Regione Emilia-Romagna

servizio geologico sismico e dei suoli

Programma di Sviluppo Rurale dell'Emilia-Romagna 2014-2020

UNIONE EUROPEA Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale

Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

MANUALI TECNICI

DEL SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI

2020 Report

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

A cura di:

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

In copertina:
foto: Skylar Jean (https://unsplash.com/photos/U46bGX6KRfU)

Immagine coordinata:
Scappini Simonetta – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – 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

RegioneEmilia-Romagna

Direzione Generale cura del territorio e dell'ambiente
Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
Viale della Fiera 8, 40127 Bologna
telefono: 051 5274792
fax: 051 5274208
e-mail: segrgeol@regione.emilia-romagna.it
PEC: segrgeol@postacert.regione.emilia-romagna.it
Sito web: http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cosa-fa-la-regione-2
Disclaimer (…)

INDICE

1 PREMESSA 5

2 INTRODUZIONE 5

3 MATERIALI E METODI 6

3.1 Definizioni 6

3.2 Scelta degli indicatori 7
3.2.1 Dotazione di sostanza organica 9
3.2.2 Stock di carbonio organico 9
3.2.3 Rapporto C/N 9
3.2.4 Fertilità biologica 10
3.2.5 Qualità Biologica dei suoli- Indice QBS-ar 10
3.2.6 Capacità di scambio cationico (CSC) 10
3.2.7 Azoto totale 10
3.2.8 Fosforo assimilabile 11
3.2.9 Potassio scambiabile 11
3.2.10 Sodio scambiabile (ESP) 11
3.2.11 Salinità 11
3.2.12 pH 12
3.2.13 Contenuto di metalli pesanti 12

3.3 Metodo di campionamento 13

3.4 Scelta dei siti di monitoraggio 13

4 RISULTATI ATTIVITA' PRIMA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO (2019) 17

4.1 Statistica descrittiva 17

4.2 Qualità dei suoli 19

5 APPROFONDIMENTI 21

5.1 Contenuto di Carbonio Organico % 22
5.1.1 Contenuto di CO% per tipi di suolo (gruppi funzionali) 22
5.1.2 Contenuto di CO% per uso del suolo 23
5.1.3 Contenuto di CO% per uso del suolo e tipo di suolo 23
5.1.4 Contenuto di CO% e sistema produttivo 25
5.1.5 Contenuto di CO% per uso del suolo nei diversi sistemi produttivi 25

5.2 Quantitativo di carbonio stoccato nel suolo - SOC-stock 27

5.3 Contenuto di metalli potenzialmente tossici 36
5.3.1 Contenuto di As, Ni, Cu e Zn in funzione dell'uso del suolo 36
5.3.2 Contenuto di As, Ni, Cu e Zn in funzione dell'uso del suolo e dei sistemi produttivi 37

6 ALLEGATO. TRATTAZIONE STATISTICA CON R 43

7 BIBLIOGRAFIA 50

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 tre servizi regionali afferenti a due diverse direzioni: il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Direzione Generale Cura del territorio e dell'ambiente, il Servizio Agricoltura Sostenibile e il Servizio Programmazione e Sviluppo locale integrato della Direzione Generale Agricoltura, caccia e pesca.

L'esecuzione del lavoro nella sua parte di raccolta dati è stata affidata tramite gare a ditte esterne: il lavoro di campionamento e analisi del suolo è stato affidato (CIG 7285488EE0) alla ditta I.Ter (esecuzione del campionamento dei suoli e dell'indagine agronomica), C.S.A. (laboratorio per le analisi chimico-fisiche dei suoli) e all'Università di Parma (analisi biologiche tramite QBS-ar); il lavoro di raccolta di informazioni sulla gestione agronomica è stata affidata alla società Agriconsulting (CIG 7404544701) che realizza l'Indagine Campionaria per la valutazione delle misure Agroambientali del PSR 2014-2020 (Indagine impieghi).
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 (Servizio 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 (Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli) 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) costituta 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, Partisi, 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 2019-2023 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 sarà conclusa nel 2023, interessa **123 siti (lotti M5013 e M5014)**; il campionamento e le analisi del suolo vengono realizzate due volte, nel 2019 e nel 2022; le informazioni di carattere gestionale sono 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 ed 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 costituisco 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).

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, stabilita 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 (0-30cm).

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 vengono 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
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
Salinità	dS/m	Conducibilità elettrica rapporto acqua/suolo 5:1	DM 13/09/1999 Metodo IV.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

Dai parametri del suolo si definiscono i seguenti indicatori:

Indicatore	unità	Schema valutativo	Descrizione
Dotazione di sostanza organica	classe	Disciplinare di produzione integrata 2019 norme generali, RER	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)
Stock di carbonio organico	t/ha	-	Restituisce i quantitativi in t/ha di carbonio organico immagazzinato in un dato spessore di suolo, fornendo indicazione di quanta CO2 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 2019 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.
Fertilità biologica	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.
QBS-ar	classe	Qualità biologica dei suoli emiliano-romagnoli, 2018 RER	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. 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.
Capacità di scambio cationico (CSC)	classe	Disciplinare di produzione integrata 2019 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 2019 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 2019 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.

Indicatore	unità	Schema valutativo	Descrizione
			Agevola la fioritura, l'accrescimento e la maturazione dei frutti oltre che un miglior sviluppo dell'apparato radicale
Potassio scambiabile	classe	Disciplinare di produzione integrata 2019 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	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 2019 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 subacidi-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.
Contenuto di metalli pesanti (rame e zinco)	Valore soglia	DECRETO 1 marzo 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. E' necessario quindi adottare degli schemi interpretativi che siano condivisi e verificati anche a livello locale.
Di seguito sono elencati gli schemi interpretativi proposti ed adottati per gli indicatori scelti:

3.2.1 Dotazione di 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 2019 norme generali, RER

3.2.2 Stock di carbonio organico

Non esistono ad oggi schemi di valutazione in funzione dello stock di carbonio organico, una possibile valutazione potrebbe essere fatta definendo e quantificando i potenziali di accumulo o di perdita.

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 4. Disciplinare di produzione integrata 2019 norme generali, RER

3.2.4 Fertilità biologica

PARAMETRO	PUNTI DA ASSEGNARE				
	1	2	3	4	5
Sostanza organica (%)	< 1	1-1,5	1,5-2	2-3	> 3
Carbonio della biomassa microbica (ppm)	< 100	100-200	200-300	300-400	> 400
Respirazione basale (ppm)	< 5	5-10	10-15	15-20	> 20
Respirazione cumulata (ppm)	< 100	100-250	250-400	400-600	> 600
Quoziente metabolico (/h)	> 0,4	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1
Quoziente di mineralizzazione (%)	< 1	1-2	2-3	3-4	> 4

Punteggio complessivo	6	7-12	13-18	19-24	25-30
CLASSE DI FERTILITA'	I	II	III	IV	V
Descrizione stato	stress allarme	stress preallarme	media	buona	alta

Tabella 5. Da Benedetti et al., 2006, CREA

3.2.5 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	1001-81	Modesto	130-111	Modesto
40-31	Scadente	80-61	Scadente	110-91	Scadente
<30	Nullo	<60	Nullo	<90	Nullo

Tabella 6. 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	152-187	146-165	154-177	107-124
Moderatamente bassa	MB	Q2-Q1	123-152	125-146	129-154	82-107
Bassa	B	<Q1	123	125	129	82

Tabella 7. Schema 2. Classi definite sulla base dei valori statistici calcolati sul set di dati di riferimento da monitoraggio RER (M5009

3.2.6 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 2019 norme generali, RER. Fonte SILPA

3.2.7 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 2019 norme generali, RER

3.2.8 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 2019 norme generali, RER.

3.2.9 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 2019 norme generali, RER

3.2.10 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.

3.2.11 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.
Moderatam. 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 EC1:5 con i valori dei relativi coefficienti di correlazione:

Gruppo funzionale	Formula conversione	R^2
Gruppo **C**	Ece = 3.889 * EC1:5	0.939
Gruppo **L**	Ece = 0.871 + 2.150 * EC1:5	0.726
Gruppo **S**	Ece = 7.149 * EC1:5	0.969
Gruppo **O**	Ece = 2.361 * EC1:5	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.

3.2.12 pH

Giudizio	Valori (pH in H2O)
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 2019 norme generali, RER. Fonte SILPA

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
Nichel	120
Piombo	100
Rame	200
Vanadio	90
Zinco	300

Tabella 17. 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 e le elaborazioni del paragrafo 5.1 e 5.3; 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, Ntot, densità apparente e umidità ed i cui dati vengono illustrati nel paragrafo 5.2.

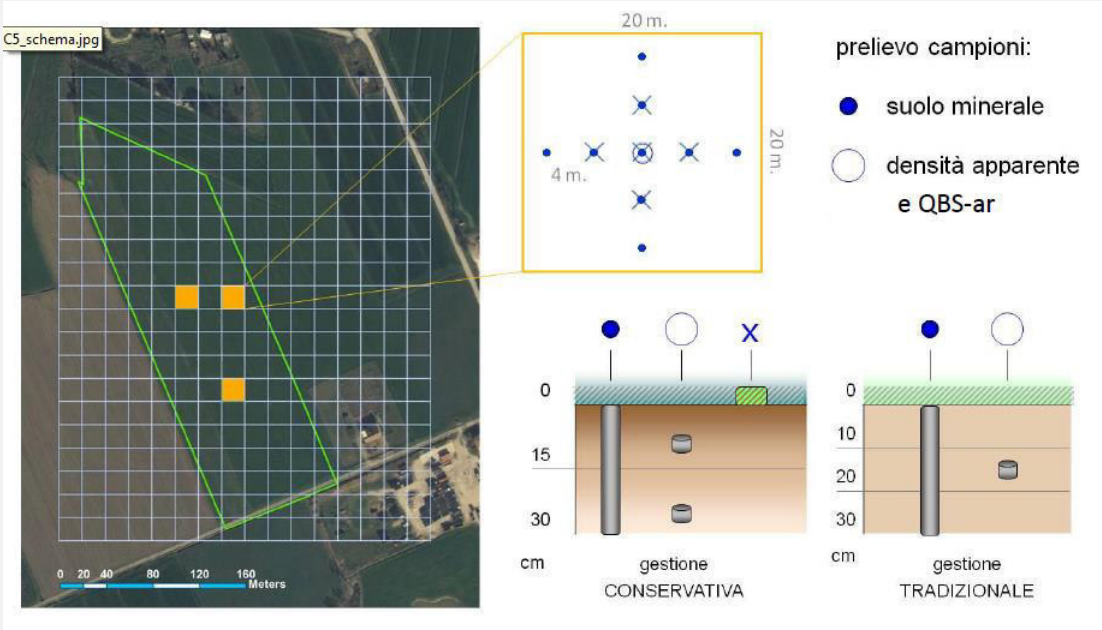


Figura 1. Schema di campionamento del sito di monitoraggio: in verde la delimitazione del sito, in giallo le tre aree di campionamento

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 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

In sintesi:

[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)

Tenuto conto dell'uso del suolo

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

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	12	6	6	0	0	0
SEMINATIVI	12	12	16	16	6	6	0
PRATI PERMANENTI	0	0	0	0	0	0	3

Tabella 18. Numero dei siti per uso del suolo e gestione

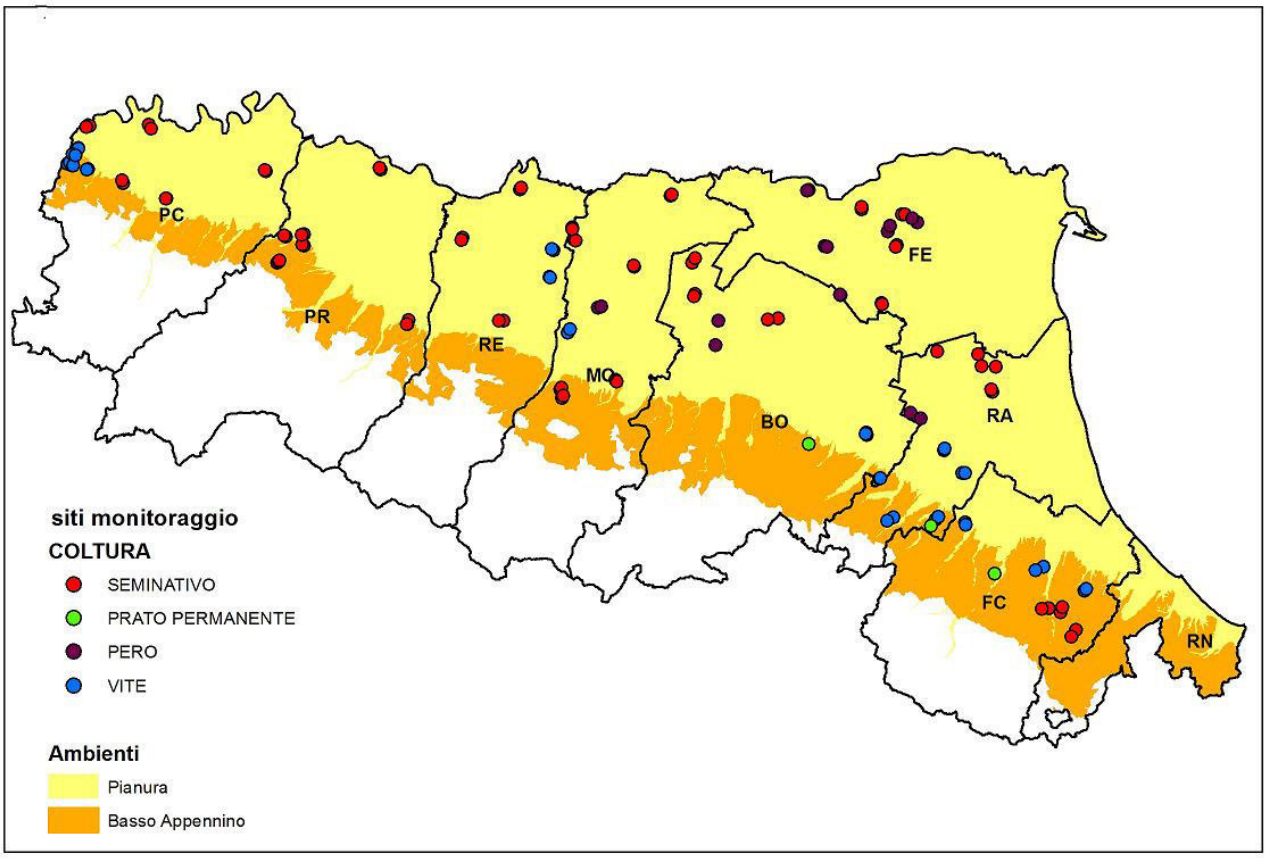


Figura 2. Localizzazione dei siti di monitoraggio differenziati per uso del suolo

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 intrinsechi 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. 2018). I suoli descritti in questa carta sono rappresentati da 425 UTS (210 in pianura, 158 nel basso Appennino, 57 in medio 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.

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 19. 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 20. 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 21. Rappresentatività dei siti di campionamento per Gruppi Funzionali

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

Attività di monitoraggio nei siti

La rete di monitoraggio si articola in due attività principali:

1. 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);

2. 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
M5013	2	X	X	X	
M5013	2	X	X	X	X
M5014	70				
M5014	4			X	

Tabella 22. 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' PRIMA CAMPAGNA DI MONITORAGGIO (2019)

4.1 Statistica descrittiva

Nelle tabelle seguenti si riassumono i dati della campagna di monitoraggio 2019 attraverso i principali parametri statistici:

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
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
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 23. Parametri statistici dei dati chimico-fisici

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

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 24. Parametri statistici dei metalli pesanti

4.2 Qualità dei suoli

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

Dotazione di sostanza organica (su 123 siti)

Giudizio	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	0	0	0	0	0
bassa	2	11	0	13	11
media	0	29	55	84	68
elevata	0	11	15	26	21

Tabella 25. Giudizi di qualità sulla dotazione di sostanza organica

Rapporto C/N (su 123 siti)

Giudizio	Descrizione	Totale siti	%
basso	Mineralizzazione veloce	13	11
equilibrato	Mineralizzazione normale	110	89
elevato	Mineralizzazione lenta	0	0

Tabella 26. Giudizi di qualità sul rapporto C/N

Capacità di scambio cationico (su 123 siti)

Giudizio	Totale siti	%
bassa	3	2
media	32	26
elevata	88	72

Tabella 27. Giudizi di qualità sulla CSC

Azoto totale, fosforo assimilabile e potassio scambiabile (su 123 siti)

Giudizio	Azoto totale		Fosforo assimilabile		Potassio scambiabile	
	N siti	%	N siti	%	N siti	%
molto basso	0	0	3	2	2	2
basso	13	11	10	8	3	2
medio	105	85	17	14	14	11
elevato	4	3	66	54	104	85
molto elevato	1	1	27	22		

Tabella 28. Giudizi di qualità per i parametri NPK

Sodio scambiabile o ESP e salinità (su 123 siti)

Tutti i siti hanno un ESP < 5%, non hanno quindi nessuna limitazione dovuta al sodio e solo 6 siti sono *molto debolmente salini* (ossia quasi il 5% dei siti di monitoraggio). Sono 4 siti di Bologna, 1 a Modena e 1 a Reggio Emilia.

pH

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

Tabella 29. Giudizi di qualità per il pH

Contenuto di metalli pesanti (su 49 siti)

Tutti i 49 siti di cui si dispone delle analisi dei metalli pesanti hanno contenuto inferiori al limite di legge (rif. DM 46/2019) ad eccezione di un solo sito nella provincia di Piacenza che ha contenuto di rame maggiore del limite di legge (sito con vite con contenuto in rame di 258 mg/kg mentre il limite è 200 mg/kg).

Fertilità biologica (su 16 siti)

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 30. Giudizi di qualità sulla base dell'indice IBF

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

Classe QBS-ar	Frutteto/ vigneto	Prato avvicendato	Prato permanente	Seminativo	totale	
	N siti	N siti	N siti	N siti	N siti	%
Alta	10	4	1	8	23	47
Moderatamente alta	13	1	-	1	15	31
Moderatamente bassa	3	1	2	1	7	14
Bassa	2	1	-	1	4	8

Tabella 31. Giudizi sulla qualità biologica sui dati primaverili 2019 (classificazione secondo Schema 2 Dati RER)

5 APPROFONDIMENTI

Oggetto di approfondimento dell'attività di monitoraggio sono:

- **contenuto di carbonio organico in termini percentuali**;
- **contenuto di carbonio organico in termini di SOC-Stock** cioè di contenuto in Mg/ha;
- **contenuto di metalli pesanti potenzialmente tossici**

La statistica descrittiva è stata eseguita con ProUCL, i boxplot con Excel o RStudio, i test statistici (ANOVA e TUKEY) sono stati eseguiti con RStudio. I test sono significativi per pvalue<0.05.

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**.**

Lettura 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 %

5.1.1 Contenuto di CO% per tipi di suolo (gruppi funzionali)

Da un confronto tra valori medi (media e mediana-50%ile) della rete di monitoraggio e i valori medi regionali riportati nella *Carta del contenuto % di CO nei suoli della pianura emiliano-romagnola ed 2015*, risulta che i suoli della rete di monitoraggio hanno un contenuto di carbonio organico sempre lievemente più alto.

Da un punto di vista statistico il test ANOVA (Allegato - anova3 e tukey3) evidenzia differenze significative tra i Gruppi Funzionali (GF). Il test di Tukey conferma tali differenze tra il GF **A** (suoli fini) e il GF **E** (suoli moderatamente grossolani) e tra il GF **A** e **D** (suoli a tessitura media) con **p<0.05**; maggiore differenziazione si riscontra nella *Carta del contenuto % di CO ed.2015* dove risultato statisticamente differenti tutti i gruppi ad eccezione di A e B, B e C, E ed F, D ed F.

	Valori del monitoraggio								Valori regionali	
GF	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	Max	Mean	SD	Mean	SD
A	27	0,83	1,35	1,52	1,85	2,03	1,56	0,32	1,44	0,40
B	17	0,85	1,15	1,41	1,52	2,14	1,39	0,33	1,36	0,56
C	32	0,69	1,14	1,41	1,64	2,15	1,39	0,34	1,27	0,45
D	31	0,61	1,04	1,19	1,48	3,01	1,31	0,45	1,10	0,38
E	16	0,55	0,99	1,11	1,24	1,64	1,11	0,30	0,92	0,31

Tabella 32. Statistica descrittiva CO% per tipo di suolo (GF) e confronto con i valori medi regionali dei suoli di pianura (2015)

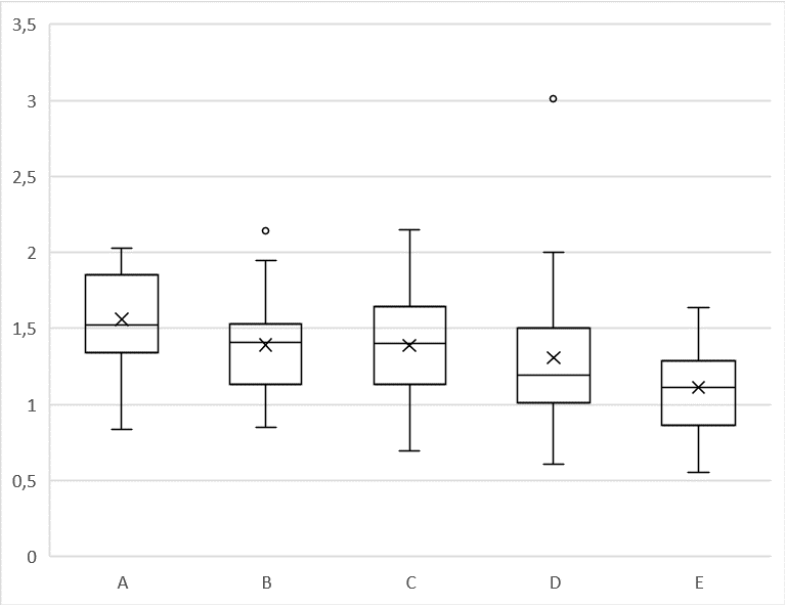


Figura 3. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per tipo di suolo (GF)

5.1.2 Contenuto di CO% per uso del suolo

Dalla statistica descrittiva si evidenziano valori medi e mediani più bassi nei seminativi mentre la coltura del pero mostra per entrambi i parametri i valori più alti, **seminativo e pero** sono anche gli unici usi del suolo che mostrano tra di loro differenze significative secondo i test statistici con **p<0.05**. (Allegato - anova3 e tukey3).
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.

Uso del suolo	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	Max	Mean	SD
Pero	16	1,05	1,32	1,50	1,69	2,15	1,53	0,32
Prato permanente	3	1,02	1,22	1,41	1,49	1,56	1,33	0,28
Seminativo	68	0,61	1,11	1,28	1,53	2,03	1,32	0,33
Vite	36	0,55	1,17	1,42	1,57	3,01	1,41	0,47

Tabella 33. Statistica descrittiva del contenuto % di CO in funzione dell'uso del suolo

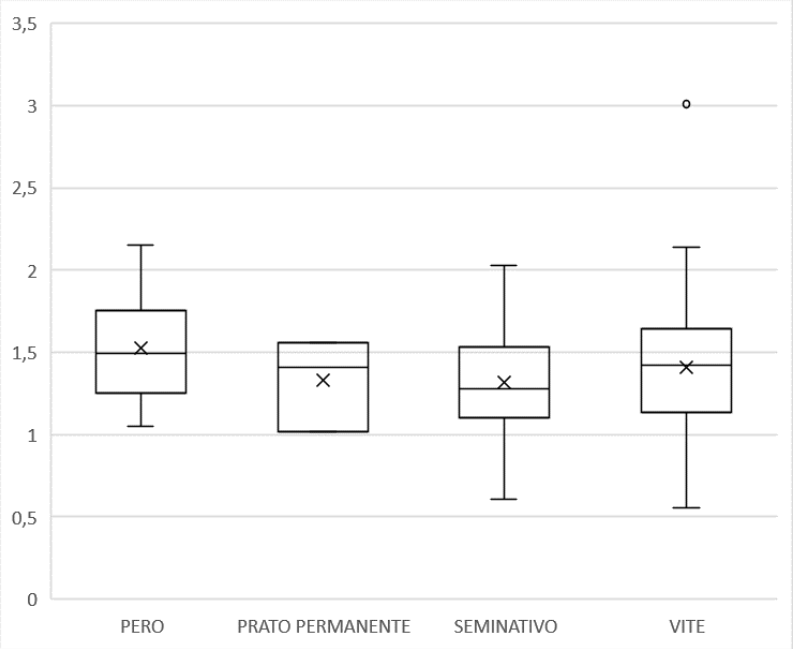


Figura 4. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto % di CO in funzione dell'uso del suolo

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

Esiste una correlazione tra uso e tipo di suolo nella capacità di accumulare CO (Allegato - anova3); 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.
I seminativi del GF **A** (suoli fini) hanno un contenuto di CO medio significativamente più alto (pvalue<0.05) dei suoli del GF **C** (tessitura media-fine), **D** (tessitura media) ed **E** (tessitura moderatamente grossolana), si diversificano significativamente anche i seminativi del GF **D** rispetto al **B** (suoli a tessitura moderatamente fine) e i seminativi del GF **D** e **C** (Allegato – anovaS, tS). Il pero e la vite non mostrano differenze significative tra i vari tipi 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.

	GF	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	Max	Mean	SD
PERO	C	4	1,35	1,575	1,72	1,88	2,15	1,735	0,332
	D	6	1,36	1,44	1,555	1,82	2	1,63	0,26
	E	6	1,05	1,12	1,2	1,423	1,64	1,28	0,233
SEMINATIVO	A	14	0,993	1,35	1,685	1,888	2,03	1,634	0,331
	B	13	1,05	1,15	1,28	1,52	1,95	1,368	0,27
	C	20	1	1,138	1,325	1,548	1,74	1,35	0,232
	D	18	0,609	0,962	1,08	1,135	1,45	1,062	0,195
	E	3	0,685	0,744	0,802	1,056	1,31	0,932	0,332
VITE	A	12	0,834	1,338	1,445	1,6	1,94	1,476	0,308
	B	3	0,85	1,16	1,47	1,805	2,14	1,487	0,645
	C	7	0,692	1,077	1,42	1,58	2,07	1,357	0,495
	D	7	1,19	1,27	1,53	1,7	3,01	1,667	0,628
	E	7	0,552	0,907	1,08	1,17	1,52	1,044	0,312

Tabella 34. Statistica descrittiva del contenuto di CO% per uso del suolo e tipo di suolo

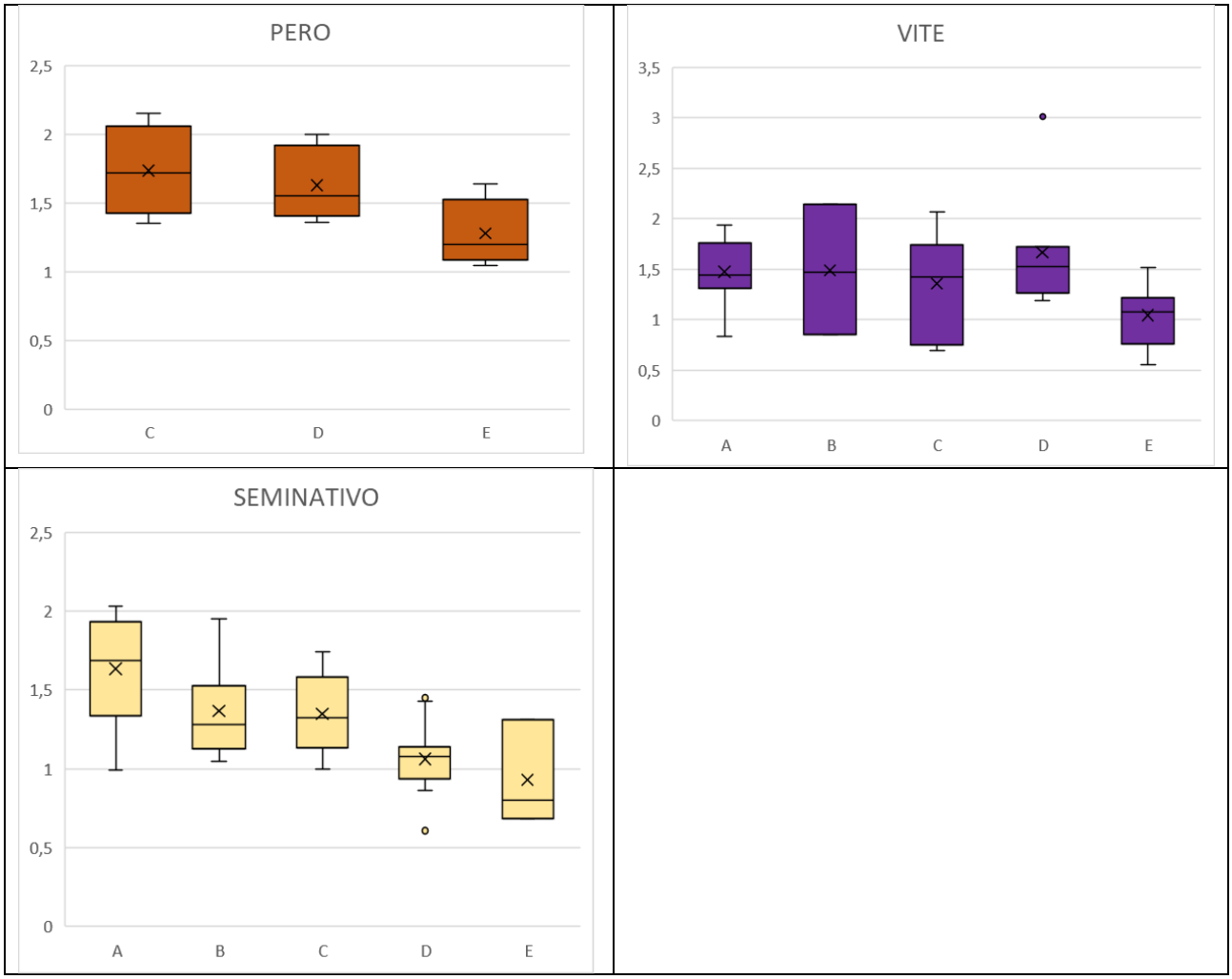


Figura 5. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per uso del suolo e tipo di suolo

5.1.4 Contenuto di CO% e sistema produttivo

Dalla statistica descrittiva si evidenziano valori medi più alti nei suoli gestiti in agricoltura conservativa (CONS) seguiti dai sistemi convenzionali (T) che hanno valori medi più alti rispetto ai siti in biologico (BIO), ai siti in produzione integrata (INT) e alla praticoltura estensiva (PRAT); il valore medio di T risente però del valore max di 3.01 che infatti viene individuato 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, seguiti dalla praticoltura estensiva, nei siti in produzione integrata e in ultimo nei siti in agricoltura biologica e nei sistemi produttivi convenzionali. Il test statistico ANOVA non conferma però alcuna differenza significativa tra i diversi sistemi produttivi. (Allegato, anovaTOT e anova4).

sistema produttivo	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	Max	Mean	SD
BIOLOGICO	22	0,55	1,12	1,34	1,50	1,71	1,30	0,27
CONSERVATIVO	6	1,00	1,22	1,60	1,86	2,03	1,54	0,42
INTEGRATO	32	0,61	1,09	1,39	1,53	2,02	1,33	0,34
PRATICOLTURA	3	1,02	1,22	1,41	1,49	1,56	1,33	0,28
TRADIZIONALE	60	0,69	1,12	1,33	1,67	3,01	1,40	0,43

Tabella 35. Statistica descrittiva del contenuto di CO% in funzione del sistema produttivo

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

Dalla statistica descrittiva 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, i valori nei sistemi convenzionali risultano infatti leggermente più alti anche se il test ANOVA non conferma differenze significative (Allegato, anovaTOT, anovaPERO, anovaVITE). Nei seminativi invece i sistemi produttivi quali agricoltura conservativa e biologica mostrano valori medi e mediani leggermente più alti rispetto alla produzione integrata e all'agricoltura convenzionale, anche in questo caso però il test ANOVA non conferma differenze significative (Allegato, anovaSEM).

uso del suolo	sistema produttivo	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	Max	Mean	SD
SEMINATIVO	BIO	16	1,00	1,19	1,37	1,53	1,71	1,36	0,22
	CONS	6	1,00	1,22	1,60	1,86	2,03	1,54	0,42
	INT	12	0,61	0,99	1,14	1,46	2,02	1,23	0,39
	T	34	0,69	1,11	1,22	1,43	2,02	1,29	0,33
PERO	INT	8	1,10	1,21	1,39	1,68	1,89	1,45	0,29
	T	8	1,05	1,46	1,56	1,74	2,15	1,60	0,35
VITE	BIO	6	0,55	1,06	1,19	1,34	1,43	1,13	0,32
	INT	12	0,69	1,28	1,44	1,50	1,72	1,36	0,31
	T	18	0,75	1,20	1,48	1,88	3,01	1,54	0,57

Tabella 36. Statistica descrittiva del contenuto di CO% per uso del suolo nei diversi sistemi produttivi

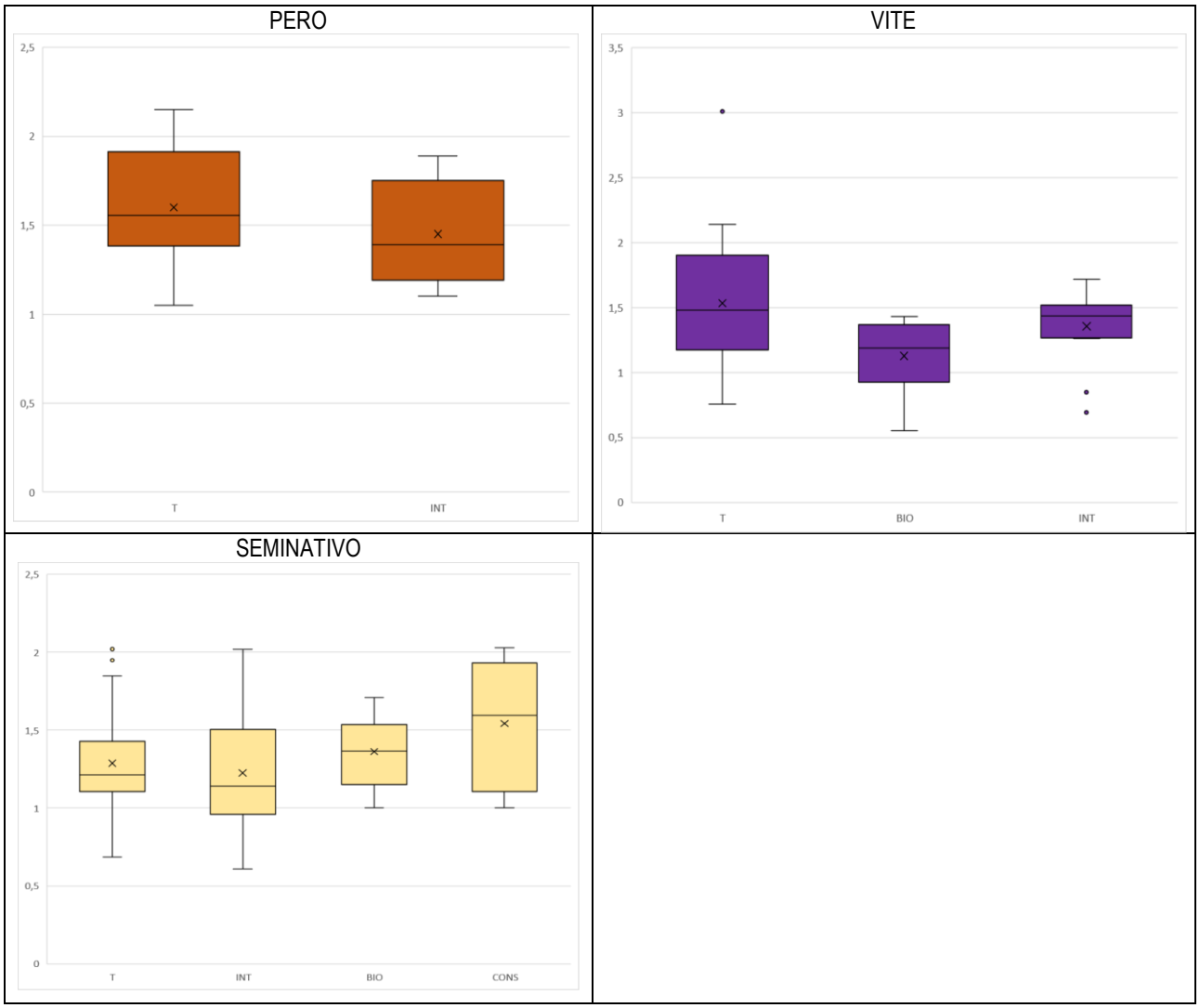


Figura 6. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di CO% per uso del suolo nei diversi sistemi produttivi

5.2 Quantitativo di carbonio stoccato nel suolo - SOC-stock

Il contenuto di carbonio organico stoccato nei suoli, ossia il quantitativo di CO in termini di $Mg*ha^{-1}$ immagazzinato in un certo spessore di suolo, dipende oltre che dal contenuto % di carbonio organico anche dalla densità apparente (DA) del suolo o bulk density. La DA è data dal rapporto massa/volume ed è condizionata oltre che dalla composizione granulometrica del suolo e dal contenuto di sostanza organica anche dalla struttura, che ne determina la porosità, e dal contenuto di acqua, ossia dall'umidità. L'attività agricola influenza la DA del suolo perché condiziona sia il contenuto di SO sia la struttura del suolo attraverso le lavorazioni e il passaggio delle macchine agricole.

Per determinare il SOC-stock è necessario eseguire il seguente calcolo:

SOC-stock = (1-fskel) * CO% *spessore* DA *100

Dove:

SOC-stock	quantitativo di carbonio organico in $Mg*ha^{-1}$
Fskel	frequenza dello scheletro nello spessore considerato
CO%	contenuto percentuale di carbonio organico
Spessore	spessore di suolo considerato in cm
DA	densità apparente del suolo g/cm^3

La densità apparente ha notevole influenza sul risultato del calcolo dello stock ed è un parametro di difficile misurazione perché estremamente variabile in funzione delle condizioni di campo al momento del campionamento e del metodo stesso di campionamento.
Per ovviare a questi problemi si può fare uso di pedofunzioni (PTF), che permettono il calcolo della DA a partire dalla conoscenza di parametri più stabili quali tessitura e carbonio organico.
In regione Emilia-Romagna sono in uso **pedofuzioni** per la stima della DA calibrate su set di dati regionali[4]. I valori di DA stimata si possono discostare da quelli misurati in campo, l'uso delle PTF però permette di ottenere valori di riferimento replicabili e confrontabili e di calcolare il SOC-stock al variare del solo contenuto di CO.

Prima di procedere al calcolo del SOC-stock con le DA calcolate con PTF, si riporta di seguito una valutazione dei dati di DA campionati confrontandoli con altri set di dati regionali.
I valori di DA, umidità e CO% dell'attività M5013 ed M5014 esaminati in questo paragrafo sono riferiti al **sito di monitoraggio SM come media dei valori delle tre AC** di ciascun sito.
Le profondità di campionamento sono 0-15 cm e 15-30 cm nei sistemi agricoli non lavorati e 0-30 cm nei sistemi con lavorazioni annuali.
I dati vengono trattati statisticamente raggruppandoli secondo i gruppi tessiturali usati nella definizione delle PTF RER per la stima della densità apparente, ossia in grossolani, medi, fini e organici dove per organico si intende sia orizzonti torbosi che orizzonti A e Ap con contenuto di CO%>=2.15.

Gruppi tessiturali	Classi USDA
GROSSOLANO	Sabbie
	Sabbie franche
	Franco sabbiosa
MEDIO	Franca
	Franca limosa
	Limo
	Franca argillosa
	Franco argillosa sabbiosa
FINE	Franco argillosa limosa
	Argilla sabbiosa
	Argilla limosa
	Argilla
ORGANICO	Organico

Tabella 37. Gruppi tessiturali usati per la calibrazione di PTF per la stima della DA (RER 2018).

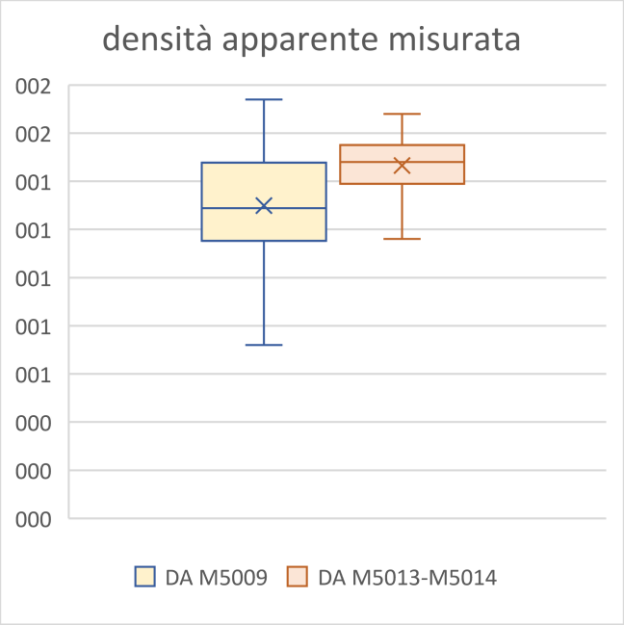
[4] Regione Emilia-Romagna. Siti locali rappresentativi dei suoli della pianura, del basso e medio appennino emiliano-romagnoli (2018).

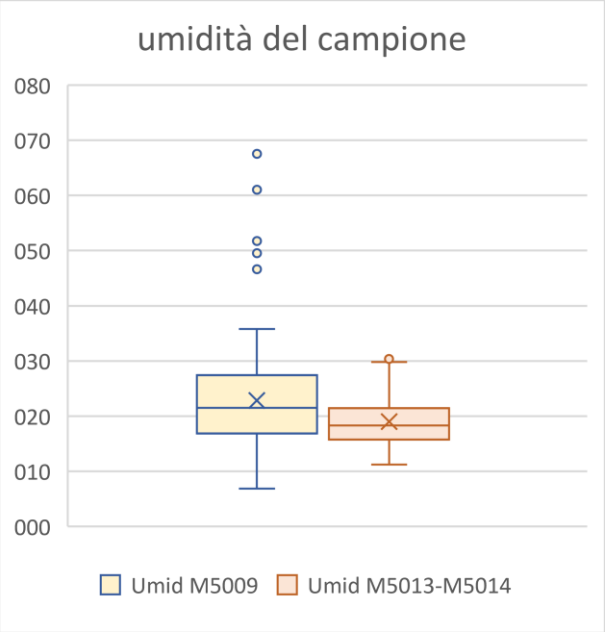
Nella tabella seguente è riportata la statistica descrittiva dei diversi set di dati disponibili per mettere a confronto i dati misurati nell'annualità 2019 (lotti M5013 e M5014) con altri set di dati regionali misurati in campo con la stessa metodologia del cilindretto (lotto M5009 e valori di riferimento per le PTF RER).

Densità apparente misurata g/cm3	gruppo tessiturale	Num Obs	media	sd	min	max	mediana
Lotti M5013-M5014							
	F	73	1,45	0,121	1,16	1,68	1,46
Ap	G	4	1,373	0,035	1,33	1,41	1,375
	M	64	1,492	0,0888	1,28	1,64	1,505
Ap con CO>2,15	O	7	1,42	0,115	1,26	1,56	1,42
Lotto M5009							
	F	54	1,292	0,152	0,9	1,58	1,28
Ap	G	8	1,408	0,172	1,2	1,66	1,36
	M	40	1,414	0,197	0,93	1,74	1,455
Ap con CO>2,15	O	18	1,014	0,176	0,72	1,33	1,024
Valori di riferimento per le PTF							
	F	89	1,425	0,167	1,105	1,785	-
Ap	G	21	1,494	0,149	1,125	1,77	-
	M	151	1,516	0,162	1,12	1,86	-
torbosi e Ap con CO>2,15	O	26	0,947	0,385	0,23	1,51	-
Umidità di campionamento %	**gruppo tessiturale**	**Num Obs**	**media**	**sd**	**min**	**max**	**mediana**
Lotti M5013-M5014							
	F	73	20,98	4,341	13,75	30,37	20,87
Ap	G	4	15,76	0,882	14,74	16,83	15,73
	M	64	16,79	2,619	11,25	21,83	16,69
Ap con CO>2,15	O	7	20,36	2,945	16,02	25,6	20,63
Lotto M5009							
	F	54	23,81	7,019	9,2	35,8	24,04
Ap	G	8	12,48	3,979	6,879	19,61	11,83
	M	40	19,39	5,243	10,4	33,39	20,15
Ap con CO>2,15	O	18	32,35	16,05	15,39	67,5	28,21
CO%	**gruppo tessiturale**	**Num Obs**	**media**	**sd**	**min**	**max**	**mediana**
Lotti M5013-M5014							
	F	73	1,425	0,325	0,66	2,13	1,42
Ap	G	4	0,768	0,328	0,34	1,03	0,85
	M	64	1,214	0,286	0,63	1,99	1,165
Ap con CO>2,15	O	7	2,42	0,48	2,15	3,49	2,26
Lotto M5009							
	F	54	1,374	0,335	0,52	1,98	1,36
Ap	G	8	0,788	0,16	0,58	1	0,785
	M	40	1,086	0,335	0,64	1,83	0,97
Ap con CO>2,15	O	18	3,478	1,073	2,15	5,28	3,36

Tabella 38. Statistica descrittiva dei parametri DA, umidità e contenuto di CO% misurati in diverse attività RER

I siti del monitoraggio M5013 ed M5014 hanno valori di DA leggermente più alti rispetto al set di dati M5009, specialmente per il gruppo dei suoli fini e organici: il diverso grado di umidità al momento del campionamento e il diverso contenuto di CO possono spiegare le differenze riscontrate. Il range dei dati del monitoraggio M5013 ed M5014 rientra comunque interamente nel range di validità delle PTF regionali, ciò a conferma di valori "normali" per il contesto regionale seppur alti.





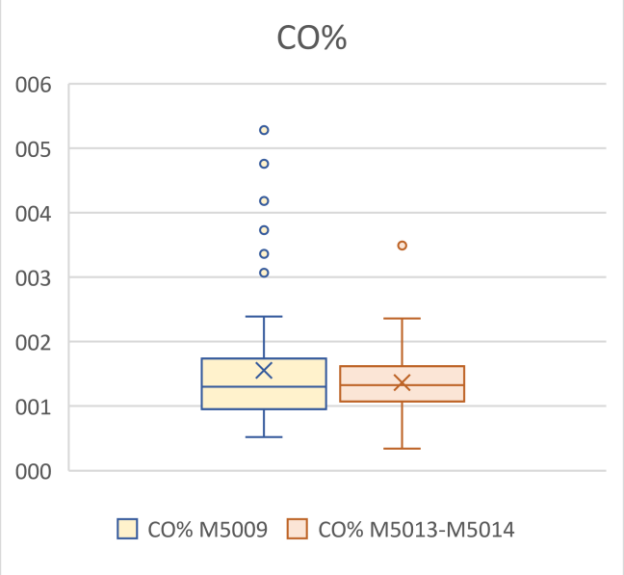


Figura 7. Rappresentazione tramite boxplot dei parametri DA, umidità e contenuto di CO% misurati in diverse attività RER

Come già detto i campionamenti del monitoraggio M5013-M5014 sono stati eseguiti a profondità differenti in funzione della gestione del suolo: 0-30 cm nei seminativi con lavorazioni annuali (62 siti), 0-15 e 15-30 cm nei siti non lavorati, riferiti cioè a prati permanenti (3 siti) e seminativi in agricoltura conservativa (6 siti); i frutteti (pero) sono risultati tutti inerbiti, 6 sono stati campionati alle due profondità, 10 all'unica profondità 0-30 cm; dei vigneti, anch'essi gestiti quasi tutti con inerbimento, 10 sono stati campionati a doppia profondità (inerbimenti stabili), 26 all'unica profondità 0-30cm.

N siti	N profondità	Coltura
6	2	PERO
3	2	PRATO PERMANENTE
6	2	SEMINATIVO
10	2	VITE
10	1	PERO
62	1	SEMINATIVO
26	1	VITE

Tabella 39. Numero di siti in funzione delle profondità di campionamento e della coltura

Dalla trattazione statistica dei dati di DA alle diverse profondità, i valori risultano piuttosto omogenei, non presentando infatti differenze significative al test ANOVA eseguito in RStudio (Allegato anova2); le medie mostrano una leggera tendenza verso valori più bassi nei sistemi inerbiti (0-30 in) e nello strato più superficiale

dei seminativi privi di lavorazione o negli inerbimenti di frutteti e vigneti; più alti invece i valori nei suoli con lavorazioni annuali e nello strato 15-30 dei seminativi privi di lavorazione o negli inerbimenti di frutteti e vigneti.

Variabile	profondità	N	Media	SD	mediana	min	max
DA	0-15	25	1,46	0,09	1,45	1,28	1,62
	15-30	25	1,50	0,09	1,50	1,32	1,64
	0-30 in.	31	1,43	0,13	1,45	1,20	1,62
	0-30 la.	67	1,47	0,11	1,50	1,16	1,68
CO%	0-15	25	1,64	0,56	1,51	0,98	3,49
	15-30	25	1,15	0,40	1,07	0,34	1,95
	0-30 in.	31	1,43	0,07	1,42	0,66	2,26
	0-30 la.	67	1,31	0,04	1,27	0,80	2,13

Tabella 40. Valori statistici di densità apparente e carbonio organico in funzione della profondità e della gestione del suolo

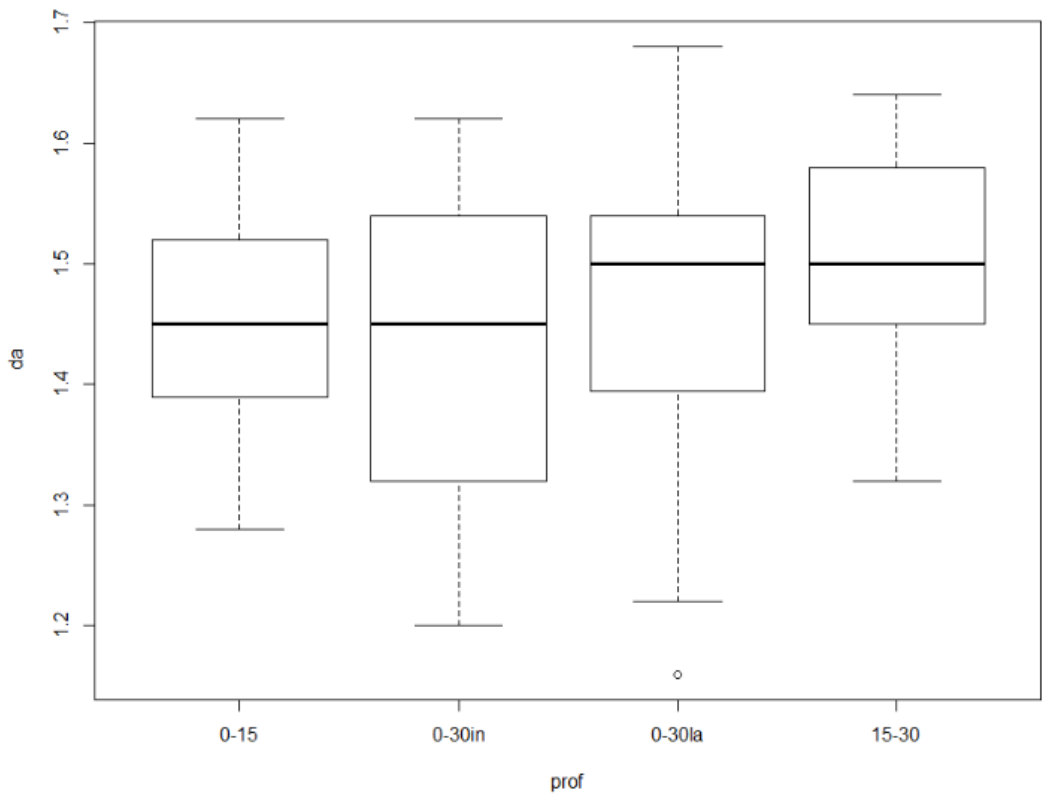


Figura 8. Box plot dei valori di densità apparente (g/cm3) a diverse profondità: 0-15 cm e 15-30 cm

I dati della figura si riferiscono agli stessi siti campionati a due profondità su frutteti e vigneti inerbiti, prati permanenti e seminativi senza lavorazione del suolo; 0-30 in. comprendono frutteti e vigneti inerbiti campionati ad un'unica profondità (DA tra 10-20 cm); 0-30 la. comprendono seminati con lavorazioni annuali e vigneti lavorat campionati alla profondità di 10-20cm..

Più solida è invece la differenza del contenuto di CO% alle diverse profondità. Le differenze oltre ad essere apprezzabili osservando le medie e la rappresentazione tramite boxplot, sono confermate dal test ANOVA e Tukey (Allegato. anova1) che confermano differenze significative con pvalue <0.01 tra lo 0-15 e il 15-30 (quindi stessi siti ma profondità diversa) e tra 0-15 e 0-30 lavorati, oltre che differenze significative con pvalue<0.05 tra 0-30 inerbito e 15-30.
Questo a rafforzare la tesi che i sistemi inerbiti o senza lavorazione del suolo portano ad un maggiore accumulo di sostanza organica in superficie che però diminuisce in profondità, lo strato 15-30 infatti ha i contenuti più bassi; se consideriamo lo strato 0-30 degli inerbimenti dei frutteti e vigneti rispetto ai suoli lavorati annualmente, sebbene i sistemi inerbiti hanno mediamente valori più alti, la differenze tra i due dataset non è statisticamente significativa.

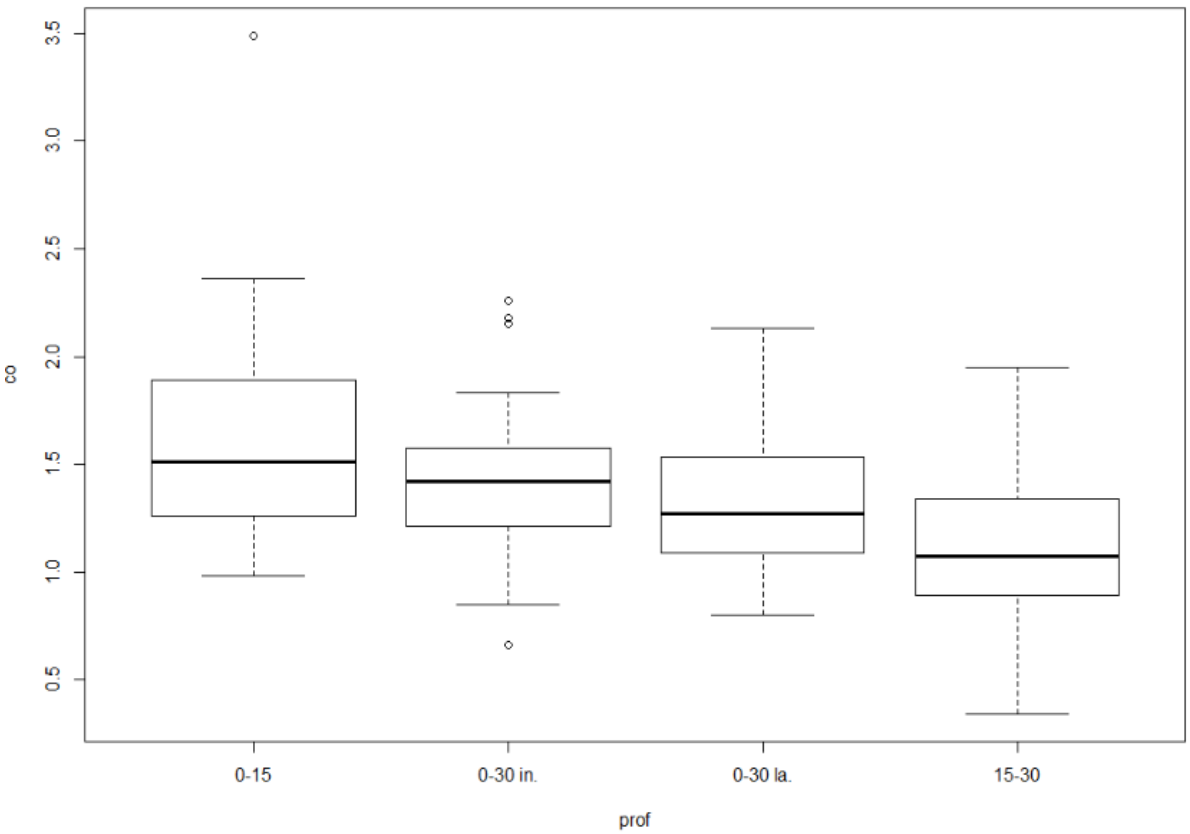


Figura 9. Box plot dei valori di carbonio organico% a diverse profondità: 0-15 cm e 15-30 cm

I dati della figura si si riferiscono agli stessi siti campionati a due profondità; 0-30 in. comprendono frutteti e vigneti inerbiti campionati ad un'unica profondità (DA tra 10-20 cm); 0-30 la. comprendono seminati con lavorazioni annuali e vigneti lavorati.

Come già detto per il calcolo del SOC-stock si preferisce utilizzare i valori stimati di densità apparente attraverso l'uso delle **PTF RER**[5]; seguendo le indicazioni di utilizzo delle PTF, per i siti M5013 ed M5014 sono state utilizzare le seguenti tre pedofunzioni:

Cod PTF	Titolo	Dati input	Formula	Bibliografia
1296	**ORIZZONTI CON C ORG. > 2,15%** Orizzonti O torbosi e Ap con valori elevati di sostanza organica	C org %	DA Org = 1.4903 − 0.33293 × Ln(C org%)	Hollis et al, 2012
1297	**ORIZZONTI A** Orizzonti A di suoli forestali (pianura e collina), pascoli e prati stabili (collina)	C org % Sabbia%, Argilla%	DA A*= -6.622293+ (8.0260744 × Exp (-0.0194514 × C org%) + (-0.000012057 × S%) - (-0.00789072 × A%))	CNR, 2013
1298	**ORIZZONTI Ap** Orizzonti Ap, Ap1 e Ap2 CNR, 2013	C org % Sabbia%, Argilla%	DA Ap = +5.5435e-006(LIMO * ARGILLA0.5 * Sg2 * CORG2) - 1.0617e-009(LIMO2 * ARGILLA2 * Sg2 * CORG) + 1.6343(LN prof MAX * Dg * CORG) - 0.18851(LN prof MAX2 * ARGILLA0.5 * Dg * CORG) + 1.4106e-005 (LNprofMAX2 * LIMO0.5 * ARGILLA * Sg0.5) + 1.4892	CNR, 2013

Tabella 41. Elenco delle PTF RER usate per il calcolo della densità apparente

La PTF 1296 è stata applicata a 7 siti, 4 con vite in agricoltura convenzionale, 2 con pero uno in convenzionale e uno in agricoltura integrata, 1 seminativo in agricoltura conservativa.
La PTF 1297 è stata applicata ai tre siti di collina con uso del suolo a prato permanente.

[5] Regione Emilia-Romagna. Siti locali rappresentativi dei suoli della pianura, del basso e medio appennino emiliano-romagnoli (2018).

La PTF 1298 è stata applicata a tutti i siti esclusi dalle PTF precedenti; sono inclusi quindi i vigneti e frutteti anche se inerbiti e quindi non lavorati già da alcuni anni e i siti in agricoltura conservativa anche se sono suoli non lavorati negli ultimi due o tre anni.
Tutte le DA stimate ricadono nel range di validità delle PTF utilizzate.

Nella tabella seguente si riportano i valori statistici della densità apparente misurata e stimata e del SOC-stock calcolato con i due valori:

Variable	NumObs	Min	Max	Mean	SD	25%ile	50%ile	75%ile
DA_mis	148	1,16	1,68	1,465	0,109	1,39	1,48	1,55
DAPTF	148	1,074	1,835	1,487	0,106	1,423	1,501	1,552
SOC-stock_mis	148	6,93	105,8	49,23	19,24	35,44	49,12	61,61
SOC-stock_PTF	148	7,67	96,55	49,64	18,62	37	48,82	62,68

Tabella 42. Statistica descrittiva di densità apparente e SOC-stock (valori misurati vs valori stimati)

Non c'è una buona correlazione tra DA misurate e DA stimate (R2=0.0374), la correlazione invece migliora (R2=0.93) se si confronta il SOC-stock determinato con DA misurata e il SOC-stock determinato con DA stimata con PTF.

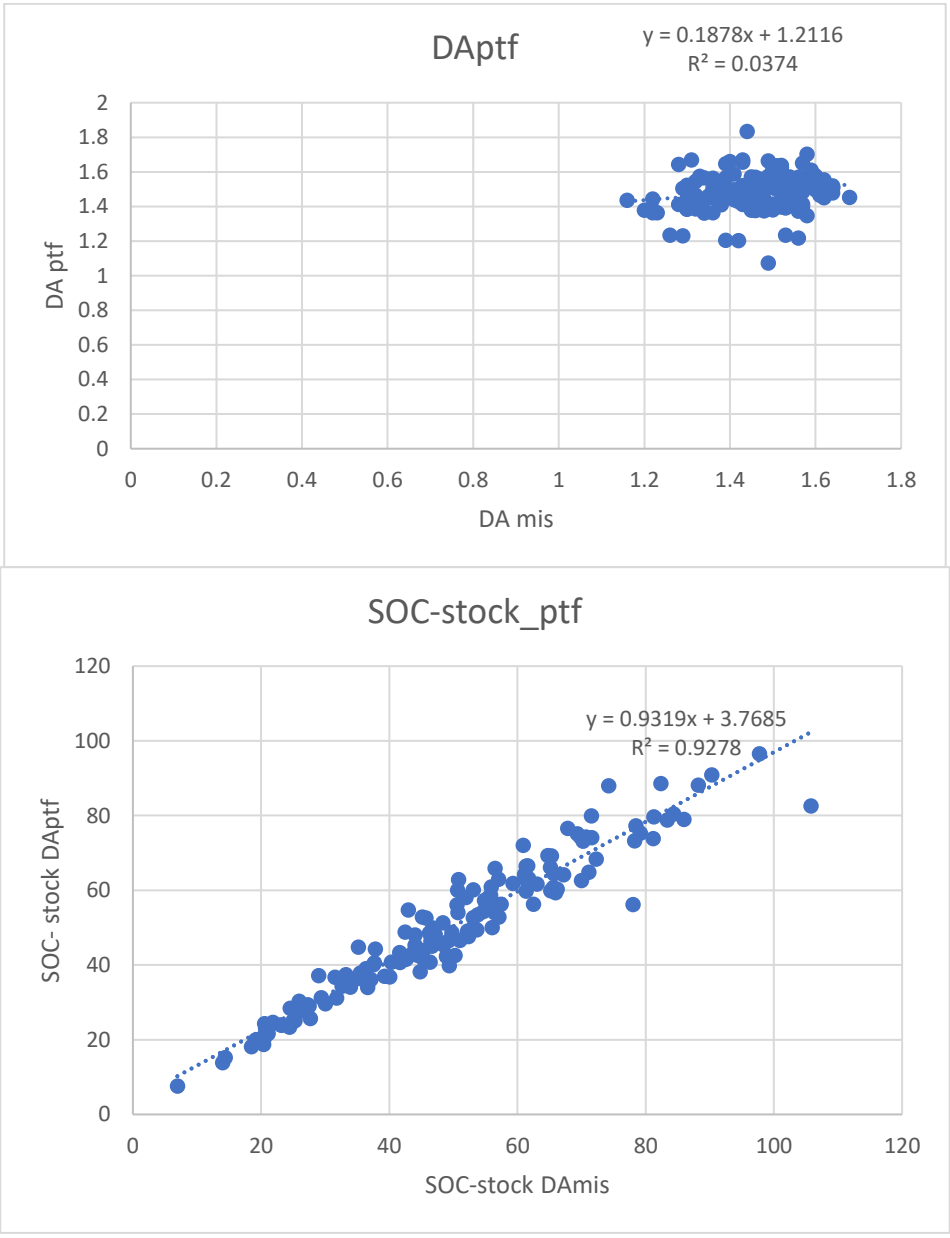


Figura 10. Rappresentazione tramite boxplot di densità apparente e SOC-stock (valori misurati vs valori stimati)

Di seguito si riporta l'analisi riferita allo strato **0-30 cm** di:

- contenuto di SOC-stock (calcolato con DA da PTF e sommando gli stock nei siti con campionamento 0-15 e 15-30); di CO% (per i siti con doppia profondità si considera il valore medio ponderato);
- DA calcolata con PTF (per i siti con doppia profondità valore medio).

I siti sono suddivisi per gestione del suolo, dividendo i frutteti e vigneti inerbiti dai non inerbiti, i seminativi con lavorazione annuale dai seminativi in agricoltura conservativa e i prati permanenti. Come si evince dalla tabella il confronto tra questi gruppi è per ora solo indicativo visto la grande differenza numerica tra i gruppi (campo Num Obs).

Variable	Gestione	Num Obs	Min	Max	Media	Sd	25%Ile(Q1)	50%Ile(Q2)	75%Ile(Q3)
SOC-stock (Mg/ha)	pero_in	16	48,79	88,6	68,56	12,76	59,29	65,33	79,53
	pp	3	41,51	65,88	55,83	12,73	50,81	60,1	62,99
	sem_la	62	36,4	96,55	57,05	13,75	46,57	54,59	64,7
	sem_nonla	6	44,44	81,41	65,54	13,71	57,56	68,79	74,19
	vite_in	31	28,55	97,03	59,08	17,22	48,81	58,1	67,7
	vite_la	5	48,58	79,92	64,14	12,63	56,1	62,94	73,14
CO%	pero_in	16	1,05	2,01	1,482	0,275	1,289	1,43	1,661
	pp	3	0,905	1,4	1,227	0,279	1,14	1,375	1,388
	sem_la	62	0,8	2,13	1,298	0,314	1,083	1,235	1,46
	sem_nonla	6	0,985	2,05	1,515	0,399	1,234	1,553	1,755
	vite_in	31	0,66	2,59	1,375	0,471	1,098	1,3	1,505
	vite_la	5	1,23	1,65	1,48	0,175	1,37	1,55	1,6
DA PTF g/cm^3	pero_in	16	1,368	1,706	1,551	0,0934	1,51	1,565	1,62
	pp	3	1,484	1,623	1,546	0,0705	1,508	1,532	1,577
	sem_la	62	1,365	1,66	1,471	0,0609	1,419	1,468	1,511
	sem_nonla	6	1,329	1,561	1,461	0,0973	1,386	1,482	1,54
	vite_in	31	1,219	1,651	1,458	0,117	1,381	1,464	1,562
	vite_la	5	1,365	1,665	1,48	0,132	1,386	1,413	1,573

Tabella 43. Statistica descrittiva di SOC-stock, CO% e DA calcolata con PTF per gruppi di siti a diverso uso e gestione del suolo

Nella tabella: pero_in, pero inerbiti; pp, prato permanente; sem_la, seminativi lavorati; sem_nonla, seminativi non lavorati; vite_in, vite inerbita; vite_la: vite lavorata

Gli stessi dati rappresentati in boxplot aiutano a visualizzare la distribuzione delle popolazioni e confrontare i valori; il test statistico ANOVA non conferma differenze significative per pvalue <0.05 ad eccezione della DA che il test di Tukey conferma essere significativamente più alto (pvalue<0.05) nel pero inerbito rispetto alla vite inerbita e ai seminativi lavorati (Allegato. aovDA, Tda)

I dati più solidi sono certamente quelli riferiti ai gruppi più numerosi, pero inerbito, seminativi lavorati e vite inerbita; tra questi gruppi i seminativi lavorati hanno valori medi e mediani di SOC-stock più bassi rispetto ai peri e vigneti inerbiti, a riprova dell'effetto positivo dell'inerbimento stabile sul contenuto di carbonio organico nei suoli. Appare contradditorio il dato dei vigneti non inerbiti che è più alto di quelli inerbiti, i pochi dati però di questo gruppo non permettono di trarre conclusioni.

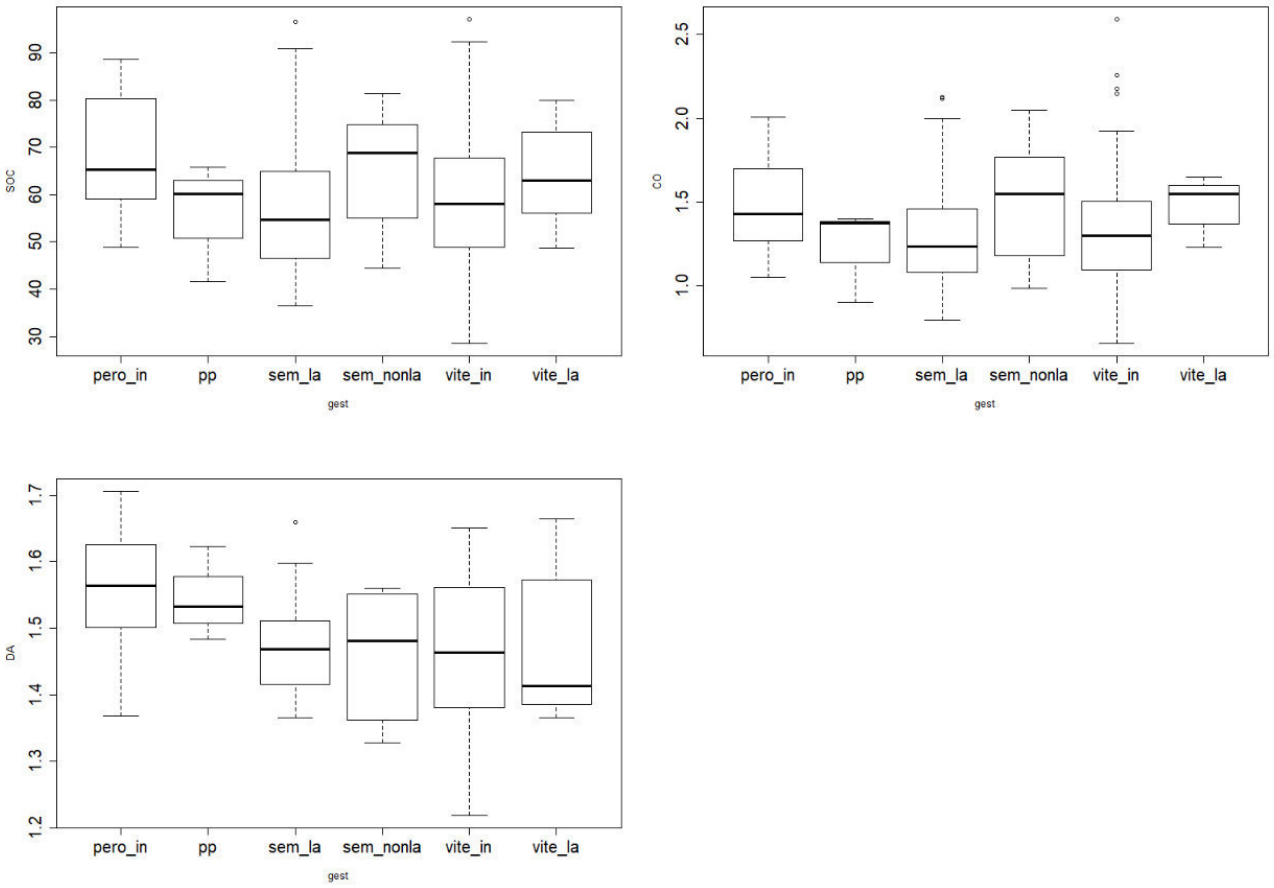


Figura 11. Rappresentazione tramite boxplot di SOC-stock (Mg/ha), CO% e DA (g/cm3) calcolata con PTF. In ultimo si propone una valutazione dello SOC-stock in funzione dell'uso del suolo e del tipo di sistema produttivo.

Anche in questo caso, anche se si osservano delle differenze nelle medie e nelle mediane tra i vari sistemi produttivi, il test ANOVA non conferma alcuna differenza statisticamente significativa.
Analogamente a quanto visto per il CO% sia nel pero che nel vigneto il sistema produttivo convenzionale sembra favorire il SOC-stock (CO in Mg/ha) rispetto al sistema biologico e di produzione integrata; nei seminativi è invece l'agricoltura conservativa e poi biologica a mantenere livelli di SOC-stock più alti.

Uso	sistema produttivo	Num Obs	min	max	media	sd	25%ile(Q1)	50%ile(Q2)	75%ile(Q3)
PERO	INTEGRATO	8	52,9	88	66,31	12,77	57,58	61,33	76,05
	CONVENZIONALE	8	48,79	88,6	70,81	13,2	63,8	68,36	82,24
VITE	BIOLOGICO	6	32,01	60,16	47,87	11,68	38,87	50,72	56,72
	INTEGRATO	12	28,55	79,92	60,27	13,87	57,5	63,16	66,95
	CONVENZIONALE	18	36,87	97,03	63,43	18,39	50,08	60,21	78,32
SEMINATIVI	BIOLOGICO	16	45,33	77,3	60,27	10,69	51,54	61,14	68,59
	CONSERVATIVO	6	44,44	81,41	65,54	13,71	57,56	68,79	74,19
	INTEGRATO	12	40,74	90,88	55,07	15,34	44,24	48,52	60,98
	CONVENZIONALE	34	36,4	96,55	56,24	14,55	45,49	53,5	62,25
PRATI PERMANENTI		3	41,51	65,88	55,83	12,73	50,81	60,1	62,99

Tabella 44. Statistica descrittiva dei valori di SOC-stock in funzione dell'uso e del sistema produttivo

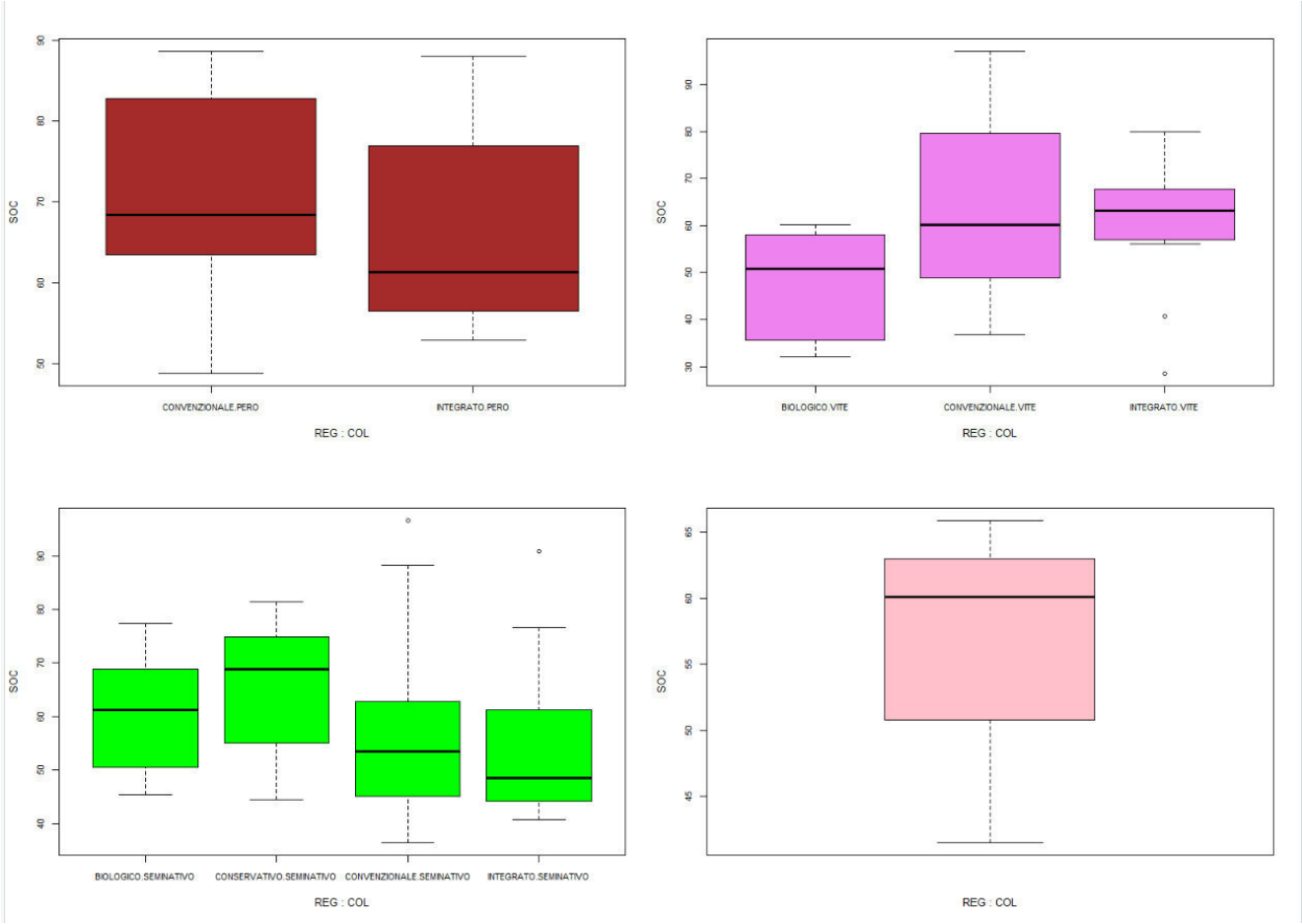


Figura 12. Rappresentazione tramite boxplot di dei valori di SOC-stock in funzione dell'uso e del sistema produttivo

5.3 Contenuto di metalli potenzialmente tossici

5.3.1 Contenuto di As, Ni, Cu e Zn 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 serpentinizzate.

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; ERSAF, 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 appartenenti ai siti M5013; nella tabella seguente si riportano i valori statistici di ciascun metallo suddivisi per i diversi usi del suolo considerati nell'attività di monitoraggio.

Parametro	Uso del suolo	N	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	95%ile	Max	Mean	SD
As	PERO	10	5,6	6,85	7,75	9,575	13,34	15,9	8,62	2,94
	PRATO	3	9,1	9,5	9,9	10,2	10,44	10,5	9,833	0,702
	SEM	18	2,8	4	4,9	5,825	8,85	9,7	5,144	1,812
	VITE	18	3,5	4,475	5,75	6,425	7,915	9,7	5,706	1,611
Ni	PERO	10	23,4	38,78	40,7	48,58	90,42	91,5	49,09	22,79
	PRATO	3	41,2	41,5	41,8	43,6	45,04	45,4	42,8	2,272
	SEM	18	27,3	43,58	57,2	81,38	98,41	103	62,52	23,27
	VITE	18	22	32	34,05	38,7	51,28	52,3	35,68	8,047
Cu	PERO	10	45,1	63,3	77,9	92,3	137,4	159	84,21	32,88
	PRATO	3	23,4	29,45	35,5	66,25	90,85	97	51,97	39,47
	SEM	18	18,4	41,33	46,4	59,5	86,02	86,1	50,72	18,86
	VITE	18	26,3	58	84,45	118,3	183,2	258	94,71	56,9
Zn	PERO	10	52	86,25	90	99,25	114,6	115	89,17	20,2
	PRATO	3	69	73,5	78	89	97,8	100	82,33	15,95
	SEM	18	54,4	75,5	88,5	96,25	109,4	117	85,12	19,2
	VITE	18	44,3	64,38	87	98,75	103,9	109	81,93	20,55

Tabella 45. Statistica descrittiva del contenuto di metalli (mg/kg) per diversi usi del suolo (in rosso i valori che superano i valori limite secondo il DM 46/2019)

Pur rimanendo il contenuto di metalli sempre sotto il limite di legge secondo il DM 46/2019, con un'unica eccezione legata ad un vigneto per il contenuto in rame, dalla statistica descrittiva si evidenzia un diverso contributo in funzione dell'uso del suolo confermato anche dal test ANOVA: il contenuto di **arsenico** è più alto nei prati e nel pero, i test statistici (Allegato aovAs e TUKAs) confermano significative differenze tra le medie di questi due usi rispetto ai seminativi e alla vite; i seminativi hanno invece valori medi più alti di **nichel** rispetto agli altri usi del suolo con differenze significative però solo nei confronti della vite (Allegato aovNi e TUKNi); il **rame** ha contenuti medi più alti nella vite ma la differenza è significativa solo nei confronti dei seminativi (Allegato aovCu e TUKCu); lo **zinco** seppur con valori medi più alti nel pero non mostra differenze significative rispetto agli altri usi del suolo (Allegato aovCu)

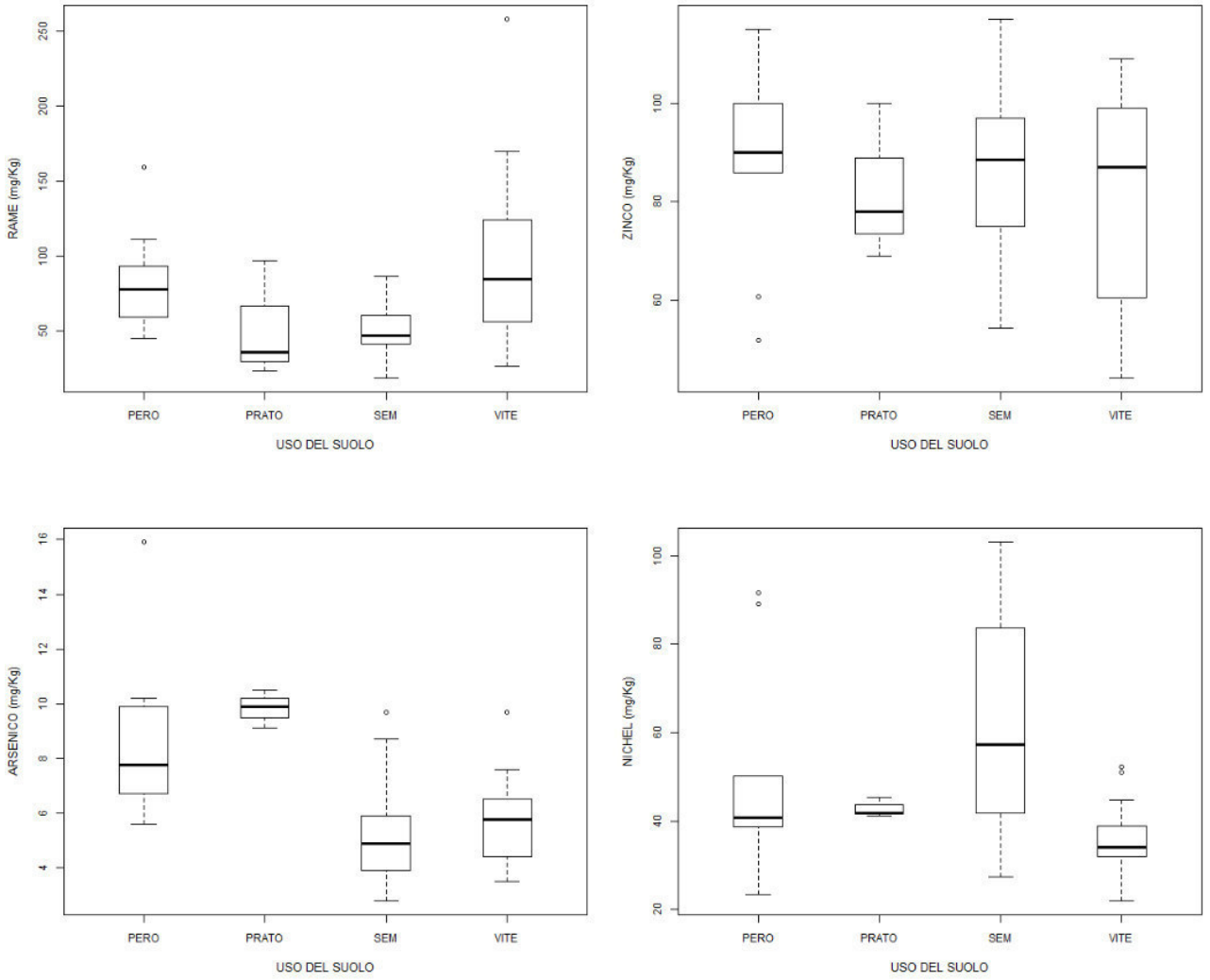


Figura 13. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di Cu, Zn, As e Ni in funzione dell'uso del suolo

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

Con l'analisi che seguente 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), la praticoltura estensiva (PRATI), considerata qui non come uso del suolo ma come una diversa gestione dei seminativi, la produzione integrata (INT) e l'agricoltura convenzionale (T).

La limitata numerosità dei dati non permette una robusta valutazione statistica e una generalizzazione dei risultati all'intero sistema agricolo regionale, ma solo una prima valutazione, non si riportano i risultati dei test ANOVA.

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 e dal grafico sottostante l'unico trend evidenziabile è la tendenza dell'agricoltura conservativa ad avere valori più alti (Ni, Cu e Zn) rispetto agli altri sistemi produttivi.

	parametro	Uso del suolo	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	95%ile	Max	Mean	SD
SEMINATIVO	As	BIO	6	2,8	4,15	5,1	5,75	5,975	6	4,80	1,24
		CONS	3	4,9	5,4	5,9	7,3	8,42	8,7	6,50	1,97
		PRATI	3	9,1	9,5	9,9	10,2	10,44	10,5	9,83	0,70
		T	9	2,8	3,5	4,7	5,6	8,06	9,7	4,92	2,05
	Ni	BIO	6	30,6	43,58	58,35	72,75	95,85	103	61,08	26,19
		CONS	3	50,9	68,35	85,8	89,1	91,74	92,4	76,37	22,30
		PRATI	3	41,2	41,5	41,8	43,6	45,04	45,4	42,80	2,27
		T	9	27,3	41,6	53,5	73,9	92,04	97,6	58,86	22,57
	Cu	BIO	6	23,6	43,08	49,2	71	83,9	86	54,55	23,28
		CONS	3	49,1	53,25	57,4	61,5	64,78	65,6	57,37	8,25
		PRATI	3	23,4	29,45	35,5	66,25	90,85	97	51,97	39,47
		T	9	18,4	40	43,6	45,6	75,74	86,1	45,94	18,62
	Zn	BIO	6	57	62,03	83	93,25	103	106	80,12	20,22
		CONS	3	94	95,5	97	101,5	105,1	106	99,00	6,25
		PRATI	3	69	73,5	78	89	97,8	100	82,33	15,95
		T	9	54,4	77	86	90	113,4	117	83,83	20,61

Tabella 46. Statistica descrittiva del contenuto di metalli (mg/kg) nei siti con **seminativo** gestiti con diversi sistemi produttivi

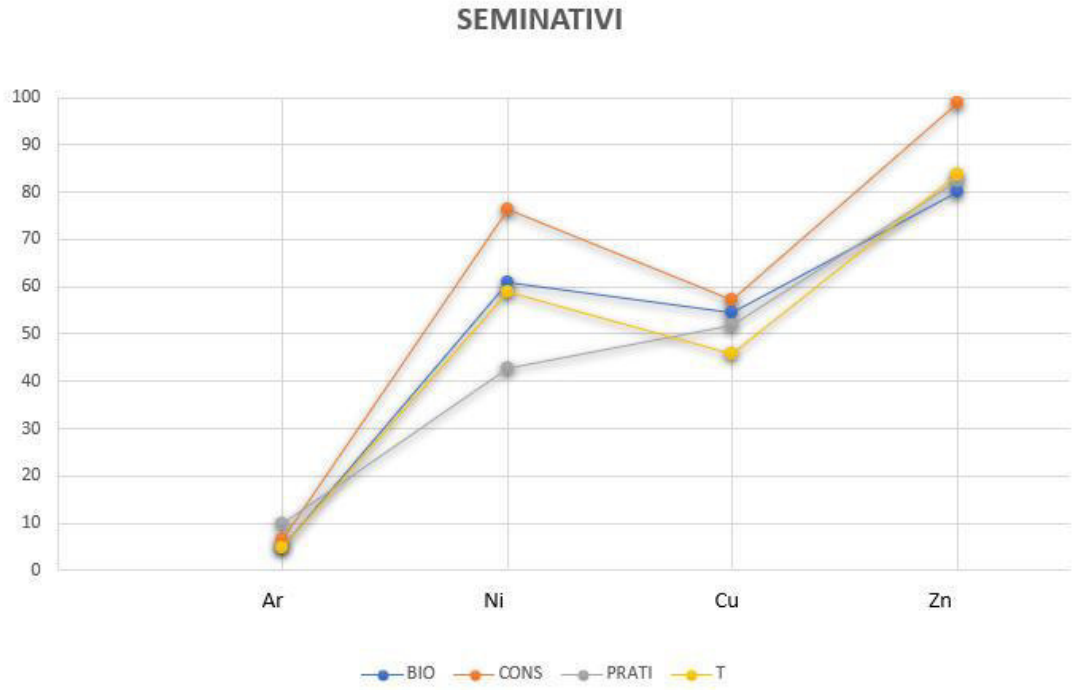
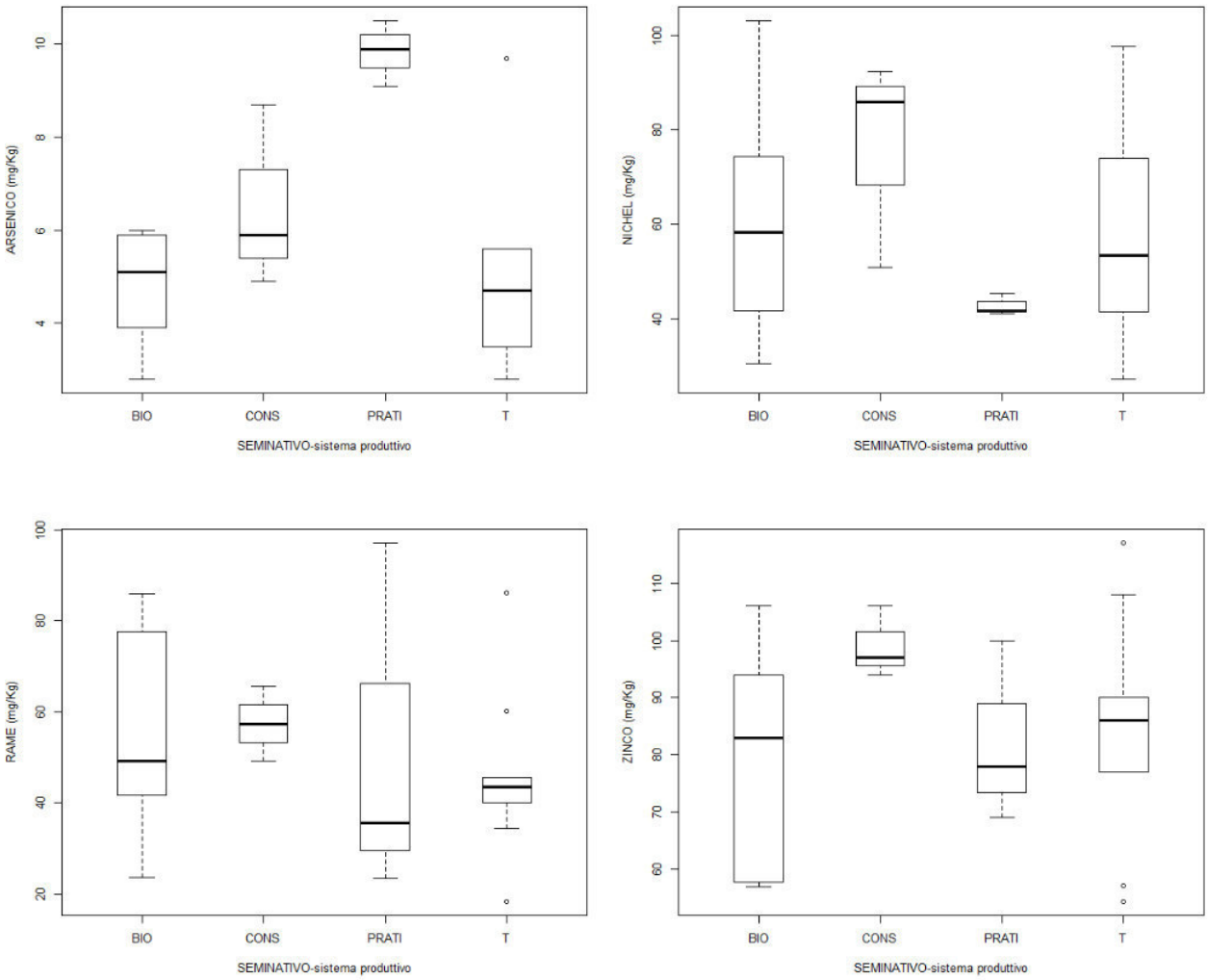


Figura 14. Grafico del contenuto medio (mg/kg) di metalli nei seminativi per i diversi sistemi produttivi



S

Figura 15. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di metalli nei seminativi in funzione del sistema produttivo

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 e dal grafico 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.

	parametro	uso del suolo	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	95%ile	Max	Mean	SD
VITE	As	BIO	3	3,9	4,15	4,4	6	7,28	7,6	5,3	2,01
		INT	6	3,8	5,375	5,9	6,425	8,9	9,7	6,183	1,96
		T	9	3,5	4,7	5,9	6,2	7,24	7,6	5,522	1,35
	Ni	BIO	3	22,8	27,4	32	33,65	34,97	35,3	30,03	6,48
		INT	6	32,8	33,5	36,6	39,78	48,45	51,1	38,4	6,88
		T	9	22	30,7	32,2	38,8	49,3	52,3	35,76	8,94
	Cu	BIO	3	26,3	30,45	34,6	54,6	70,6	74,6	45,17	25,83
		INT	6	69,3	83,3	94,7	118,3	136,8	141	100,9	27,09
		T	9	40,5	56,1	87,3	148	222,8	258	107,1	71,64
	Zn	BIO	3	44,3	48,3	52,3	56,4	59,68	60,5	52,37	8,10
		INT	6	80	85	94,5	98,75	99,75	100	91,83	8,66
		T	9	52,4	76	92	101	106,6	109	85,18	20,51

Tabella 47. Statistica descrittiva del contenuto di metalli nei siti con **vite** gestiti con diversi sistemi produttivi

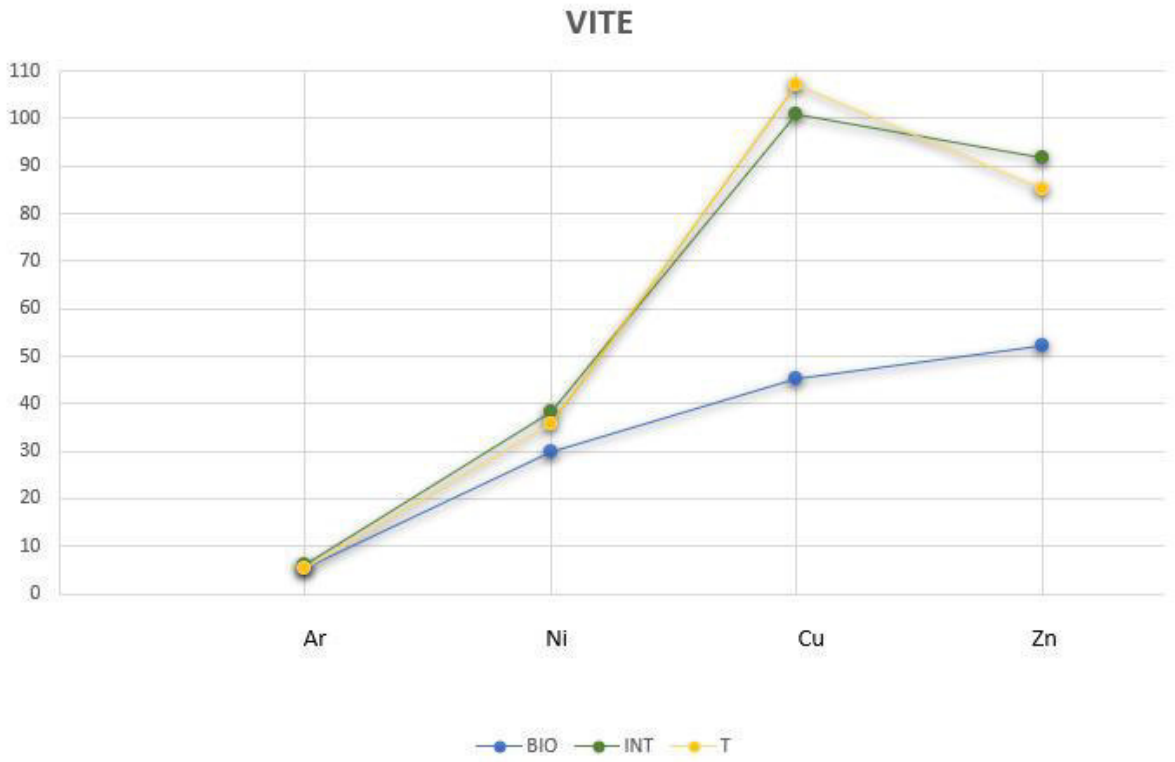


Figura 16. Grafico del contenuto medio (mg/kg) di metalli nella vite per i diversi sistemi produttivi

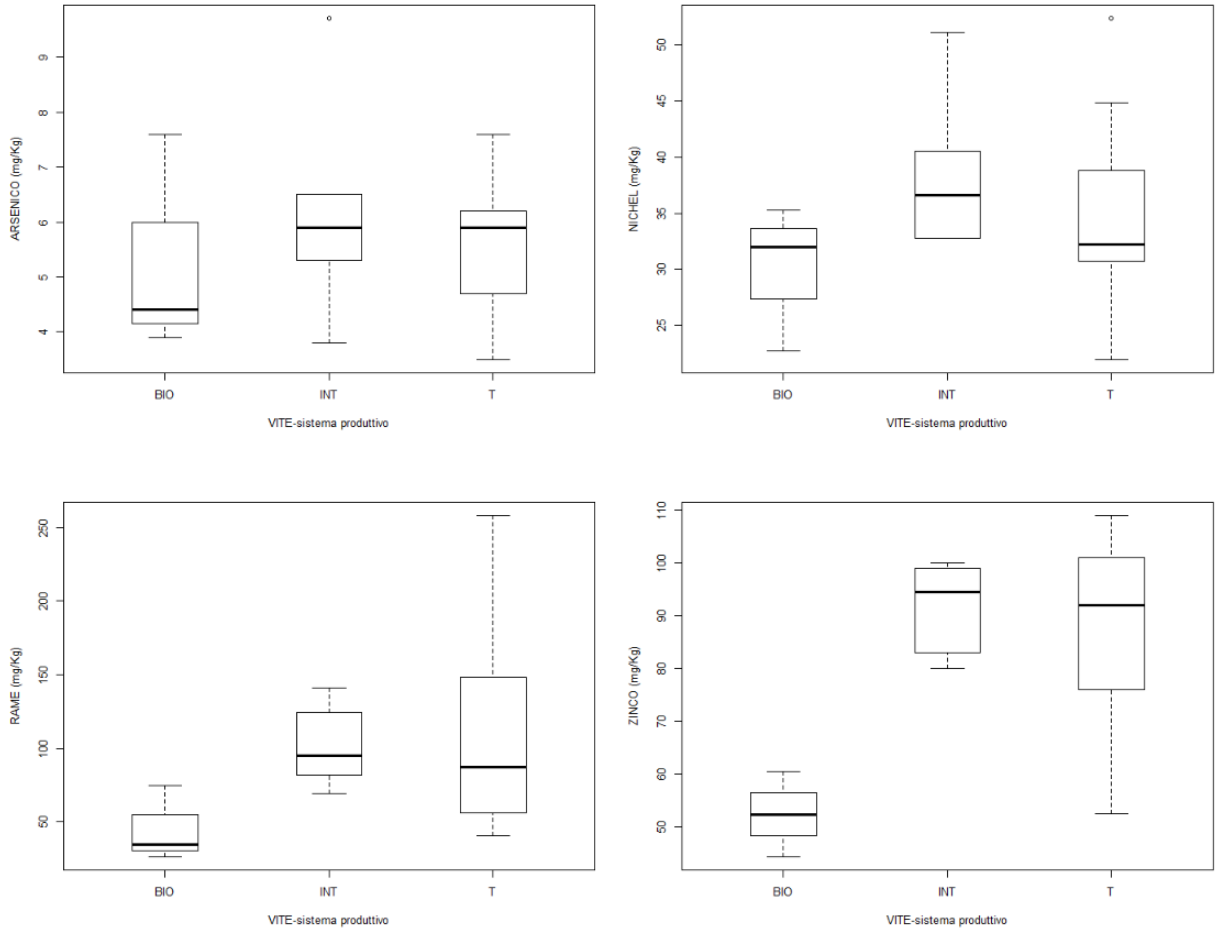


Figura 17. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di metalli nella vite in funzione del sistema produttivo

Il confronto nel pero è solo tra produzione integrata e produzione convenzionale; i valori medi sono molto simili tra i due sistemi agricoli anche se i siti in produzione integrata sono sempre più bassi, i valori si discostano di più solo per il rame.

	parametro	Sistema agricolo	Num Obs	Min	25%ile (Q1)	50%ile (Q2)	75%ile (Q3)	95%ile	Max	Mean	SD
PERO	As	INT	5	6,5	7,3	7,5	8,6	9,64	9,9	7,96	0,59
		T	5	5,6	6,7	8	10,2	14,76	15,9	9,28	1,82
	Ni	INT	5	23,4	38,7	43,7	50,2	81,32	89,1	49,02	10,95
		T	5	33,9	39	39,1	42,3	81,66	91,5	49,16	10,67
	Cu	INT	5	45,1	52,8	59,2	75,6	103,9	111	68,74	11,70
		T	5	76,6	79,2	90,8	92,8	145,8	159	99,68	15,16
	Zn	INT	5	52	86	87	100	112	115	88	10,43
		T	5	60,7	89	91	97	110,6	114	90,34	8,62

Tabella 48. Statistica descrittiva del contenuto di metalli nei siti con **pero** gestiti con diversi sistemi produttivi

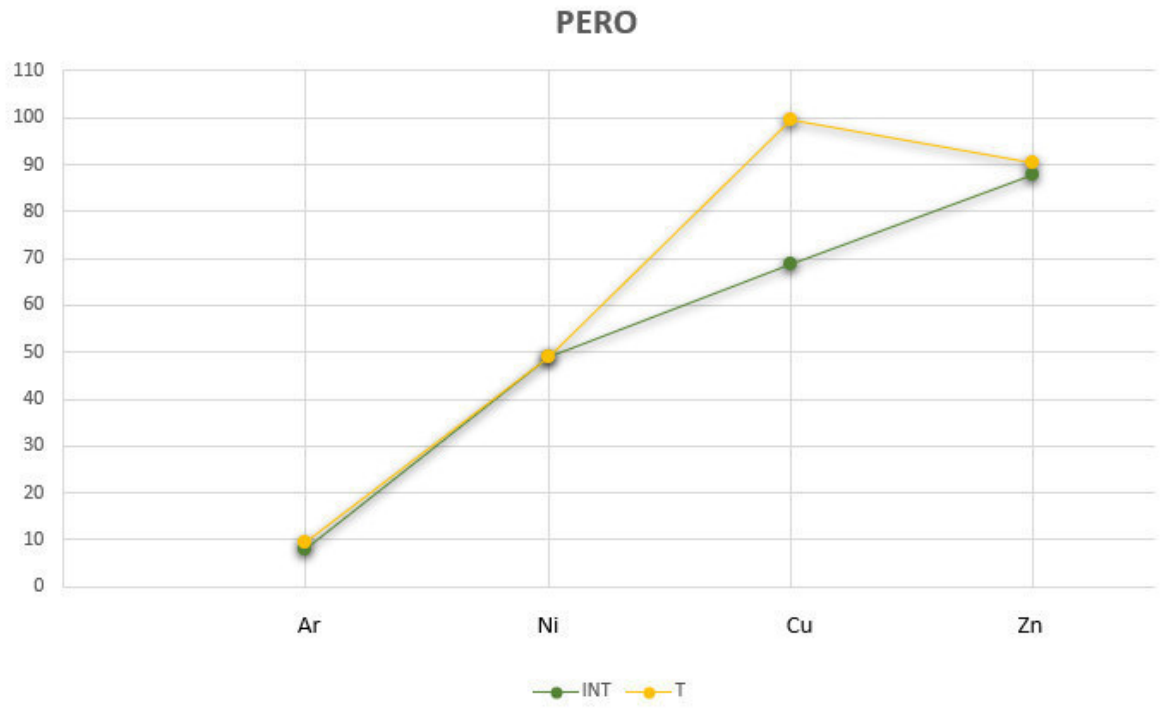


Figura 18. Grafico del contenuto medio (mg/kg) di metalli nel pero per i diversi sistemi produttivi

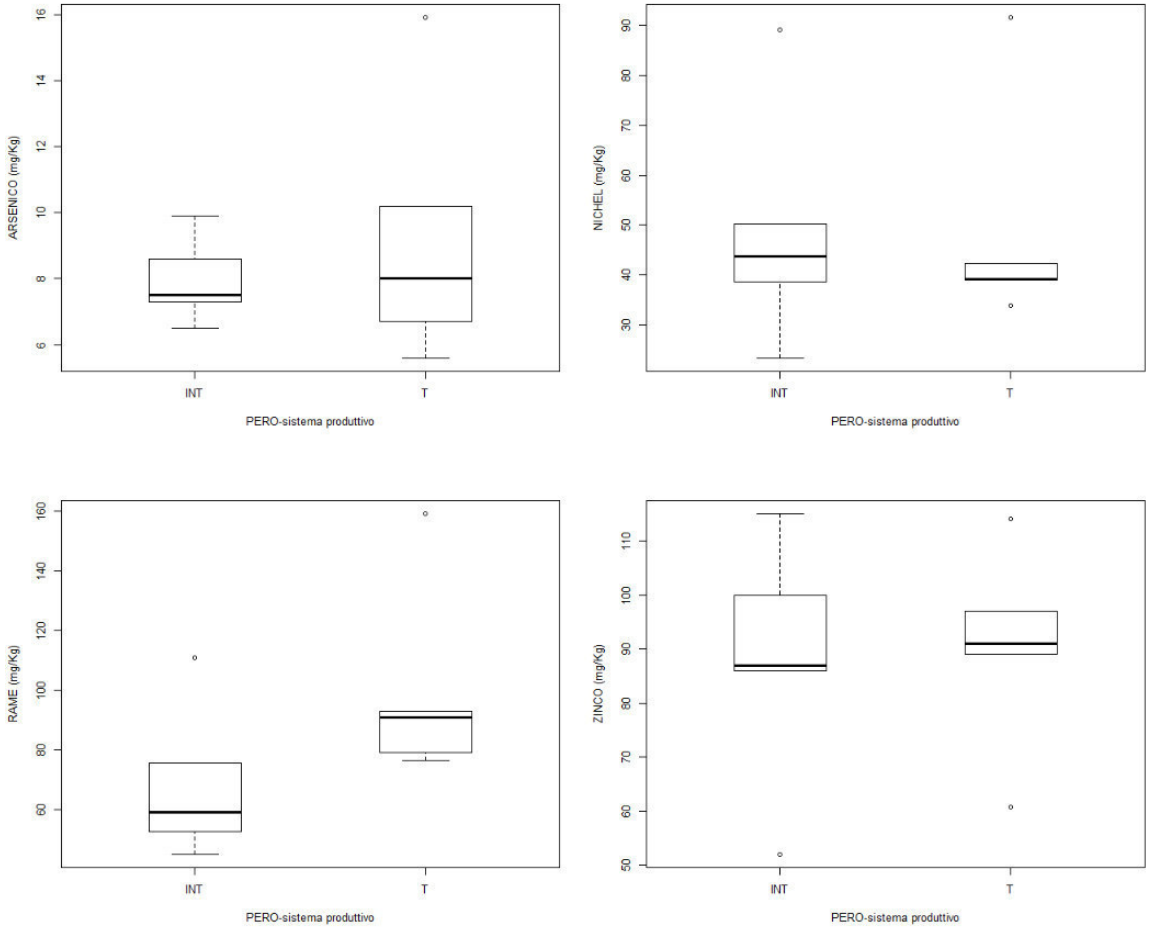


Figura 19. Rappresentazione tramite boxplot del contenuto di metalli nel pero in funzione del sistema produttivo

6 ALLEGATO. TRATTAZIONE STATISTICA CON R

Sono stati condotti **test ANOVA** per evidenziare influenze tra il contenuto di carbonio organico e diversi fattori quali: i tipi di suolo (GF), gli usi del suolo (COL), i sistemi produttivi (REG) e le interazioni tra i diversi fattori.

```
AnovaTOT<-aov(COrg~GF*REG*COL)

Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
GF           4  2.190  0.5474   5.272 0.000753 ***
REG          4  0.498  0.1244   1.198 0.317479
COL          2  2.010  1.0048   9.676 0.000161 ***
GF:REG      12  1.064  0.0887   0.854 0.595384
GF:COL       6  1.922  0.3203   3.085 0.008719 **
REG:COL      3  0.616  0.2052   1.976 0.123491
GF:REG:COL   4  0.069  0.0173   0.167 0.954718
Residuals   87  9.034  0.1038
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

In questa prima analisi è stato preso tutto il dataset disponibile indipendentemente dalla numerosità dei dati per ciascuna categoria. Il test mette in evidenza differenze significative tra gruppi funzionali di suolo (GF), usi del suolo e l’interazione tra questi, mentre non è significativa l’influenza dei sistemi produttivi (REG).
I dati però tendono a disperdersi, non garantendo un numero minimo sufficiente per giustificare un’analisi statistica (almeno 3 dati), quando si prendono in considerazione contemporaneamente tutti i fattori GF, COL e REG. Per evitare la dispersione dei dati si è proceduto ad analisi statistiche per singoli raggruppamenti, l’analisi ANOVA a seconda del tipo di raggruppamento fornisce risultati a volte diversi come evidenziato di seguito:

```
> anova<-aov(COrg~GF)
> summary(anova1)
             Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
GF            4   2.19  0.5474   4.246 0.00302 **
Residuals   118  15.21  0.1289
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

> anova<-aov(COrg~COL)
> summary(anova2)
             Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
COL           3  0.625  0.2084   1.478  0.224
Residuals   119 16.777  0.1410
> anova3<-aov(COrg~GF*COL)
> summary(anova3)
             Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
GF            4  2.190  0.5474   5.114 0.000826 ***
COL           3  1.916  0.6386   5.966 0.000844 ***
GF:COL        8  1.843  0.2304   2.153 0.036901 *
Residuals   107 11.453  0.1070
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

> anova4<-aov(COrg~REG)
> summary(anova5)
             Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
REG           4  0.418  0.1046   0.727  0.575
Residuals   118 16.983  0.1439

> anova5<-aov(COrg~REG*COL)
> summary(anova5)
             Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
REG           4  0.418  0.1046   0.766 0.5494
COL           2  0.815  0.4076   2.986 0.0545 .
REG:COL       3  0.745  0.2482   1.818 0.1478
Residuals   113 15.424  0.1365
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
```

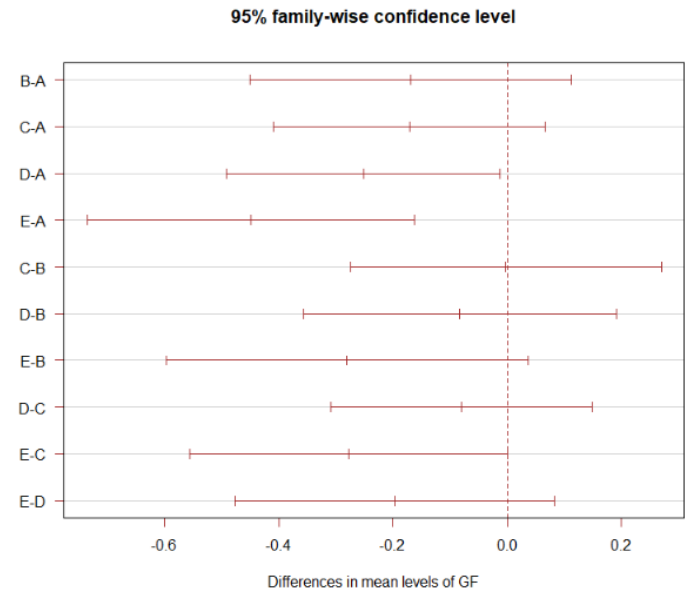
Da questa analisi, mentre è sempre confermata l’influenza del suolo sul contenuto di CO, meno chiara è l’influenza dell’uso del suolo. L’analisi che fa emergere maggiori differenze significative è l’ANOVA fatta sull’interazione tra GF e COL (anova3). Il test di TUKEY eseguito sull’ anova3 restituisce i gruppi che sono significativamente differenti per un pvalue<0.05 e per pvalue<0.01:

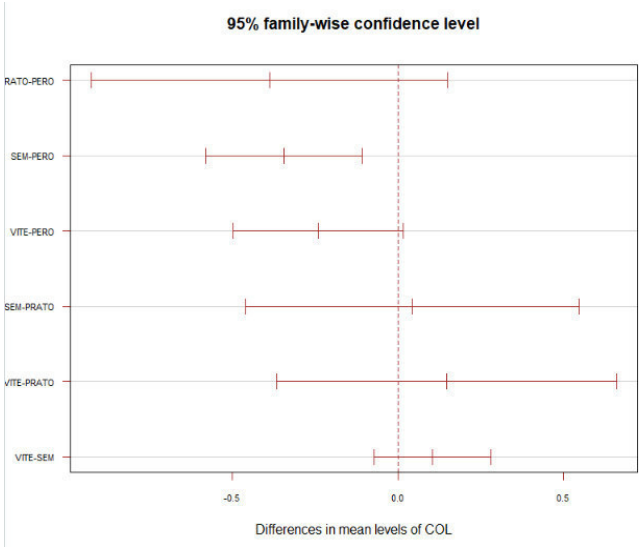
```
> TUKEY3<-TukeyHSD(anova3)
> TUKEY3
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = COrg ~ GF * COL)
```

```
$GF
             diff        lwr           upr     p adj
B-A -0.168976035 -0.4500534  0.1121013660 0.4579260
C-A -0.171678241 -0.4089112  0.0655547413 0.2692351
D-A -0.252031063 -0.4910087 -0.0130534601 0.0333704
E-A -0.449490741 -0.7359074 -0.1630740730 0.0002918
C-B -0.002702206 -0.2751633  0.2697589053 0.9999999
D-B -0.083055028 -0.3570365  0.1909264750 0.9171139
E-B -0.280514706 -0.5967268  0.0356973700 0.1073381
D-C -0.080352823 -0.3091340  0.1484283977 0.8660758
E-C -0.277812500 -0.5557784  0.0001534322 0.0501991
E-D -0.197459677 -0.4769161  0.0819966994 0.2923868

$COL
                   diff         lwr         upr     p adj
PRATO-PERO -0.38743881 -0.92464624  0.14976862 0.2418001
SEM-PERO   -0.34429487 -0.58154750 -0.10704225 0.0014193
VITE-PERO  -0.24073111 -0.49728362  0.01582139 0.0741648
SEM-PRATO   0.04314394 -0.46058851  0.54687638 0.9960372
VITE-PRATO  0.14670770 -0.36639732  0.65981271 0.8780871
VITE-SEM    0.10356376 -0.07242981  0.27955733 0.4199198
```





USO DEL SUOLO E GRUPPI FUNZIONALI

Per verificare la significatività dell'influenza del tipo di suolo (GF) sul contenuto di CO è stato eseguito il test ANOVA per i diversi usi del suolo.

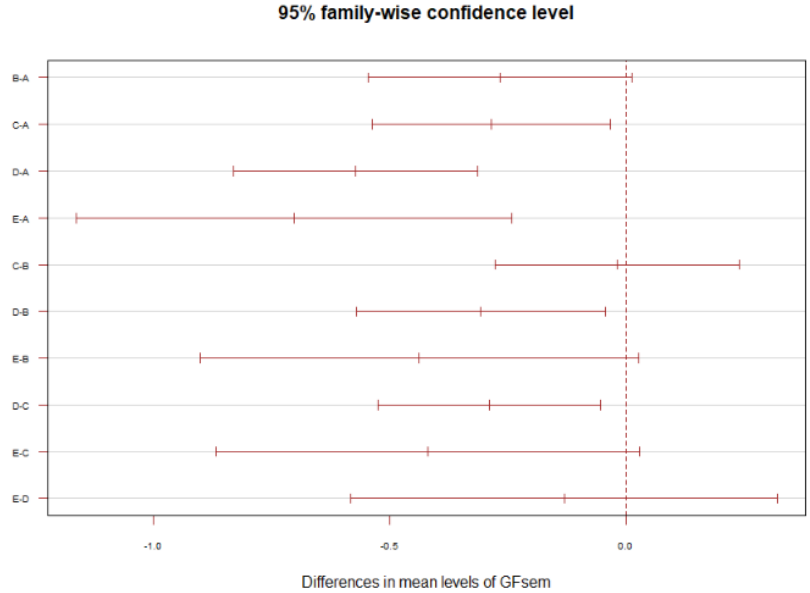
SEMINATIVO

```
> anovaS<-aov(COsem~GFsem)
> summary(anovaS)
            Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
GFsem        4  3.075  0.7687   11.55 4.26e-07 ***
Residuals   63  4.192  0.0665
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> Ts<-TukeyHSD(anovaS)
> Ts
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = COsem ~ GFsem)

$GFsem
           diff        lwr         upr     p adj
B-A -0.26532418 -0.5443423  0.01369392 0.0699631
C-A -0.28378571 -0.5362190 -0.03135243 0.0199455
D-A -0.57173016 -0.8298735 -0.31358683 0.0000004
E-A -0.70145238 -1.1623304 -0.24057436 0.0006149
C-B -0.01846154 -0.2765428  0.23961972 0.9996268
D-B -0.30640598 -0.5700750 -0.04273697 0.0147986
E-B -0.43612821 -0.9001238  0.02786740 0.0752543
D-C -0.28794444 -0.5233012 -0.05258766 0.0089771
E-C -0.41766667 -0.8661791  0.03084575 0.0796887
E-D -0.12972222 -0.5814730  0.32202860 0.9277035
```



VITE

```
> anovaV<-aov(COv~GFv)
> summary(anovaV)
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
GFv          4  1.493  0.3731   1.835  0.147

Residuals   31  6.302  0.2033
```

PERO

```
> anovaP<-aov(COpero~GFpero)
> summary(anovaP)

            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
GFpero       2 0.6027 0.30135   4.158 0.0402 *
Residuals   13 0.9421 0.07247
---
```

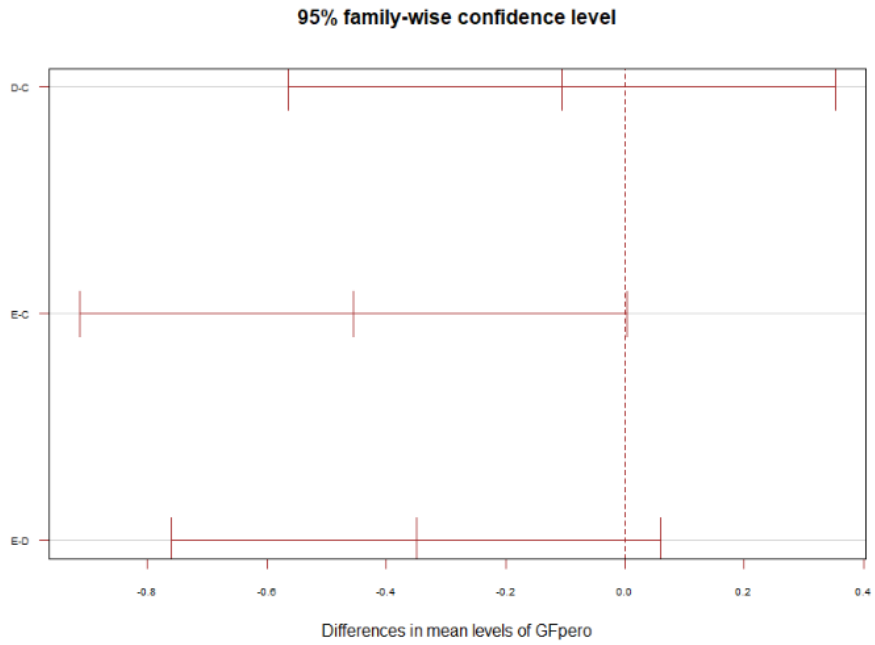
```
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Tp<-TukeyHSD(anovaP)
> Tp

Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = COpero ~ GFpero)

$GFpero
      diff        lwr         upr     p adj
D-C -0.105 -0.5638250 0.353824959 0.8203045
E-C -0.455 -0.9138250 0.003824959 0.0520271
E-D -0.350 -0.7603855 0.060385519 0.0993107
```



Anche se il test ANOVA indica per il pero differenze significative tra GF, il test di Tukey conferma tali differenze solo con un pvalue<0.1 tra il pero del gruppo E e il gruppo C.

USO DEL SUOLO E SISTEMI PRODUTTIVI

```
> anovaSEM<-aov(SEM_REG$CORG~SEM_REG$REGIME)
> summary(anovaSEM)
                Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
SEM_REG$REGIME   3  0.469  0.1563   1.473   0.23
Residuals       64  6.793  0.1061

> anovaPERO<-aov(PERO_REG$CORG~PERO_REG$REGIME)
> summary(anovaPERO)
                 Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
PERO_REG$REGIME   1  0.090  0.0900   0.866  0.368
Residuals        14  1.455  0.1039

> anovaVITE<-aov(VITE_REG$CORG~VITE_REG$REGIME)
> summary(anovaVITE)
                 Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
VITE_REG$REGIME   2  0.794  0.3969   1.865  0.171
Residuals        33  7.021  0.2128
```

CONTENUTO DI METALLI E USO DEL SUOLO

RAME

```
> aovCu<-aov(Cu~COLm)
> summary(aovCu)
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
COLm         3  19976    6659   4.053 0.0124 *
Residuals   45  73929    1643
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

> TUKCu<-TukeyHSD(aovCu)
> TUKCu

  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Cu ~ COLm)

$COLm
                diff         lwr        upr     p adj
PRATO-PERO -32.24333 -103.421984  38.935318 0.6247882
SEM-PERO   -33.49333  -76.139644   9.152977 0.1702632
VITE-PERO   10.50111  -32.145200  53.147422 0.9125728
SEM-PRATO   -1.25000  -68.679738  66.179738 0.9999559
VITE-PRATO  42.74444  -24.685293 110.174182 0.3402316
VITE-SEM    43.99444    7.951733  80.037155 0.0111470
```

ZINCO

```
> aovZn<-aov(Zn~COLm)
> summary(aovZn)
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
COLm         3    358   119.2   0.304  0.822
Residuals   45  17623   391.6
```

ARSENICO

```
> aovAs<-aov(As~COLm)
> summary(aovAs)
            Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
COLm         3  121.6   40.52    10.2 3.04e-05 ***
Residuals   45  178.8    3.97
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

> TUKAs<-TukeyHSD(aovAs)
> TUKAs
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = As ~ COLm)

$COLm
                diff       lwr        upr     p adj
PRATO-PERO  1.2133333 -2.286704  4.7133707 0.7917523
SEM-PERO   -3.4755556 -5.572584 -1.3785267 0.0003474
VITE-PERO  -2.9144444 -5.011473 -0.8174156 0.0031015
SEM-PRATO  -4.6888889 -8.004583 -1.3731952 0.0025605
VITE-PRATO -4.1277778 -7.443471 -0.8120841 0.0093326
VITE-SEM    0.5611111 -1.211202  2.3334239 0.8328708
```

NICHEL

```
> aovNi<-aov(Ni~COLm)
> summary(aovNi)
            Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
COLm         3   6592  2197.3   6.595 0.000865 ***
Residuals   45  14994   333.2
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

> TUKNi<-TukeyHSD(aovNi)
> TUKNi
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Ni ~ COLm)
```

```
$COLm
                diff        lwr        upr     p adj
PRATO-PERO  -6.290000 -38.345044  25.765044 0.9529893
SEM-PERO    13.426667  -5.778943  32.632276 0.2574689
VITE-PERO  -13.406667 -32.612276   5.798943 0.2586784
SEM-PRATO   19.716667 -10.650068  50.083402 0.3194544
VITE-PRATO  -7.116667 -37.483402  23.250068 0.9234445
VITE-SEM   -26.833333 -43.065036 -10.601631 0.0003601
```

CARBONIO ORGANICO E DENSITA' APPARENTE A PROFONDITA' DIVERSE

```
> anova2<-aov(da~prof)
> summary(anova2)
             Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
prof          3 0.0627 0.02090   1.785  0.153
Residuals   144 1.6860 0.01171


> anova1<-aov(co~prof)
> summary(anova1)
             Df Sum Sq Mean Sq F value   Pr(>F)
prof          3  3.385  1.1284   7.378 0.000124 ***
Residuals   144 22.024  0.1529
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> TUKEY1<-TukeyHSD(anova1)
> TUKEY1
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = co ~ prof)

$prof
                        diff        lwr         upr     p adj
0-30 in.-0-15     -0.2082452 -0.4814994  0.06500910 0.2000049
0-30 la.-0-15     -0.3261075 -0.5643451 -0.08786987 0.0028213
15-30-0-15        -0.4924000 -0.7799205 -0.20487952 0.0000993
0-30 la.-0-30 in. -0.1178623 -0.3386722  0.10294762 0.5092647
15-30-0-30 in.    -0.2841548 -0.5574091 -0.01090057 0.0381501
15-30-0-30 la.    -0.1662925 -0.4045301  0.07194506 0.2708237
```

SOC-STOCK, CO% E DA da PEDOFUNZIONE TRA 0-30 CM IN FUNZIONE DELLA GESTIONE DEL SUOLO

```
aovSOC<-aov(SOC~gest)
> summary(aovSOC)
             Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
gest          5   2051   410.2   1.938 0.0932 .
Residuals   117  24767   211.7
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> aovCO<-aov(CO~gest)
> summary(aovCO)
             Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
gest          5  0.751  0.1502   1.182  0.322
Residuals   117 14.869  0.1271

> aovDA<-aov(DA~gest)
> summary(aovDA)
             Df Sum Sq  Mean Sq F value Pr(>F)
gest          5 0.1145 0.022906   2.987 0.0142 *
Residuals   117 0.8973 0.007669
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> Tda<-TukeyHSD(aovDA)
> Tda
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = DA ~ gest)

$gest
                          diff         lwr          upr     p adj
pp-pero_in        -0.004625000 -0.16427249  0.155022491 0.9999994
sem_la-pero_in    -0.079334677 -0.15048836 -0.008180995 0.0194980
```

sem_nonla-pero_in	-0.089625000	-0.21109853	0.031848527	0.2754187
vite_in-pero_in	-0.092463710	-0.17057504	-0.014352384	0.0105670
vite_la-pero_in	-0.070225000	-0.20023315	0.059783148	0.6229982
sem_la-pp	-0.074709677	-0.22471481	0.075295457	0.7006890
sem_nonla-pp	-0.085000000	-0.26442829	0.094428290	0.7432287
vite_in-pp	-0.087838710	-0.24126645	0.065589035	0.5615863
vite_la-pp	-0.065600000	-0.25091274	0.119712741	0.9084329
sem_nonla-sem_la	-0.010290323	-0.11878012	0.098199476	0.9997831
vite_in-sem_la	-0.013129032	-0.06894657	0.042688509	0.9836780
vite_la-sem_la	0.009109677	-0.10885785	0.127077203	0.9999213
vite_in-sem_nonla	-0.002838710	-0.11601366	0.110336239	0.9999997
vite_la-sem_nonla	0.019400000	-0.13425321	0.173053208	0.9991232
vite_la-vite_in	0.022238710	-0.10005140	0.144528815	0.9949924

7 BIBLIOGRAFIA

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 Qualita del Suolo. Mipaaf, Osservatorio Nazionale Podologico.

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.

National Research Council. 1993. *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture*. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/2132.

Natural Resources Conservation Service. 1995. Soil Quality
https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/nra/rca/?cid=nrcs143_014198#quality

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.

Regione Emilia-Romagna. *Carta dei suoli della pianura, del basso e del Medio Appennino emiliano-romagnolo in scala 1: 50.000. Edizione 2018.*
http://geo.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/carta_suoli_50k.pdf

Regione Emilia-Romagna. *Carta del contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli della pianura emiliano-romagnola strato 0-30 cm*. Edizione 2015
http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/NOTE_ILLUSTRATIVE_CO_pianura.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 della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola strato 0-50 cm 2^ approssimazione scala 1:250.000. Edizione* 2015
http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/salinita0_50.pdf

Regione Emilia-Romagna. Disciplinare di produzione integrata. Norme generali (2019).
https://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/produzioni-agroalimentari/temi/bio-agro-climambiente/agricoltura-integrata/disciplinari-produzion-integrata-vegetale/Collezione-dpi/2019/norme/norme-generali-2019/@@download/file/Norme_generali%202019.pdf

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 pianura, del basso e medio appennino emiliano-romagnoli* (2018).
http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/dati_pedol/SITI_BENCHMARK_RER.pdf

Regione Lombardia, 2013. *AgriCO2ltura*- Quaderni della Ricerca n. 153

Sequi P. *Chimica del suolo*. Patron 1989

Soil Survey Division Staff - *Soil Survey Manual*. USDA. 2017

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

United States Environmental Protection Agency. *ProUCL Software* (2016). ProUCL Software | Land and Waste Management Research | US EPA