



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO (LM 69)

CARATTERIZZAZIONE DI SUOLI SOTTOPOSTI A DIVERSE PRATICHE AGRONOMICHE MEDIANTE L'USO DELLA VISUAL SOIL ASSESSMENT (VSA)

Soils characterization under different agronomic practices through visual
soil assessment (vsa)

TIPO TESI: sperimentale

Studente:
GAIA LUZI

Relatore:
PROF.SSA STEFANIA COCCO

Correlatore:
DOTT.SSA DOMINIQUE SERRANI
PROF. GIUSEPPE CORTI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

Alla mia famiglia

SOMMARIO

ELENCO TABELLE	6
ELENCO FIGURE	7
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	8
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	9
Capitolo 1 IL METODO VISUAL SOIL ASSESSMENT (VSA)	10
1.1 Gestione del suolo nelle colture annuali, grano e mais	11
1.2 Scheda VSA del suolo in colture annuali	12
1.2.1 Tessitura.....	13
1.2.2 Porosità del suolo	14
1.2.3 Colore del suolo e S.O.	14
1.2.4 Numero e colore delle macchie nel suolo (screziature)	15
1.2.5 Presenza di lombrichi	15
1.2.6 Potenziale profondità di radicamento	16
1.2.7 Acqua di superficie.....	17
1.2.8 Crosta superficiale	17
1.2.9 Erosione	18
1.3 Scheda VSA suolo e pianta in coltura di grano.....	19
1.3.1 Stabilizzazione della coltura	20
1.3.2 Accestimento della coltura.....	20
1.3.3 Colore delle foglie	20
1.3.4 Variabilità delle prestazioni della coltura lungo la fila	21
1.3.5 Lunghezza delle radici e la densità delle radici	21
1.3.6 Malattie radicali.....	21
1.3.7 Crescita e l'altezza delle colture alla maturità	22
1.3.8 Sviluppo della cariosside	22

1.3.9 Resa della coltura	22
1.3.10 Costi di produzione.....	22
1.4 VSA suolo e pianta in coltura di mais	23
Capitolo 2 COLTURE DI COPERTURA.....	24
2.1 Cosa sono le colture di copertura e in base a cosa vengono scelte.....	24
2.2 Gestione delle CC	26
2.2.1 Falcatura	27
2.2.2 Roller crimping	28
2.2.3 Disco.....	28
2.2.4 Erbicidi	29
2.3 Effetti delle CC sulle proprietà fisiche del suolo	30
2.3.1 Stabilità degli aggregati del suolo	30
2.3.2 Ridurre la compattazione del suolo	30
2.3.3 Proprietà idrauliche del suolo.....	30
2.3.4 Erosione idrica	31
2.3.5 Temperatura del suolo	31
2.4 Effetti delle CC sulle proprietà chimiche del suolo.....	32
2.4.1 Sostanza organica e carbonio	32
2.4.2 N del suolo	32
2.4.3 Altri macro e micronutrienti del suolo.....	34
Capitolo 3 MATERIALI E METODI.....	36
3.1 Materiali	36
3.1.1 Descrizione dei siti di campionamento	36
3.2 Metodi	44
3.2.1 VSA del suolo e della pianta	44
3.2.2 Campionamento e descrizione dei profili del suolo	44
3.3 Analisi chimico-fisiche del suolo.....	47
3.3.1 Determinazione della tessitura	47
3.3.2 Determinazione del pH.....	49
3.3.3 Determinazione del carbonio organico totale.....	49

3.3.4 Determinazione dell'N totale	50
3.3.5 Determinazione del fosforo assimilabile.....	51
3.4 Rotazione colturale e lavorazioni.....	52
Capitolo 4 RISULTATI E DISCUSSIONE	55
4.1 Risultati descrizioni morfologiche	55
4.2 Risultati analisi fisico-chimiche dei suoli.....	59
4.3 Risultati VSA suolo e coltura	65
4.4 Discussione dei risultati.....	67
CONCLUSIONI	68
BIBLIOGRAFIA	69

ELENCO TABELLE

Tabella 3-1: Rotazioni colturali e lavorazioni	52
Tabella 4-1: General features and morphology of the soils under BIO and BIO + management in crop fields at LOV, Yesi Food, Tenute Perialisi, Terre Verdi, Tenuta di Tavignano, Soc.Agr.Biologica Fileni, F.lli Bucci, Marche. For symbols see legend.....	55
Nella Tabella 4-2 sottostanti sono presentati i valori mediati della tessitura, pH, carbonio organico totale (TOC), azoto totale (Total N) e fosforo disponibile (Available P) degli orizzonti al tempo T0 e tempo T1 sia in BIO che in BIO + di ogni campione.	59
Tabella 4-3: Rotazioni colturali e lavorazioni	65

ELENCO FIGURE

Figura 1-1: Scheda VSA colture annuali	12
Figura 1-2: Triangolo della tessitura USDA	13
Figura 1-3: VSA suolo in coltura di grano	19
Figura 1-4: VSA pianta in coltura di grano	19
Figura 1-5: VSA suolo in coltura di mais	23
Figura 3-1: Soc. Agr. Fileni (Falconara Marittima).....	36
Figura 3-2: Soc. Agr. Fileni (Falconara Marittima).....	37
Figura 3-3: Azienda agricola Lov (Serra San Quirico).....	37
Figura 3-4: Azienda agricola Lov(Serra San Quirico).....	38
Figura 3-5: Azienda agricola Lov(Apiro)	38
Figura 3-6: Azienda agricola Lov(Apiro)	39
Figura 3-7: Societa' Agricola Terre Verdi Di Zingaretti E Soci S.s.(Apiro)	39
Figura 3-8: Societa' Agricola Terre Verdi Di Zingaretti E Soci S.s.(Apiro)	40
Figura 3-9: Azienda agricola Tenute di Tavignano(Cingoli)	40
Figura 3-10: Azienda agricola Tenute di Tavignano(Cingoli)	41
Figura 3-11: Azienda agricola F.lli Bucci (Serra de' Conti)	41
Figura 3-12: Azienda agricola F.lli Bucci (Serra de' Conti)	42
Figura 3-13: Azienda agricola Tenute Pieralisi (Arcevia)	42
Figura 3-14: Azienda agricola Tenute di Pieralisi (Arcevia)	43
Figura 3-15: Yesi Food S.r.l. Societa' Agricola (Jesi)	43
Figura 3-16: Yesi Food S.r.l. Societa' Agricola (Jesi)	44
Figura 3-17: Profili LOV	45
Figura 3-18: profili Tenute di Tavignano.....	45
Figura 3-19: Profili Terre Verdi	45
Figura 3-20: Particolare del profilo di Terre Verdi.....	46
Figura 3-21: Profilo Tenuta Pieralisi	46
Figura 3-22:rofilo Yesi Food.....	46
Figura 3-23 Profilo Soc. Agr. Fileni	46
Figura 3-24: Triangolo della tessitura USDA	48

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

AL	ALLUMINIO
P	FOSFORO
K	POTASSIO
S	ZOLFO
CU	RAME
CO ₂	ANIDRIDE CARBONICA
S.O.	SOSTANZA ORGANICA
CO	COBALTO
CC	COLTURE DI COPERTURA
TOC	TOTAL ORGANIC CARBON
BIO	BIOLOGICO TRADIZIONALE
BIO +	BIOLOGICO CONSERVATIVO
T0	TEMPO INIZIALE
T1	TEMPO FINALE

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Questo lavoro di tesi si inserisce all'interno del progetto AGRIBIOCONS finanziato dal Bando "Sostegno alla creazione e al funzionamento di Gruppi Operativi del PEI – Sottomisura 16.1 Azione 2" annualità 2017 – PSR Marche 2014/2020 della durata di tre anni che terminerà nel febbraio 2022.

Il partenariato del G.O. è costituito dai soggetti di seguito indicati:

- Società Agricola Biologica Fileni s.r.l., con il compito di capofila/capoprogetto,
- Arca s.r.l. Benefit, partner di progetto con il compito di attività di formazione, informazione ed innovation broker,
- Università Politecnica delle Marche, partner di progetto con il compito di attività di ricerca,
- A.E.A s.r.l., partner di progetto con il compito di supporto alla misurazione tecnologica,
- Società Agricola Agri Blu Di Zingaretti E Soci S.s., partner di progetto, con il compito di sperimentazione in campo.

Il Capofila del G.O. è il referente del progetto per la Regione, il referente dei partner componenti il partenariato per le relazioni con la Regione, il coordinatore delle attività previste dal progetto.

Il gruppo di ricerca di Pedologia del D3A-UNIVPM sta seguendo il progetto in diversi aspetti legati allo studio del suolo, fra i quali la valutazione della qualità dei suoli, utilizzando degli indicatori che servono per la compilazione di schede dalle quali si otterranno dei valori, in relazione alle colture che vengono avvicendate nelle rotazioni che normalmente vengono utilizzate in agricoltura biologica. La qualità dei suoli, infatti, può influenzare in modo significativo sia la sostenibilità ambientale che economica delle imprese agricole.

Capitolo 1

IL METODO VISUAL SOIL ASSESSMENT (VSA)

Il metodo Visual Soil Assessment (VSA) è stato sviluppato inizialmente da Shepherd, per consentire ai tecnici e agli agricoltori di esprimere, attraverso l'osservazione diretta di proprietà del suolo visibili a occhio nudo, una valutazione qualitativa significativa delle sue caratteristiche, fornendo così un metodo semplice ed economico per valutare la qualità del suolo in modo semi-quantitativo, rapido ed efficace (Shepherd 2000; Shepherd & Janssen 2000). La VSA si basa su un modello additivo ponderato di indicatori chiave di "stato" del suolo delle proprietà del suolo (sia intrinseche che dinamiche) che si presenta come una scheda di valutazione. Ciascun indicatore è un sottoinsieme degli attributi utilizzati per valutare gli aspetti della qualità del suolo. Gli indicatori chiave riguardano la morfologia del suolo e i criteri di genesi (ad es. struttura, porosità, colore e screziature). Gli indicatori del suolo sono integrati da indicatori di "rendimento" delle piante che collegano le caratteristiche del suolo alla risposta delle piante, alla produttività dell'azienda agricola e alle pratiche di gestione dell'azienda agricola (Shepherd et al. 2000).

Se il suolo è in buone condizioni, le Linee guida per la sua gestione forniscono suggerimenti per mantenerlo tale prevenendo o minimizzando il degrado (Shepherd & Park 2003).

I punteggi VSA sono strettamente correlati alla resa delle colture, alla produzione di sostanza secca dei pascoli, alla copertura e all'utilizzo della biomassa (Shepherd 2000; Shepherd & Park 2003).

Nei siti il campionamento viene effettuato secondo la procedura descritta da Shepherd (2000). Il materiale ottenuto viene impiegato per la valutazione della maggior parte degli indicatori. Ad ogni indicatore viene assegnato un punteggio visivo (VS) di 0 (scarso), 1 (moderato) o 2 (buono), in base alle condizioni del suolo osservate confrontando il campione del sito con tre fotografie fornite nella Linee Guida. Il punteggio è flessibile, quindi se un campione non si allinea chiaramente con una delle fotografie, ma si trova tra due, può essere assegnato un punteggio intermedio, ad esempio 0,5 o 1,5. Poiché alcuni indicatori sono relativamente più importanti per la qualità del suolo rispetto ad altri, il VS viene moltiplicato per un fattore di ponderazione di 1, 2 o 3 per ottenere un punteggio VS. Il punteggio VS di ciascun indicatore viene sommato per fornire un punteggio di classificazione (un indice visivo di qualità del suolo), il cui valore determina se il suolo ha una qualità del suolo buona, moderata o scarsa. L'indice visivo della qualità del suolo è sufficientemente sensibile da fornire un'indicazione di avvertimento precoce di qualsiasi cambiamento o diminuzione della qualità del suolo da un punto di riferimento della linea di base, o da un momento (Shepherd & Park 2003)

Un indice di qualità del suolo si ottiene solo attraverso la valutazione degli indicatori pedologici, poiché ciò non richiede una conoscenza preliminare della storia del sito. Gli indicatori richiedono, però, la conoscenza della storia immediata del sito e per questo motivo solo chi ha le informazioni necessarie o chi

ha esperienza in agricoltura sarà in grado di completare la scheda dell'indicatore dell'impianto. I punteggi della classifica per gli indicatori del suolo e delle piante vengono confrontati per fornire un'indicazione delle prestazioni delle piante rispetto a una valutazione della qualità del suolo. I punteggi del suolo che sono significativamente più alti del punteggio della pianta suggeriscono che il pieno potenziale produttivo del suolo non viene realizzato. I punteggi delle piante che sono significativamente più alti del punteggio del suolo possono indicare un elevato apporto di fertilizzanti per contrastare gli effetti dannosi della scarsa qualità del suolo sulla produzione (Shepherd & Park 2003).

Il modello appena descritto è stato ripreso, qualche anno dopo, da Shepherd, T. G., Stagnari, F., Pisante, M. and Benites, J. 2008 che hanno redatto una nuova guida alla valutazione: *Visual Soil Assessment– Field guide for wheat*. Questo lavoro è stato finanziato dalla FAO in collaborazione con il Centro di Ricerca e Educazione Agronomica e Scienze delle Colture dell'Università di Teramo ed ha permesso la stesura di linee guida o schede in cui sono riportati i diversi indicatori da valutare e il peso (coefficiente) che gli stessi hanno sulla qualità del suolo; questo permette di uniformare le valutazioni delle VSA rendendole più facilmente intuibili e confrontabili tra loro.

Le schede proposte in questa pubblicazione riguardano colture come: colture annuali (annual crops), vigneti (vineyards), oliveti (orchards), frutteti (orchards), grano (wheat), mais (maize), pascolo (pasture). In questo lavoro di tesi le schede utilizzate sono state relative alle colture annuali, grano e mais. Per quanto riguarda la scheda del mais sono state apportate specifiche modifiche in modo da adattare la scheda alla nostra coltura in campo: sorgo, favino e girasole; in particolare sono stati aggiunti dei parametri fondamentali come la presenza del baccello e il numero di baccelli per pianta.

1.1 Gestione del suolo nelle colture annuali, grano e mais

Sono necessarie buone pratiche di gestione del suolo per mantenere condizioni di crescita ottimali e produrre raccolti elevati, specialmente durante i periodi cruciali dello sviluppo delle piante. Per raggiungere questo obiettivo, le pratiche di gestione devono mantenere le condizioni del suolo favorevoli alla crescita delle piante, in particolare l'aerazione, la temperatura, i nutrienti e l'approvvigionamento idrico. Il suolo deve avere una struttura che promuova un apparato radicale efficace in grado di massimizzare l'utilizzo di acqua e nutrienti. Una buona struttura del suolo favorisce anche l'infiltrazione e il movimento dell'acqua all'interno e attraverso il suolo, riducendo al minimo il ristagno superficiale, il deflusso e l'erosione del suolo.

Le pratiche di lavorazione conservativa, compresa la non lavorazione e la lavorazione minima che incorporano l'insediamento delle CC temporanee e residui culturali sulla superficie, forniscono sistemi di gestione del suolo che preservano l'ambiente, riducono al minimo il rischio di degrado del suolo, migliorano la resilienza e qualità del suolo e riducono i costi di produzione. La lavorazione conservativa protegge la superficie del suolo riducendo il deflusso dell'acqua e l'erosione del suolo, migliora le caratteristiche fisiche del suolo, riduce il compattamento effettuato dalle ruote e non crea suole di lavorazione o di aratura. Migliora la trafficabilità del suolo e offre l'opportunità di ottimizzare i tempi di semina, essendo meno dipendente dalle condizioni climatiche in primavera e in autunno. La lavorazione conservativa favorisce

l'attività biologica, compresi i numeri di lombrichi, e aumenta la biodiversità dei microrganismi. Trattiene una percentuale maggiore di C del suolo e consente al suolo di funzionare come una riserva di CO₂. La coltivazione conservativa utilizza anche quantità minori di combustibili fossili, genera minori emissioni di gas serra e ha un'impronta ecologica più piccola su una regione, aumentando così l'accettazione del mercato dei prodotti (Shepherd et al, 2008).

1.2 Scheda VSA del suolo in colture annuali

FIGURE 1 Soil scorecard – visual indicators for assessing soil quality in annual crops

Landowner: _____ Land use: _____
 Site location: _____ GPS ref: _____
 Sample depth: _____ Date: _____
 Soil type: _____ Soil classification: _____
 Drainage class: _____

Textural group (upper 1 m): Sandy Loamy Silty Clayey Other
 Moisture condition: Dry Slightly moist Moist Very moist Wet
 Seasonal weather conditions: Dry Wet Cold Warm Average

Visual indicators of soil quality	Visual score (VS) 0 = Poor condition 1 = Moderate condition 2 = Good condition	Weighting	VS ranking
Soil texture <small>pg. 2</small>		x 3	
Soil structure <small>pg. 4</small>		x 3	
Soil porosity <small>pg. 6</small>		x 3	
Soil colour <small>pg. 8</small>		x 2	
Number and colour of soil mottles <small>pg. 10</small>		x 2	
Earthworms (Number =) (Av. size =) <small>pg. 12</small>		x 3	
Potential rooting depth (m) <small>pg. 14</small>		x 3	
Surface ponding <small>pg. 18</small>		x 1	
Surface crusting and surface cover <small>pg. 20</small>		x 2	
Soil erosion (wind/water) <small>pg. 22</small>		x 2	
SOIL QUALITY INDEX (sum of VS rankings)			

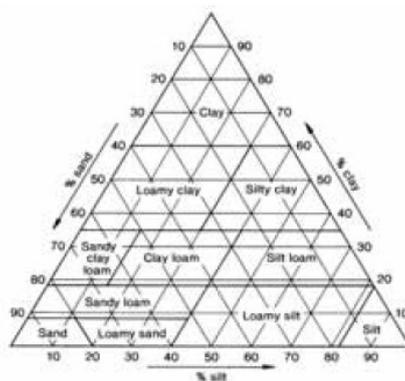
Soil Quality Assessment	Soil Quality Index
Poor	< 15
Moderate	15–30
Good	> 30



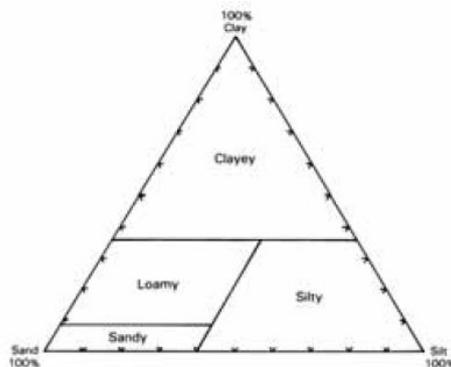
Figura 1-1: Scheda VSA colture annuali

1.2.1 Tessitura

La tessitura del suolo definisce la dimensione delle particelle minerali e si riferisce alla proporzione relativa dei vari gruppi dimensionali nel suolo, cioè sabbia, limo e argilla. La sabbia è quella frazione che ha una dimensione delle particelle $>0,06$ mm; il limo varia tra $0,06$ e $0,002$ mm; e la dimensione delle particelle di argilla è $<0,002$ mm. La tessitura influenza il comportamento del suolo in diversi modi, in particolare attraverso i suoi effetti su: ritenzione e disponibilità idrica; struttura del suolo; aerazione; drenaggio; lavorabilità e l'uso del suolo; vita del suolo; e la fornitura e la ritenzione di sostanze nutritive. La conoscenza sia della classe tessiturale che della potenziale profondità di radicazione consente una valutazione approssimativa della capacità totale di ritenzione idrica del suolo, uno dei principali driver della produzione agricola (FAO 2010).



Textural classes.



Textural groups.

Figura 1-2: Triangolo della tessitura USDA

La struttura del suolo è estremamente importante per la coltivazione perché regola: aerazione del suolo e cambi gassosi; temperatura del suolo; infiltrazione ed erosione del suolo; il movimento e lo stoccaggio dell'acqua; apporto di nutrienti; penetrazione e sviluppo radicale; lavorabilità del suolo; l'uso del suolo; la resistenza dei suoli al degrado strutturale. Una buona struttura del suolo riduce la suscettibilità alla compattazione sotto il traffico delle ruote e aumenta la finestra di opportunità per l'accesso dei veicoli e per l'esecuzione di coltivazioni senza aratura, minima lavorazione o convenzionali tra i filari in condizioni ottimali del suolo (Shepherd et al, 2008)

La struttura del suolo è classificata in base alle dimensioni, alla forma, alla compattezza, alla porosità e all'abbondanza relativa di aggregati e zolle del suolo. I terreni con buona struttura hanno aggregati friabili,

fini, porosi, subangolari e subarrotondati (noccioлатi). Quelli con struttura povera hanno zolle grandi, dense, molto dure, angolari o subangolari che si adattano e si impacchettano strettamente insieme e hanno un'elevata resistenza alla trazione (Shepherd et al, 2008).

1.2.2 Porosità del suolo

La porosità del suolo, e in particolare la macroporosità, influenza il movimento dell'aria e dell'acqua nel suolo. I suoli con una buona struttura hanno un'elevata porosità tra e all'interno degli aggregati, ma i suoli con una struttura povera possono non avere macropori e micropori grossolani all'interno delle grandi zolle, limitandone il drenaggio e l'aerazione (Shepherd et al, 2008).

Una cattiva aerazione porta all'accumulo di CO₂, metano e gas solforati e riduce la capacità delle piante di assorbire acqua e sostanze nutritive; le piante richiedono terreni aerati per l'assorbimento e l'utilizzo efficienti di S e N. Questo incide anche sull'attività e la biodiversità dei microrganismi e dei lombrichi che svolgono meglio il loro ruolo in aree ben aerate perché sono in grado di decomporre e riciclare la S.O. e i nutrienti in modo più efficiente (Shepherd et al, 2008).

La presenza di pori del suolo consente lo sviluppo e la proliferazione delle radici superficiali in tutto il suolo. Le radici non sono in grado di penetrare e crescere in terreni compatti, limitando la capacità della pianta di utilizzare l'acqua e le sostanze nutritive disponibili nel suolo. Un'elevata resistenza alla penetrazione non solo limita l'assorbimento di acqua e sostanze nutritive da parte della pianta, ma riduce anche notevolmente l'efficienza dei fertilizzanti e aumenta la suscettibilità della pianta alle malattie radicali. Maggiore è la porosità, migliore è il drenaggio e, quindi, minore è la probabilità che i pori del suolo vengano riempiti d'acqua ai livelli critici necessari per accelerare la produzione di gas serra (Shepherd et al, 2008).

1.2.3 Colore del suolo e S.O.

Questo parametro fornisce una misura indiretta. Generalmente, più scuro è il colore, maggiore è la quantità di S.O. presente nel suolo. Un cambiamento di colore può indicare una variazione della S.O. a seguito di un uso o gestione del suolo. Il colore del suolo è fortemente influenzato, oltre che dal contenuto di S.O., dalla forma chimica (o stato di ossidazione) di Fe e di Mn; ma anche dal drenaggio del suolo e dal grado di aerazione degli stessi. Suoli bruni, giallo-bruni, bruno-rossastri e rossi senza screziature indicano condizioni ben aerate e ben drenate in cui Fe e Mn si presentano sotto forma ossidata di ossidi ferrici (Fe³⁺) e manganici (Mn³⁺). I colori grigio-blu possono indicare che il suolo è poco drenato o impregnato d'acqua e poco aerato per lunghi periodi, condizioni che riducono Fe e Mn ad ossidi ferrosi (Fe²⁺) e manganosi (Mn²⁺) (Shepherd et al, 2008).

La S.O. del suolo svolge un ruolo importante nella regolazione della maggior parte dei processi biologici, chimici e fisici nel suolo, che descrivono la salute del suolo. Promuove l'infiltrazione e la ritenzione di acqua, aiuta a sviluppare e stabilizzare la struttura del suolo, attutisce l'impatto del traffico su ruote delle attrezzature, riduce il potenziale di erosione da vento e acqua. La S.O. fornisce anche un'importante risorsa alimentare per gli organismi del suolo ed è un'importante fonte e un importante serbatoio di nutrienti per le

piante. Il suo declino riduce la fertilità e il potenziale di apporto di nutrienti del suolo; Il fabbisogno di N, P, K e S delle colture aumenta notevolmente e altri elementi maggiori e minori vengono lisciviati più facilmente. Il risultato è una maggiore dipendenza dall'apporto di fertilizzanti per mantenere lo stato dei nutrienti.

1.2.4 Numero e colore delle macchie nel suolo (screziature)

Questi parametri forniscono una buona indicazione di quanto il suolo è drenato e aerato; sono anche un segnale precoce di un declino della struttura del suolo causato dalla compattazione sotto il traffico delle ruote e dall'eccessiva coltivazione. La perdita di struttura del suolo riduce il numero di pori che conducono acqua e aria e, di conseguenza, può provocare ristagni e carenza di ossigeno per un periodo prolungato. Lo sviluppo di condizioni anaerobiche (deossigenate) riduce Fe e Mn dalla loro forma ossidata marrone/arancione ferrica (Fe^{3+}) e manganica (Mn^{3+}) ad ossidi grigi ferrosi (Fe^{2+}) e manganosi (Mn^{2+}). Le chiazze si sviluppano come varie sfumature di arancione e grigio a causa di vari gradi di ossidazione e riduzione di Fe e Mn. Con l'aumentare dell'esaurimento dell'ossigeno, predominano le macchie arancioni e infine grigie. L'abbondanza di chiazze grigie indica che il suolo è scarsamente drenato e poco areato per una parte significativa dell'anno. La presenza di sole comuni chiazze arancioni e grigie (10–25 percento) indica che il suolo è drenato in modo imperfetto con solo ristagni d'acqua periodici. Il suolo con solo poche o comuni screziature arancioni indica che il suolo è moderatamente ben drenato e l'assenza di screziature indica un buon drenaggio (FAO 2010).

Una scarsa aerazione riduce l'assorbimento di acqua da parte delle piante e può indurre avvizzimento. Può anche ridurre l'assorbimento di nutrienti vegetali, in particolare N, P, K, S e Cu. Inoltre, una scarsa aerazione ritarda la decomposizione dei residui organici e può provocare reazioni di riduzione chimica e biochimica che producono gas solforati, metano, etanolo, acetaldeide ed etilene, tossici per le radici delle piante. Il decadimento e la morte delle radici possono anche verificarsi a causa di parassiti e malattie, tra cui *Rhizoctonia*, *Pythium* e marciume radicale di *Fusarium* in terreni soggetti a ristagni d'acqua, oltre che a scarso vigore delle piante (Shepherd et al, 2008)

1.2.5 Presenza di lombrichi

I lombrichi forniscono un buon indicatore della salute biologica e delle condizioni del suolo perché la loro densità di popolazione e le specie sono influenzate dalle proprietà del suolo e dalle pratiche di gestione. Attraverso la loro alimentazione e digestione, i lombrichi hanno un effetto importante sulle proprietà chimiche, fisiche e biologiche del suolo. Triturano e decompongono i residui vegetali, convertendoli in materia organica e liberando così nutrienti minerali. Agiscono come aeratori biologici e condizionatori fisici del suolo, migliorando: porosità del suolo; aerazione; struttura del suolo e stabilità degli aggregati del suolo, ritenzione idrica, infiltrazioni d'acqua, drenaggio. Riducono anche il deflusso superficiale e l'erosione. Promuovono ulteriormente la crescita delle piante secernendo ormoni della crescita delle piante e aumentando la densità delle radici e lo sviluppo delle radici mediante la rapida crescita delle radici lungo i canali dei vermi arricchiti di sostanze nutritive. (Shepherd et al, 2008).

Poiché i CC aggiungono materia organica ai terreni agricoli, forniscono energia e nutrienti per la crescita e l'attività microbica, agendo così come forza trainante per i processi di mineralizzazione/immobilizzazione dei nutrienti (Abbasi et al., 2015; Murungu et al., 2011). I microrganismi rilasciano enzimi che catalizzano e aumentano diverse reazioni biochimiche (Kujur e Kumar Patel, 2014) che portano alla decomposizione dei residui delle colture, al ciclo dei nutrienti e al rilascio di nutrienti inorganici per la crescita delle piante (Baležentienė, 2012). Pertanto, l'attività microbica ed enzimatica è il collegamento principale tra la materia organica del suolo e il rilascio di nutrienti alle piante. In uno studio di 2 anni, la biomassa microbica del suolo è aumentata nel terriccio trattato con soggliola e una miscela di segale e avena ruotata con insilato di mais in Ohio, USA (Faé et al., 2009). Rapporti con diversi sistemi di coltivazione hanno anche dimostrato che i CC di grano, vecchia pelosa, trifoglio cremisi e avena hanno aumentato la popolazione di funghi micorrizici arbuscolari e la diversità microbica (Benitez et al., 2016; Detheridge et al., 2016). Diversi studi hanno riportato un aumento significativo della popolazione e della diversità dei batteri e della resa delle colture sotto terreni modificati con segale di cereali, vecchia pelosa, ravenello ed erba medica (Fernandez et al., 2016; Lupwayi et al., 2017). I legumi di CC fissano l'N atmosferico attraverso una relazione simbiotica con i batteri del suolo (*Rhizobia* spp.), che infettano le radici delle colture (Vaughan et al., 2000).

1.2.6 *Potenziale profondità di radicamento*

È la profondità del suolo alla quale le radici delle piante possono potenzialmente spingersi prima di raggiungere una barriera alla crescita. Maggiore è la profondità di radicazione, maggiore è la capacità di trattenere l'acqua disponibile del suolo. Nei periodi di siccità, le radici profonde possono accedere a riserve idriche più grandi, riducendo così lo stress idrico e favorendo la sopravvivenza delle colture non irrigue. L'esplorazione di un grande volume di suolo con radici profonde significa che possono anche accedere a più macronutrienti e micronutrienti, accelerando così la crescita e migliorando la resa e la qualità del raccolto. Al contrario, suoli con una profondità di radicazione limitata causata, ad esempio, da uno strato con un'elevata resistenza alla penetrazione come uno strato compattato, limitano la crescita e lo sviluppo delle radici verticali, provocando la crescita delle radici lateralmente. Ciò limita l'assorbimento di acqua e sostanze nutritive da parte delle piante, riduce l'efficienza dei fertilizzanti, aumenta la lisciviazione e diminuisce la resa. Un'elevata resistenza alla penetrazione radicale può anche aumentare lo stress della pianta e la suscettibilità della pianta alle malattie delle radici, impedire il movimento dell'aria, dell'ossigeno e dell'acqua attraverso il profilo del suolo, favorisce la suscettibilità al ristagno e all'erosione da rilling e sheet wash.

La potenziale profondità di radicazione può essere ulteriormente limitata da: un brusco cambiamento strutturale, variazione di pH, tossicità dell'alluminio (Al) che in determinate condizioni può aumentare, carenze nutrizionali, salinità e sodicità, una falda freatica alta o fluttuante, bassi livelli di ossigeno.

Le colture con un apparato radicale profondo e vigoroso aiutano ad aumentare i livelli di S.O. del suolo e la vita del suolo in profondità. L'azione fisica delle radici e degli organismi che vivono nel suolo e gli essudati che producono, favoriscono la formazione della struttura del suolo e di conseguenza l'aumento della porosità, l'immagazzinamento di acqua, l'aerazione del suolo e il drenaggio in profondità. Un apparato

radicale profondo e denso offre enormi possibilità di aumentare la produzione e allo stesso tempo ha significativi benefici ambientali (Shepherd et al, 2008).

1.2.7 *Acqua di superficie*

La presenza di acqua di superficie e il periodo di tempo in cui l'acqua ci rimane, possono dare indicazioni sul tasso di infiltrazione nel suolo, una falda freatica alta e il tempo in cui il suolo rimane saturo. Il ristagno idrico prolungato esaurisce l'ossigeno nel suolo causando condizioni anaerobiche (anossiche) che inducono stress radicale e limitano la respirazione delle radici e la crescita delle radici. Le radici hanno bisogno di ossigeno per la respirazione. Sono più vulnerabili al ristagno superficiale e condizioni del suolo saturo in primavera, quando le radici e i germogli delle piante crescono attivamente in un momento in cui i tassi di respirazione e traspirazione aumentano notevolmente e le richieste di ossigeno sono elevate. Sono anche suscettibili di ristagno in estate quando i tassi di traspirazione sono più alta. Inoltre, il ristagno provoca la morte delle radici sottili responsabili dell'assorbimento di nutrienti e acqua. Il ristagno idrico prolungato aumenta anche la probabilità di parassiti e malattie, tra cui *Rhizoctonia*, *Pythium* e marciume radicale di *Fusarium*, e riduce la capacità delle radici di superare gli effetti dannosi dei patogeni che risiedono nel terriccio. Lo stress delle piante indotto dalla scarsa aerazione e dalla saturazione prolungata del suolo può ridurre le colture resistenti all'attacco di insetti nocivi come afidi, vermi, lombrichi e wireworm. Le colture diminuiscono di vigore, hanno una crescita primaverile limitata (RSG) come evidenziato da scarsi germogli e crescita stentata, si scoloriscono e muoiono. La tolleranza dell'apparato radicale ai ristagni superficiali e ai ristagni idrici dipende da una serie di fattori, tra cui il periodo dell'anno e il tipo di coltura. La tolleranza al ristagno idrico dipende anche da: regime termico di suolo e aria; tipo di suolo; lo stato del suolo; falde acquifere fluttuanti; e il tasso di insorgenza e la gravità dell'anaerobiosi (o anossia), un fattore governato dal contenuto iniziale di ossigeno del suolo e dal tasso di consumo di ossigeno.

Il ristagno superficiale prolungato rende il suolo più suscettibile ai danni sotto il traffico delle ruote, riducendo così l'accesso dei veicoli. Di conseguenza, il ristagno idrico può ritardare notevolmente la preparazione del suolo e le date di semina. La semina può essere ulteriormente ritardata perché il letto di semina è al di sotto della temperatura critica specifica della coltura. L'aumento della temperatura dei suoli saturi può essere ritardato finché l'acqua evapora (Shepherd et al, 2008).

1.2.8 *Crosta superficiale*

La crosta superficiale riduce l'infiltrazione di acqua e l'accumulo nel suolo e aumenta il deflusso. La formazione di croste sulla superficie riduce anche l'aerazione, causando condizioni anaerobiche e prolunga la ritenzione idrica vicino alla superficie, che può ostacolare l'accesso dei macchinari per mesi. La formazione di croste è più pronunciata nei suoli a tessitura fine, poco strutturati, con una bassa stabilità degli aggregati e una mineralogia argillosa dispersiva. Dopo la raccolta e prima della chiusura della parte aerea del raccolto successivo aiuta a prevenire la formazione di croste riducendo al minimo la dispersione della superficie del suolo a causa della pioggia o dell'irrigazione. Aiuta anche a ridurre la formazione di croste intercettando le

grandi gocce di pioggia prima che possano colpire e compattare la superficie del suolo. La copertura vegetale e il suo apparato radicale restituiscono materia organica al suolo e promuovono la vita del suolo, compresi il numero e l'attività dei lombrichi. L'azione fisica delle radici e della fauna del suolo e le colle che producono favoriscono lo sviluppo della struttura del suolo, dell'aerazione e del drenaggio del suolo e aiutano a rompere le croste superficiali. Di conseguenza, i tassi di infiltrazione e il movimento dell'acqua attraverso il suolo aumentano, diminuendo il deflusso, l'erosione del suolo e il rischio di inondazioni improvvise. La copertura superficiale riduce anche l'erosione del suolo intercettando le gocce di pioggia ad alto impatto, riducendo al minimo gli spruzzi di pioggia e la salatura. Serve inoltre a fungere da spugna, trattenendo l'acqua piovana abbastanza a lungo da infiltrarsi nel suolo.

Inoltre, il sistema radicale riduce l'erosione del suolo stabilizzando la superficie del suolo, mantenendo il suolo in posizione durante gli eventi di pioggia intensa. Di conseguenza, la qualità dell'acqua a valle è migliorata con un minore carico di sedimenti, contenuto di nutrienti e coliformi. L'adozione della lavorazione conservativa può ridurre l'erosione del suolo fino al 90% e il deflusso dell'acqua fino al 40%. La superficie deve avere almeno il 70% di copertura per fornire una buona protezione, mentre una copertura ≤ 30 percento fornisce una protezione scadente. La copertura superficiale riduce notevolmente anche il rischio di erosione eolica (Shepherd et al, 2008).

1.2.9 *Erosione*

L'erosione del suolo riduce il potenziale produttivo dei suoli attraverso perdite di nutrienti, perdita di materia organica, ridotta profondità potenziale di radicazione e minore capacità di trattenere l'acqua disponibile. La coltivazione eccessiva può causare un notevole degrado del suolo associato alla perdita di materia organica e struttura del suolo. Se la superficie del suolo viene lasciata non protetta su un versante in pendenza, grandi quantità di suolo possono essere erose dall'acqua per incanalamenti, solchi e lavaggi.

La perdita di sostanza organica e di struttura del suolo a causa della coltivazione eccessiva può anche dar luogo a una significativa perdita di suolo a causa dell'erosione eolica (Shepherd et al, 2008).

1.3 Scheda VSA suolo e pianta in coltura di grano

Le linee guida fornite per la coltura di grano sono osservabili in Figura 1-3 e in Figura 1-4. La Figura 1-3 è la stessa vista anche nelle colture annuali in quanto necessaria a determinare la qualità del suolo, mentre la Figura 1-4 serve invece ad ottenere la valutazione della coltura, in questo caso il grano, e di conseguenza vengono utilizzati dei parametri specifici.

FIGURE 1 Soil scorecard – visual indicators for assessing soil quality in wheat

Landowner: _____ Land use: _____
 Site location: _____ GPS ref: _____
 Sample depth: _____ Date: _____
 Soil type: _____ Soil classification: _____
 Drainage class: _____

Textural group (upper 1 m): Sandy Loamy Silty Clayey Other
 Moisture condition: Dry Slightly moist Moist Very moist Wet
 Seasonal weather conditions: Dry Wet Cold Warm Average

Visual indicators of soil quality	Visual score (VS) 0 = Poor condition 1 = Moderate condition 2 = Good condition	Weighting	VS ranking
Soil texture <small>pg. 2</small>		x 3	
Soil structure <small>pg. 4</small>		x 3	
Soil porosity <small>pg. 6</small>		x 3	
Soil colour <small>pg. 8</small>		x 2	
Number and colour of soil mottles <small>pg. 10</small>		x 2	
Earthworms (Number =) (Av. size =) <small>pg. 12</small>		x 3	
Potential rooting depth (m) <small>pg. 14</small>		x 3	
Surface ponding <small>pg. 18</small>		x 1	
Surface crusting and surface cover <small>pg. 20</small>		x 2	
Soil erosion (wind/water) <small>pg. 22</small>		x 2	
SOIL QUALITY INDEX (sum of VS rankings)			

Soil Quality Assessment	Soil Quality Index
Poor	< 15
Moderate	15–30
Good	> 30

Figura 1-3: VSA suolo in coltura di grano

FIGURE 3 Plant scorecard – visual indicators for assessing plant performance in wheat

Visual indicators of plant performance	Visual score (VS) 0 = Poor condition 1 = Moderate condition 2 = Good condition	Weighting	VS ranking
Crop establishment <small>pg. 26</small>		x 2	
Tillering <small>pg. 28</small>		x 3	
Leaf colour <small>pg. 30</small>		x 3	
Variability of crop performance along the row <small>pg. 34</small>		x 3	
Root development <small>pg. 36</small>		x 3	
Root diseases <small>pg. 38</small>		x 2	
Crop growth & height at maturity <small>pg. 40</small>		x 2	
Kernel size <small>pg. 42</small>		x 2	
Crop yield <small>pg. 44</small>		x 3	
Production costs <small>pg. 46</small>		x 1	
PLANT QUALITY INDEX (sum of VS rankings)			

Plant Quality Assessment	Plant Quality Index
Poor	< 15
Moderate	15–30
Good	> 30

SUMMARY

Comparison of soil & plant scores		Do the soil and plant scores differ? If so, why?
Soil indicators	Plant indicators	

Notes:

Land use management & history:

Total available water-holding capacity:

Figura 1-4: VSA pianta in coltura di grano

1.3.1 *Stabilizzazione della coltura*

La scarsa aerazione del suolo e gli agenti patogeni presenti nel suolo possono dar luogo a scarsa germinazione e/o problematiche in pre e post emergenza, scarso vigore delle piante e persino morte. Mentre l'emergenza può essere lenta, il recupero può anche essere limitato e le piante spesso appaiono malaticce. Sulle piante possiamo osservare scarsa emergenza delle piante, macchie e crescita precoce e irregolare delle foglie; questo provoca un diradamento delle colture e una bassa popolazione di piante. Le piante giovani possono anche mostrare scolorimento delle foglie, macchie fogliari e stress da umidità. Naturalmente questo si ripercuote sulla resa in granella per ettaro (Shepherd et al, 2008).

1.3.2 *Accestimento della coltura*

Il numero dei germogli gioca un ruolo fondamentale nel determinare il numero di spighe (spighe) per metro quadrato e di conseguenza la resa finale. Sebbene questo carattere sia geneticamente determinato e fortemente influenzato dalla densità di impianto, è anche espressione del vigore della pianta e della crescita generale della pianta che sono regolate in primo luogo dalla disponibilità di nutrienti e acqua e dalle condizioni del suolo. Suoli in buono stato di salute con buona struttura, porosità, livelli di sostanza organica, vita del suolo, fertilità del suolo e profondità di radicazione favoriscono il rilascio e l'assorbimento di acqua e sostanze nutritive e quindi lo sviluppo di un maggior numero di coltivatori e il loro sviluppo contemporaneo (Shepherd et al, 2008).

1.3.3 *Colore delle foglie*

Il colore delle foglie prima del completo riempimento del grano può fornire una buona indicazione dello stato dell'acqua e dei nutrienti e delle condizioni del suolo. In condizioni ambientali normali, maggiore è la fertilità del suolo, più verde è il raccolto. Il vigore e il colore delle piante sono fortemente correlati alla disponibilità di acqua e di nutrienti nel suolo, in particolare da N. Lo scolorimento della foglia e le macchie sulla foglia possono anche derivare da una carenza o eccesso di P, K, S, Mg, Mn, Zn, Cu e B. La clorosi è dovuta alla formazione inadeguata di clorofilla, si verifica comunemente a causa di bassi livelli di N, K, S, Fe, Mg e Cu nel suolo, bassi temperature del suolo e dell'aria, giornate nuvolose prolungate e scarsa aerazione del suolo a causa di compattazione e ristagno.

Carenze o eccessi di nutrienti possono sopprimere la disponibilità di altri nutrienti. Ad esempio, alti livelli di P possono sopprimere l'assorbimento di Zn e Cu. L'eccesso di N può sopprimere B e Cu e indurre la pianta a nutrirsi di lusso di K. Anche lo zolfo può essere utilizzato dalla pianta solo sotto forma di solfato (SO₄²⁻).

Lo stato di aerazione del suolo può influenzare ulteriormente l'assorbimento dei nutrienti come nel caso di P, Cu e Co, ad esempio, non possono essere utilizzati efficacemente dalla pianta in condizioni anaerobiche (Shepherd et al, 2008).

1.3.4 Variabilità delle prestazioni della coltura lungo la fila

Questo può essere un buon indicatore visivo delle condizioni del suolo perché la variabilità lineare nelle prestazioni delle colture può essere fortemente correlata alla disponibilità di acqua e nutrienti e alla tessitura del suolo. Inoltre, i suoli in buone condizioni con buona struttura e porosità e con una zona radicale profonda e ben aerata consentono il movimento illimitato di aria e acqua all'interno e attraverso il suolo, lo sviluppo e la proliferazione di radici superficiali e la respirazione libera e traspirazione.

Suoli con buoni livelli di sostanza organica e attività microbica del suolo mostrano un processo biologico e chimico attivo, favorendo il rilascio e l'assorbimento di acqua e nutrienti e di conseguenza la crescita e il vigore della coltura.

Anche la variabilità spaziale delle prestazioni colturali lungo la fila è un indicatore utile perché mette in evidenza quelle aree del campo che sono poco performanti consentendo un'indagine sito specifica sul perché e quali azioni correttive possono essere prese. Questo può includere variabile tasso di applicazione di fertilizzante da spargitori a terra guidati da GPS. (Shepherd et al, 2008)

1.3.5 Lunghezza delle radici e la densità delle radici

La lunghezza delle radici e la densità delle radici fornisce una buona indicazione delle condizioni dell'apparato radicale della pianta. Le colture con radici profonde e un'elevata densità di radici sono in grado di esplorare e utilizzare una proporzione maggiore del suolo per acqua e sostanze nutritive rispetto alle colture con un apparato radicale superficiale e sottile. È quindi probabile che l'accestimento, lo sviluppo della spiga e il riempimento del grano siano maggiori, le colture hanno meno probabilità di subire l'azione del vento e saranno meno suscettibili allo stress da siccità. Le colture con un apparato radicale denso, profondo e vigoroso hanno anche maggiori probabilità di aumentare i livelli di S.O. del suolo e la vita del suolo in profondità. Un apparato radicale profondo e denso offre enormi possibilità di aumentare la produzione e porta significativi benefici ambientali.

La lunghezza e la densità delle radici possono essere limitate dalla mancanza di pori del suolo a causa della compattazione del suolo, bassa umidità del suolo, temperatura e pH del suolo, tossicità dell'Al, salinità, sodicità, carenze di nutrienti, bassi livelli di funghi micorrizici, agenti patogeni del suolo, falda freatica alta o fluttuante e bassi livelli di ossigeno (Shepherd et al, 2008).

1.3.6 Malattie radicali

Le malattie radicali sono favorite della scarsa qualità del suolo; includono *G. graminis* var. *tritici*, *Fusarium graminearum* e molti altri, *Rhizoctonia solani* e *Pythium*. La loro manifestazione può causare gravi perdite di resa e riduzione della qualità della granella. I sintomi delle malattie radicali si manifestano con morte delle piante prima e dopo l'emergenza nelle piantine con conseguente diradamento del raccolto, arresto della crescita e riduzione dell'accestimento, scolorimento e lesioni sugli steli e foglie. Le piante infette hanno uno sviluppo radicale scarso e si può osservare una colorazione scura della chioma che si estende fino alla base.

La scarsa aerazione del suolo, la saturazione del suolo e l'elevata resistenza alla penetrazione allo sviluppo delle radici dovute al degrado strutturale del suolo possono aumentare il marciume radicale e gli agenti patogeni del suolo e per questo si può avere una riduzione della capacità dell'apparato radicale di superare gli effetti dannosi dei patogeni presenti nel suolo.

Conservare l'umidità del suolo, migliorare la compattazione del suolo, l'accumulo di S.O. e la promozione di una buona attività microbica sono fattori che contribuiscono allo sviluppo di piante sane e alla diminuzione di malattie (Shepherd et al, 2008).

1.3.7 *Crescita e l'altezza delle colture alla maturità*

Possono essere utili indicatori visivi della qualità del suolo perché dipendono da una serie di altri fattori tra cui clima, cultivar, applicazione di N e fertilità del suolo, tempo di semina soprattutto se i fattori agronomici non hanno limitato l'emergenza e lo sviluppo delle colture durante la stagione di crescita. La crescita e il vigore delle colture cerealicole dipendono molto dalla buona preparazione del letto di semina; se si ha scarsa aerazione del suolo e le radici non riescono a svilupparsi in profondità a causa del degrado strutturale dello stesso, si ha una riduzione della crescita e il vigore delle piante con conseguente ritardo della maturazione del prodotto (Shepherd et al, 2008).

1.3.8 *Sviluppo della cariosside*

Una buona disponibilità di carboidrati è essenziale per sostenere il ciclo colturale evitando eventuali carenze soprattutto durante il periodo di riempimento della cariosside. Suoli con buona struttura, porosità, livelli di S.O., attività microbica, fertilità del suolo e profondità di radicazione aiutano a garantire l'approvvigionamento e la disponibilità di acqua e sostanze nutritive. Di conseguenza, il periodo di riempimento della cariosside viene prolungato e si ottiene un aumento delle dimensioni (Shepherd et al, 2008).

1.3.9 *Resa della coltura*

Con un declino della qualità del suolo, le colture possono subire stress a causa di scarsa aerazione del suolo, ristagno idrico, stress idrico, alla mancanza di nutrienti disponibili e temperature avverse. Ciò si traduce in scarsa germinazione ed emergenza, scarsa crescita e vigore delle piante, ritardi nella semina, malattie delle radici, attacchi di parassiti e, di conseguenza, minori rese.

Anche il degrado strutturale può influenzare ulteriormente la qualità dei cereali modificando la quantità e il tipo di proteine e amido formati, la quantità di carboidrati fermentabili (Shepherd et al, 2008).

1.3.10 *Costi di produzione*

All'aumentare del degrado, aumenta la densità e la resistenza del suolo e, di conseguenza, lo stesso diventa più resistente alle forze di lavorazione. La resistenza dell'aratro aumenta così che sono necessari trattori più grandi per evitare un eccessivo slittamento delle ruote e la necessità di operare a velocità di avanzamento inferiori con una marcia più bassa. La dimensione, la densità e la resistenza delle zolle del

suolo aumentano anche con l'aumento della perdita di struttura del suolo e sono necessari tempi ed energia maggiori per affinare il letto di semina. Questa energia viene generalmente applicata utilizzando metodi di coltivazione più intensivi ed effettuando un maggior numero di passate (Shepherd et al, 2008).

1.4 VSA suolo e pianta in coltura di mais

Le valutazioni del suolo e della pianta si ripetono, in egual modo, per tutte le colture.

FIGURE 1 Soil scorecard – visual indicators for assessing soil quality in maize

Landowner: _____ Land use: _____
 Site location: _____ GPS ref: _____
 Sample depth: _____ Topsoil depth: _____
 Soil type: _____ Soil classification: _____
 Drainage class: _____ Date: _____

Textural group: (upper 1 m) Sandy Coarse loamy Fine loamy Coarse silty Fine silty Clayey Other

Moisture condition: Dry Slightly moist Moist Very moist Wet

Seasonal weather conditions: Dry Wet Cold Warm Average

Visual indicators of soil quality	Visual score (VS) 0 = Poor condition 1 = Moderate condition 2 = Good condition	Weighting	VS ranking
Soil texture pg.2		x 3	
Soil structure pg.4		x 3	
Soil porosity pg.6		x 3	
Number and colour of soil mottles pg.8		x 2	
Soil colour pg.10		x 2	
Earthworms (Number =) (Av. size =) pg.14		x 3	
Soil smell pg.18		x 2	
Potential rooting depth (m) pg.22		x 3	
Surface ponding pg.26		x 3	
Surface cover and surface crusting pg.30		x 2	
Soil erosion (wind/water) pg.32		x 1	
SOIL QUALITY INDEX (sum of VS rankings)			

Soil Quality Assessment	Soil Quality Index
Poor	< 20
Moderate	20-37
Good	> 37

Figura 1-5: VSA suolo in coltura di mais

FIGURE 3 Plant scorecard – visual indicators to assess plant performance in maize

Visual indicators of plant performance	Visual score (VS) 0 = Poor condition 1 = Moderate condition 2 = Good condition	Weighting	VS ranking
Crop establishment pg.36		x 3	
Crop height at maturity pg.38		x 3	
Leaf colour pg.40		x 3	
Variability of crop performance along the row pg.44		x 3	
Root development pg.46		x 3	
Root diseases pg.48		x 2	
Weeds pg.50		x 2	
Ear size pg.54		x 3	
Crop yield pg.58		x 3	
Production costs pg.60		x 1	
PLANT QUALITY INDEX (sum of VS rankings)			

Plant Quality Assessment	Plant Quality Index
Poor	< 20
Moderate	20-37
Good	> 37

SUMMARY

Comparison of soil & plant scores		Do the soil and plant scores differ? If so, why?
Soil indicators	Plant indicators	

Notes:

Total available water-holding capacity:

Figura 1-6: VSA pianta in coltura di mais

Capitolo 2

COLTURE DI COPERTURA

2.1 Cosa sono le colture di copertura e in base a cosa vengono scelte

La Soil Science Society of America (SSSA), definisce le colture di copertura (CC) come "colture a crescita ravvicinata che forniscono protezione del suolo e miglioramento del suolo tra periodi di normale produzione agricola o tra alberi nei frutteti e viti nei vigneti" (Fageria et al., 2005). Le CC possono essere qualsiasi tipo di pianta, ma generalmente sono leguminose o non leguminose/graminacee. Vengono quindi coltivate per coprire e migliorare il suolo (Benedict et al., 2014), e successivamente usate come pacciamante vivo o morto sulla superficie del suolo, oppure interrati come sovescio (Benedict et al., 2014; Finney et al., 2017).

Le specie dovrebbero essere selezionate in base al loro adattamento ai climi locali, alle condizioni del suolo e allo scopo previsto della gestione del suolo stesso (Schomberg et al., 2009). Le CC comprendono diverse caratteristiche ideali che informano la scelta: la capacità di stabilirsi facilmente, svilupparsi rapidamente per coprire il suolo, fornire biomassa sufficiente a breve termine per il mantenimento dei residui, resistere alle malattie e non fungere da ospite per le malattie delle colture da reddito, essere facilmente eliminabili ed economicamente redditizi (Reeves, 1994).

L'insediamento e le prestazioni delle CC variano con i climi locali; infatti la maggior parte dei CC più produttivi nelle aree tropicali potrebbe non sopravvivere ai rigidi inverni del Midwest, USA (Shekinah e Stute, 2018). In letteratura, secondo Appelgate et al. (2017), la veccia e la rapa hanno una sopravvivenza invernale limitata mentre avena, colza e orzo vengono uccisi durante l'inverno nel Midwest superiore, noto per avere un clima continentale umido. Le CC tra cui segale invernale, cavoli, veccia pelosa, trifoglio rosso e avena sono opzioni per la stagione fredda, mentre il fagiolo dall'occhio, la canapa solare, la soia e il sorgo si comportano bene nelle stagioni calde (Sharma et al., 2018).

Per realizzare gli obiettivi di gestione, è importante selezionare specie di CC adattate a specifiche condizioni del suolo. Esistono informazioni limitate sull'effetto del tipo e delle condizioni del suolo sulla selezione delle stesse. La maggior parte delle specie di CC si adatta a un'ampia gamma di terreni, mentre la veccia pelosa, la veccia della corona, il trifoglio cremisi, la canapa solare e l'erba medica sono buone scelte per terreni sabbiosi e ben drenati (Moncada e Sheaffer, 2010; Shekinah e Stute, 2018). La segale invernale e il loglio annuale preferiscono i terreni sabbiosi o argillosi, mentre le brassiche come la senape e la colza crescono meglio in terreni neutri (Moncada e Sheaffer, 2010). È stato dimostrato che la canapa, il fagiolo dall'occhio, la veccia, l'avena primaverile e il grano saraceno crescono meglio in terreni con fertilità da

moderata a bassa, il che li rende una buona opzione per il recupero di terreni logori (Moncada e Sheaffer, 2010; Shekinah e Stute, 2018). Tuttavia, la soia e l'erba medica richiedono un suolo fertile per una crescita ottimale.

La maggior parte delle CC possono avere un miglior controllo delle infestanti a inizio stagione rispetto ai legumi poiché essi germogliano prima e sviluppano l'apparato radicale più velocemente (Ranells e Wagger, 1996). Le erbe tra cui segale, sorgo e sorgo-sudangrass sono efficaci nel sopprimere le erbacce attraverso il rilascio di sostanze naturali che inibiscono la crescita delle piante poste in loro prossimità, secondo un processo chiamato allelopatia (Treadwell et al., 2010). La selezione delle CC che riducono al meglio le erbe infestanti si traduce in un aumento della disponibilità di acqua e nutrienti nel suolo, nonché nella resa delle colture.

Le CC sono selezionate anche in base allo scopo previsto della gestione del suolo che include la protezione del suolo, la produzione di biomassa, l'effetto allelopatico, l'accumulo di carbonio e la fissazione dell'N. Possono ridurre l'erosione eolica, l'erosione idrica e il deflusso, ma l'entità di questo beneficio dipende dalle specie CC a causa delle differenze nella copertura della biomassa, nell'altezza dei residui in piedi, nell'apparato radicale e nel decadimento più lento dei residui (Balkcom et al., 2015; Wortman et al., 2013). Le CC a crescita rapida e con radici estese possono aumentare la materia organica del suolo a maggiori profondità (Dabney et al., 2001) e penetrare nelle particelle di suolo aggregate per formare una rete porosa che consente un migliore drenaggio dell'acqua e capacità di ritenzione (Monahan et al., 2012). Le specie di CC con apparato radicale fibroso come loglio, segale, avena e triticale sono più efficaci nel ridurre l'erosione del suolo rispetto alle CC con radici spesse come la senape bianca e il ravanello da foraggio (De Baets et al., 2011). Pertanto, la selezione di varietà delle CC appropriate che riducano l'erosione del suolo ridurrà il degrado del suolo e migliorerà la fertilità del suolo in diversi agroecosistemi.

Le CC regolano e riducono le temperature estive estreme che riducono l'evaporazione del suolo e conservano l'acqua, con conseguente aumento degli aggregati del suolo, dell'attività enzimatica, della degradazione dei residui e dello stoccaggio dell'acqua (Blanco-Canqui et al., 2013a). Tuttavia, la quantità di CC, biomassa e input di residui controlla la misura in cui i CC influenzano la temperatura del suolo (Blanco-Canqui et al., 2013a; Dabney et al., 2001).

I tipi CC dovrebbero essere scelti in base alla capacità di produrre un'elevata quantità di biomassa e/o biomassa radicale per aumentare la materia organica del suolo e migliorare la qualità del suolo nei sistemi agricoli (Balkcom et al., 2015). La materia organica del suolo può essere aumentata notevolmente da CC invernali ad alta produzione di biomassa (Dube et al., 2012). La quantità di biomassa prodotta da una CC varia a seconda della specie (Wayman et al., 2015).

Sotto adeguati livelli di fertilità, le graminacee di solito producono più biomassa dei legumi e la quantità di biomassa può variare anche all'interno della stessa specie (Newman et al., 2007; Sainju et al., 2000).

La composizione chimica dei residui di CC, come il rapporto C:N e la lignina, sono caratteristiche che influenzano il processo di degradazione e il rilascio di N nel suolo (Alonso-Ayuso et al., 2014; Sullivan e Andrews, 2012). La composizione chimica delle CC varia a seconda della specie e dello stadio di crescita

(Reeves, 1994). I residui di erba di solito hanno un elevato rapporto C:N, sono più efficaci all'aumentare dei livelli di C del suolo e persistono più a lungo sulla superficie del suolo rispetto ai CC di leguminose a causa della più lenta putrefazione dei residui di CC di erba (Blanco-Canqui et al., 2013a; Reeves, 1994). I legumi, invece, hanno contenuti di N maggiori e quindi rapporti C:N più bassi che consentono una rapida decomposizione e rilascio di N per la coltura successiva (Murungu et al., 2011). Pertanto, è fondamentale considerare il rapporto C:N del residuo CC per preservare la copertura del suolo quando si preferisce, ma consentire la decomposizione ottimale, il riciclaggio dei nutrienti e i tassi di rilascio.

2.2 Gestione delle CC

L'interruzione delle CC può essere ritardata il più possibile per ottenere una produzione sufficiente di biomassa, C del suolo e materia organica (Ruis et al., 2017). La biomassa delle CC aumenta fino alla fase di fioritura, ma la qualità diminuisce man mano che le CC crescono dalla fase vegetativa alla fase di fioritura e oltre (Benedict et al., 2014).

Da alcuni studi è emerso come la biomassa della vecchia-triticale e della segale raggiunge il picco massimo rispettivamente nelle fasi di fioritura precoce e di pasta tardiva (Keene et al., 2017). La cessazione tardiva dell'orzo porta a un accumulo di biomassa considerevolmente maggiore in un appezzamento di soia (Rosario-Lebron et al., 2018) e la biomassa media della lenticchia nera è raddoppiata dallo stadio di germogliamento precoce a quello di piena fioritura (Brandt, 1996).

Per questo motivo i tempi di interruzione delle CC sono fondamentali perché possono essere influenzati dalla stagione di crescita, dalla temperatura e dall'umidità del suolo, dalla gestione dell' N, dalla soppressione delle infestanti, dalla lavorazione del suolo e dalle operazioni di semina (Balkcom et al., 2015). Determinare la fase ottimale di interruzione della CC può essere difficile in quanto spesso comporta compromessi tra i diversi vantaggi forniti dalla CC. Lo stadio di crescita delle CC può essere valutato utilizzando la scala Mischler (Mischler et al., 2010) e Zadoks (Zadoks et al., 1974).

E' necessaria una maggiore comprensione dell'influenza dell'interruzione dello stadio di crescita della CC sulla disponibilità di C organico, in diversi suoli ed ecosistemi. Ciò informerà meglio i metodi di gestione delle CC che aumentano l'attività microbica ed enzimatica del suolo per un ciclo ottimale dei nutrienti. (Adetunji et al., 2017)

L'allungamento del tempo di interruzione della CC riduce le perdite di nitrati e aumenta l'efficienza nell'uso dell'azoto catturando l'azoto inorganico che è soggetto a lisciviazione lungo il profilo. (Alonso Ayuso et al., 2014)

Le specie delle CC, nella fase di crescita e di gestione hanno un grande influenza sul rilascio di N nei sistemi agricoli (Schomberg et al., 2009; Sullivan e Andrews, 2012). Il tempo di interruzione ottimale per massimizzare l'N disponibile dell'impianto (PAN) dipende dal tipo di CC (Balkcom et al., 2015). L'N disponibile di leguminose raggiunge il picco nella fase di crescita del germoglio e diminuisce lentamente man mano che la crescita riproduttiva continua (Sullivan e Andrews, 2012). L'N disponibile nelle piante erbacee è positivo dall'inizio alla fase di accostamento, mentre l'allungamento dello stelo continua il PAN

diminuisce e si avvicina allo zero quando raggiunge lo stadio di crescita di Feekes 8 o Zadoks 37 (Sullivan e Andrews, 2012). Per massimizzare il PAN, è fondamentale interrompere la CC di leguminose prima della fase di gemmazione e le graminacee in fase di avvio (Sullivan e Andrews, 2012). Riassumendo, Benedict et al. (2014) hanno indicato che il momento migliore per distruggere la CC pur avendo un contributo ottimale di N è durante la fase vegetativa tardiva e la prima fase di fioritura. Ritardarne la data, specialmente per le graminacee, può ridurre la concentrazione di N residuo, aumentare i rapporti C:N e comportare concentrazioni più elevate di emicellulosa e lignina nel residuo (Alonso-Ayuso et al., 2014).

Il momento di interruzione della CC è una variabile di gestione molto importante per la massimizzazione del valore della CC nelle pratiche agricole (Alonso-Ayuso et al., 2014). Diversi studi hanno dimostrato che l'alterazione del tempo di interruzione di poche settimane può avere un grande effetto sul consumo di acqua, sulla conservazione dell'umidità del suolo e sulla disponibilità di nitrati nel suolo (Clark et al., 2007; Krueger et al., 2011; Tosti et al., 2012).

Alcuni studi hanno indicato anche una correlazione con l'acqua; sebbene vi fosse un esaurimento dell'acqua nel suolo, la conservazione dell'umidità era migliorata quando l'interruzione della CC era ritardata (Clark et al., 2007). Tuttavia, è stato dimostrato che una rottura anticipata della CC riduce la competizione dell'acqua, conserva il contenuto di umidità del suolo e aumenta la disponibilità di acqua per la successiva coltura commerciale (Krueger et al., 2011; Stipešević e Kladičko, 2005). L'ottimizzazione della data di fine CC può aumentare la quantità e la qualità della biomassa fuori terra e migliorare lo sviluppo del materiale pacciamante superficiale, migliorando così la conservazione dell'acqua e il controllo delle infestanti (Alonso-Ayuso et al., 2014; Saini et al., 2008).

Alonso-Ayuso et al. (2014) ha suggerito che la data di termine dovrebbe essere basata sui °C gg accumulati e sullo stadio di crescita della CC per facilitare il confronto tra le diverse regioni climatiche in cui viene praticata la coltivazione.

L' interruzione delle CC è un importante metodo di gestione nei sistemi di coltivazione agricola. Ma la maggior parte della ricerca si è concentrata sull'efficacia di questi metodi nel controllo delle CC, ignorando il loro impatto sul ciclo dei nutrienti e sulla biologia del suolo. Le CC possono essere stoppate in modo da prepararle alla coltura successiva da reddito da gelo, falciatura, disco, Roller crimping ed erbicida (Sullivan e Andrews, 2012; Wayman et al., 2015). La scelta del metodo in cui cessare la CC dipende dallo scopo della coltivazione e dall'attrezzatura disponibile in azienda.

2.2.1 Falciatura

Le CC possono essere terminate falciando con una falciatrice rotativa o a flagelli che taglia la coltura e lascia i residui sulla superficie del suolo (Kornecki et al., 2009). Questo processo è efficace quando la falciatura non viene eseguita in una fase molto precoce (Creamer e Dabney, 2002). L'utilizzo delle falciatrici rotanti può essere difficile perché le dimensioni e la dispersione dei resti vegetali sono generalmente irregolari (Creamer e Dabney, 2002) che porta alla comparsa di infestanti attraverso spazi sottili coperti nello

strato di pacciamatura (Teasdale et al., 2007), mentre la falciatrice a flagelli distribuisce i resti più uniformemente (Creamer e Dabney, 2002).

2.2.2 *Roller crimping*

Il Roller crimping è un rullo in cui la biomassa della CC viene appiattita per produrre uno spesso strato uniforme di materiale pacciamante (Mirsky et al., 2009). Il trattamento della CC con il Roller crimping è fondamentale per impedire alla CC di competere con il raccolto (Ashford e Reeves, 2003; Mischler et al., 2010).

A differenza della falciatura, l'utilizzo del Roller crimping alla fine del ciclo della CC porta alla decomposizione dei residui nel tempo, fornendo una migliore copertura del suolo che, di conseguenza, sopprime le infestanti e conserva l'umidità del suolo (Mirsky et al., 2011; Mischler et al., 2010). I rulli possono essere montati anteriormente o posteriormente sui trattori e funzionano rotolando e arricciando gli steli delle CC quando queste sono in fase di fioritura, lasciando le piante livellate sulla superficie del suolo come materiale pacciamante di copertura (Parr et al., 2011). Tuttavia, l'interruzione totale delle CC mediante l'uso del Roller crimping può essere impegnativa (Mischler et al., 2010) e il tempismo dell'operazione è cruciale se un coltivatore utilizza solo questo mezzo per gestire la CC.

L'uso del Roller crimping può ridurre o eliminare l'uso di erbicidi in un sistema di gestione con uno spesso strato superficiale del suolo di pacciamante derivato da biomassa CC elevata (Mirsky et al., 2011, 2009), offrendo la possibilità di sistemi di agricoltura biologica senza lavorazione (Jani et al., 2016). Il suolo e gli apparati radicali delle CC rimangono intatti dopo l'uso del Roller crimping rispetto all'utilizzo di disturbo che solitamente provoca il riposizionamento della biomassa delle CC e una migliore decomposizione attraverso un'elevata respirazione del suolo (Soriano et al., 2014; Yaduvanshi e Sharma, 2008). I residui di CC trattati con Roller crimping hanno portato a un aumento della produzione di colture da reddito rispetto alla falciatura a flagelli (Morse, 2001). È stato dimostrato che le CC dei legumi controllati dal Roller crimping hanno prodotto 10-217 kg N ha⁻¹ a seconda della specie e della data di uccisione (Parr et al., 2011) e che l'N inorganico del suolo ha raggiunto il suo picco 4-6 settimane dopo la piegatura della CC (Parr et al., 2014). La maggior parte degli studi finora ha riportato solo l'influenza dei metodi di interruzione per quanto riguarda la loro efficienza nel controllo delle CC. Sono necessarie maggiori conoscenze sull'effetto del Roller crimping come metodo di interruzione delle CC sull'accumulo di C nel suolo e sul rilascio di N, nonché sull'attività degli enzimi del suolo nell'ecosistema agricolo.

2.2.3 *Disco*

L'uso di un disco meccanico montato sul trattore per controllare e incorporare le CC nel suolo è un approccio di interruzione della coltura di tipo tradizionale (Jani et al., 2016). L'interruzione della coltura di copertura mediante l'uso del disco porta a un rapido decadimento dei germogli e al rilascio di sostanze nutritive, in contrasto con i metodi di uccisione che lasciano pacciamante superficiale (Paul, 2007). Questo è il risultato di un migliore contatto germoglio-suolo e di un aumento dei livelli di ossigeno del suolo nei sistemi

a dischi, che stimolano la decomposizione microbica (Paul, 2007). I tassi più rapidi di decomposizione dei germogli e mineralizzazione dei nutrienti nell'uso del disco hanno portato a una maggiore disponibilità di N inorganico del suolo in una data precedente rispetto all'applicazione di erbicidi (Jani et al., 2016). In letteratura osserviamo come l'uso del disco ha portato ad un aumento della popolazione di batteri totali e gram-negativi nel suolo, mentre ha diminuito o stabilizzato le popolazioni di actinomiceti e funghi (Elfstrand et al., 2007). La riduzione dell'abbondanza di funghi può essere il risultato di una ridotta umidità del suolo, di materiali ad alto contenuto di lignina e di un maggiore disturbo del suolo nei suoli a dischi (Elfstrand et al., 2007).

2.2.4 *Erbicidi*

L'applicazione di erbicidi non selettivi viene solitamente utilizzata per l'interruzione della CC in quanto sono efficaci in qualsiasi fase di crescita (Kornecki et al., 2009). Gli erbicidi sono anche ampiamente utilizzati a causa del loro costo di applicazione relativamente economico, semplice e veloce (Kornecki et al., 2009). Precedenti studi hanno dimostrato che gli erbicidi come il glifosato sono efficaci nel controllo delle specie di CC di graminacee come il grano, il loglio annuale e la segale di cereali (Cornelius e Bradley, 2017; Palhano et al., 2018), mentre nelle CC a foglia larga come il pisello invernale austriaco, la vecchia pelosa e il trifoglio cremisi sono stati efficacemente eliminati con paraquat + metribuzin e glifosato + 2,4-D, dicamba o saflufenacil (Cornelius e Bradley, 2017).

Gli erbicidi applicati dovrebbero non solo essere efficaci, ma anche causare effetti dannosi minimi o nulli sulle colture da reddito e sull'ecosistema del suolo (Hoerlein, 1994).

C'è un crescente interesse nella valutazione dell'effetto dell'applicazione di erbicidi sui microrganismi benefici non bersaglio, sul ciclo dei nutrienti e sulla nutrizione delle piante in diversi ecosistemi (Cherni et al., 2015; Newman et al., 2016). Diversi studi hanno indicato che la presenza di glifosato non ha un impatto significativo sulla diversità e sull'attività dei microrganismi benefici del suolo (Lane et al., 2012; Weaver et al., 2007). Sette giorni dopo il trattamento con glifosato, è stata osservata una diminuzione significativa della biomassa microbica totale nel suolo della rizosfera di soia (Lane et al., 2012). Allo stesso modo, García-Orenes et al. (2010) hanno riportato che la cessazione della paglia di avena con paraquat, glifosato o ossifluorfenone ha portato a una riduzione della biomassa microbica C, dei coefficienti di mineralizzazione del C, delle attività C solubile e β -glucosidasi, fosfatasi e ureasi. La biomassa radicale di ravanella e vecchia si è ridotta in risposta all'applicazione di erbicidi imazethapyr e saflufenacil/dimethenamid-p (Rojas et al., 2016).

Questa è un'indicazione che questi erbicidi potrebbero essere adsorbiti nel suolo ed essere tossici per i microrganismi del suolo, il che a sua volta ha importanti implicazioni sulle reazioni biogeochimiche, sulla materia organica e sulla qualità del suolo (Abbas et al., 2014).

Alcuni micronutrienti come ferro, manganese, zinco e boro hanno dimostrato di essere carenti nei sistemi di coltivazione a base di glifosato (Huber, 2007; Neumann et al., 2006), ma ha migliorato la diversità batterica del suolo negli appezzamenti di soia (Arango et al., 2014), ha aumentato la proliferazione di protisti e la composizione batterica totale negli appezzamenti di orzo (Imparato et al., 2016) e stimolato l'attività

microbica, così come N e C mineralizzazione sotto diversi tipi di suolo (Haney et al., 2002). Allo stesso modo, la disponibilità di N inorganico nel suolo è stata migliorata quando una miscela di segale, veccia pelosa e senape orientale è stata terminata con glifosato (Snapp et al., 2005).

La comunità del microbiota e gli enzimi sono sensibili agli agrochimici (Baćmaga et al., 2015; Borowik et al., 2017) e numerosi studi hanno dimostrato che l'attività degli enzimi del suolo riflette lo stato di salute del suolo, fungendo quindi da indicatore affidabile della qualità del suolo sotto diversi sistemi di gestione (Adetunji et al., 2017). È, quindi, importante esaminare ulteriormente l'effetto della terminazione delle CC con erbicidi sull'accumulo di C organico, sull'attività enzimatica e sulla fertilità del suolo, per informare scelte di gestione migliori che migliorano la qualità del suolo e in definitiva aumentano la produzione agricola.

2.3 Effetti delle CC sulle proprietà fisiche del suolo

2.3.1 Stabilità degli aggregati del suolo

In letteratura possiamo osservare come Haynes et al. (1991) e Xiao et al. (2020) abbiano dimostrato una correlazione positiva tra il livello di SOC e stabilità degli aggregati del suolo in terreni diversi. Un aumento della stabilità degli aggregati del suolo attraverso la coltivazione di copertura può migliorare l'infiltrazione dell'acqua, la disponibilità di nutrienti, l'accumulo di C, la macroporosità del suolo e lo sviluppo delle radici, tuttavia ridurre l'erodibilità del suolo (Blanco-Canqui et al., 2013b).

2.3.2 Ridurre la compattazione del suolo

Le CC possono anche ridurre la compattazione del suolo creando canali radicali nel sottosuolo e di conseguenza aumentando le infiltrazioni d'acqua e la permeabilità all'aria (Blanco-Canqui et al., 2015), questo è stato osservato anche nella regione semiarida del Kansas orientale, dove si è assistito alla riduzione della compattazione del suolo del 5% in un suolo limo-argilloso trattato con canapa e soia a lungo termine (Blanco-Canqui et al., 2012). Questa è un'indicazione che i cambiamenti nella densità apparente possono essere una funzione della lunghezza della gestione delle CC. L'aumento della concentrazione di SOC dovuto alla presenza di CC a lungo termine è stato collegato alla diminuzione della densità apparente e della compatibilità del suolo (Blanco-Canqui et al., 2011).

2.3.3 Proprietà idrauliche del suolo

La coltivazione di CC influisce sulle proprietà idrauliche del suolo, anche se la maggior parte dei cambiamenti sia stata osservata dopo diversi anni (Çerçioğlu et al., 2019; Keisling et al., 1994). Nei suoli agricoli, le CC migliorano le proprietà idrauliche proteggendo la superficie del suolo dall'impatto delle gocce di pioggia, aumentando la macroporosità e la connettività dei pori e aumentando la materia organica e l'attività microbica (Blanco-Canqui et al., 2015).

Una pratica agroambientale comunemente usata per la protezione del suolo è l'introduzione delle CC nella rotazione dopo la coltura da reddito. Le colture vive e la pacciamatura proteggono la superficie del suolo dall'impatto della goccia di pioggia e può ridurre il deflusso e l'erosione di oltre il 95%

rispetto al maggese (es. Dabney, 1998; Meyer et al., 1999; Hartwig et al., 2002). Kabir e Koide (2002) e Liu et al. (2005) hanno trovato migliore stabilità degli aggregati del suolo e media degli aggregati più elevati di peso nei campi coltivati a copertura. Anche le CC sono considerate per migliorare l'infiltrazione delle precipitazioni e la capacità di ritenzione idrica (Folorunso et al., 1992; Martens e Frankenberger, 1992; Joyce et al., 2002).

2.3.4 *Erosione idrica*

Le CC riducono l'erosione idrica che comporta la perdita di sedimenti e di nutrienti disciolti, ma l'impatto varia a seconda delle specie di CC e della produzione di biomassa (Blanco-Canqui et al., 2011). Migliorano la qualità dell'acqua, la fertilità del suolo, la produttività delle colture e riduce l'inquinamento idrico riducendo l'erosione idrica (Blanco-Canqui et al., 2015; Kaspar et al., 2001). Da uno studio Blanco-Canqui et al. (2011) hanno dedotto che le CC riducono le perdite di nutrienti e sedimenti attraverso il deflusso "fornendo una copertura protettiva al suolo, assorbendo l'energia delle gocce di pioggia, riducendo il distacco degli aggregati del suolo, aumentando la rugosità della superficie del suolo, ritardando l'inizio del deflusso, intercettando il deflusso, riducendo la velocità di ruscellamento, aumentando le opportunità tempo per le infiltrazioni d'acqua e favorendo la formazione di aggregati idrostabili". Diversi studi hanno riportato che i CC come la segale invernale, la lenticchia primaverile e il triticale invernale e primaverile hanno ridotto l'erosione del vento a causa dell'aumento della copertura del suolo e del carbonio organico (SOC) del suolo, nonché delle proprietà strutturali del suolo migliorate (Bilbro e Hargrove, 1991; Blanco-Canqui et al., 2013a; Colazo e Buschiazzi, 2010).

2.3.5 *Temperatura del suolo*

Le CC possono ridurre la temperatura del suolo durante l'estate e aumentare la temperatura del suolo in inverno (Dabney et al., 2001; Kahimba et al., 2008). La riduzione durante l'estate può ridurre l'evaporazione e aumentare l'accumulo di acqua nel suolo, mentre può essere dannosa nelle regioni fredde dove la crescita delle colture è limitata dalla temperatura (Dabney et al., 2001; Drury et al., 1999). Tuttavia, l'impatto dei residui delle CC sulla temperatura del suolo può variare a seconda delle stagioni, dei sistemi di lavorazione del suolo, delle specie di CC e della copertura dei residui superficiali (Blanco-Canqui et al., 2015). La parte aerea delle CC e i residui aiutano il controllo della temperatura del suolo nei sistemi di coltivazione agricola (Dabney et al., 2001).

2.4 Effetti delle CC sulle proprietà chimiche del suolo

2.4.1 Sostanza organica e carbonio

Le CC possono offrire una scelta economica di gestione in loco per migliorare la materia organica del suolo e la qualità del suolo (Dabney et al., 2010). La S.O. è quindi un importante indicatore della qualità del suolo e il suo aumento porta a un migliore ciclo dei nutrienti, capacità di scambio cationico, capacità tampone e resa delle colture (Lehman et al., 2015). I fertilizzanti chimici sono facili da immagazzinare, applicare e gestire ma non contribuiscono all'aumento della S.O. del suolo che nella maggior parte dei casi deriva dall'aggiunta di residui vegetali (Newman et al., 2007). Una sperimentazione ha messo in luce come l'utilizzo di residui di segale, avena, veccia, fava e trifoglio hanno aumentato il contenuto di S.O. del suolo dei vigneti in Sud Africa indipendentemente dal tipo di gestione (Fourie et al., 2007); un'altra ha evidenziato invece come l'utilizzo di CC ha aumentato significativamente le concentrazioni di C organico nel suolo rispetto agli appezzamenti senza CC (Dabney et al., 2001; Olson et al., 2014; Sainju et al., 2002). È possibile osservare questo aumento perché le CC vanno ad aggiungersi alla biomassa totale nel suolo portando così ad un aumento di C organico (Poepflau e Don, 2015). Inoltre, la pratica CC può ridurre la perdita di SOC riducendo l'erosione del suolo che può fungere da percorso di tale perdita (Blanco-Canqui et al., 2015).

Pertanto, il SOC è una delle proprietà più importanti utilizzate per esaminare l'effetto dei CC sulla fertilità del suolo. Blanco-Canqui et al. (2015) hanno indicato che l'entità dell'accumulo di C nel suolo è specifica del sito e varia con la quantità di biomassa delle CC, la durata dei materiali vitali prima della fine, la quantità iniziale di C del suolo, il tipo di suolo, il tipo di CC, la gestione della lavorazione e il clima.

Anche il contenuto di argilla del suolo influenza significativamente il modo in cui un suolo accumula e preserva l'input di SOC dai CC (Hassink e Whitmore, 1997). A causa dell'alto livello iniziale di C del suolo, l'effetto delle CC sul SOC non viene solitamente rilevato precocemente piuttosto che nel lungo periodo di insediamento (Acuña e Villamil, 2014). Questa è un'indicazione che i benefici delle CC sono identificati più rapidamente con la gestione senza lavorazione a causa della riduzione dei tassi di decomposizione dei residui rispetto alla lavorazione convenzionale (Blanco-Canqui et al., 2015). Da qui si osserva come la concentrazione di C organico nel suolo può essere migliorata mediante pratiche di gestione che coinvolgono miscele di CC di legumi e non legumi.

Le CC non solo aumentano la disponibilità di nutrienti e lo stoccaggio di C e N nel suolo, ma riducono anche l'effetto del riscaldamento globale (Dabney et al., 2010); per questo la gestione delle CC può essere un approccio affidabile per migliorare la produzione agricola poiché l'aumento della quantità di materia organica e C migliorerà la qualità del suolo e la produttività delle colture.

2.4.2 N del suolo

Le CC possono migliorare il ciclo di N e quindi aumentarne l'accumulo e ridurre così potenziali perdite economiche e sul campo (O'Reilly et al., 2012). In letteratura possiamo osservare come i suoli trattati con

veccia e trifoglio hanno mostrato un aumento significativo della concentrazione di N rispetto ai suoli a maggese (Sainju et al., 2002).

La veccia pelosa ha fornito un equivalente di 50 - 155 kg ha⁻¹ (Seo et al., 2000) e 150 - 250 kg ha⁻¹ (Crandall et al., 2005) di fertilizzante N, rispettivamente alle seguenti colture di mais. Pertanto, le CC di leguminose hanno fornito quantità significative di N contenuto nelle piante alle colture successive (Thilakarathna et al., 2015), aumentando così la fertilità del suolo e riducendo il fabbisogno di fertilizzanti N (Fortuna et al., 2008). Alcuni studi, tuttavia, hanno riportato che i CC dei legumi invernali non hanno aumentato l'N del suolo, specialmente in meno di 5 anni (Sainju et al., 2003; Villamil et al., 2006).

Le valutazioni dell'input di N si sono basate solo sulla scomposizione e sul contributo di N dei residui di germogli di leguminose, mentre gli input di N delle radici sono stati per lo più trascurati (Jani et al., 2016). Le radici delle leguminose rappresentano circa il 30% della biomassa delle CC totale, sebbene la decomposizione e il rilascio di N delle radici siano lenti rispetto ai germogli (Sainju et al., 2005). Jani et al. (2016) hanno riportato una rapida decomposizione delle radici dei legumi (pisello, trifoglio e veccia) e un rilascio di N di 47-62 e 19-33 kg ha⁻¹ rispettivamente nei campi coltivati di Goldsboro e Kinston negli Stati Uniti sudorientali. I legumi hanno rapporti C:N inferiori (inferiori a 20) (Dabney et al., 2001) e sono quindi considerati CC di alta qualità che si riducono rapidamente. Tuttavia, questo processo avviene rapidamente e limita la persistenza di questi residui sulla superficie del suolo, il che riduce i benefici legati ai residui superficiali (Reeves, 1994).

Le erbe che non fissano N, ma possono assimilare rapidamente l'N del suolo man mano che crescono (Thorup-Kristensen, 2006). I Grass CC possono assimilare e riciclare il suolo residuo NO₃⁻ lasciato alla fine della stagione di crescita, che può lisciviare al di sotto della zona di radicazione quando piove (Cline e Silvernail, 2002). La segale, la colza e il ravanello da foraggio hanno mostrato un potenziale migliore per estrarre NO₃⁻ dal suolo residuo rispetto alle leguminose CC (Nielsen et al., 2015; Wagger et al., 1998). Uno studio che riassume gli impatti sulla gestione delle CC da 16 studi ha indicato che la veccia pelosa, la segale, il loglio, l'avena, il frumento invernale, la veccia viola e la senape hanno ridotto la lisciviazione di NO₃ del 6-94% (Kaspar e Singer, 2011). Tuttavia, una meta-analisi in un sistema di coltivazione irrigua ha mostrato che i CC non leguminosi hanno ridotto la lisciviazione di NO₃ del 50% rispetto ai leguminose e al suolo incolto (Quemada et al., 2013). Inoltre, in vari studi, è stato riportato che i non legumi come la segale, l'avena, l'orzo e il loglio eliminano principalmente NO₃ e altri nutrienti rispetto ai legumi (Dabney et al., 2010; Quemada et al., 2013). La capacità di raccolta dei nutrienti dei non legumi è un approccio vitale per gestire l'eccesso di nutrienti al suolo da fertilizzanti inorganici o sterco animale; riducendo le possibilità di inquinamento delle acque (Blanco-Canqui et al., 2015). Tuttavia, è stato anche dimostrato che le erbe con un alto rapporto C:N si decompongono e immobilizzano lentamente l'N del suolo, aumentando così la quantità di fertilizzante N necessaria per la massima resa economica delle colture successive come cotone, mais e sorgo (Dabney et al., 2001, 2010).

I sistemi di coltivazione di copertura che coinvolgono una miscela di legumi e non legumi sono cruciali per ottenere benefici combinati come agire come fonti di C e N (Sainju et al., 2000), ottimizzare l'equilibrio

C:N, sopprimere le erbe infestanti, aumentare l'apporto di biomassa, migliorare la materia organica produzione e valorizzazione della diversità (Nielsen et al., 2015; Treadwell et al., 2010). Negli Stati Uniti del Midwest, suoli eterogenei gestiti con ravello, pisello invernale australiano e una miscela di entrambi le CC hanno indicato SOC più alti (15,9, 17,6 e 19,4 g kg⁻¹, rispettivamente) e N totale (1,5, 1,7 e 2,8 g kg⁻¹, rispettivamente) sotto miscele CC rispetto ai soli CC (Stavi et al., 2012). Uno studio di Muzangwa et al. (2015) nell'Eastern Cape, in Sud Africa, hanno mostrato che, rispetto alle sole CC, la miscela di avena e vecchia ha determinato un aumento di N nei suoli alluvionali durante la tarda stagione di crescita del mais. Una miscela di leguminose ed erba può essere utile quando le colture si completano a vicenda per quanto riguarda la crescita e la cattura dei nutrienti (Tiemann et al., 2015). Nelle miscele di leguminose, le erbe si sviluppano più velocemente delle leguminose, proteggendo di conseguenza il suolo dall'erosione, mentre i legumi sequestrano N che può essere utilizzato dall'erba da compagnia o dalla successiva coltura commerciale (Blanco-Canqui et al., 2015). Di conseguenza, i residui vegetali della miscela si decompongono più velocemente della sola erba, riducendo così l'immobilizzazione di N (Newman et al., 2007).

2.4.3 *Altri macro e micronutrienti del suolo*

In studi precedenti, quasi tutto l'N necessario per una crescita ottimale delle colture e una notevole quantità di P e zolfo del suolo si trovano nella materia organica del suolo (Dube et al., 2014; Newman et al., 2007). Questa è un'indicazione che a lungo termine, l'applicazione di fertilizzanti P potrebbe essere ridotta in un sistema di agricoltura conservativa. La materia organica del suolo aumenta la capacità di scambio cationico del suolo, migliorando di conseguenza la capacità del suolo di immagazzinare altri macronutrienti, inclusi calcio, potassio e magnesio (Newman et al., 2007). I micronutrienti formano complessi con la materia organica del suolo, il che aumenta la loro accessibilità per l'assorbimento delle piante (Newman et al., 2007). Le CC aggiungono materia organica al suolo fornendo in tal modo ulteriore C che serve come energia per sostenere le attività dei microrganismi del suolo e degli enzimi (Du et al., 2014). Questo, a sua volta, contribuisce a un efficiente ciclo dei nutrienti e al miglioramento della struttura del suolo (Snapp et al., 2005).

Lo scopo di questa tesi è la valutazione della qualità di suolo e coltura in 7 aziende che hanno aderito al progetto AGROBIOCONS. Si propone l'applicazione del metodo VSA (Visual Soil Assessment), un metodo speditivo, basato sull'uso di indicatori relativi al suolo e alla pianta che, convenzionalmente, sono stati individuati dalla FAO, affiancato al rilievo pedologico, seguito da relativo campionamento ed analisi in laboratorio.

Si è cercato inoltre di approfondire il metodo della VSA, ampliando la definizione delle schede relative a colture non ancora presenti nel metodo ufficiale: sorgo, girasole e favino, presenti nelle rotazioni delle suddette aziende.

Questo lavoro di tesi si inserisce nel progetto di ricerca che mira a valutare l'incidenza di gestioni agronomiche diverse, su qualità del suolo e resa delle colture. Entrambe le gestioni prevedono protocolli in biologico:

1) la gestione BIO (Biologica tradizionale) che sfrutta la naturale fertilità dei suoli, dove vengono effettuate minime lavorazioni o, in alcuni casi, l'assenza delle lavorazioni in modo da non avere l'inversione degli orizzonti del suolo e

2) la gestione BIO+ (Biologico conservativa) dove è stato inserito l'utilizzo di *cover crops*, nel periodo (invernale/primaverile) in cui il suolo rimane scoperto.

L'idea progettuale è di proporre a tecnici e agricoltori un metodo sintetico di valutazione della fertilità fisica, chimica e biologica del suolo e della qualità della produzione, utilizzando indicatori chiave ufficialmente riconosciuti.

Le aziende scelte, sono quelle inserite nel progetto e sono rappresentative della realtà agricola collinare marchigiana.

Capitolo 3

MATERIALI E METODI

3.1 Materiali

3.1.1 Descrizione dei siti di campionamento

I siti di campionamento appartengono a 7 diverse aziende agricole, localizzate tra le provincie di Ancona e Macerata.

- SOC. AGR. BIOLOGICA FILENI SRL (Capofila)

La Società agricola biologica Fileni partecipa al progetto mettendo a disposizione 12 ha di terreno suddivisi in 6 ha gestiti in BIO e 6 ha gestiti in BIO+.

L'appezzamento (Figura 3.1 e 3.2) si trova a 12 metri s.l.m. trovandosi in pianura mancano sia l'esposizione che la pendenza. (coordinate 43°37'46"N, 13°20'38"E)

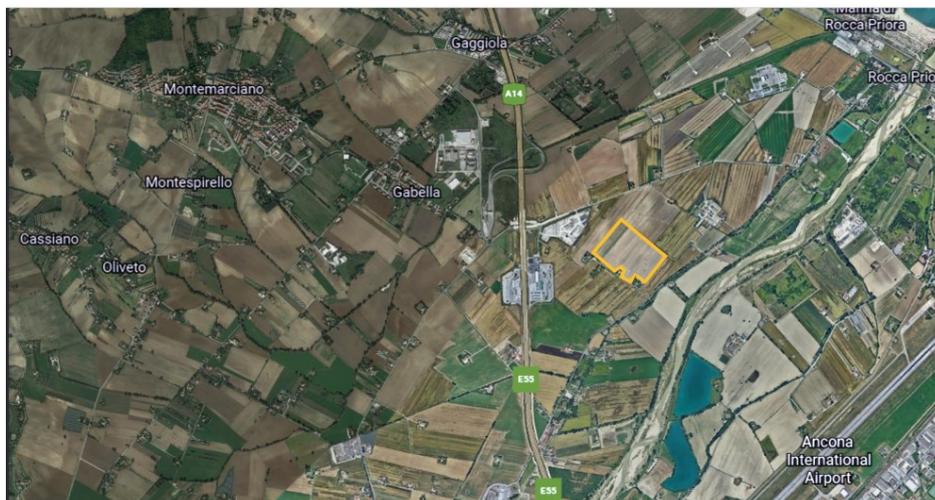


Figura 3-1: Soc. Agr. Fileni (Falconara Marittima)



Figura 3-2: Soc. Agr. Fileni (Falconara Marittima)

- Azienda agricola LOV

L'azienda agricola LOV partecipa al progetto con 2 appezzamenti, ricadenti però in comuni diversi.

Nel comune di Serra San Quirico (AN) è stato messo a disposizione, ai fini della sperimentazione, un appezzamento di 1.5 ha suddiviso in 2 parcelle: la parcella BIO di 0.5 ha e la parcella BIO+ di 1 ha.

L'appezzamento (Figura 3.1 e 3.2) si trova a 337 metri s.l.m con un'esposizione SUD-SUD EST e pendenza media del 40% (coordinate 43°24'58"N, 13°04'18"E).

Nel comune di Apiro (MC) è stato messo a disposizione ai fini della sperimentazione un appezzamento di 4 ha suddiviso in 2 parcelle: la parcella BIO di 3 ha e quella di BIO+ di 1 ha. L'appezzamento (Figura 3.3 e 3.4) si trova a 276 metri s.l.m con un'esposizione N e assenza di pendenza (coordinate 43°52'02"N, 13°04'42"E).

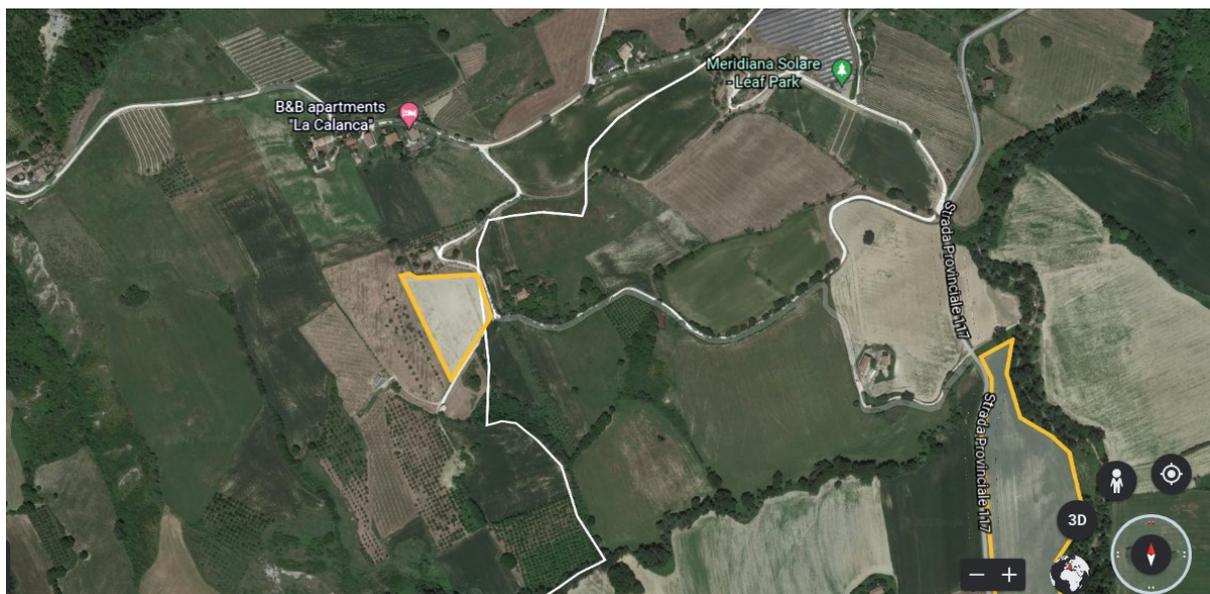


Figura 3-3: Azienda agricola Lov (Serra San Quirico)

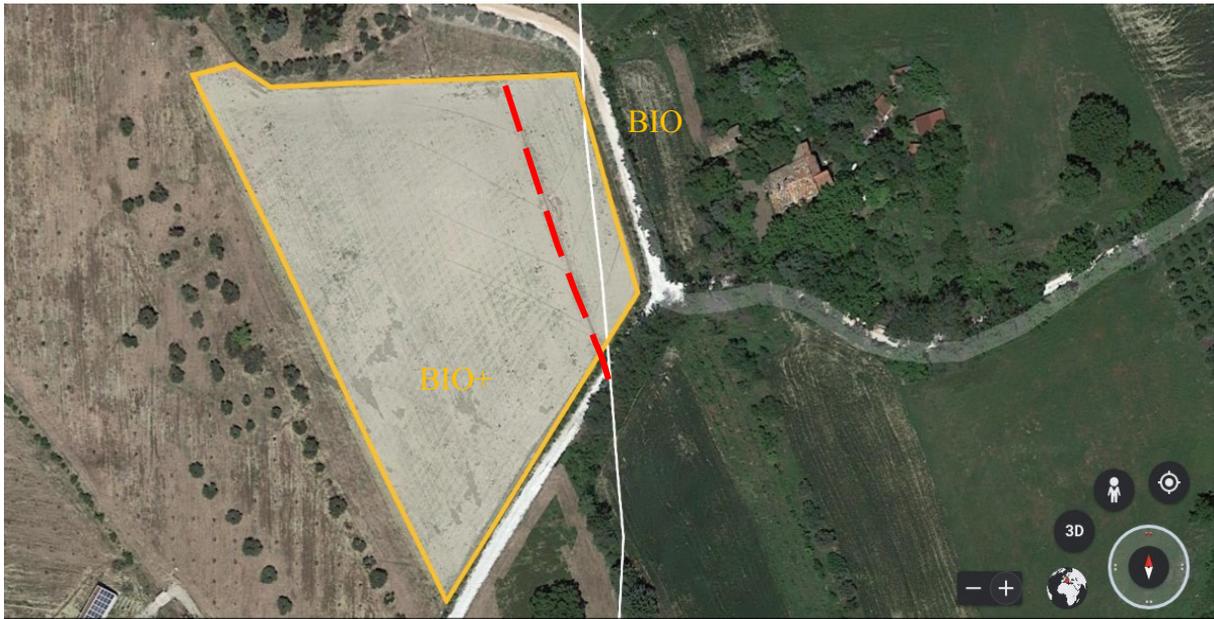


Figura 3-4: Azienda agricola Lov(Serra San Quirico)

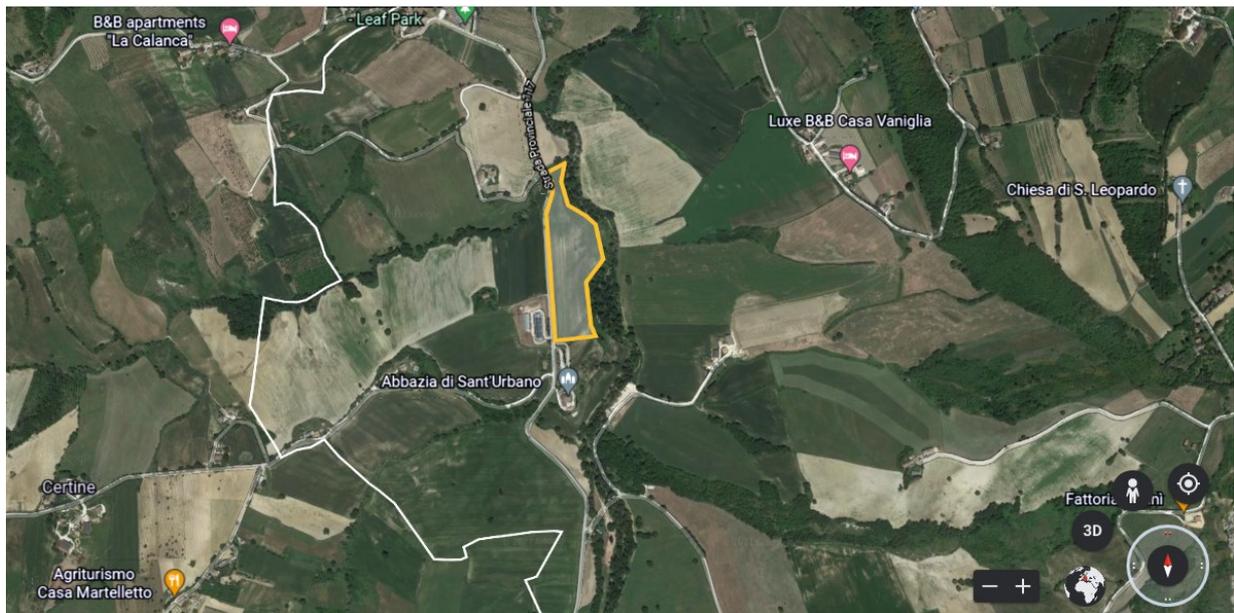


Figura 3-5: Azienda agricola Lov(Apiro)



Figura 3-6: Azienda agricola Lov (Apiro)

- Società Agricola Terre Verdi Di Zingaretti E Soci S.s.

Nel comune di Santa Maria Nuova (AN) troviamo la Società Agricola Terre Verdi Di Zingaretti E Soci S.s. che partecipa alla sperimentazione mettendo a disposizione 4 ha di terreno suddiviso in 2 parcelle: quella destinata al BIO di 1 ha e quella destinata al BIO+ di 3 ha. L'appezzamento (Figura 3.13 e 3.14) si trova a circa 260 metri s.l.m. con esposizione SUD EST nel comune di Apiro (MC) e pendenza del 35% (coordinate 43°24'41"N, 13°04'52"E).

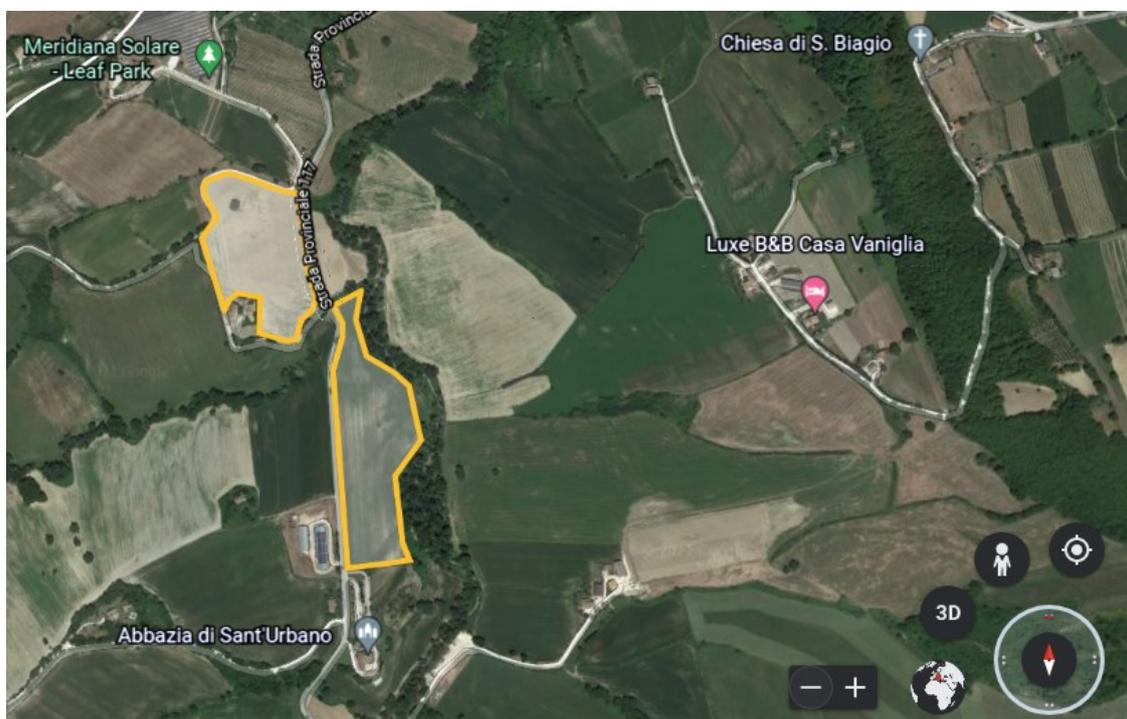


Figura 3-7: Società Agricola Terre Verdi Di Zingaretti E Soci S.s. (Apiro)

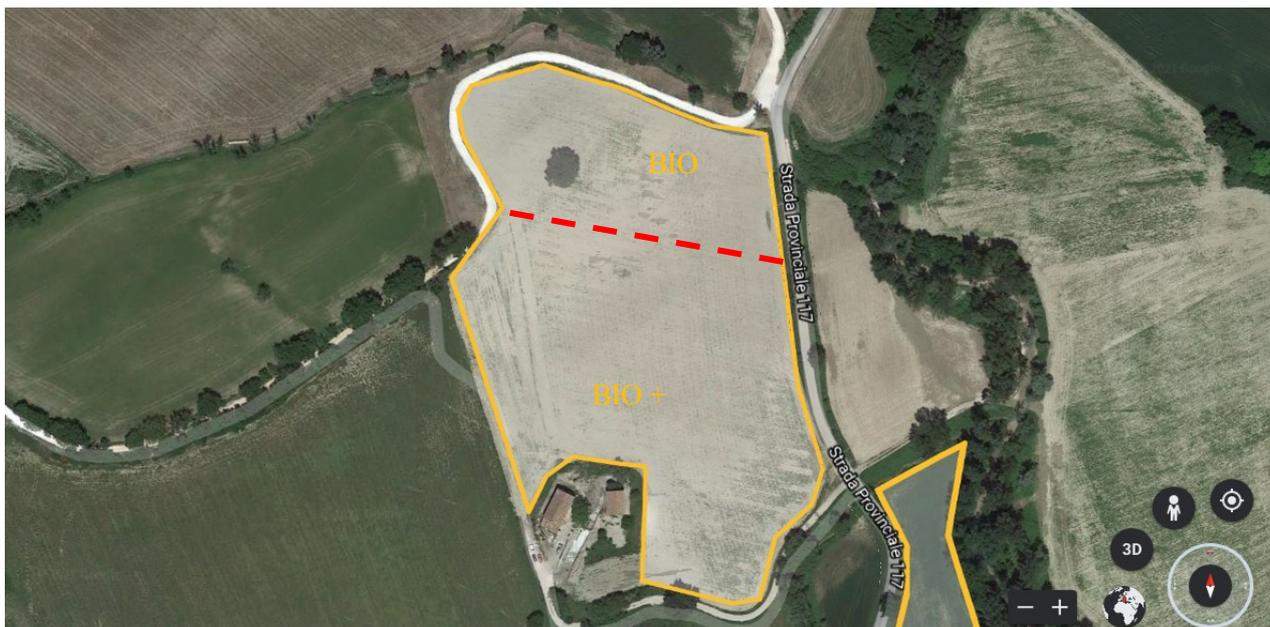


Figura 3-8: Società Agricola Terre Verdi Di Zingaretti E Soci S.s. (Apiro)

- Tenuta di Tavignano (Società Agricola Lucangeli Aymerich di Laconi).

Nel comune di Cingoli (MC) si trova “Tenuta di Tavignano” che conta 230 ha in un corpo unico. In questo caso l’azienda ha contribuito alla sperimentazione mettendo a disposizione un appezzamento di 4 ha suddivisi in 2 parcelle: 3 ha destinato al BIO e 1 ha destinato al BIO+. L’appezzamento (Figura 3.7 e 3.8) si trova a circa 200 metri s.l.m con un’esposizione SUD EST e pendenza media del 30% nel comune di Cingoli (MC) (coordinate 43°27’23”N, 13°15’41”E).

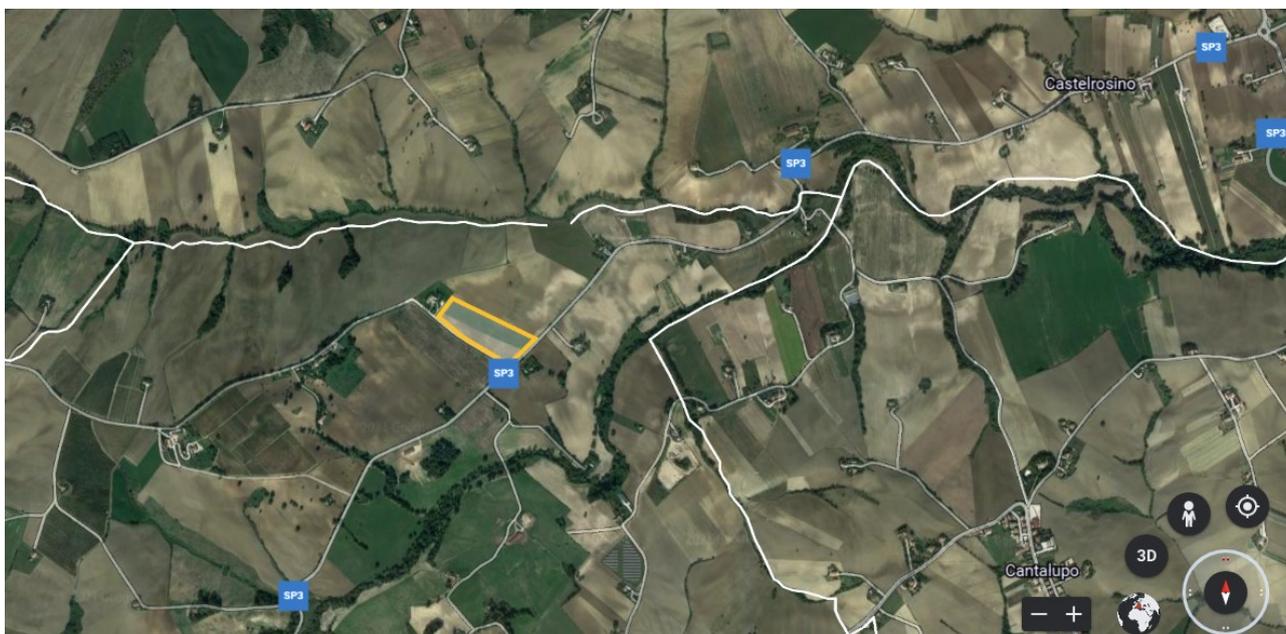


Figura 3-9: Azienda agricola Tenute di Tavignano (Cingoli)

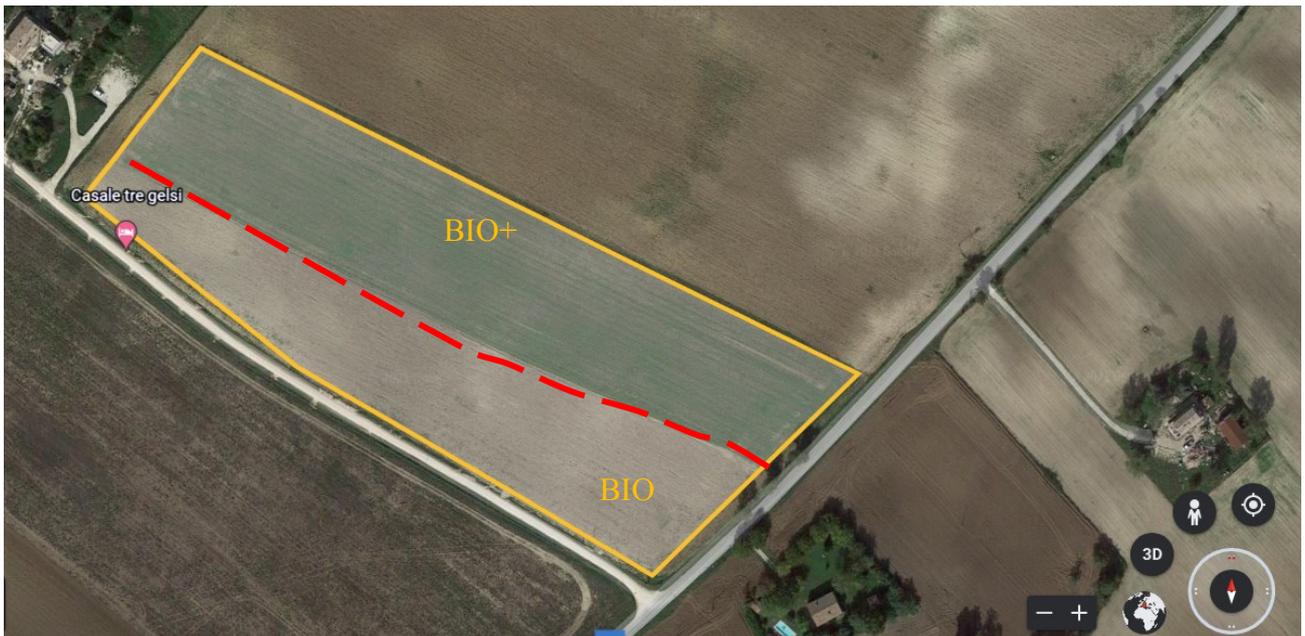


Figura 3-10: Azienda agricola Tenute di Tavignano(Cingoli)

- Azienda agricola F.lli Bucci

Collocata nel comune di Ostra Vetere (AN), conta circa 350 ha di terreni destinati a diverse colture, in particolare: grano duro e tenero, mais, bietole da zucchero, piselli, colture da seme, girasoli. Di questi, 8 ha, nel comune di Serra De Conti, sono stati destinati alla sperimentazione e ripartiti in 2 parcelle, rispettivamente di 4 ha per il BIO e 4 ha per il BIO+.

L'appezzamento (Figura 3.5 e 3.6) si trova a 150 metri s.l.m con un'esposizione OVEST-NORD OVEST e pendenza media del 35% nel comune di Serra De' Conti (AN) (coordinate 43°33'32"N, 13°03'27"E).

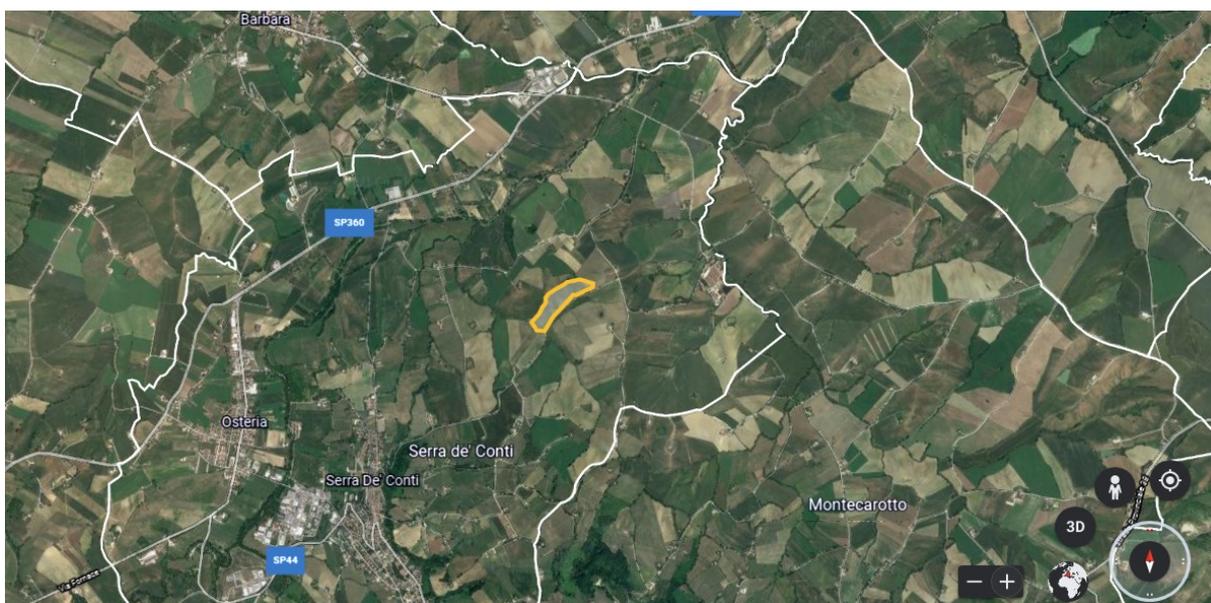


Figura 3-11: Azienda agricola F.lli Bucci (Serra de' Conti)



Figura 3-12: Azienda agricola F.lli Bucci (Serra de' Conti)

- Tenute Pieralisi

Nel comune di Maiolati Spontini (AN), in località Scorcelletti, troviamo l'azienda agricola Tenute Pieralisi che possiede oltre 20 ha di terreno coltivati in prevalenza a vite. L'azienda ha messo a disposizione della sperimentazione un appezzamento di 4 ha di terreno suddiviso in 2 parcelle: quella destinata al BIO di 1 ha e quella destinata al BIO+ di 3 ha. L'appezzamento (Figura 3.9 e 3.10) si trova a circa 158 metri s.l.m. con pendenza pressochè nulla perché si trova in una zona semi-pianeggiante nel comune di Arcevia (AN) (coordinate 43°33'31"N, 13°03'22"E)

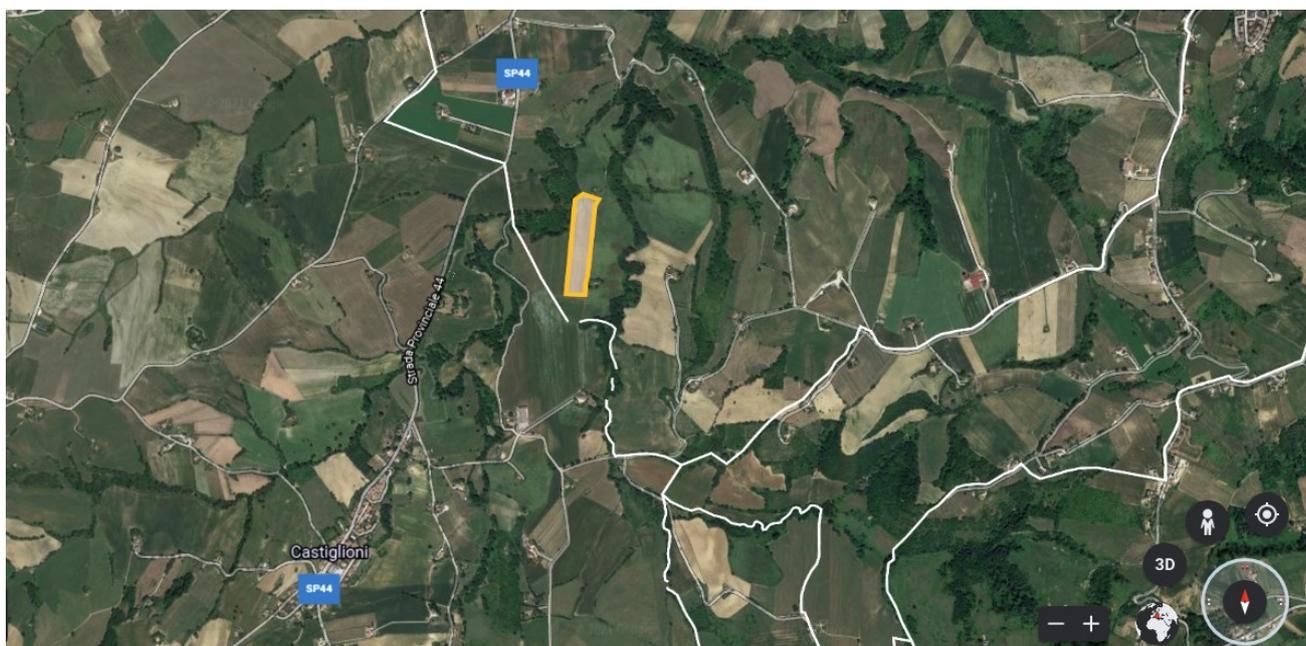


Figura 3-13: Azienda agricola Tenute Pieralisi (Arcevia)

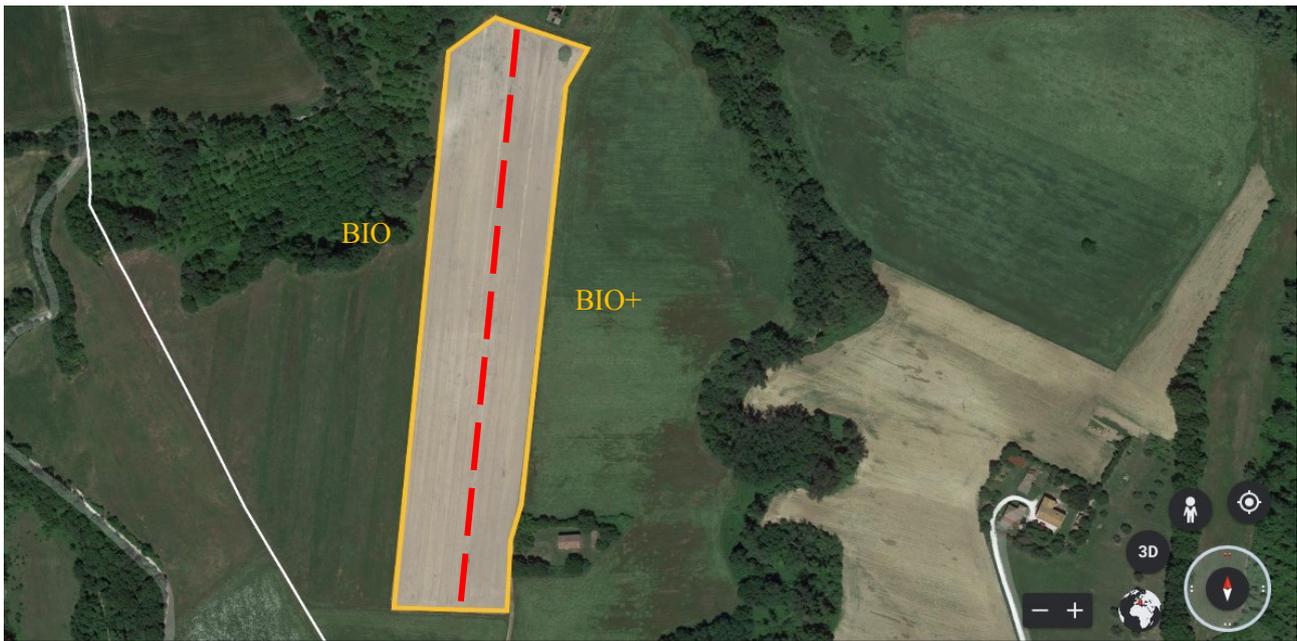


Figura 3-14: Azienda agricola Tenute di Pieralisi (Arcevia)

- Yesi Food S.r.l. Società Agricola

Nel comune di Jesi (AN) troviamo Yesi Food S.r.l. Società Agricola che ha messo a disposizione della sperimentazione un appezzamento di 4 ha di terreno suddiviso in 2 parcelle: quella destinata al BIO di 1 ha e quella destinata al BIO+ di 3 ha. L'appezzamento (Figura 3.11 e 3.12) si trova a circa 130 metri s.l.m. con esposizione SUD-SUD OVEST nel comune di Jesi (AN) e pendenza media del 27% (coordinate 43°28'33"N, 13°15'01"E).



Figura 3-15: Yesi Food S.r.l. Società Agricola (Jesi)

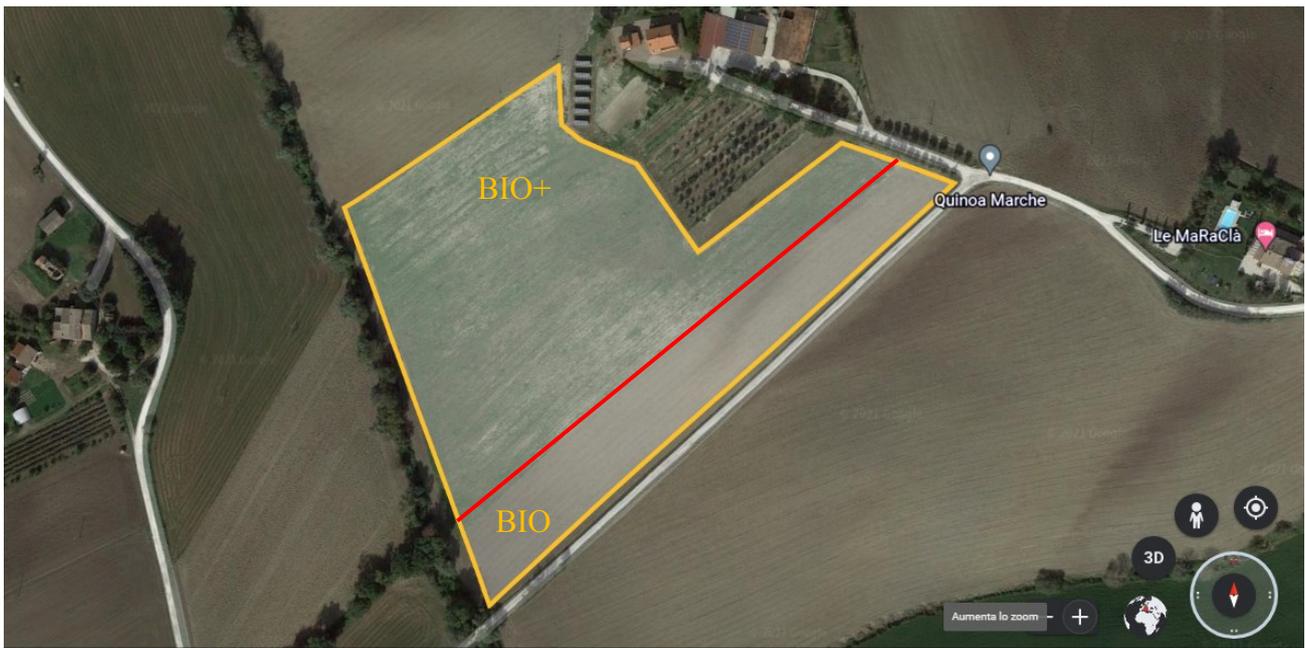


Figura 3-16: Yesi Food S.r.l. Societa' Agricola (Jesi)

3.2 Metodi

3.2.1 VSA del suolo e della pianta

Per poter effettuare la VSA sono stati aperti dei mini pit dai quali è stato estratto il cubo di suolo, due per ciascun tipo di gestione (BIO e BIO+). Sul cubo di suolo sono effettuate una serie di osservazioni delle proprietà fisicochimiche, volte ad attribuire il valore (da 0 a 2) a ciascun indicatore della qualità del suolo che successivamente è stato moltiplicato per il relativo coefficiente. Dalla sommatoria di tutti gli indicatori si ottiene l'Indice della Qualità del Suolo relativo alla coltura studiata, che permette di inserire il suolo all'interno di tre classi qualitative: scarso, moderato e buono.

La VSA della coltura è stata effettuata osservando la coltura in campo e prelevando dei campioni di pianta per ciascun tipo di gestione (BIO e BIO+), dopodiché la valutazione ha seguito il procedimento precedentemente descritto.

3.2.2 Campionamento e descrizione dei profili del suolo

In ogni sito sono stati effettuati anche due rilievi pedologici, il primo tra giugno e luglio 2020 (T0) e il secondo tra luglio 2020 e aprile 2021 (T1). Il campionamento ha previsto l'apertura di quattro profili, due gestiti con le pratiche BIO e due con BIO+, in modo tale da avere un numero sufficiente di repliche. I profili

sono stati aperti, descritti e campionati per orizzonti pedogenetici (Schoeneberger, 2012) (Tabella 1) (Figure 3-17, 3-18, 3-19, 3-20, 3-21, 3-22, 3-23). I campioni di suolo prelevati sono stati conservati in sacchetti di polietilene e lasciati asciugare all'aria, pronti per essere analizzati in laboratorio.



Figura 3-17: Profili LOV



Figura 3-18: profili Tenute di Tavignano



Figura 3-19: Profili Terre Verdi



Figura 3-20: Particolare del profilo di Terre Verdi



Figura 3-21: Profilo Tenuta Perialisi



Figura 3-22:rofilo Yesi Food



Figura 3-23 Profilo Soc. Agr. Fileni

L'apertura del profilo viene fatta mediante l'uso di una pala necessaria all'ottenimento di un cubo di suolo sul quale verranno poi effettuate una serie di valutazioni basate sull'osservazione degli indicatori della qualità del suolo (il valore attribuibile va da 0 a 2), moltiplicati per il relativo coefficiente. Infatti, come possiamo osservare nella figura, seguendo la scheda di valutazione fornita dalla FAO si arriva alla definizione dell'indice della qualità del suolo. L'indice della qualità del suolo è un numero che ci permette di arrivare alla valutazione della qualità del suolo. La valutazione della qualità del suolo definisce 3 range: poor, moderate, good.

3.3 Analisi chimico-fisiche del suolo

3.3.1 Determinazione della tessitura

La tessitura è la distribuzione granulometrica delle particelle che costituiscono il suolo. Il suolo è caratterizzato da più frazioni granulometriche di diametro diverso, lo scheletro ha il diametro superiore a 2 mm, la terra fine ha diametro inferiore a 2 mm. Lo scheletro è formato da materiale roccioso e costituisce la componente inerte del suolo. La terra fine invece è definita come la componente attiva del suolo costituita a sua volta da altre classi di particelle: la sabbia (diametro 2 – 0,05 mm), il limo (diametro 0,05 – 0,002 mm) e l'argilla (diametro inferiore a 0,002 mm). La sabbia nasce dalla disgregazione delle rocce, e dello scheletro. In sospensione acquosa è la prima frazione a sedimentare (4-5 min), è granulosa al tatto per mancanza di plasticità, le particelle aderiscono debolmente e non c'è coesione, costituisce un supporto alle frazioni attive come il limo e l'argilla che si dispongono intorno ad essa. Il ruolo della sabbia è importante perché migliora le proprietà fisiche del suolo, favorisce la circolazione dell'aria, dell'acqua e permette alle radici di penetrare in profondità. Il limo ha consistenza farinosa e caratteristiche intermedie tra la sabbia e l'argilla. In sospensione acquosa sedimenta lentamente in acqua ferma (almeno 16 h), le particelle aderiscono ma instaurano una debole coesione a causa della bassa plasticità. L'argilla è la componente che funge da cemento sia tra le particelle che tra gli aggregati del suolo. Ha elevata plasticità e in sospensione acquosa non sedimenta (Businelli, 2009). Una volta conosciute le percentuali delle frazioni granulometriche, viene utilizzato il triangolo USDA, che ci permette di classificare il suolo e definirne le caratteristiche.

L'espressione dei risultati delle diverse frazioni di particelle viene espressa in $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, senza cifre decimali della terra fine essiccata a 105°C e sottoposta a dispersione.

3.3.2 Determinazione del pH

La determinazione del pH dei suoli è un'analisi che consente di conoscere la loro natura acida, neutra o basica e di avere informazioni sulla disponibilità degli elementi nutritivi essenziali. Il pH viene determinato per via potenziometrica utilizzando piaccametri con elettrodi a vetro, questi producono una pila di concentrazione che misura la differenza di potenziale tra due semipile: una a concentrazione nota e l'altra incognita. La differenza di potenziale è data dalla seguente formula, riferita a concentrazione della soluzione 1M e condizioni atmosferiche di 25°C e 1 atm.

$$\Delta E = (RT/nF) * \ln C/C_x$$

dove:

R è la costante dei gas perfetti ($8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T è la temperatura (298 K)

F = faraday (96500 C)

C è la concentrazione nota, C_x quella incognita.

La risposta che viene letta nel piaccametro utilizza la seguente formula:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

identificando il pH come il logaritmo cambiato di segno della concentrazione idrogenionica. La sonda collegata allo strumento è dotata da due elettrodi: uno di riferimento (Ag/AgCl) viene posto a contatto con la soluzione a pH incognito; l'altro è costituito da un sottile bulbo di vetro atto a separare la soluzione da misurare da una acida a concentrazione nota, satura di AgCl. I due elettrodi sono collegati mediante ponte salino costituito da una soluzione 4M di KCl, AgCl satura: sul bulbo si crea una tensione elettrica che risulta proporzionale alla concentrazione di H_3O^+ della soluzione incognita. Prima di effettuare la misurazione del pH è necessario tarare il sistema con soluzioni tampone a pH noto generalmente 4,7 e 10. Il valore di pH viene espresso come unità con una cifra decimale. Pesare 10 g di suolo e trasferirli in 25 ml di acqua creando una sospensione con rapporto 1:2,5 (p/V). Agitare la soluzione per almeno due ore e lasciarla sedimentare per alcuni minuti. Inserire l'elettrodo nella soluzione, attendere la stabilizzazione del valore e rilevare il valore di pH.

3.3.3 Determinazione del carbonio organico totale

Il carbonio organico totale (TOC) e l' N totale (TN) del suolo sono parametri chiave che influiscono sulla qualità del suolo, la fornitura di nutrienti, i cicli biogeochimici (Reeves, 1997; Heenan et al., 2004; Galloway et al., 2008; Bai et al., 2017; Jia et al., 2017). Le concentrazioni nel suolo di TOC e TN sono controllate da diversi fattori: il substrato pedogenetico, le condizioni meteorologiche, i fattori topografici, le proprietà

fisico-chimiche intrinseche, i processi biologici e le attività umane (Russell et al., 2005; Liu et al., 2006; Gami et al., 2009; Sodhi et al., 2009; Chi et al., 2018). Le attività umane, sempre più intense, costituiscono un fattore dominante, che su scala globale hanno portato ad una diminuzione del TOC e del TN nei suoli (Small e Sousa, 2016; Patrick, 2019). La determinazione del carbonio organico prevede l'ossidazione ad CO₂ con una soluzione di bicromato di potassio in presenza di acido solforico. Si effettua una titolazione con una soluzione di ferro (II) solfato per determinare la quantità di bicromato di potassio che non ha reagito. Un opportuno indicatore aggiunto alla soluzione ci permette di individuare il punto finale della titolazione. Il campione vagliato a 2mm, prima dell'analisi viene triturato con il mortaio e il pestello di agata per renderlo ancora più fine e permettere una migliore digestione da parte dei reagenti.

L'espressione dei risultati avviene utilizzando la seguente espressione

$$C = \frac{3}{2} * \frac{(B-A)}{1000} * \frac{M_{Fe(II)}}{6} * \frac{200}{20} * 12 * \frac{1000}{M}$$

C = contenuto di carbonio organico, espresso in g x kg⁻¹

3/2 = rapporto molare della reazione di ossidoriduzione (2 moli di potassio bicromato reagiscono con 3moli di C)

B = volume della soluzione di ferro (II) solfato utilizzato nella titolazione della prova in bianco, espresso in mL

A = volume della soluzione di ferro (II) solfato utilizzato nella titolazione della soluzione del campione, espresso in mL

200 mL/20 mL = rapporto volumetrico

MFe(II) = molarità effettiva della soluzione di ferro (II) solfato

12 = peso atomico del carbonio, espresso in g x mole⁻¹

M = massa del campione di suolo, espressa in grammi

da cui

$$C = 30 * \frac{(B-A)}{M} * M_{Fe(II)}$$

3.3.4 Determinazione dell'N totale

La determinazione dell'N totale viene eseguita con il metodo Kjeldahl all'idrogeno perossido, mediante l'ossidazione del campione in acido solforico concentrato. Il contenuto di N totale nella soluzione surnatante

limpida potrà essere determinato per distillazione secondo Kjeldhal, con spettrofotometria manuale o colorimetria a flusso.

3.3.5 *Determinazione del fosforo assimilabile*

Il fosforo (P) è un elemento essenziale per lo sviluppo vegetativo, in ambienti naturali e antropizzati (Blake et al., 2005). La determinazione del fosforo assimilabile viene effettuata con il metodo Olsen, il contenuto di fosforo estratto con soluzione di sodio bicarbonato dal campione è analizzato allo spettrofotometro, il valore viene espresso in mg/kg.

Per il calcolo viene utilizzata l'espressione

$$C = (A-B) \frac{V1}{V2} * \frac{50}{M}$$

dove

C = contenuto di fosforo assimilabile presente nel suolo, espresso in mg kg⁻¹ A = concentrazione di fosforo nella soluzione del campione, espressa in mg x L⁻¹

B = concentrazione di fosforo nella soluzione della prova in bianco, espressa in mg x L⁻¹

V1 = volume dell'estratto (40 mL)

V2 = volume della soluzione del campione utilizzata per la determinazione colorimetrica M = massa del campione di suolo, espressa in grammi.

3.4 Rotazione culturale e lavorazioni

Nella Tabella 3-1 sono riportate le rotazioni culturali e le lavorazioni effettuate sui siti.

Tabella 3-1: Rotazioni culturali e lavorazioni

Azienda Agricola	Superficie (ha)			T0 - 2018/2019	T1 - 2019/2020		Lavorazioni
	BIO+	BIO	Totale	Cash crop	Cover crop	Cash crop	
LOV	1	0,5	1,5	Farro	<i>Mix_cc_07</i>	Girasole	Trinciatura Decompattatura Semina MIX07 su ripasso Trinciatura cover crop Erpicatura su sodo Erpicatura su ripasso Erpicatura su ripasso Strigliatura pesante Semina GIRASOLE Solchi acquai - prova con sensore di erosione Sarchiatura multipla + concime Raccolta
Terre Verdi	3	1	4	Grano Tenero	<i>Mix_cc_07</i>	Girasole	Strigliatura pesante Decompattatura Erpicatura su ripasso Semina MIX07 su ripasso Trinciatura cover crop Strigliatura pesante Erpicatura su sodo Erpicatura su ripasso Erpicatura su ripasso Erpicatura su ripasso Strigliatura pesante Semina GIRASOLE Solchi acquai

							Sarchiatura multipla Raccolta
Tenuta di Tavignano	3	1	4	Grano Tenero	<i>Mix_cc_07</i>	Girasole	Erpicatura su sodo Semina MIX07 su ripasso Trinciatura cover crop Strigliatura pesante Erpicatura su sodo Concimazione organica di fondo Erpicatura su ripasso Erpicatura su ripasso Strigliatura pesante Semina GIRASOLE Sarchiatura multipla Raccolta
LOV	1	3	4	Sorgo	<i>NO</i>	Favino	
Fileni	6	6	12	Pisello proteico	<i>NO</i>	Favino	
F.lli Bucci	4	4	8	Sorgo	<i>NO</i>	Favino	Trinciatura Strigliatura pesante Erpicatura su sodo Erpicatura su ripasso Semina FAVINO su ripasso Raccolta
Tenute Pieralisi	3	1	4	Incolto	<i>ECOPRO 03</i>	Sorgo	Erpicatura a dischi su sodo Erpicatura a dischi su ripasso Erpicatura su sodo Semina ECOPRO03 su ripasso Trinciatura cover crop Erpicatura a dischi su sodo Erpicatura a dischi su ripasso Concimazione organica di fondo Strigliatura pesante* Erpicatura su ripasso

Capitolo 4

RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 Risultati descrizioni morfologiche

Nella Tabella 4-1 sono riportate le descrizioni morfologiche dei due profili di suolo aperti nei diversi siti sia nella gestione BIO che BIO + al T0.

Tabella 4-1: General features and morphology of the soils under BIO and BIO + management in crop fields at LOV, Yesi Food, Tenute Pieralisi, Terre Verdi, Tenuta di Tavignano, Soc.Agr.Biologica Fileni, F.lli Bucci, Marche. For symbols see legend.

Average data for the period 1991-2015: mean annual precipitation, 979 mm; mean annual air temperature, 22.3°C; winter mean air temperature: 18.7°C; spring mean air temperature, 23.5°C; summer mean air temperature: 24.9°C;

Horizon ^a	Depth cm	Thickness	Boundary ^b	Color ^c	Texture ^d	Rock fragments %, by sight	Structure ^e	Consistence ^f	Roots ^g	Other observations ^h
FILENI (43°37'46"N, 13°20'38"E). Altitude: 12 m; parent rock: granitoid rock (possibly gneissic-granite).										
Crop field. Slope: 8 %; Exposure: S-SE; Management: field previously cultivated with spelt and actually worked with minimum tillage. Vegetation – bushes: none; herbaceous: Lolium perenne L., Cirsium arvense L, Convolvulus arvensis L., Triticum monococcum L., Daucus carota L.										
Soil: Inceptisols (Soil Survey Staff, 2014).										
BIO	Ap1	0-40	36-43	C, W	7.5YR 3/4	0	2f gr & f,m,co abk-sbk	m(fr)	3vf, 2f, 1m	CH (<1%), TU (termites)
	Bo1	40-55	11-18	C, W	7.5YR 4/6	0	3m,co sbk	m(fr)	2f, 1m	FMN, TU (termites)
	Bo2	55-100+	-	-	5YR 3/4	0	3m,co sbk	m(fr)	1f	FMN, TU (termites)
BIO+	Ap1	0-34	30-35	C, W	7.5YR 2.5/3	0	2m,co abk	m(fr)	2vf, 1f	
	Bo1	34-47	10-16	D, S	7.5YR 4/3	0	2f,m abk	m(fr)	2vf, 1f,m	Rare CH

Bo2 47-100+ - - 7.5YR 4/4 0 2f,m abk m(fr) 2vf 2f, 3m,co FMN

LOV sopra (43°24'58"N, 13°04'18"E). Altitude: 337m; parent rock: marleons cleiston and silty stone with interboded thin sand layers.

Crop field. Slope: 40 %; Exposure: S-SE; Management: field previously cultivated with spelt and actually worked with minimum tillage. Vegetation – bushes: none; herbaceous: Cynodon dactylon L., Rumex crispus L., Raphanus raphanistum L.

Soil: Vertisols (Soil Survey Staff, 2014).

BIO	Ap1	0-13	5-9	C, W	M 2,5YR4/3	sic	0	2vf,f,m, sbk	-	3 vf, f, m	Slickensides, rills, creep, RCR, RTH
	Ap2	13-45	8-13	C, W	M 2,5Y4/3	sic	0	2vf,f,m, sbk	-	3 vf	Slickensides, RCR, RTH, mottles
BIO +	Ap1	0-14	3-6	C, W	M 2,5YR4/3	sic	0	2vf, f, sbk,	-	3 vf, f	Slickensides
	Ap2	4-30+	-	C, W	M 2,5YR4/3	sic	0	2vf,fm sbk	m(fi), m(vfi)	3 vf	Slickensides

TERRE VERDI (43°24'41"N, 13°04'52"E). Altitude 260 m; parent rock: marleons cleiston and silty stone with interboded thin sand layers.

Crop field. Slope: 35%; Exposure: SE. Management: field previously cultivated with spelt and actually worked with minimum tillage. Vegetation – bushes: none; herbaceous: Cynodon dactylon L., Rumex crispus L., Raphanus raphanistum L.

Soil: Inceptisols (Soil Survey Staff, 2014).

BIO	Ap1	0-15	8-...	A, S	M 2,5Y5/3	sic	<2%	2vf,f,m sbk		3vf	
	Ap2	15-35	-	-	M 2,5Y5/3	sic	>10%	2vf,f,m sbk		3vf	Slickensides
	Ap3	30-60			2,5Y4/4	sic		2vf,f,m sbk		2vf	
BIO +	Ap1	0-15		A, W	M 2,5Y4/3	sic	<2%	2 vf, f, m, sbk,abk		3vf, f	
	Ap2	16-24		C, W	M 2,5Y4/4	sic	0	2 vf, f, m, sbk,abk		2 mi	compatta
	Bw	24-60		-	M 2,5Y3/3	sic	0	2 vf, f, m, sbk,abk		2 vf	Compatta,

TENUTE TAVIGNANO (43°27'23"N, 13°15'41"E). Altitude 200 m; parent rock: marleons cleiston and silty stone with interboded thin sand layers.

Crop field. Slope: 30%; Exposure: SE. Management: field previously cultivated with spelt and actually worked with minimum tillage. Vegetation – bushes: none; herbaceous: Cirsium arvense L., Brassica napus L., Daucus carota L.

Soil: Inceptisols (Soil Survey Staff, 2014).

BIO	Ap1	0-5	5-3	C, W	M 10YR5/4		<2%	3 m, f, vf, sbk		3 vf, f	
-----	-----	-----	-----	------	-----------	--	-----	-----------------	--	---------	--

BIO +	Ap2	5-11	6-4	C, W	M 10YR4/3		10%	3 co, vf, sbk		2 vf, f
	Ap3	11-33+	-	-	M 10YR5/3		10-15%	2 m, f, sbk, abk		2 vf, f
	Ap1	0-5	5	C, S	M 2,5YR5/4			3 m, vf, sbk		3 vf, f
	Ap2	5-29	-	-	M 2,5YR4/3			2 co, f, sbk		2 vf, f
	Ap3	29+								2 vf, f

LOV sotto (43°52'02"N, 13°04'42"E). Altitude 276 m; parent rock: marleons cleiston and silty stone with interbalded thin sand layers.

Crop field. Slope: 3%; Exposure: W. Management: field previously cultivated with spelt and actually worked with minimum tillage Vegetation – bushes: none; herbaceous: *Cynodon dactylon* L., *Rumex crispus* L., *Raphanus raphanistum* L.

Soil: Inceptisols (Soil Survey Staff, 2014).

BIO	Ap1	0-4	3-6	C, W	M 2,5YR4/3	sic	>45%	3 m, vf, sbk	m(fi)	3 vf, f	Slickensides, RCR
	Ap2	4-30+	7-17	C, W	M 2,5YR3/3	sic	>45%	2, 3 co, m, sbk	m(fi)	2 vf, f	Slickensides
BIO+	Ap1	0-5	3-6	C, W	M 2,5YR3/3	sic	50%	3 vf, f, sbk	m(fi)	3 vf, f	Slickensides, RCR
	Ap2	5-15+	7-9	C, W	M 2,5YR3/3	sic	50%	2 f, m, sbk, skb, akb vf	-	2 vf, f	Slickensides

F.LLI BUCCI (43°33'32"N, 13°03'27"E). Altitude 150 m; parent rock: marleons cleiston and silty stone with interbalded thin sand layers.

Crop field. Slope: 35%; Exposure: O-NO. Management: field previously cultivated with spelt and actually worked with minimum tillage Vegetation – bushes: none; herbaceous: *Brassica napus* L., *Rumex crispus* L., *Setaria italica* L.

Soil: Inceptisols (Soil Survey Staff, 2014).

BIO	Ap1	0-15	14-16	C,W	M 2,5YR5/3		-	2, 3 vf, f, m, co, sbk, abk	m(fi)	0	RCR, RTH
	Ap2	16+	-	C,W	M 2,5YR5/3		-	2 vf, f, m, co, sbk, abk	-	2 vf, f	Slickensides
BIO +	Ap1	0-6	2-7	C,W	M 2,5YR4/3		-	1 vf, f, m, sbk, abk	m(fi)	2 vf, f, co, vc	RCR, RTH
	Ap2	8-25	-	C,W	M 2,5YR5/3		-	1 vf, f, m, sbk, abk	-	2 vf, f	Slickensides

TENUTE PIERALISI (43°33'31"N, 13°03'22"E). Altitude 158 m; parent rock: marleons cleiston and silty stone with interbalded thin sand layers.

Crop field. Slope: 1%; Exposure: N. Management: field previously cultivated with spelt and actually worked with minimum tillage Vegetation – bushes: none; herbaceous: *Cynodon dactylon* L., *Rumex crispus* L.

Soil: Inceptisols (Soil Survey Staff, 2014).

BIO	Ap1	0-6	6-7	C, S	M 2,5YR5/6	-	3 m, vf, sbk	m(fr)	3 vf, f	-
	Ap2	6-16	9-7	C, W	M 2,5YR5/6	-	3 m, vf, sbk	-	3 vf, f, V ₁ m	popping
	Ap3	16-35+	-	-	M 2,5YR5/6	-	2 co, f, sbk, abk	-	3 vf, f	-
BIO +	Ap1	0-6	8-6	C, W	M 2,5YR5/6	-	3 vf, f, sbk	m(fr)	2 vf, f	-
	Ap2	6-30	-	-	M 2,5YR5/6	-	2 co, vf, sbk	m(fr)	2 vf, f	popping
	Ap3	30+	-	-	M 2,5YR5/6	-	2 co, f, sbk, abk	m(fr)	2 vf, f	-

YESI FOOD (43°28'33"N, 13°15'01"E). Altitude 130 m; parent rock: marleons cleiston and silty stone with interbalded thin sand layers.

Crop field. Slope: 27%; Exposure: S-SO. Management: field previously cultivated with spelt and actually worked with minimum tillage Vegetation – bushes: none; herbaceous: *Cynodon dactylon* L., *Rumex crispus* L., *Raphanus raphanistum* L.

Soil: Inceptisols (Soil Survey Staff, 2014).

BIO	Ap1	0-5	4-6	C, S	M 2,5YR5/6	-	3 f, vf, sbk	-	2 vf,	Slickensides, rills, creep, RCR, RTH
	Ap2	5-14	8-12	C, W	M 2,5YR5/4	5%	3 co, vf, sbk	m(fi)	3 vf, V ₁ f	Slickensides, RCR, RTH
BIO +	Ap1	0-4	3-4	C, W	M 10YR 6/3	-	3vf, m, sbk	-	2 vf	Slickensides, rills, creep, RCR, RTH
	Ap2	4-19	6-10	C, W	M 10YR 6/3	5%	1co, vf, sbk	m(fi)	V ₁ vf, f	Slickensides, RCR, RTH

^b C=clear, D=diffuse; S=smooth, W=wavy

^c moist and crushed, according to the Munsell Soil Color Charts.

^d ls=loamy sand; sl=sandy loam, scl=sandy clay loam, l=loam.

^e 0=structureless, 1=weak, 2=moderate, 3=strong; f=fine, m=medium, co=coarse, vc=very coarse; abk=angular blocky, sbk=sub-angular blocky.

^f m(vfr)=very friable with moist soil, m(fr)=friable with moist soil, m(fi)=firm with moist soil.

^g 0=absent, 1=few, 2=common, 3=many; vf=very fine, f=fine, m=medium, co=coarse.

^h CH=charcoal fragments; QUA= quartz fragments; F3M= masses of oxidized iron Fe⁺³; FMN= iron-manganese nodules; TU= tunnels/tubular pores produced by ants/termites.

Le descrizioni morfologiche dei suoli condotte durante i rilievi pedologici, hanno evidenziato un ridotto spessore degli orizzonti descritti e dei profili dei suoli di tutte le aziende, il loro colore è tendenzialmente chiaro, la tessitura fine, la struttura tendenzialmente subangolare, la distribuzione delle radici a volte è scarsa,

come lo scheletro. In alcuni casi, come riportato a margine, sono state osservate screziature, compattamenti negli orizzonti Ap2 e Bw (Tavignano) e in alcuni casi slickensides e crepacciature.

4.2 Risultati analisi fisico-chimiche dei suoli

Nella Tabella 4-2 sottostanti sono presentati i valori mediati della tessitura, pH, carbonio organico totale (TOC), azoto totale (Total N) e fosforo disponibile (Available P) degli orizzonti al tempo T0 e tempo T1 sia in BIO che in BIO + di ogni campione.

Tabella 4-2: Mean values of physicochemical properties for genetic horizons under BIO and BIO+ management in all the studied locations . Numbers in parentheses are the standard deviations

Horizons	Particle-size distribution			pH	TOC	Total N	Available P	
	Sand	Silt	Clay					
		g kg ⁻¹			g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	
LOV (alto)								
T0								
BIO	Ap1	148(25)	444(7)	409(18)	8.21(0.07)	15.25(0.78)	1.25(0)	15.30(4)
	Ap2	134(23)	448(25)	419(2)	8.29(0.03)	15.80(0.28)	1.18(0.04)	10(2)
BIO +	Ap1	131(13)	463(9)	407(4)	8.18(0)	14.85(0.21)	1.40(0.07)	11(0)
	Ap2	143(4)	450(1)	407(3)	8.35(0.06)	16.65(0.35)	1.01(0.04)	5.35(1)
T1								
BIO	Ap1	/	/	/	8.13	9.7	1.05	1.05
	Ap2	/	/	/	8.23	7.55	17.3	17.3
BIO +	Ap1	/	/	/	8.07	10.4	1.05	1.05
	Ap2	/	/	/	8.22	8.6	17.3	17.3

YesiFood

					T0			
BIO	Ap1	58(11)	461(18)	482(29)	8.22(0.05)	14.45(0.68)	0.75(0)	10(0)
	Ap2	96(11)	440(9)	465(1)	8.28(0.03)	14.80(0.42)	0.83(0.11)	9(0)
BIO +	Ap1	50(1)	485(18)	466(18)	8.08(0.13)	16.25(1.06)	0.88(0.11)	12(3)
	Ap2	57(26)	474(43)	470(15)	8.23(0.01)	15.00(5.09)	0.80(0.07)	7(2)
					T1			
BIO	Ap1	/	/	/	8.04(0.05)	7.15(0.78)	0.90(0.14)	6.50(0.42)
	Ap2	/	/	/	8.29(0)	5.90(0.42)	0.78(0.04)	4.85(1.48)
	Ap3	/	/	/	8.35(0.02)	6.13(0.04)	0.75(0.07)	5.05(1.34)
	Bw	/	/	/	8.37(0.07)	5.05(1.63)	0.68(0.11)	4.30(0)
BIO+	Ap1	/	/	/	0,04	7.88(0.32)	0.98(0.04)	13(2)
	Ap2	/	/	/	0,03	6.30(0)	0.80(0.07)	8(2)
	Ap3	/	/	/	0,01	5.85(0.21)	0.75(0)	7(0)
	Ap4	/	/	/	0,01	5.90(0.42)	0.75(0)	8(1)

Tenute Perialisi

					T0			
BIO	Ap1	453(22)	303(31)	245(9)	6.29(0.24)	16.80(0.28)	0.73(0.04)	30(4)
	Ap2	492(30)	279(16)	230(14)	6.13(0.02)	16.70(0.42)	0.85(0.07)	32(5)
	Bw	488(37)	286(6)	227(31)	6.36(0.01)	17.50(0.42)	0.65(0.01)	28(6)
BIO+	Ap1	453(22)	275(15)	213(1)	6.36(0.06)	16.95(0.07)	0.70(0.01)	73(33)
	Ap2	492(30)	313(6)	214(15)	6.17(0.22)	16.90(0.57)	0.80(0.07)	58(23)
	Bw	488(37)	293(14)	216(2)	6.35(0.06)	17.60(0.14)	0.65(0.01)	52(29)
					T1			
BIO	Ap1	/	/	/	7.05(0.22)	10.43(1.80)	0.93(0.11)	61.05(29)

	Ap2	/	/	/	6.95(0.25)	8.20(0.71)	0.75(0.14)	62.60(27)
	Bw	/	/	/	6.62	7.4	0.75	79.9
BIO+	Ap1	/	/	/	6.67(0.11)	9.05(1.63)	0.95(0.14)	38.00(29)
	Ap2	/	/	/	6.83(0.30)	8.20(1.13)	0.78(0.18)	38.05(11)
	Ap3	/	/	/	6.85	8.2	0.75	28.7

LOV (basso)

T0

BIO	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/
BIO+	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/
	/	/	/	/	/	/	/	/

T1

BIO	Ap1	307(36)	357(24)	337(12)	7.76(0.01)	25.55(0.92)	2.83(0.11)	31.3(9)
	Ap2	309(2)	327(3)	365(1)	7.94(0.01)	19.85(1.77)	1.98(0.18)	14(1)
BIO+	Ap1	287(35)	371(2)	343(33)	7.74(0.04)	28.55(7.28)	3.03(0.88)	53(32)
	Ap2	295(22)	317(1)	389(21)	7.87(0.09)	24(5)	2.53(0.74)	7.2(37)
	Bw	260(44)	335(25)	405(18)	7.96(0.06)	18.9(2.12)	1.95(0.49)	5.8(7)

TERRE VERDI

T0

BIO	Ap1	202(4)	430(28)	369(24)	8.00(0.01)	14.30(0.01)	1.63(0.04)	33(2)
	Ap2	234(30)	405(1)	362(32)	8.06(0.06)	14.50(0.28)	6.50(7)	23(1)
	Bw	230(26)	400(11)	371(37)	8.18(0.01)	14.15(0.21)	1.23(0.11)	10(1)

BIO +	Ap1	198(1)	427(17)	375(18)	8.00(0.11)	14.80(1.98)	1.80(0.28)	17(5)
	Ap2	189(11)	416(10)	396(1)	8.10(0.05)	14.45(0.78)	1.53(0.11)	9(1)
	Bw	177(6)	405(33)	419(40)	8.19(0.03)	15.80(1.41)	1.18(0.46)	6(6)
BIO	Ap1	/	/	/	T1 8.02580.08)	9.93(0.67)	1.2(0)	22.5(5)
	Ap2	/	/	/	8.12(0.06)	9.65(2.33)	1.1(0.21)	12.2(11)
	Bw	/	/	/	7.81(0.03)	13.4(1.70)	1.5(0.14)	24.25(10)
BIO +	Ap1	/	/	/	7.96(0)	12.420.87)	1.49(0.12)	15.59(10)
	Ap2	/	/	/	8.08(0.01)	10.95(0.78)	1.28(0.04)	6.15(5)
	Bw	/	/	/				
TENUTA DI TAVIGNANO								
BIO	Ap1	180(7)	481(1)	340(6)	T0 8.24(0.13)	13.10(2.97)	1.08(0.11)	6(0)
	Ap2	149(17)	476(15)	376(32)	8.21(0.01)	16.00(0.71)	1.00(0)	4(0)
	Bw	153(2)	464(24)	384(22)	8.34(0.03)	12.40(0.57)	0.93(0.04)	3(0)
BIO +	Ap1	205(15)	408(23)	388(8)	8.21(0.06)	15.45(1.06)	1.08(0.04)	5(0)
	Ap2	183(22)	413(2)	405(20)	8.30(0.01)	16.20(0.42)	1.08(0.04)	4(2)
	Bw	192(23)	404(18)	405(6)	8.29(0.01)	16.35(0.49)	0.95(0.07)	3(0)
BIO	Ap1	/	/	/	T1 8.15(0.02)	10.5(2.40)	1.15(0.21)	4(1)
	Ap2	/	/	/	8.17(0.01)	8.6(0.07)	0.93(0.04)	2(0)
	Bw	/	/	/	8.16(0.03)	8.7(0.39)	1(0.07)	1(0)
BIO +	Ap1	/	/	/	7.89(0.05)	14.6(1.84)	1.42(0.18)	5(0)
	Ap2	/	/	/	8.07(0.03)	9.55(1.48)	1.03(0.11)	1(0)

FILENI								
T0								
BIO	Ap1	180(7)	481(1)	340(6)	8.24(0.13)	13.10(2.97)	1.08(0.11)	6(0)
	Ap2	149(17)	476(15)	376(32)	8.21(0.01)	16.00(0.71)	1.00(0)	4(0)
	Bw	153(2)	464(24)	384(22)	8.34(0.03)	12.40(0.57)	0.93(0.04)	3(0)
BIO +	Ap1	205(15)	408(23)	388(8)	8.21(0.06)	15.45(1.06)	1.08(0.04)	5(0)
	Ap2	183(22)	413(2)	405(20)	8.30(0.01)	16.20(0.42)	1.08(0.04)	4(2)
	Bw	192(23)	404(18)	405(6)	8.29(0.01)	16.35(0.49)	0.95(0.07)	3(0)
BIO	Ap1	/	/	/	8.13	9.7	1.05	17.3
	Ap2	/	/	/	8.23	7.55	0.85	7
	Bw	/	/	/	8.33	5.7	0.7	5.8
BIO +	Ap1	/	/	/	8.07	10.4	1.05	15
	Ap2	/	/	/	8.22	8.6	0.85	7.2
FRATELLI BUCCI								
BIO	Ap1	85(16)	443(6)	473(11)	8.07(0.05)	14.00(2.83)	0.78(0.04)	5(5)
	Ap2	109(4)	414(18)	478(22)	8.16(0.05)	13.95(0.07)	0.68(0.04)	3(0)
BIO +	Ap1	94(11)	443(14)	463(3)	7.93(0.05)	15.60(2.12)	0.95(0.07)	9(0)
	Ap2	86(57)	442(31)	472(25)	8.00(0.04)	15.50(1.70)	0.88(0.04)	7(0)
BIO	Ap1	/	/	/	8.01(0.17)	6.00(0.42)	0.90(0.07)	8.75(1)

	Ap2	/	/	/	8,38(0.03)	5,20(0.28)	0,70(0.07)	3,85(3)
	Bw	/	/	/	8,47(0.02)	5,10(0.42)	0,80(0.07)	1,90(1)
BIO +	Ap1	/	/	/	7,87(0.04)	9,80(1.98)	1,08(0.04)	11,15(1.48)
	Ap2	/	/	/	8,21(0.05)	5,83(0.11)	0,80(0)	2,15(1.06)
	Bw	/	/	/	8,34(0.06)	5,48(0.67)	0,78(0.11)	0,55(0.64)

Standard deviation, n = 2.

Nella tabella 4-2 osserviamo come le analisi condotte hanno evidenziato tessiture limoso-argillose e raramente argilloso limose, valori di pH sub-alcalini-alcalini, medio contenuto di carbonio organico e scarsa disponibilità di fosforo.

Non è stata possibile al momento una ripetizione delle analisi e quindi una elaborazione statistica dei risultati.

4.3 Risultati VSA suolo e coltura

Nella Tabella 4-3 vediamo riassunti i valori risultanti dall'utilizzo del metodo VSA sia per il suolo che per la pianta.

Tabella 4-3: Rotazioni colturali e lavorazioni

Anno 2019/2020	T0				T1			
	SUOLO		PIANTA		SUOLO		PIANTA	
	BIO	BIO +	BIO	BIO +	BIO	BIO +	BIO	BIO +
PIERALISI Sorgo	36 medio	37 buono	29 medio	31 medio	36 medio	36 medio	23 medio	26 medio
BUCCI Favino	22 medio	13 scarso	37 buono	37 buono	22 medio	13 scarso	37 buono	37 buono
LOV alto Girasole	17 scarso	16 scarso	21 medio	22 medio	11 scarso	10 scarso	19 scarso	20 medio
YESI FOOD Avena	20 medio		39 buono					
LOV basso Favino	39 buono	31 medio	21 medio	18 scarso	34 medio	34 medio	22 medio	18 scarso
TERRE VERDI Girasole	29 medio	27 medio	35 medio	29 medio	29 medio	27 medio	29 medio	30 medio
TAVIGNANO Girasole	44 buono	41 medio	42 buono	34 medio	43 buono	46 buono	37 buono	30 medio

FILENI
Grano tenero

Osservando la Tabella 4-3 relativa alla VSA possiamo osservare come nella maggior parte dei casi sia stata ottenuta una valutazione da medio a buono, confermata da un buon rendimento della coltura. In alcuni casi però sono stati ottenuti dei punteggi scarsi: nell'azienda Bucci la gestione BIO+ ha avuto una valutazione scarsa per il suolo in entrambi i casi, i suoli dell'azienda LOV alto, hanno riportato un punteggio scarso in entrambe le gestioni ed anche la coltura, nell'azienda LOV basso, la coltura del favino è stata valutata negativamente nella gestione BIO+.

4.4 Discussione dei risultati

Al momento lo studio condotto sui suoli delle aziende non ha ancora messo in luce grosse differenze sugli effetti delle due differenti gestioni del suolo (BIO e BIO+) adottate nel progetto.

Le osservazioni condotte hanno evidenziato puntualmente le problematiche presenti: i suoli considerati risultano suoli difficili, caratterizzati da tessiture fini, con scarso contenuto in sostanza organica e con difficoltà di strutturazione.

In alcuni casi sono stati evidenziati problemi di eccessivo compattamento, di vertisolizzazione e di entisolizzazione.

Il compattamento è stato attribuito all'uso di una macchina decompattatrice, non adatta al tipo di suolo, la vertisolizzazione evidenziata da larghe crepacciature lungo alcuni profili, sono da attribuire alle caratteristiche mineralogiche intrinseche del suolo, ricco in smectite nella frazione argillosa, e pertanto soggetto a comportamento vertico

La forte riduzione dello spessore dei suoli, nota in pedologia come processo di entisolizzazione, è favorita dall'erosione idrica che minaccia fortemente i suoli in questione, in particolare nell'azienda LOV, come dimostrato nell'ambito dello stesso progetto dalle misure di suolo perduto ottenute grazie ad opportuni strumenti.

L'utilizzo delle cover crops al momento sembrerebbe avere effetti limitati se non addirittura nulli e ciò potrebbe essere attribuito alle difficili caratteristiche morfologiche e chimiche verificate al T0, che hanno evidentemente limitato il possibile effetto migliorativo delle cover crops.

Certamente il periodo di monitoraggio valutato è ancora breve per riscontrare incrementi nel contenuto in carbonio organico, processo per il quale le tempistiche sono piuttosto lente.

Le valutazioni ottenute con la VSA hanno però permesso di avere informazioni utili sullo stato di salute del suolo e delle colture.

CONCLUSIONI

In conclusione possiamo dire che l'applicazione del metodo di valutazione VSA si è dimostrato uno strumento relativamente rapido e utile nel monitoraggio della qualità del suolo e della produzione.

I risultati che abbiamo ottenuto dalla sua applicazione in questo lavoro, ci hanno permesso di evidenziare i punti critici dei caratteri morfologici, fisici e chimici dei suoli delle aziende coinvolte e i primi effetti delle due gestioni sulla loro fertilità fisica, chimica e biologica.

Sono in corso anche le valutazioni sulle rese delle colture che al momento sono state valutate solo in campo, e saranno completate con dati quantitativi in attesa delle misure sul raccolto.

Nel complesso riteniamo che l'applicazione di questo metodo affiancato al rilievo pedologico possa rappresentare un valido aiuto nel monitoraggio della qualità dei suoli.

BIBLIOGRAFIA

- Abbas, Z., Akmal, M., Khan, K.S., 2014. Effect of buctril super (Bromoxynil) herbicide on soil microbial biomass and bacterial population. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 57, 9-14.
- Abbasi, M.K., Tahir, M.M., Sabir, N., Khurshid, M., 2015. Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization?immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions. *Solid Earth* 6, 197-205.
- Acuna, J., Villamil, M.B., 2014. Short-term effects of cover crops and compaction on soil properties and soybean production in Illinois. *Agron. J.* 106, 860-870.
- Adetunji, A.T., Lewu, F.B., Mulidzi, R., Ncube, B., 2017. The biological activities of β - glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 17, 794-807.
- Alonso-Ayuso, M., Gabriel, J.L., Quemada, M., 2014. The kill date as a management tool for cover cropping success. *PLoS One* 9, e109587.
- Appelgate, S.R., Lenssen, A.W., Wiedenhoef, M.H., Kaspar, T.C., 2017. Cover crop options and mixes for upper Midwest corn-soybean systems. *Agron. J.* 109, 968-984.
- Arango, L., Buddrus-Schiemann, K., Opelt, K., Lueders, T., Haesler, F., Schmid, M., Ernst, D., Hartmann, A., 2014. Effects of glyphosate on the bacterial community associated with roots of transgenic Roundup Ready® soybean. *Eur. J. Soil Biol.* 63, 41-48.
- Ashford, D.L., Reeves, D.W., 2003. Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crops. *Am. J. Alternative Agric.* 18, 37-45.
- Bačmaga, M., Kucharski, J., Wyszowska, J., 2015. Microbial and enzymatic activity of soil contaminated with azoxystrobin. *Environ. Monit. Assess.* 187, 615.
- Baležentienė, L., 2012. Hydrolases related to C and N cycles and soil fertility amendment: responses to different management styles of agro-ecosystems. *Pol. J. Environ. Stud.* 21, 1153-1159.
- Balkcom, K.S., Duzy, L.M., Kornecki, T.S., Price, A.J., 2015. Timing of cover crop termination: management considerations for the Southeast. *Crop Forage Turfgrass Manage.* 1.
- Benedict, C., Cogger, C.G., Andrews, N., 2014. *Methods for Successful Cover Crop Management in your Home Garden.* Washington State University Extension.
- Benitez, M.-S., Taheri, W.I., Lehman, R.M., 2016. Selection of fungi by candidate cover crops. *Agric., Ecosyst. Environ., Appl. Soil Ecol.* 103, 72-82.

Bilbro, J., Hargrove, W., 1991. Cover crops for wind erosion control in semiarid regions. Cover crops for clean water. Proceedings of an International Conference West Tennessee Experiment Station, Jackson, TN 9-11 April.

Blanco-Canqui, H., Mikha, M.M., Presley, D.R., Claassen, M.M., 2011. Addition of cover crops enhances no-till potential for improving soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75, 1471-1482.

Blanco-Canqui, H., Claassen, M., Presley, D., 2012. Summer cover crops fix nitrogen, increase crop yield, and improve soil-crop relationships. *Agron. J.* 104, 137-147.

Blanco-Canqui, H., Holman, J.D., Schlegel, A.J., Tatarko, J., Shaver, T.M., 2013a. Replacing fallow with cover crops in a semiarid soil: effects on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 1026-1034.

Blanco-Canqui, H., Shapiro, C.A., Wortmann, C.S., Drijber, R.A., Mamo, M., Shaver, T.M., Ferguson, R.B., 2013b. Soil organic carbon: the value to soil properties. *J. Soil Water Conserv.* 68, 129A-134A.

Blanco-Canqui, H., Shaver, T.M., Lindquist, J.L., Shapiro, C.A., Elmore, R.W., Francis, C.A., Hergert, G.W., 2015. Cover crops and ecosystem services: insights from studies in temperate soils. *Agron. J.* 107, 2449-2474.

Borowik, A., Wyszowska, J., Kucharski, J., Baćmaga, M., Tomkiel, M., 2017. Response of microorganisms and enzymes to soil contamination with a mixture of terbuthylazine, mesotrione, and S-metolachlor. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 1910-1925.

Brandt, S., 1996. Alternatives to summerfallow and subsequent wheat and barley yield on a dark brown soil. *Can. J. Plant Sci.* 76, 223-228.

Çerçioğlu, M., Anderson, S.H., Udawatta, R.P., Alagele, S., 2019. Effect of cover crop management on soil hydraulic properties. *Geoderma* 343, 247-253.

Cherni, A.E., Trabelsi, D., Chebil, S., Barhoumi, F., Rodríguez-Llorente, I.D., Zribi, K., 2015. Effect of glyphosate on enzymatic activities, Rhizobiaceae and total bacterial communities in an agricultural Tunisian soil. *Water Air Soil Pollut.* 226, 145.

Clark, A., Meisinger, J., Decker, A., Mulford, F., 2007. Effects of a grass-selective herbicide in a vetch-rye cover crop system on corn grain yield and soil moisture. *Agron. J.* 99, 43-48.

Cline, G.R., Silvernail, A.F., 2002. Effects of cover crops, nitrogen, and tillage on sweet corn. *HortTechnology* 12, 118-125.

Colazo, J.C., Buschiazzo, D.E., 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159, 228-236.

Cornelius, C.D., Bradley, K.W., 2017. Herbicide programs for the termination of various cover crop species. *Weed Technol.* 31, 514-522.

Crandall, S., Ruffo, M., Bollero, G., 2005. Cropping system and nitrogen dynamics under a cereal winter cover crop preceding corn. *Plant Soil* 268, 209-219.

Creamer, N.G., Dabney, S.M., 2002. Killing cover crops mechanically: review of recent literature and assessment of new research results. *Am. J. Alternative Agric.* 17, 32-40.

Dabney, S., Delgado, J., Reeves, D., 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32, 1221–1250.

Dabney, S.M., Delgado, J.A., Meisinger, J.J., Schomberg, H.H., Liebig, M.A., Kaspar, T., Mitchell, J., Reeves, W., 2010. Using cover crops and cropping systems for nitrogen management. In: Delgado, J.A., Follett, R. (Eds.), *Advances in Nitrogen Management for Water Quality*. Soil water conservation society, Ankeny, Iowa.

De Baets, S., Poesen, J., Meersmans, J., Serlet, L., 2011. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena* 85, 237–244.

Detheridge, A.P., Brand, G., Fychan, R., Crotty, F.V., Sanderson, R., Griffith, G.W., Marley, C.L., 2016. The legacy effect of cover crops on soil fungal populations in a cereal rotation. *Agric. Ecosyst. Environ.* 228, 49–61.

Drury, C.F., Tan, C.-S., Welacky, T.W., Oloya, T.O., Hamill, A.S., Weaver, S.E., 1999. Red clover and tillage influence on soil temperature, water content, and corn emergence. *Agron. J.* 91, 101–108.

Du, Z., Xie, Y., Hu, L., Hu, L., Xu, S., Li, D., Wang, G., Fu, J., 2014. Effects of Fertilization and Clipping on Carbon, Nitrogen Storage, and Soil Microbial Activity in a Natural Grassland in Southern China.

Dube, E., Chiduza, C., Muchaonyerwa, P., 2012. Conservation agriculture effects on soil organic matter on a Haplic Cambisol after four years of maize–oat and maize–grazing vetch rotations in South Africa. *Soil Tillage Res.* 123, 21–28.

Dube, E., Chiduza, C., Muchaonyerwa, P., 2014. High biomass yielding winter cover crops can improve phosphorus availability in soil. *S. Afr. J. Sci.* 110, 01–04.

Elfstrand, S., Båth, B., Mårtensson, A., 2007. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. *Agric., Ecosyst. Environ., Appl. Soil Ecol.* 36, 70–82.

Faé, G.S., Sulc, R.M., Barker, D.J., Dick, R.P., Eastridge, M.L., Lorenz, N., 2009. Integrating winter annual forages into a no-till corn silage system. *Agron. J.* 101, 1286–1296.

Fageria, N., Baligar, V., Bailey, B., 2005. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36, 2733–2757.

Fernandez, A.L., Sheaffer, C.C., Wyse, D.L., Staley, C., Gould, T.J., Sadowsky, M.J., 2016. Associations between soil bacterial community structure and nutrient cycling functions in long-term organic farm soils following cover crop and organic fertilizer amendment. *Sci. Total Environ.* 566, 949–959.

Finney, D., Buyer, J., Kaye, J., 2017. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. *J. Soil Water Conserv.* 72, 361–373.

Fortuna, A., Blevins, R., Frye, W., Grove, J., Cornelius, P., 2008. Sustaining soil quality with legumes in no-tillage systems. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39, 1680–1699.

- Fourie, J., Agenbag, G., Louw, P., 2007. Cover crop management in a Chardonnay/99 Richter vineyard in the coastal region, South Africa. 3. Effect of different cover crops and cover crop management practices on organic matter and macro-nutrient content of a medium-textured soil. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 28, 61.
- García-Orenes, F., Guerrero, C., Roldán, A., Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Campoy, M., Zornoza, R., Bárcenas, G., Caravaca, F., 2010. Soil microbial biomass and activity under different agricultural management systems in a semiarid Mediterranean agroecosystem. *Soil Tillage Res.* 109, 110–115.
- Haney, R., Senseman, S., Hons, F., 2002. Effect of Roundup Ultra on microbial activity and biomass from selected soils. *J. Environ. Qual.* 31, 730–735.
- Hassink, J., Whitmore, A.P., 1997. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 131–139.
- Haynes, R., Swift, R., Stephen, R., 1991. Influence of mixed cropping rotations (pastureable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil Tillage Res.* 19, 77–87.
- Hoerlein, G., 1994. Glufosinate (phosphinothricin), a natural amino acid with unexpected herbicidal properties. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* Springer.
- Huber, D., 2007. Strategies to ameliorate glyphosate immobilization of Mn and its impact on disease. *Phytopathology Amer Phytopathological Soc* 3340 Pilot Knob Road, St Paul, MN 55121 USA, S168-S168.
- Imparato, V., Santos, S.S., Johansen, A., Geisen, S., Winding, A., 2016. Stimulation of bacteria and protists in rhizosphere of glyphosate-treated barley. *Agric., Ecosyst. Environ., Appl. Soil Ecol.* 98, 47–55.
- Jani, A.D., Grossman, J., Smyth, T.J., Hu, S., 2016. Winter legume cover-crop root decomposition and N release dynamics under disking and roller-crimping termination approaches. *Renew. Agr. Food Syst* 31, 214–229.
- Kabir, Z., Koide, R., 2000. The effect of dandelion or a cover crop on mycorrhiza inoculum potential, soil aggregation and yield of maize. *Agric. Ecosyst. Environ.* 78, 167–174.
- Kahimba, F., Ranjan, R.S., Froese, J., Entz, M., Nason, R., 2008. Cover crop effects on infiltration, soil temperature, and soil moisture distribution in the Canadian Prairies. *Appl. Eng. Agric.* 24, 321–333.
- Kaspar, T., Singer, J., 2011. The use of cover crops to manage soil. In: Hatfield, J., Sauer, T. (Eds.), *Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture Agriculture Agriculture.* SSSA., Madison, WI.
- Kaspar, T., Radke, J., Laflen, J., 2001. Small grain cover crops and wheel traffic effects on infiltration, runoff, and erosion. *J. Soil Water Conserv.* 56, 160–164.
- Keene, C., Curran, W., Wallace, J., Ryan, M., Mirsky, S., Vangessel, M., Barbercheck, M., 2017. Cover crop termination timing is critical in organic rotational no-till systems. *Agron. J.* 109, 272–282.
- Keisling, T., Scott, H., Waddle, B., Williams, W., Frans, R., 1994. Winter cover crops influence on cotton yield and selected soil properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25, 3087–3100.
- Kornecki, T., Price, A., Raper, R., Arriaga, F., 2009. New roller crimper concepts for mechanical termination of cover crops in conservation agriculture. *Renew. Agr. Food Syst* 24, 165–173.

- Krueger, E.S., Ochsner, T.E., Porter, P.M., Baker, J.M., 2011. Winter rye cover crop management influences on soil water, soil nitrate, and corn development. *Agron. J.* 103, 316–323.
- Kujur, M., Kumar Patel, A., 2014. Kinetics of soil enzyme activities under different ecosystems: an index of soil quality. *Chil. J. Agric. Res.* 74, 96–104.
- Lane, M., Lorenz, N., Saxena, J., Ramsier, C., Dick, R.P., 2012. Microbial activity, community structure and potassium dynamics in rhizosphere soil of soybean plants treated with glyphosate. *Pedobiologia* 55, 153–159.
- Lehman, R.M., Cambardella, C.A., Stott, D.E., Acosta-Martinez, V., Manter, D.K., Buyer, J.S., Maul, J.E., Smith, J.L., Collins, H.P., Halvorson, J.J., 2015. Understanding and enhancing soil biological health: the solution for reversing soil degradation. *Sustainability* 7, 988–1027.
- Liu, A., Ma, B., Bomke, A., 2005. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69, 2041–2048.
- Lupwayi, N.Z., Larney, F.J., Blackshaw, R.E., Kanashiro, D.A., Pearson, D.C., Petri, R.M., 2017. Pyrosequencing reveals profiles of soil bacterial communities after 12 years of conservation management on irrigated crop rotations. *Agric., Ecosyst. Environ., Appl. Soil Ecol.* 121, 65–73. cropping systems using meta-analytic methods. *Crop Sci.* 45, 2318–2329.
- Mirsky, S.B., Curran, W.S., Mortensen, D.A., Ryan, M.R., Shumway, D.L., 2009. Control of cereal rye with a roller/crimper as influenced by cover crop phenology. *Agron. J.* 101, 1589–1596.
- Mirsky, S., Curran, W., Mortensen, D., Ryany, M., Shumway, D., 2011. Timing of covercrop management effects on weed suppression in no-till planted soybean using a roller-crimper. *Weed Sci.* 59, 380–389.
- Mischler, R., Duiker, S.W., Curran, W.S., Wilson, D., 2010. Hairy vetch management for no-till organic corn production. *Agron. J.* 102, 355–362.
- Monahan, S., Cummings, E., Harwood, H., Madden, R., 2012. Cover crop termination & reduced tillage study. In: Vermont, U.O. (Ed.), *Northwest Crops and Soils Program*. University of Vermont Libraries, Vermont.
- Moncada, K.M., Sheaffer, C.C., 2010. *Winter Cover Crops. Risk Management Guide for Organic Producers*. University of Minnesota.
- Morse, R., 2001. No-herbicide, no-till summer broccoli—quantity of rye and hairy vetch mulch on weed suppression and crop yield. *Proc. 24th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*, Oklahoma City, OK 85–94.
- Murungu, F.S., Chiduzza, C., Muchaonyerwa, P., Mkeni, P.N., 2011. Decomposition, nitrogen, and phosphorus mineralization from residues of summer-grown cover crops and suitability for a smallholder farming system in South Africa. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 42, 2461–2472.
- Muzangwa, L., Chiduzza, C., Muchaonyerwa, P., 2015. Bicultures of oat (*Avena sativa*) and grazing vetch (*Vicia dasycarpa*) regulate residue decomposition, nitrogen and phosphorus dynamics, and weed suppression in maize. *Int. J. Agric. Biol.* 17.

- Neumann, G., Kohls, S., Landsberg, E., Stock-Oliveira Souza, K., Yamada, T., Romheld, V., 2006. Relevance of glyphosate transfer to non-target plants via the rhizosphere. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz-Sonderheft* 20, 963.
- Newman, Y., Wright, D., Mackowiak, C., Scholberg, J., Cherr, C., 2007. Benefits of Cover Crops for Soil Health. University of Florida IFAS Extension, SS AGR. 272.
- Newman, M.M., Hoilett, N., Lorenz, N., Dick, R.P., Liles, M.R., Ramsier, C., Kloepper, J.W., 2016. Glyphosate effects on soil rhizosphere-associated bacterial communities. *Sci. Total Environ.* 543, 155–160.
- Nielsen, D.C., Lyon, D.J., Hergert, G.W., Higgins, R.K., Holman, J.D., 2015. Cover crop biomass production and water use in the Central Great Plains. *Agron. J.* 107, 2047–2058.
- O'reilly, K.A., Lauzon, J.D., Vyn, R.J., Van Eerd, L.L., 2012. Nitrogen cycling, profit margins and sweet corn yield under fall cover crop systems. *Can. J. Soil Sci.* 92, 353–365.
- Olson, K., Ebelhar, S.A., Lang, J.M., 2014. Long-term effects of cover crops on crop yields, soil organic carbon stocks and sequestration. *Open J of Soil Sc.* 4, 284.
- Palhano, M.G., Norsworthy, J.K., Barber, T., 2018. Evaluation of chemical termination options for cover crops. *Weed Technol.* 32, 227–235.
- Parr, M., Grossman, J., Reberg-Horton, S., Brinton, C., Crozier, C., 2011. Nitrogen delivery from legume cover crops in no-till organic corn production. *Agron. J.* 103, 1578–1590.
- Paul, E.A., 2007. Soil microbiology, ecology, and biochemistry in perspective. In: Paul, E.A. (Ed.), *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, third ed. Elsevier, San Diego, CA.
- Poeplau, C., Don, A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 33–41.
- Quemada, M., Baranski, M., Nobel-De Lange, M., Vallejo, A., Cooper, J., 2013. Metaanalysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield. *Agric. Ecosyst. Environ.* 174, 1–10.
- Ranells, N.N., Wagger, M.G., 1996. Nitrogen release from grass and legume cover crop monocultures and bicultures. *Agron. J.* 88, 777–882.
- Reeves, D., 1994. Cover crops and rotations. In: Hatfield, J.L., Stewart, B.A. (Eds.), *Crop Residue Management. Adv. Soil Sci.* Lewis Publ., Boca Raton, FL, pp. 125–172.
- Rojas, M., Van Eerd, L., O'halloran, I., Sikkema, P., Robinson, D., 2016. Effect of herbicide residues on fall-seeded cover crops influence soil aggregate stability and mineral N. *Can. J. Plant Sci.* 97, 411–423.
- Rosario-Lebron, A., Leslie, A., Chen, G., Hooks, C., 2018. The effect of barley cover crop residue and herbicide management on the foliar arthropod community in No-Till soybeans. *Agronomy* 8, 87.
- Ruis, S., Blanco-Canqui, H., Jasa, P.J., Ferguson, R., Slater, G., 2017. Can cover crop use allow increased levels of corn residue removal for biofuel in irrigated and rainfed systems? *Bioenergy Res.* 10, 992–1004.
- Saini, M., Price, A.J., Van Santen, E., Arriaga, F.J., Balkcom, K.S., Raper, R.L., 2008. Planting and Termination Dates Affect Winter Cover Crop Biomass in a Conservationtillage Corn-cotton Rotation:

Implications for Weed Control and Yield. Southern Conservation Agricultural Systems, Tifton, GA, USA, pp. 137–141.

Sainju, U., Singh, B., Whitehead, W., 2000. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen and tomato yield. *Can. J. Soil Sci.* 80, 523–532.

Sainju, U., Singh, B., Whitehead, W., 2002. Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia. USA. *Soil Tillage Res.* 63, 167–179.

Sainju, U., Whitehead, W., Singh, B., 2003. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. *Can. J. Soil Sci.* 83, 155–165.

Shepherd, T. G., Stagnari, F., Pisante, M. and Benites, J. 2008 *chiamato Visual Soil Assessment– Field guide for wheat*

Schomberg, H.H., Wietholter, S., Griffin, T.S., Reeves, D.W., Cabrera, M.L., Fisher, D.S.,

Endale, D.M., Novak, J.M., Balkcom, K.S., Raper, R.L., 2009. Assessing indices for predicting potential nitrogen mineralization in soils under different management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 1575–1586.

Seo, J.-H., Lee, H.-J., Hur, I.-B., Kim, S.-J., Kim, C.-K., Jo, H.-S., 2000. Use of hairy vetch green manure as nitrogen fertilizer for corn production. *Korean J. Crop Sci.* 45, 294–299.

Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C.S., Brar, A.S., Grover, K.K., Dia, M., Steiner, R.L., 2018. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture—a review paper. *Am. J. Plant Sci.* 9, 1935.

Shekinah, D.E., Stute, J.K., 2018. Sunn Hemp: A Legume Cover Crop with Potential for the Midwest? *Sustain. Agric. Res.* 7, 63–69.

Snapp, S., Swinton, S., Labarta, R., Mutch, D., Black, J., Leep, R., Nyiraneza, J., O’neil, K., 2005. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agron. J.* 97, 322–332.

Soriano, M.-A., Álvarez, S., Landa, B.B., Gómez, J.A., 2014. Soil properties in organic olive orchards following different weed management in a rolling landscape of Andalusia. Spain. *Renew. Agr. Food Syst* 29, 83–91.

Stipešević, B., Kladvik, E.J., 2005. Effects of winter wheat cover crop desiccation times on soil moisture, temperature and early maize growth. *Plant Soil Environ.* 51,255–261.

Sullivan, D.M., Andrews, N., 2012. Estimating plant-available nitrogen release from cover crops. Oregon State University Extension Service.

Teasdale, J.R., Coffman, C.B., Mangum, R.W., 2007. Potential long-term benefits of no-tillage and organic cropping systems for grain production and soil improvement.

Agron. J. 99, 1297–1305.

Thilakarathna, M.S., Serran, S., Lauzon, J., Janovicek, K., Deen, B., 2015. Management of manure nitrogen using cover crops. *Agron. J.* 107, 1595–10607.

Thorup-Kristensen, K., 2006. Effect of deep and shallow root systems on the dynamics of soil inorganic N during 3-year crop rotations. *Plant Soil* 288, 233–248.

- Tiemann, L., Grandy, A., Atkinson, E., Marin- Spiotta, E., Mcdaniel, M., 2015. Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. *Ecol. Lett.* 18, 761–771.
- Tosti, G., Benincasa, P., Farneselli, M., Pace, R., Tei, F., Guiducci, M., Thorup-Kristensen, K., 2012. Green manuring effect of pure and mixed barley–hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition. *Eur. J. Agron.* 43, 136–146.
- Treadwell, D., Creamer, N., Baldwin, K., 2010. An Introduction to Cover Crop Species for Organic Farming Systems. Cornell University Cooperative Extension. <http://www.extension.org/pages/18542/an-introduction-to-cover-cropspecies-for-organicfarming-systems>.
- Vaughan, J.D., Hoyt, G.D., Wollum, A.G., 2000. Cover crop nitrogen availability to conventional and no- till corn: soil mineral nitrogen, corn nitrogen status, and corn yield. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 31, 1017–1041.
- Villamil, M., Bollero, G., Darmody, R., Simmons, F., Bullock, D., 2006. No-till corn/soybean systems including winter cover crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1936–1944.
- Wagger, M., Cabrera, M., Ranells, N., 1998. Nitrogen and carbon cycling in relation to cover crop residue quality. *J. Soil Water Conserv.* 53, 214–218.
- Wayman, S., Cogger, C., Benedict, C., Burke, I., Collins, D., Bary, A., 2015. The influence of cover crop variety, termination timing and termination method on mulch, weed cover and soil nitrate in reduced-tillage organic systems. *Renew. Agr. Food Syst* 30, 450–460.
- Weaver, M.A., Krutz, L.J., Zablotowicz, R.M., Reddy, K.N., 2007. Effects of glyphosate on soil microbial communities and its mineralization in a Mississippi soil. *Pest Manage. Sci.* 63, 388–393.
- Wortman, S.E., Francis, C.A., Bernard, M.A., Blankenship, E.E., Lindquist, J.L., 2013. Mechanical termination of diverse cover crop mixtures for improved weed suppression in organic cropping systems. *Weed Sci.* 61, 162–170.
- Xiao, L., Yao, K., Li, P., Liu, Y., Chang, E., Zhang, Y., Zhu, T., 2020. Increased soil aggregate stability is strongly correlated with root and soil properties along a gradient of secondary succession on the Loess Plateau. *Ecol. Eng.* 143, 105671.
- Yaduvanshi, N., Sharma, D., 2008. Tillage and residual organic manures/chemical amendment effects on soil organic matter and yield of wheat under sodic water irrigation. *Soil Tillage Res.* 98, 11–16.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14, 415–421.