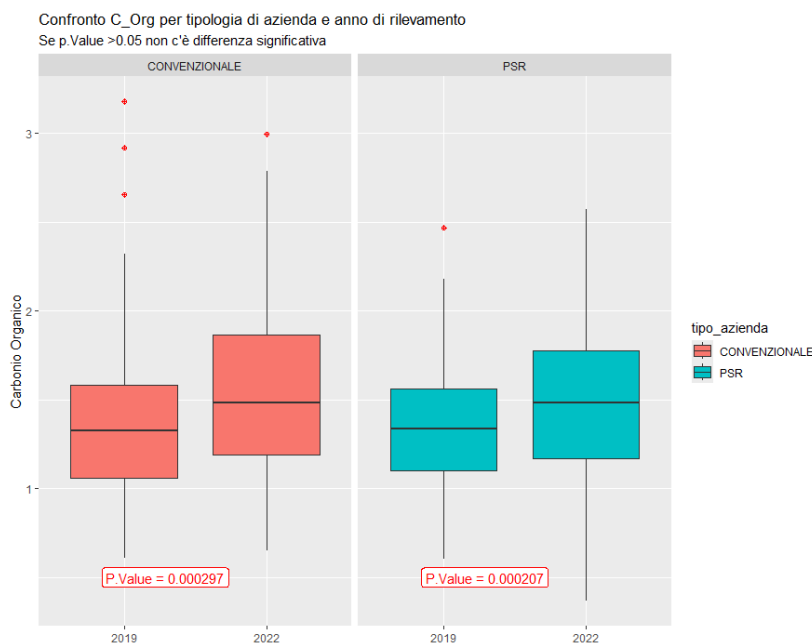


Figura 7. Confronto del CORG per tipologia di azienda e anno di rilevamento

5.1.2 Contenuto di CO₂ per tipi di suolo (gruppi funzionali)

Dall'analisi dei dati di Carbonio organico suddivisi in funzione dei diversi gruppi tessiturali (così come descritto al paragrafo 3.4) si evidenziano valori medi e mediani che decrescono all'aumentare della sabbia.

Infatti, i suoli di tipologia A (suoli fini) presentano i valori maggiori mentre quelli del gruppo E (tessitura grossolana) valori minori. È stato poi effettuato un confronto statistico tra i valori delle due annualità di campionamento per valutare un'eventuale variazione che si è riscontrata in maniera significativa in tutti i gruppi funzionali tranne che nel gruppo E (tabella 52 e figura 8).

GF_SO	Anno	Num SITI	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità	Incremento %
A	2019	27	84	0.80	1.29	1.51	1.54	1.83	2.18	2.47	0.40	SIGNIFICATIVO	18%
	2022	27	84	0.94	1.41	1.79	1.75	1.98	2.45	2.77	0.44		
B	2019	17	51	0.70	1.12	1.40	1.41	1.56	2.09	3.18	0.42	SIGNIFICATIVO	13%
	2022	17	51	0.83	1.24	1.58	1.55	1.81	2.23	2.43	0.40		
C	2019	32	96	0.60	1.14	1.38	1.37	1.60	1.93	2.16	0.33	SIGNIFICATIVO	8%
	2022	32	96	0.77	1.23	1.48	1.52	1.73	2.40	3.00	0.41		
D	2019	31	93	0.77	0.99	1.21	1.28	1.45	1.90	2.92	0.37	SIGNIFICATIVO	13%
	2022	31	93	0.66	1.13	1.37	1.48	1.76	2.41	2.70	0.46		
E	2019	16	48	0.61	0.84	1.12	1.12	1.32	1.62	1.77	0.31	NON significativa	11%
	2022	16	48	0.37	1.02	1.24	1.21	1.40	1.79	1.86	0.33		

Tabella 52. Statistica descrittiva CO₂% per tipo di suolo (GF) e confronto statistico tra i valori delle due annualità di campionamento

Confronto C_Org per Gruppo Funzionale e anno di rilevamento

Se p.Value >0.05 non c'è differenza significativa

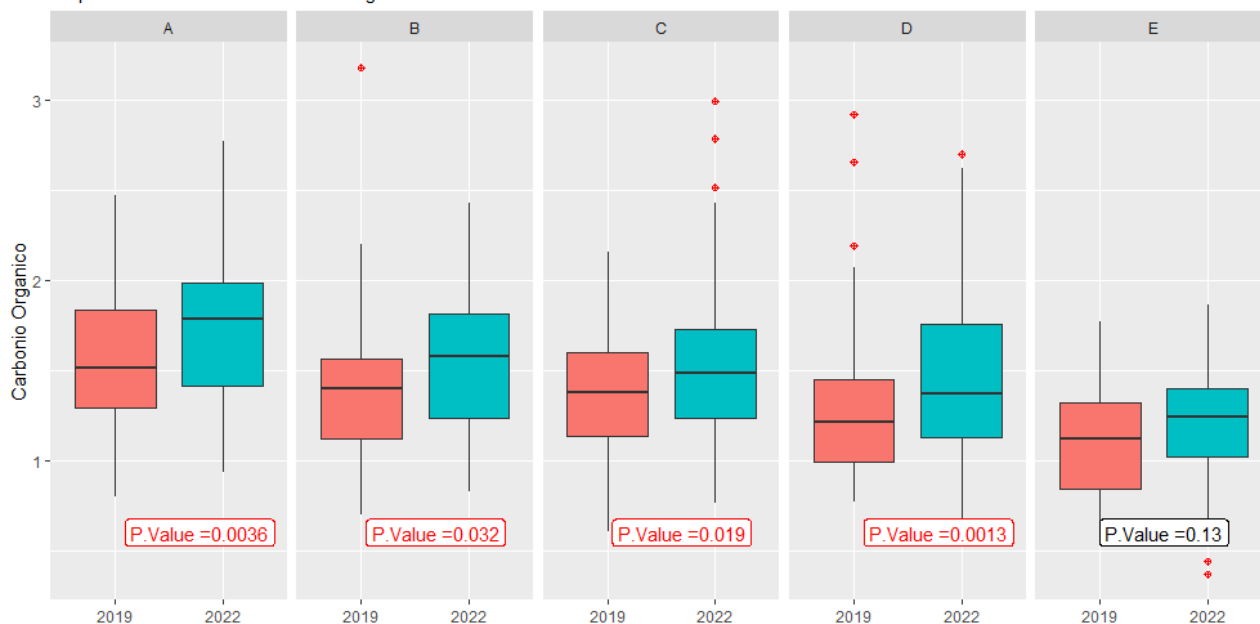


Figura 8. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per tipo di suolo (GF) e confronto statistico tra i valori delle due annualità di campionamento. I numeri rappresentano i p.value del t-test fatto tra le due annualità di campionamento.

Da un punto di vista statistico il test ANOVA fatto utilizzando i dati di entrambe le annualità (denominata nel grafico seguente “media generale”) evidenzia differenze significative tra i Gruppi Funzionali (GF). Il test conferma tali differenze tra il GF **A** (suoli fini) con tutti gli altri gruppi; ed anche il GF **E** (suoli moderatamente grossolani) è statisticamente differente in termini di contenuto di CO da tutti gli altri gruppi con $p < 0.05$; Risultano invece simili tra loro i gruppi B e C, ed anche C e D (Figura 9).

Confronto CO per Gruppi funzionali di suolo e dettaglio per anno di rilevamento

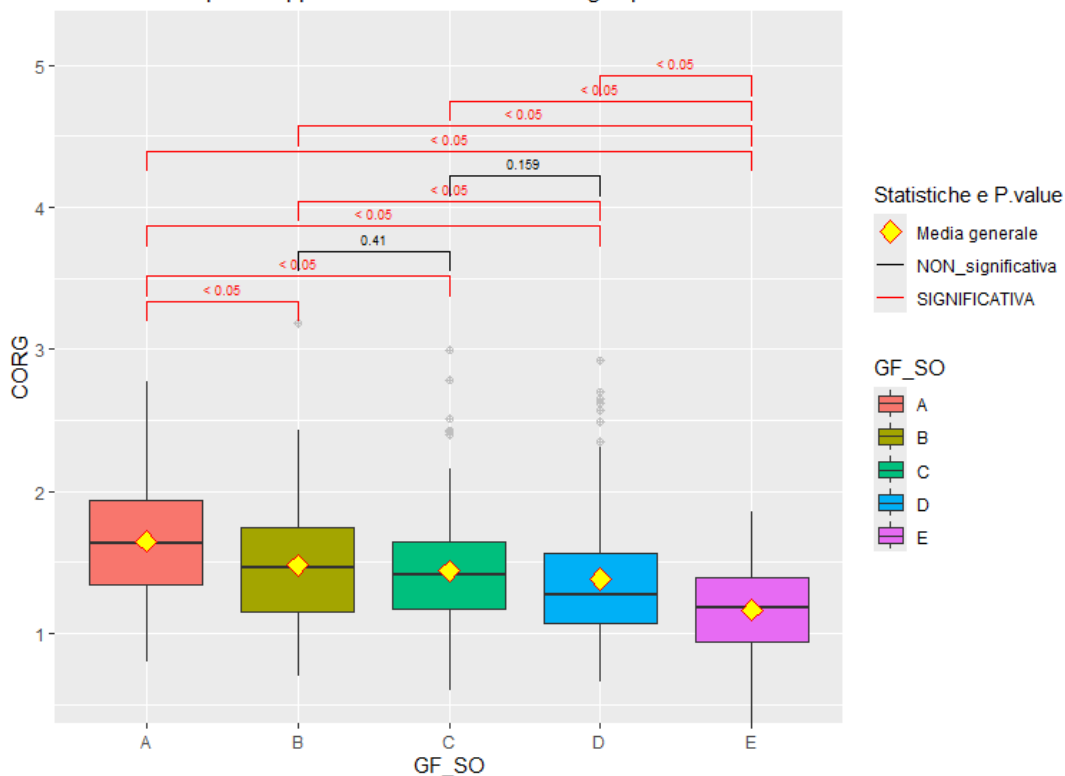


Figura 9. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% e confronto tra i diversi gruppi funzionali (GF)

5.1.3 Contenuto di CO% per uso del suolo

Dall'analisi dei dati di Carbonio organico (CORG) suddivisi in funzione delle diverse tipologie di uso del suolo si evidenziano valori medi (Mean) e mediani (50%ile alias Q2) più alti nella coltura del pero. Inoltre, nel pero, nella vite ma anche nei seminativi i valori che risultavano più bassi nel 2019 mostrano un aumento significativo nei rilievi fatti nel 2022 con un p.value del t-test fatto che è <0.05 (Tabella 53 e Figura 10).

I prati permanenti hanno valori che non si discostano dagli altri usi del suolo; va però sottolineato che oltre ad essere poco rappresentati in questo monitoraggio i tre siti si trovano in ambienti di collina, mentre ad esempio tutte le colture di pero sono in pianura. Risulta inoltre dall'indagine impieghi che i tre prati non hanno ricevuto fertilizzanti nei tre anni di osservazione.

Uso del suolo	Anno	Num SITI	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità	Incremento %
PERO	2019	16	48	0.85	1.26	1.50	1.48	1.65	1.99	2.08	0.30	SIGNIFICATIVO	11%
	2022	16	48	1.10	1.33	1.66	1.73	1.96	2.60	3.00	0.48		
PRATI	2019	3	9	0.73	1.05	1.30	1.23	1.45	1.56	1.63	0.29	NON significativa	-9%
	2022	3	9	0.95	1.11	1.17	1.30	1.42	1.79	1.93	0.30		
SEMINATIVO	2019	68	204	0.61	1.04	1.28	1.32	1.51	1.98	2.20	0.34	SIGNIFICATIVO	14%
	2022	68	204	0.65	1.18	1.46	1.49	1.76	2.26	2.62	0.39		
VITE	2019	36	111	0.60	1.09	1.38	1.39	1.64	2.26	3.18	0.49	SIGNIFICATIVO	9%
	2022	36	111	0.37	1.13	1.50	1.52	1.87	2.44	2.77	0.52		

Tabella 53. Statistica descrittiva del contenuto % di CO in funzione dell'uso del suolo

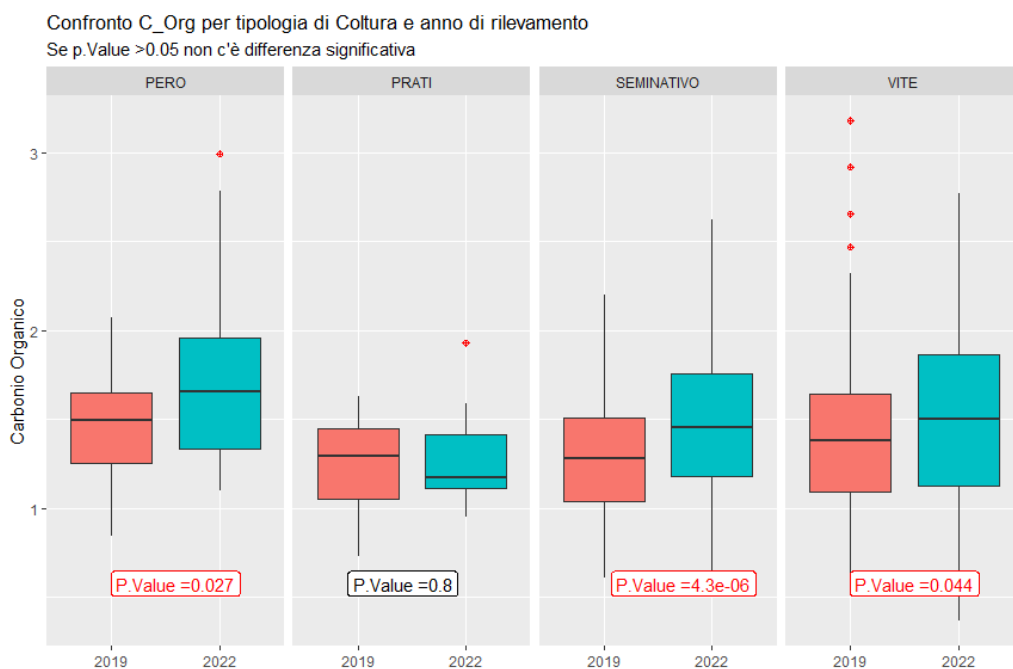


Figura 10. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto % di CO in funzione dell'uso del suolo

Da un punto di vista statistico il test ANOVA fatto utilizzando i dati di entrambe le annualità (denominata nel grafico seguente "media generale" (figura 11) evidenzia differenze significative tra il pero e le altre tipologie di uso del suolo con $p < 0.05$.

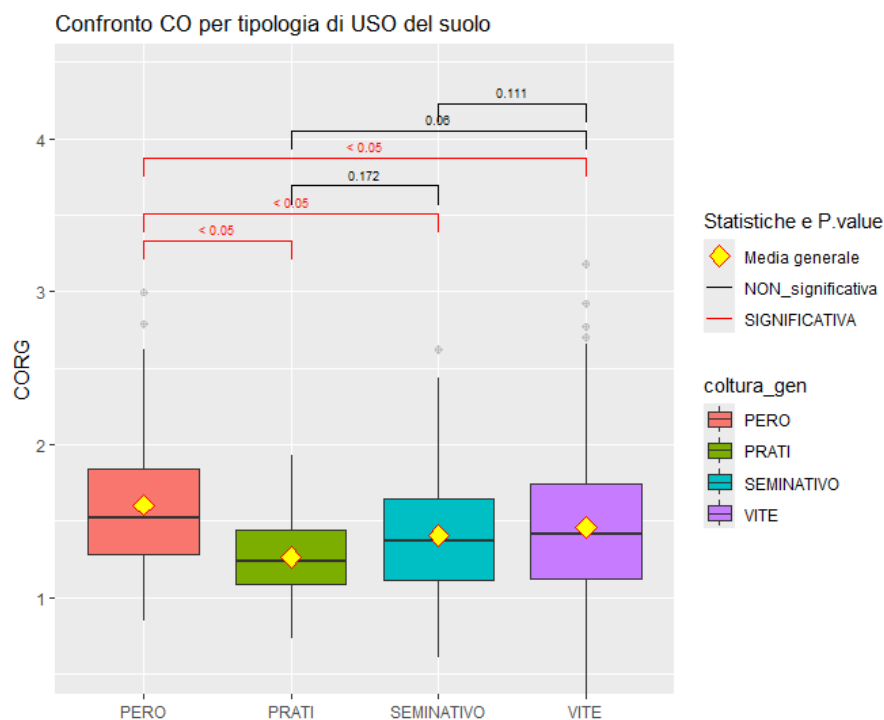


Figura 11. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% e confronto tra le diverse tipologie di uso del suolo

5.1.4 Contenuto di CO% per uso del suolo e tipo di suolo

Esiste una influenza dei fattori uso e tipo di suolo (GF) nella capacità di accumulare CO come evidenziato dall'ANOVA effettuata sui dati.

```
> anova_result <- aov(CORG ~ GF_SO*coltura_gen, data = Corg)
> summary(anova_result)
```

```
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
GF_SO      4  5.306   1.3264   11.454 1.70e-08 ***
coltura_gen 3  4.588   1.5293   13.205 5.51e-08 ***
GF_SO:coltura_gen 8  2.455   0.3068    2.649 0.00849 **
Residuals 230 26.636   0.1158

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

Questo implica che a parità di uso, il tipo di suolo influenza la capacità di accumulare CO con evidenze maggiori nei seminativi rispetto alla vite e al pero.

Per quanto riguarda la statistica descrittiva fatta confrontando le diverse annualità, si riscontra un incremento significativo di Co soltanto nei seminativi del GF D e nelle viti del GF A (tabella 54).

Uso del suolo	GF_SO	Anno	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità
PERO	C	2019	4	1.35	1.58	1.72	1.74	1.88	2.10	2.15	0.33	NON significativa
		2022	4	1.35	1.63	1.86	1.96	2.19	2.65	2.77	0.60	
	D	2019	6	1.36	1.44	1.56	1.63	1.82	1.97	2.00	0.26	NON significativa
		2022	6	1.50	1.87	1.92	1.95	2.07	2.30	2.36	0.29	
	E	2019	6	1.05	1.12	1.20	1.28	1.42	1.60	1.64	0.23	NON significativa
		2022	6	1.21	1.24	1.35	1.35	1.37	1.55	1.61	0.14	
PRATI	A	2019	1	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	NA	NON significativa
		2022	1	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	NA	
	B	2019	1	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	NA	NON significativa
		2022	1	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56	NA	
	C	2019	1	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	NA	NON significativa
		2022	1	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	NA	

Uso del suolo	GF_SO	Anno	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità
SEMINATIVO	A	2019	14	0.99	1.35	1.69	1.63	1.89	2.02	2.03	0.33	NON significativa
		2022	14	1.02	1.47	1.78	1.79	2.06	2.32	2.35	0.40	
	B	2019	13	1.05	1.15	1.28	1.37	1.52	1.82	1.95	0.27	NON significativa
		2022	13	1.08	1.35	1.63	1.59	1.82	2.16	2.21	0.36	
	C	2019	20	1.00	1.14	1.33	1.35	1.55	1.71	1.74	0.23	NON significativa
		2022	20	1.02	1.31	1.50	1.46	1.67	1.77	1.85	0.25	
	D	2019	18	0.61	0.96	1.08	1.06	1.14	1.43	1.45	0.19	SIGNIFICATIVO
		2022	18	0.90	1.14	1.21	1.27	1.32	1.73	1.89	0.25	
	E	2019	3	0.69	0.74	0.80	0.93	1.06	1.26	1.31	0.33	NON significativa
		2022	3	0.93	1.01	1.10	1.13	1.23	1.33	1.35	0.21	
VITE	A	2019	12	0.83	1.34	1.45	1.48	1.60	1.91	1.94	0.31	SIGNIFICATIVO
		2022	12	1.06	1.59	1.76	1.76	1.91	2.31	2.44	0.36	
	B	2019	3	0.85	1.16	1.47	1.49	1.81	2.07	2.14	0.65	NON significativa
		2022	3	0.92	1.26	1.60	1.38	1.61	1.62	1.62	0.40	
	C	2019	7	0.69	1.08	1.42	1.36	1.58	1.97	2.07	0.50	NON significativa
		2022	7	0.98	1.07	1.45	1.48	1.68	2.22	2.41	0.51	
	D	2019	7	1.19	1.27	1.53	1.67	1.70	2.62	3.01	0.63	NON significativa
		2022	7	0.96	1.26	1.61	1.63	1.99	2.23	2.33	0.52	
	E	2019	7	0.55	0.91	1.08	1.04	1.17	1.43	1.52	0.31	NON significativa
		2022	7	0.50	0.98	1.16	1.12	1.36	1.47	1.50	0.34	

Tabella 54. Statistica descrittiva del contenuto di CO% per uso del suolo e tipo di suolo

I valori medi di CO mostrano comunque un trend decrescente con il diminuire del contenuto di argilla, dai suoli fini verso suoli più grossolani, sia nei seminativi che nel pero; diversamente la vite non sembra mostrare alcuna tendenza prevalente (Figura 12).

Confronto CO per tipologia di USO e GRUPPO FUNZIONALE del suolo con dettaglio per anno di rilevamento

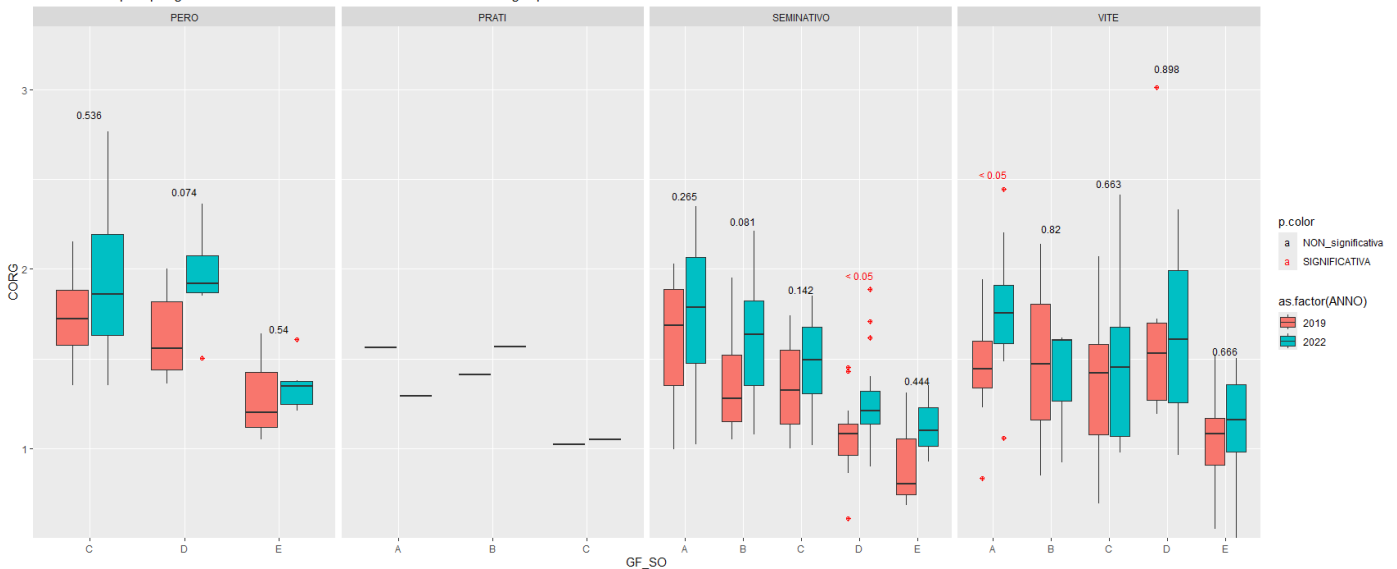


Figura 12. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per uso del suolo e tipo di suolo nelle diverse annualità

Nei seminativi: i suoli del GF **A** (suoli fini) hanno un contenuto di CO medio significativamente più alto (pvalue<0.05) di tutti gli altri GF. Si diversificano significativamente anche gli altri GF tra loro ad eccezione della coppia B/C e D/E che sono invece tra loro uguali (figura 13).

Nel pero: i gruppi funzionali C/D sono tra loro uguali mentre mostrano differenze significative C/E e D/E.

Nella vite: i suoli del gruppo funzionale **E** (suoli grossolani) hanno un contenuto di CO medio significativamente più basso (pvalue<0.05) di tutti gli altri GF ad eccezione del GF B, mentre tra gli altri GF non si riscontrano differenze significative (Figura 13).

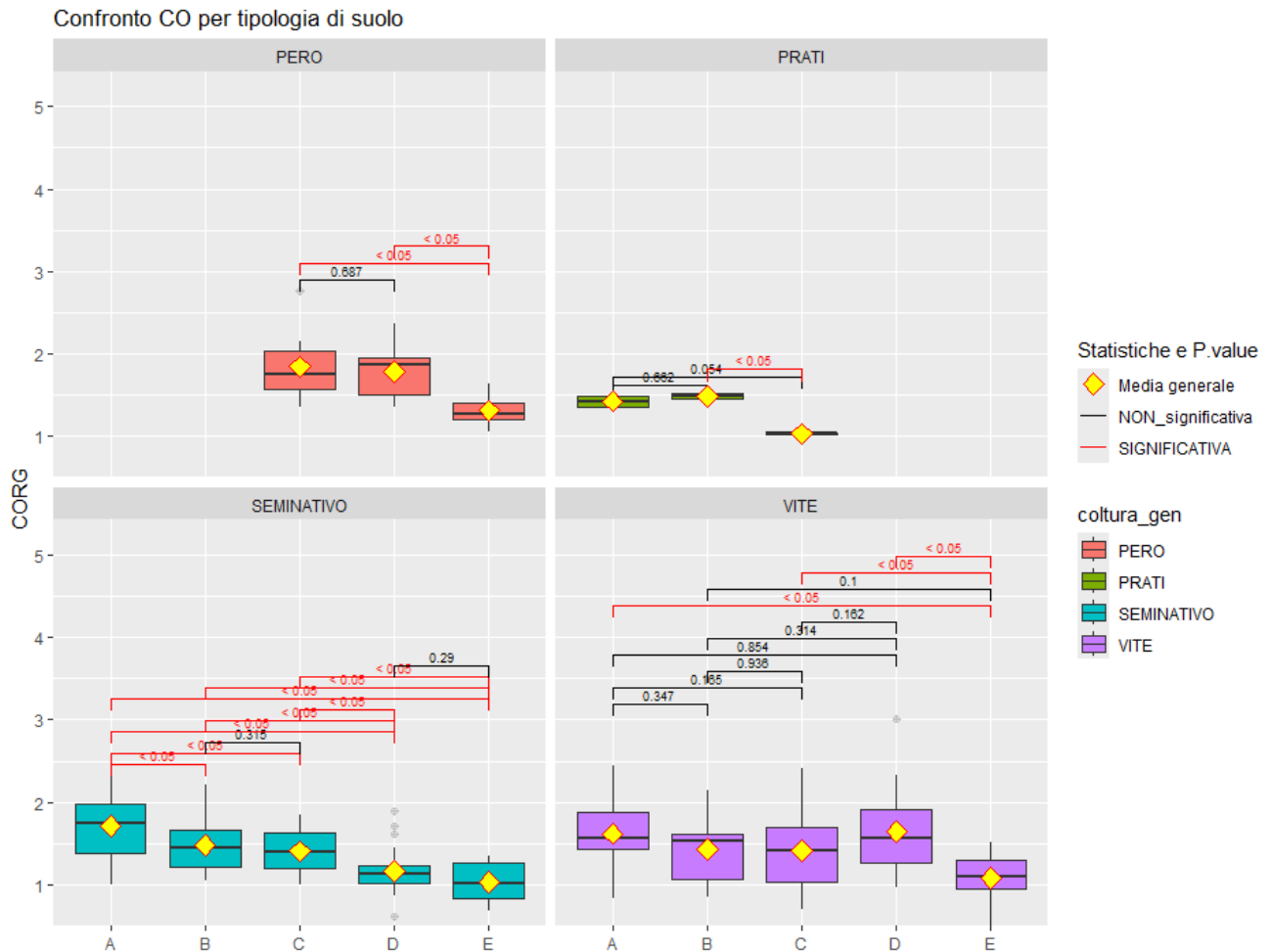


Figura 13. Confronto statistico tramite boxplot del contenuto di CO% per uso del suolo e tipo di suolo

5.1.5 Contenuto di CO% e sistema produttivo

Per quanto riguarda la statistica descrittiva fatta confrontando le diverse annualità, si riscontra un incremento significativo di CO soltanto nei siti con agricoltura biologica, integrata e tradizionale.

L'agricoltura biologica passa da una mediana di 1.35 a 1.54 registrando un aumento del 14% mentre quella tradizionale del 12%, l'integrata ha una variazione più modesta ma significativa del 7% (tabella 55).

sistema produttivo	Anno	Num SITI	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità	Incremento %
BIOLOGICO	2019	22	66	0.61	1.10	1.35	1.31	1.54	1.73	1.92	0.31	SIGNIFICATIVO	14.1
	2022	22	66	0.37	1.33	1.54	1.49	1.78	1.96	2.57	0.38		
CONSERVATIV A	2019	6	18	0.90	1.19	1.56	1.52	1.84	2.09	2.11	0.40	NON significativa	12
	2022	6	18	1.12	1.37	1.76	1.66	1.83	2.29	2.43	0.39		
INTEGRATA	2019	32	99	0.60	1.12	1.32	1.33	1.55	1.93	2.47	0.35	SIGNIFICATIVO	7.6
	2022	32	99	0.66	1.15	1.42	1.46	1.77	2.18	2.40	0.39		
PRATI	2019	3	9	0.73	1.05	1.30	1.23	1.45	1.56	1.63	0.29	NON significativa	-9.5
	2022	3	9	0.95	1.11	1.17	1.30	1.42	1.79	1.93	0.30		
TRADIZIONALE	2019	60	180	0.61	1.06	1.33	1.38	1.59	2.15	3.18	0.44	SIGNIFICATIVO	12.1
	2022	60	180	0.65	1.19	1.49	1.57	1.87	2.52	3.00	0.50		

Tabella 55. Statistica descrittiva del contenuto di CO% in funzione del sistema produttivo

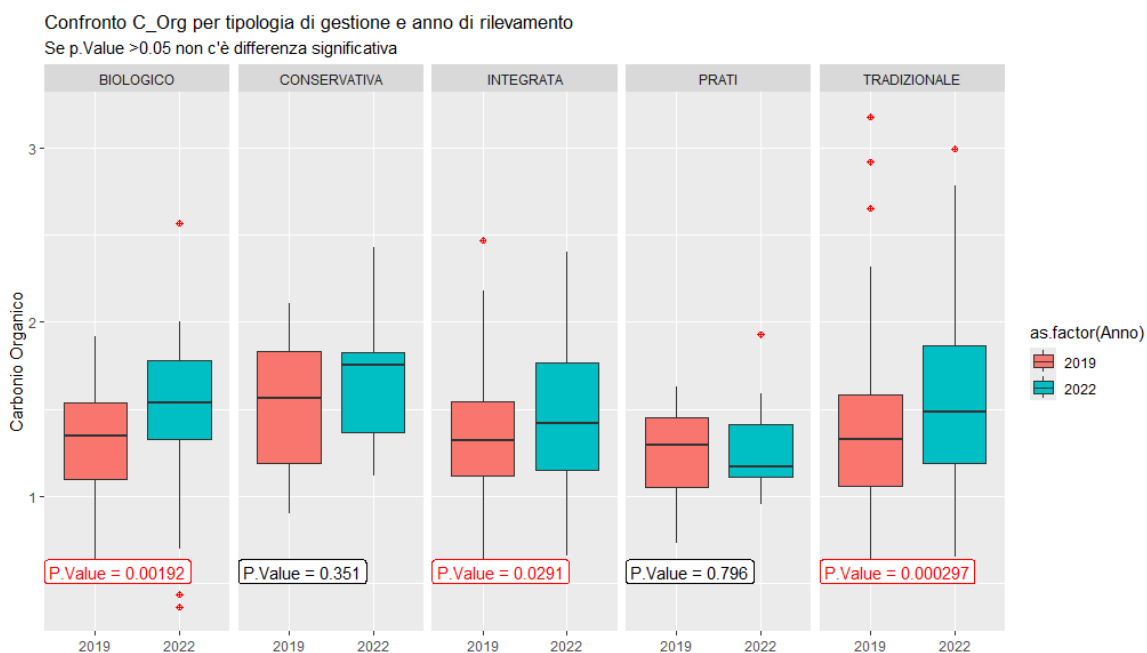


Figura 14 Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per sistema produttivo nelle diverse annualità

Dalla statistica descrittiva si evidenziano valori medi più alti nei suoli gestiti in agricoltura conservativa seguiti dai sistemi convenzionali (TRADIZIONALE) che hanno valori medi più alti rispetto ai siti in biologico, ai siti in produzione integrata e alla praticoltura estensiva (PRATI); il valore medio dei siti tradizionali risente però dei valori max di 3.01 nel 2022, 3.18 nel 2019 che infatti sono individuati come outlier (si tratta di un vigneto con inerbimento stabile molto vecchio, quasi secolare); se si considerano i valori mediani (50%ile), più rappresentativi della popolazione, i valori più alti si ottengono nei siti in agricoltura conservativa. Il test statistico conferma anche una differenza significativa della agricoltura conservativa rispetto agli altri sistemi produttivi e della tradizionale rispetto alla integrata ed ai prati (Figura 15).

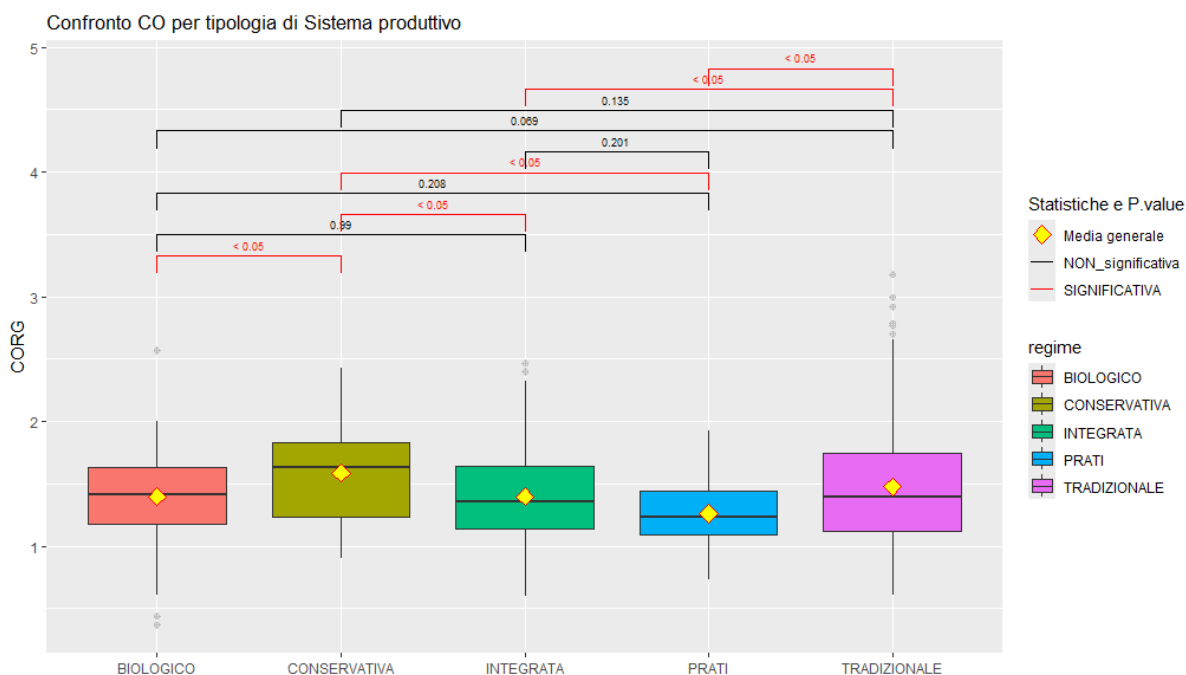


Figura 15. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per sistema produttivo

5.1.6 Contenuto di CO% per uso del suolo nei diversi sistemi produttivi

Per quanto riguarda la statistica descrittiva fatta confrontando le diverse annualità: nei frutteti e nei vigneti guardando i valori medi e mediani, non sembra che i sistemi produttivi conservativi quali agricoltura biologica e produzione integrata favoriscano l'accumulo di carbonio organico nel suolo; infatti, il test ANOVA non conferma differenze significative tra 2019 e 2022 (vedi p.value riportati nei grafici di figura 16).

Si riscontra un incremento significativo di CO soltanto nei siti con agricoltura biologica e tradizionale nei seminativi; l'agricoltura biologica, passando da una mediana di 1.36 a 1.59, registra un aumento del 16% mentre il convenzionale del 12% (passando da 1.21 a 1.36).

Uso del suolo	regime	Anno	Num SITI	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità	Incremento %
PERO	INTEGRATA	2019	8	24	0.85	1.20	1.47	1.44	1.64	1.92	1.94	0.29	NON significativa	12.97
		2022	8	24	1.10	1.30	1.66	1.61	1.84	2.02	2.18	0.33		
	TRADIZIONALE	2019	8	24	0.94	1.31	1.50	1.52	1.71	2.06	2.08	0.30		
		2022	8	24	1.16	1.41	1.65	1.85	2.39	2.76	3.00	0.58		
PRATI	PRATI	2019	3	9	0.73	1.05	1.30	1.23	1.45	1.56	1.63	0.29	NON significativa	-9.49
		2022	3	9	0.95	1.11	1.17	1.30	1.42	1.79	1.93	0.30		
SEMINATIVO	BIOLOGICO	2019	16	48	0.82	1.18	1.41	1.38	1.60	1.74	1.92	0.26	SIGNIFICATIVO	10.28
		2022	16	48	0.99	1.37	1.56	1.56	1.79	1.95	2.00	0.26		
	CONSERVATIVA	2019	6	18	0.90	1.19	1.56	1.52	1.84	2.09	2.11	0.40	NON significativa	12.32
		2022	6	18	1.12	1.37	1.76	1.66	1.83	2.29	2.43	0.39		
	INTEGRATA	2019	12	36	0.88	0.97	1.17	1.24	1.37	2.09	2.18	0.36	NON significativa	7.26
		2022	12	36	0.86	1.12	1.26	1.37	1.55	2.24	2.40	0.39		
	TRADIZIONALE	2019	34	102	0.61	1.01	1.25	1.28	1.47	1.98	2.20	0.35	SIGNIFICATIVO	11.65
		2022	34	102	0.65	1.11	1.39	1.47	1.73	2.27	2.62	0.42		
VITE	BIOLOGICO	2019	6	18	0.61	0.80	1.22	1.11	1.40	1.57	1.69	0.35	NON significativa	2.88
		2022	6	18	0.37	0.98	1.25	1.30	1.67	2.02	2.57	0.56		
	INTEGRATA	2019	12	39	0.60	1.20	1.40	1.35	1.56	1.76	2.47	0.37	NON significativa	8.57
		2022	12	39	0.66	1.14	1.52	1.46	1.70	2.08	2.30	0.42		
	TRADIZIONALE	2019	18	54	0.67	1.11	1.45	1.52	1.80	2.44	3.18	0.56	NON significativa	8.65
		2022	18	54	0.69	1.20	1.57	1.65	1.98	2.59	2.77	0.55		

Tabella 56. Statistica descrittiva del contenuto di CO% per uso del suolo nei diversi sistemi produttivi



Figura 16. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per uso del suolo nei diversi sistemi produttivi

Per quanto riguarda invece il confronto tra i diversi sistemi produttivi in funzione della coltura in Figura 17 viene riportato il p.value del test ANOVA effettuato: per i frutteti non si evidenziano differenze, mentre nei vigneti i tre sistemi produttivi analizzati risultano tra loro differenti e con contenuti di CO crescenti andando da biologico, ad integrato e tradizionale. Questo però risente dei valori iniziali differenti tra i siti analizzati e per questo il dato è poco significativo.

Per quanto riguarda i seminativi, invece, sia l'agricoltura conservativa che biologica mostrano valori medi e mediani più alti rispetto alla produzione integrata e all'agricoltura convenzionale.

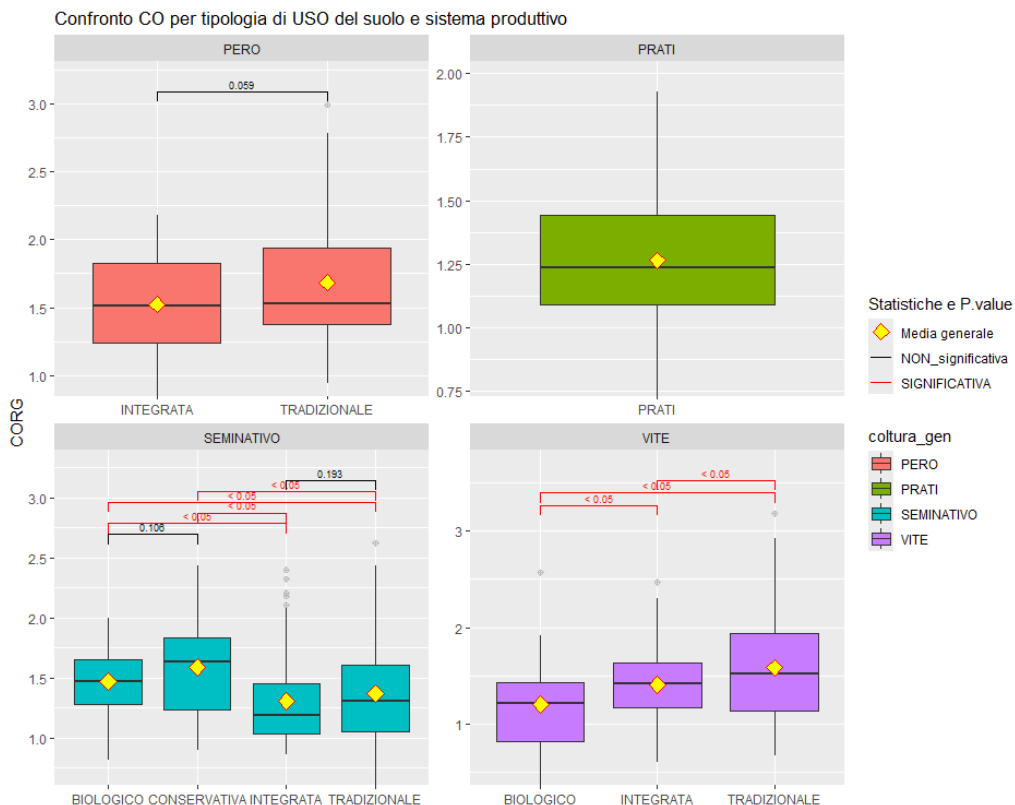


Figura 17: Confronto statistico tramite boxplot del contenuto di CO% per uso del suolo e sistema produttivo

5.1.7 Contenuto di CO% per ambiente (pianura e collina)

I 123 siti sono distribuiti negli ambienti di pianura (87) e di collina (36) come si evince dalla figura 2. In pianura sono coperte tutte le province, ad eccezione di quella di Rimini, mentre in collina, oltre a Rimini, non ci sono siti in provincia di Reggio Emilia.

Il contenuto di carbonio organico nei siti dei due ambienti risulta **significativamente maggiore in pianura rispetto alla collina**.

La differenza è significativa sia considerando i dati del 2019 che 2022. Inoltre, si evidenzia un aumento significativo in entrambi i gruppi tra 2019 e 2022 (tabella 57 e figura 18).

Ambiente	Anno	Num SITI	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	Diff. rispetto Q2 (mediana)	Incremento %
COLLINA (A)	2019	36	111	0.60	1.01	1.28	1.29	1.5	1.90	3.18	0.42	0.07	5.47
	2022	36	111	0.37	1.12	1.35	1.43	1.71	2.31	2.77	0.46		
PIANURA(P)	2019	87	261	0.61	1.12	1.36	1.39	1.60	2.08	2.92	0.37	0.18	13.24
	2022	87	261	0.65	1.23	1.54	1.57	1.83	2.40	3.00	0.44		

Tabella 57. Statistica descrittiva del contenuto di CO% per i due ambienti

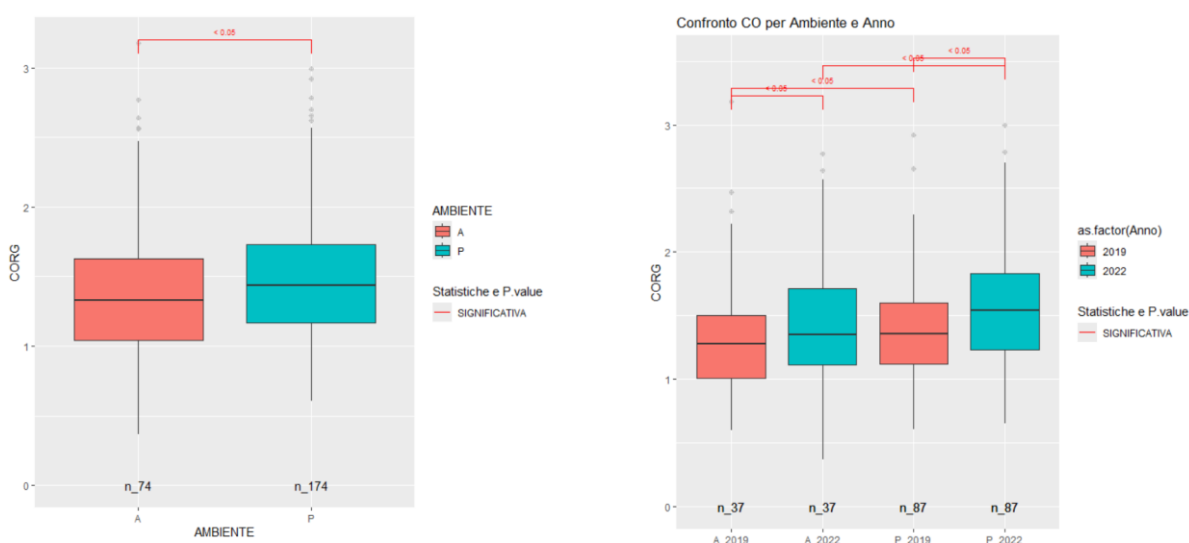


Figura 18. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per ambienti

Per quanto riguarda le **colture** soltanto nella vite c'è una differenza significativa tra il CO in pianura, che è maggiore che in collina.

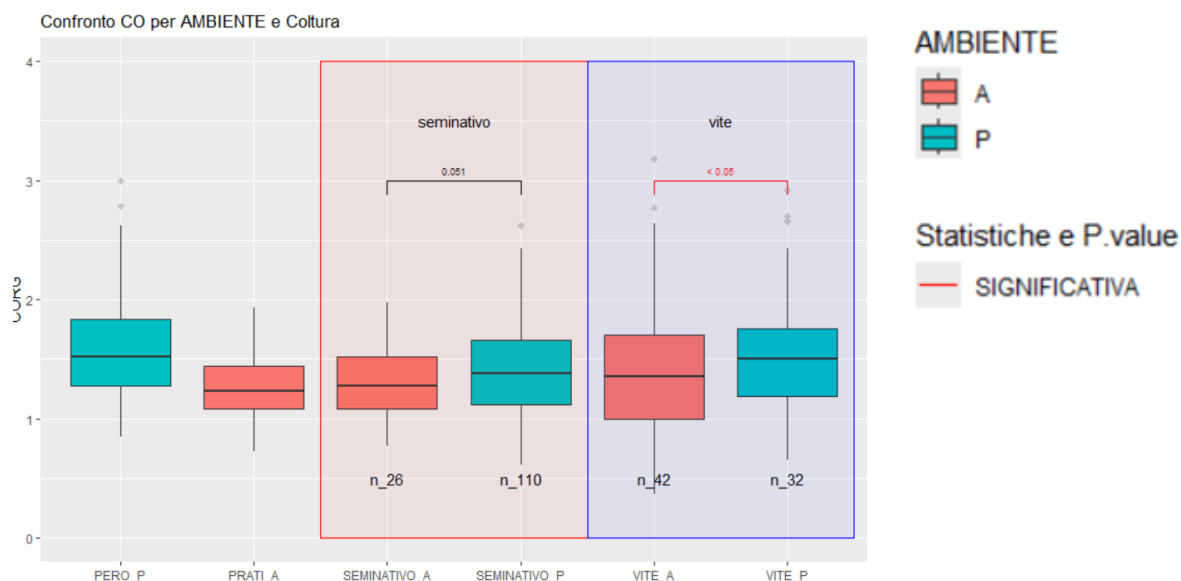


Figura 19. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per ambienti e colture

Per quanto riguarda i **sistemi produttivi**, invece, sia biologico che tradizionale mostrano una differenza significativa di CO in pianura maggiore che in collina.

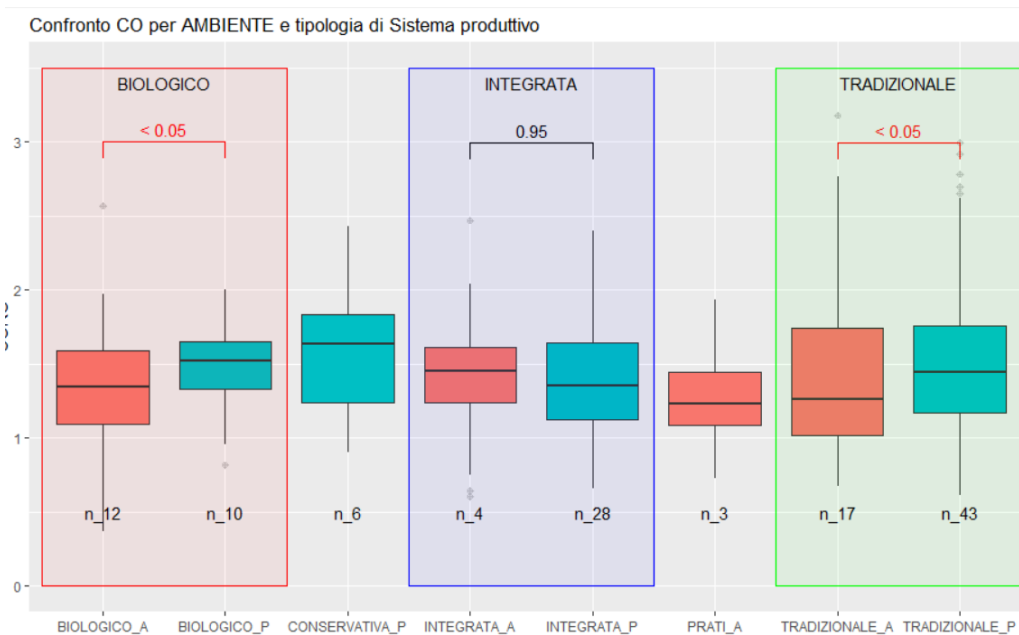


Figura 20. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per ambienti e sistemi produttivi

Confronto CO per AMBIENTE e GF

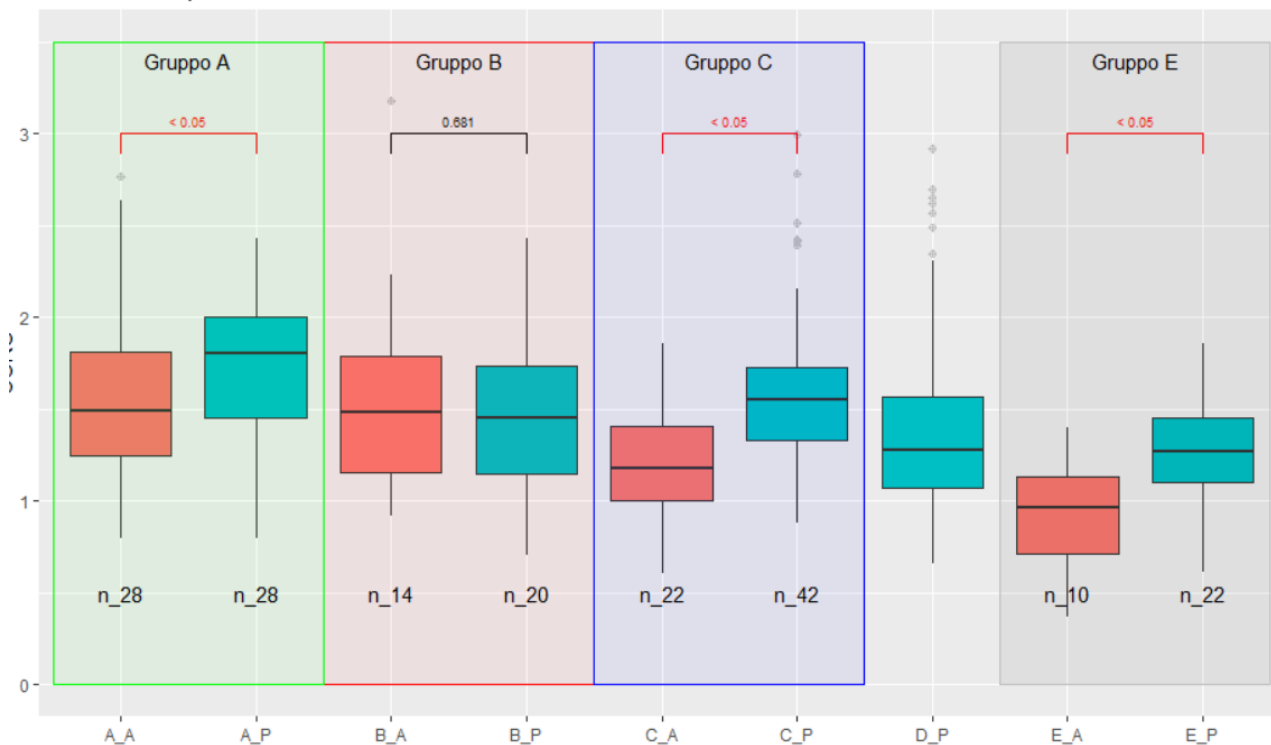


Figura 21. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per ambienti e gruppi funzionali

I tipi di suoli, espressi come gruppi funzionali, risentono tutti tranne che i suoli del gruppo B (tessitura moderatamente fine) della posizione ed in particolare quelli di pianura hanno sempre CO maggiore di quelli in collina.

5.2 Gestione aziendale e riflessi sui contenuti di carbonio organico

Fra i principali obiettivi della campagna di monitoraggio c'era quello di valutare se l'adesione ad alcune misure del PSR (biologico 11.2.01, lotta integrata 10.2.01, agricoltura conservativa 10.1.04) comportasse l'adozione di "buone pratiche" che si riflettessero sul contenuto di carbonio organico nei suoli.

I criteri adottati nella scelta delle aziende è stato ampiamente illustrato nel paragrafo 3.4. L'obiettivo più difficile da realizzare è stato quello di avere **suoli simili per ogni coppia**. Come risultava già evidente dalla tabella 26, non sempre si è riusciti ad avere suoli appartenenti allo stesso gruppo funzionale per ogni coppia. Questo è accaduto solo nel **25%** dei casi (31 coppie su 123), dovuto alle costrizioni di partenza (appartenenza al gruppo dell'Indagine Impieghi, gestione, uso del suolo, ambiente). L'elenco dei siti e rispettive UGF si trova nelle tabelle 55 e 56. Considerando la grande variabilità dei suoli, trovare suoli simili avrebbe comportato un gran numero di prove in diversi appezzamenti fino a trovare gli appezzamenti giusti. Ciò avrebbe portato a costi superiori a quelli preventivati, sia per i tempi di rilevamento sia per il maggiore numero di analisi di laboratorio.

Si prenda come esempio alcune aziende (gruppo del biologico) della provincia di Ravenna:

- RA6: entrambe gli appezzamenti ricadono in aree vallive (RSD1- suoli a tessitura argillosa limosa). L'appezzamento PSR appartiene in effetti al gruppo funzionale A, ma la localizzazione decentrata dell'appezzamento DU ha comportato la presenza di un suolo meno argilloso a tessitura franco argillosa limosa (SMB2, UGF C)
- RA7: le due aziende sono molto vicine fra di loro e ricadono nella stessa delineazione. Le stime di campagna denotavano suoli molto simili fra loro (UGF B), ma alle analisi il topsoil dell'appezzamento DU si è rilevato molto dissimile (a tessitura franco limosa) e quindi appartenente al gruppo funzionale D.
- RA8: situazione simile a RA6. Gli appezzamenti ricadono in delineazioni caratterizzate da suoli a tessitura medio-grossolana ma, anche qui, la collocazione lungo i bordi esterni (zone di transizione) ha comportato per i due appezzamenti suoli dissimili. L'appezzamento PSR è in un leggero avvallamento per cui si trova un suolo a tessitura medio-fine (UGF B), mentre quello DU è probabilmente in una posizione di dosso e il suolo è a tessitura franco limosa (UGF D).

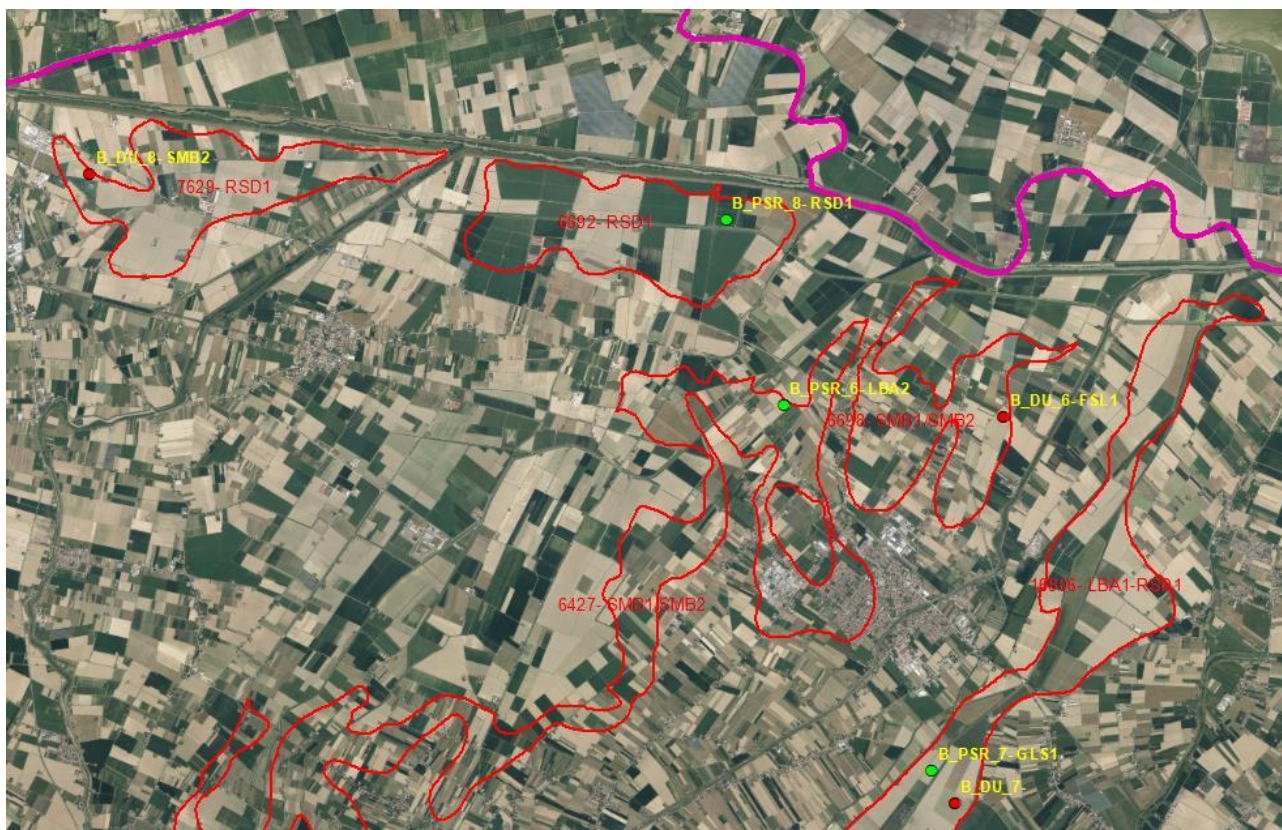


Figura 22. Posizione delle coppie RA6, RA7, RA8. Sono riportate solo i poligoni della carta dei suoli in cui ricadono gli appezzamenti.

Di seguito le statistiche sono organizzate per coppie di appezzamenti.

5.2.1 Indagine statistica generale sull'incremento di CO%

Per confrontare i dati di carbonio organico tra le due campagne di campionamento eseguite nelle annualità 2019 e 2022 è stato effettuato **t-test**, per dati appaiati, che effettua un confronto a coppie fra gruppi in quanto i campioni sono formati da solo 3 ripetizioni (3 AC per ogni sito per le due annualità) e quindi si può assumere la normalità (de Winter, 2019) ed inoltre sono accoppiati (stesso appezzamento in 2 annualità diverse). Per aumentare la potenza del test, dato che ci interessa valutare un aumento del CO nel 2022 rispetto ai dati del 2019, si assume l'ipotesi alternativa unilaterale sinistra (media delle differenze tra valore 2019 e valore 2022 < 0). La Test risulta statisticamente significativa quando il p.value < 0.05.

I calcoli sul carbonio organico sono stati fatti sui dati delle tre aree campione, con il metodo dell'analizzatore elementare e mediando a 0-30 cm quando sono stati eseguiti i campionamenti a due profondità: 0-15 cm e 15-30 cm.

La parte superficiale del suolo interessata dal campionamento è direttamente influenzata dalle pratiche agronomiche utilizzate. Inoltre, considerando lo scopo e l'organizzazione della campagna di monitoraggio, il confronto tra i risultati nelle diverse aziende che aderiscono o meno ai disciplinari di lotta integrata e di agricoltura biologica del PSR 2014-2020 non può prescindere da una conoscenza del tipo di fertilizzazione e della quantità di fertilizzante utilizzato.

Le aziende interessate sono state contattate per raccogliere informazioni sul tipo di lavorazioni e fertilizzazioni apportate al terreno e le rispettive date di applicazione. Si sono riscontrate criticità in questa fase legate a:

- disponibilità nel condividere informazioni (solo il 75% dei conduttori ha risposto nella seconda campagna);
- cambiamenti del gestore dell'appezzamento (proprietario o affittuario);
- cambiamenti di uso del suolo (es. espianto del frutteto a favore del seminativo);
- cambiamento di gestione agronomica (ritiro dal PSR o adesione).

Viste le difficoltà affrontate nel reperire informazioni dettagliate sul lungo periodo e poiché lo scopo dell'indagine si concentra soprattutto sull'incremento % del carbonio organico, si è tenuto conto solo di fertilizzazioni di tipo organico avvenute nell'ultimo triennio.

La **fertilizzazione organica** si differenzia da quella chimica e minerale per l'utilizzo di materiali di origine animale o vegetale. I fertilizzanti organici possono essere già presenti nell'azienda agricola ed elaborati a partire da scarti di altri processi o lavorazioni oppure essere prodotti di sintesi che presentano nel titolo una percentuale di carbonio organico e azoto ben definita.

Il fertilizzante organico, come qualunque altro fertilizzante chimico o minerale, può essere considerato un concime oppure un ammendante.

Viene considerato un **concime** se lo scopo principale è quello di interagire direttamente con la componente organica del suolo, apportando elementi per la fertilità e migliorando la dotazione e la funzionalità della sostanza organica negli strati più superficiali del terreno. Il concime può essere usato tal quale (es. letame) o venire opportunamente trattato prima dell'applicazione al terreno.

Viene considerato un **ammendante** quando il suo scopo è quello di migliorare le proprietà fisiche del terreno.

Il principale indicatore che rappresenta al meglio una caratteristica del fertilizzante e ne spiega il comportamento (soprattutto se organico) una volta applicato al suolo è il rapporto tra carbonio e azoto (C/N). La diversa interazione coi microrganismi del suolo responsabili della decomposizione della sostanza organica e la risposta del loro metabolismo è potenzialmente prevedibile e gestita agronomicamente conoscendo il rapporto C/N del fertilizzante. I microrganismi tenderanno sempre a consumare i nutrienti più abbondanti nel terreno; di conseguenza utilizzare fertilizzanti con un basso valore di C/N (e quindi alto contenuto in azoto) è considerata a tutti gli effetti una concimazione perché immette nel terreno quantità di azoto sufficienti sia al metabolismo dei microrganismi che alla nutrizione delle piante.

Invece, fertilizzanti con un alto rapporto C/N (componente carboniosa legata alla fibra dei tessuti vegetali da cui ha avuto origine il fertilizzante) vengono applicati per migliorare le caratteristiche fisiche del terreno (struttura e stabilità degli aggregati) legate alla sostanza organica e le sue interazioni con la componente minerale del suolo, rendendo il fertilizzante un ammendante. Questo tipo di ammendanti organici sono soprattutto **residui vegetali** lasciati in campo da una coltura avvicendata nel caso dei seminativi o dagli sfalci degli inerbimenti interfila o dai residui legnose delle potature in un frutteto o vigneto. Questi possono essere interrati tramite una lavorazione del terreno (sovescio) o lasciati semplicemente in campo prima della nuova

semina (no tillage o minimum tillage). Inoltre, i residui vegetali possono anche essere originati da altre colture presenti in azienda, ma venire utilizzati in campo sempre con lo scopo di praticare un sovescio oppure essere distribuiti in seguito a un concime organico senza ulteriori lavorazioni (pacciamatura).

Dal confronto di tutti i 120 siti (60 coppie) + 3 prati, è risultato che solo in **43 casi** (35%) vi è stata una **VARIAZIONE STATISTICAMENTE SIGNIFICATIVA** in aumento (tranne che in un caso) di **carbonio organico** nel triennio 2019-2022. Di questi 21 (49%) sono in aziende che aderiscono al PSR, mentre il restante 51% sono aziende tradizionali. Un appezzamento (FE9) era stata attribuito al convenzionale ma in realtà è in regime di lotta integrata fin dal 2016.

Nel 79% degli appezzamenti è stata eseguita almeno una fertilizzazione organica nel periodo 2017-2022 (da 1 a 6 anni); nel restante 21% 4 aziende su 6 non hanno risposto all'intervista (per cui è possibile che le concimazioni ci siano state), mentre nelle altre 2 vi è stato comunque un interrimento dei residui.

10 aziende presentano coltivazioni arboree (pero e vite) e in tutte queste sono presenti inerbimento dell'interfila, concimazioni organiche e interrimento dei residui.

ID	Regime	Coltura	UGF	Variazione Carbonio Organico	Variazione Carb. Org percentuale	IMPEGNO PSR		Inerbimento	Residui	Fertilizzazione organica
						Anno inizio	Anno fine		N anni	N anni
BO_1	INTEGRATA	SEMINATIVO	A	0.19	0.09%	2016			3	3
BO_3	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	B	0.16	0.13%			semina su sodo	3	2
BO_3	INTEGRATA	SEMINATIVO	C	0.31	0.29%	2016			3	3
BO_5	INTEGRATA	VITE	C	0.47	0.71%	2016	2021	SI	3	1
BO_6	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	A	0.08	0.06%				2	0
FC_3	BIOLOGICO	SEMINATIVO	A	0.24	0.21%	2010			2	2
FC_4	BIOLOGICO	SEMINATIVO	C	0.24	0.22%	2010			1	2
FC_6	BIOLOGICO	SEMINATIVO	C	0.14	0.12%	2010			2	3
FE_1	TRADIZIONALE	PERO	C	0.28	0.19%			SI	3	0
FE_3	TRADIZIONALE	PERO	E	0.16	0.15%			SI	3	6
FE_5	TRADIZIONALE	PERO	C	0.75	0.38%			SI	3	4
FE_5	INTEGRATA	PERO	D	0.54	0.42%	2016	2021	SI	3	3
FE_8	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	0.18	0.19%				5	2
FE_9	INTEGRATA ⁶	SEMINATIVO	B	0.78	0.54%				0	2
MO_2	TRADIZIONALE	PERO	D	0.53	0.29%			SI	6	4
MO_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	A	0.15	0.10%				4	0
MO_4	INTEGRATA	SEMINATIVO	A	0.32	0.23%	2016	2021		1	1
MO_5	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	C	0.21	0.16%				3	0
MO_5	BIOLOGICO	SEMINATIVO	C	0.22	0.13%	2010			1	0
MO_6	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	A	0.13	0.07%				0	1
MO_6	BIOLOGICO	SEMINATIVO	A	0.29	0.18%	2010			2	2
PC_1	TRADIZIONALE	VITE	A	0.27	0.12%			SI: f.a.	6	1
PC_10	TRADIZIONALE	VITE	A	0.97	0.79%			nudo	0	0
PC_11	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	0.48	0.42%				1	4
PC_6	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	0.94	0.99%				3	3
PC_6	INTEGRATA	SEMINATIVO	D	0.17	0.18%	2016	2021		1	1
PC_7	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	C	0.20	0.15%	2018 ⁷			5	2
PR_2	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	B	0.42	0.34%				0	1
PR_2	BIOLOGICO	SEMINATIVO	A	0.57	0.50%	2011			0	0
PR_4	BIOLOGICO	SEMINATIVO	B	0.42	0.30%	2010			0	4
PR_6	BIOLOGICO	SEMINATIVO	A	0.49	0.26%	2020 ⁸		semina su sodo	0	0
RA_1	TRADIZIONALE	PERO	D	0.51	0.32%			SI	4	3
RA_2	TRADIZIONALE	VITE	D	0.31	0.26%			SI	3	4
RA_3	TRADIZIONALE	VITE	E	0.21	0.18%			SI	3	1
RA_3	INTEGRATA	VITE	D	0.72	0.57%	2016	2021	SI	3	3
RA_5	TRADIZIONALE	VITE	E	0.25	0.23%			SI	6	0
RA_5	TRADIZIONALE	VITE	E	0.26	0.32%			SI	6	2
RA_6	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	E	0.12	0.15%				3	2
RA_6	BIOLOGICO	SEMINATIVO	B	0.20	0.14%	2012			3	4
RA_7	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	0.32	0.35%				3	2
RA_9	PRATI	PRATI	C	0.14	0.16%				0	0
RE_2	TRADIZIONALE	VITE	C	0.48	0.25%			SI	5	2
RE_2	INTEGRATA/BIO	VITE	D	0.46	0.29%	2016 ⁹		SI	3	3

Tabella 58. Elenco degli appezzamenti in cui vi è stata una variazione significativa di carbonio organico %

⁶ Assegnata nel database a convenzionale

⁷ Adesione a 10.1.2 Gestione effluenti

⁸ Adesione al BIOLOGICO

⁹ Adesione al BIOLOGICO nel 2018

Per quanto riguarda i restanti **80** appezzamenti dove le variazioni di carbonio non sono statisticamente significative, questi sono divisi fra 42 PSR e 38 convenzionali. Un appezzamento (FC_6) era stato attribuito al convenzionale ma in realtà è in regime biologico dal 2018.

Da notare che in 7 appezzamenti è stata eseguita semina su sodo e due di questi non hanno aderito al PSR.

Fra gli 80 appezzamenti 19 (24%) non hanno mai ricevuto nel periodo d'indagine fertilizzanti con componente organica mentre il restante 77% presenta almeno 1 anno di concimazioni organiche.

È da notare che in 23 casi (18%) vi è stato un decremento o stabilità del contenuto di carbonio organico (da -0 a -0.291), mentre nel restante 82% del campione (98 casi) c'è stato un incremento ma in 55 casi l'aumento non è risultato statisticamente significativo (da 0.002 a 0.791).

Nei 98 casi in cui vi è stato incremento 49% sono a gestione tradizionale, 51% PSR. Fra queste 83 (84% del subcampione) presentano almeno 1 anno con fertilizzazione organica, mentre in 83 (84% del subcampione) vi è interrimento dei residui.

ID	Regime	Coltura	UGF	Variazione Carbonio Organico	Variazione Carb. Org percentuale	IMPEGNO PSR		Residui N anni	Fertilizzazione organica N anni	Inerbimento
						Anno inizio	Anno fine			
BO_1	INTEGRATO ¹⁰	SEMINATIVO	A	0.10	0.05%	2023		3	2	0
BO_2	TRADIZIONALE	PERO	C	-0.05	-0.04%			3	3	SI
BO_2	INTEGRATA	PERO	E	0.22	0.19%	2011		5	5	SI
BO_4	TRADIZIONALE	VITE	C	0.13	0.09%	0		3	2	SI
BO_4	INTEGRATA	VITE	D	-0.31	-0.24%	2016		3	4	SI
BO_5	TRADIZIONALE	VITE	C	0.16	0.18%	0		5	3	SI
BO_6	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	A	0.08	0.04%	2016		2	1	semina su sodo
BO_7	PRATI	PRATI	A	-0.11	-0.08%	0		0	0	0
FC_1	TRADIZIONALE	VITE	A	0.16	0.18%	0		6	0	SI: f.a.
FC_1	INTEGRATA	VITE	B	-0.07	-0.07%	2016	2021	6	0	SI
FC_2	TRADIZIONALE	VITE	E	0.06	0.07%	0		3	2	SI
FC_2	BIOLOGICO	VITE	E	-0.19	-0.27%	2012		6	3	SI
FC_3	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	A	0.13	0.15%	0		3	0	0
FC_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	B	0.12	0.13%	0		0	0	0
FC_5	TRADIZIONALE	VITE	C	-0.29	-0.23%	0		6	3	nudo
FC_5	BIOLOGICO	VITE	E	0.04	0.04%	2010		5	4	SI: f.a.
FC_6	BIOLOGICO ¹¹	SEMINATIVO	C	0.13	0.11%	2018		3	0	0
FC_7	PRATI	PRATI	B	0.19	0.14%	0		0	0	0
FE_1	INTEGRATA	PERO	D	-0.03	-0.02%	2016		3	5	SI
FE_2	TRADIZIONALE	PERO	D	0.50	0.36%	0		6	3	SI
FE_2	INTEGRATA	PERO	C	0.23	0.13%	2016		3	2	SI
FE_3	INTEGRATA	PERO	E	-0.02	-0.02%	2016		3	5	SI
FE_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	-0.03	-0.03%	0		1	1	0
FE_4	INTEGRATA	SEMINATIVO	D	0.01	0.01%	2016		6	1	0
FE_6	TRADIZIONALE	PERO	E	-0.09	-0.06%	0		3	3	SI
FE_6	INTEGRATA	PERO	E	0.24	0.21%	2016	2023	6	5	SI
FE_7	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	0.01	0.01%	0		4	0	0
FE_7	INTEGRATA	SEMINATIVO	D	0.05	0.04%	2016 ¹²		6	4	0
FE_8	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	E	0.15	0.16%	0		3	2	0
FE_9	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	C	-0.04	-0.03%	2016		2	0	semina su sodo
MO_1	TRADIZIONALE	VITE	D	-0.26	-0.10%	0		6	2	SI
MO_1	INTEGRATA	VITE	D	0.01	0.00%	2016	2021	3	1	0
MO_2	INTEGRATA	PERO	D	0.15	0.08%	2016	2021	3	6	SI
MO_3	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	0.09	0.08%	0		6	6	semina su sodo
MO_3	INTEGRATA	SEMINATIVO	C	0.13	0.10%	2016	2021	3	2	0
MO_7	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	C	-0.04	-0.04%	0		2	3	0
MO_7	BIOLOGICO	SEMINATIVO	C	-0.05	-0.03%	2010		0	4	0
MO_8	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	B	0.15	0.09%	0		1	3	0
MO_8	BIOLOGICO	SEMINATIVO	C	-0.04	-0.03%	2010		0	5	0
MO_9	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	C	0.23	0.16%	0		0	0	0

¹⁰ Adesione a INTEGRATO nel 2023

¹¹ Ex convenzionale. Adesione al biologico nel 2018

¹² passato al biologico nel 2022

ID	Regime	Coltura	UGF	Variazione Carbonio Organico	Variazione Carb. Org percentuale	IMPEGNO PSR		Residui N anni	Fertilizzazione organica N anni	Inerbimento
						Anno inizio	Anno fine			
MO_9	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	D	0.31	0.22%	2016		1	0	semina su sodo
PC_1	INTEGRATA	VITE	A	-0.07	-0.05%	2016	2021	3	2	St: f.a.
PC_10	BIOLOGICO	VITE	A	0.63	0.54%	2010		3	2	SI
PC_11	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	D	0.02	0.02%	2016	2023	1	1	0
PC_2	TRADIZIONALE	VITE	A	-0.23	-0.11%	0		6	1	St: f.a.
PC_2	INTEGRATA	VITE	C	0.13	0.10%	2016	2021	3	1	nudo
PC_3	TRADIZIONALE	VITE	A	0.22	0.13%	0		3	0	SI
PC_3	INTEGRATA	VITE	A	0.12	0.09%	2016	2021	3	1	St: f.a.
PC_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	0.32	0.39%	2018 ¹³		1	1	0
PC_4	INTEGRATA	SEMINATIVO	B	-0.04	-0.03%	2016	2022	3	0	0
PC_5	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	D	0.02	0.01%	0		4	2	0
PC_5	INTEGRATA	SEMINATIVO	D	0.01	0.01%	2016		3	1	0
PC_7	INTEGRATA	SEMINATIVO	C	0.12	0.07%	2016	2021	1	4	0
PC_8	TRADIZIONALE	VITE	A	0.40	0.31%	0		3	1	SI
PC_8	BIOLOGICO	VITE	A	0.20	0.14%	2015		3	3	SI
PC_9	TRADIZIONALE	VITE	A	0.11	0.06%	0		3	1	SI
PC_9	BIOLOGICO	VITE	A	0.19	0.13%	2015		3	1	SI
PR_1	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	B	0.12	0.11%	0		1	3	0
PR_1	BIOLOGICO	SEMINATIVO	C	0.17	0.11%	2021	2022	2	1	0
PR_3	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	B	0.15	0.10%	0		0	0	0
PR_3	BIOLOGICO	SEMINATIVO	B	0.03	0.02%	2010	2021	0	1	0
PR_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	C	0.11	0.08%	0		0	6	0
PR_5	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	B	0.00	0.00%	0		0	3	0
PR_5	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	D	0.28	0.28%	2016		2	0	0
PR_6	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	A	0.23	0.11%	2016	2023	1	0	semina su sodo
RA_1	INTEGRATA	PERO	E	-0.01	-0.01%	2016		3	2	SI
RA_2	INTEGRATA	VITE	D	-0.37	-0.28%	2016	2021	3	3	SI
RA_4	TRADIZIONALE	VITE	B	-0.66	-0.29%	0		3	2	SI
RA_4	INTEGRATA	VITE	B	0.10	0.07%	2016	2021	6	2	SI
RA_7	BIOLOGICO	SEMINATIVO	B	0.42	0.40%	2010		3	2	0
RA_8	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	C	0.05	0.05%	Adesione a INTEGRATO nel 2023		3	2	0
RA_8	BIOLOGICO	SEMINATIVO	A	0.07	0.06%	2012		3	5	0
RE_1	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	C	-0.02	-0.02%	0		6	1	0
RE_1	INTEGRATA	SEMINATIVO	D	0.18	0.19%	2016		2	1	0
RE_3	TRADIZIONALE	VITE	E	0.00	0.00%	0		5	2	SI
RE_3	INTEGRATA	VITE	C	0.29	0.19%	2016		3	2	SI
RE_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	C	0.15	0.10%	0		0	0	0
RE_4	BIOLOGICO	SEMINATIVO	C	-0.13	-0.08%	2010		1	4	0
RE_5	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	E	0.02	0.02%	0		3	0	0
RE_5	BIOLOGICO	SEMINATIVO	D	0.07	0.05%	2010		3	0	0

Tabella 59. Elenco degli appezzamenti in cui NON vi è stata una variazione significativa di carbonio organico %

¹³ Adesione a 10.1.2 Gestione effluenti

5.2.2 Valutazione generale per coltura

In questo paragrafo si sono analizzate le relazioni tra le tipologie di coltura e l'aumento di carbonio organico considerando anche fattori quali fertilizzazioni organiche e/o residui (lì dove le informazioni sono presenti).

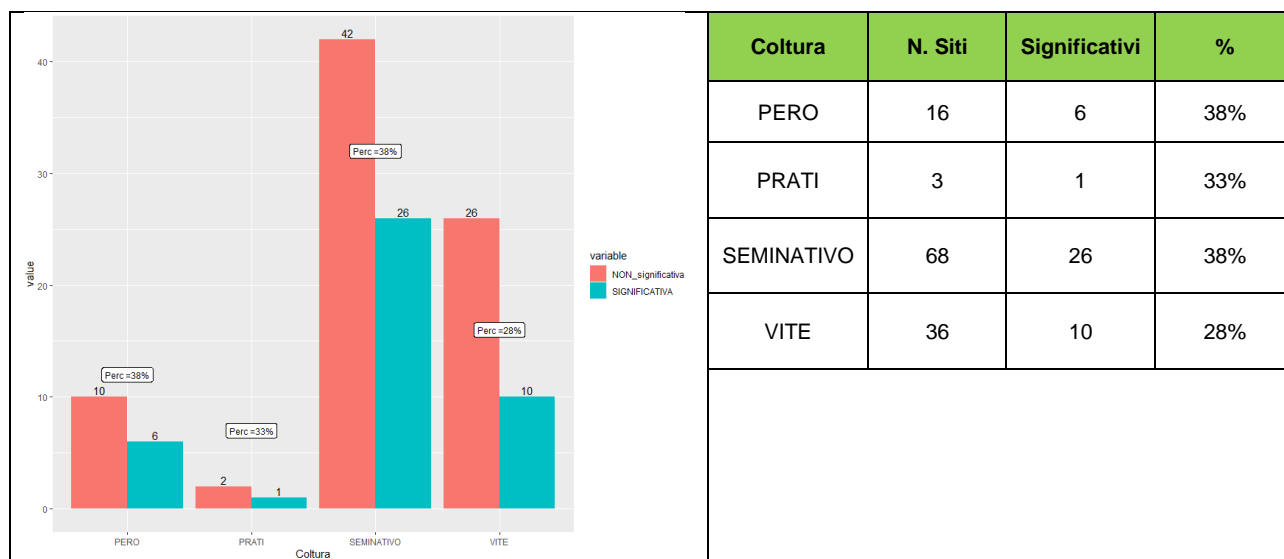


Tabella 60: Valutazione dell'aumento di CORG in funzione delle colture

Per quanto riguarda i frutteti, 16 appezzamenti (8 PSR e 8 Convenzionale) rientrano nel gruppo del PERO. Tutti presentano inerbimento nell'interfila, interrimento residui e concimazioni organiche nel periodo di studio. 5 presentano un decremento di carbonio e 3 di questi sono passati ad altra coltura. Gli altri 11 presentano incremento di carbonio ed in 6 casi è statisticamente significativo (37% del totale PERO).

36 appezzamenti (17 PSR e 19 Convenzionale) rientrano nel gruppo del VITE. 32 (90%) presentano inerbimento nell'interfila o a file alterne e solo 3 sono lavorati nell'interfila. 29 (81%) presentano almeno una concimazione organica nel periodo di studio e 35 hanno operato interrimento dei residui. 9 (25%) appezzamenti presentano decremento del carbonio. Gli altri 27 presentano incremento di carbonio ed in 10 casi è statisticamente significativo (28% del totale VITE).

68 appezzamenti (36 PSR e 32 Convenzionale) rientrano nel gruppo del SEMINATIVO. 48 (71%) presentano almeno una concimazione organica nel periodo di studio e 53 hanno operato interrimento dei residui. 8 (11%) appezzamenti presentano decremento del carbonio. Gli altri 60 presentano incremento di carbonio ed in 26 casi è statisticamente significativo (38% del totale SEMINATIVO).

Significatività statistica	COLTURA						
	PERÒ		PRATI	SEMINATIVO		VITE	
	PSR	CONV		PSR	CONV	PSR	CONV
SIGNIFICATIVO	1	5	1	14	12	3	7
NON significativo	7	3	2	22	20	14	12
% significativo	12%	62%	33%	33%	37%	18%	36%

Tabella 61: Valutazione dell'aumento di CORG in funzione delle colture e della gestione

5.2.3 Valutazione generale per gestione

In questo paragrafo si sono analizzate le relazioni tra le tipologie di gestione suddivise in funzione dell'impegno PSR e l'aumento di carbonio organico considerando anche fattori quali fertilizzazioni organiche e/o residui (lì dove le informazioni sono presenti).

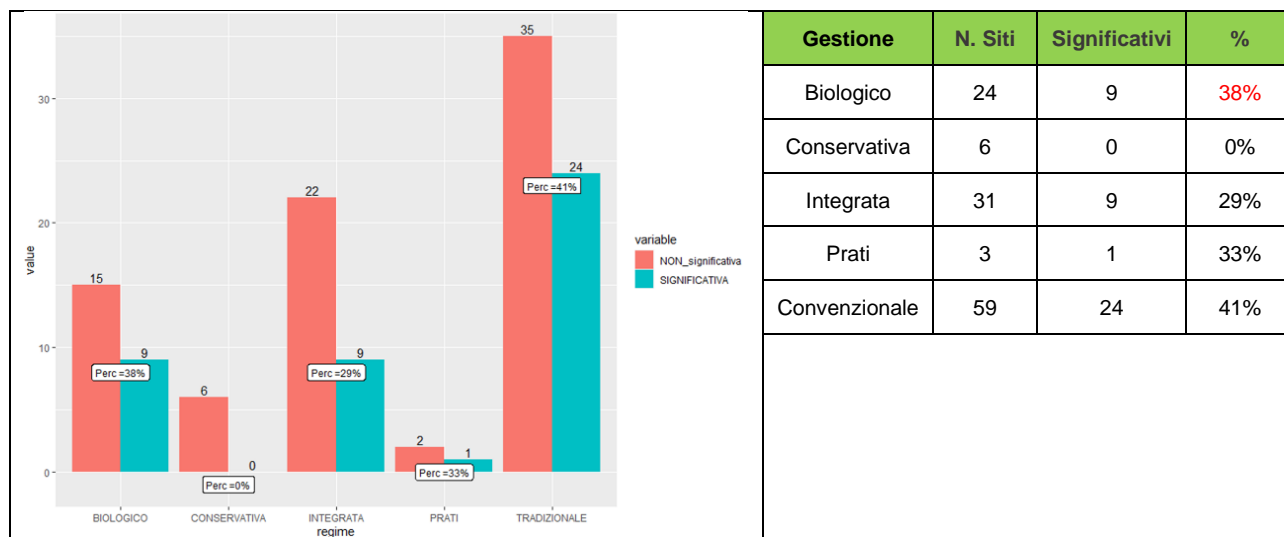


Tabella 62 Valutazione dell'aumento di CORG in funzione della gestione

Per quanto riguarda la tipologia di gestione, 24 appezzamenti rientrano nel gruppo Biologico e 4 presentano un decremento di carbonio. Gli altri 20 presentano incremento di carbonio che in 9 casi è statisticamente significativo (38%). In questi 9 siti la coltura è sempre a seminativo, presentano almeno una concimazione organica e/o interrimento dei residui nel periodo di studio ed inoltre l'anno di inizio impegno risulta essere antecedente al 2012.

6 appezzamenti rientrano nel gruppo della gestione Conservativa, sono tutti a seminativo e l'anno di inizio impegno risulta al 2016, ma nessuno di essi ha mostrato un aumento di Carbonio organico statisticamente significativo.

Nel gruppo della gestione Integrata risultano 31 aziende. 7 presentano un decremento di carbonio. Gli altri 24 presentano incremento di carbonio che in 9 casi è statisticamente significativo (29%). In questi 9 siti la coltura è in 5 a seminativo, 1 pero e 3 vite. Tutte e 9 presentano almeno una concimazione organica e/o interrimento dei residui nel periodo di studio ed inoltre l'anno di inizio impegno risulta essere al 2016.

Infine, per quanto riguarda i siti non aderenti al PSR ovvero del gruppo Convenzionale, sono 59 e 9 presentano un decremento di carbonio. Gli altri 50 presentano incremento di carbonio che in 24 casi è statisticamente significativo (41%). In questi 24 siti la coltura è 12 a seminativo, 5 pero e 7 vite, ma tutti presentano almeno una concimazione organica e/o interrimento dei residui nel periodo di studio. Inoltre, 2 di questi hanno aderito ad Integrato nel 2023 ed un altro alla gestione effluenti nel 2018.

Gestione	Coltura	TOT SITI	Significativi	%
Biologico	SEMINATIVO	19	9	47%
	VITE	5	0	0%
Conservativa	SEMINATIVO	6	0	0%
Integrata	PERO	8	1	12%
	SEMINATIVO	11	5	45%
	VITE	12	3	25%
Convenzionale	PERO	8	5	62%
	SEMINATIVO	32	12	38%
	VITE	19	7	37%
Prati	PRATI	3	1	33%

Tabella 63: Valutazione dell'aumento di CORG in funzione della gestione e della coltura

5.2.4 Valutazione generale per Tipologia di Suolo

In questo paragrafo si sono analizzate le relazioni tra le tipologie di suolo e l'aumento di carbonio organico considerando anche fattori quali fertilizzazioni organiche e/o residui (lì dove le informazioni sono presenti).

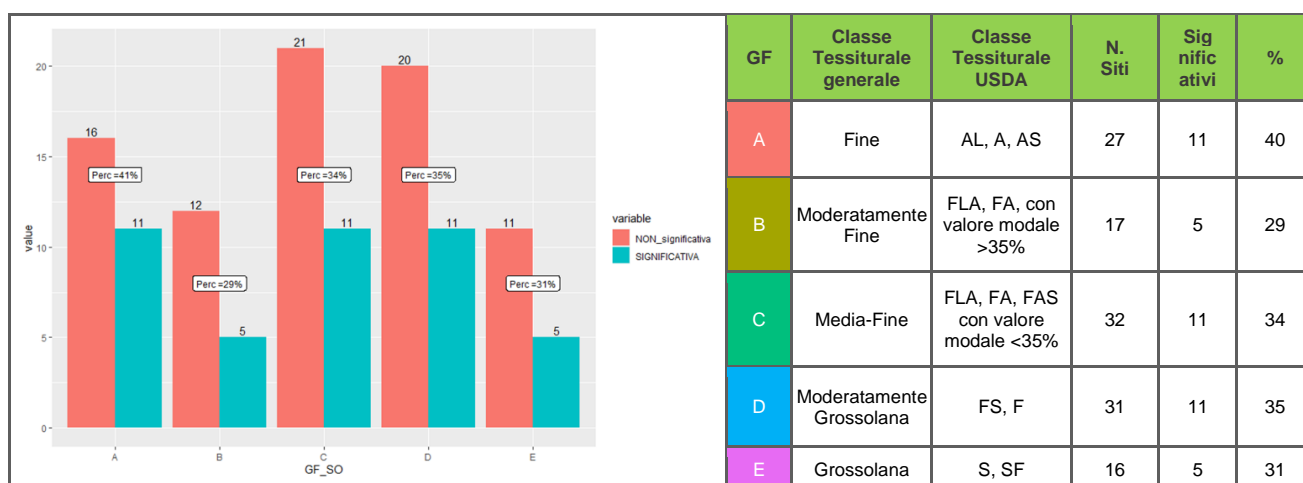


Tabella 64: Valutazione dell'aumento di CORG in funzione della tipologia di suolo

Per quanto riguarda i suoli fini del gruppo funzionale **A** rientrano 27 appezzamenti (15 PSR e 12 Convenzionale). 3 presentano un decremento di carbonio. Gli altri 24 presentano incremento di carbonio ed in 11 casi è statisticamente significativo (40% del totale) di cui 5 con gestione convenzionale e 6 PSR. In questi 11 siti la coltura è 9 di seminativo, e 2 vite; 8 presentano almeno una concimazione organica e/o interrimento dei residui nel periodo di studio.

Per quanto riguarda i suoli moderatamente fini del gruppo funzionale **B** rientrano 17 appezzamenti (9 PSR e 8 Convenzionale). 3 presentano un decremento di carbonio. Gli altri 14 presentano incremento di carbonio ed in 5 casi è statisticamente significativo (29% del totale) di cui 2 con gestione convenzionale e 3 PSR. In questi 5 siti la coltura è sempre seminativo e tutti presentano almeno una concimazione organica e/o interrimento dei residui nel periodo di studio.

Per quanto riguarda i suoli medio-fini del gruppo funzionale **C** rientrano 32 appezzamenti (17 PSR e 15 Convenzionale). 5 presentano un decremento di carbonio. Gli altri 27 presentano incremento di carbonio ed in 11 casi è statisticamente significativo (34% del totale) di cui 5 con gestione convenzionale e 6 PSR. In questi 11 siti la coltura è 6 di seminativo, 1 prato, 2 pero e 2 vite; tutti, escluso il prato, presentano almeno una concimazione organica e/o interrimento dei residui nel periodo di studio.

Per quanto riguarda i suoli moderatamente grossolani del gruppo funzionale **D** rientrano 31 appezzamenti (17 PSR e 14 Convenzionale). 4 presentano un decremento di carbonio. Gli altri 27 presentano incremento di carbonio ed in 11 casi è statisticamente significativo (35% del totale) di cui 7 con gestione convenzionale e 4 PSR. In questi 11 siti la coltura è 5 seminativo, 3 pero e 3 vite, inoltre tutti presentano almeno una concimazione organica e/o interrimento dei residui nel periodo di studio.

Infine, per quanto riguarda i suoli grossolani del gruppo funzionale **E** rientrano 16 appezzamenti (6 PSR e 10 Convenzionale). 4 presentano un decremento di carbonio. Gli altri 12 presentano incremento di carbonio ed in 5 casi è statisticamente significativo (31% del totale) tutti con gestione convenzionale. In questi 5 siti la coltura è 1 seminativo, 1 pero e 3 vite, inoltre tutti presentano almeno una concimazione organica e/o interrimento dei residui nel periodo di studio.

UGF	Coltura	N. Siti	Significativi	%	UGF	Coltura	N. Siti	Significativi	%
A	SEMINATIVO	14	9	64%	D	PERO	6	3	50%
	VITE	12	2	17%		SEMINATIVO	18	5	28%
B	SEMINATIVO	13	5	38%	E	VITE	7	3	43%
	VITE	3	0	0%		PERO	6	1	17%
C	PERO	4	2	50%	SEMINATIVO	3	1	33%	
	SEMINATIVO	20	6	30%	VITE	7	3	43%	
	VITE	7	2	29%					




Tabella 65: Valutazione dell'aumento di CORG in funzione della tipologia di suolo e della coltura

5.2.5 Valutazione generale per Provincia

Di seguito, per ogni provincia, viene indicato, per ogni coppia di appezzamenti,

- il tipo di regime (PSR o DU);
- la gestione colturale (seminativi, vite, pero, prato);
- l'incremento o decremento di carbonio organico nel triennio;
- l'anno d'inizio dell'impegno per le aziende PSR;
- successione colturale nell'arco temporale 2017-2022;
- presenza o meno di fertilizzazioni e se l'informazione è disponibile.

Le informazioni sulle fertilizzazioni sono schematizzate per colori come da seguente legenda:

	FERTILIZZAZIONI organiche ESEGUITE (registrate nel DB)
	FERTILIZZAZIONI organiche NON ESEGUITE (da intervista).
	NO DATI (non risponde all'intervista)

- Il colore **verde** indica che il gestore ha risposto all'intervista e ha indicato tipo di fertilizzante organico, date e quantità erogate. Per ogni fertilizzante commerciale, dove possibile, sono stati inputati i titoli di N, P, K e sostanza organica. In alcuni casi i titoli sono ignoti (es. letame), ma è stato aggiunto un flag nel database per indicare la presenza di fertilizzazione organica. Non sempre si hanno informazioni per tutto il periodo: spesso l'anno 2022 è carente di dati.
- Il colore **arancione** indica che il gestore ha risposto all'intervista e ha affermato di non avere eseguito fertilizzazioni per gli anni indicati.
- Il colore **rosso** indica che il gestore non ha risposto all'intervista; talora si hanno informazioni solo sull'uso del suolo. L'uso del suolo degli anni 2019 e 2022 deriva dall'indagine in campo ed è sempre compilato, anche in assenza di risposta all'intervista.

Il quadro che ne esce è piuttosto complesso e impedisce, di fatto, di eseguire una valutazione statistica completa. In alcuni casi il gestore ha risposto alle domande nel triennio 2017-2019 e non in quello successivo, per cui si può supporre (se la fertilizzazione è sempre stata eseguita nel triennio precedente) che il comportamento sia rimasto analogo anche nel triennio seguente. Tuttavia, non avendo conferma, il dato è stato considerato mancante.

Nei grafici a boxplot il confronto è fatto sempre confrontando i valori delle tre aree campione (per aumentare il campione statistico).

5.2.5.1 Provincia di Piacenza

In questa provincia ci sono 11 coppie di aziende, di cui 12 in pianura e 10 in collina. In 6 appezzamenti si registra un incremento significativo di carbonio organico. 5 di questi sono non aderenti al PSR e quindi con sistemi tradizionali mentre uno è stato in integrata fino al 2022 anno del rilevamento (vedi tabelle e grafico seguenti).

ID	Regime	Coltura	SUOLO	UGF	MediaCORG_2019	MediaCORG_2022	Increment. % CORG	p. VALUE T-TEST	Significatività	Anno inizio impegno
PC_1	TRADIZIONALE	VITE	VCB	A	2.18	2.44	0.12%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
PC_1	INTEGRATA	VITE	VCB	A	1.6	1.52	-0.05%	0.585	NON_significativa	2016 - cessato 2021
PC_2	TRADIZIONALE	VITE	CBE1	A	2.15	1.93	-0.11%	0.919	NON_significativa	0
PC_2	INTEGRATA	VITE	RIV1	C	1.32	1.45	0.10%	0.138	NON_significativa	2016 - cessato 2021
PC_3	TRADIZIONALE	VITE	CBE1	A	1.65	1.87	0.13%	0.198	NON_significativa	0
PC_3	INTEGRATA	VITE	ROC1	A	1.37	1.48	0.09%	0.219	NON_significativa	2016 - cessato 2021
PC_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	CTD1	D	0.83	1.15	0.39%	0.058	NON_significativa	
PC_4	INTEGRATA	SEMINATIVO	RIV1	B	1.14	1.1	-0.03%	0.646	NON_significativa	2016- cessato 2022
PC_5	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	BEL1	D	1.2	1.21	0.01%	0.272	NON_significativa	0
PC_5	INTEGRATA	SEMINATIVO	BEL1	D	1.33	1.34	0.01%	0.469	NON_significativa	2016
PC_6	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	RIV1	D	0.95	1.89	0.99%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
PC_6	INTEGRATA	SEMINATIVO	CTD1	D	0.97	1.14	0.18%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016- cessato 2021
PC_7	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	SMB1	C	1.36	1.56	0.15%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
PC_7	INTEGRATA	SEMINATIVO	SMB1	C	1.65	1.77	0.07%	0.194	NON_significativa	2016- cessato 2021
PC_8	TRADIZIONALE	VITE	VCB	A	1.3	1.7	0.31%	0.144	NON_significativa	0
PC_8	BIOLOGICO	VITE	VCB	A	1.45	1.65	0.14%	0.193	NON_significativa	2015
PC_9	TRADIZIONALE	VITE	VCB	A	1.79	1.91	0.06%	0.253	NON_significativa	0
PC_9	BIOLOGICO	VITE	VCB	A	1.42	1.61	0.13%	0.14	NON_significativa	2015
PC_10	TRADIZIONALE	VITE	CBA	A	1.23	2.2	0.79%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
PC_10	BIOLOGICO	VITE	SMD	A	1.18	1.81	0.54%	0.095	NON_significativa	2010
PC_11	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	GHI1	D	1.14	1.62	0.42%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
PC_11	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	GHI1	D	1.18	1.2	0.02%	0.457	NON_significativa	2016- cessato nel 2023

Tabella 66. Piacenza. Confronto fra le 11 coppie di aziende

COP PIA	APPEZZ	Gestione	UGF	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PC_1	PC_I_PSR_1	Integrata	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	PC_I_DU_1	Convenzionale	A	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
PC_2	PC_I_PSR_2	Integrata	C	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	PC_I_DU_2	Convenzionale	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
PC_3	PC_I_PSR_3	Integrata	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	PC_I_DU_3	Convenzionale	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
PC_4	PC_I_PSR_4	Integrata	B	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	ORZO	ORZO	GRANO TENERO	ORZO	ERBA MEDICA
	PC_I_DU_4	Convenzionale	D	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
PC_5	PC_I_PSR_5	Integrata	D	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	GRANO TENERO	MAIS			GRANO TENERO
	PC_I_DU_5	Convenzionale	D	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	MAIS	POMODORO		MAIS	GRANO TENERO
PC_6	PC_I_PSR_6	Integrata	D	Seminativo	SIGNIFICATIVA	MAIS	PRATO POLIFIT A	PRATO POLIFITA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	PC_I_DU_6	Convenzionale	D	Seminativo	SIGNIFICATIVA	MAIS	ORZO	MAIS			GRANO TENERO
PC_7	PC_I_PSR_7	Integrata	C	Seminativo	NON significativa	MAIS	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	PC_I_DU_7	Convenzionale	C	Seminativo	SIGNIFICATIVA	MAIS	GRANO TENERO	MAIS	MAIS	GRANO TENERO	MAIS
PC_8	PC_B_PSR_8	Biologico	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	PC_B_DU_8	Convenzionale	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
PC_9	PC_B_PSR_9	Biologico	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	PC_B_DU_9	Convenzionale	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
PC_10	PC_B_PSR_10	Biologico	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	SUOLO NUDO	SUOLO NUDO	VITE
	PC_B_DU_10	Convenzionale	A	Vite	SIGNIFICATIVA			VITE	VITE	VITE	VITE
PC_11	PC_C_PSR_11	Conservativa	D	Seminativo	NON significativa	ORZO	ORZO	ORZO		MAIS	GRANO DURO
	PC_C_DU_11	Convenzionale	D	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	LOGLIO	SORGO FORAGGIO	LOGLIO

Tabella 67. Piacenza. Successioni colturali e informazioni sulle fertilizzazioni organiche

Risultati PAIRED T-Test CODA SINGOLA CO_2022 > CO_2019

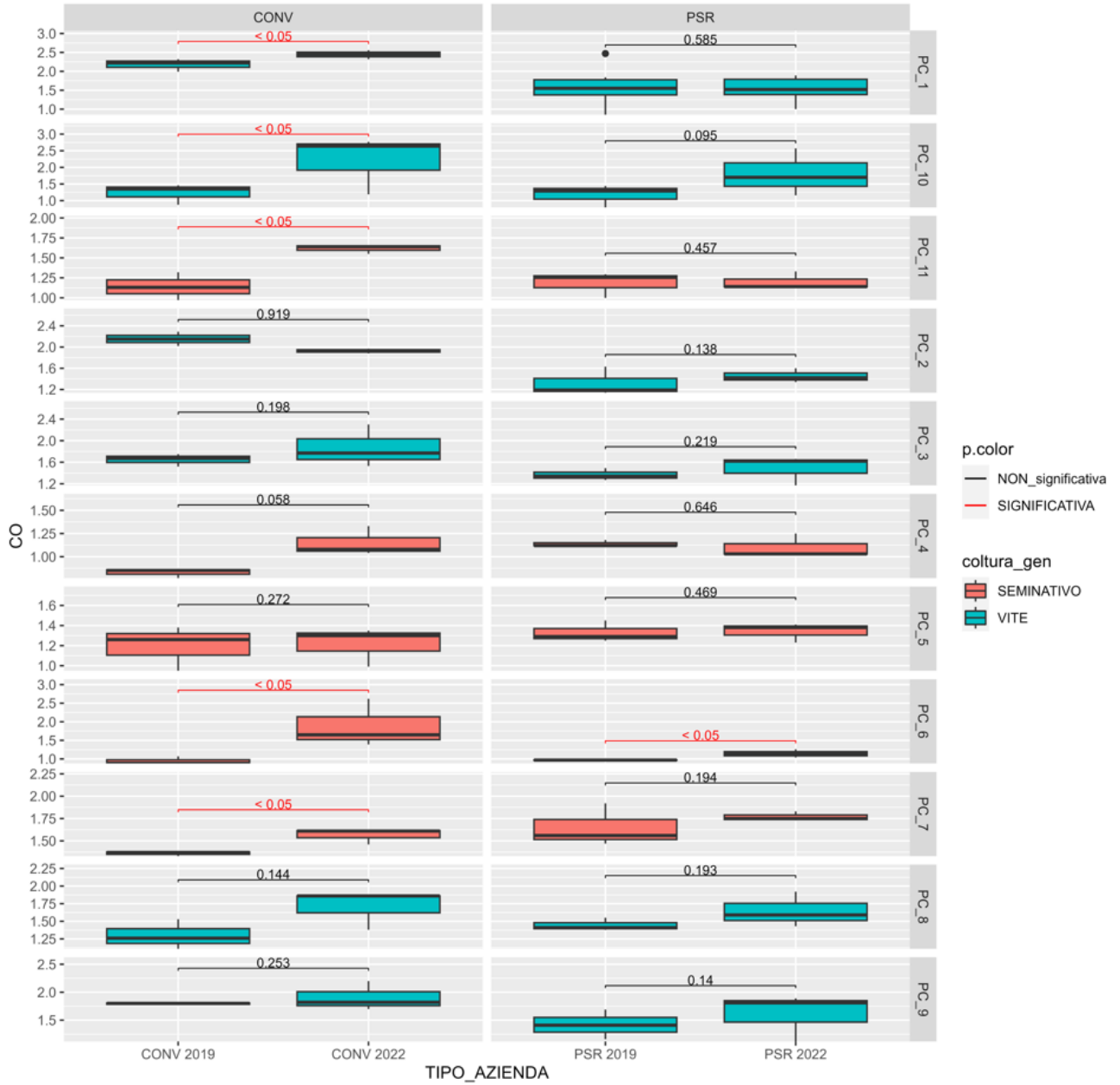


Figura 23. Confronto dei valori di carbonio organico 2019-2022 per ogni coppia

5.2.5.2 Provincia di Parma

In questa provincia ci sono 6 coppie di aziende, di cui 5 in pianura (4 in realtà sul margine appenninico) e 1 in collina. Dal grafico a boxplot sottostante si può notare che c'è una notevole differenza già nei valori di partenza del carbonio organico, sia fra gli appezzamenti delle coppie PR_1 (che si trova in collina) che PR_5 (dove le due aziende hanno anche suoli piuttosto diversi).

Quattro aziende registrano un aumento significativo di carbonio organico (vedi tabelle e grafico seguenti).

ID	Regime	Coltura	SUOLO	UGF	MediaCORG_2019	MediaCORG_2022	Increment. % CORG	p. VALUE T-TEST	Significatività	Anno inizio impegno
PR_1	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	CRN2	B	1.09	1.21	0.11%	0.233	NON_significativa	
PR_1	BIOLOGICO	SEMINATIVO	FRN	C	1.52	1.7	0.11%	0.294	NON_significativa	2021 - cessato nel 2022
PR_2	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	MFA1	B	1.25	1.67	0.34%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
PR_2	BIOLOGICO	SEMINATIVO	CDV1	A	1.14	1.72	0.50%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2011
PR_3	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	MCA1	B	1.41	1.56	0.10%	0.257	NON_significativa	0
PR_3	BIOLOGICO	SEMINATIVO	MFA1	B	1.61	1.63	0.02%	0.406	NON_significativa	2010 - cessato nel 2021
PR_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	MBS2	C	1.34	1.45	0.08%	0.272	NON_significativa	0
PR_4	BIOLOGICO	SEMINATIVO	TAL1	B	1.4	1.82	0.30%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2010
PR_5	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	CDV1	B	2.13	2.13	0.00%	0.5	NON_significativa	0
PR_5	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	GHI1	D	0.99	1.26	0.28%	0.096	NON_significativa	2016
PR_6	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	SOR1	A	2.05	2.28	0.11%	0.069	NON_significativa	2016-cessato 2023
PR_6	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	SOR1	A	1.86	2.35	0.26%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0

Tabella 68. Parma. Confronto fra le 6 coppie di aziende

COPPIA	APPEZZ.	Gestione	UGF	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PR_1	PR_B_PSR_1	BIOLOGICO	C	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRAMINACEE FORAGGERE
	PR_B_DU_1	Convenzionale	B	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO			GRANO DURO
PR_2	PR_B_PSR_2	BIOLOGICO	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	PR_B_DU_2	Convenzionale	B	Seminativo	SIGNIFICATIVA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
PR_3	PR_B_PSR_3	BIOLOGICO	B	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO
	PR_B_DU_3	Convenzionale	B	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
PR_4	PR_B_PSR_4	BIOLOGICO	B	Seminativo	SIGNIFICATIVA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	GRANO TENERO	GRANO TENERO
	PR_B_DU_4	Convenzionale	C	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	GRANO TENERO	ERBA MEDICA
PR_5	PR_C_PSR_5	CONSERVATIVA	D	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	GRANO TENERO	FORAGGERE	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	PR_C_DU_5	Convenzionale	B	Seminativo	NON significativa	LOGLIO	LOGLIO	LOGLIO		GRAMINACEE FORAGGERE	GRAMINACEE FORAGGERE
PR_6	PR_C_PSR_6	CONSERVATIVA	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	LOGLIO	LOGLIO+ ERBA MEDICA			GRANO DURO
	PR_C_DU_6	BIOLOGICO	A	Seminativo	NON significativa			ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA

Tabella 69. Parma. Successioni colturali e informazioni sulle fertilizzazioni organiche

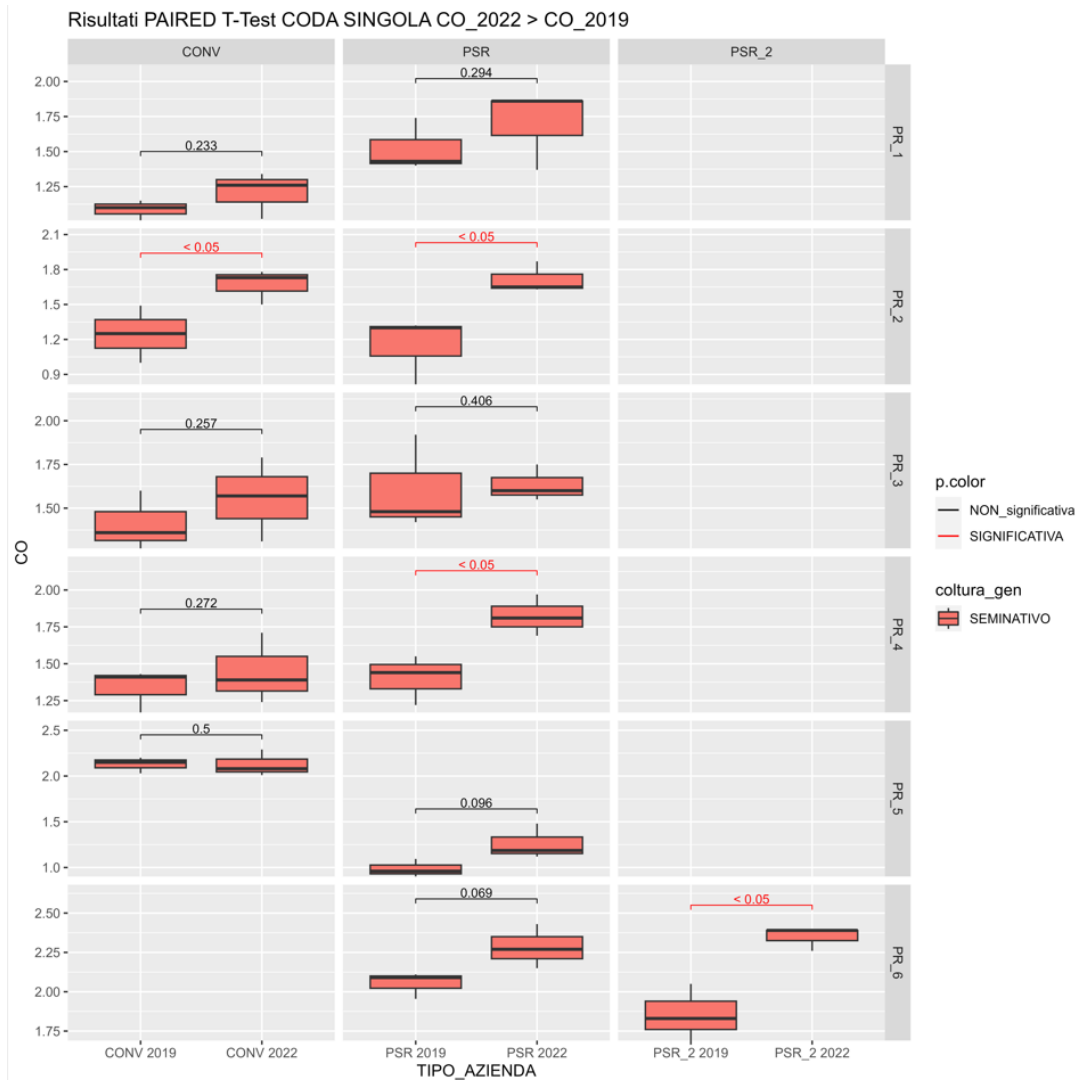


Figura 24: Confronto dei valori di carbonio organico 2019-2022 per ogni coppia

5.2.5.3 Provincia di Reggio Emilia

In questa provincia ci sono 5 coppie di aziende, tutte collocate in pianura. In 2 appezzamenti si registra un incremento significativo di carbonio organico (vedi tabelle e grafico seguenti).

ID	Regime	Coltura	SUOLO	UGF	MediaCORG_2019	MediaCORG_2022	Increment. % CORG	p. VALUE T-TEST	Significatività	Anno inizio impegno
RE_1	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	TAL1	C	1.13	1.11	-0.02%	0.645	NON_significativa	0
RE_1	INTEGRATA	SEMINATIVO	GHI1	D	0.98	1.16	0.19%	0.061	NON_significativa	2016
RE_2	TRADIZIONALE	VITE	CTL1	C	1.93	2.41	0.25%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
RE_2	INTEGRATA	VITE	CTL1	D	1.55	2.01	0.29%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016 - passato in bio nel 2022
RE_3	TRADIZIONALE	VITE	CTL1	E	1.5	1.5	0.00%	0.495	NON_significativa	0
RE_3	INTEGRATA	VITE	CTL1	C	1.48	1.77	0.19%	0.133	NON_significativa	2016
RE_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	CTL4	C	1.58	1.73	0.10%	0.164	NON_significativa	0
RE_4	BIOLOGICO	SEMINATIVO	CTL4	C	1.67	1.54	-0.08%	0.955	NON_significativa	2010
RE_5	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	MOR1	E	1.33	1.35	0.02%	0.418	NON_significativa	0
RE_5	BIOLOGICO	SEMINATIVO	CAS1	D	1.34	1.4	0.05%	0.086	NON_significativa	2010

Tabella 70. Reggio Emilia. Confronto fra le 5 coppie di aziende

COPPIA	APPEZZ.	Gestione	UGF	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
RE_1	RE_I_PSR_1	INTEGRATA	D	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	GRANO TENERO	LOIETTO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	RE_I_DU_1	Convenzionale	C	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	GRANO TENERO	MAIS	GIRASOLE	GRANO TENERO	GIRASOLE
RE_2	RE_I_PSR_2	INTEGRATA	D	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	RE_I_DU_2	Convenzionale	C	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
RE_3	RE_I_PSR_3	INTEGRATA	C	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	RE_I_DU_3	Convenzionale	E	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
RE_4	RE_B_PSR_4	BIOLOGICO	C	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	ORZO	ORZO
	RE_B_DU_4	Convenzionale	C	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA			GRANO TENERO
RE_5	RE_B_PSR_5	BIOLOGICO	D	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO
	RE_B_DU_5	Convenzionale	E	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	GRANO TENERO	GRANO TENERO	MAIS	MAIS	MAIS

Tabella 71. Reggio Emilia. Successioni colturali e informazioni sulle fertilizzazioni organiche

Risultati PAIRED T-Test CODA SINGOLA CO_2022 > CO_2019

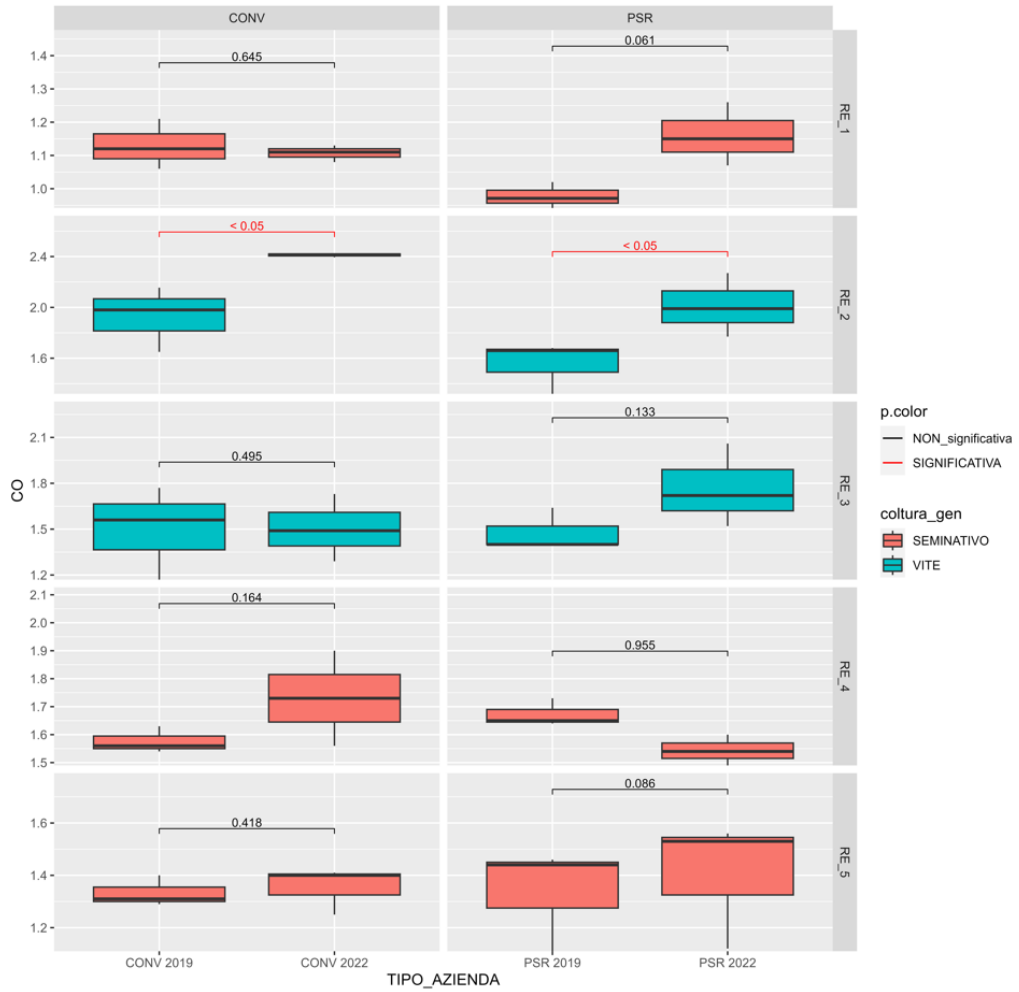


Figura 25: Confronto dei valori di carbonio organico 2019-2022 per ogni coppia

5.2.5.4 Provincia di Modena

In questa provincia ci sono 9 coppie di aziende, di cui 7 in pianura e 2 in collina. La coppia MO_1 è poco confrontabile in quanto nel sito MO_I_PSR_1 a INTEGRATA la vite è stata estirpata nel 2018 e di fatto è stato seguito un regime a seminativo tradizionale. In 7 appezzamenti si registra un incremento significativo di carbonio organico (vedi tabelle e grafico seguenti).

ID	Regime	Coltura	SUOLO	UGF	MediaCORG_2019	MediaCORG_2022	Increment. % CORG	p. VALUE T-TEST	Significatività	Anno inizio impegno
MO_1	TRADIZIONALE	VITE	TEG1	D	2.59	2.33	-0.10%	0.986	NON_significativa	0
MO_1	INTEGRATA	VITE	TEG1	D	1.6	1.61	0.00%	0.457	NON_significativa	2016 - cessato 2021
MO_2	INTEGRATA	PERO	SMB1	D	1.78	1.93	0.08%	0.137	NON_significativa	2016- cessato nel 2021
MO_2	TRADIZIONALE	PERO	SMB1	D	1.83	2.36	0.29%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
MO_3	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	SMB1	D	1.16	1.25	0.08%	0.059	NON_significativa	0
MO_3	INTEGRATA	SEMINATIVO	SMB2	C	1.27	1.4	0.10%	0.061	NON_significativa	2016- cessato nel 2021
MO_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	RSD1	A	1.54	1.69	0.10%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
MO_4	INTEGRATA	SEMINATIVO	BEG1	A	1.41	1.72	0.23%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016- cessato nel 2021
MO_5	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	LBA2	C	1.37	1.58	0.16%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
MO_5	BIOLOGICO	SEMINATIVO	CTL3	C	1.63	1.85	0.13%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2010
MO_6	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	GLS2	A	1.82	1.96	0.07%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	Adesione a INTEGRATO nel 2023
MO_6	BIOLOGICO	SEMINATIVO	RSD1	A	1.65	1.94	0.18%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2010
MO_7	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	CBA	C	1.12	1.08	-0.04%	0.628	NON_significativa	0
MO_7	BIOLOGICO	SEMINATIVO	FRN	C	1.71	1.66	-0.03%	0.647	NON_significativa	2010
MO_8	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	SIBz	B	1.68	1.83	0.09%	0.134	NON_significativa	0
MO_8	BIOLOGICO	SEMINATIVO	SIB2	C	1.22	1.18	-0.03%	0.727	NON_significativa	2010
MO_9	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	BARz	C	1.46	1.69	0.16%	0.068	NON_significativa	0
MO_9	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	TIE1	D	1.4	1.71	0.22%	0.106	NON_significativa	2016

Tabella 72. Modena. Confronto fra le 9 coppie di aziende

COPIA	APPEZZ.	Gestione	TIPO DI SUOLO	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
MO_1	MO_I_PSR_1	INTEGRATA	D	Vite	NON significativa	VITE	GRANO TENERO	SORGO DA FORAGGIO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	MO_I_DU_1	Convenzionale	D	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
MO_2	MO_I_PSR_2	INTEGRATA	D	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
	MO_I_DU_2	Convenzionale	D	Pero	SIGNIFICATIVA	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
MO_3	MO_I_PSR_3	INTEGRATA	C	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	SORGO DA FORAGGIO	BARBABIETO LA DA ZUCCHERO			GRANO TENERO
	MO_I_DU_3	Convenzionale	D	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	MAIS	GRANO TENERO	MAIS	GRANO TENERO	MAIS
MO_4	MO_I_PSR_4	INTEGRATA	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO
	MO_I_DU_4	Convenzionale	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	SORGO DA GRANELLA	GRANO TENERO	SORGO	GRANO TENERO	BARBABIETO LA DA ZUCCHERO

COPPIA	APPEZZ.	Gestione	TIPO DI SUOLO	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
MO_5	MO_B_PSR_5	BIOLOGICO	C	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	MO_B_DU_5	Convenzionale	C	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	ORZO	BARBABIETO LA DA ZUCCHERO			GRANO TENERO
MO_6	MO_B_PSR_6 ¹⁴	BIOLOGICO	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	ORZO	ERBA MEDICA
	MO_B_DU_6	Convenzionale	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
MO_7	MO_B_PSR_7	BIOLOGICO	C	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	GRANO TENERO
	MO_B_DU_7	Convenzionale	C	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	GRANO TENERO			GRANO TENERO
MO_8	MO_B_PSR_8	BIOLOGICO	C	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	GRANO TENERO
	MO_B_DU_8	Convenzionale	B	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO SEGALATO - DA FORAGGIO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
MO_9	MO_C_PSR_9	CONSERVATIVA	D	Seminativo	NON significativa	SOIA	GRANO TENERO	SORGO	ORZO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	MO_C_DU_9	Convenzionale	C	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA

Tabella 73. Modena. Successioni colturali e informazioni sulle fertilizzazioni organiche

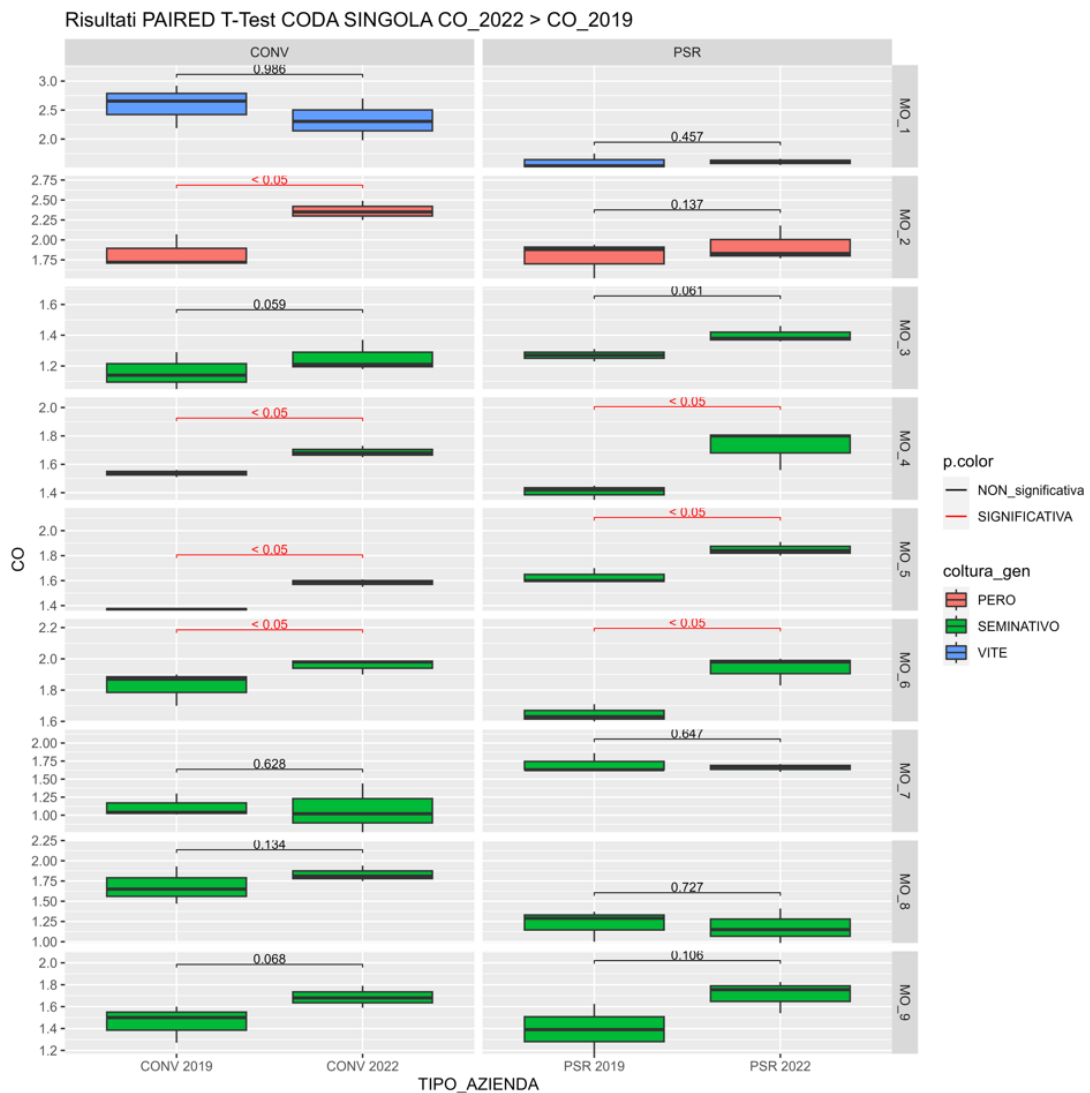


Figura 26. Confronto dei valori di carbonio organico 2019-2022 per ogni coppia

¹⁴ Cambio gestione nel 2021

5.2.5.5 Provincia di Bologna

In questa provincia ci sono 6 coppie di aziende + 1 azienda a prato, di cui 5 in pianura e 2 in collina. In 5 casi c'è un incremento significativo di carbonio organico (vedi tabelle e grafico seguenti).

ID	Regime	Coltura	SUOLO	UGF	MediaCORG_2019	MediaCORG_2022	Increment. % CORG	p. VALUE T-TEST	Significatività	Anno inizio impegno
BO_1	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	BEG1	A	2	2.1	0.05%	0.098	NON_significativa	adesione a INTEGRATO nel 2023
BO_1	INTEGRATA	SEMINATIVO	BEG1	A	2.12	2.31	0.09%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016
BO_2	TRADIZIONALE	PERO	SMB1	C	1.4	1.35	-0.04%	0.605	NON_significativa	0
BO_2	INTEGRATA	PERO	SMB1	E	1.16	1.38	0.19%	0.105	NON_significativa	2011
BO_3	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	GLS1	B	1.19	1.35	0.13%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
BO_3	INTEGRATA	SEMINATIVO	MDC4	C	1.07	1.39	0.29%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016
BO_4	TRADIZIONALE	VITE	CTL4	C	1.46	1.59	0.09%	0.123	NON_significativa	0
BO_4	INTEGRATA	VITE	CTL5	D	1.3	0.99	-0.24%	0.806	NON_significativa	2016
BO_5	TRADIZIONALE	VITE	SMT	C	0.85	1	0.18%	0.067	NON_significativa	0
BO_5	INTEGRATA	VITE	DOG2	C	0.66	1.13	0.71%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016 - cessato 2021
BO_6	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	GLS2	A	1.77	1.84	0.04%	0.312	NON_significativa	2016
BO_6	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	GLS2	A	1.3	1.37	0.06%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
BO_7	PRATI	PRATI	ITA1	A	1.4	1.29	-0.08%	0.956	NON_significativa	0

Tabella 74. Bologna. Confronto fra le 7 coppie di aziende

COPIA	APPEZZ.	Gestione	TIPO DI SUOLO	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
BO_1	BO_I_PSR_1	INTEGRATA	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	BARBABIETO LA DA ZUCCHERO	GRANO TENERO			BIETOLA DA FOGLIA E DA COSTA GIRASOLE
	BO_I_DU_1	Convenzionale	A	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	SORGO DA GRANELLA	GRANO TENERO			
BO_2	BO_I_PSR_2	INTEGRATA	E	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
	BO_I_DU_2	Convenzionale	C	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	GIRASOLE
BO_3	BO_I_PSR_3	INTEGRATA	C	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	BARBABIETO LA DA ZUCCHERO	GRANO DURO	SORGO	GRANO TENERO	BARBABIETO TOLA DA ZUCCHERO
	BO_I_DU_3	Convenzionale	B	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	SORGO DA GRANELLA	GRANO TENERO	BARBABIETO LA DA ZUCCHERO	GRANO TENERO	SORGO
BO_4	BO_I_PSR_4	INTEGRATA	D	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	BO_I_DU_4	Convenzionale	C	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
BO_5	BO_I_PSR_5	INTEGRATA	C	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	BO_I_DU_5	Convenzionale	C	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
BO_6	BO_C_PSR_6	CONSERVATIVA	A	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	SORGO DA GRANELLA	GRANO TENERO	SORGO	GRANO DURO	ORZO
	BO_C_DU_6	Convenzionale	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	SOIA	GRANO TENERO	SOIA	GRANO DURO	MAIS	GRANO DURO
BO_7	BO_P_PSR_7	prati	A	Prati	NON significativa	PRATO POLIFIT A	PRATO POLIFIT A	PRATO POLIFIT A	PRATI	PRATI	PRATI

Tabella 75. Bologna. Successioni colturali e informazioni sulle fertilizzazioni organiche

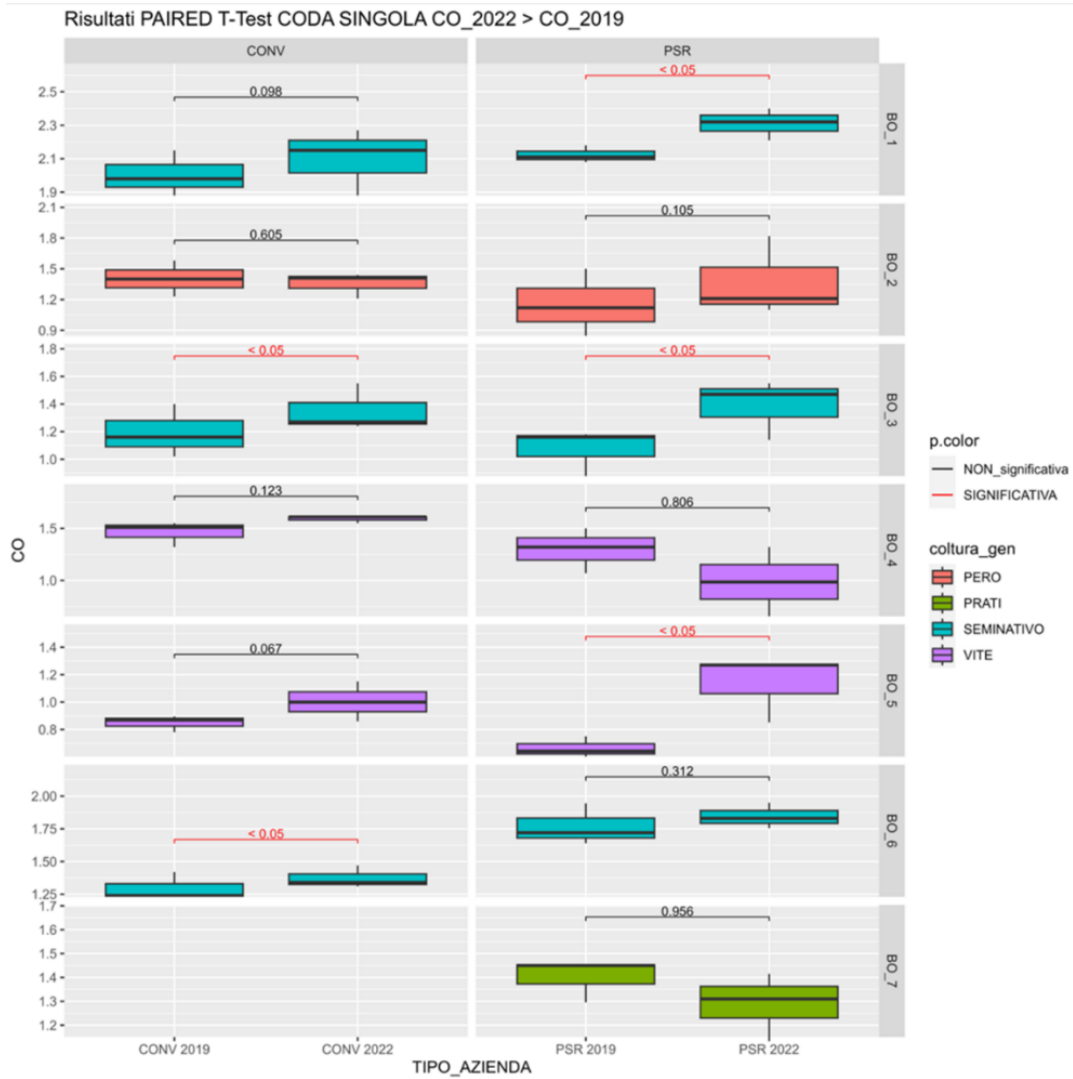


Figura 27. Confronto dei valori di carbonio organico 2019-2022 per ogni coppia

5.2.5.6 Provincia di Ferrara

L'azienda FE_C_DU_9 era stata inserita nella lista dei convenzionali e messa a confronto con un'azienda a regime conservativo, ma in realtà ha aderito fin dal 2016 (e probabilmente anche prima) alla misura 10.01.01 (produzione integrata). In 6 appezzamenti si registra un incremento significativo di carbonio organico (vedi tabelle e grafico seguenti).

ID	Regime	Coltura	SUOLO	UGF	MediaCORG_2019	MediaCORG_2022	Increment. % CORG	p. VALUE T-TEST	Significatività	Anno inizio impegno
FE_1	INTEGRATA	PERO	BAU4	D	1.53	1.5	-0.02%	0.615	NON_significativa	2016
FE_1	TRADIZIONALE	PERO	RUI1	C	1.44	1.72	0.19%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
FE_2	TRADIZIONALE	PERO	PRD3	D	1.41	1.91	0.36%	0.138	NON_significativa	0
FE_2	INTEGRATA	PERO	PRD1	C	1.77	2	0.13%	0.063	NON_significativa	2016
FE_3	INTEGRATA	PERO	BOC1	E	1.24	1.22	-0.02%	0.568	NON_significativa	2016
FE_3	TRADIZIONALE	PERO	VOL1	E	1.05	1.21	0.15%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
FE_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	VOL1	D	1.16	1.12	-0.03%	0.702	NON_significativa	0
FE_4	INTEGRATA	SEMINATIVO	VOL1	D	0.89	0.9	0.01%	0.353	NON_significativa	2016
FE_5	TRADIZIONALE	PERO	BAU1	C	2.01	2.76	0.38%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
FE_5	INTEGRATA	PERO	BAU4	D	1.31	1.85	0.42%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016- cessato nel 2021
FE_6	TRADIZIONALE	PERO	SEC1	E	1.42	1.33	-0.06%	0.919	NON_significativa	0
FE_6	INTEGRATA	PERO	VIL2	E	1.13	1.37	0.21%	0.06	NON_significativa	2016 - cessato nel 2023
FE_7	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	BAU4	D	1.01	1.03	0.01%	0.234	NON_significativa	0
FE_7	BIOLOGICO	SEMINATIVO	BAU4	D	1.09	1.13	0.04%	0.33	NON_significativa	2016 - passato in bio nel 2022
FE_8	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	GAR1	E	0.95	1.1	0.16%	0.138	NON_significativa	0
FE_8	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	BAU4	D	0.95	1.13	0.19%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
FE_9	CONSERVATIVA	SEMINATIVO	TES1	C	1.71	1.67	-0.03%	0.911	NON_significativa	2016
FE_9	INTEGRATA	SEMINATIVO	BTR1	B	1.43	2.21	0.54%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016

Tabella 76. Ferrara. Confronto fra le 9 coppie di aziende

COPPIA	APPEZZ.	Gestione	TIPO DI SUOLO	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
FE_1	FE_I_PSR_1	INTEGRATA	D	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
	FE_I_DU_1	Convenzionale	C	Pero	SIGNIFICATIVA	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
FE_2	FE_I_PSR_2	INTEGRATA	C	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
	FE_I_DU_2	Convenzionale	D	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
FE_3	FE_I_PSR_3	INTEGRATA	E	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
	FE_I_DU_3	Convenzionale	E	Pero	SIGNIFICATIVA	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
FE_4	FE_I_PSR_4	INTEGRATA	D	Seminativo	NON significativa	MAIS	SOIA	GRANO DURO	MAIS	SOIA	GRANO DURO
	FE_I_DU_4	Convenzionale	D	Seminativo	NON significativa	MAIS	SET ASIDE	SET ASIDE	MAIS	GRANO DURO	GRANO DURO
FE_5	FE_I_PSR_5	INTEGRATA	D	Pero	SIGNIFICATIVA	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
	FE_I_DU_5	Convenzionale	C	Pero	SIGNIFICATIVA	PERO	PERO	PERO	MELO	MELO	MELO
FE_6	FE_I_PSR_6	INTEGRATA	E	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO

COPPIA	APPEZZ.	Gestione	TIPO DI SUOLO	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	FE_I_DU_6	Convenzionale	E	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO	PERO	MAIS	GRANO DURO
FE_7	FE_I_PSR_7	BIOLOGICO	D	Seminativo	NON significativa	MAIS	GRANO DURO	MAIS	SOIA	GRANO TENERO	MAIS
	FE_I_DU_7	Convenzionale	D	Seminativo	NON significativa	MAIS	MAIS	MAIS	GRANO DURO	SOIA	MAIS
FE_8	FE_I_PSR_8	Convenzionale	D	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	SOIA	POMODORO			POMODORO
	FE_I_DU_8	Convenzionale	E	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	SOIA	GRANO TENERO	MAIS	SOIA	GRANO DURO
FE_9	FE_C_PSR_9	CONSERVATIVA	C	Seminativo	NON significativa	MAIS	SOIA	GIRASOLE			GRANO TENERO
	FE_C_DU_9	INTEGRATA	B	Seminativo	SIGNIFICATIVA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	GRANO DURO	SOIA

Tabella 77. Ferrara. Successioni colturali e informazioni sulle fertilizzazioni organiche

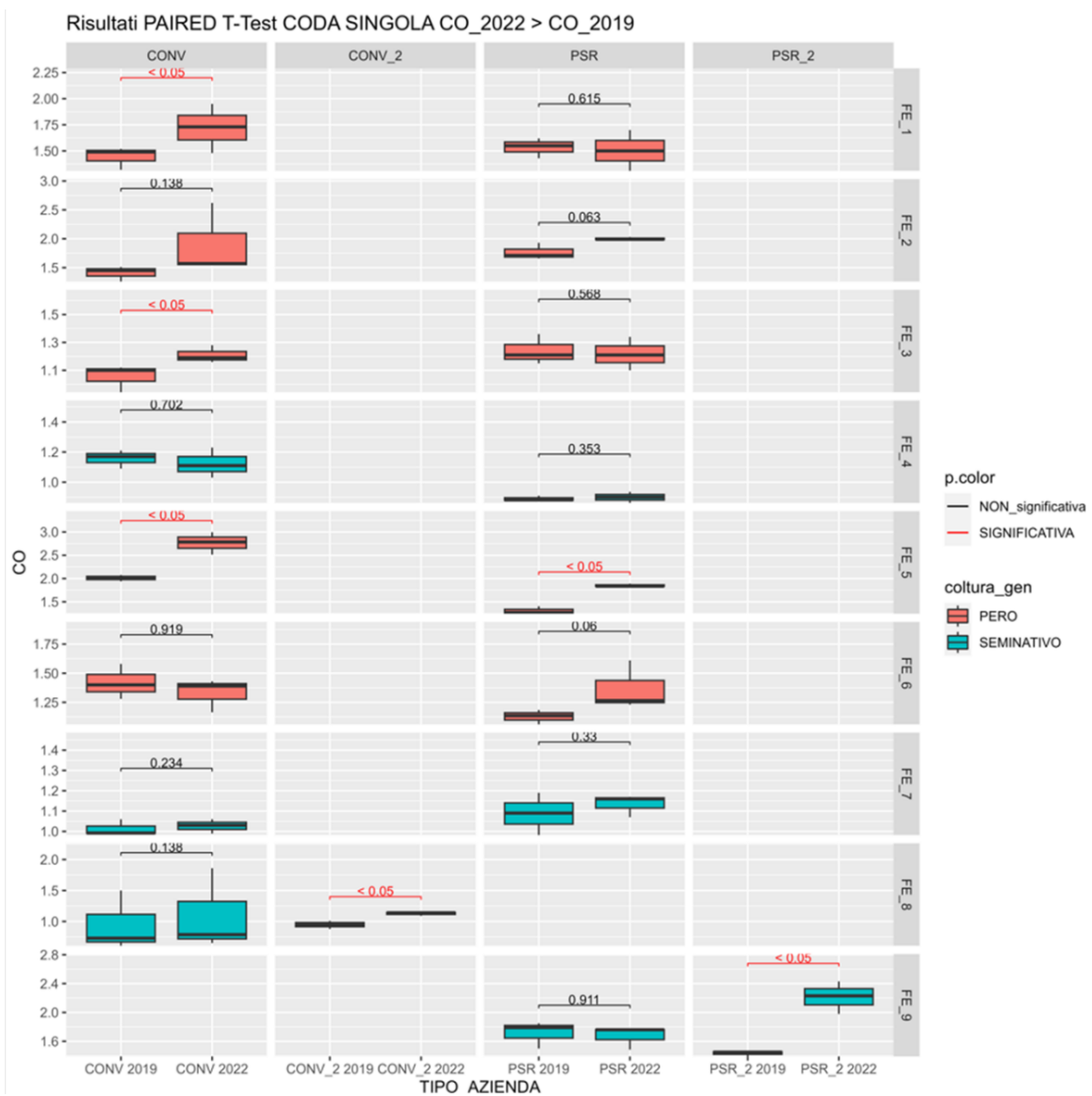


Figura 28. Confronto dei valori di carbonio organico 2019-2022 per ogni coppia

5.2.5.7 Provincia di Ravenna

In questa provincia ci sono 8 coppie di aziende + 1 azienda a prato, di cui 12 in pianura e 5 in collina. In 10 casi c'è un incremento significativo di carbonio organico (vedi tabelle e grafico seguenti).

ID	Regime	Coltura	SUOLO	UGF	MediaCORG_2019	MediaCORG_2022	Increment. % CORG	p. VALUE T-TEST	Significatività	Anno inizio impegno
RA_1	INTEGRATA	PERO	SEC1	E	1.62	1.61	-0.01%	0.549	NON_significativa	2016
RA_1	TRADIZIONALE	PERO	SMB1	D	1.61	2.12	0.32%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
RA_2	INTEGRATA	VITE	SMB1	D	1.33	0.96	-0.28%	0.984	NON_significativa	2016 - cessato 2021
RA_2	TRADIZIONALE	VITE	SMB1	D	1.21	1.52	0.26%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	adesione a INTEGRATO nel 2023
RA_3	TRADIZIONALE	VITE	NA	E	1.19	1.4	0.18%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
RA_3	INTEGRATA	VITE	SMB1	D	1.25	1.97	0.57%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2016 - cessato 2021
RA_4	TRADIZIONALE	VITE	DEM	B	2.26	1.6	-0.29%	0.949	NON_significativa	0
RA_4	INTEGRATA	VITE	DOG2	B	1.51	1.62	0.07%	0.373	NON_significativa	2016 - cessato 2021
RA_5	TRADIZIONALE	VITE	STM1	E	1.07	1.32	0.23%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
RA_5	TRADIZIONALE	VITE	LUG1	E	0.8	1.06	0.32%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
RA_6	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	FSL1	E	0.8	0.93	0.15%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
RA_6	BIOLOGICO	SEMINATIVO	LBA2	B	1.46	1.66	0.14%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2012
RA_7	BIOLOGICO	SEMINATIVO	GLS1	B	1.04	1.46	0.40%	0.136	NON_significativa	2010
RA_7	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	NNNN	D	0.9	1.22	0.35%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0
RA_8	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	SMB2	C	0.97	1.02	0.05%	0.224	NON_significativa	Adesione a INTEGRATO nel 2023
RA_8	BIOLOGICO	SEMINATIVO	RSD1	A	1.33	1.4	0.06%	0.106	NON_significativa	2012
RA_9	PRATI	PRATI	BAN3	C	0.91	1.05	0.16%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	0

Tabella 78. Ravenna. Confronto fra le 8 coppie di aziende + 1

COPPIA	APPEZZ.	Gestione	UGF	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
RA_1	RA_I_PSR_1	INTEGRATA	E	Pero	NON significativa	PERO	PERO	PERO-	PERO	PERO	PERO
	RA_I_DU_1	Convenzionale	D	Pero	SIGNIFICATIVA	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO	PERO
RA_2	RA_I_PSR_2	INTEGRATA	D	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	RA_I_DU_2	Convenzionale	D	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
RA_3	RA_I_PSR_3	INTEGRATA	D	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	RA_I_DU_3	Convenzionale	E	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
RA_4	RA_I_PSR_4	INTEGRATA	B	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	RA_I_DU_4	Convenzionale	B	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
RA_5	RA_B_PSR_5	Convenzionale	E	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE

COPPIA	APPEZZ.	Gestione	UGF	COLTURA	Significatività statistica	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	RA_B_DU_5	Convenzionale	E	Vite	SIGNIFICATIVA	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
RA_6	RA_B_PSR_6	BIOLOGICO	B	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	GRANO TENERO-	GRANO DURO-	PISELLO	GRANO TENERO	POMODORO
	RA_B_DU_6	Convenzionale	E	Seminativo	SIGNIFICATIVA	POMODORO	BARBABIETOLA DA ZUCCHERO	SEGALA			ORZO
RA_7	RA_B_PSR_7	BIOLOGICO	B	Seminativo	NON significativa	POMODORO	GRANO TENERO	PISELLI			AVENA
	RA_B_DU_7	Convenzionale	D	Seminativo	SIGNIFICATIVA	POMODORO	MAIS	SEGALA			MAIS
RA_8	RA_B_PSR_8	BIOLOGICO	A	Seminativo	NON significativa	POMODORO	POMODORO	PISELLI	GRANO DURO	POMODORO	GRANO TENERO
	RA_B_DU_8	Convenzionale	C	Seminativo	NON significativa	POMODORO	MAIS	CIPOLLA			MAIS
RA_9	RA_P_PSR_9	prati	C	Prati	SIGNIFICATIVA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA

Tabella 79. Ravenna. Successioni colturali e informazioni sulle fertilizzazioni organiche

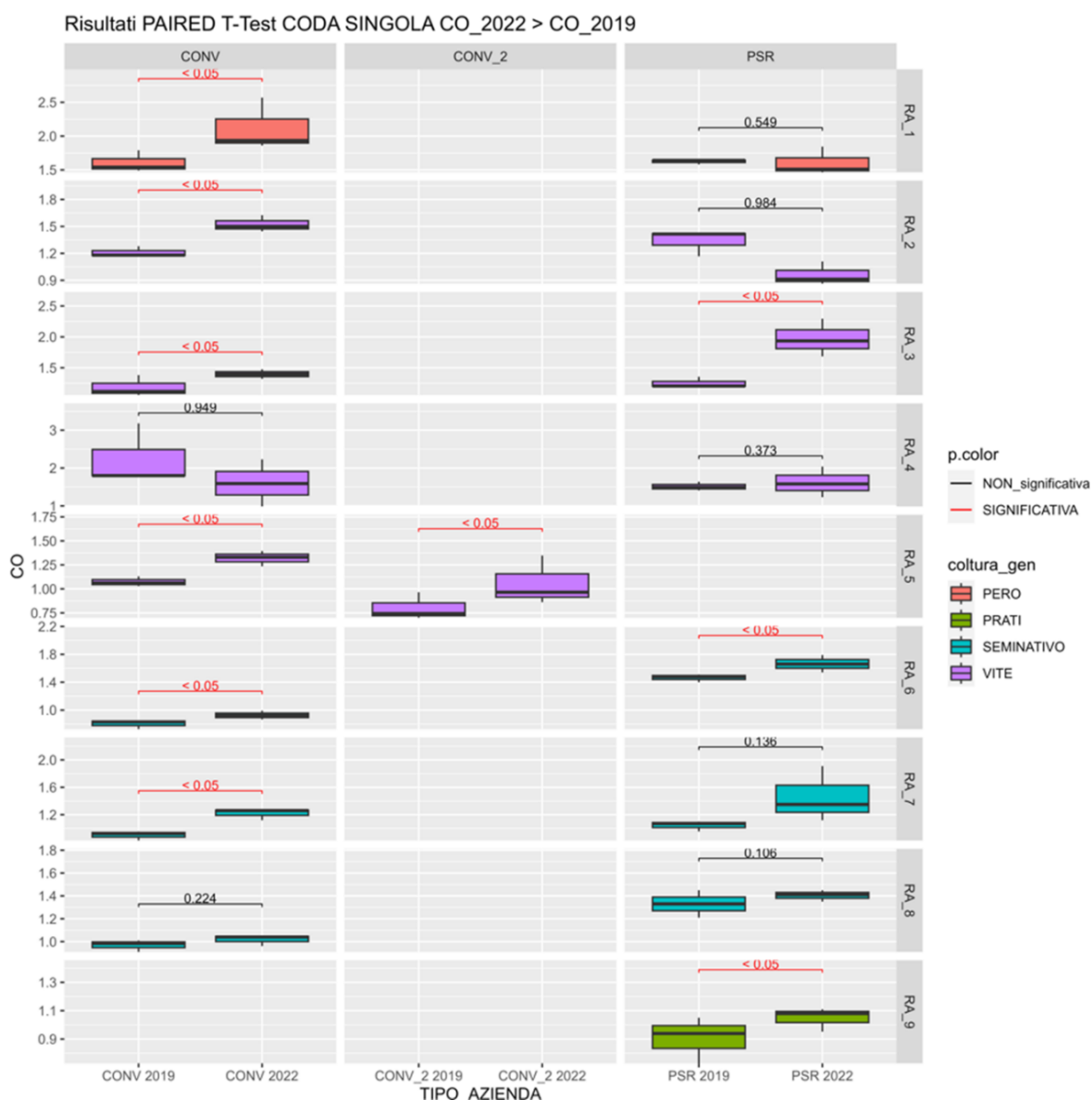


Figura 29. Confronto dei valori di carbonio organico 2019-2022 per ogni coppia

5.2.5.8 Provincia di Forlì-Cesena

In questa provincia ci sono 6 coppie di aziende + 1 azienda a prato, di cui 4 in pianura e 9 in collina. L'azienda FC_B_DU_6 era stata inserita nella lista dei convenzionali e messa a confronto con un'azienda a regime biologico, ma in realtà ha aderito fin dal 2016 anch'essa al biologico. In 3 appezzamenti (in collina) si registra un incremento significativo di carbonio organico (vedi tabelle e grafico seguenti).

ID	Regime	Coltura	SUOLO	UGF	MediaCORG_2019	MediaCORG_2022	Increment. % CORG	p. VALUE T-TEST	Significatività	Anno inizio impegno
FC_1	TRADIZIONALE	VITE	CDV1	A	0.89	1.06	0.18%	0.097	NON_significativa	0
FC_1	INTEGRATA	VITE	CDV1	B	0.99	0.92	-0.07%	0.612	NON_significativa	2016 - cessato 2021
FC_2	TRADIZIONALE	VITE	STF1	E	0.85	0.91	0.07%	0.16	NON_significativa	0
FC_2	BIOLOGICO	VITE	STF1	E	0.69	0.5	-0.27%	0.839	NON_significativa	2012
FC_3	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	ALB	A	0.89	1.02	0.15%	0.066	NON_significativa	0
FC_3	BIOLOGICO	SEMINATIVO	ALB	A	1.15	1.38	0.21%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2010
FC_4	TRADIZIONALE	SEMINATIVO	CML2	B	0.96	1.08	0.13%	0.057	NON_significativa	0
FC_4	BIOLOGICO	SEMINATIVO	CRB	C	1.08	1.31	0.22%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2010
FC_5	TRADIZIONALE	VITE	MNV	C	1.27	0.98	-0.23%	0.91	NON_significativa	0
FC_5	BIOLOGICO	VITE	CEL4	E	1.12	1.16	0.04%	0.411	NON_significativa	2010
FC_6	BIOLOGICO	SEMINATIVO	SAN	C	1.16	1.29	0.11%	0.081	NON_significativa	
FC_6	BIOLOGICO	SEMINATIVO	BGT2	C	1.18	1.31	0.12%	< 0.05	SIGNIFICATIVA	2010
FC_7	PRATI	PRATI	REB1	B	1.38	1.56	0.14%	0.22	NON_significativa	0
FC_1	TRADIZIONALE	VITE	CDV1	A	0.89	1.06	0.18%	0.097	NON_significativa	0

Tabella 80. Forlì-Cesena. Confronto fra le 6 coppie di aziende + 1

COPPIA	APPEZZ.	Gestione	UGF	COLTURA	Signif. ONE-tailed	2017	2018	2019	2020	2021	2022
FC_1	FC_I_PSR_1	INTEGRATA	B	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	FC_I_DU_1	Convenzionale	A	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
FC_2	FC_B_PSR_2	BIOLOGICO	E	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	FC_B_DU_2	Convenzionale	E	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
FC_3	FC_B_PSR_3	BIOLOGICO	A	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	GRANO DURO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	FC_B_DU_3	Convenzionale	A	Seminativo	NON significativa	GRANOTENERO	GRANOTENERO	ALTRI SEMINATIVI	GRANO TENERO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
FC_4	FC_B_PSR_4	BIOLOGICO	C	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANOTENERO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	FC_B_DU_4	Convenzionale	B	Seminativo	NON significativa	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
FC_5	FC_B_PSR_5	BIOLOGICO	E	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
	FC_B_DU_5	Convenzionale	C	Vite	NON significativa	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE	VITE
FC_6	FC_B_PSR_6	BIOLOGICO	C	Seminativo	SIGNIFICATIVA	GRANO TENERO	GRANO DURO	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA	ERBA MEDICA
	FC_B_DU_6	BIOLOGICO	C	Seminativo	NON significativa	GRANO TENERO	ORZO	GRANO TENERO			GRANO TENERO
FC_7	FC_P_PSR_7	prati	B	Prati	NON significativa	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA	PRATO POLIFITA

Tabella 81. Forlì-Cesena. Successioni colturali e informazioni sulle fertilizzazioni organiche

Risultati PAIRED T-Test CODA SINGOLA CO_2022 > CO_2019

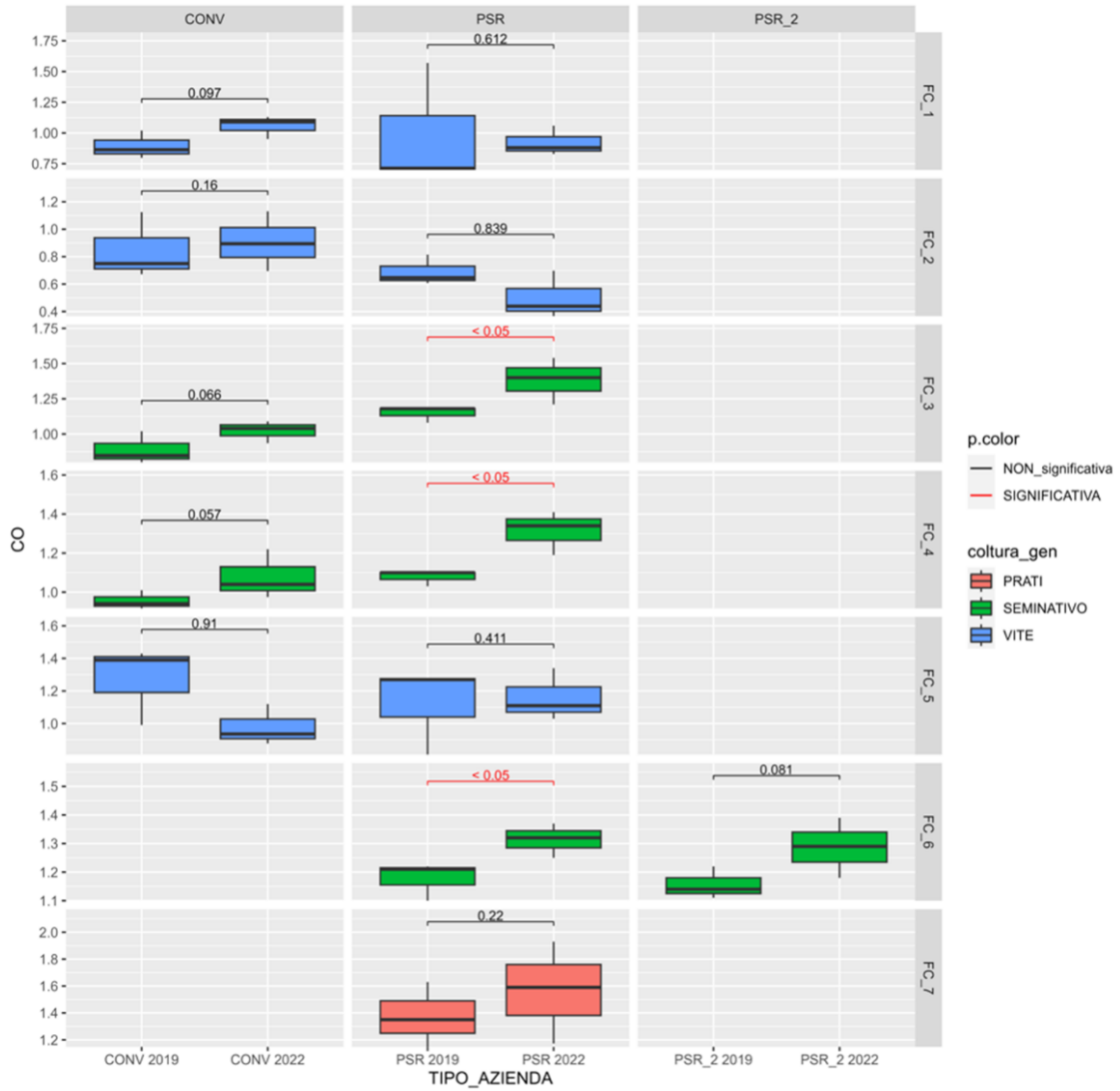


Figura 30. Confronto dei valori di carbonio organico 2019-2022 per ogni coppia

5.3 Qualità biologica del suolo. Analisi dei microartropodi

I più importanti processi ecologici e pedogenetici sono innescati e sostenuti dall'attività biologica la quale, esprimendosi attraverso una ricchissima comunità di organismi che procede dai batteri ai vertebrati, svolge fondamentali ruoli che sostengono le funzioni più importanti del suolo. Tale attività biotica influenza il suolo in ogni sua fase evolutiva e l'analisi delle comunità che vivono al suo interno ed è uno strumento più che efficace nel fornire indicazioni circa il livello di qualità. Numerosi sono gli approcci analitici che focalizzano l'attenzione su vari livelli della rete trofica edafica, interessando ad esempio i batteri, i nematodi (Maturity Index, Bongers, 1990), gli oligocheti (QBS-e Paoletti et al 2013) e micro e **meso artropodi**. Questi ultimi si stanno rivelando di particolare efficacia anche grazie all'indice di **qualità biologica del suolo QBS-ar**.

L'indice QBS (nelle due versioni -ar e C) è stato ideato presso l'Università degli Studi di Parma dal Prof V. Parisi (2001) e proposto a livello internazionale qualche anno più tardi (Parisi et al., 2005). L'approccio permette di valutare i microartropodi sulla base dell'adattamento alla vita nel suolo e superare, quindi, le difficoltà dell'analisi tassonomica. Risulta possibile applicare l'indice su larga scala, essendo caratterizzato da costi contenuti e necessità di personale preparato, ma senza specifiche competenze relative al riconoscimento tassonomico.

5.3.1 Campionamento e analisi

Nella presente indagine I.TER ha effettuato il campionamento e l'estrazione degli artropodi per l'applicazione del QBS-ar sia nel 2019 che nel 2022. In entrambe le campagne vi sono stati campionamenti primaverili e autunnali. L'estrazione degli artropodi edafici dai campioni di suolo è stata fatta con estrattori di Berlese-Tüllgren, utilizzati per favorire la migrazione degli artropodi del suolo nel barattolo di raccolta posto al di sotto dell'estrattore. Ciascun estrattore è composto da un imbuto, un setaccio a maglie di 2 mm e un treppiede di sostegno. Al di sopra del selettore è posta una lampadina ad incandescenza che gradualmente scaldando la superficie del suolo, ne provoca l'essiccazione e induce la migrazione degli animali verso il basso, provocandone, in ultima fase, la caduta nel contenitore di raccolta. In tale contenitore è presente una miscela di liquido di conservazione (tipicamente un rapporto di 2:1 di alcool etilico e glicerina).

Le determinazioni analitiche sono state eseguite dalla Dott.ssa Sara Remelli e dal Dott. Fabio Gatti, mentre la Prof.ssa Cristina Menta dell'Università di Parma ha supervisionato tutte le fasi di lavoro per l'applicazione del QBS-ar, dal campionamento all'operato di estrazione, la conta degli individui, l'assegnazione degli EMI, il calcolo del QBS-ar parziale e massimale e l'elaborazione statistica dei dati.

Sono stati campionati e analizzati, per ciascuna annualità di rilevamento QBS_ar (2019 e 2022), **147** campioni prelevati nei 49 siti (prima stagionalità) campionati in **primavera** e **60** campioni prelevati in 20 siti in **autunno** (seconda stagionalità).

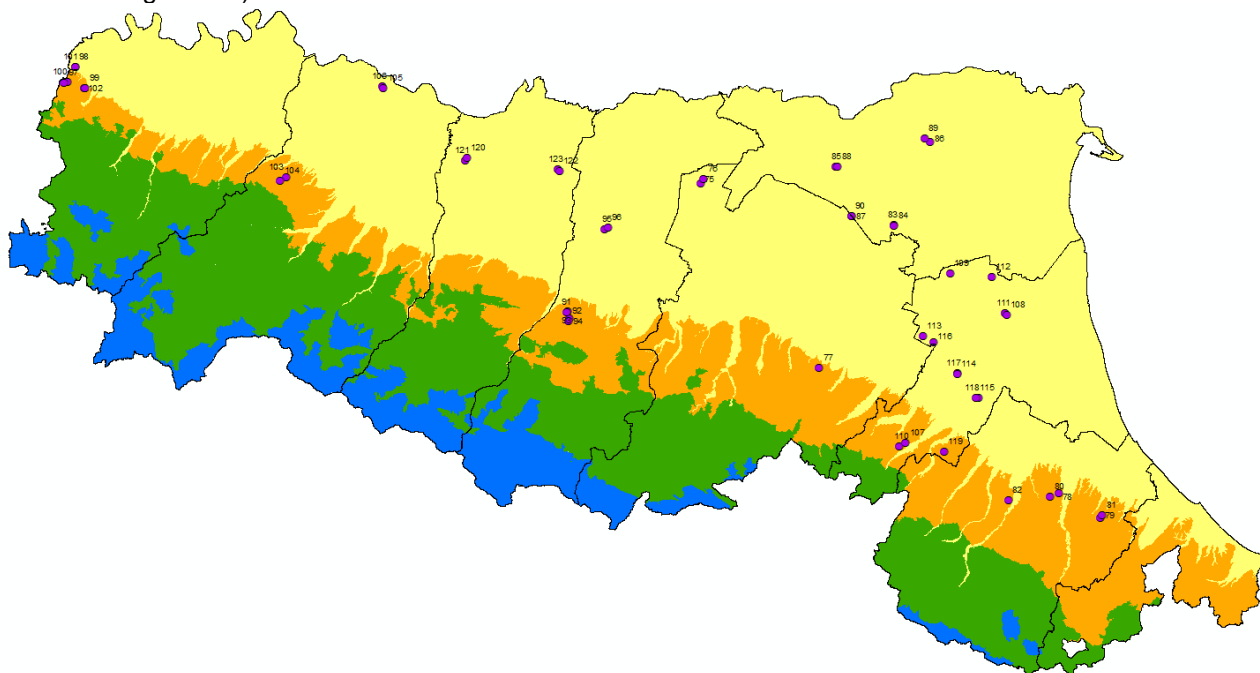


Figura 31. Localizzazione dei siti di monitoraggio dove sono stati eseguiti i campionamenti (lotto M5013)

Ogni campione è stato analizzato tramite stereomicroscopio ottico (ingrandimento massimo 40X). I microartropodi sono stati identificati a livello di ordine per Chelicerata, Hexapoda e Insecta, e di classe per Myriapoda e, dopo essere stati assegnati alla rispettiva forma biologica, ad ognuno di essi è stato assegnato il valore EMI appropriato seguendo il protocollo previsto dalla letteratura (Parisi et al 2005). Oltre a determinare il QBS-ar massimale per ogni sito si è proceduto alla conta degli individui appartenenti ad ogni gruppo sistematico e sono state calcolate

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

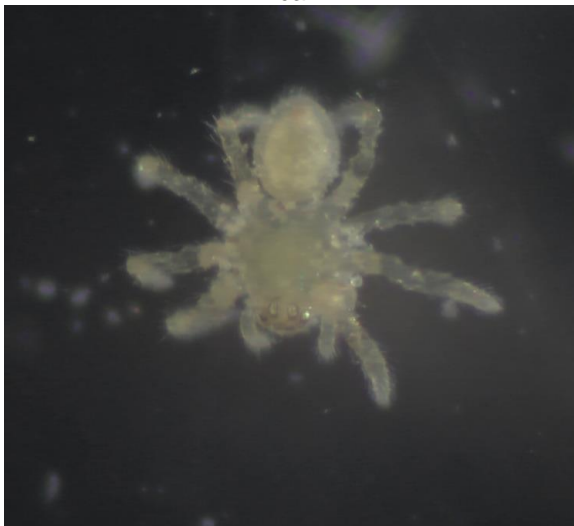
È stato utilizzato uno stereomicroscopio con telecamera al fine di ottenere una banca dati fotografica (51 immagini relative a 17 forme biologiche provenienti da 8 siti di campionamento nel 2019; 122 con 18 forme biologiche provenienti da 25 siti nel 2022). Le foto sono state effettuate sull'intero campione (singola replica) e sui gruppi di maggiore interesse in relazione ad alcuni parametri (adattamento, rarità, ecc).



Acari



Larve di coleotteri



Collemboli



Chilopodi

Figura 32. Galleria fotografica dei principali taxa riscontrati (esempi)

Sono stati applicati i seguenti **indici** per tutti i campioni prelevati nei 49 siti della prima stagionalità e nei 20 siti della seconda stagionalità.

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

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

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

N -è l'insieme degli organismi

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

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

L'indice di equiripartizione o evenness di Pielou J: valuta l'equa distribuzione degli organismi nei taxa. Valori elevati sono presenti solo in condizioni di buona diversità e rappresentatività dei vari gruppi di microartropodi. Varia tra 0 e 1, avvicinandosi al valore unitario più le specie sono ugualmente rappresentate. L'evenness è calcolato come:

$$J = H' / H'_{max} \qquad H'_{max} = \ln S$$

Dove: J - indice di evenness (indica il grado di equiripartizione tra le specie)

H' - indice di Shannon

H'max - valore dell'indice di Shannon nel caso in cui tutte le specie siano ripartite S- n° totale delle specie.

Il **rapporto Acari/Collemboli (A/C, Bachelier, 1986)**, seppur a volte di difficile interpretazione, è nato per valutare le condizioni biodinamiche del suolo: indicativamente in condizioni di equilibrio la percentuale di acari rispetto ai collemboli potrebbe essere più elevata, mentre questa tende a diminuire in favore di questi ultimi in condizioni di degrado. Può rappresentare una stima della stabilità della comunità al momento del campionamento; comunque è un indice la cui interpretazione correlata allo stato di salute del suolo è ancora da approfondire.

L'Indice QBS-c (Indice di Qualità Biologica del Suolo basato sulla comunità di Collemboli) è un ulteriore indicatore che completa e implementa le informazioni fornite dal QBS-ar. Uno dei gruppi maggiormente presente negli ecosistemi edafici, sia in termini di abbondanza che di numero di specie, è quello dei Collemboli. Questi esapodi svolgono importanti funzioni nel turnover della sostanza organica e nella regolazione dei processi svolti dalla microflora. Sono invertebrati particolarmente sensibili alle variazioni di umidità del suolo dovute principalmente alle lavorazioni del suolo come l'aratura, l'erpicoltura e risentono, in termini di numerosità e diversità di specie, delle alterazioni delle reti trofiche ipogee, essendo i collemboli organismi principalmente microfagi e regolatori delle reti trofiche ipogee. L'indice QBS-c è stato sviluppato sempre nel laboratorio di Biologia del Suolo dell'Università di Parma (Parisi e Menta, 2008). Il principio su cui si basa il QBS-c è in parte simile a quello del QBS-ar: maggiore è il numero di collemboli maggiormente adattati al suolo e maggiore è la qualità del suolo in quanto sostiene la vita e lo sviluppo di animali sensibili al degrado.

Per la determinazione dell'indice QBS-c, i collemboli presenti nell'estratto sono stati osservati allo stereomicroscopio. Ognuno di essi è stato raggruppato, secondo il principio delle Forme Biologiche valutando 7 caratteri morfologici a cui viene attribuito un punteggio in relazione al grado di adattamento al suolo. La somma dei punteggi dei singoli caratteri costituisce il valore EMI di ogni Forma Biologica, il QBS-c si ottiene dalla somma degli EMI di tutte le forme biologiche.

5.3.2 Risultati

Complessivamente sono stati analizzati **207 (N)** campioni rappresentativi, con 3 repliche per ogni sito di campionamento, sia nel primo campionamento (2019) che nel secondo (2022).

Per ogni replica sono stati eseguiti conteggi delle forme biologiche contando complessivamente **68.913 individui nel 2019 e 97.190 individui nel 2022**.

L'attività di identificazione ha prodotto l'elenco delle frequenze e dei rispettivi valori EMI di ciascuna forma biologica identificata ai sensi di Parisi, 2001. Sui dati raccolti sono stati calcolati i parametri riportati nella tabella che segue.

	Anno	N	Min	Max	Media	Dev.St.	Mediana	25 perc	75 perc
Totale individui	2019	207	5	1994	332,91	318,23	247,00	116,50	456,25
	2022	207	26	3621	469,52	490,05	327,00	136,00	649,25
Densità	2019	207	106,15	42332,62	7067,74	6755,95	5243,81	2473,30	9686,19
	2022	207	551,98	76873,83	9967,84	10403,67	6942,21	2887,28	13783,58
N. forme biologiche	2019	207	2	16	8,96	2,78	9,00	7,00	11,00
	2022	207	3	18	9,72	2,88	9,00	8,00	12,00
N. taxa	2019	207	2	15	8,44	2,64	9,00	7,00	10,00
	2022	207	3	17	9,10	2,71	9,00	7,00	11,00
Indice di Pielou J	2019	207	0,08	0,69	0,38	0,10	0,39	0,32	0,45
	2022	207	0,21	0,82	0,53	0,12	0,53	0,45	0,60
Indice di Shannon H'	2019	207	0,23	1,99	1,12	0,30	1,14	0,96	1,33
	2022	207	0,42	1,86	1,16	0,26	1,17	0,97	1,35
acarì/collemboli	2019	207	0,04	168,00	4,21	14,94	1,29	0,57	2,79
	2022	207	0,03	9,33	0,99	1,46	0,57	0,25	1,05
QBS-ar	2019	207	26	230	116,60	40,78	120,00	85,50	145,25
	2022	207	36	211	123,80	38,73	121,00	97,00	153,00
QBS-c	2019	207	6	205	82,30	36,07	80,00	56,00	103,00
	2022	207	8	180	82,07	36,53	78,00	57,00	106,25

Tabella 82. Spettro sintetico delle principali statistiche descrittive dei parametri e degli indici applicati. Sono indicati il numero campionario (N), i valori minimi (min) e massimi (max), media, Deviazione standard (Dev.St.), Mediana e percentili (25%-75%) di ciascun parametro indagato

Come si evince dalla tabella 82, i campioni raccolti mostrano una elevata variabilità, dipendente dalla varietà di condizioni indagate, le forme biologiche (e i taxa) variano infatti da livelli sostanzialmente basali a livelli piuttosto elevati, analogamente il QBS-ar varia da livelli molto scarsi a livelli paragonabili ad ambienti ad elevata naturalità.

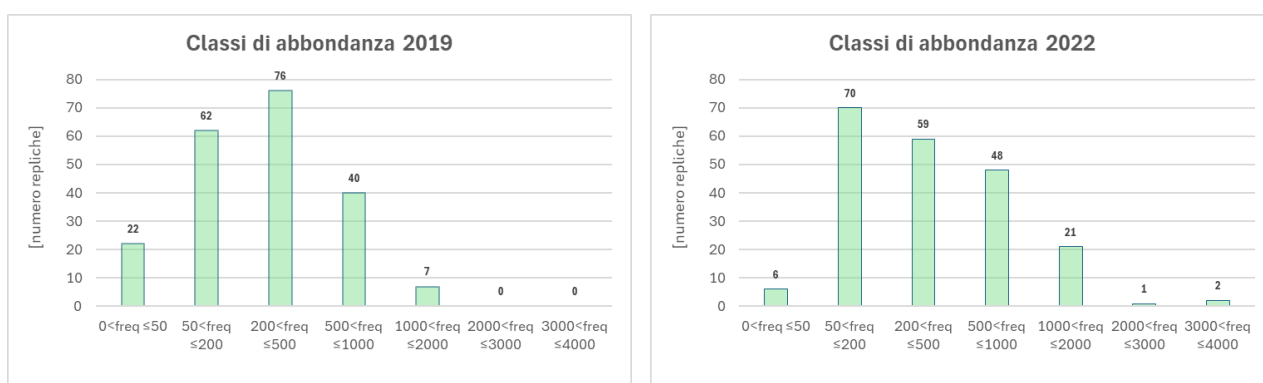


Figura 33. Distribuzione delle frequenze conteggiate nei singoli campioni (numero di esemplari contati). 2019 a sx, 2022 a dx

Come si osserva dal grafico soprastante nel 2019 una frazione modesta dei campioni indagati aveva un numero di individui inferiore a 50, e oltre 170 campioni hanno rivelato numerosità comprese tra 50 e 1000 individui. Nel 2022 una frazione modesta dei campioni estratti ha mostrato un numero di individui inferiore a 50, e oltre 177 campioni hanno rivelato numerosità comprese tra 50 e 1000 individui. Non si rilevano evidenze di errori nella procedura di estrazione.

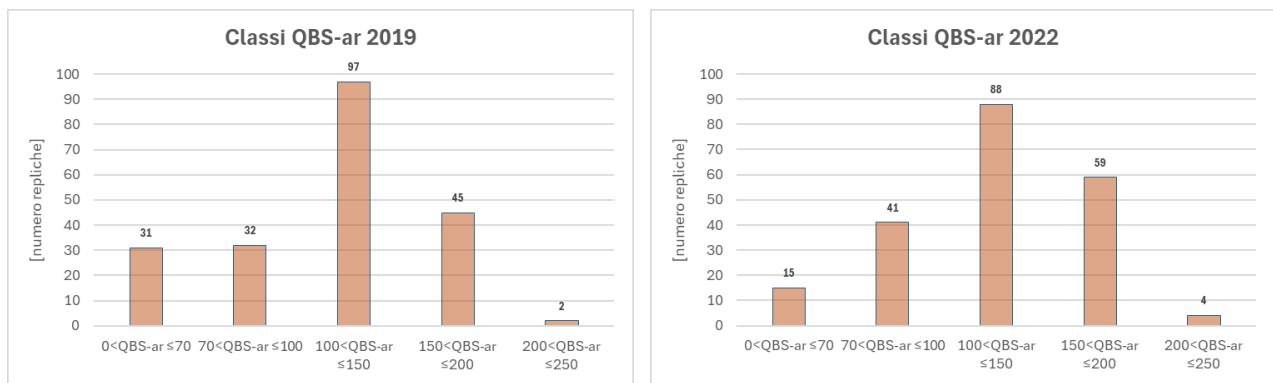


Figura 34. Suddivisione dei valori di QBS-ar per ranghi

Nel 2019 (sx) la gran parte dei campioni analizzati si colloca entro un intervallo di QBS compreso tra 100 e 150. Una frazione rilevante mostra un QBS-ar superiore a 150, mentre una proporzione ridotta presenta valori inferiori a 70. Nel 2022 (dx) la gran parte dei campioni analizzati si colloca entro un intervallo di QBS-ar compreso tra 100 e 150. Una frazione rilevante mostra un QBS-ar superiore a 150, mentre una proporzione ridotta presenta valori inferiori a 70.

5.3.3 Elaborazione statistica e modellistica dei dati

Le competenze per applicare in modo sistematico tali indici e gli studi finora effettuati dal laboratorio di Biologia del Suolo di UNIPR hanno considerato diversi ambiti (boschi e prati stabili in aree protette e non, aree ad uso agricolo, greti fluviali, aree antropizzate e discariche) e hanno evidenziato la **sensibilità dell'indice QBS-ar a differenti fattori ambientali quali le tipologie di utilizzo del suolo, di copertura vegetale, di gestione delle aree coltivate** (Gardi & Menta, 2004; Gardi et al., 2008; Menta et al., 2008; Tabaglio et al., 2008; Tabaglio et al., 2009; Menta et al., 2014).

I valori dell'indice QBS-ar hanno dimostrato di essere direttamente correlabili all'uso e allo stato dei suoli al momento del campionamento (Menta et al., 2010; Menta et al., 2011; Menta, et al. 2014), permettendo di formulare differenti conclusioni utili alla gestione dei suoli da diversi punti di vista, a seconda delle necessità. È avvenuta pertanto, con la supervisione di Cristina Menta, una prima elaborazione dei dati raccolti.

Per l'elaborazione statistica sono stati utilizzati come variabili:

- la densità per m²;
- il numero di taxa e di forme biologiche;
- l'indice QBS-ar;
- QBS-c;
- l'indice di Shannon;
- la evenness di Pielou;
- il rapporto Acari/Collemboli.

Le informazioni relative ai parametri del suolo disponibili per i campioni raccolti in entrambe le stagioni erano **umidità e densità apparente**; queste, unitamente alla stagionalità, sono state utilizzate come fattori indipendenti per valutarne l'effetto sulle variabili sopra citate tramite una Repeated Measure ANOVA che tenesse conto del sito come misura ripetuta nelle due stagioni. Lo stesso test è stato applicato per determinare l'impatto della stagionalità e dell'anno di campionamento sulle variabili sopra citate raggruppate per conduzione aziendale.

Poiché nella stagione primaverile sono stati analizzati 49 siti e solo 20 di questi nella stagione invernale, le principali elaborazioni statistiche sono da intendersi riferite solo alla **stagione primaverile**, mentre per i 20 siti campionati nelle due stagionalità è stato eseguito un confronto sui valori ottenuti.

L'effetto dell'uso del suolo e della conduzione aziendale sulle variabili sono stati valutati utilizzando la one-way ANOVA seguita dal test di Tukey come post-hoc per ogni annualità. Differenze fra le due annualità, raggruppate per conduzione aziendale, sono state valutate tramite una Repeated Measure ANOVA che tenesse conto del sito come misura ripetuta. Successivamente, per determinare le loro variazioni in relazione ai vari parametri del suolo (umidità, densità apparente, sostanza organica, carbonio organico, tessitura: argilla, limo 20-2, limo 50-20, sabbia 100-50, sabbia 2000-100) è stata applicata la Principal Component Analysis (PCA).

È stato poi puntato un focus ulteriore sul QBS-ar, il quale è stato utilizzato come variabile per studiarne l'eventuale relazione con i parametri del suolo tramite regressione lineare.

Il **coefficiente di correlazione lineare (r) di Pearson** è stato infine utilizzato per valutare l'eventuale correlazione tra l'indice QBS-ar e gli altri indici misurati (indice di Shannon, evenness di Pielou, rapporto Acari/Collemboli e QBS-c), utilizzando solo la stagione primaverile in quanto quella con il maggior numero di dati a disposizione.

Quando necessario, i dati sono stati trasformati mediante trasformazione logaritmica, per rispettare le assunzioni di normalità ed omogeneità della varianza.

Il livello di significatività considerato è $p \leq 0.05$. In tutte le figure lettere differenti sopra i box rappresentano differenze significative tra di essi ($p < 0.05$). Le analisi sono state condotte utilizzando il programma statistico R (versione 4.3.1).

Differenze dovute all'effetto della stagionalità sono state riscontrate in modo differente nei due campionamenti.

Nel **2019** sono state riscontrate soltanto per il rapporto Acari/Collemboli e per l'evenness di Pielou, con valori più alti in Autunno nel primo caso e in Primavera nel secondo ($p < 0.05$ e $p < 0.01$ per i due indici rispettivamente).

Nel **2022** invece sono state riscontrate differenze per un maggior numero di parametri: densità di artropodi a m² ($p < 0.001$), numero di forme biologiche ($p < 0.05$), indice di Shannon ($p < 0.001$), evenness di Pielou ($p < 0.001$), rapporto Acari/Collemboli ($p < 0.01$). In particolare, i parametri densità e numero di forme biologiche sono risultate più alte in primavera, mentre gli indici di Shannon, Pielou e il rapporto A/C sono risultati maggiori in autunno.

Risultati opposti per quanto riguarda il rapporto Acari/Collemboli con la **densità apparente**. Nel 2019 è stato rilevato un decremento nel rapporto Acari/Collemboli all'aumentare dei valori di densità apparente ($p < 0.05$), così come una riduzione nel QBS-ar, nel numero di taxa e nel numero di forme biologiche all'aumentare dell'umidità ($p < 0.001$, $p < 0.01$, $p < 0.05$, rispettivamente). Nel 2022 invece c'è stato un decremento nel numero di forme biologiche ($p < 0.05$), nel numero di taxa ($p < 0.01$) e nel QBS-ar ($p < 0.05$) all'aumentare dei valori di densità apparente. Solo il rapporto Acari/Collemboli ha mostrato di aumentare significativamente quanto maggiori sono i valori di densità apparente e di umidità ($p < 0.05$ e $p < 0.001$, rispettivamente). Sia la densità apparente che l'umidità hanno mostrato un aumento significativo in Primavera ($p < 0.001$).

Confrontando stagione ed annualità per ogni conduzione aziendale si è potuto osservare che la **densità degli artropodi** è influenzata in:

- i) Biologica|Seminativo né dall'anno né dalla stagione (Figura 35-A),
- ii) Conservativa|Seminativo dall'anno e dall'interazione anno:stagione ($p < 0.05$ entrambi; Figura 35-B),
- iii) Biologica|Vite dall'anno, dalla stagione e dalla loro interazione ($p < 0.001$ entrambe; Figura 35-C)
- iv) Integrata|Vite dall'anno e dall'interazione anno:stagione ($p < 0.01$ entrambi; Figura 35-D).

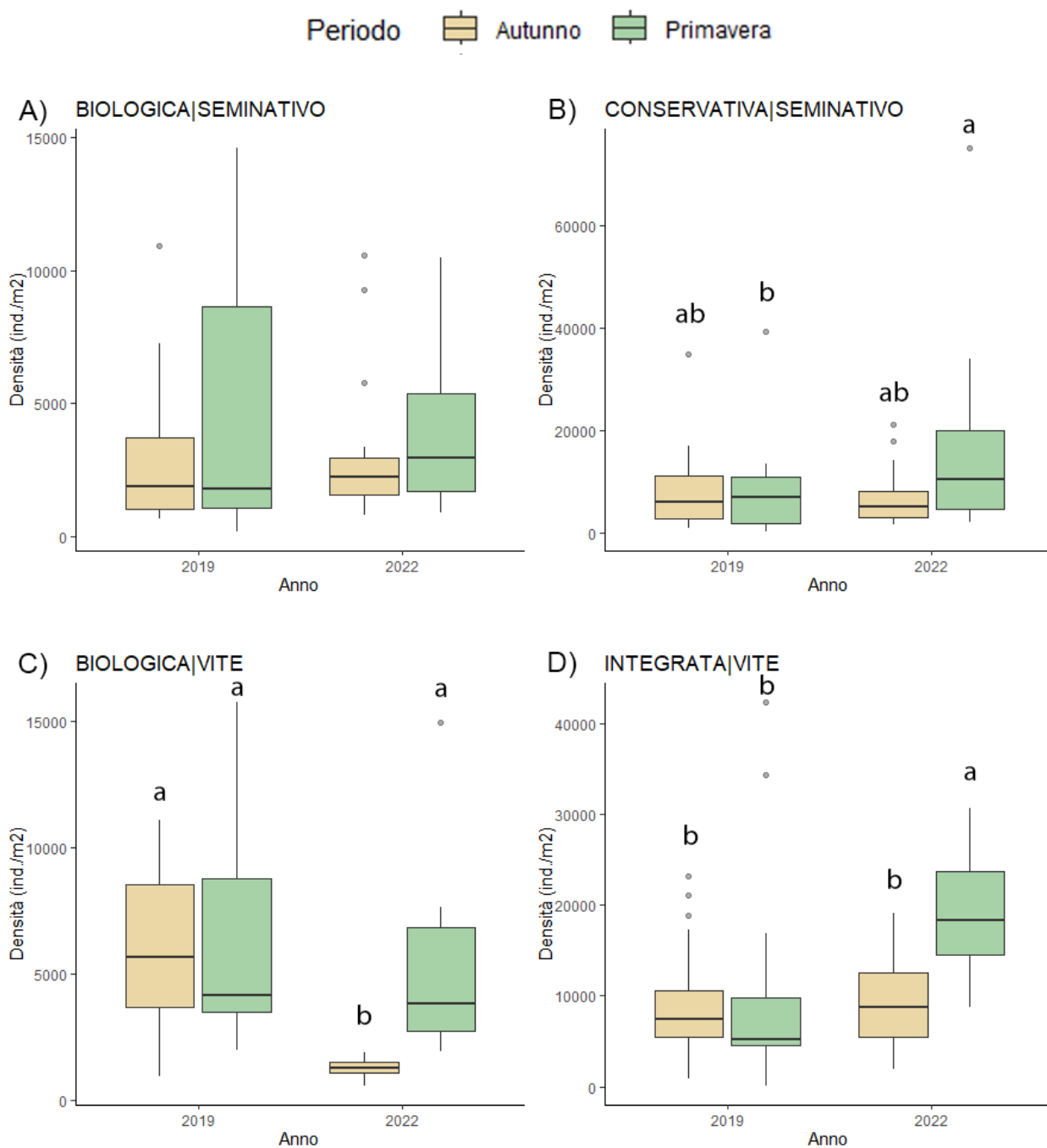


Figura 35. Distribuzione dei dati di densità per m2 in relazione all'anno e alla stagione di campionamento, suddivisi per conduzione aziendale

Il numero di taxa è influenzato in:

- i) Biologica|Seminativo dall'anno e dalla stagione ($p < 0.001$ e $p < 0.05$ rispettivamente; Figura 36-A),
- ii) Conservativa|Seminativo dall'anno e dall'interazione anno:stagione ($p < 0.01$ e $p \geq 0.05$ rispettivamente; Figura 36-B),
- iii) Biologica|Vite dalla stagione e dall'interazione di questa con l'anno ($p < 0.05$ entrambe; Figura 36-C),
- iv) Integrata|Vite dall'anno ($p < 0.05$; Figura 36-D).

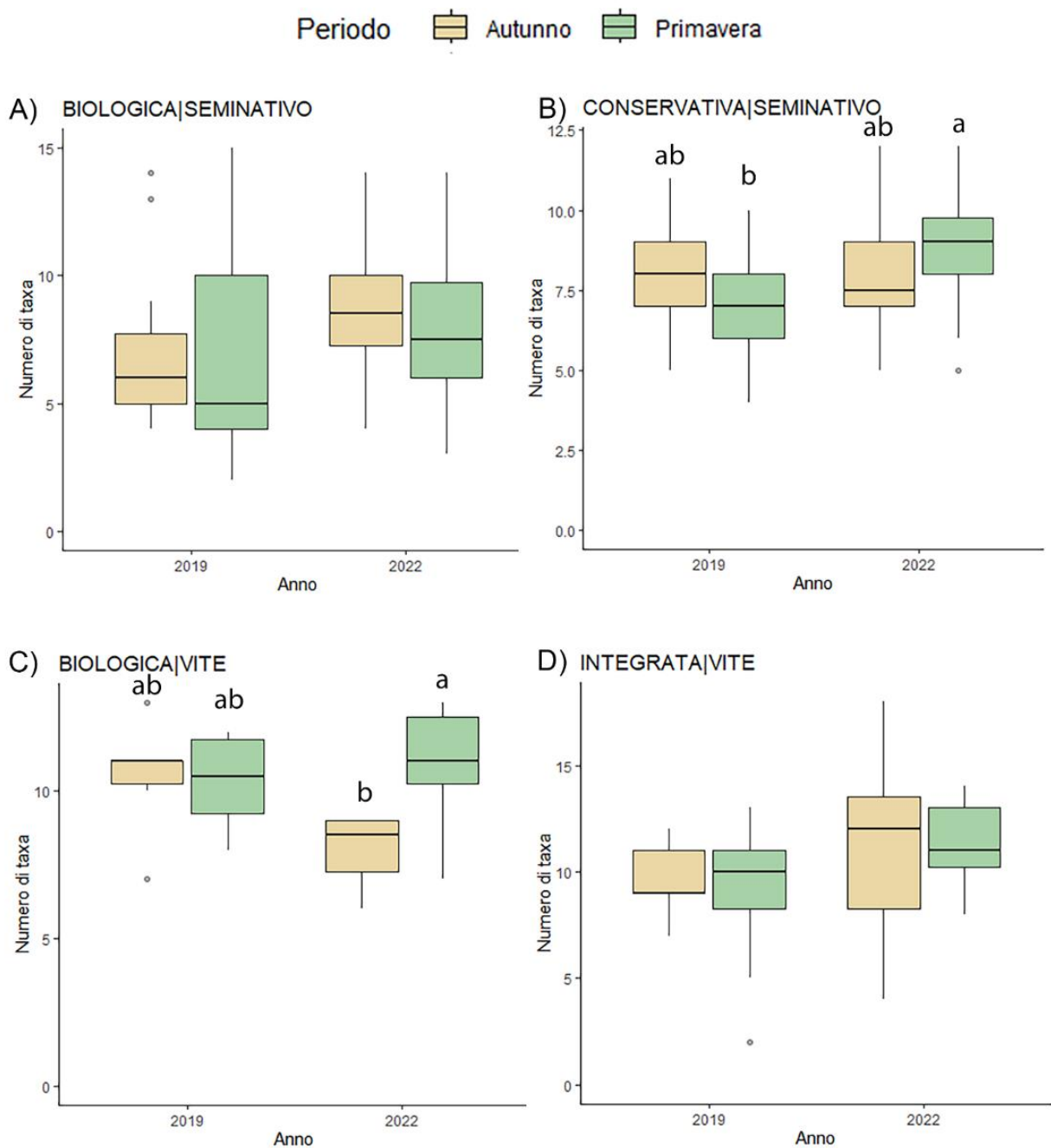


Figura 36. Distribuzione dei dati del numero di taxa in relazione all'anno e alla stagione di campionamento, suddivisi per conduzione aziendale

Il numero di forme biologiche è influenzato in:

- i) Biologica|Seminativo dalla stagione ($p < 0.05$; Figura 37-A),
- ii) Conservativa|Seminativo né dall'anno né dalla stagione (Figura 37-B),
- iii) Biologica|Vite dal l'anno ($p < 0.01$; Figura 37-C),
- iv) Integrata|Vite né dall'anno né dalla stagione (Figura 37-D).

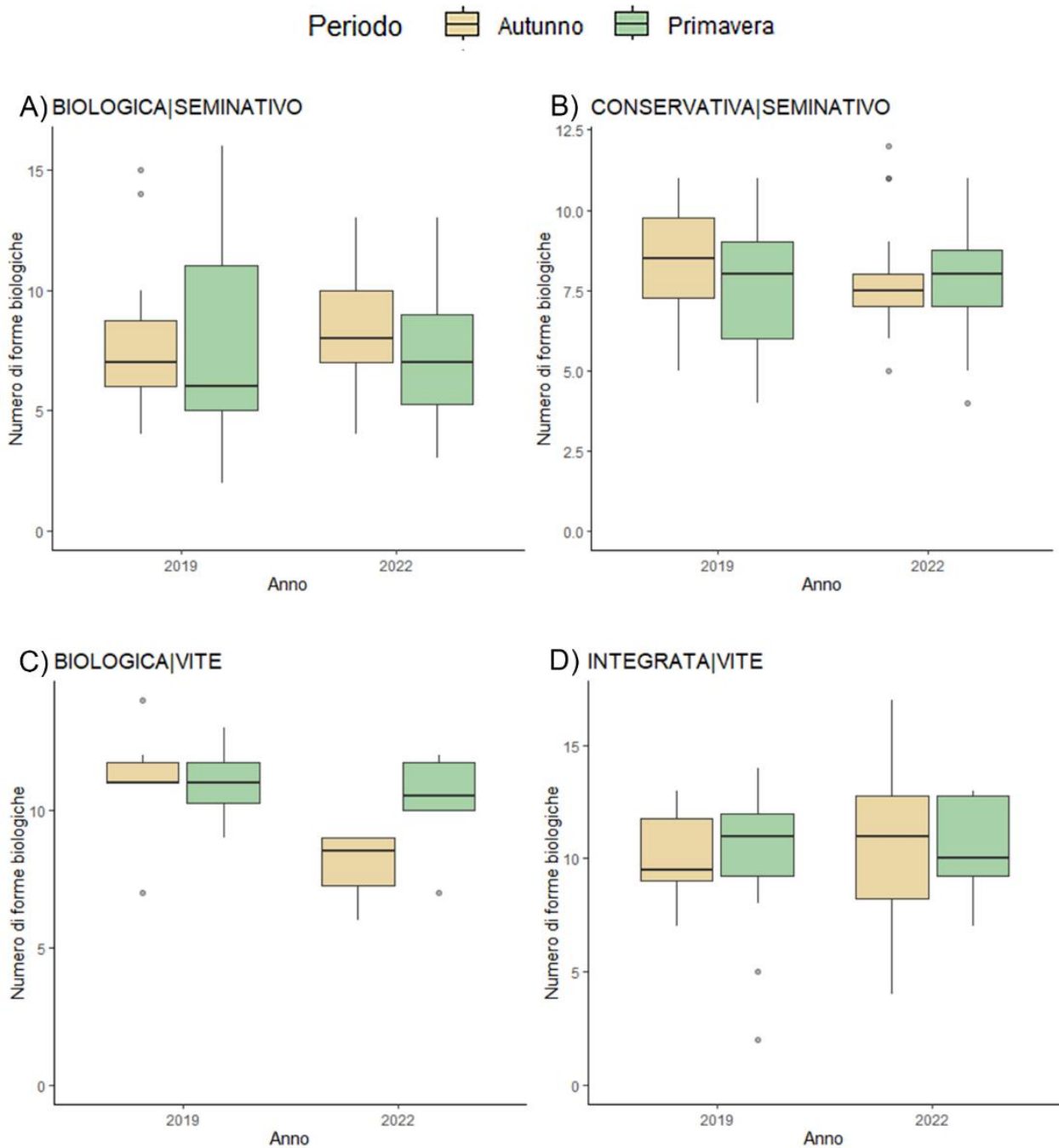


Figura 37. Distribuzione dei dati del numero di forme biologiche in relazione all'anno e alla stagione di campionamento, suddivisi per conduzione aziendale

Il QBS-ar è influenzato in:

- i) Biologica|Seminativo dall'anno ($p < 0.05$; Figura 38-A),
- ii) Conservativa|Seminativo dalla stagione ($p < 0.05$; Figura 38-B),
- iii) Biologica|Vite dall'interazione dell'anno e della stagionalità ($p < 0.01$; Figura 38-C),
- iv) Integrata|Vite né dall'anno né dalla stagione (Figura 38-D).

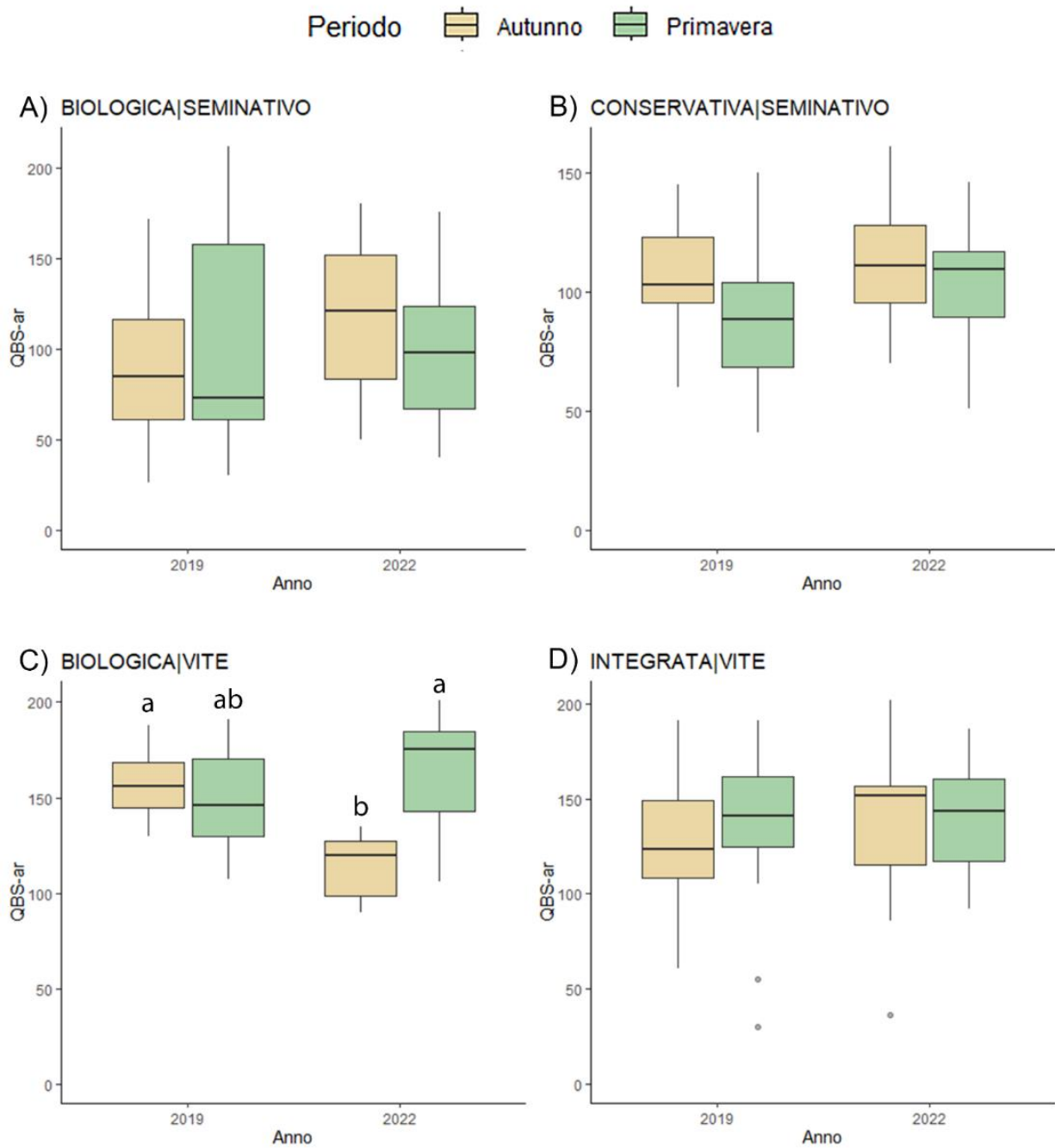


Figura 38. Distribuzione dei dati di QBS-ar in relazione all'anno e alla stagione di campionamento, suddivisi per conduzione aziendale

Il QBS-c non è influenzato né dall'anno né dalla stagione per nessuna delle conduzioni aziendali (Figura 39).

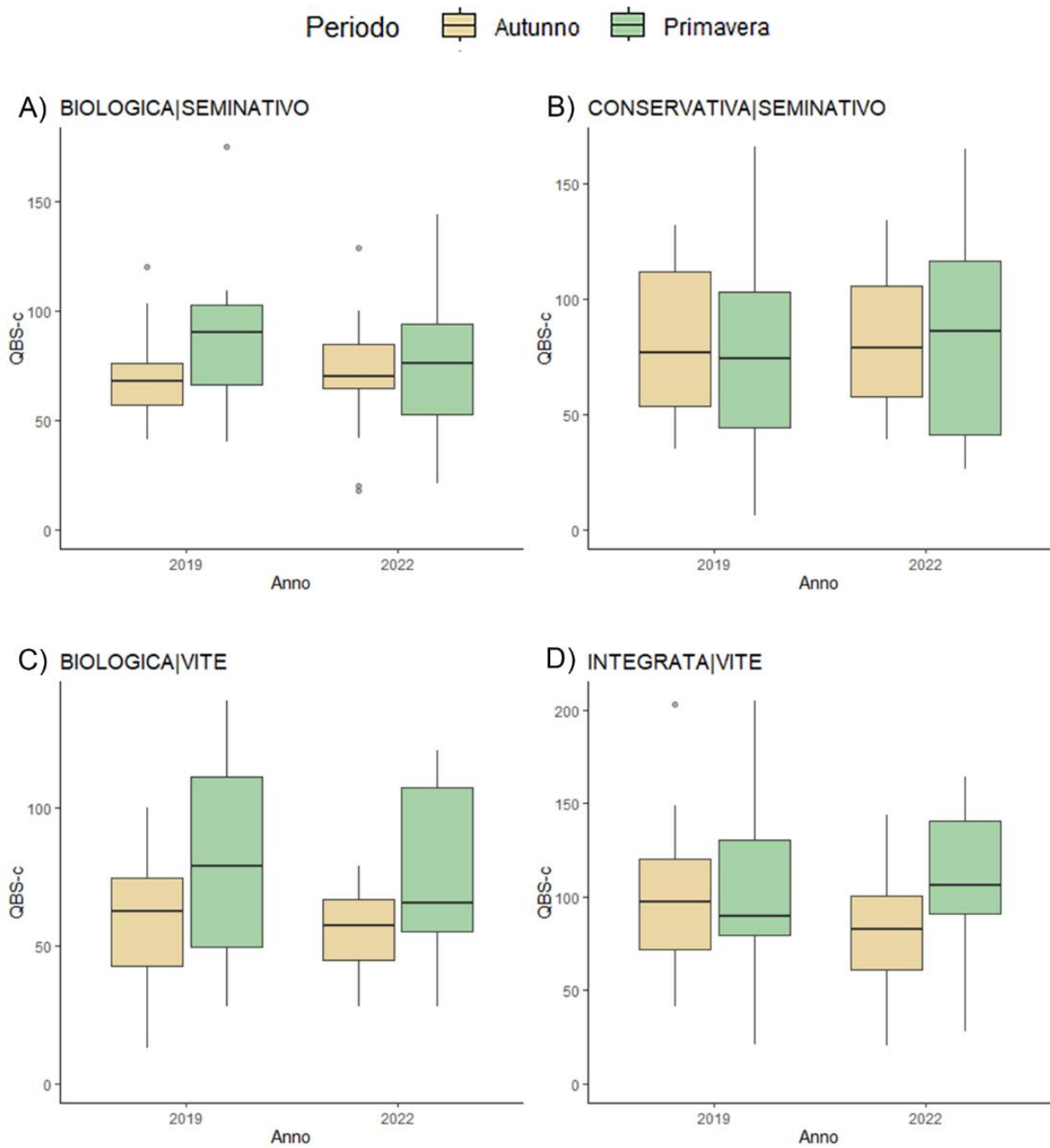


Figura 39. Distribuzione dei dati di QBS-c in relazione all'anno e alla stagione di campionamento, suddivisi per conduzione aziendale

L'indice di Pielou è influenzato in:

- i) Biologica|Seminativo dall'anno e dall'interazione anno:stagione ($p < 0.001$ e $p < 0.01$ rispettivamente; Figura 40-A),
- ii) Conservativa|Seminativo dall'anno e dall'interazione anno:stagione ($p < 0.001$ entrambe; Figura 40-B),
- iii) Biologica|Vite dall'anno, dalla stagione e dall'interazione di entrambi ($p < 0.001$, $p < 0.05$ e $p < 0.001$ rispettivamente; Figura 40-C),
- iv) Integrata|Vite dall'anno e dall'interazione di questo con la stagione ($p < 0.001$ e $p \leq 0.05$ rispettivamente; Figura 40-D).

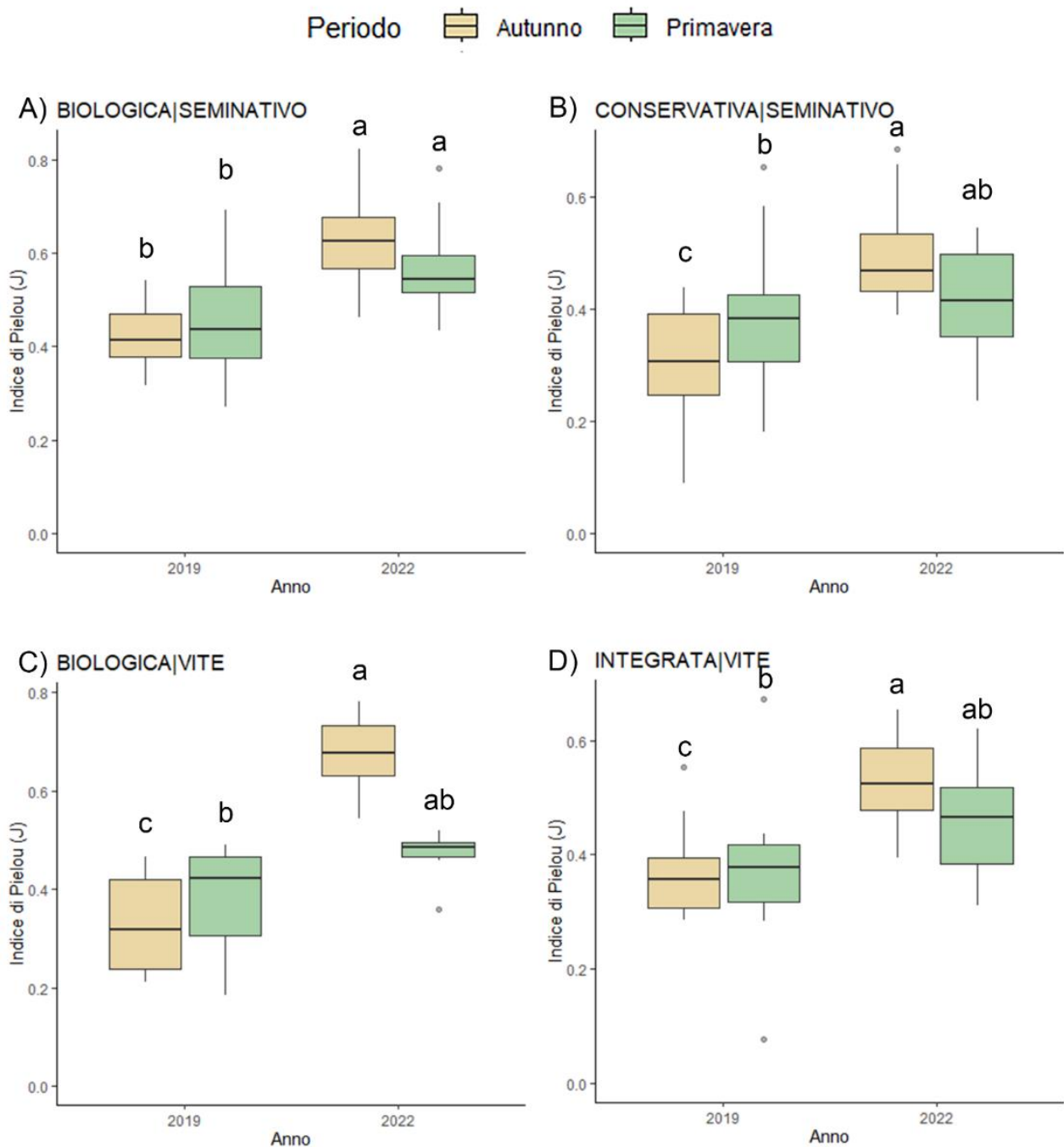


Figura 40. Distribuzione dei dati dell'indice di Pielou in relazione all'anno e alla stagione di campionamento, suddivisi per conduzione aziendale

L'indice di Shannon è influenzato in:

- i) Biologica|Seminativo dall'anno e dalla stagione ($p < 0.05$ e $p < 0.01$ rispettivamente; Figura 41-A),
- ii) Conservativa|Seminativo dall'interazione anno:stagione ($p < 0.05$; Figura 41-B),
- iii) Biologica|Vite dall'interazione anno:stagione ($p < 0.05$; Figura 41-C),
- iv) Integrata|Vite né dall'anno né dalla stagione (Figura 41-D).

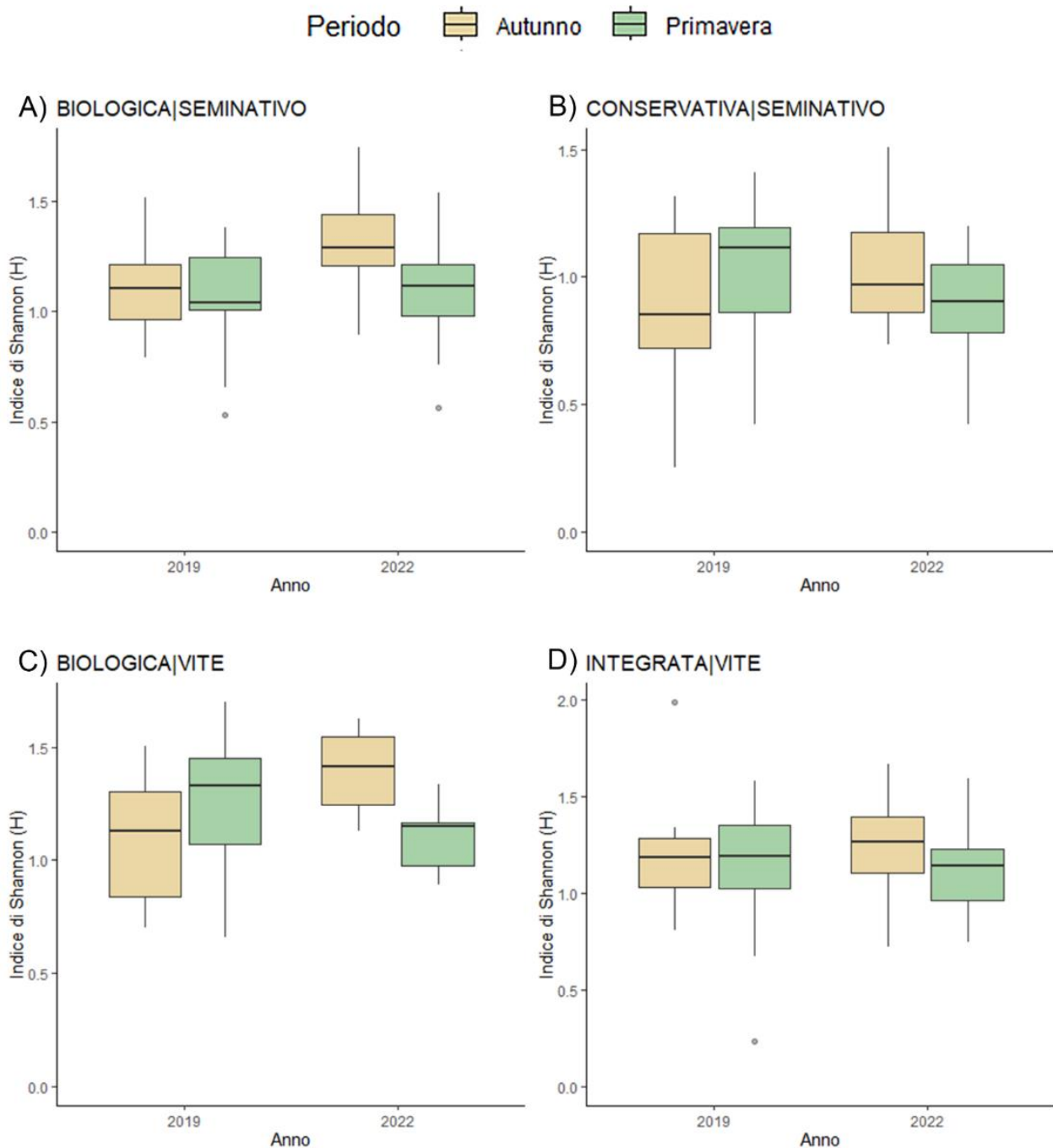


Figura 41. Distribuzione dei dati dell'indice di Shannon in relazione all'anno e alla stagione di campionamento, suddivisi per conduzione aziendale

Il rapporto **acari/collemboli** non è influenzato né dall'anno né dalla stagione per nessuna delle conduzioni aziendali (Figura 42).

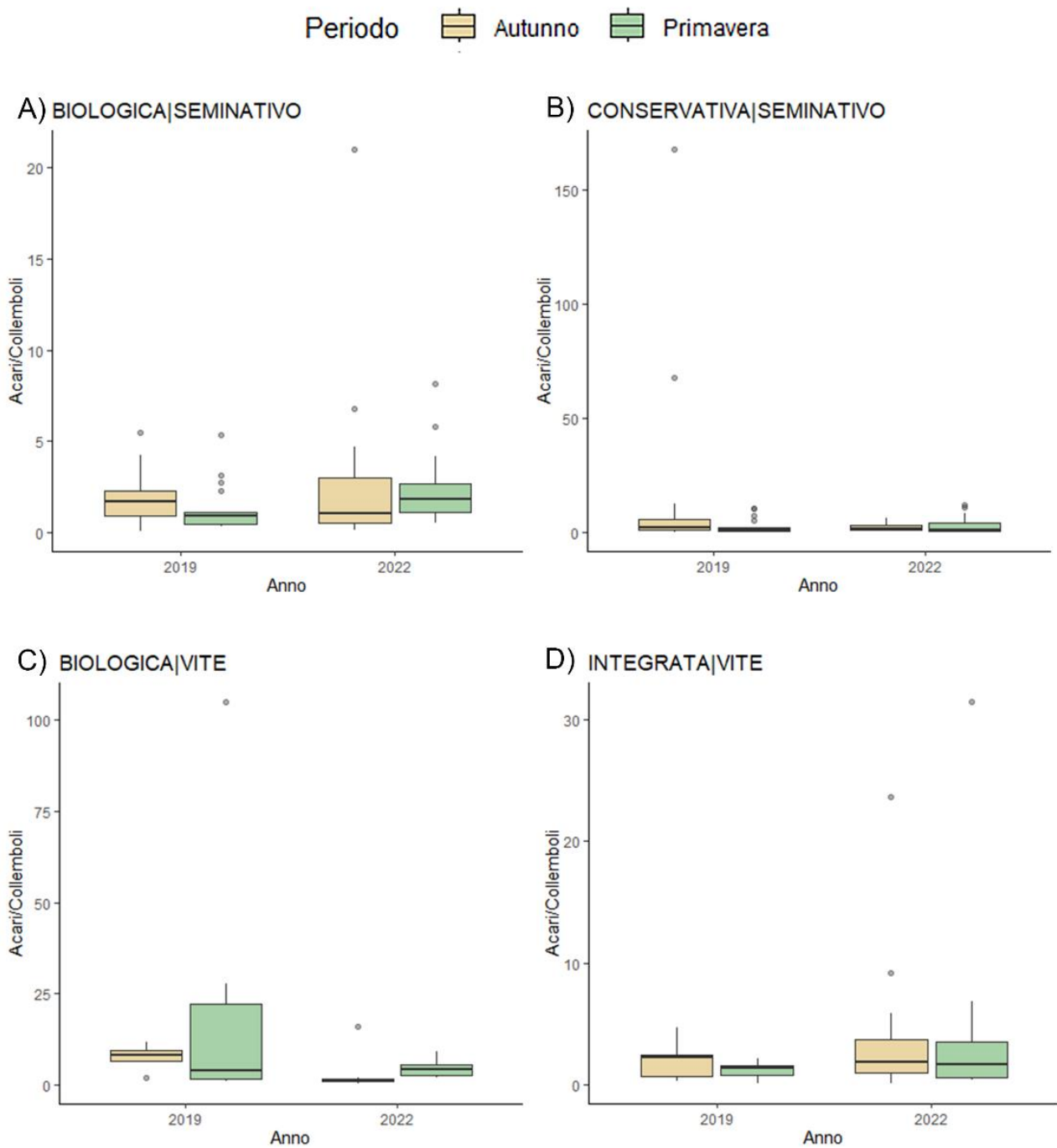


Figura 42. Distribuzione dei dati del rapporto Acari/Collemboli in relazione all'anno e alla stagione di campionamento, suddivisi per conduzione aziendale

Per quanto riguarda l'effetto della coltura sulla **densità di individui per m², sul numero di taxa e di forme biologiche**, nel **2019** sono emerse differenze significative in tutti e tre i casi ($p < 0.001$ per tutte le variabili), con valori generalmente sempre superiori in erba medica e vite e inferiori in cece da granella, cipolla, piselli e soia.

Nel **2022** si sono avute differenze simili, con valori generalmente sempre superiori nella vite. I valori inferiori di densità sono stati osservati nel mais (Figura 43dx), mentre il minor numero di taxa e di forme biologiche è stato registrato nell'avena (Figure 44dx-45dx).

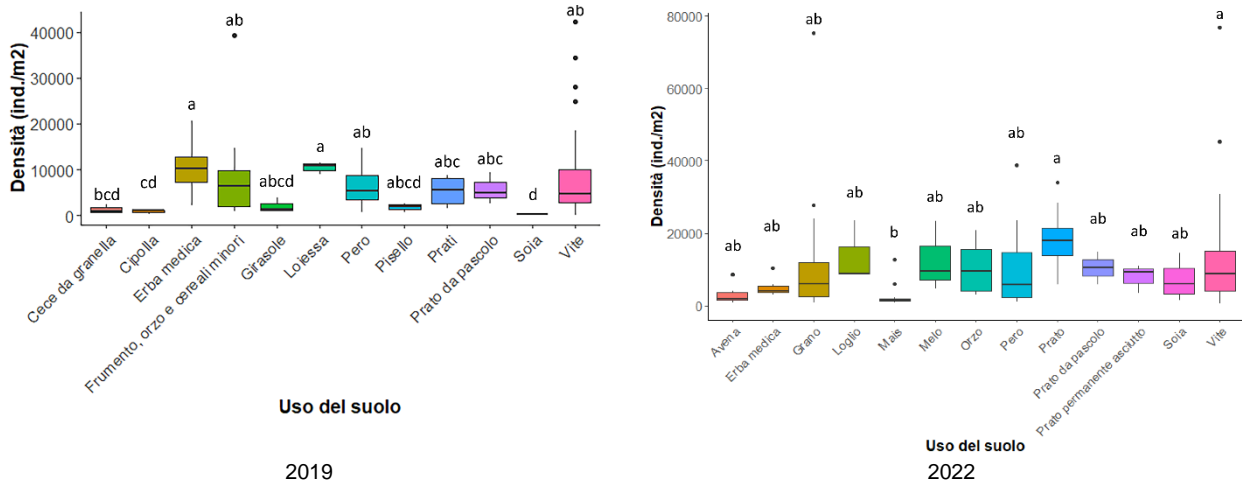


Figura 43. Distribuzione dei dati di densità per m² in relazione alla coltura. Dati Primavera

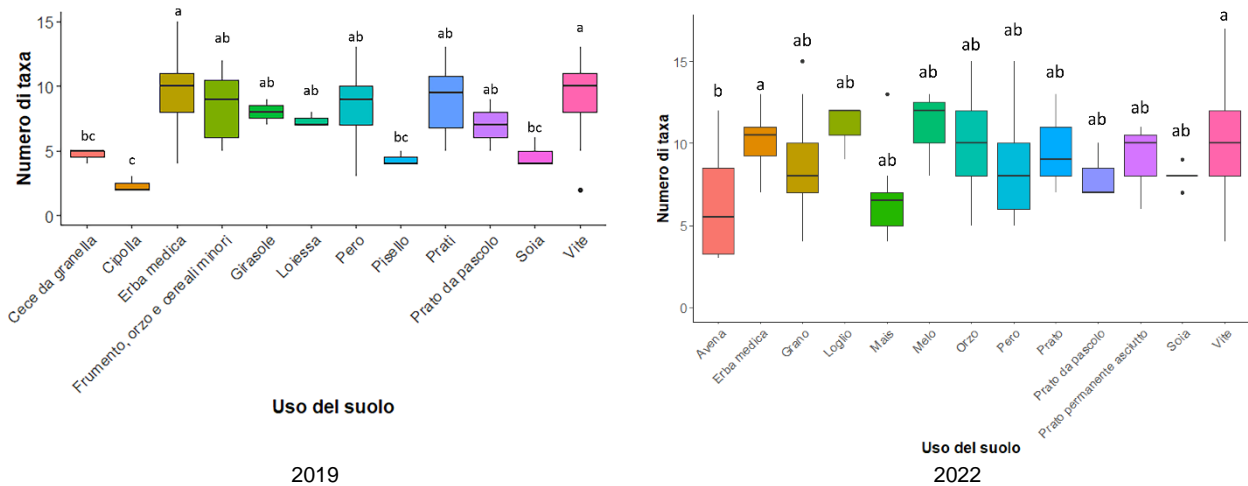


Figura 44. Distribuzione dei dati del numero di taxa in relazione alla coltura. Dati Primavera

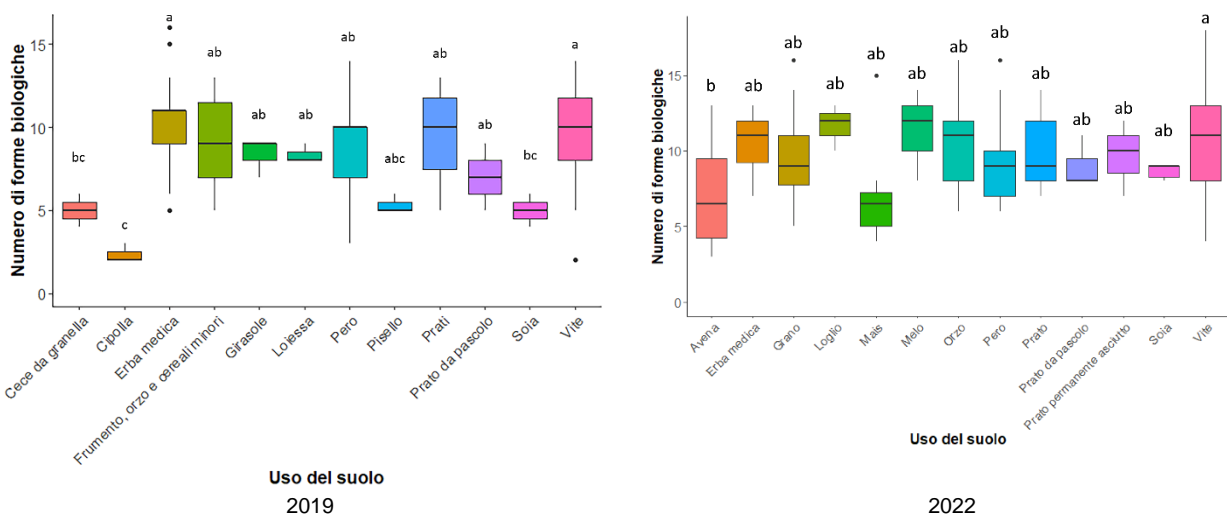


Figura 45. Distribuzione dei dati del numero di forme biologiche in relazione alla coltura. Dati Primavera

Nel 2019 nessuno di questi parametri differisce significativamente sulla base della **gestione aziendale**, mentre nel 2022 sì ($p < 0.001$, $p < 0.01$ e $p < 0.001$ rispettivamente).

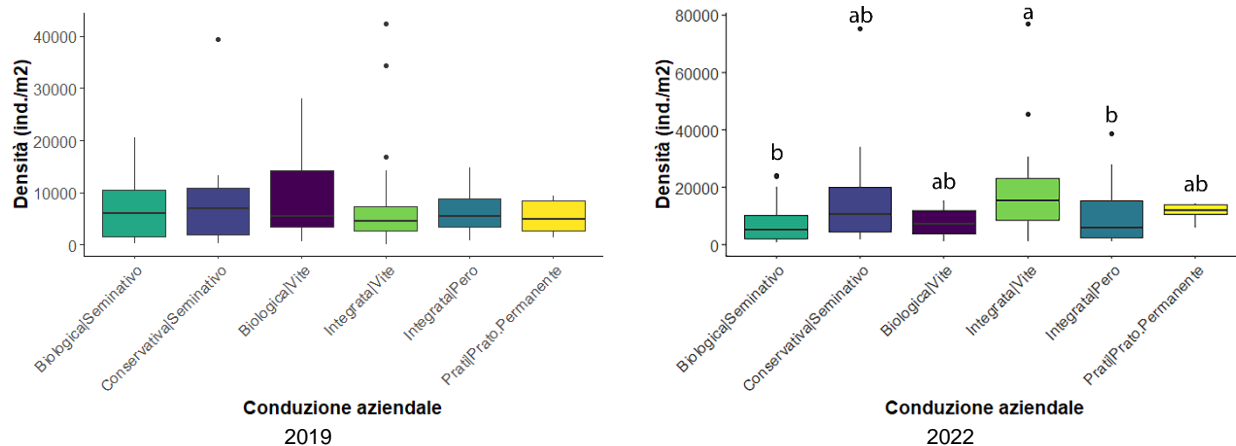


Figura 46. Distribuzione dei dati di densità per m² in relazione alla gestione aziendale. Dati Primavera

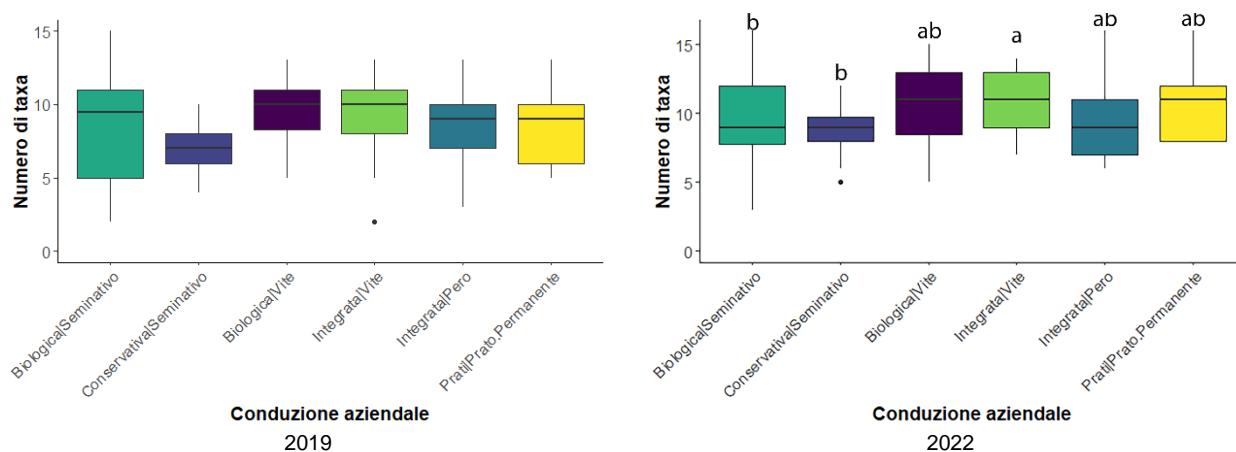


Figura 47. Distribuzione dei dati del numero di taxa in relazione alla gestione aziendale. Dati Primavera

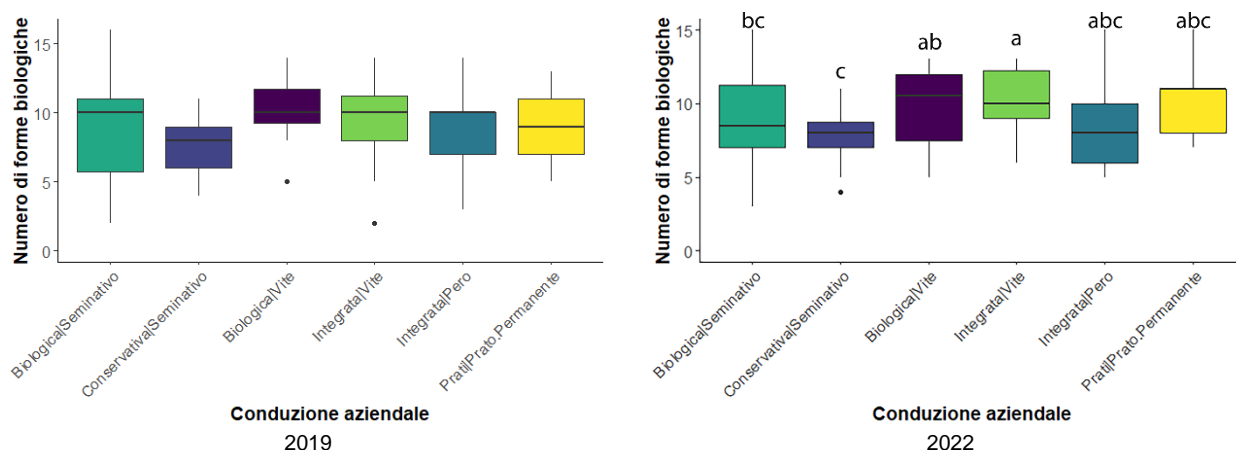


Figura 48. Distribuzione dei dati del numero di forme biologiche in relazione alla gestione aziendale. Dati Primavera

Inoltre, differenze annuali sono state osservate nella gestione: Biologica|Seminativo per numero di taxa, maggiore nel 2022 ($p < 0.01$; Figura 47), e Conservativa|Seminativo per densità e numero di taxa, maggiori nel 2022 ($p < 0.01$ e $p < 0.001$ rispettivamente; Figure 46 e 47 rispettivamente).

QBS-ar.

Nel **2019**, i dati sono risultati differenti a seconda del tipo di coltura ($p = 1.49e-05$). In particolare, l'erba medica, i prati, i prati da pascolo, la vite, il frumento e orzo e cereali minori, il girasole, e il pero hanno riportato valori significativamente più alti rispetto alla cipolla (Figura 49sx). Differenze sono state riscontrate anche a livello di gestione aziendale ($p < 0.05$ (Figura 50 sx).

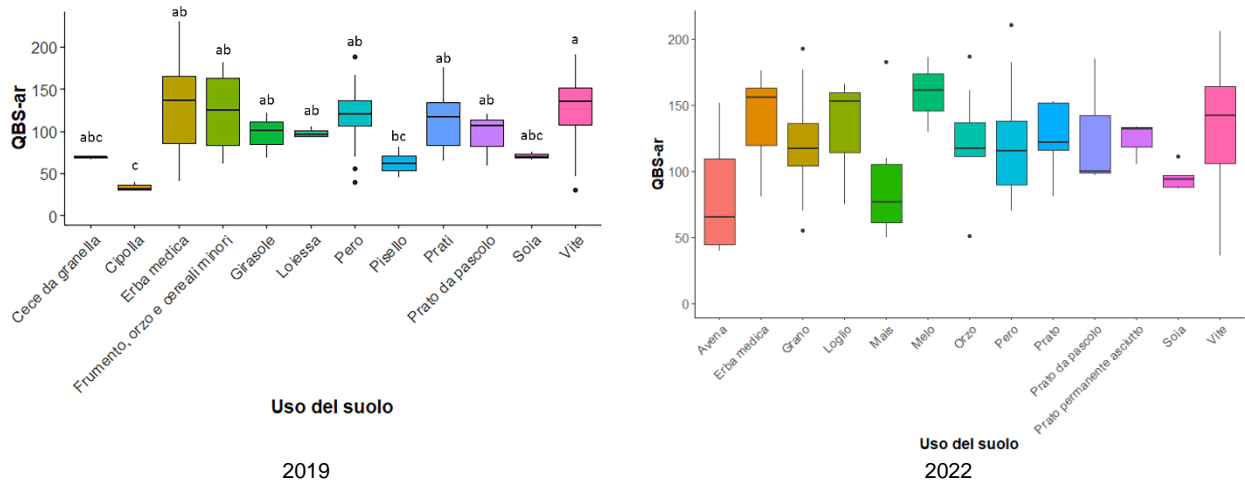


Figura 49. Distribuzione dei dati di QBS-ar in relazione alla coltura. Dati Primavera

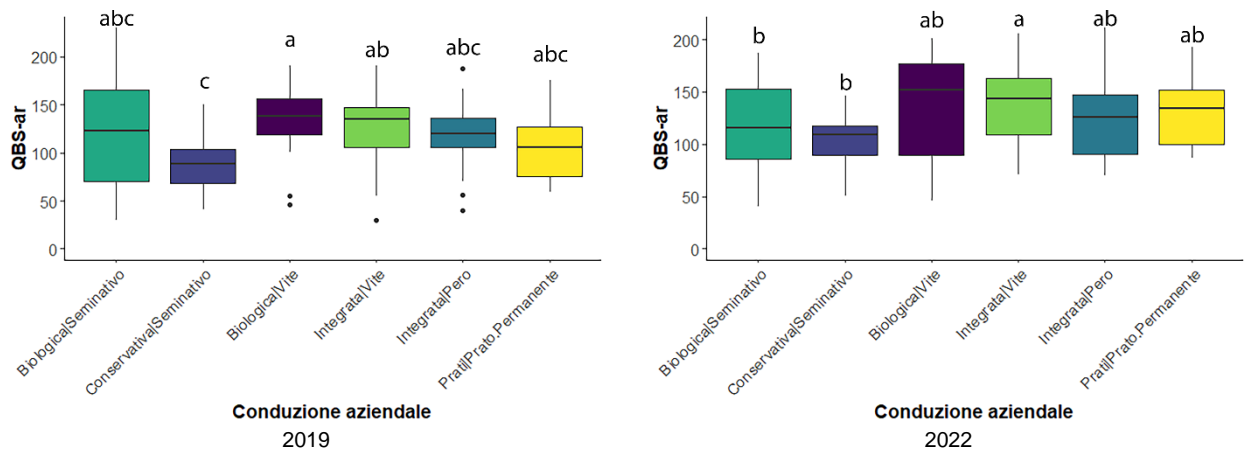


Figura 50. Distribuzione dei dati di QBS-ar in relazione alla gestione aziendale. Dati Primavera

Nel **2022**, invece, non ci sono state differenze in relazione alla coltura (Figura 49dx), mentre la gestione aziendale influisce sul QBS-ar ($p < 0.05$, Figura 50dx). Tuttavia, nessuna gestione risulta avere un impatto diverso sull'indice dal 2019 al 2022.

QBS-c.

Sia nel 2019 che nel 2022 non si sono riscontrate differenze significative in relazione alla coltura (Figura 51-52 sx). La conduzione aziendale non incide nel 2019 mentre lo fa nel 2022 ($p < 0.01$; Figure 51-52dx). Nessuna gestione risulta avere un impatto diverso sull'indice dal 2019 al 2022.

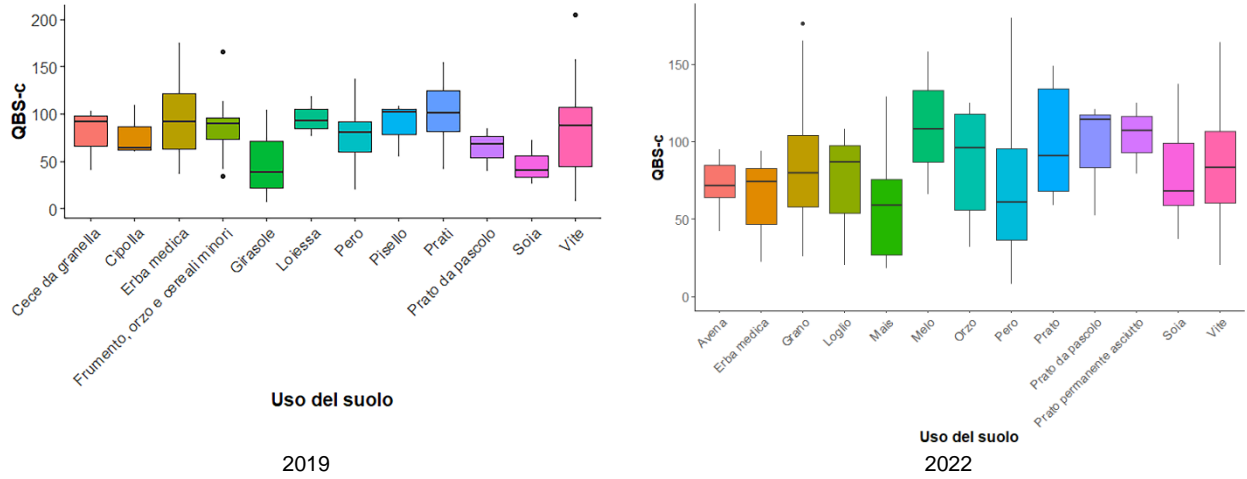


Figura 51. Distribuzione dei dati di QBS-c in relazione alla coltura. Dati Primavera

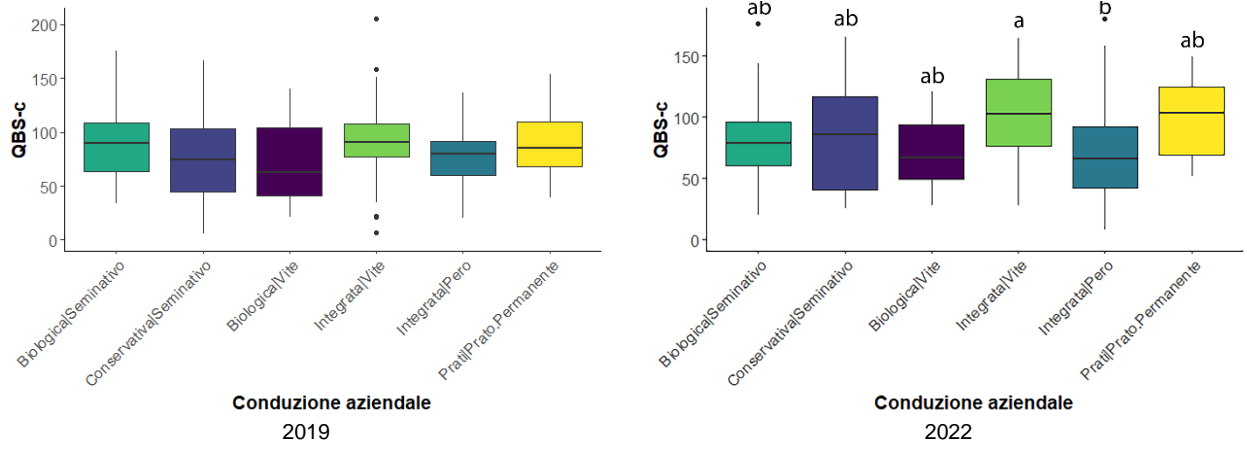


Figura 52. Distribuzione dei dati di QBS-c in relazione alla gestione aziendale. Dati Primavera

Evenness di Pielou.

Nel 2019 questo indice dipende dal tipo di uso coltura ($p < 0.001$). Nello specifico la soia ha riportato valori superiori a quelli di prati da pascolo, erba medica, pero e vite (Figura 53sx). Nessuna differenza è stata osservata per la tipologia di azienda (Figura 54sx).

Nel 2022 non si sono riscontrate differenze significative in relazione alla coltura (Figura 53dx), la conduzione aziendale ha avuto invece un impatto significativo ($p < 0.001$; Figura 54dx).

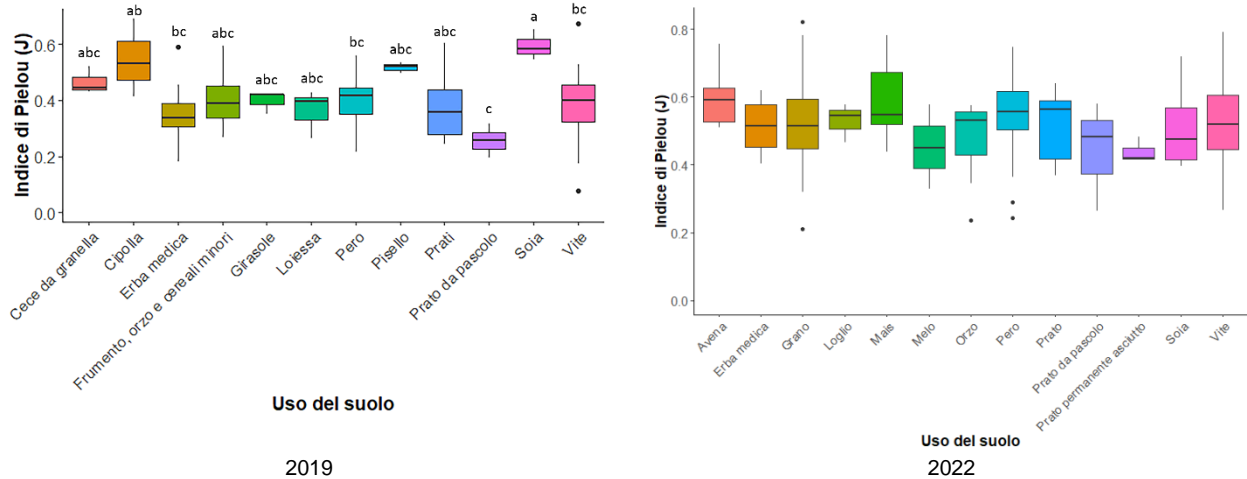


Figura 53. Distribuzione dei dati dell'indice di Pielou in relazione alla coltura. Dati Primavera

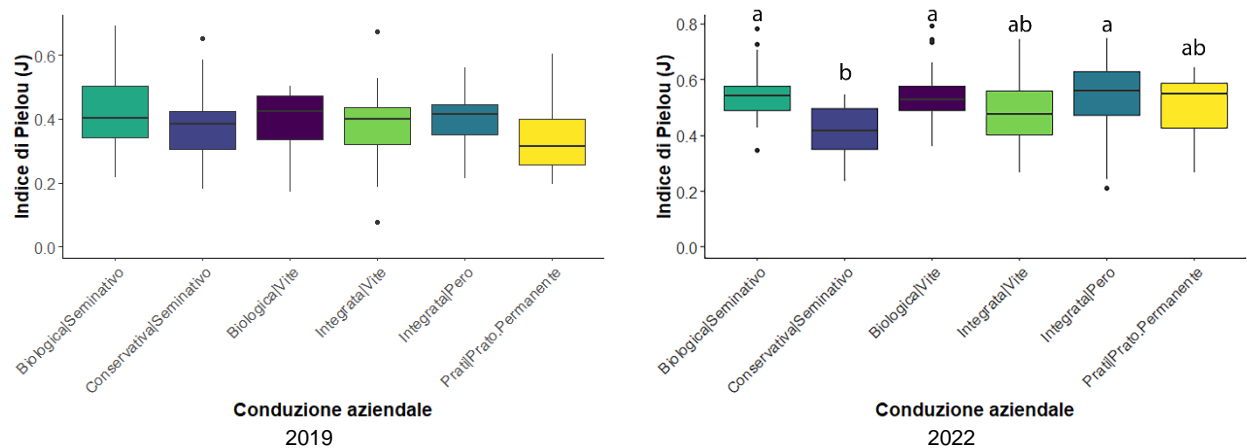


Figura 54. Distribuzione dei dati dell'indice di Pielou in relazione alla gestione aziendale.

Inoltre, nelle gestioni Biologica|Seminativo, Biologica|Vite e Integrata|Pero si osserva una differenza tra 2019 e 2022 ($p < 0.001$ per tutte).

Indice di Shannon.

Nel **2019** non si sono riscontrate differenze significative né in relazione alla coltura né alla conduzione aziendale. Nel **2022** si sono riscontrate differenze significative in relazione alla conduzione aziendale ($p < 0.001$).

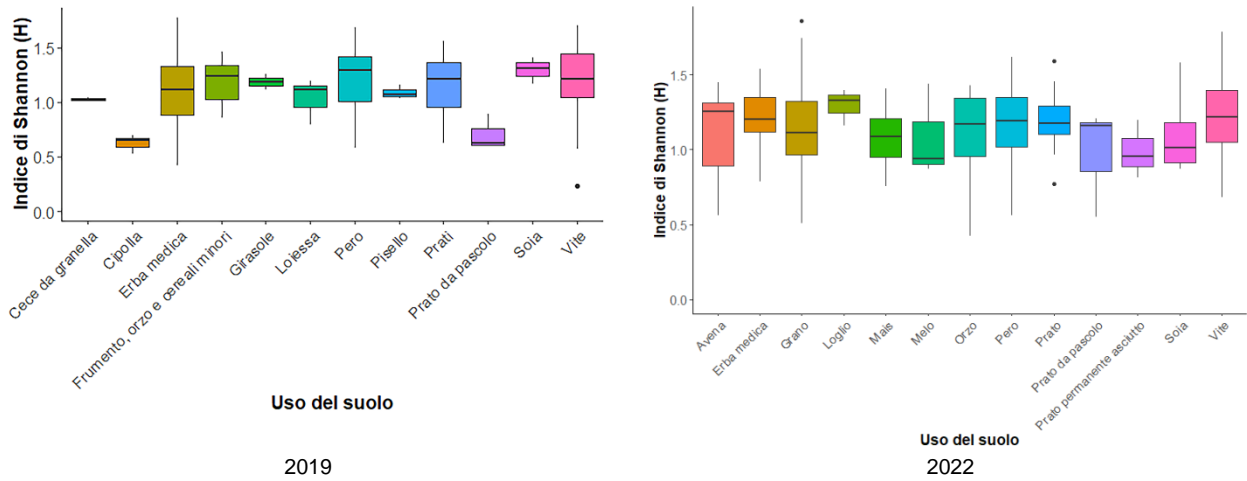


Figura 55. Distribuzione dei dati dell'indice di Shannon in relazione alla coltura. Dati Primavera

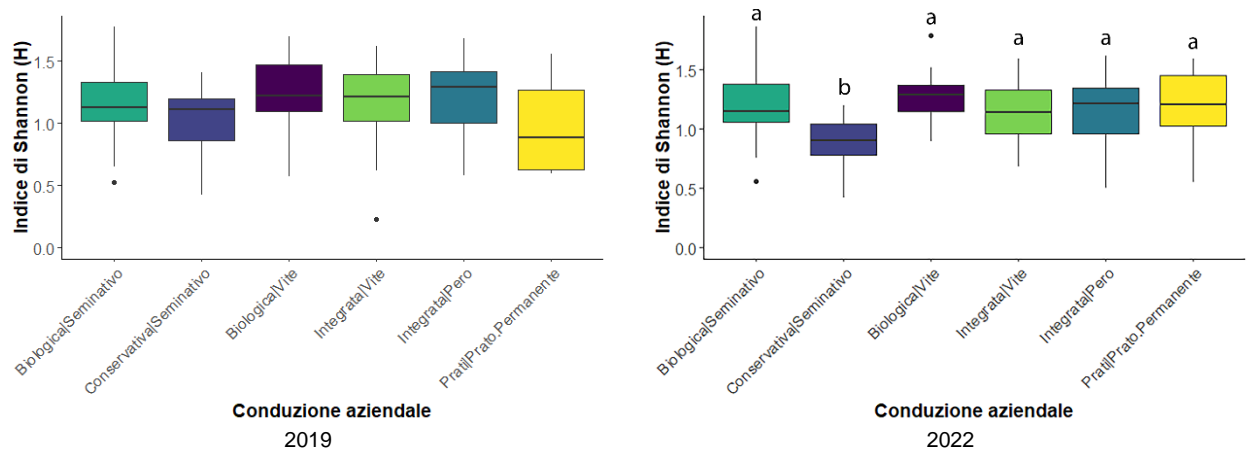


Figura 56. Distribuzione dei dati dell'indice di Shannon in relazione alla gestione aziendale. Dati Primavera

Non si è osservata alcuna differenza nelle gestioni aziendali tra 2019 e 2022.

Rapporto acari-collemboli.

Nel 2019 sono state osservate differenze dovute alla coltura ($p < 0.01$), ma senza una differenza significativa fra coppie di colture specifiche (Figura 57sx). Queste differenze sono osservabili tra le diverse tipologie di azienda ($p < 0.01$), con la biologica con vite con valori superiori a conservativa e biologica con seminativo e all'integrata con il pero (Figura 58sx).

Nel **2022** non si sono riscontrate differenze significative né in relazione all'uso del suolo né alla conduzione aziendale (Figure 57-58dx).

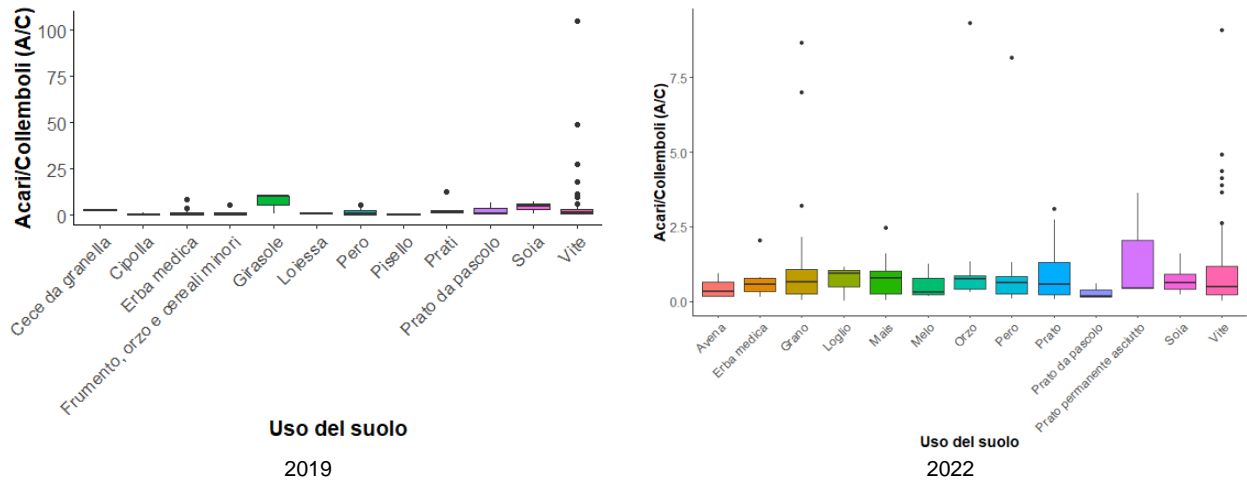


Figura 57. Distribuzione dei dati del rapporto Acari/Collemboli in relazione alla coltura. Dati Primavera

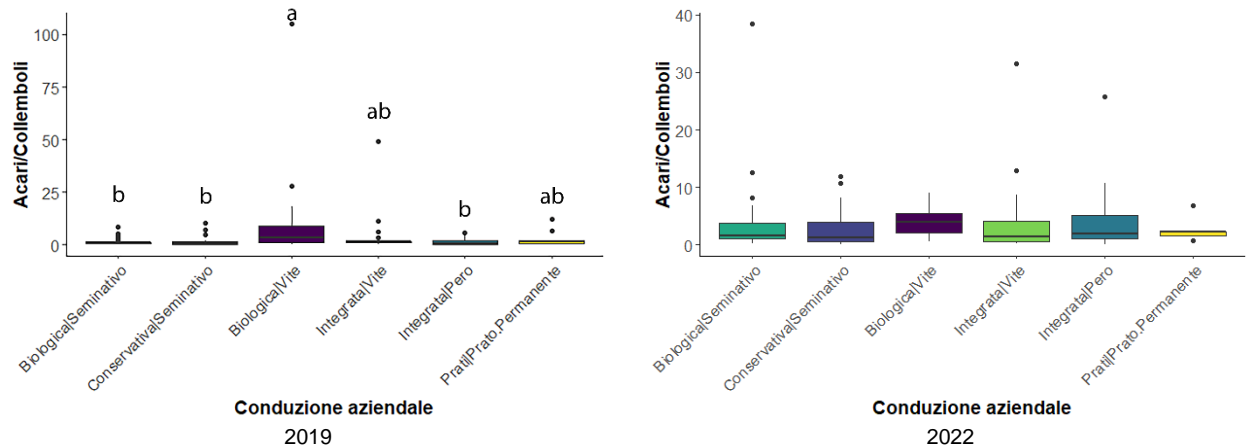


Figura 58. Distribuzione dei dati del rapporto Acari/Collemboli in relazione alla gestione aziendale. Dati Primavera

Tra il 2019 ed il 2022 si è osservato un aumento del rapporto Acari/Collemboli per le gestioni Biologica|Seminativo e Integrata|Pero ($p < 0.001$ entrambe).

Per quanto riguarda l'analisi delle componenti principali, ne emerge che nel 2019 il 39,10% della varianza è spiegato dalle prime due componenti, mentre nel 2022 risulta il 44,9%.

Nel **2019** le variabili che provocano un maggior grado di discriminazione fra i campioni sono QBS-ar, n° di taxa e di forme biologiche e argilla totale (colore rosso); seguite dalle variabili indicate in giallo nella Figura 59, mentre le variabili indicate in verde sono quelle meno discriminanti. Per quanto riguarda il QBS-ar si può osservare come esso sia correlato positivamente al numero di taxa e di forme biologiche e legato ad un'alta presenza di sabbia. Viceversa, è generalmente caratterizzato da una bassa presenza di argilla e di umidità. Lo stesso vale per l'indice di Shannon, mentre la evenness di Pielou è legata a bassi valori di carbonio e sostanza organica, ma anche di QBS-c e di densità di artropodi.

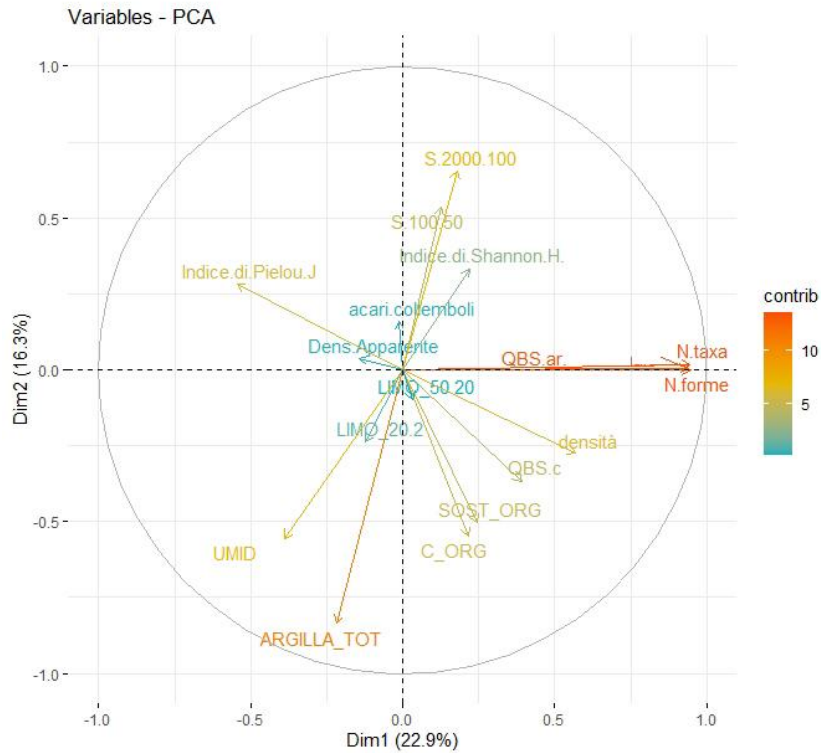


Figura 59. PCA raffigurante le prime due componenti principali e il contributo di ogni variabile alle componenti raffigurate (dati 2019)

Nel 2022 per quanto riguarda il QBS-ar si può osservare come esso si relazioni direttamente soprattutto alla densità apparente e al carbonio organico (Figura 60), fatta eccezione per il numero di taxa e di forme biologiche dalle quali dipende. L'indice di Shannon (H) si è mostrato direttamente relazionato al contenuto di sabbia totale, mentre la evenness di Pielou (J) tende a variare in maniera opposta al carbonio organico, ma anche al QBS-c.

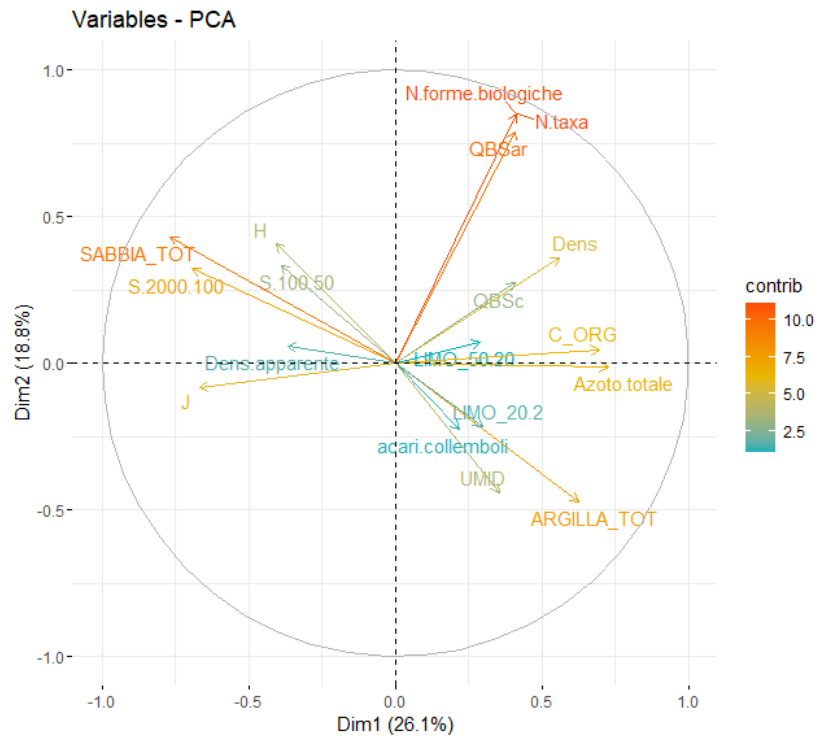


Figura 60. PCA raffigurante le prime due componenti principali e il contributo di ogni variabile alle componenti raffigurate (dati 2022)

Nel 2019 la regressione lineare tra QBS-ar e parametri del suolo conferma un effetto negativo dell'umidità sui valori di QBS-ar ($p < 0.0001$, Figura 61).

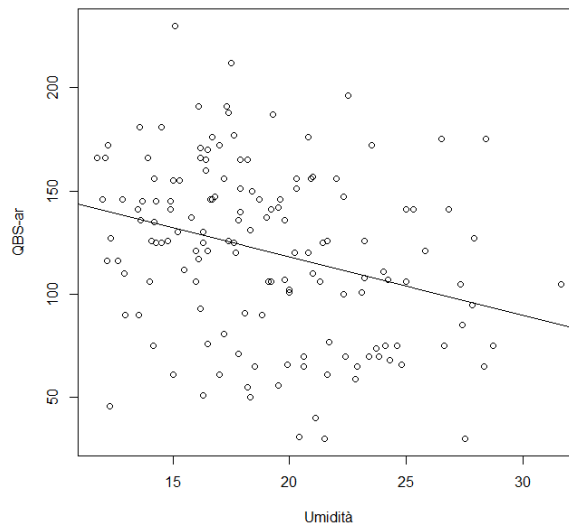


Figura 61. Regressione lineare fra QBS-ar e umidità

Dal test di correlazione è risultata una correlazione positiva tra QBS-ar e QBS-c, così come tra QBS-ar e indice di Shannon (Figure 62-63), mentre tra QBS-ar e evenness di Pielou si è osservata una correlazione negativa (Figura 64).

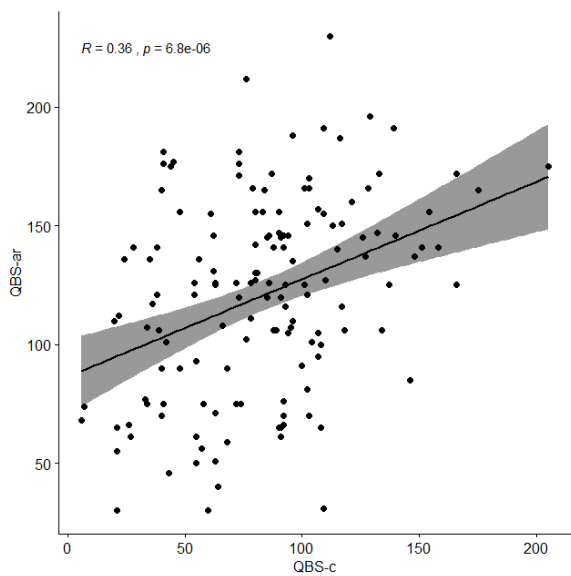


Figura 62. Correlazione tra QBS-ar e QBS-c

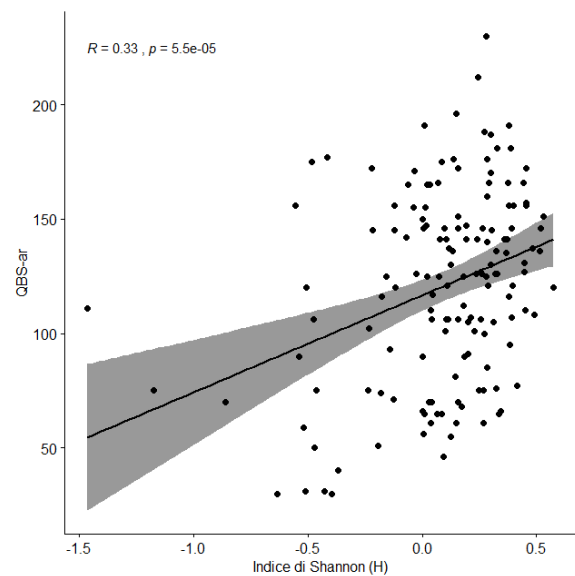


Figura 63. Correlazione tra QBS-ar e indice di Shannon

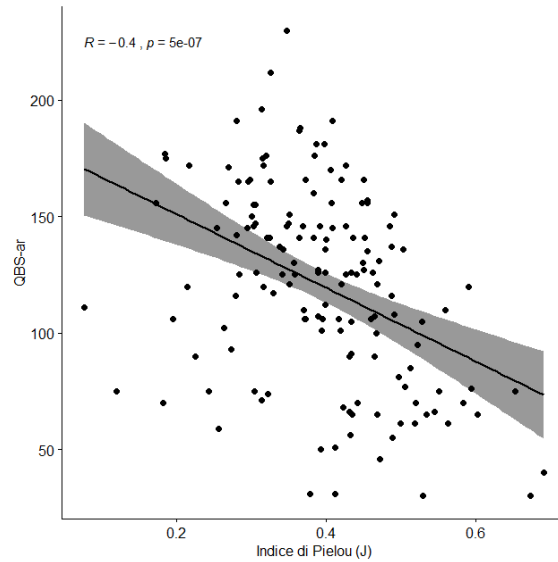


Figura 64. Correlazione tra QBS-ar e indice di Pielou

Non si osserva nessuna correlazione tra il QBS-ar ed il rapporto Acari/Collemboli.

Nel 2022 la regressione lineare tra QBS-ar e parametri del suolo conferma un effetto negativo della densità apparente e positivo del carbonio organico sui valori di QBS-ar ($p \leq 0.05$ entrambi, Figure 65-66).

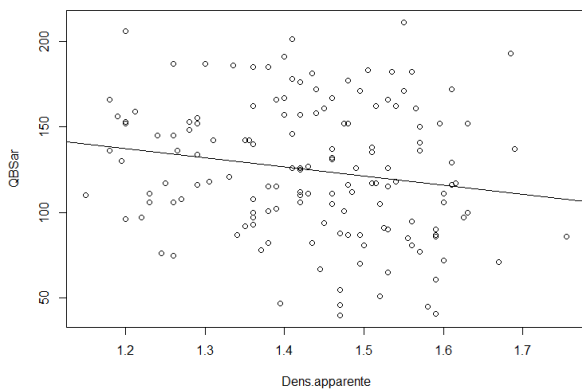


Figura 65. Regressione lineare fra QBS-ar e densità apparente

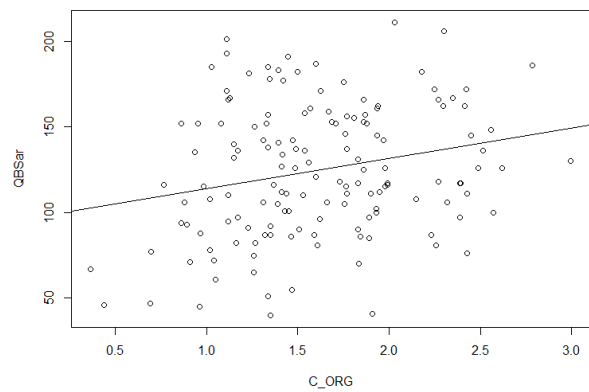


Figura 66. Regressione lineare fra QBS-ar e carbonio organico

Dal test di correlazione è risultata una correlazione positiva tra QBS-ar e QBS-c, così come tra QBS-ar e indice di Shannon (Figure 67-68), mentre tra QBS-ar e evenness di Pielou si è osservata una correlazione negativa (Figura 69).

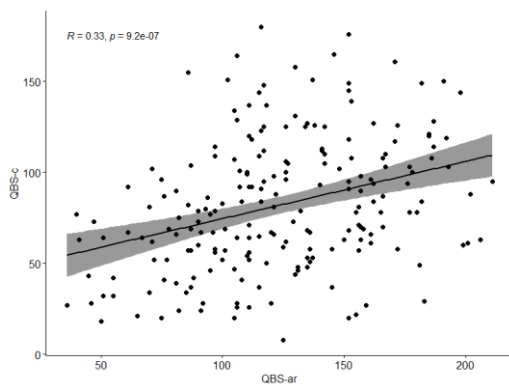


Figura 67. Correlazione tra QBS-ar e QBS-c

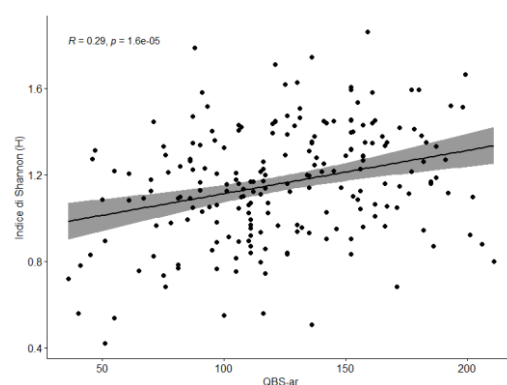


Figura 68. Correlazione tra QBS-ar e indice di Shannon (H).

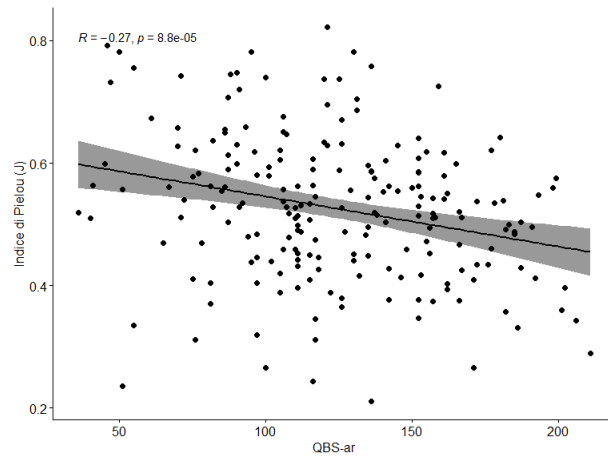


Figura 69. Correlazione tra QBS-ar e indice di Pielou (J)

Non si osserva nessuna correlazione tra il QBS-ar e rapporto Acari/Collemboli.

5.4 Contenuto di metalli potenzialmente tossici

5.4.1 Contenuto di metalli in funzione dell'uso del suolo

Le seguenti affermazioni sono tratte dalle Note Illustrative della “Carta del fondo naturale-antropico della pianura emiliano-romagnola. Scala 1:250.000” (2019).

“La componente antropica dell’**Arsenico** appare **legata all’uso del suolo associato all’utilizzazione degli arseniati e arseniti impiegati fino agli anni 70** (D.lgs 194/95) come fitosanitari in particolar modo per la frutticoltura e la viticoltura (Alloway, 1995; Ceccarello 2012, Soil Contamination: Impact on Human Health, Report EU 2013). Tali prodotti hanno trovato largo impiego nell’immediato dopoguerra (anni 50) e le aree soggette a tale gestione agricola, come confermano le carte dell’uso del suolo del 1954 e del 1976, presentano frequentemente valori relativamente più elevati di Arsenico.

Per il contenuto naturale-antropico il Cromo e **Nichel nei suoli, la provenienza del parent material è senz’altro il fattore determinante**: nel contesto geologico regionale Cromo e Nichel sono infatti originati nei sedimenti (e di conseguenza anche nei suoli) dall’alterazione dei corpi ofiolitici, in particolare dalle peridotiti ultramafiche serpentizzate.

Il contenuto naturale-antropico di **Rame e Zinco** è disomogeneo nei suoli regionali ma comunque prevalentemente al di sotto dei limiti fissati dal D.lgs 152/06 (120 e 150 mg kg⁻¹ rispettivamente). La distribuzione simulata della concentrazione del Rame nell’orizzonte superficiale dei suoli agricoli non sembra avere fattori determinanti di tipo naturale che contribuiscano a creare anomalie positive: **c’è invece una chiara convergenza verso l’uso e la gestione del suolo** in quanto nei comprensori reggiano e modenese la concentrazione aumenta in modo significativo. È noto l’apporto al suolo di Zinco e Rame dovuto alle deiezioni zootecniche in quanto presenti, soprattutto nel passato, come integratori nella razione alimentare dei suini per i positivi effetti che determinano sulle rese produttive (Bonazzi et al., 1994; Kabata Pendias, 2001; ERSF, 2007; ARPAV, 2019). Per il Rame va detto che questo elemento è altresì contenuto negli anticrittogamici utilizzati in particolar modo per il controllo della peronospora nella vite (Mantovi, 2003), nei fruttiferi e nelle ortive e quindi il contenuto naturale-antropico risente anche di questo tipo di apporto, che tuttavia sembra essere più moderato visto che nel ravennate, interessato da una percentuale significativa di legnose agrarie (circa il 40%) le concentrazioni sono comunque inferiori salvo aree limitate”.

Il contenuto di metalli è stato determinato su **49** campioni e l’analisi ripetuta sia nel 2019 che nel 2022. È stato fatto un primo confronto tra i dati attraverso un t.test per verificare se vi fossero state variazioni significative di tali metalli a distanza di 3 anni. Nella tabella seguente si riportano i valori statistici di ciascun metallo suddivisi nelle due annualità di campionamento e nell’ultima colonna vengono poi riportati i p.value risultanti dal test di confronto.

Parametro	Anno	N	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità
Arsenico (As)	2019	49	2.80	4.70	5.90	6.37	7.60	10.10	15.90	2.52	NON significativa
	2022	49	1.60	4.05	5.40	5.62	7.00	9.00	14.00	2.55	
Cadmio Cd	2019	49	0.05	0.16	0.25	0.29	0.43	0.59	0.68	0.17	SIGNIFICATIVO
	2022	49	0.23	0.30	0.37	0.40	0.49	0.61	0.67	0.12	
Cromo (Cr)	2019	49	24.40	45.23	52.65	56.74	64.93	96.81	101.00	19.50	SIGNIFICATIVO
	2022	49	17.70	33.75	42.05	44.61	51.30	81.49	86.60	16.50	
Rame (Cu)	2019	49	18.40	43.90	61.95	73.50	87.58	155.15	258.00	44.65	NON significativa
	2022	49	14.50	36.83	52.85	69.78	85.98	148.25	297.00	53.55	
Nichel (Ni)	2019	49	22.00	34.95	41.70	49.06	52.60	92.09	103.00	21.29	NON significativa
	2022	49	18.80	33.33	38.75	43.84	48.88	86.78	102.00	19.21	
Piombo (Pb)	2019	49	5.20	11.30	14.70	16.17	21.08	25.33	37.80	6.33	SIGNIFICATIVO
	2022	49	3.00	7.00	10.50	11.53	13.00	19.95	45.00	6.75	
Vanadio (V)	2019	49	21.30	30.63	40.25	38.71	44.38	55.20	61.40	10.27	SIGNIFICATIVO
	2022	49	16.80	25.68	33.20	32.95	37.63	44.46	67.40	9.73	
Zinco (Zn)	2019	49	44.30	73.50	89.50	84.78	99.25	112.25	117.00	19.52	NON significativa
	2022	49	36.70	64.43	76.50	79.58	97.25	107.30	147.00	22.19	

Tabella 83: Statistica descrittiva del contenuto di metalli (mg/kg) suddivisi nelle due annualità di campionamento (in rosso i valori che superano i valori limite secondo il DM 46/2019).

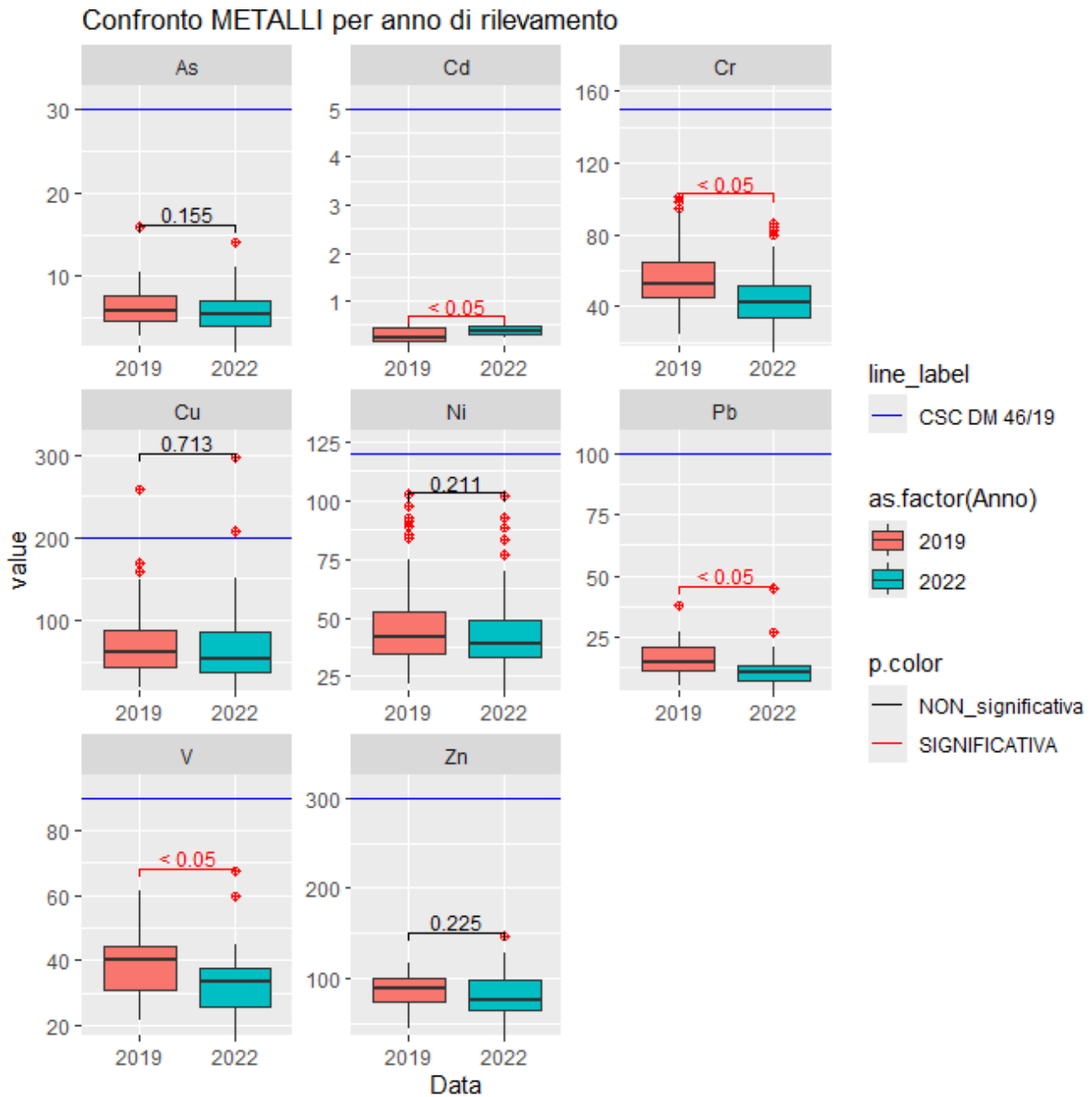


Figura 70: Boxplot valori metalli divisi nelle annualità di campionamento; viene riportato anche il p.value risultante dal wilcox.test

Il contenuto di metalli è sempre sotto il limite di legge secondo il DM 46/2019, con due eccezioni, una legata ad un vigneto per il contenuto in **rame**, che risulta in entrambe le annualità con valori leggermente sopra il limite (297 e 258 mg/kg); un'altra riferita ad un secondo vigneto che risulta nel 2022 con valore che supera il limite (208 mg/kg a fronte di un limite di 200 mg/kg).

Nei paragrafi seguenti si riportano i valori statistici dei metalli il cui contenuto è potenzialmente influenzato dalle pratiche agronomiche quali As, Cu, Zn e Cd. Ciascun metallo è stato analizzato in funzione dei diversi usi del suolo considerati nell'attività di monitoraggio.

Il contenuto di metalli è stato determinato su **49** campioni e l'analisi ripetuta sia nel 2019 che nel 2022. Pertanto, è stato fatto confronto tra i dati attraverso un t.test per verificare se vi fossero state variazioni significative di tali metalli a distanza di 3 anni nelle diverse tipologie di coltura. Dai valori riportati in tabella 84 e in figura 71, si evince come soltanto per il cadmio in tutte le colture si riscontri una variazione statisticamente significativa: in particolare nel pero è diminuito tra 2019 e 2022, mentre nelle altre colture risulta in aumento.

Metallo	Uso del suolo	Anno	N	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD	P.value tra Annualità	
As	PERO	2019	10	5.60	6.85	7.75	8.62	9.58	13.34	15.90	2.94	NON significativa	
		2022	10	4.70	5.00	5.00	6.45	6.75	11.30	14.00	2.87		
	PRATI	2019	3	9.10	9.50	9.90	9.83	10.20	10.44	10.50	10.50	0.70	NON significativa
		2022	3	2.21	2.61	3.00	4.74	6.00	8.40	9.00	3.71		
	SEMINATIVO	2019	18	2.80	4.00	4.90	5.14	5.83	8.85	9.70	9.70	1.81	NON significativa
		2022	18	1.60	2.72	5.10	4.57	6.00	6.38	6.80	6.80	1.82	
	VITE	2019	17	3.50	4.40	5.90	5.72	6.50	8.02	9.70	9.70	1.66	NON significativa
		2022	17	2.00	5.00	7.00	6.41	8.00	9.40	11.00	2.60		
Cd	PERO	2019	10	0.36	0.45	0.51	0.50	0.54	0.62	0.68	0.09	SIGNIFICATIVO	
		2022	10	0.23	0.26	0.30	0.29	0.31	0.36	0.36	0.04		
	PRATI	2019	3	0.14	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.17	0.02	SIGNIFICATIVO
		2022	3	0.33	0.40	0.46	0.45	0.51	0.55	0.56	0.12		
	SEMINATIVO	2019	18	0.05	0.14	0.17	0.25	0.37	0.59	0.61	0.19	SIGNIFICATIVO	
		2022	18	0.28	0.30	0.36	0.41	0.50	0.64	0.67	0.13		
	VITE	2019	17	0.08	0.17	0.27	0.25	0.35	0.37	0.39	0.10	SIGNIFICATIVO	
		2022	17	0.30	0.37	0.44	0.45	0.55	0.59	0.62	0.10		
Cu	PERO	2019	10	45.10	63.30	77.90	84.21	92.30	137.40	159.00	32.88	NON significativa	
		2022	10	32.40	50.88	72.95	77.98	86.73	140.50	145.00	37.53		
	PRATI	2019	3	23.40	29.45	35.50	51.97	66.25	90.85	97.00	39.47	NON significativa	
		2022	3	19.60	24.10	28.60	26.83	30.45	31.93	32.30	6.53		
	SEMINATIVO	2019	18	18.40	41.33	46.40	50.72	59.50	86.02	86.10	18.86	NON significativa	
		2022	18	14.50	34.60	42.80	42.02	54.53	66.38	71.90	17.15		
	VITE	2019	17	26.30	56.10	81.60	95.11	124.00	187.60	258.00	58.63	NON significativa	
		2022	17	17.50	46.10	88.10	101.94	129.00	225.80	297.00	70.42		
2022		17	23.10	29.80	34.40	33.79	36.10	44.28	44.60	5.94			
Zn	PERO	2019	10	52.00	86.25	90.00	89.17	99.25	114.55	115.00	20.20	NON significativa	
		2022	10	58.20	74.25	97.50	95.82	107.00	138.45	147.00	27.73		
	PRATI	2019	3	69.00	73.50	78.00	82.33	89.00	97.80	100.00	15.95	NON significativa	
		2022	3	56.10	56.80	57.50	64.20	68.25	76.85	79.00	12.84		
	SEMINATIVO	2019	18	54.40	75.50	88.50	85.12	96.25	109.35	117.00	19.20	NON significativa	
		2022	18	50.00	61.28	73.00	76.25	96.50	104.30	106.00	19.30		
	VITE	2019	17	44.30	60.50	91.00	82.28	99.00	104.20	109.00	21.13	NON significativa	
		2022	17	36.70	67.00	81.00	76.26	90.00	101.20	102.00	19.09		

Tabella 84. Statistica descrittiva del contenuto di metalli (mg/kg) per diversi usi del suolo (in rosso i valori che presentano una variazione significativa tra le due annualità di rilevamento)

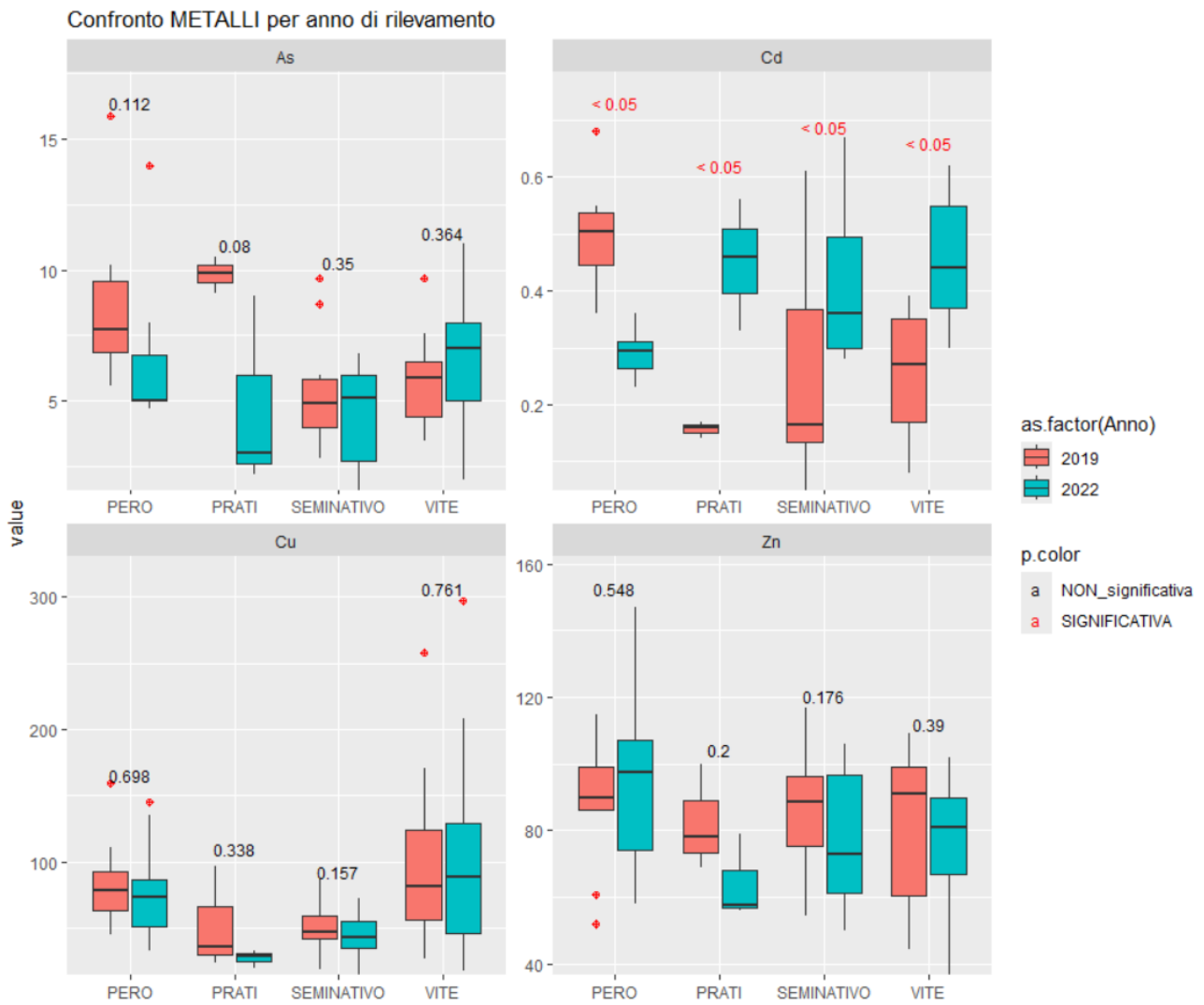


Figura 71: Rappresentazione tramite boxplot del contenuto dei metalli analizzati in funzione dell'uso del suolo. I valori rappresentano i risultati di significatività del confronto rta le due annualità di rilevamento

È stato poi fatto un confronto tra i diversi usi del suolo tra loro (Figura 71): il contenuto di **arsenico** è più alto nei prati e nel pero, i test statistici confermano significative differenze tra le medie di questi due usi rispetto ai seminativi e alla vite; mentre il contenuto di **Cadmio** è da considerarsi equivalente tra le diverse colture. Il **rame** ha contenuti medi più alti nella vite e la differenza è significativa nei confronti sia dei seminativi che dei prati; e anche il Pero ha contenuti statisticamente più elevati rispetto a prati e seminativi. Infine, lo **zinco** ha valori medi più alti nel pero che mostra differenze significative rispetto agli altri usi del suolo.

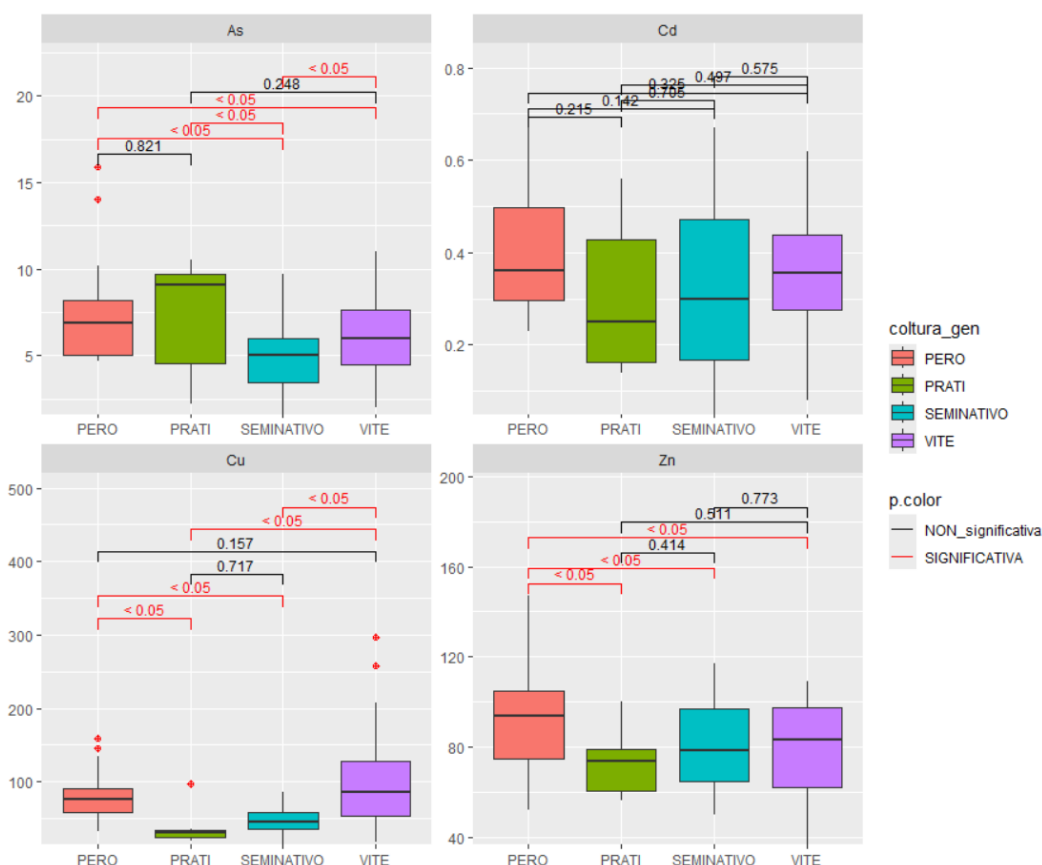


Figura 72. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto dei metalli analizzati in funzione dell'uso del suolo

5.4.2 Contenuto di As, Cd, Cu e Zn in funzione dell'uso del suolo e dei sistemi produttivi

Con l'analisi che segue si vuole evidenziare per i diversi usi del suolo se il contenuto di metalli è anche influenzato dai diversi sistemi produttivi quali l'agricoltura biologica (BIO), l'agricoltura conservativa (CONS), quella integrata, la produzione integrata (INT) e l'agricoltura convenzionale (T).

5.4.2.1 Seminativi

Per i seminativi sono stati considerati tutti e quattro i sistemi produttivi sopra elencati, nella tabella seguente si riporta la descrizione statistica dei 4 metalli considerati.

Dai valori medi di tabella 85 e dal grafico sottostante (figura 73) l'unico trend evidenziabile è la tendenza dell'agricoltura integrata (che però consta di un solo dato) ad avere valori più alti di As e Cd rispetto agli altri sistemi produttivi. A seguire l'agricoltura conservativa risulta la più elevata, anche per i metalli Cu e Zn.

Metallo	Uso del suolo	Anno	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD
As	BIOLOGICO	2019	7	2.8	4.4	5.3	4.91	5.75	5.97	6.00	1.17
	BIOLOGICO	2022	7	1.7	3.2	5.6	4.69	6.15	6.65	6.80	2.08
	CONSERVATIVA	2019	3	4.9	5.4	5.9	6.50	7.30	8.42	8.70	1.97
	CONSERVATIVA	2022	3	5	5.5	6	5.77	6.15	6.27	6.30	0.68
	INTEGRATA	2019	1	9.7	9.7	9.7	9.70	9.70	9.70	9.70	NA
	INTEGRATA	2022	1	6	6	6	6.00	6.00	6.00	6.00	NA
	TRADIZIONALE	2019	7	2.8	3.35	4.3	4.14	4.80	5.39	5.60	1.01
	TRADIZIONALE	2022	7	1.6	2.54	3	3.74	5.10	5.97	6.30	1.75
Cd	BIOLOGICO	2019	7	0.05	0.13	0.16	0.24	0.32	0.57	0.61	0.21
	BIOLOGICO	2022	7	0.285	0.315	0.4	0.44	0.55	0.62	0.64	0.14
	CONSERVATIVA	2019	3	0.1	0.14	0.18	0.16	0.20	0.21	0.21	0.06
	CONSERVATIVA	2022	3	0.3	0.385	0.47	0.48	0.57	0.65	0.67	0.19
	INTEGRATA	2019	1	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	NA
	INTEGRATA	2022	1	0.5	0.5	0.5	0.50	0.50	0.50	0.50	NA
	TRADIZIONALE	2019	7	0.06	0.14	0.16	0.24	0.31	0.53	0.58	0.19
	TRADIZIONALE	2022	7	0.28	0.29	0.3	0.34	0.37	0.47	0.48	0.08
Cu	BIOLOGICO	2019	7	23.6	44.45	51.2	55.36	68.90	83.48	86.00	21.35
	BIOLOGICO	2022	7	14.5	40.2	45.9	48.49	63.35	69.95	71.90	19.84
	CONSERVATIVA	2019	3	49.1	53.25	57.4	57.37	61.50	64.78	65.60	8.25
	CONSERVATIVA	2022	3	22.5	30.4	38.3	39.50	48.00	55.76	57.70	17.63
	INTEGRATA	2019	1	45.6	45.6	45.6	45.60	45.60	45.60	45.60	NA
	INTEGRATA	2022	1	18.2	18.2	18.2	18.20	18.20	18.20	18.20	NA
	TRADIZIONALE	2019	7	18.4	37.2	41.2	43.96	43.80	73.47	86.10	20.59
	TRADIZIONALE	2022	7	15.1	35.15	39.7	40.03	49.45	54.19	56.20	13.59
Zn	BIOLOGICO	2019	7	57	66.35	91	85.39	100.00	113.70	117.00	23.13
	BIOLOGICO	2022	7	51.4	60.45	73	77.76	97.50	102.20	104.00	21.87
	CONSERVATIVA	2019	3	94	95.5	97	99.00	101.50	105.10	106.00	6.24
	CONSERVATIVA	2022	3	70	82.5	95	90.33	100.50	104.90	106.00	18.45
	INTEGRATA	2019	1	90	90	90	90.00	90.00	90.00	90.00	NA
	INTEGRATA	2022	1	66	66	66	66.00	66.00	66.00	66.00	NA
	TRADIZIONALE	2019	7	54.4	67.05	78	78.21	86.50	101.70	108.00	18.44
	TRADIZIONALE	2022	7	50	56.1	73	70.17	78.50	93.00	99.00	17.35

Tabella 85. Statistica descrittiva del contenuto di metalli (mg/kg) nei siti con **seminativo** gestiti con diversi sistemi produttivi

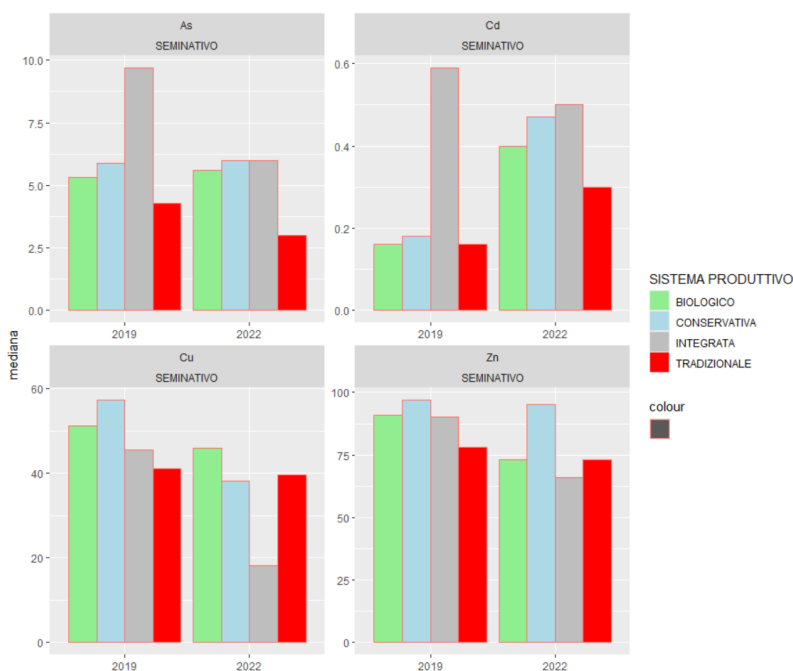


Figura 73. Grafico del contenuto medio (mg/kg) di metalli nei seminativi per i diversi sistemi produttivi

In figura 74 sono riportati anche i p.value dell'Anova effettuata tra i diversi sistemi produttivi utilizzando i valori medi generali (ovvero considerando i dati di entrambe le annualità), da i quali si conferma che l'Integrata e la conservativa hanno contenuti di As maggiori rispetto alla tradizionale; la conservativa ha anche contenuti di Zn maggiori rispetto alla tradizionale. Per quanto riguarda invece Cd e Cu le differenze riscontrate non sembrano essere statisticamente significative.

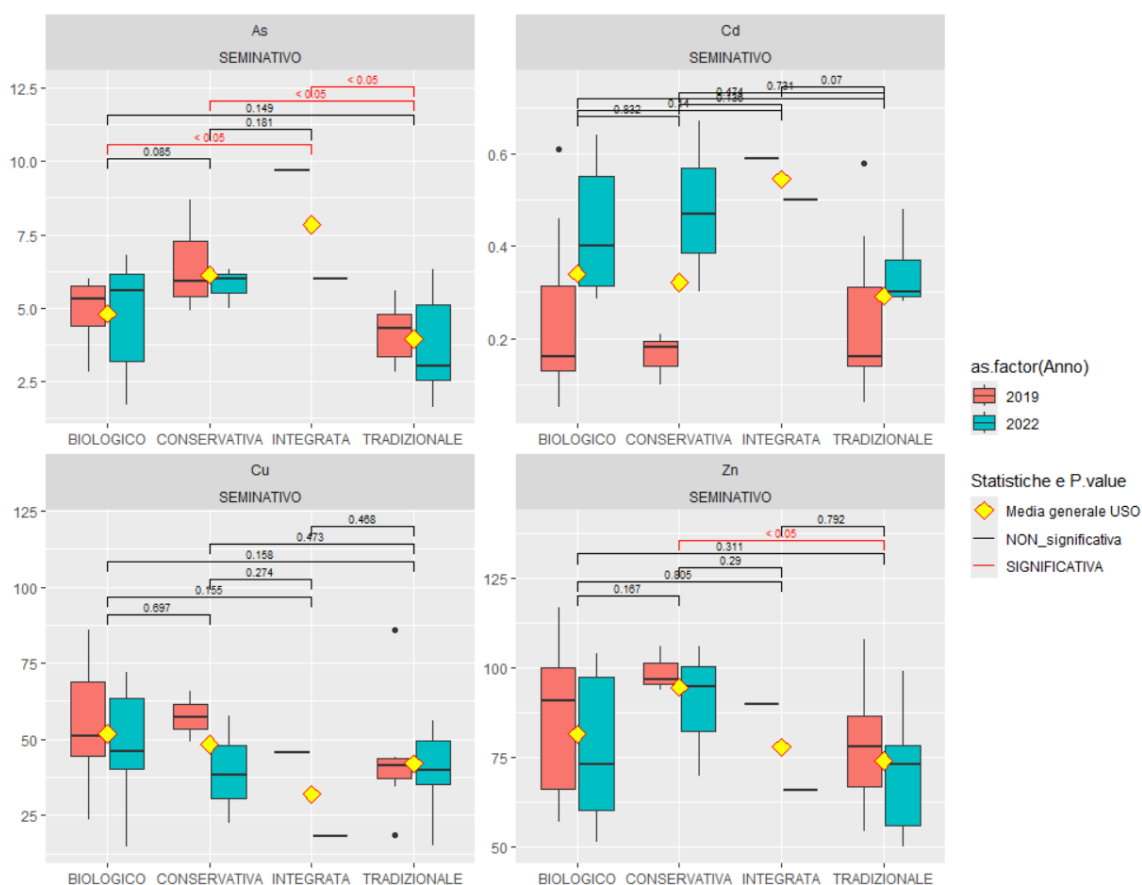


Figura 74. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di metalli nei seminativi in funzione del sistema produttivo e dell'anno di campionamento. In giallo è riportato il valore medio generale considerando i dati di entrambe le annualità sulla base del quale viene fatta ANOVA il cui p.value è riportato nel grafico

5.4.2.2 Vigneti

Per i vigneti sono stati considerati i sistemi produttivi in biologico, in produzione integrata e i vigneti convenzionali; di seguito i valori statistici per i singoli metalli. Dai valori medi nella tabella 86 e dal grafico (figura 75) si evidenzia un trend più basso per tutti i metalli nei vigneti biologici, mentre i vigneti gestiti secondo la produzione integrata hanno dei valori molto simili ai vigneti convenzionali.

Metallo	Uso del suolo	Anno	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD
As	BIOLOGICO	2019	2	3.90	4.03	4.15	4.15	4.28	4.38	4.40	0.35
	BIOLOGICO	2022	2	3.00	3.50	4.00	4.00	4.50	4.90	5.00	1.41
	INTEGRATA	2019	6	3.80	5.38	5.90	6.18	6.43	8.90	9.70	1.96
	INTEGRATA	2022	6	2.00	6.25	7.50	7.17	8.75	10.50	11.00	3.06
	TRADIZIONALE	2019	9	3.50	4.70	6.00	5.77	6.70	7.60	7.60	1.52
	TRADIZIONALE	2022	9	3.00	5.00	7.00	6.44	8.00	9.00	9.00	2.35
Cd	BIOLOGICO	2019	2	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.01
	BIOLOGICO	2022	2	0.34	0.36	0.39	0.39	0.41	0.43	0.43	0.06
	INTEGRATA	2019	6	0.19	0.28	0.29	0.29	0.34	0.36	0.36	0.06
	INTEGRATA	2022	6	0.30	0.36	0.42	0.44	0.53	0.60	0.62	0.12
	TRADIZIONALE	2019	9	0.12	0.17	0.22	0.25	0.35	0.37	0.39	0.10
	TRADIZIONALE	2022	9	0.36	0.39	0.46	0.48	0.55	0.58	0.58	0.09
Cu	BIOLOGICO	2019	2	26.30	38.38	50.45	50.45	62.53	72.19	74.60	34.15
	BIOLOGICO	2022	2	17.50	35.75	54.00	54.00	72.25	86.85	90.50	51.62
	INTEGRATA	2019	6	69.30	83.30	94.70	100.88	118.25	136.75	141.00	27.09

Metallo	Uso del suolo	Anno	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD
Zn	INTEGRATA	2022	6	85.00	95.33	117.50	114.52	126.25	144.75	150.00	24.72
	TRADIZIONALE	2019	9	34.60	52.50	63.70	101.19	148.00	222.80	258.00	75.53
	TRADIZIONALE	2022	9	37.30	45.40	57.80	104.21	140.00	261.40	297.00	92.22
	BIOLOGICO	2019	2	44.30	46.30	48.30	48.30	50.30	51.90	52.30	5.66
	BIOLOGICO	2022	2	36.70	44.28	51.85	51.85	59.43	65.49	67.00	21.43
	INTEGRATA	2019	6	80.00	85.00	94.50	91.83	98.75	99.75	100.00	8.66
	INTEGRATA	2022	6	59.70	74.00	83.00	80.45	83.75	97.50	102.00	14.21
	TRADIZIONALE	2019	9	52.40	60.50	92.00	83.46	101.00	106.60	109.00	21.98
TRADIZIONALE	2022	9	44.30	69.00	81.00	78.89	95.00	100.20	101.00	19.38	

Tabella 86. Statistica descrittiva del contenuto di metalli nei siti con vite gestiti con diversi sistemi produttivi



Figura 75. Grafico del contenuto medio (mg/kg) di metalli nella vite per i diversi sistemi produttivi

Nella figura 76 sono riportati anche i p.value dell'Anova effettuata tra i diversi sistemi produttivi utilizzando i valori medi generali (ovvero considerando i dati di entrambe le annualità), dai quali si conferma che il biologico mostra contenuti di As e Zn più bassi rispetto alla tradizionale e alla integrata; per quanto riguarda invece Cd e Cu le differenze riscontrate non sembrano essere statisticamente significative.

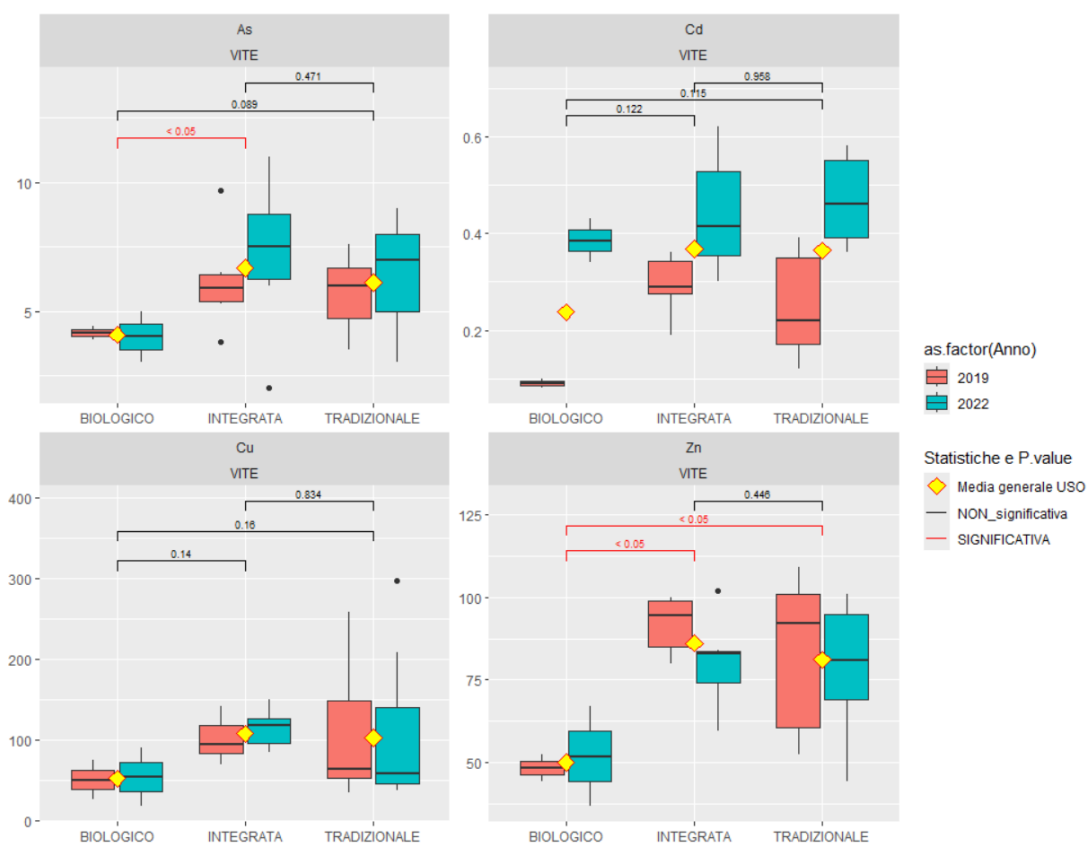


Figura 76. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di metalli nella vite in funzione del sistema produttivo e dell'anno di campionamento. In giallo è riportato il valore medio generale considerando i dati di entrambe le annualità sulla base del quale viene fatta ANOVA il cui p.value è riportato nel grafico

5.4.2.3 Pereti

Il confronto nel pero è solo tra produzione integrata e produzione convenzionale; i valori medi (tabella 87 e figura 77) sono molto simili tra i due sistemi agricoli anche se i siti in produzione integrata sono sempre più bassi. I valori diventano significativamente inferiori solo per il rame (Figura 78).

	Metallo	Uso del suolo	Anno	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	Mean	75%ile (Q3)	95%ile	Max	SD
PERO	As	INTEGRATA	2019	5	6.5	7.3	7.5	7.96	8.6	9.64	9.9	1.3
		INTEGRATA	2022	5	4.7	5	5	5.54	6	6.8	7	1
		TRADIZIONALE	2019	5	5.6	6.7	8	9.28	10.2	14.76	15.9	4.1
		TRADIZIONALE	2022	5	4.8	5	5	7.36	8	12.8	14	3.9
	Cd	INTEGRATA	2019	5	0.36	0.44	0.52	0.482	0.54	0.548	0.55	0.1
		INTEGRATA	2022	5	0.23	0.27	0.29	0.292	0.31	0.35	0.36	0
		TRADIZIONALE	2019	5	0.38	0.46	0.49	0.508	0.53	0.65	0.68	0.1
		TRADIZIONALE	2022	5	0.26	0.26	0.3	0.296	0.31	0.342	0.35	0
	Cu	INTEGRATA	2019	5	45.1	52.8	59.2	68.74	75.6	103.92	111	26
		INTEGRATA	2022	5	32.4	47.3	61.6	59.96	71.4	83.96	87.1	21
		TRADIZIONALE	2019	5	76.6	79.2	90.8	99.68	92.8	145.76	159	34
		TRADIZIONALE	2022	5	39.9	74.5	85.6	96	135	143	145	44
Zn	INTEGRATA	2019	5	52	86	87	88	100	112	115	23	
	INTEGRATA	2022	5	58.2	69	98	95.24	104	138.4	147	35	
	TRADIZIONALE	2019	5	60.7	89	91	90.34	97	110.6	114	19	
	TRADIZIONALE	2022	5	74	75	97	96.4	108	124	128	23	

Tabella 87. Statistica descrittiva del contenuto di metalli nei siti con **pero** gestiti con diversi sistemi produttivi

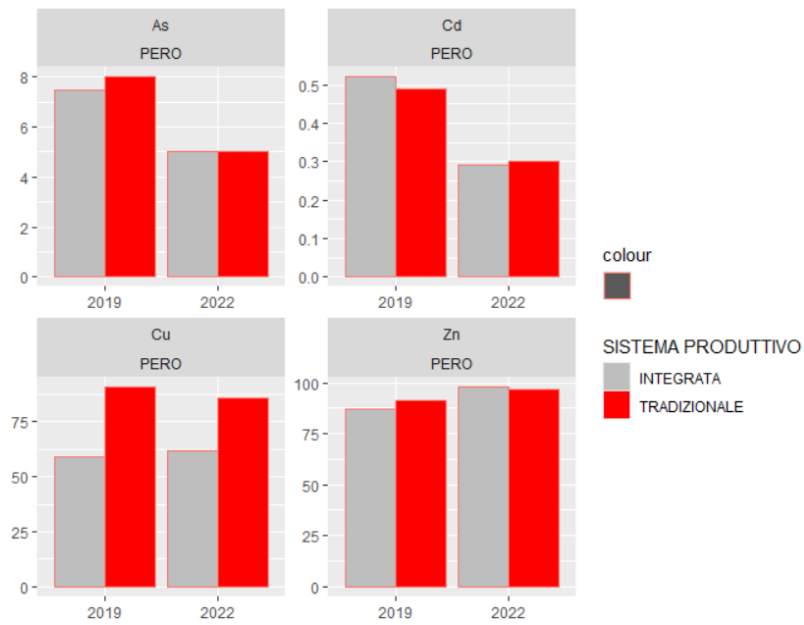


Figura 77. Grafico del contenuto medio (mg/kg) di metalli nel pero per i diversi sistemi produttivi

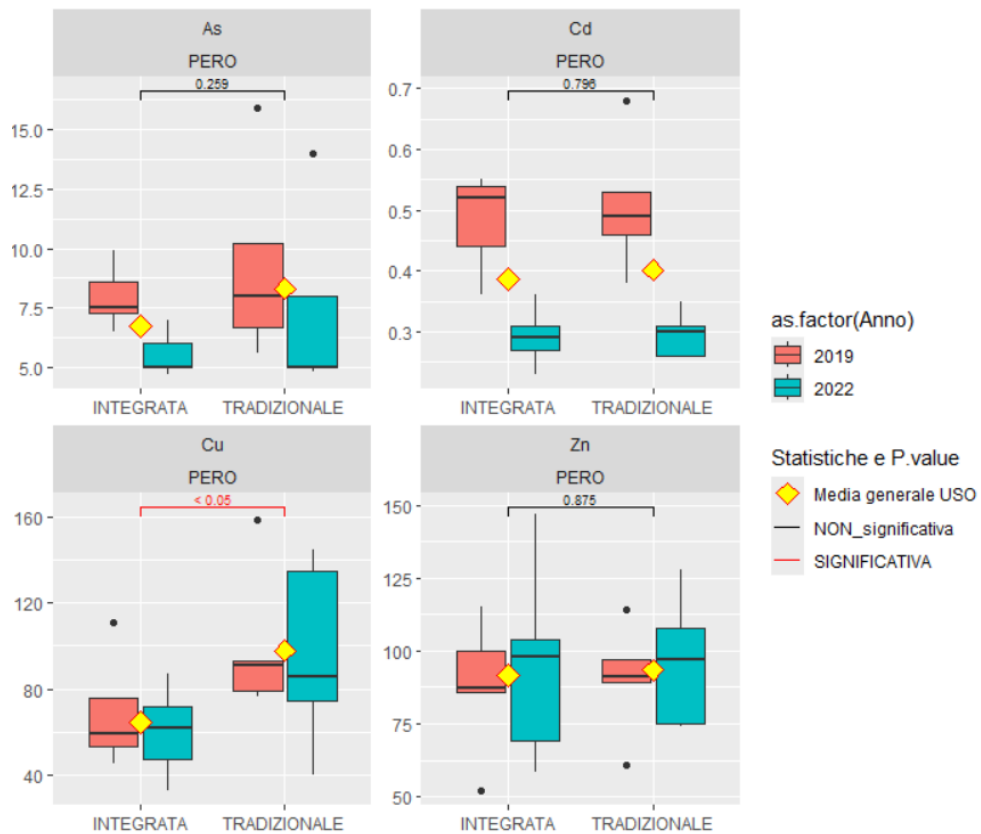


Figura 78. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di metalli nel pero in funzione del sistema produttivo e dell'anno di campionamento. In giallo è riportato il valore medio generale considerando i dati di entrambe le annualità sulla base del quale viene fatta ANOVA il cui p.value è riportato nel grafico

6 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. *Soil monitoring in Europe — Indicators and thresholds for soil health assessments*. EEA Report No 08/2022. <https://www.eea.europa.eu/publications/soil-monitoring-in-europe>
- AA.VV., 2006. *Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli*. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 912.
- Benedetti A., Dell'Abate M.T., Mocali S., Pompili L. (2006). *Indicatori microbiologici e biochimici della qualità del suolo*. In: ATLAS - Atlante di Indicatori della Qualità del Suolo. Mipaaf, Osservatorio Nazionale Pedologico.
- Bonfante, A., Basile, A., and Bouma, J. *Targeting the soil quality and soil health concepts when aiming for the United Nations Sustainable Development Goals and the EU Green Deal*, SOIL, 6, 453–466, <https://doi.org/10.5194/soil-6-453-2020>, 2020.
- Bongers T. *The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition*. Oecologia, Volume 83, pages 14–19, (1990)
- De Winter, J. (2019). *Using the Student's t-test with extremely small sample sizes*. Practical Assessment, Research, and Evaluation.
- FAO and ITPS. *Global Soil Organic Carbon Map (GSOCmap) Technical Report*, FAO, Rome, Italy, 162, 2018.
- Francaviglia, R., Renzi, G., Ledda, L., Benedetti, A. 2017. *Organic carbon pools and soil biological fertility are affected by land use intensity in Mediterranean ecosystems of Sardinia, Italy*. Science of the Total Environment 599-600, 789-796.
- Jones, R.J.A., Hiederer, R., Rusco, E., Loveland, P.J. and Montanarella, L. (2004). *The map of organic carbon in topsoils in Europe, Version 1.2*, September 2003: Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.72 (S.P.I.04.72). European Soil Bureau Research Report No.17, EUR 21209
- Gardi, C., Menta, C., Leoni, A., 2008. *Evaluation of the environmental impact of agricultural management practices using soil microarthropods*. Fresenius Environmental Bulletin, 17: 1165-1169.
- Knoepp J. D., Coleman D. C., Crossley Jr D. A., Clark J. S., 2000: *Biological indices of soil quality: an ecosystem case study of their use*. Forest Ecology and Management, 138: 357-368
- Menta C., Conti F.D., Pinto S., Bodini A., 2018. *Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale*. Ecol. Indic. 85, 773-780
- Menta, C., Leoni, A., Tarasconi, T., Affanni, P., 2010: *Does compost use affect microarthropod soil communities?* Fresenius environmental Bulletin, 19: 2303-2311.
- Menta. C., Leoni, A., Conti, F.D., 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
- National Research Council. 1993. *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/2132>.
- Paoletti M.G., Sommaggio D., Fusaro S., 2013. *Proposta di Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS-e) basato sui lombrichi e applicato agli agroecosistemi*. Biologia Ambientale, 27(2): 25-43.
- 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*. Agr Ecosyst Environ 105: 323- 333.
- Parisi, V., 2001. *La qualità biologica dei suoli, un metodo basato sui microartropodi*. Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense, 37: 97-106
- Parisi, V., Menta, C., 2008. *Microarthropods of the soil: convergence phenomena and evaluation of soil quality using QBS-ar and QBS-c*. Fresenius Environmental Bulletin, 17 (8): 1170-1174.
- Prout J.M., Shepherd K. D., McGrath S. P., Kirk G. J. D., Haefele S. M. *What is a good level of soil organic matter? An index based on organic carbon to clay ratio (2020)*. <https://doi.org/10.1111/ejss.13012>

Regione Emilia-Romagna. *Carta dei suoli della regione Emilia-Romagna in scala 1: 50. Edizione 2021.* http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Carta del carbonio immagazzinato nei suoli della regione Emilia-Romagna strato 0-30 cm.* Edizione 2023. https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/SOC_STOCK_0_30.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Carta del contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli della regione Emilia-Romagna strato 0-30 cm.* Edizione 2023. https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/CORG_0_30.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Carta del fondo naturale-antropico della pianura emiliano-romagnola. Scala 1:250.000 (2019).* http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/Carta_fondo_naturale_antropico.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Carta del pH dei suoli della regione Emilia-Romagna strato 0-30 cm (2023).* https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/pH_0_30.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Carta della dotazione in sostanza organica dei suoli della regione Emilia-Romagna strato 0-30 cm (2023).* https://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/dotazioneSO_0_30.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Carta della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola strato 0-50 cm 2^a approssimazione scala 1:250. Edizione 2015.* http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/salinita0_50.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Disciplinare di produzione integrata. Norme generali (2023).* https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/produzioni-agroalimentari/temi/bio-agro-climambiente/agricoltura-integrata/disciplinari-produzione-integrata-vegetale/Collezione-dpi/dpi_2023/norme-general

Regione Emilia-Romagna. *Guida per il campionamento della rete di monitoraggio dei suoli.* 2020. https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/pdf/manuale-di-campionamento_monitoraggio_2020.pdf/@_@download/file/MANUALE%20DI%20CAMPIONAMENTO_monitoraggio_2020.pdf

Regione Emilia-Romagna. *I suoli dell'Emilia-Romagna.* Servizio Cartografico. Ufficio Pedologico. 1994.

Regione Emilia-Romagna. *Qualità biologica dei suoli emiliano-romagnoli Report 2018.* https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/pdf/REPORT_qualita_biologica_suolo_2018.pdf/@_@download/file/REPORT_qualita_biologica_suolo_2018.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Siti locali rappresentativi dei suoli della regione Emilia-Romagna (2021).* http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/SITI_BENCHMARK_RER.pdf

Regione Lombardia, 2013. *AgriCO2Itura-* Quaderni della Ricerca n. 153

Sequi P. *Chimica del suolo.* Patron 1989

Soil Survey Division Staff - *Soil Survey Manual.* USDA, Agriculture Handbook No. 18 (2017)

Tabaglio, V., Gavazzi, C., Menta, C., 2008. *The influence of no-till, conventional tillage and nitrogen fertilization on physico-chemical and biological indicators after three years of monoculture barley.* Italian Journal of Agronomy, 4: 233-240.

Tabaglio, V., Gavazzi, C., Menta, C., 2009. *Physico-chemical indicators and microarthropod communities as influenced by no-till, conventional tillage and nitrogen fertilisation after four years of continuous maize.* Soil and Tillage Research, 105: 135-142.

The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

Ungaro F., Calzolari C. *Carta del contenuto percentuale e dello stock di carbonio delle frazioni granulometriche e della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola (0-30 cm).* Rapp. 2.1 Ott. 2015 http://ambiente.regione.emiliaromagna.it/geologia/archivio_pdf/suoli/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf/at_download/file/Rapporto_2_1_ottobre_2015.pdf

USDA. *Soil Health Assessment.* <https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/soils/soil-health/soil-health-assessment>

Vittori Antisari L., Ferronato C., De Feudis M., Natali C., Bianchini G., Falsone G., 2021. *Soil Biochemical Indicators and Biological Fertility in Agricultural Soils: A Case Study from Northern Italy.* Minerals, 11, 2019