

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

VISUAL SOIL ASSESSMENT (VSA) IN VIGNETO,
ESEMPI E INTERESSE APPLICATIVO PER IL
MIGLIORAMENTO DELLE STRATEGIE DI GESTIONE
DEL VIGNETO

Relatore:

Prof.ssa Silvia Quaggiotti

Correlatore:

Dott. Marco Tonni

Laureando:

Martina Zeneri

Matricola:

2040562

ANNO ACCADEMICO 2022 – 2023

SOMMARIO

RIASSUNTO

ABSTRACT

1	INTRODUZIONE	1
1.1	IL SUOLO	1
1.1.1	Le 8 minacce del suolo	2
1.1.2	Gli indicatori di minaccia per il suolo	3
1.1.3	Il suolo e i cambiamenti climatici.....	5
1.1.4	Il ciclo del carbonio per far fronte ai cambiamenti climatici	6
1.2	LA QUALITÀ DEL SUOLO	8
1.3	IL SUOLO E LA SUA PEDOGENESI.....	9
1.3.1	I caratteri morfologici del suolo	9
1.3.2	Le caratteristiche fisico-chimiche e morfologiche del suolo.....	10
1.3.3	Le analisi chimico-fisiche del suolo	16
1.3.4	La sostanza organica del suolo	21
1.3.5	Le frazioni della sostanza organica	23
1.3.6	La biodiversità del suolo.....	26
1.4	LA RADICE E LA RIZOSFERA.....	27
1.5	L'IMPORTANZA DEL SUOLO IN VITICOLTURA	29
1.6	VSA: VISUAL SOIL ASSESSMENT	30
1.7	INDAGINE BIOPASS.....	31
2	SCOPO DELLA TESI.....	33
3	MATERIALI E METODI.....	35
3.1	Il metodo VSA	35
3.2	Il punteggio visivo	35
3.3	Gli indicatori del suolo del metodo VSA.....	36
3.3.1	Il calcolo del punteggio complessivo VSA	44

3.3.2	L'area di indagine	45
4	RISULTATI E DISCUSSIONE	47
4.1	Dati analizzati e possibili indicazioni di utilità agronomica	47
4.1.1	Struttura e porosità.....	55
4.1.2	Il colore.....	58
4.1.3	Presenza di suola di lavorazione.....	61
4.1.4	Approfondimento radicale.....	62
4.2	Elementi di indagine aggiuntivi.....	63
4.2.1	Dati analisi chimico-fisiche.....	64
4.2.2	Confronto tra tessitura a vista VSA e tessitura reale delle analisi chimico-fisiche.....	72
4.2.3	Contenuto in rame	72
4.2.4	Rapporto tra magnesio e potassio.....	73
4.2.5	Contenuto in fosforo P ₂ O ₅	73
5	CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	75
6	BIBLIOGRAFIA.....	77
7	SITOGRAFIA.....	85

RIASSUNTO

Il suolo è un sistema aperto, una risorsa naturale non rinnovabile, formatosi per attività di numerosi processi fisici, chimici e biologici che hanno agito contemporaneamente o in sequenza nel corso del tempo. La crescita delle piante è determinata dalle proprietà del suolo che assicurano condizioni idonee per lo svolgimento delle attività fisiologiche delle radici e quindi il sostentamento delle piante stesse. Nell'ottica di un'agricoltura sostenibile, la gestione del suolo deve avere come obiettivo quello di migliorarne nel complesso la qualità.

In viticoltura, i suoli hanno una grande influenza sulle prestazioni della coltura e sulla qualità del vino, poiché il suolo è una componente centrale del terroir. Di conseguenza i suoli dei vigneti vanno studiati in relazione al loro potenziale impatto sullo sviluppo della vite e sulla maturazione dei frutti. La necessità di concentrarsi sul sistema suolo nasce dal fatto che, essendo l'ambiente che ospita le radici, deve essere in una buona condizione per garantire una ottimale attività radicale.

Il Visual Soil Assessment (VSA) è un metodo di valutazione proposto dalla FAO nel 2008, che è stato utilizzato come base di riferimento per i rilievi condotti per questo studio. Il metodo è basato sul concetto che le proprietà fisiche dei suoli sono vitali per la sostenibilità ecologica ed economica dei vigneti.

Questa analisi permette di valutare lo stato attuale del suolo, e in combinazione con altre indagini come le analisi chimico-fisiche e di biodiversità, consente di ottenere una visione multidisciplinare e approfondita di alcune delle interazioni tra ambiente, suolo e pianta, utile per la pianificazione delle future strategie di gestione.

Lo studio è stato condotto nelle zone viticole Lugana DOC e Valtènesi DOC a sud del Lago di Garda, e in altre aree viticole italiane. Ha permesso di acquisire informazioni di dettaglio sullo stato fisico e strutturale dei suoli e sullo sviluppo radicale, consentendo una migliore comprensione delle loro qualità funzionali e delineando una prima mappatura dei vigneti secondo il metodo VSA.

ABSTRACT

Soil is an open system, a non-renewable natural resource, defined by the activities of numerous physical, chemical and biological processes that act and interact simultaneously or sequentially over time. The growth of plants is determined by the properties of the soil that ensure suitable conditions for their development and for physiological activities of the roots, thus enabling the sustenance of the plants themselves. With a view to sustainable agriculture, soil management must aim to improve overall quality.

In viticulture, soils have a great influence on both the performance of the crop and the quality of the wine, because soil is a central component of terroir. Consequently, the soils of vineyards must be studied in relation to their potential impact on the development of the vine and the ripening of the fruits. The need to focus on the soil system arises from the fact that, being the environment that houses the roots, it must be in a good condition to ensure optimal root activity.

The Visual Soil Assessment (VSA) is an assessment method proposed by FAO in 2008, which has been used as a basis for the surveys conducted for this study. The method is based on the concept that the physical properties of soils are vital for the ecological and economic sustainability of vineyards.

This analysis allows to evaluate the current state of soil and future management approaches and strategies, and in combination with other investigations such as chemical-physical analysis and biodiversity, allows to get a multidisciplinary and in-depth view of some of the interactions between environment, soil and plant.

The study was conducted in the Lugana DOC and Valtènesi DOC wine-growing zones located in the south area of Lake Garda, and in other Italian wine-growing areas. It allowed to acquire detailed information on the physical and structural state of the soils and on the root development. The analyses carried out ensure a better understanding of the soil functional quality and outline a first mapping of the vineyards according to the VSA method.

1 INTRODUZIONE

1.1 IL SUOLO

Il suolo costituisce il mezzo nutritivo per la pianta; da esso, attraverso l'apparato radicale, la pianta assorbe i nutrienti presenti in forma assimilabile.

Nel corso delle varie epoche storiche il suolo è stato definito in modi differenti in base alle conoscenze possedute. Alla fine del XIX secolo Vasilij Dokuchaev, considerato il fondatore della pedologia, la scienza che studia i terreni dal punto di vista agrario e geologico, parlò del suolo come “di un'entità tridimensionale situata sulla superficie terrestre con morfologia e proprietà fisiche, chimiche e biologiche uniche acquisite dall'interazione, nel tempo, tra organismi vivi e morti, rocce e clima in una data posizione topografica”.

A più di un secolo di distanza il Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) dà la seguente definizione di suolo: “il suolo è un corpo naturale, composto da solidi (minerali e sostanza organica), liquidi e gas, posto sulla superficie terrestre ed avente una delle seguenti caratteristiche o entrambe: 1) è costituito da “orizzonti”, strati orizzontali sovrapposti differenziatisi dal materiale di partenza in seguito a fenomeni di acquisto, perdita, trasferimento, o trasformazione di sostanze e/o 2) può sostenere la crescita di piante superiori in un ambiente naturale”.

L'Agenzia Europea per l'Ambiente nel 2019 definisce per la prima volta il suolo come un organismo vivente complesso e dinamico, come una riserva di biodiversità all'interno del quale si trova all'incirca un terzo di tutti gli organismi viventi.

Il suolo, definito anche pedosfera, si trova all'interfaccia tra litosfera, idrosfera, atmosfera e biosfera. Caratterizzato da una flora e da una fauna, è il mezzo di crescita per le piante e la base della vita degli animali.

Ha anche altre funzioni sia di tipo ecologico, come la produzione di biomassa, l'approvvigionamento alimentare, la purificazione delle acque e il sequestro del carbonio; sia funzioni di tipo socio-economico, come il supporto agli insediamenti umani ed essere fonte di materie prime (*Figura 1.1*).

Il suolo funge anche da riserva d'acqua essenziale per le piante e i microrganismi terrestri e da mezzo purificante attraverso il quale passa l'acqua (Doran e Parkin, 1994).

Soil function	Description
Production	Capacity to produce biomass
Water storage and quality	Capacity to store precipitation water and filter for soil pollutants
Carbon storage	Capacity to store and stabilise SOC
Nutrient cycling	i. Capacity to provide nutrients from mineral and organic soil resources in available form (nutrient mobilisation capacity) ii. The capacity to store mobile nutrients within the root zone to avoid losses by leaching and gaseous emissions (nutrient buffering capacity)
Habitat for biological activity	Provision of a species (gene) pool that can buffer ecosystem functions against species extinction (assumption: loss of soil function is more likely with low species diversity in each functional group)

Figura 1.1: Importanti funzioni del suolo.

FONTE: Soil Report - Agenzia Europea Ambiente, 2023

Le pratiche di gestione del suolo come la lavorazione del terreno, i modelli di coltivazione e la fertilizzazione influenzano la qualità dell'acqua e la qualità dell'atmosfera attraverso cambiamenti nella capacità del suolo di produrre e/o consumare importanti gas atmosferici (Doran e Parkin, 1994).

1.1.1 Le 8 minacce del suolo

Tramite la Direttiva quadro per la protezione del suolo C.E. 22/09/2006 l'Unione Europea ha definito le 8 minacce del suolo:

- Erosione idrica ed eolica
- Impoverimento della sostanza organica
- Contaminazione ed inquinamento
- Consumo di suolo (impermeabilizzazione in seguito ad urbanizzazione e industrializzazione)
- Compattamento e altre forme di degradazione fisica (croste superficiali impermeabilizzazione)
- Perdita di produttività e biodiversità
- Salinizzazione e sodicizzazione
- Frane e smottamenti

Come messo in luce da questi 8 problemi prioritari, l'attività antropica continua quindi ad interferire e modificare la morfologia e la salute del suolo aumentando la sua impermeabilizzazione per espansione dell'attività urbana, nonché la compattazione e l'inquinamento a causa di un'agricoltura sempre più intensiva, che sostituisce, tramite il disboscamento, la vegetazione selvatica con quella coltivata e minaccia la microfauna con l'utilizzo di prodotti fitosanitari e fertilizzanti di sintesi.

Inoltre, secondo dati FAO, per soddisfare il fabbisogno mondiale di alimenti la produzione complessiva dovrebbe aumentare del 50% entro il 2030 e raddoppiare entro il 2050. Aumentare la produttività significa aumentare gli input come l'uso di fertilizzanti, la quantità di acqua richiesta e le lavorazioni meccaniche che modificano gli strati superficiali del suolo. In considerazione di ciò la coltivazione delle colture agrarie deve perseguire un obiettivo sostenibile al fine di ridurre il consumo di suolo, migliorare la sua qualità e proteggerne la biodiversità.

1.1.2 Gli indicatori di minaccia per il suolo

L'Agenzia Europea per l'Ambiente oltre a definire le 8 minacce per il suolo ha anche identificato degli indicatori comuni che permettono di monitorare e valutare la condizione dei suoli. Tramite questi indicatori soglia possono essere definite, con successo delle adeguate pratiche di gestione sostenibile che vanno a ripristinare suoli degenerati.

Gli indicatori si basano sui parametri fisici, chimici e biologici del suolo provenienti dalle reti di monitoraggio. Concentrandosi su obiettivi specifici, tramite l'applicazione di questi indicatori, è possibile valutare l'impatto del degrado del suolo sui servizi ecosistemici (Soil Report EEA, 2023). Il monitoraggio dei suoli serve a misurare il degrado derivante da una gestione non sostenibile e dal cambiamento climatico, e al contempo il successo delle pratiche di ripristino per una gestione sostenibile del suolo. Un suolo sano, non degradato non supera nessuna delle soglie riportate nella tabella sottostante (EEA, 2023) (*Figura 1.2a e 1.2b*).

Monitoring level	Level I	Level II	Level III
Soil threat		As for level I, and also	As for levels I and II, and also
Soil organic carbon loss	SOC and mineral carbon Total (organic) nitrogen C:N ratio Bulk density (derived with PTF) Texture class, stone content	SOC fractions Bioavailability of nutrients and pollutants GHG emissions Physical parameters (measured)	Refined local SOC monitoring Management types SOC cycling at ecosystem level (input/output)
Soil nutrient loss	Agricultural soils: • Total N, mineral N • Total P, available P: Pox/Al+Feox • Available K Non-agricultural soils: • C:N ratio, base saturation	Agricultural soils: • Cation exchange capacity • Base saturation Non-agricultural soils: • Soil solution concentrations	Agricultural soils: • Minor nutrients Non-agricultural soils: • As for level II

Figura 1.2a: Sintesi degli indicatori di minaccia per il suolo.

Soil acidification	Agricultural soils: • pH, clay content, SOC	As for soil nutrient loss	As for soil nutrient loss
	Non-agricultural soils: • pH, cation exchange capacity, base saturation		
Soil pollution	Total element concentrations (aqua regia extractable fraction of heavy metals)	Specific soil testing, e.g. reactive or available fractions, plastics, antimicrobials	Very specific contamination problems, e.g. radionuclides, military contamination, large chemical facilities
	Natural background (at least at a subset of sampling points)	Balancing (inputs-outputs, e.g. modelling) to estimate/ validate accumulation	Site-specific risk assessment tools to predict actual and future effects (of specific risks such as food quality)
	Organic compounds, such as persistent organic pollutants		
Soil biodiversity loss	Earthworms and Collembola	Parameters targeting functional diversity and DNA-based genetic diversity	Parameters describing complex biological functions (e.g. respiration, N and C mineralisation, microbial biomass)
Soil erosion (see also Table 7.4)	Modelling (using data on land cover/land use, geomorphological data, national soil data, rainfall)	Mapping visible soil erosion features	Monitoring (measurements) of soil erosion (sediment loads):
		Details on land use (e.g. ground cover)	<ul style="list-style-type: none"> • Plot scale • Catchment scale • Sediment deposition in ponds, lakes or reservoirs
Soil compaction (see also Table 8.3)	Precompression stress (PTF)	All basic soil parameters for PTFs are measured	Tensiometer, sensors at representative subplots
	Soil rigidity ratio (PTF)		
	Penetration resistance (PTF)		
	Morphological features		Stress-dependent measurements
	Soil organic matter (measured)		
Saturated hydraulic conductivity, air capacity, plant available water capacity (PTF)		As for level II, but with great sampling depth and more subsamples	
Soil texture/coarse fragments/ CaCO ₃ (estimated)			
Rooting (estimated)			

Figura 1.2b: Sintesi degli indicatori di minaccia per il suolo. L'obiettivo del monitoraggio del suolo nel contesto della strategia dell'UE per il suolo per il 2030 è quello di individuare i suoli sani e quelli malsani (degradati). Si possono distinguere tre intensità di campionamento: Livello I: siti in cui vengono misurati tutti i parametri generali, ad esempio rilievi su larga scala del suolo superficiale, con un laboratorio centrale; Livello II: indagini e monitoraggio di parametri specifici e minacce al suolo, ad esempio tipi di erosione, biodiversità del suolo; Livello III: relativo a problemi molto specifici, ad esempio radionuclidi, siti militari, decontaminazione di specifici residui industriali, 'punti caldi' di processi antropogenici o naturali.

FONTE: Soil Report - Agenzia Europea Ambiente, 2023

1.1.3 Il suolo e i cambiamenti climatici

Il suolo si forma naturalmente ad un tasso medio di 1 mm ogni 200-400 anni (12 t/ha/y), ma i suoli agricoli si degradano da 10 a 40 volte più velocemente di quanto vengano ripristinati naturalmente. Un profilo di suolo si sviluppa in tempi lunghi per gli umani, ma brevi per il pianeta (2000 - 10000 anni). Il suolo presenta quindi un tasso di formazione molto lento in tempi molto lunghi che permette di definire il suolo stesso una risorsa non rinnovabile. Ciò significa che la quantità di suolo persa tramite processi di degrado non è ripristinabile seguendo una scala temporale umana (Sequi *et al.*, 2017).

Come riportato da molti enti di ricerca europei i cambiamenti climatici hanno un forte impatto sulla degenerazione del suolo, che assieme ai processi pedogenetici che avvengono di continuo, ne modificano le caratteristiche e le proprietà (Figura 1.3).

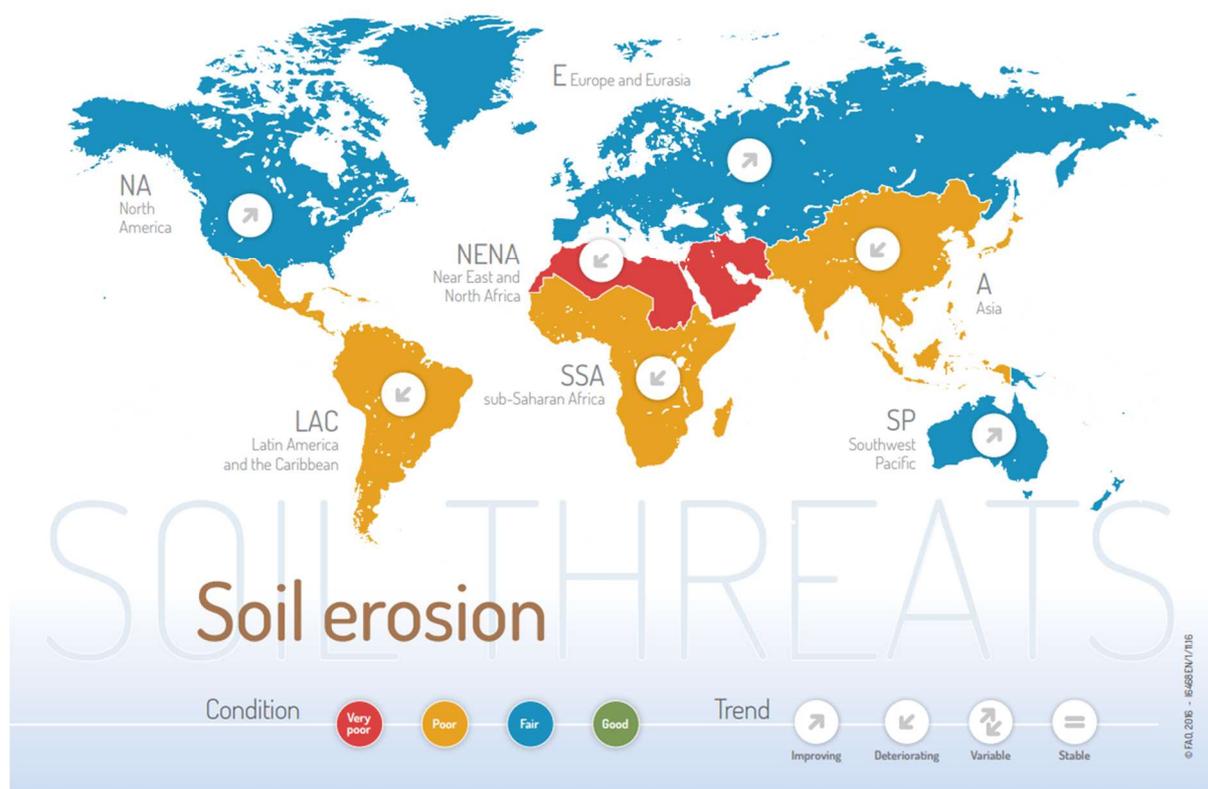


Figura 1.3: Erosione del suolo. Si stima che ogni anno dalle 20 alle 30 Gt (miliardi di tonnellate) di suolo vengano erose dall'acqua, 5 Gt dalla lavorazione del terreno e 2 Gt dal vento sui terreni coltivabili. Se l'attuale tendenza all'erosione del suolo rimane invariata, si prevede che il potenziale di produzione annuale totale sarà ridotto del 10% entro il 2050.

FONTE: Food and Agriculture Organization, 2016

La degenerazione del suolo è un processo tramite il quale avvengono cambiamenti nelle proprietà chimiche, fisiche e biologiche, che portano alla perdita completa o in parte delle capacità produttive di un suolo agricolo (Colombo *et al.*, 2011).

Negli ultimi decenni, per esempio, si è osservata la riduzione dell'umidità del suolo nell'area mediterranea, che ha inevitabilmente comportato la necessità di maggiori interventi irrigui, e la desertificazione di aree prima agricole che ora diventano non più disponibili per la coltivazione.

Inoltre l'erosione, accentuata da piogge estremamente intense che si verificano in tempi ristretti, porta alla rimozione della parte superficiale del suolo ricca di sostanze organiche, fino all'allontanamento della parte di suolo coltivabile in terreni non particolarmente profondi e strutturati (ISPRA, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente). L'erosione idrica, che colpisce circa un terzo delle superfici coltivate, viene oggi considerata la causa principale della degenerazione dei suoli (Colombo *et al.*, 2011).

1.1.4 Il ciclo del carbonio per far fronte ai cambiamenti climatici

Nonostante quanto sopra descritto, il suolo può svolgere un'importante funzione di mitigazione del cambiamento climatico diminuendo le emissioni di gas serra rilasciate nell'atmosfera grazie al processo di sequestro del carbonio (FAO, 2015). Il suolo infatti contiene quantità significative di carbonio, che possono, poi, essere rilasciate nell'atmosfera a seconda di come viene utilizzato e gestito (EEA, 2019).

Il ciclo del carbonio riguarda lo scambio di carbonio tra la geosfera, l'idrosfera, la biosfera e l'atmosfera. L'anidride carbonica presente in quest'ultima viene assorbita dalle piante e "sequestrata" nel suolo sotto forma di sostanza organica. In questo modo la quantità di CO₂ presente in atmosfera diminuisce e viene convertita in carbonio organico che aumenta a sua volta la sostanza organica presente nel terreno, rendendolo più fertile, e garantisce al contempo un miglioramento della qualità dei suoli.

Si stima che tramite il processo di sequestro del carbonio il suolo possa asportare dall'atmosfera fino a 20 PgC (petagrammi di carbonio) in 25 anni, pari al 10% delle emissioni di gas serra rilasciate nell'aria dall'attività antropica (FAO, 2015).

L'adozione di pratiche agricole sostenibili e la rigenerazione dei terreni degradati può portare alla diminuzione della presenza di gas serra prodotti dall'agricoltura e rilasciati nell'atmosfera, favorendo in parte la mitigazione dei cambiamenti climatici. Inoltre, il carbonio

organico derivante dal ciclo di sequestro del carbonio aumenta la capacità del terreno di trattenere l'umidità, prevenendo l'erosione e la desertificazione e aumentando contemporaneamente la biodiversità dell'ecosistema.

1.2 LA QUALITÀ DEL SUOLO

Una componente importante della valutazione del suolo è la sua qualità, con l'identificazione di un insieme di attributi specifici che riflettono la sua capacità di funzionare e che possono essere utilizzati come indicatori della qualità del suolo. La qualità del suolo può essere valutata sia per gli ecosistemi naturali, dove gli scopi principali sono il mantenimento della qualità ambientale e la conservazione della biodiversità, sia per gli agroecosistemi, dove il servizio principale, ma non esclusivo, è la produttività (Cataldo *et al.*, 2021).

La qualità del suolo viene definita da Doran e Parkin nel 1996 come "la capacità di un suolo di funzionare all'interno dei confini dell'ecosistema per sostenere la produttività biologica, mantenere la qualità ambientale e promuovere la salute delle piante e degli animali". Valutare la qualità del suolo significa identificare una serie di fattori specifici che danno indicazioni sulla capacità del suolo di poter sostenere specifici obiettivi agricoli, primo fra tutti la produttività (Andrès *et al.*, 2022).

La qualità di un suolo dipende essenzialmente dalla sua funzione e rappresenta l'insieme delle sue proprietà fisiche, chimiche e biologiche, le quali forniscono un mezzo per la crescita delle piante e regolano e ripartiscono il flusso dell'acqua nell'ambiente. La qualità del suolo influisce direttamente sulla produttività di un ecosistema e sugli ambienti ad esso correlati. Valutare la qualità del suolo ha un ruolo fondamentale per determinare la sostenibilità dei sistemi di gestione agricola adottati per gestire il territorio. Valutare e rilevare i cambiamenti nella componente dinamica del suolo, e quindi comprendere i vari livelli di qualità del suolo, è essenziale per valutarne le prestazioni e la sostenibilità (Doran e Parkin, 1994).

La qualità del suolo viene solitamente valutata tramite indicatori chimici, fisici e biologici. In viticoltura solitamente si analizza il pH, la disponibilità dei principali nutrienti, il contenuto di sostanza organica e la capacità di ritenzione idrica del suolo (Cataldo *et al.*, 2021).

La valutazione e il monitoraggio della qualità del suolo devono anche offrire l'opportunità di valutare e riprogettare i sistemi di gestione del suolo e del territorio ai fini della sostenibilità (Doran e Parkin, 1994).

Nel presente elaborato si valuterà la qualità del suolo secondo il metodo del Visual Soil Assessment proposto dalla FAO nel 2008 e in base all'indagine Biopass di Sata Studio Agronomico Soc. Benefit (Brescia), che considerano numerosi aspetti delle caratteristiche chimico-fisiche, strutturali e biologiche del terreno.

1.3 IL SUOLO E LA SUA PEDOGENESI

1.3.1 I caratteri morfologici del suolo

Il suolo è un sistema aperto che subisce modifiche e cambiamenti in seguito all'interazione che esso ha con altre componenti come il clima, la vegetazione, le rocce e la presenza di microrganismi. Si tratta di un sistema complesso, in continua evoluzione, che subisce processi pedogenetici, ovvero una serie di fenomeni che agiscono modificando le componenti del suolo stesso.

La struttura del suolo controlla a sua volta molti processi, come la ritenzione idrica e l'infiltrazione, gli scambi gassosi, la materia organica e la dinamica dei nutrienti, la penetrazione delle radici e la suscettibilità all'erosione (Rabot *et al.*, 2018).

Comprendere le caratteristiche del suolo e i suoi processi di formazione ed evoluzione permette di capire al meglio come le azioni dell'uomo hanno interferito con la sua struttura e come varia la composizione del suolo in aree agricole differenti.

Il suolo costituisce la pedosfera, ovvero la parte più superficiale della crosta terrestre in cui le radici delle piante penetrano e trovano nutrimento e sostegno. Lo studio del suolo nel suo complesso viene fatto valutando la variabilità orizzontale e la variabilità verticale.

La variabilità orizzontale si riferisce a variazioni delle caratteristiche del suolo che si verificano in prossimità della superficie, mentre quella verticale fa riferimento a modifiche verticali nella composizione del suolo. Analizzare la variabilità verticale del suolo consente di rilevarne il profilo, una sezione verticale, dalla quale si possono osservare le caratteristiche degli orizzonti che lo costituiscono.

L'orizzonte è uno strato di suolo approssimativamente parallelo alla superficie terrestre caratterizzato da omogeneità morfologica nel suo insieme e da caratteristiche differenti dall'orizzonte successivo e dal precedente. Con il termine omogeneità morfologica ci si riferisce ad un'omogeneità nelle caratteristiche fisiche e chimiche del suolo.

Nella nomenclatura pedologica corrente gli orizzonti vengono indicati mediante l'uso di lettere maiuscole e possono essere di tipo:

- *Orizzonte O*. Orizzonte superficiale in cui domina la sostanza organica.

- *Orizzonte A.* Orizzonte interessato da un accumulo di sostanza organica decomposta, ha una componente prevalentemente minerale. Presenta una colorazione più scura degli altri orizzonti ed ha una struttura tipicamente granulata o grumosa.
- *Orizzonte B.* Orizzonte minerale di illuviazione, di accumulo di sostanze organiche e minerali. Si identifica con un cambiamento di colore o di struttura.
- *Orizzonte C.* Orizzonte minerale che mantiene molte caratteristiche del substrato che ha dato origine al suolo.
- *Orizzonte E.* Orizzonte di eluviazione, impoverito di alcune componenti colloidali che si sono accumulate nell'orizzonte sottostante.

1.3.2 Le caratteristiche fisico-chimiche e morfologiche del suolo

La crescita delle piante è determinata essenzialmente dalle proprietà fisiche e chimiche del suolo.

Le proprietà fisiche assicurano le condizioni idonee a sostenere le diverse entità vegetali, l'ambiente adatto a garantire lo svolgimento ottimale delle attività fisiologiche delle radici, nonché i caratteri indispensabili a trattenere l'acqua, a favorirne l'infiltrazione ed evitarne il ristagno, necessari ad assicurare la presenza di ossigeno ed impedire l'accumulo di anidride carbonica. Le proprietà fisiche del suolo riguardano la tessitura, la struttura e la porosità.

Le proprietà chimiche definiscono invece la concentrazione dei nutrienti e le condizioni che ne consentono la disponibilità per le piante.

Tra le caratteristiche del suolo di interesse agrario viene preso in considerazione molto spesso anche il colore.

Il colore

Il colore è un elemento diagnostico nella classificazione del suolo ed è la prima caratteristica che si osserva durante un'analisi. I fattori che influenzano il colore del suolo sono la presenza di sostanza organica, il contenuto di acqua e i composti come gli ossidi e gli idrossidi di ferro e manganese. La sostanza organica dona al suolo una colorazione scura indice di fertilità, di una buona presenza di nutrienti e di un ottimale stato di aggregazione.

In generale, più il colore è scuro, maggiore è la quantità di sostanza organica nel terreno. Un cambiamento di colore può fornire un'indicazione generale di un cambiamento nella sostanza organica in un particolare uso o gestione del suolo (FAO 2008).

Il colore del suolo può anche essere un utile indicatore del drenaggio del suolo e del grado di aerazione del suolo. Oltre alla sostanza organica, il colore del suolo è influenzato notevolmente dalla forma chimica.

La presenza di ossidi di ferro rende il suolo di colore tendente al rosso, mentre in ambienti caratterizzati da scarsa aerazione e ridotto drenaggio dell'acqua, la presenza di composti ridotti del ferro cede al suolo una tinta bluastra e grigio-verdastra (Sequi *et al.*, 2017).

In questi casi si sviluppano gli orizzonti *gley*, ovvero ricchi di argilla, dove si possono osservare delle screziature, aree di colore grigio dove il ferro è stato rimosso dal minimo movimento dell'acqua o si trova allo stato ridotto (Sequi *et al.*, 2017). Questi terreni risultano inadeguati alla crescita delle radici.

Il colore rappresenta quindi la proprietà morfologica più evidente e più facilmente valutabile in campo, con valore diagnostico in quanto espressione di diverse condizioni del terreno.

La tessitura e la granulometria

Il suolo è costituito da una componente inorganica solida, di dimensioni diverse che viene analizzata tramite un'analisi granulometrica. La tessitura invece indica la classificazione del terreno in base alla composizione delle sue particelle solide distinte in classi granulometriche. Questa proprietà è importante per lo studio dei suoli perché ne condiziona sensibilmente le proprietà fisico-meccaniche e chimiche.

La tessitura del suolo è una delle sue proprietà più importanti, sia perché non varia nel tempo, sia perché fornisce molte indicazioni sulla genesi del suolo e sulle sue caratteristiche funzionali, quali:

- La capacità di scambio cationico
- L'erosibilità del suolo
- La capacità di campo
- La risalita capillare
- La penetrazione radicale
- La compattazione del suolo
- L'aerazione del suolo

Il sistema di classificazione maggiormente utilizzato è quello proposto dallo United States Department of Agriculture (USDA). La frazione di terreno sottoposta a tessitura viene definita

terra fine, mentre lo scheletro è la parte di suolo costituita da particelle con dimensioni maggiori di 2 mm di diametro.

In base a questo sistema le particelle del suolo che compongono la frazione di terra fine sono suddivise in (Figura 1.4):

- Sabbia, con particelle di diametro tra 2 e 0,05 mm. Le particelle di sabbia sono visibili a occhio. I suoli sabbiosi sono poveri di nutrienti per le piante, presentano un'elevata capacità di drenaggio e una scarsa ritenzione dell'acqua.
- Limo, con particelle di diametro tra 0,05 e 0,002 mm. Le particelle di limo non sono visibili ad occhio nudo. Trattengono più acqua e presentano un drenaggio più lento rispetto ai suoli sabbiosi, contengono un quantitativo maggiore di nutrienti per le piante.
- Argilla, con particelle di diametro inferiore a 0,002 mm. Queste particelle sviluppano un'area superficiale molto elevata con una grande capacità di assorbire acqua e nutrienti sulle loro superfici.

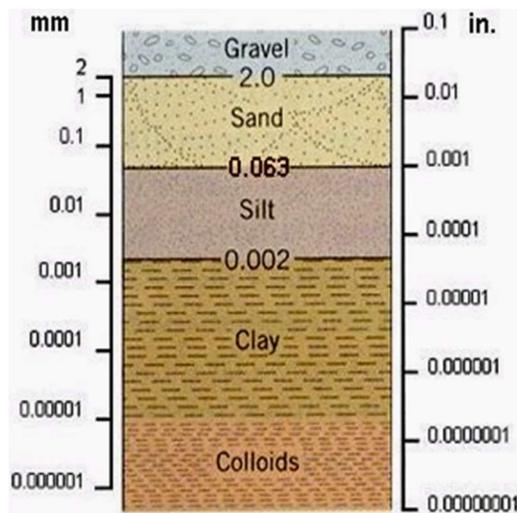


Figura 1.4: classificazione della frazione di terra fine.

La struttura del terreno, costituita dagli aggregati e da una rete di pori e spazi vuoti, influenza direttamente la crescita delle radici. Inoltre, la sostanza organica ha un ruolo fondamentale nell'aggregazione delle particelle elementari: infatti la struttura del terreno è positivamente associata al contenuto di sostanza organica. Attraverso la decomposizione dei residui vegetali, la presenza degli essudati radicali, la crescita delle radici e delle micorrize ad esse associate, generano compressioni meccaniche e il rilascio di sostanze che favoriscono la formazione di aggregati. Anche la presenza di lombrichi può favorire i processi di degradazione e stabilizzazione della sostanza organica con un conseguente miglioramento della struttura del suolo. La struttura è quindi una componente diretta della fertilità del terreno.

Esistono svariati fattori che possono peggiorare la struttura del suolo, quali le lavorazioni del terreno che accelerano l'ossidazione della sostanza organica e distruggono meccanicamente gli aggregati, la polverizzazione degli aggregati e la compattazione degli strati più profondi del terreno, ma anche il calpestamento eccessivo del suolo dalle macchine agricole può distruggere la struttura del suolo.

La porosità del suolo è invece un rapporto tra la somma del volume di suolo occupato dall'aria e dall'acqua e il volume totale di suolo. I pori sono spazi vuoti al cui interno ci possono essere aria, acqua, radici e microrganismi. I pori del suolo vengono suddivisi in due categorie: i macropori hanno dimensioni superiori ai 60 μm e non sono in grado di trattenere l'acqua, la quale scorre al loro interno per gravità; i micropori sono invece di dimensioni inferiori ai 10 μm in grado di esercitare sull'acqua forze capillari. La macroporosità influenza la permeabilità e i movimenti di acqua e aria, mentre la microporosità ha riflessi sulla capacità idrica del suolo (Sequi *et al.*, 2017).

La fertilità dipende in parte dalla proporzione tra aria e acqua, quindi anche la porosità del suolo condiziona direttamente la fertilità del suolo. La disponibilità di ossigeno per le radici diviene inadeguata ogniqualvolta il terreno trattiene una quantità d'acqua tale da ridurre lo spazio occupato dall'aria a meno del 9-10%. La disponibilità idrica può essere o meno adeguata, a parità di quantità d'acqua presente, in relazione alle dimensioni dei pori.

Una scarsa aerazione porta all'accumulo di anidride carbonica, metano e gas solforati e riduce la capacità delle piante di assorbire acqua e sostanze nutritive. Anche il numero, l'attività e la biodiversità dei microrganismi e dei lombrichi sono maggiori in terreni ben aerati e sono in grado di decomporre e riciclare la materia organica e i nutrienti in modo più efficiente (FAO 2008).

La presenza di lombrichi

Gli organismi apportano al suolo residui organici contribuendo a modificarne le proprietà fisiche e chimiche del suolo stesso, svolgendo un ruolo essenziale nelle fasi della decomposizione dei residui organici. Organismi come i lombrichi agiscono rimescolando il suolo anche in orizzonti profondi grazie alla capacità di compiere movimenti verticali (Sequi *et al.*, 2017).

I lombrichi rappresentano la componente maggiore della biomassa animale presente nel suolo. Essi contribuiscono a numerosi servizi ecosistemici attraverso la pedogenesi, la modifica della struttura del suolo, la regolazione della disponibilità di acqua e il ciclo dei nutrienti (Blouin *et al.*, 2013). I lombrichi sono anche noti per svolgere un ruolo nella formazione di aggregati e nella protezione della materia organica del suolo (SOM) (Bossuyt *et al.*, 2005).

Lo studio della presenza di lombrichi nel suolo può essere un parametro per valutare come le operazioni di lavorazione del terreno e i diversi input agricoli possano influenzare il suolo. I lombrichi, infatti, sono considerati indicatori dell'uso del suolo e della sua fertilità. La loro mobilità limitata li rende molto adatti per monitorare l'impatto degli inquinanti, i cambiamenti nella struttura del suolo e le pratiche agricole. Sono inoltre utili per monitorare diversi sistemi di allevamento al fine di valutare comparativamente le pratiche agricole e valutare la contaminazione del suolo e le pratiche di gestione (residui di pesticidi, effetti di lavorazione del terreno, compattazione, materia organica) (Paoletti, 1999).

I lombrichi contribuiscono indubbiamente in modo significativo a molti dei servizi ecosistemici forniti dal suolo (Blouin *et al.*, 2013).

1.3.3 Le analisi chimico-fisiche del suolo

La composizione dei suoli varia notevolmente lungo il profilo, tessitura, struttura, quantità di sostanza organica e contenuto dei vari elementi sono caratterizzati da una variabilità specifica anche in suoli relativamente omogenei. L'analisi del suolo è quindi uno strumento importante per l'elaborazione di un corretto piano di gestione del suolo in un appezzamento coltivato. Come indicato dal D.M. n. 185 del 13/09/1999 una analisi che sia efficace prevede l'indagine dei seguenti parametri:

- Tessitura
- pH
- Calcare totale
- Calcare attivo
- Sostanza organica
- Azoto totale
- Fosforo assimilabile
- Potassio assimilabile
- Macro e microelementi assimilabili
- Conducibilità

In particolar modo la determinazione della sostanza organica ha un ruolo importante in quanto essa consente di incrementare la qualità dei suoli, nonché la fertilità e la presenza di microrganismi, concorrendo anche al miglioramento della struttura e della porosità del suolo stesso. Gli equilibri di trasformazione delle porzioni della SO sono molto complessi. La relazione e le interazioni tra carbonio e azoto sono di primaria importanza per comprendere il livello di mineralizzazione della sostanza organica. Infatti, con l'avanzare della decomposizione di essa il rapporto C/N diminuisce esponenzialmente (Sequi *et al.*, 2017).

Giudizio	Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	Terreni medio impasto (F-FL-FA-FSA)	Terreni argillosi e limosi (A-AL-FLA-AS-L)
Molto basso	<8	<10	<12
Basso	8 – 14	10 – 18	15 – 22
Medio	15 – 20	19 – 25	23 – 30
Elevato	>20	>25	>30

Tabella 1.1: nella tabella vengono riportati i valori della SO espressi in g/Kg, correlando il giudizio alla tipologia di tessitura del suolo analizzato.

FONTE: Guida all'interpretazione agronomica dell'analisi chimica del suolo. Laboratorio Regionale Analisi Terreni e Produzioni Vegetali (Regione Liguria)

Per quanto riguarda la presenza di macro- e microelementi di seguito è riportata una tabella riassuntiva che evidenzia i range di valori dei vari elementi e li correla ad un giudizio:

Giudizio	P₂O₅	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn	Cu	N
Scarso	<14	50 – 101	0 – 1000	0 – 4	0 – 1	0 – 1	0 – 1	0 – 1
Sufficiente	14 - 28	101 – 151	1000 – 2000	4 – 8	1 – 2	1 – 2	1 – 2	1 – 1.5
Buono	28 - 45	151 – 250	>2000	>8	>2	>2	>2	1.5 – 2.1
Elevato	45 - 70	>250					80	2.1 - 3
Molto alto	>70							

Tabella 1.2: range di valori presi in considerazione per le analisi chimiche del suolo nella valutazione della presenza di macro- e microelementi espressi in mg/Kg.

FONTE: Fondamenti di chimica del suolo (Sequi et al., 2017)

Guida all'interpretazione agronomica dell'analisi chimica del suolo. Laboratorio Regionale Analisi Terreni e Produzioni Vegetali (Regione Liguria)

Nella tabella seguente si riporta un'interpretazione della dotazione di potassio, espresso come potassio scambiabile in mg/kg di K, in relazione alla tessitura del suolo:

Giudizio	Terreni sabbiosi (S-SF-FS)	Terreni medio impasto (F-FL-FA-FSA)	Terreni argillosi e limosi (A-AL-FLA-AS-L)
Molto basso	<50	<75	<100
Basso	50 – 80	75 – 100	100 150
Medio	80 – 150	100 – 250	150 – 300
Elevato	150 – 250	250 – 350	300 – 450
Molto elevato	>250	>350	>450

Tabella 1.3: range di valori della dotazione del potassio scambiabile in base alla tessitura espressi in mg/kg di K.

FONTE: Guida all'interpretazione agronomica dell'analisi chimica del suolo. Laboratorio Regionale Analisi Terreni e Produzioni Vegetali (Regione Liguria)

Il rapporto Mg/K (espressi entrambi in meq/100g) dà indicazioni sulla competizione tra i due elementi per l'assorbimento radicale e, quindi, del rischio di carenza che può verificarsi nel caso in cui uno dei due elementi si trovi ad un livello prossimo alla soglia di sufficienza.

Rapporto Mg/K	Valutazione	Conseguenze
<2	Squilibrato per eccesso di K	Rischio carenza di Mg
2 – 5	Ottimale	Nutrizione equilibrata
>5	Squilibrato per eccesso di Mg	Rischio carenza di K

Tabella 1.4: range di valori del rapporto Mg/K espressi entrambi in meq/100g.

FONTE: Guida all'interpretazione agronomica dell'analisi chimica del suolo. Laboratorio Regionale Analisi Terreni e Produzioni Vegetali (Regione Liguria)

Contenuto in rame

Il rame è un microelemento e si trova nel suolo sotto forma cationica bivalente Cu^{2+} . Una grande frazione del rame presente nel suolo è contenuta nella sostanza organica, dato che circa il 98% del rame si trova sotto forma di complessi metallo-organici. La concentrazione media di rame totale nei suoli italiani non inquinati è di 50 mg/kg, con valori che oscillano tra 5 e 100 mg/kg (Sequi *et al.*, 2017).

Il rame nella vite svolge un ruolo essenziale per la respirazione cellulare, ed in generale negli eventi di trasferimento di elettroni, ma anche per la regolazione di enzimi che catalizzano la sintesi degli antociani (Fregoni, 2013).

Inoltre, dalla fine del XIX secolo le applicazioni di fungicidi rameici sui vigneti sono state il principale prodotto fitosanitario utilizzato per il controllo della peronospora della vite. Di conseguenza l'arricchimento progressivo di rame nei suoli vitati associato alla sua natura non biodegradabile ha portato l'accumulo di questo elemento nello strato coltivato nei vigneti. Concentrazioni totali di rame nel suolo di 100-150 mg/kg sono convenzionalmente riconosciute come la soglia oltre la quale può influenzare negativamente la crescita delle piante e il funzionamento del suolo (Cavani *et al.*, 2016). In alcune aree viticole di lunga tradizione, l'utilizzo di prodotti cuprici per decenni ha talvolta comportato un notevole accumulo di concentrazioni totali di rame nei suoli superficiali, raggiungendo valori compresi tra 100 e 1500 mg/kg (Chaignon *et al.*, 2003).

La tossicità del rame per le viti è ritenuta improbabile in quanto questo elemento è presente principalmente nello strato superiore del suolo, ben al di sopra dell'apparato radicale delle viti, che per questa coltura si posiziona in modo preponderante ad una profondità media di 0,4-0,8 m. Tuttavia può mettere a repentaglio lo sviluppo delle giovani viti quando la fitodisponibilità di rame è estremamente elevata (Cornu *et al.*, 2022), sebbene la pianta sia in grado di attuare meccanismi radicali di esclusione dell'elemento, il che rende poco frequente il manifestarsi di fitotossicità anche a elevati contenuti di rame nel suolo. Al fine di evitare la tossicità del rame e mantenerne la corretta concentrazione nelle diverse parti attive, la pianta attua dei meccanismi di tolleranza, come la riduzione dell'assorbimento di rame, l'aumento dell'accumulo di rame nei tessuti meno sensibili (Adrees *et al.*, 2015).

La tossicità del rame dipende, più che dal contenuto totale nel suolo, dalla porzione prontamente disponibile. La presenza di rame scambiabile dipende dalle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del suolo. La solubilità del rame nel suolo dipende fortemente dal pH

del suolo e dal contenuto di materia organica disciolta e diventa prontamente disponibile ad un pH inferiore a 6. La fitotossicità del rame dipende quindi dalla solubilità del metallo e dalla disponibilità nel terreno; infatti, una volta nel suolo questo metallo subisce reazioni di immobilizzazione da parte di molti componenti (Adrees *et al.*, 2015).

Sono però noti gli effetti tossici del rame sulle comunità microbiche nei suoli dei vigneti. Le attività enzimatiche del suolo sono in parte inibite a concentrazioni di rame totali pari o superiori a 150-200 mg/kg. Tuttavia, numerosi studi hanno riportato lo sviluppo di comunità microbiche tolleranti in casi di contaminazione da rame (Ruyters *et al.*, 2013).

Nonostante l'elevata presenza del rame negli orizzonti superficiali, anche grazie al suo legame con la sostanza organica, solo l'1-20% circa è prontamente biodisponibile a causa della sua limitata mobilità (Adrees *et al.*, 2015). Tuttavia, le piogge eccessive possono causare l'erosione del suolo e il rame può essere trasportato nelle acque superficiali (e sotterranee), minacciando così la sostenibilità degli ecosistemi acquatici (Cornu *et al.*, 2022).

Rapporto tra magnesio e potassio

Nei suoli la concentrazione di potassio dipende essenzialmente dal contenuto e dal tipo dei minerali argillosi presenti. Il potassio si libera in forma disponibile per le piante durante i processi pedogenetici per alterazione dei minerali associati al potassio (Sequi *et al.*, 2017).

Il potassio ricopre un ruolo fondamentale nell'espansione cellulare, come componente osmotico, nella sintesi di grosse molecole come proteine e amidi. Nella vite il potassio influisce in modo diretto sulle caratteristiche qualitative dell'uva, aumentando l'aroma, il profumo ed il titolo di zuccheri (Fregoni, 2013).

La presenza di magnesio nei suoli dipende dalla tipologia di minerali del substrato pedogenetico, dall'intensità dei processi d'alterazione e di lisciviazione che caratterizzano l'evoluzione del suolo. La maggior parte del magnesio nel suolo si trova nella frazione non scambiabile associata a minerali, mentre quello complessato alla sostanza organica ha scarso significato (Sequi *et al.*, 2017).

Il magnesio è fondamentale per numerosi processi fisiologici e biochimici delle piante, come la fotosintesi, la ripartizione dei carboidrati e la sintesi proteica, processi che influenzano la crescita delle piante e la loro resa (Xie *et al.*, 2021).

L'interazione antagonista tra K e Mg è stata ampiamente studiata ed è considerata la causa principale della carenza di Mg. La concorrenza tra Mg e K è data dal fatto che un aumento

della concentrazione di K riduce l'assorbimento di magnesio e questa inibizione si verifica principalmente nelle radici delle piante (Xie *et al.*, 2021).

In campo pratico gli apporti eccessivi di potassio inducono alla carenza di magnesio, che come è noto è antagonista del potassio a livello radicale. Viceversa, l'eccesso di magnesio comporta la comparsa dei sintomi di carenza di potassio (Fregoni, 2013).

Contenuto in fosforo P_2O_5

Il fosforo nel suolo è presente in quantità limitata ed è rappresentato da forme organiche e inorganiche poco solubili e quindi difficilmente utilizzabili dalla pianta. Il fosforo organico varia notevolmente da suolo a suolo con valori che oscillano tra il 15 e l'80% del fosforo totale (Sequi *et al.*, 2017).

Il fosforo nella pianta esplica funzioni importantissime come componente strutturale della cellula, elemento essenziale nell'attività metabolica e come riserva di energia, ed è inoltre coinvolto nell'accrescimento degli apici radicali, in particolare dei peli radicali. Si ritiene che i peli radicali migliorino la penetrazione del suolo e il contatto tra suolo e radici, svolgendo un ruolo importante nell'assorbimento del fosforo, in particolare in condizioni di limitata disponibilità (Haling *et al.*, 2013).

1.3.4 La sostanza organica del suolo

Il suolo è un insieme eterogeneo di elementi che si relazionano fra di loro in modo dinamico e ciò fa sì che anche tutte le loro proprietà siano in dinamico movimento e siano anche strettamente connesse le une alle altre. Idealmente un suolo sano è un suolo resiliente alle perturbazioni esterne, cioè ha la capacità, quando una o più delle sue componenti viene perturbata, di ripristinare nel breve periodo il suo equilibrio. Un ruolo fondamentale nella resilienza del suolo lo copre la sostanza organica.

La degradazione del suolo, infatti, è spesso associata ad una riduzione del contenuto di sostanza organica (Figura 1.6). Favorire il suo accumulo determina quindi effetti positivi sulla qualità del suolo, sulla biodiversità e sul clima in quanto riduce le emissioni di gas serra dal suolo all'atmosfera. (Adamo e Celi, 2009).

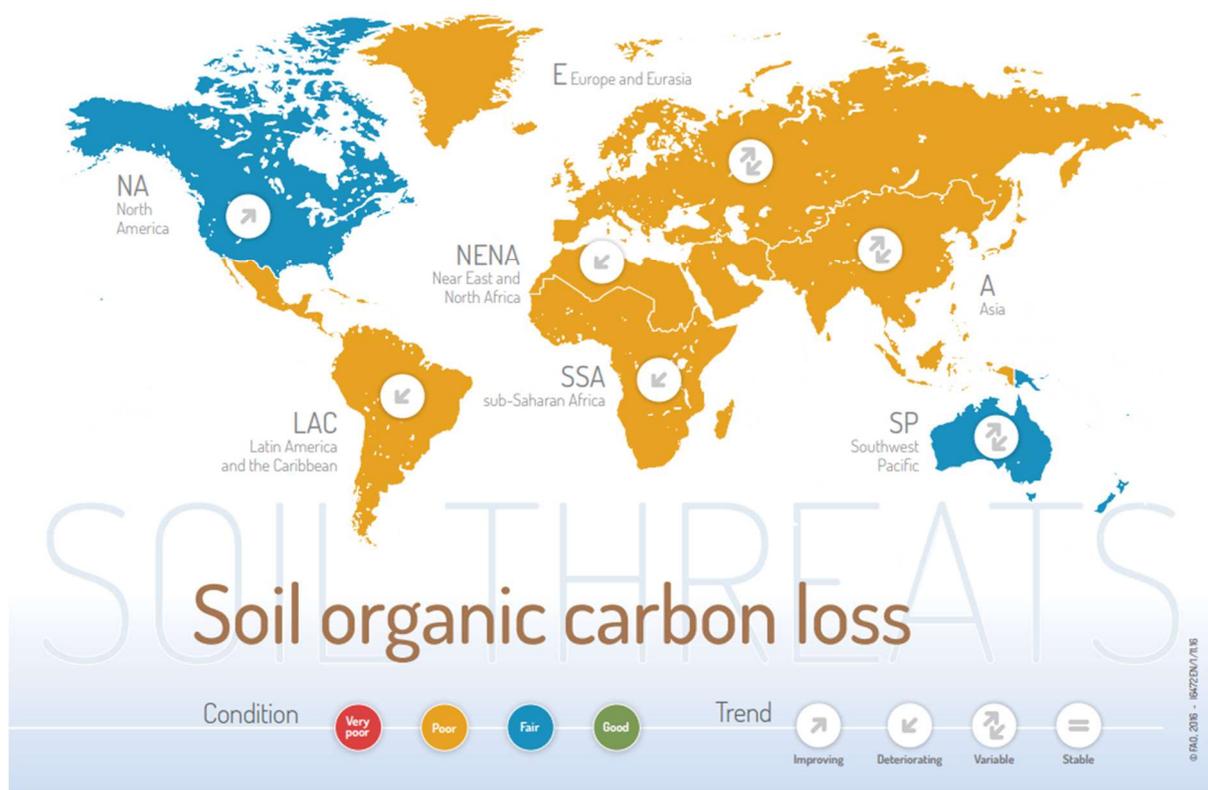


Figura 1.6: Perdita di sostanza organica del suolo. La diminuzione delle scorte di carbonio organico nel suolo influisce sul suo stato di fertilità e sulla capacità di regolazione dei cambiamenti climatici. Circa 1.417 miliardi di tonnellate di SOC sono immagazzinate nel primo metro di suolo e circa 2.500 miliardi di tonnellate a due metri di profondità. La perdita globale del pool di SOC dal 1850 è stimata in circa 66 miliardi di tonnellate (± 12), causata principalmente dal cambiamento dell'uso del suolo.

FONTE: Food and Agriculture Organization, 2016

La sostanza organica del suolo è costituita dalla miscela eterogenea ed estremamente complessa di tutti i materiali organici, viventi e non viventi, presenti in qualsiasi forma nel suolo, risultato di processi di idrolisi e decomposizione di residui vegetali, animali e microrganismi. Il contenuto di sostanza organica varia dall'1% in peso nei suoli sabbiosi e tra l'1 e il 5% nei suoli coltivati, fino ad arrivare quasi al 100% nei suoli organici ed è una delle più importanti risorse naturali di carbonio del suolo, contribuendo in maniera determinante alla sua fertilità. La sostanza organica ha inoltre la capacità di idratarsi trattenendo un quantitativo di acqua fino a 20 volte il suo peso, aumentando così la ritenzione idrica del suolo (Sequi *et al.*, 2017).

La sostanza organica non vivente si suddivide a sua volta in due frazioni: la frazione organica inalterata, come carboidrati, lignina e costituenti secondari, e le sostanze umiche, molecole organiche trasformate, non riconducibili alle classi di composti organici noti, ovvero composti di re-sintesi microbica (Sequi *et al.*, 2017).

In generale la sostanza organica varia a seconda dei composti chimici e biochimici presenti nel suolo, a loro volta dipendenti dalla specie vegetale coltivata e dalla comunità microbica presente. La fonte primaria di sostanza organica del suolo è il carbonio fissato attraverso i processi fotosintetici sotto forma di essudati radicali e residui vegetali. La sostanza organica non è stabile nel suolo e subisce una serie di processi operati da agenti biologici, ma anche chimici, che tendono a trasformarla in nuove forme chimiche organiche e non.

La sostanza organica del suolo è un importante serbatoio per C, N, P e S, e il ciclo e la disponibilità di questi elementi vengono modificati dalla mineralizzazione e immobilizzazione microbica (Doran e Parkin, 1994).

Quando del materiale organico arriva al suolo inizia il processo di decomposizione a partire dai suoi costituenti più semplici. Durante ciascuna fase della decomposizione una parte del materiale viene mineralizzato con produzione di CO₂, H₂O e altre molecole, una parte invece viene assimilata e trasformata da microrganismi in altri prodotti organici chimicamente definiti. Contemporaneamente alle fasi distruttive e demolitive iniziano i processi di re-sintesi e ricombinazione tra i prodotti organici della trasformazione e i residui più o meno degradati della sostanza organica fresca originaria. Si tratta di processi di umificazione, operati da agenti microbici che portano alla formazione di sostanze umiche, una miscela di molecole eterogenee caratterizzata da un'elevata complessità molecolare.

Nonostante la sua variabilità, in generale la sostanza organica svolge numerose funzioni, prima fra tutte garantisce una buona struttura del suolo evitando fenomeni di degrado che possono portare alla perdita di permeabilità e alla compattazione. La formazione di una struttura del suolo stabile aumenta la resistenza all'erosione impedendo una perdita dello strato superficiale responsabile della fertilità chimica del suolo.

La sostanza organica influenza, inoltre, la ritenzione idrica. In funzione della sua capacità ad aumentare l'assorbimento di acqua da parte del suolo, influenza anche la temperatura stessa di quest'ultimo, garantendo un riscaldamento più lento grazie al contenuto elevato di acqua presente. Un'altra funzione molto importante è il rilascio di elementi nutritivi in seguito ai processi di mineralizzazione a cui viene sottoposta (Sequi *et al.*, 2017).

La materia organica del suolo svolge un ruolo importante nella regolazione della maggior parte dei processi biologici, chimici e fisici nel suolo, che collettivamente determinano la salute del suolo. Promuove l'infiltrazione e la ritenzione dell'acqua, aiuta a sviluppare e stabilizzare la struttura del suolo. La materia organica fornisce anche un'importante risorsa alimentare per gli organismi del suolo ed è un'importante fonte e serbatoio di nutrienti per le piante.

Le perdite di sostanza organica hanno compromesso le funzionalità chimiche, fisiche e biochimiche che sono alla base della crescita vegetale e della qualità dei suoli (Adamo e Celi, 2009). Una conoscenza approfondita delle funzioni della sostanza organica permette di capire come essa ricopre un ruolo chiave nel suolo, controllandone le proprietà e garantendo la qualità dei suoli e la buona funzionalità di questa risorsa non rinnovabile.

1.3.5 Le frazioni della sostanza organica

La materia organica del suolo (SOM), il più grande pool di carbonio terrestre, si accumula attraverso la continua deposizione di input nel suolo. La maggior parte di quel carbonio è mineralizzato dai microrganismi del suolo, mentre una porzione persiste in esso (Sokol *et al.*, 2019).

La SOM viene attualmente suddivisa in Sostanza Organica Particolata (POM) e in Materia Organica Associata Ai Minerali (MAOM), due componenti della SOM che sono fondamentalmente diverse in termini di formazione, persistenza e funzionamento (Lavalley *et al.*, 2020). È inoltre presente la Sostanza Organica Dissolta (DOM), considerata la frazione labile (*Figura 1.7*).

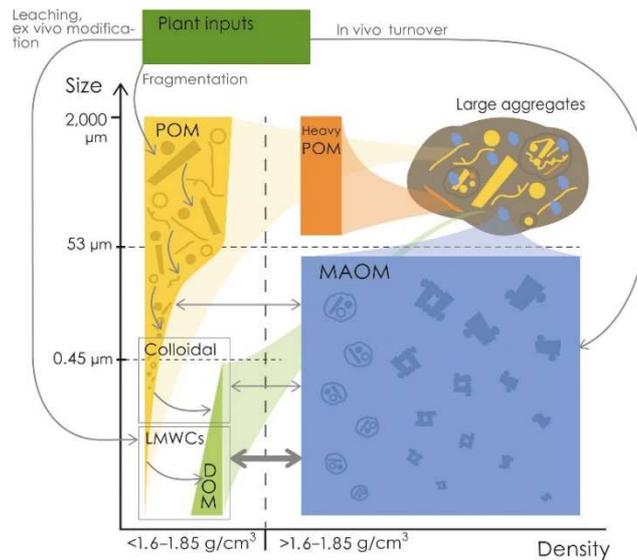


Figura 1.7: Rappresentazione concettuale dei principali componenti della materia organica del suolo (SOM).

FONTE: *Global Change Biology*

La frazione organica libera rappresenta il materiale meno protetto e quindi più suscettibile all'attacco microbico mentre la sostanza organica legata alla fase minerale (MAOM) costituisce l'unità più stabile perché chimicamente e fisicamente protetta dall'attacco microbico (Sequi *et al.*, 2017).

La POM è costituita da frammenti leggeri relativamente non decomposti e viene considerata POM se ha dimensioni tra 0,053 e 2 mm (USDA 2011). Si tratta di una frazione particolarmente importante per l'aumento della portanza del suolo, della sua resistenza all'erosione, della resistenza dei macroglomeruli strutturali all'azione battente della pioggia e, in generale, l'aumento della resistenza strutturale, tanto più importante nei suoli sciolti. È fonte di nutrimento per gli organismi del suolo (batteri, funghi, microartropodi, lombrichi) e di elementi nutritivi per le piante.

La frazione MAOM, con dimensioni tra 20 e 63μm è costituita da singole molecole o frammenti microscopici di materiale organico che sono stati lisciviati direttamente dal materiale vegetale o sono stati trasformati chimicamente dal biota del suolo. Inoltre, la frazione legata ai minerali è costituita da meno composti di origine vegetale e più composti di derivazione microbica. Una volta che si libera dai legami con le particelle del suolo, la MAOM rappresenta una sostanza organica ricca in nutrienti e azoto. La differenza di base fra POM e MAOM sta nei loro livelli di resistenza alla decomposizione, in quanto la prima è molto più

facilmente decomponibile rispetto alla frazione MAOM che è protetta dall'associazione con i minerali (Lavalley *et al.*, 2020).

La SOM disciolta (DOM), che è operativamente definita come estraibile dall'acqua ed ha dimensioni inferiori a 0,45 μm , costituisce tipicamente meno del 2% della SOM totale. (Lavalley *et al.*, 2020). Si tratta di materiale organico solubile e colloidale con dimensioni comprese tra 0,2 e 0,7 μm . La DOM rappresenta una ricca diversità di materiali organici prodotti da organismi viventi (Creed *et al.*, 2018). La materia organica disciolta è una classe eterogenea di composti solubili in acqua che contengono carbonio ridotto (organico). La DOM deriva dalla decomposizione di tutte le componenti della SO a causa di attività microbica, mineralizzazione e decomposizione fisica e tende a muoversi negli strati del suolo. La DOM riveste un ruolo importante poiché rende disponibili elementi nutritivi e è rapidamente coinvolta nel ciclo del carbonio (Findlay e Sinsaubaug, 2003).

<i>Frazione</i>	<i>Dimensione</i>	<i>Composizione</i>
Materia organica disciolta (DOM)	<45 μm (in soluzione)	Essudati radicali solubili, zuccheri semplici e sottoprodotti di decomposizione. Generalmente costituisce meno del 5% della materia organica totale del suolo.
Sostanza organica particolata (POM)	53 μm –2mm	Materia organica vegetale e animale sia fresca che in decomposizione. Contiene polisaccaridi che incrementano la resistenza della struttura del suolo. Rappresenta il 2–25% della SOM.
Materia organica associata ai minerali (MAOM)	20-63 μm	Una piccola parte della POM e della DOM può diventare MAOM

Tabella 1.5: descrizione delle frazioni della sostanza organica.

1.3.6 La biodiversità del suolo

La struttura del suolo costituisce l'habitat per gli organismi del suolo, guidando di conseguenza la loro diversità e regolando la loro attività (Rabot *et al.*, 2018).

La diversità biologica o “biodiversità” viene definita nel 2015 dalla FAO come “la variabilità degli organismi degli ecosistemi marini, d’acqua dolce e terrestri di cui essi fanno parte”, includendo in questo concetto la diversità all’interno delle specie (diversità genetica), quella interspecifica (diversità specifica) e quella ecosistemica (diversità ecologica). Tra gli ecosistemi presenti in natura, il suolo è uno di quelli più complessi.

La biodiversità del suolo è fondamentale per i suoli agricoli poiché influenza la multifunzionalità del suolo e la maggior parte delle funzioni alla base della produzione vegetale (Andrès *et al.*, 2022). Gli organismi presenti nel suolo influenzano direttamente le sue proprietà biologiche, regolando i processi biochimici che modificano le proprietà nutrizionali.

Gli organismi del suolo possono fornire informazioni sul degrado del suolo e quindi sulla sua qualità. Infatti l’attività e le complesse interazioni di questi organismi sono il fulcro di molte funzioni ecosistemiche, sono infatti coinvolti nel ciclo dei nutrienti del suolo, nella formazione di humus e decomposizione della materia organica tramite i processi di umificazione e mineralizzazione, nel mantenimento della struttura del suolo, nel ciclo del sequestro del carbonio e possono inoltre dare luogo a relazioni simbiotiche con le piante (Cataldo *et al.*, 2021).

La biodiversità del suolo migliora la vegetazione superficiale del suolo decomponendo i residui vegetali e rafforzandone la resilienza. Inoltre, la ricca diversità di organismi promuove la salute e la fertilità; il sistema del suolo ospita oltre il 25% della biodiversità complessiva presente sulla terra (Bach *et al.*, 2020).

La salute e la qualità del terreno garantiscono non solo la produzione agricola, ma anche la sostenibilità e la salubrità dell’ambiente che influenzano direttamente la salute delle piante.

1.4 LA RADICE E LA RIZOSFERA

Le radici, che nel complesso formano l'apparato radicale delle piante, hanno una grande superficie di contatto con il suolo e la loro funzione principale è quella di garantire l'acquisizione di sostanze nutritive e di acqua necessarie allo sviluppo fisiologico della pianta stessa. La radice svolge anche altre importanti funzioni quali l'ancoraggio della pianta al suolo, accumulo di sostanze di riserva e fotoassimilati, sintesi di ormoni e anche esplorazione del suolo. Quest'ultima funzione è data dalla necessità della pianta di individuare e sfruttare le zone ricche di nutrienti, soprattutto di quelli scarsamente mobili. Infatti la distribuzione dei nutrienti nei terreni è eterogenea e le radici hanno la capacità di dirigere la loro crescita verso la fonte di nutrienti percepita (David H. e McNear Jr., 2013). Le radici hanno un ruolo fondamentale nel determinare la salute e la fertilità del suolo in quanto ricoprono funzioni essenziali nel ciclo della sostanza organica.

Le radici, tramite le attività di assorbimento e rilascio di sostanze, sono in grado di modificare significativamente l'ambiente che le circonda. Tale zona venne definita per la prima volta nel 1904 dall'agronomo e fisiologo vegetale tedesco Lorenz Hiltner, che la chiamò rizosfera e la descrisse come l'interfaccia suolo-radice.

La rizosfera è un volume di suolo attorno alle radici delle piante ed è influenzato dalla presenza e dall'attività delle radici stesse. È caratterizzata dall'interazione tra gli apparati radicali, i microrganismi e le componenti abiotiche del suolo, nonché da importanti scambi di fonti energetiche, elementi nutritivi e segnali molecolari che ne rendono la chimica, la biochimica e la biologia differenti da quelle del suolo non interessato dall'attività delle radici (Sequi *et al.*, 2017).

Le dimensioni della rizosfera non sono facilmente definibili in quanto dipendono a loro volta dall'attività di assorbimento della radice e dalla quantità e qualità delle rizodeposizioni. Solitamente viene quindi definita da gradienti longitudinali e radiali che si sviluppano attorno alla radice e modificano le proprietà del suolo.

Considerando che le piante sono organismi sessili, la capacità della radice di rilasciare e assorbire sostanze organiche e inorganiche, modifica le caratteristiche del suolo che le circonda e ciò permette l'adattamento delle piante alle avverse condizioni del suolo.

Le radici inoltre condizionano la composizione dei soluti presenti nella soluzione circolante del suolo sia attraverso l'assorbimento selettivo di nutrienti, sia tramite il rilascio di

specifiche molecole che servono a favorire l'assorbimento di alcuni nutrienti. I processi che si verificano in questa regione controllano reazioni che sono alla base del ciclo del carbonio terrestre e hanno un'influenza diretta sulla struttura della comunità vegetale e microbica, influenzando i processi dell'intero ecosistema (David H. e McNear Jr., 2013).

1.5 L'IMPORTANZA DEL SUOLO IN VITICOLTURA

La vite (*Vitis vinifera* L.) è una specie vegetale con una millenaria storia di coltivazione in Europa. In viticoltura, i suoli hanno una grande influenza sulle prestazioni delle colture (crescita, resa e composizione delle bacche) e sulla qualità del vino, poiché il suolo è una componente centrale del *terroir* (Costa *et al.*, 2023). Le caratteristiche del suolo e la gestione sostenibile del suolo nei vigneti sono di primaria importanza non solo per la resa e la qualità delle uve, ma anche per la maggiore conservazione dell'ecosistema (Cataldo *et al.*, 2021).

La diagnosi è particolarmente importante per quanto riguarda la struttura del suolo: in una coltura perenne come la vite, esiste un notevole rischio di degradazione della struttura del suolo associato alla meccanizzazione (Polge de Combret - Champart *et al.*, 2013).

Le pratiche agronomiche possono influenzare profondamente le proprietà del suolo e lo sviluppo delle radici della vite, oltre ad avere un impatto importante sulla distribuzione in termini di profondità di radicazione e, soprattutto, di densità radicale. La comprensione di come il sistema radicale della vite sia influenzato dalle diverse tecniche di gestione del suolo è importante per la qualità e la quantità della produzione di uva, a loro volta essenziali per la produzione di vino (Polge de Combret - Champart *et al.*, 2013). Nell'ambito del sistema viticolo il terreno ha un ruolo fondamentale poiché i suoi parametri pedologici influenzano lo stato fisiologico della vite. La qualità dell'uva dipende anche dalla profondità delle radici e quindi dalla natura del suolo. Per esempio, un apparato radicale profondo assorbe acqua con regolarità garantendo un'alimentazione idrica ottimale (Fregoni, 2013).

La comprensione delle caratteristiche del suolo nello studio e nella progettazione di un nuovo vigneto è di fondamentale importanza per capire quali esigenze potranno avere in futuro le vigne una volta piantate (Costa *et al.*, 2023). Inoltre, i suoli dei vigneti vanno studiati in relazione al loro potenziale impatto sullo sviluppo della vite e sulla maturazione dei frutti (C. van Leeuwen, 2022).

Migliorare il monitoraggio e valutare al meglio le proprietà del suolo nei vigneti, sempre più esposti ai cambiamenti climatici, sarà di essenziale importanza per garantire una viticoltura sostenibile e allo stesso tempo migliorare la qualità del suolo nei vigneti.

1.6 VSA: VISUAL SOIL ASSESSMENT

Seguendo le linee guida della FAO, la morfologia della struttura del suolo e la sua variazione con la profondità possono essere valutate visivamente come parte della descrizione del profilo del suolo (Rabot *et al.*, 2018).

Il Visual Soil Assessment (VSA) è un metodo di valutazione proposto dalla FAO nel 2008, basato sul concetto che le proprietà fisiche dei suoli sono vitali per la sostenibilità ecologica ed economica dei vigneti. Infatti, i danni al suolo possono modificarne le proprietà e la perdita di qualità del suolo, ovvero il degrado, può influire in modo preponderante sullo stato di nutrienti del suolo e quindi sullo sviluppo stesso delle piante. La qualità del suolo ricopre infatti molti aspetti cruciali per una viticoltura sostenibile, considerando che la perdita di proprietà fisiche del suolo ottimali richiede tempi di ripristino piuttosto lunghi. Un peggioramento della qualità del suolo ha un impatto marcato sulla crescita della vite e sulla qualità dell'uva.

Molte proprietà fisiche, biologiche e, in misura minore, chimiche del suolo si presentano come caratteristiche visive (*Figura 1.8*). I cambiamenti nell'uso o nella gestione del territorio possono alterarli notevolmente. Valutare e monitorare la qualità del suolo con il metodo VSA e seguire le linee guida per la prevenzione o il recupero del degrado del suolo può aiutare a sviluppare e implementare pratiche di gestione del territorio sostenibili.

Questo metodo può essere inoltre utilizzato per valutare l'idoneità e i limiti di un terreno per la viticoltura, considerando che i terreni con buoni punteggi VSA di solito danno la migliore produzione con i costi di impianto e operativi più bassi. L'analisi VSA concepita dalla FAO consente ai gestori del territorio di valutare la qualità del suolo in modo semplice, rapido, affidabile ed economico su scala di appezzamento.



Foto 1.8: Struttura e consistenza del suolo, valutazione delle porzioni di sabbia, limo e argilla secondo il metodo Visual Soil Assessment proposto dalla FAO.

FONTE: *Visual Soil Assessment, Volume 1, 2008*

1.7 INDAGINE BIOPASS

Biopass, acronimo di Biodiversità, Paesaggio, Ambiente, Suolo, Società, è il progetto italiano concepito da Sata Studio Agronomico Soc. Benefit (Brescia) per la valutazione integrata della qualità fisica, strutturale e della biodiversità dei suoli. La necessità di concentrarsi sul sistema suolo nasce dal fatto che, essendo l'ambiente che ospita le radici, deve essere in una buona condizione per garantire una ottimale attività radicale. L'applicazione Biopass prevede:

- Analisi dello stato fisico e strutturale del suolo con il metodo della Visual Soil Assessment
- Analisi della microfauna del suolo (con il metodo della Qualità Biologica del Suolo (Parisi *et al.*, 2005)), che indica il livello di salubrità dell'ambiente terricolo.
- Analisi chimico-fisiche del terreno, con approfondimenti sulle frazioni della Sostanza Organica.
- Ulteriori possibili indagini, come la valutazione della biodiversità strutturale dell'azienda.

Estendere queste indagini sui vigneti aziendali o di un territorio, anche ricontrollando a distanza di anni gli stessi siti, permette di realizzare una zonazione della biodiversità e della qualità funzionale dei suoli (Tonni *et al.*, 2022) al fine di:

- Individuare eventuali criticità nello stato dei suoli, così da poter a ragione programmare interventi migliorativi mirati.
- Verificare gli eventuali effetti di medio o lungo periodo delle operazioni di gestione e concimazione del suolo.
- Ottenere una visione specifica e approfondita di alcuni aspetti della sostenibilità connessi ad ambiente e territorio.

Sata, dopo esperienze di molti anni e innumerevoli campionature, ha deciso di mantenere il criterio operativo generale proposto dalla FAO, ma di adeguare alcune voci, di inserirne di nuove e di variare alcuni coefficienti di ponderazione, in modo da rendere le descrizioni dei suoli più adatte a esprimere al meglio le attitudini, le potenzialità o i difetti dei terreni coltivati a vigneto. Il lavoro è stato realizzato grazie ad una collaborazione tra Sata Studio Agronomico Soc. Benefit e le aziende dell'area Lugana DOC e Valtènesi DOC, e altre aziende italiane, nell'ambito di un'attività di indagine e consulenza. In questo lavoro vengono presentati i risultati proposti utilizzando il criterio di lavoro classico della Visual Soil Assessment FAO.

2 SCOPO DELLA TESI

I rilievi, condotti nell'area viticola Lugana DOC e nell'area viticola Valtènesi DOC a sud del Lago di Garda, si pongono l'obiettivo di indagare lo stato di salute del suolo dei terreni vitati tramite l'utilizzo di specifici indicatori del Visual Soil Assesment (VSA) messi a punto dalla FAO. Sono inoltre stati analizzati dati di aziende situate in altre zone viticole d'Italia.

L'utilizzo di indicatori pratici ed efficaci nell'applicazione diretta in campo permette di valutare la validità delle pratiche agronomiche applicate e di definire strategie di gestione aziendale che garantiscano una migliore qualità del suolo. In particolare, questi rilievi permettono di comprendere e approfondire il rapporto suolo-radici, di fondamentale importanza per la crescita di piante sane ed efficienti.

L'obiettivo finale è quello di tracciare nel corso degli anni l'evoluzione dello stato fisico e strutturale del suolo al fine di poterne migliorare le caratteristiche, nell'ottica di una gestione agronomica sostenibile.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Il metodo VSA

La qualità del suolo viene classificata in base alla valutazione dei soli indicatori del suolo. Ad eccezione della tessitura del suolo, gli indicatori del suolo e delle piante sono indicatori dinamici, cioè capaci di cambiare in base a diversi regimi di gestione e pressioni sull'uso del suolo. Essendo sensibili ai cambiamenti, sono utili indicatori di allarme precoce dei cambiamenti nelle condizioni del suolo e nelle prestazioni delle piante e come tali forniscono uno strumento di monitoraggio efficace.

Oltre alla qualità del suolo il metodo indaga anche le caratteristiche delle piante tramite indicatori specifici che consentono di creare connessioni tra le pratiche di gestione e le caratteristiche del suolo. In questo modo le prestazioni delle piante vengono correlate alla valutazione della qualità del suolo.

L'analisi viene condotta in siti rappresentativi dell'appezzamento, anche per valutare gli effetti di un elevato carico di traffico sulla qualità del suolo. Ad esempio, possono essere selezionate tracce delle ruote nelle colture a filari, come nel vigneto, e i risultati confrontati con le aree a basso traffico. La VSA può essere eseguita in modo efficace e affidabile su una vasta gamma di livelli di umidità del suolo. Tuttavia è suggerito eseguire la VSA quando si ritiene che il terreno abbia il corretto contenuto di umidità tale da presentare le migliori condizioni per essere lavorati, ossia il terreno è in tempera.

Per quanto non realizzato come scopo di questo lavoro, durante il rilievo della VSA è stato prelevato un campione per lo svolgimento delle analisi chimico-fisiche. Tali risultati verranno in breve commentati come elementi di indagine aggiuntivi.

3.2 Il punteggio visivo

Ciascun indicatore del metodo VSA può assumere 3 punteggi differenti: pari a 0 (scarso), 1 (moderato) o 2 (buono), in base alla qualità del suolo e alle prestazioni delle piante. È anche possibile assegnare dei punteggi intermedi, ovvero 0,5 o 1,5, qualora le osservazioni non corrispondano pienamente ai punteggi descritti nel manuale.

Poiché alcuni indicatori del suolo e delle piante sono relativamente più importanti rispetto ad altri nella valutazione della qualità del suolo e delle prestazioni delle piante, la VSA fornisce un fattore di ponderazione di 1, 2 e 3.

Il punteggio totale, dato dalla sommatoria dei punteggi dei singoli rilievi, fornisce l'indice generale di qualità del suolo e l'indice di prestazione delle piante per il sito preso in considerazione. Confrontandolo con la scala di valutazione messa a disposizione nel manuale della Visual Soil Assessment della FAO si può determinare se il terreno e le piante sono in buone, moderate o cattive condizioni.

3.3 Gli indicatori del suolo del metodo VSA

Tessitura a vista

Si riferisce alla presenza dei vari gruppi dimensionali nel terreno, ovvero sabbia, limo e argilla, la cui composizione variabile influenza il comportamento del suolo, come ritenzione e disponibilità idrica, aerazione, drenaggio, e l'apporto e la ritenzione dei nutrienti.

Per la valutazione della tessitura a vista si preleva un piccolo campione di suolo, 2x2x2 cm dal topsoil e un campione rappresentativo dal subsoil. Una volta inumidito il suolo con dell'acqua, viene lavorato energicamente sul palmo della mano cercando di modellare il suolo in una palla coesa e se possibile in un cilindro dello spessore di 2 cm. Una volta realizzata la palla e il cilindro viene assegnato uno dei seguenti punteggi:

Punteggio "2" - Ottimo. Morbido, duttile, leggermente appiccicoso poca granulosità. Palla 2 cm e cilindro 1 cm si fessurano leggermente. Cilindro piegato a ferro di cavallo si rompe. Se poco ruvido si considera Franco, se appiccicoso/saponoso corrisponde a Franco Limoso.

Punteggio "1,5" - Buono. Molto morbido, appiccicoso e plastico, può essere poco granuloso o poco ruvido. Palla 2 cm non si fessura. Cilindro di 3-4 mm si rompe se piegato a cerchio 2,5 cm (Franco Argilloso, FA Sabbioso, FA Limoso).

Punteggio "1" - Discreto. Leggermente granuloso e rumoroso allo sfregamento. Palla 2 cm e cilindro 1 cm si fessurano in modo importante si considera Franco Sabbioso.

Punteggio "0,5" - Povero. Esageratamente sabbioso: ruvido e rumoroso allo sfregamento. Palla 2 cm e cilindro 1 cm si disgregano o non si formano (SF, S).

Punteggio "0" - Molto saponoso e plastico. Palla 2 cm e cilindro 3 mm a cerchio di 2,5 cm non si fessurano. Appiccicoso e lucente (Argilloso), oppure saponoso e opaco (Argilloso Limoso), possibile palla difficile da comprimere.

La struttura e la consistenza del suolo

La conoscenza sia della classe tessiturale che della potenziale profondità radicale consente una valutazione approssimativa della capacità totale di ritenzione idrica del suolo.

Per valutare la struttura del terreno viene prelevato un campione di suolo con una vanga nell'interfilare del vigneto in una zona non calpestata dal passaggio dei mezzi agricoli. Il campione di terreno viene lasciato cadere 3 volte da un'altezza di un metro su di una superficie solida che lo raccoglie. Le zolle di varie dimensioni che si sono create vengono distribuite in modo decrescente sulla superficie solida in modo da poter visualizzare al meglio la struttura. Il punteggio viene così suddiviso:

Punteggio "2" - Buone condizioni. Terreno dominato da aggregati friabili e fini, senza zolle significative. Gli aggregati sono generalmente arrotondati e spesso piuttosto porosi.

Punteggio "1" - Condizioni moderate. Il suolo contiene proporzioni significative (50%) sia di zolle grossolane che di aggregati fini friabili. Le zolle grossolane sono compatte, di forma subangolare o angolosa e presentano pochi o nessun poro.

Punteggio "0" - Condizioni povere. Terreno è dominato da zolle grossolane con pochissimi aggregati più fini. Le zolle grossolane sono molto consistenti, di forma angolosa o subangolare e presentano pochissimi o nessun poro.



Figura 3.1: punteggio visivo della struttura del suolo. Da sinistra: 2-buone condizioni; 1-condizioni moderate; 0-condizioni povere.

FONTE: Valutazione visive del suolo in vigneto, FAO 2008

La porosità del terreno

La porosità del suolo, suddivisa in macroporosità e microporosità, influenza il movimento dell'aria e dell'acqua nel terreno. I terreni con buona struttura hanno un'elevata porosità tra e

all'interno degli aggregati, ma i suoli con grandi unità strutturali potrebbero non avere macropori e micropori grossolani all'interno delle zolle grandi, e quindi potrebbero non essere adeguatamente aerati. Le radici della vite non sono in grado di penetrare e crescere attraverso terreni troppo compatti, che limitano gravemente la capacità della pianta di utilizzare l'acqua e le sostanze nutritive disponibili nel terreno.

Per valutare la porosità del suolo viene prelevata una zolla di terreno a lato dello scavo realizzato. La zolla viene poi confrontata con le fotografie riportate sul manuale della FAO al fine di rilevare il grado di porosità e assegnare il rispettivo punteggio che si suddivide nel seguente modo:

Punteggio “2” - Buone condizioni. Presenza di molti macropori e micropori tra e dentro gli aggregati, associati ad una buona struttura.

Punteggio “1” - Condizioni moderate. Suolo con macropori e micropori, tra e dentro gli aggregati, ma presenti solo su una parte del terreno analizzato. Il suolo evidenzia difficoltà di rottura della zolla e una parte di zolle con superfici angolose.

Punteggio “0” - Condizioni povere. Assenza di macropori e micropori all'interno degli aggregati compatti e di grosse dimensioni. Le zolle presentano superfici lisce e angolose con pochi buchi e crepe.



Figura 3.2: punteggio visivo della porosità del suolo. Da sinistra: 2-buone condizioni; 1-condizioni moderate; 0-condizioni povere.

FONTE: Valutazione visive del suolo in vigneto, FAO 2008

Il colore del suolo

Il colore del suolo è un indicatore molto utile della qualità del suolo perché fornisce una misura indiretta di altre proprietà più utili del suolo, come il contenuto di sostanza organica, un insufficiente drenaggio e la presenza di particolari composti chimici.

Per valutare questo indicatore si confronta il colore di una manciata di terreno prelevato dallo scavo realizzato con del terreno prelevato ai bordi dell'appezzamento e non interessato dalle pratiche di coltivazione. Più il colore del campione è simile al colore della bordura e maggiore è il punteggio assegnato. Utilizzando le tre fotografie fornite dal manuale si verifica il cambiamento relativo del colore del suolo e si assegna uno dei seguenti punteggi:

Punteggio “2” - Buone condizioni. Il colore del campione è scuro e molto simile al colore del terreno nello strato di “topsoil” della bordura.

Punteggio “1” - Condizioni moderate. Il colore del campione è più pallido rispetto al terreno della bordura, ma non in modo marcato.

Punteggio “0” - Condizioni scarse. Il colore del campione è significativamente più pallido rispetto al terriccio di bordura



Figura 3.3: punteggio visivo del colore del suolo. Da sinistra: 2-buone condizioni; 1-condizioni moderate; 0-condizioni scarse.

FONTE: Valutazione visive del suolo in vigneto, FAO 2008

Zone di riduzione

Le screziature sono macchie o chiazze di colore diverso intervallate dal colore dominante del terreno. Questo indicatore viene valutato osservando la presenza e la tipologia di screziature presenti nel profilo del terreno. Il punteggio viene così suddiviso:

Punteggio “2” - Buone condizioni. Assenza di macchie di colore diverso.

Punteggio “1” - Condizioni moderate. Il suolo presenta macchie di colore grigio - arancione in una percentuale che va dal 10 al 25%.

Punteggio “0” - Condizioni povere. Il campione presenta abbondanti e diffuse macchie di colore grigio - arancione in una percentuale superiore al 50% dell'area di suolo valutata.

La presenza di lombrichi

I terreni dovrebbero avere una buona diversità di specie di lombrichi con una combinazione di: mangiatori di superficie che vivono in superficie o vicino ad essa per decomporre i residui vegetali e lo sterco; specie che vivono nel terriccio che scavano, ingeriscono e mescolano i primi 200-300 mm di terreno; e specie che scavano in profondità e abbattono e mescolano rifiuti vegetali e materia organica. Il numero di lombrichi è valutato osservando il campione di suolo utilizzato per la valutazione della struttura, contando il numero di lombrichi trovati. Il punteggio viene così suddiviso:

Punteggio “2” - Più di 4 lombrichi

Punteggio “1” - Più di 2 lombrichi.

Punteggio “0” - Nessun lombrico.

La profondità potenziale dell'apparato radicale

La profondità potenziale delle radici è la profondità del suolo che le radici delle piante possono potenzialmente sfruttare e indica la capacità del suolo di fornire un mezzo radicale adatto alle piante. Maggiore è la profondità delle radici, maggiore è la capacità della pianta di attingere all'acqua disponibile nel terreno. I terreni con una profondità radicale limitata causata, ad esempio, da uno strato con un'elevata resistenza alla penetrazione come uno strato compattato, limitano la crescita e lo sviluppo verticale delle radici, facendo sì che le radici crescano lateralmente.

Mentre viene realizzato lo scavo si valuta la presenza di radici e vecchi canali radicali, canali vermiferi, fessure lungo le quali possono estendersi le radici e se le radici sono costrette a crescere orizzontalmente. Il punteggio viene così suddiviso:

Punteggio “2” - Buone condizioni. Le radici si approfondiscono oltre gli 80 cm.

Punteggio “1,5” - Condizioni discrete. L’approfondimento radicale arriva tra i 60 cm e gli 80 cm.

Punteggio “1” - Condizioni moderate. L’approfondimento radicale arriva tra i 40 cm e i 60 cm.

Punteggio “0,5” - Condizioni moderatamente povere. L’approfondimento radicale arriva tra i 20 cm e i 40 cm.

Punteggio “0” - Condizioni povere. Le radici non superano i primi 20 cm di suolo.

Ristagno superficiale

Il ristagno superficiale si riferisce al periodo di tempo in cui l'acqua rimane sulla superficie. Le viti generalmente richiedono terreni drenanti. Un ristagno idrico prolungato impoverisce l’ossigeno nel terreno causando condizioni anaerobiche che inducono stress radicale e limitano la respirazione radicale e la crescita e lo sviluppo delle radici. Per valutare il grado di ristagno superficiale viene fatta una stima basandosi sull’osservazione in tempo reale o sulla conoscenza relativa al ristagno superficiale pregresso in quel determinato appezzamento.

Per valutare questo indicatore viene osservata la presenza di ristagno idrico nel raggio di 10 m dal punto di rilievo. Il punteggio viene così suddiviso:

Punteggio “2” - Buone condizioni. Assenza di ristagno dopo una pioggia intensa

Punteggio “1” - Condizioni moderate. Ristagno visibile a distanza di 2-3 giorni dall’ultima pioggia intensa

Punteggio “0” - Condizioni povere. Ristagno evidente anche dopo 4 giorni dall’ultima pioggia intensa.

La presenza di crosta superficiale

Per la valutazione della presenza di crosta veniva osservato il grado di incrostazione e copertura della superficie. Il punteggio viene così suddiviso:

Punteggio “2” - Buone condizioni. Scarsa o assenza di crosta superficiale; oppure copertura vegetale $\geq 70\%$

Punteggio “1” - Condizioni moderate. Crosta superficiale di 2 o 3 mm di spessore con presenza di crepe visibili; oppure copertura superficiale $> 30\%$ e $< 70\%$

Punteggio “0” - Condizioni povere. Crosta superficiale $>$ di 5 mm di spessore e spaccature continue; oppure copertura superficiale $\leq 30\%$.

Grado di erosione eolica e idrica

L'erosione eolica riduce il potenziale produttivo dei suoli attraverso la perdita di nutrienti, una minore capacità di trattenere l'acqua disponibile e una riduzione del volume e della profondità delle radici. L'erodibilità idrica del suolo, più frequente su terreni in pendenza, è governata da fattori tra cui la quantità e l'intensità delle precipitazioni, il tasso di infiltrazione e la permeabilità del suolo.

Il grado di erosione viene valutato sulla base delle osservazioni visive effettuate durante la stagione, e viene assegnato il relativo punteggio:

Punteggio “2” - Buone condizioni. Poche o nessuna evidenza di erosione di suolo. Poca differenza in altezza tra la fila ricalzata e l'interfila. Il sistema radicale è completamente coperto.

Punteggio “1” - Condizioni moderate. Moderata erosione del suolo con una significativa differenza in altezza tra la fila ricalzata e l'interfila. La parte alta del sistema radicale è occasionalmente scoperta.

Punteggio “0” - Condizioni scarse. Forte erosione del suolo profondamente inciso da canali di scorrimento e movimenti di terra tra le file. Il sistema radicale è spesso esposto e il tronco delle viti è totalmente indebolito in alcune parti.

La presenza della suola di lavorazione

La presenza di una suola di lavorazione all'interno dei filari, dovuta ai ripetuti passaggi dei macchinari agricoli, può impedire il movimento dell'acqua, dell'aria e dell'ossigeno attraverso il profilo, aumentando la suscettibilità al ristagno idrico e all'erosione. Le suole di lavorazione ben sviluppate sono difficili da esplorare da parte delle radici.

Per valutare questo indicatore viene utilizzato un coltello con il quale viene colpito rapidamente dall'alto verso il basso dello scavo il profilo del terreno. In questo modo è possibile valutare quanto facilmente il coltello può penetrare all'interno del suolo o al contrario il suolo manifesta una forte resistenza alla penetrazione. Si valuta inoltre quanto è estesa la suola di lavorazione in profondità.

Nessuna presenza di suola di lavorazione. - Il terreno ha una bassa resistenza alla penetrazione del coltello. Possono essere comuni radici, vecchi canali radicali, canali vermi, crepe e fessure. I terreni superficiali sono friabili con una struttura facilmente evidente e hanno un punteggio di porosità del suolo $\geq 1,5$.

Suola di lavorazione moderatamente sviluppata. - Il terreno ha una moderata resistenza alla penetrazione del coltello. È solido (duro) con una struttura del suolo debolmente evidente e ha un punteggio di porosità del suolo di 0,5–1. Ci sono poche radici e vecchi canali radicali, pochi canali vermi e poche crepe e fessure. Il suolo può presentare da poche a comuni screziature arancioni e grigie.

Suola di lavorazione fortemente sviluppata. - Il terreno ha un'elevata resistenza alla penetrazione del coltello. È molto compatto, estremamente solido (molto duro) e massiccio (cioè senza struttura apparente del terreno) e ha un punteggio di porosità del suolo pari a 0. Non ci sono radici o vecchi canali radicali, nessun canale di vermi o crepe o fessure. Il suolo può avere molte screziature arancioni e grigie.

La prova del coltello per rilevare la presenza della suola di lavorazione viene presa in considerazione dal manuale della FAO, ma non viene inserita nel punteggio finale per rilevare il valore complessivo dell'analisi visiva del suolo di un dato appezzamento. Nella valutazione dell'analisi del suolo di questo lavoro è stato deciso di inserire tale rilievo come indicatore poiché ricopre una notevole importanza nella valutazione della compattezza del suolo al di sotto della superficie.

I punteggi sono stati così assegnati:

Punteggio “2” - Nessuna presenza di suola di lavorazione

Punteggio “1” - Suola di lavorazione moderatamente sviluppata

Punteggio “0” - Suola di lavorazione fortemente sviluppata

3.3.1 Il calcolo del punteggio complessivo VSA

Ogni indicatore del Visual Soil Assessment viene moltiplicato per un coefficiente di ponderazione fornito direttamente dal manuale della FAO. Di seguito nella tabella vengono riportati i rispettivi coefficienti per ogni indicatore:

<i>Indicatore visivo della qualità del suolo</i>	<i>Coefficiente di ponderazione</i>
Tessitura	3
Struttura	2
Porosità	3
Colore	1
Zone di riduzione	2
Lombrichi	3
Approfondimento radicale potenziale	3
Ristagno superficiale	2
Crosta	2
Erosione	2
Suola di lavorazione	2

Tabella 3.1: coefficienti di ponderazione relativi ad ogni indicatore visivo della qualità del suolo.

FONTE: Valutazione visive del suolo in vigneto, FAO 2008

Il punteggio totale è dato dalla somma dei punteggi dei singoli indicatori assegnato durante i rispettivi rilievi. Il punteggio massimo ottenibile è pari a 46 (derivato dall'assegnazione del punteggio "2" per ciascuna osservazione).

<i>Osservazione</i>	<i>Indice totale di qualità del suolo</i>
Povero	< 15
Moderato	15-30
Buono	>30

Tabella 3.2: intervalli per dell'assegnazione dell'indice totale di qualità del suolo.

FONTE: Valutazione visive del suolo in vigneto, FAO 2008

3.3.2 L'area di indagine

I rilievi per il seguente lavoro sono stati condotti nell'area viticola Lugana DOC a sud del Lago di Garda, che comprende 5 comuni appartenenti alle provincie di Brescia e Verona, rispettivamente Desenzano, Sirmione, Pozzolengo, Lonato e Peschiera del Garda. L'areale Lugana DOC deriva da complessi sistemi deposizionali di origine glaciale e fa parte dell'Apparato Morenico del Garda.

Nell'area Valtènesi DOC situata nella zona occidentale del Lago di Garda, composta da sette comuni: Padenghe sul Garda, Moniga del Garda, Manerba del Garda, San Felice del Benaco, Puegnago del Garda, Polpenazze del Garda e Soiano del Lago. L'area fa parte prevalentemente della fascia ovest dell'apparato morenico del Lago di Garda in provincia di Brescia.

Inoltre si sono acquisiti i dati di rilievi di altre aree viticole italiane delle provincie di Brescia, Bergamo, Piacenza, Pavia, Treviso, Trento, Alessandria, Grosseto, Ancona, Taranto, Macerata, Crotone, Agrigento.

In integrazione ai risultati relativi alla VSA sono anche presenti dati acquisiti relativi alle analisi chimico-fisiche eseguite durante i campionamenti fatti in alcuni dei vigneti di indagine.

4 RISULTATI E DISCUSSIONE

L'indagine ha previsto l'applicazione del metodo di Visual Soil Assessment in campo e il prelievo di un campione di suolo per l'indagine QBS-ar, i cui risultati non sono riportati in questo lavoro, e un altro campione per le analisi chimico-fisiche, effettuate dal laboratorio certificato della Fondazione Edmund Mach (TN).

Nel presente lavoro sono riportati i risultati della VSA eseguita in campo e i risultati delle analisi chimico-fisiche di alcune delle aziende partecipanti all'indagine. Per ogni azienda sono stati effettuati i rilievi in vigneti che potevano rappresentare un maggiore interesse produttivo, in aree dove si voleva estirpare il vigneto e realizzare un nuovo impianto oppure in vigneti in cui si notavano particolari problemi vegeto-produttivi.

In totale sono stati valutati i dati di 163 rilievi effettuati negli anni 2022 e 2023 in varie aree viticole italiane. 37 di questi rilievi sono stati eseguiti nelle aree viticole Lugana DOC e Valtènesi DOC.

4.1 Dati analizzati e possibili indicazioni di utilità agronomica

Novi degli indicatori presi in considerazione nell'analisi VSA come riportato nel manuale della FAO, quali colore, erosione, crosta, ristagno superficiale, porosità, struttura, tatto, profondità radicale e presenza di zone di riduzione, hanno ricevuto una media di punteggio positiva che supera il punteggio intermedio "1". Solamente l'indicatore relativo alla presenza di lombrichi non ha raggiunto un valore positivo come riportato nella figura sottostante (*Figura 4.1*).

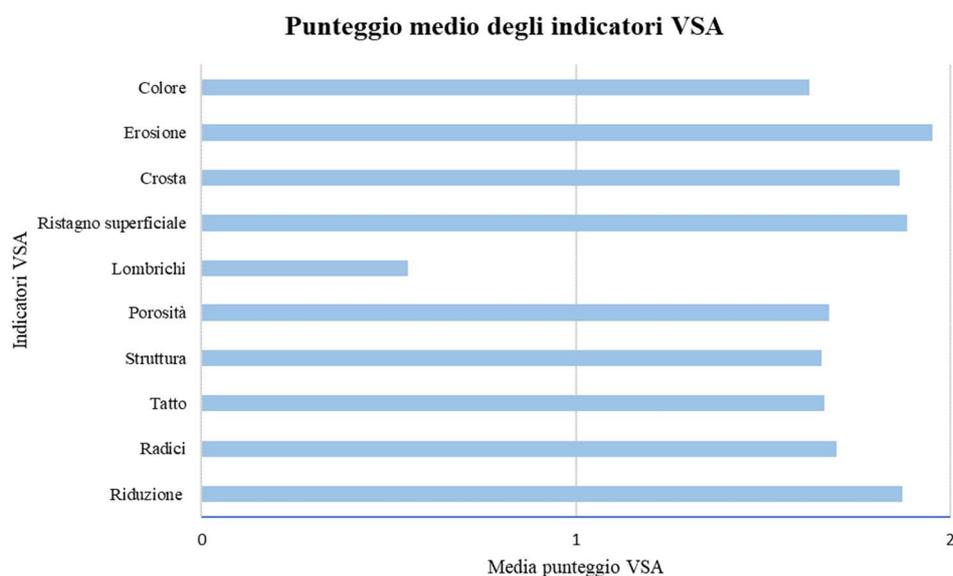


Figura 4.1: grafico riportante il punteggio medio degli indicatori VSA relativo ai 163 rilievi eseguiti.

Le tabelle sottostanti (dalla *Tabella 4.1* alla *Tabella 4.6*) riportano tutti i dati dei rilievi effettuati con il metodo VSA e il relativo punteggio finale. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola Valtènesi DOC e in giallo quelli dell'area viticola Lugana DOC. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Oltre ai 10 indicatori utilizzati dalla FAO, per esprimere un punteggio finale relativo alla qualità del suolo, nella seguente analisi è stato preso in considerazione anche l'indicatore "presenza di suola di lavorazione" in quanto ritenuto un indicatore di particolare importanza nella descrizione dello stato complessivo del suolo. Nella penultima colonna delle tabelle sottostanti (dalla *Tabella 4.1* alla *Tabella 4.6*) è possibile osservare il punteggio che è stato attribuito a questo indicatore durante i rilievi della VSA in campo, mentre nell'ultima colonna è stato opportunamente ricalcolato il punteggio complessivo della VSA aggiungendo al calcolo anche questo undicesimo indicatore.

Sono stati inoltre messi in risalto i dati degli indicatori struttura, porosità, presenza di ristagno superficiale, erosione, presenza di crosta superficiale e colore, che hanno ricevuto un punteggio basso uguale a "0" o "1". Tali valori verranno di seguito analizzati in modo più approfondito nell'ottica di evidenziare come tramite strategie di gestione del vigneto e applicazioni dirette in campo si può provvedere al miglioramento delle condizioni del suolo.

A seguito delle osservazioni desunte dall'indagine VSA e con il supporto di Sata Studio Agronomico Benefit, si riportano commenti e indicazioni operative che si ritengono utili alle aziende per interpretare al meglio i giudizi ottenuti dai loro suoli e per intraprendere azioni di gestione agronomica che possano determinare un miglioramento dell'efficienza fisica del suolo.

Anno	Zona	Codice azienda	Riduzione	Radici	Tatto	Tessitura a vista	Struttura	Porosità	Lombrichi	Ristagno superficiale	Crosta	Erosione	Colore	VSA FAO	Suola lavorazione	VSA con S.L.
2022	BS	26.A	1	2	2	F	2	2	2	2	2	2	2	44	2	48
2022	BS	26.B	2	2	2	F	2	2	2	2	2	2	2	46	2	50
2022	BS	41.A	2	1	1	FS	2	2	1	2	2	2	2	37	1	39
2022	BS	41.B	1	1	1	FS	2	2	0	2	2	2	1	31	1	33
2022	BS	41.C	2	2	1	FS	2	2	0	2	2	2	2	37	2	41
2023	BS	41.D	1	2	2	AL	1	2	0	2	2	2	1	35	2	39
2023	BS	41.E	2	1	2	SF	0	2	0	2	2	2	0	31	2	35
2023	BS	26.C	2	2	2	F	2	2	2	2	2	2	1	45	2	49
2023	BS	26.D	2	2	2	F	2	2	2	2	1	2	2	44	2	48
2023	BS	45	2	1	1	FS	2	2	1	0	2	2	2	33	1	35
2023	BS	46	2	2	1	FS	2	2	1	2	2	2	2	40	2	44
2023	BS	56	2	1,5	2	F	2	2	0	2	2	2	1	38	2	41,5
2023	BS	58	2	2	2	FS	2	2	2	2	2	2	2	46	2	50
2023	BS	59	2	1,5	1	S	2	2	0	2	2	2	1	35	2	38,5
2023	BS	60	2	2	2	FAL	2	2	1	2	2	2	2	43	2	47
2022	BS	30	1	2	0	A	2	2	0	2	2	2	2	32	1	34
2022	BS	39.A	2	1,5	1	FS	1	2	1	2	2	2	1	36	1	37,5
2022	BS	39.B	2	1,5	2	F	2	1	1	2	2	2	2	39	2	42,5
2022	BS	39.C	2	1,5	2	F	2	2	1	2	2	2	2	42	2	45,5
2022	BS	39.D	2	2	2	F	2	2	1	2	2	2	2	43	2	47
2022	BS	39.E	2	2	1	FS	2	2	1	2	2	2	2	40	2	44
2023	BS	41.F	2	2	0	AL	2	2	1	2	2	2	1	36	2	40
2023	BS	41.G	2	2	0	A	2	2	1	1	2	2	1	34	2	38
2023	BS	41.H	2	2	2	AS	2	2	1	2	2	2	1	42	1	44
2023	BS	41.I	2	2	2	AS	2	2	1	2	2	2	1	42	2	46
2023	BS	39.F	2	1,5	2	F	1	1	1	2	2	2	1	36	2	39,5
2023	BS	39.G	2	1,5	2	F	2	2	1	2	2	2	0	40	2	43,5
2023	BS	39.H	2	2	2	F	2	2	1	2	2	2	1	42	2	46
2023	BS	39.I	2	2	1	FS	2	2	0	2	2	2	2	37	2	41
2023	BS	39.L	2	1	2	F	2	2	1	2	2	2	2	40	2	44

Tabella 4.1: dati dei rilievi effettuati con il metodo dell'analisi visiva del suolo e relativo punteggio finale. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	Riduzione	Radici	Tatto	Tessitura a vista	Struttura	Porosità	Lombrichi	Ristagno superficiale	Crosta	Erosione	Colore	VSA FAO	Suola lavoraz.	VSA con S.L.
2023	BS	49	2	1,5	2	FA	2	2	0	2	2	2	1	38	1	39,5
2023	BS	51	2	2	1	FS	2	1	0	2	2	2	2	34	1	36
2023	BS	52	2	2	1	FS	1	1	0	2	2	2	2	32	2	36
2023	BS	53	1	2	1	FS	1	1	0	2	1	2	1	27	0	27
2023	BS	54	0	1,5	2	AS	2	2	2	2	2	2	2	41	2	44,5
2023	BS	55	2	1,5	1	FS	1	2	1	2	2	2	2	37	1	38,5
2023	BS	57	2	1	2	FAS	2	2	0	2	2	2	2	37	2	41
2022	AL	1.A	2	2	0	A-AL	2	1	0	2	2	2	2	31	2	35
2022	AL	1.B	2	1	0	AL	2	1	0	2	2	2	2	28	2	32
2022	AL	1.C	2	1,5	2	FAL	2	2	0	2	2	2	2	39	2	42,5
2022	AL	1.D	2	2	2	FAS	2	2	0	2	2	2	2	40	2	44
2022	PC	2.A	1	1	1	FA	1	1	0	2	2	2	2	27	1	29
2022	PC	2.B	1	0,5	1	FAL	2	1	0	2	2	2	2	28	2	31,5
2022	BS	3.A	1	2	2	FL	1	1	0	2	2	2	2	33	2	37
2022	BS	3.B	2	1,5	2	FA	2	2	0	2	2	2	2	39	1	40,5
2022	BS	3.C	2	1,5	2	FA	2	2	0	2	2	2	1	38	1	39,5
2022	BS	3.D	2	2	2	FL	2	2	1	2	2	2	2	43	1	45
2022	BS	3.E	2	1,5	2	FL	1	1	2	2	2	2	1	39	1	40,5
2022	BS	4.A	2	2	1	FS	1	2	0	2	2	2	1	34	2	38
2022	BS	4.B	2	2	2	F	2	1	2	2	2	2	2	43	2	47
2022	BS	4.C	2	2	2	FA	1	1	1	2	2	2	1	37	2	41
2022	BS	4.D	2	1,5	2	FA	2	2	1	2	2	2	2	42	1	43,5
2022	BS	5	2	2	2	FL	2	2	1	2	2	2	2	43	2	47
2022	BS	6.A	2	0,5	2	F	2	2	1	2	2	2	2	37	2	40,5
2022	BS	6.B	2	1,5	2	F	2	1	1	2	2	2	2	39	1	40,5
2022	BS	7.A	2	2	2	FS	2	2	0	2	2	2	2	38	2	42
2022	BS	7.B	2	1	2	AS	2	2	1	2	2	2	2	38	2	42
2022	BS	7.C	2	2	2	F	2	2	0	2	2	2	2	38	2	42
2022	BS	8.A	2	2	2	FA	2	2	1	2	2	2	2	43	2	47
2022	BS	8.B	2	2	2	F	2	2	1	2	2	2	2	41	1	43

Tabella 4.2: dati dei rilievi effettuati con il metodo dell'analisi visiva del suolo e relativo punteggio finale. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	Riduzione	Radici	Tatto	Tessitura a vista	Struttura	Porosità	Lombrichi	Ristagno superficiale	Crosta	Erosione	Colore	VSA FAO	Suola lavoraz.	VSA con S.L.
2022	BS	9	2	2	2	AS	2	2	2	2	2	2		44	2	48
2022	BS	10.A	2	2	2	FA	2	2	0	2	2	2		38	2	42
2022	BS	10.B	2	2	2	FA	2	1	1	2	2	2		38	1	40
2022	BS	10.C	2	2	2	FA	2	2	0	2	2	2		38	2	42
2022	BS	11	2	2	2	F	2	1	1	2	2	2	2	40	1	42
2022	BS	12.A	2	2	2	FA	1	1	0	2	2	2	1	34	2	38
2022	BS	12.B	2	1	2	FAL	2	2	0	2	2	2		35	2	39
2022	BS	12.C	2	1	2	F	2	2	0	2	2	2	2	37	2	41
2022	BS	12.D	2	2	2	F	2	2	0	2	2	2	2	40	2	44
2022	BS	13.A	2	2	2	FA	2	2	0	2	2	2	2	40	1	42
2022	BS	13.B	2	1,5	1	FS	0	2	0	2	1	2	1	29	2	32,5
2022	BS	13.C	2	2	2	FA	2	2	1	2	2	2	2	43	1	45
2022	BG	14.A	2	2	2	FA	2	2	1	2	2	2	2	43	2	47
2022	BG	14.B	2	2	1	FAS	2	2	0	0	2	2	2	33	2	37
2022	PV	15.A	2	2	2	FL	2	1	0	2	2	2	2	37	1	39
2022	PV	15.B	2	2	2	FAL	2	1	0	2	2	2	1	36	1	38
2022	PV	16	2	2	2	FA	2	2	0	2	1	1	1	35	2	39
2022	PV	17.A	2	2	1	FAL	1	1	0	2	2	2	2	32	1	34
2022	PV	17.B	2	2	1	FAL	1	1	1	2	2	2	2	35	2	39
2022	TN	18.A	2	2	2	FL	2	2	2	2	2	2	2	46	2	50
2022	TN	18.B	2	2	2	FL	2	2	0	2	2	2	2	40	2	44
2022	TN	18.C	2	1,5	2	FL	2	2	0	2	2	2	2	39	2	42,5
2022	GR	19.A	2	1	2	FA	1	2	1	2	2	2	2	38	2	42
2022	GR	19.B	2	1,5	2	FAL	1	2	1	2	2	2	2	40	2	43,5
2022	GR	20.A	2	2	2	FL	2	2	0	2	2	2	2	40	2	44
2022	GR	20.B	1	2	2	FAL	2	2	0	2	2	2	2	38	2	42
2022	TA	21.A	2	1	2	FA	2	2	0	2	2	2	2	37	1	39
2022	TA	21.B	2	1	1	FS	2	2	0	2	2	2	2	34	1	36
2022	AN	22	2	2	2	FA	2	1	1	2	2	2	2	40	1	42
2022	MC	23.A	2	2	2	FA	1	1	0	2	2	2	2	35	1	37
2022	MC	23.B	1	2	2	FA	2	2	1	2	2	2	2	41	1	43

Tabella 4.3: dati dei rilievi effettuati con il metodo dell'analisi visiva del suolo e relativo punteggio finale. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	Riduzione	Radici	Tatto	Tessitura a vista	Struttura	Porosità	Lombrichi	Ristagno superficiale	Crosta	Erosione	Colore	VSA FAO	Suola lavoraz.	VSA con S.L.
2022	MC	23.C	1	1,5	2	FA	1	1	0	2	2	2	1	31	1	32,5
2022	AN	24.A	2	2	2	FA	2	2	1	2	2	2	2	43	2	47
2022	AN	24.B	2	2	2	FAL	1	2	0	2	2	2	1	37	1	39
2022	AN	25.A	2	1,5	2	FA	1	1	1	2	2	2	1	36	2	39,5
2022	AN	25.B	2	2	2	FAL	1	2	0	2	2	2	2	38	1	40
2022	TV	27.A	1	2	2	FL	1	1	0	1	2	2	2	31	1	33
2022	TV	27.B	1		2	FL	1	1	2	2	2	2		31	1	33
2022	TV	27.C	2		2	FA	2	1	0	2	1	2	2	29	2	33
2022	BS	28.A	2	2	2	F	2	2	1	2	1	2	2	41	2	45
2022	BS	28.B	2	2	1	FS	2	2	1	2	2	2	2	40	1	42
2022	BS	28.C	2	2	2	AS	2	2	0	2	1	2	1	37	2	41
2022	BS	29.A	2	2	1	FS	2	2	0	2	2	2	2	37	2	41
2022	BS	29.B	2	2	1	SF	2	2	0	2	2	2	1	36	2	40
2022	BS	31.A	2	2	2	AS	2	2	1	2	1	2	1	40	2	44
2022	BG	32.B	1	0,5	2	FAL	1	1	1	1	2	2		28	1	29,5
2022	BG	32.C	2	0,5	0	AL	1	1	1	1	2	2	1	25	1	26,5
2022	BG	32.D	2	1	0	A	2	2	0	2	2	2	2	31	2	35
2022	BG	32.E	2	2	2	F	1	1	1	2	2	2	2	38	2	42
2022	BG	32.F	2	2	2	FA	1	1	0	2	2	2	2	35	2	39
2022	PV	33.A	2	2	2	F	1	1	0	2	2	2		33	1	35
2022	PV	33.B	2	2	1	FA	1	2	0	2	2	2		33	1	35
2022	PV	34.A	2	2	2	F	2	2	0	2	2	2	1	39	2	43
2022	PV	34.B	2	2	2	FS	2	2	0	2	2	2		38	1	40
2022	PV	35	2	1,5	2	FL	2	2	0	0	1	1	1	30	2	33,5
2022	AL	36.A	2	2	2	FAS	2	2	0	2	1	2	2	38	2	42
2022	AL	36.B	1	1,5	2		2	2	0	2	2	2		35	1	36,5
2022	PR	37.A	2	1,5	1	FA	2	1	1	2	2	2	2	36	1	37,5
2022	PR	37.B	2	2	2	AS	2	2	0	2	2	2	1	39	2	43
2022	PR	37.C	2	2	2	F	2	2	0	2	2	2	2	40	2	44
2022	PR	37.D	2	2	0	FAL	2	2	1	2	2	2	1	36	1	38
2022	PR	37.E	2	1,5	2	FA	1	1	1	2	2	2	1	36	1	37,5

Tabella 4.4: dati dei rilievi effettuati con il metodo dell'analisi visiva del suolo e relativo punteggio finale. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	Riduzione	Radici	Tatto	Tessitura a vista	Struttura	Porosità	Lombrichi	Ristagno superficiale	Crosta	Erosione	Colore	VSA FAO	Suola lavoraz.	VSA con S.L.
2022	PR	37.F	1	1,5	1	FL	1	1	0	2	2	2	1	28	1	29,5
2022	PR	38.A	2	1,5	2	FA	2	1	1	2	2	2	1	38	2	41,5
2022	PR	38.B	2	2	2	FAL	2	1	2	2	2	2	1	42	2	46
2022	PR	38.C	2	2	2	F	2	2	2	2	2	2	2	46	1	48
2022	KR	40.A	2	2	2	FS	1	1	0	2	2	2		33	2	37
2022	KR	40.B	2	2	1	FS	2	2	1	2	2	2		38	2	42
2022	KR	40.C	2	2	2	FAS	2	2	0	2	2	2		38	2	42
2022	KR	40.D	2	2	2	FA	2	2	0	2	2	1		36	2	40
2022	KR	40.E	2	2	2	AS	2	2	1	2	1	2		39	1	41
2022	KR	40.F	1	0,5	2	FAL	1	1	1	2	2	2		30	1	31,5
2023	BS	42	2	1,5	2	FAL	2	1	2	2	2	2	2	42	2	45,5
2023	PV	43.A	2	2	2	FA-AL	2	2	0	2	2	2	1	39	2	43
2023	BS	29.C	2	2	2	FAS	2	2	2	2	2	2		44	2	48
2023	BS	29.D	2	2	2	FA	2	1	2	2	2	2		41	1	43
2023	KR	40.G	2	1	2	F	2	2	1	2	2	2		38	2	42
2023	KR	40.H	2	1,5	2	F	2	2	1	2	2	2		40	2	43,5
2023	KR	40.I	2	2	2	FAL	1	1	0	2	1	1		29	2	33
2023	PD	44.A	2	2	0	FA	2	1	0	2	2	2	2	31	1	33
2023	PD	44.B	2	1	2	F	2	2	0	2	2	2	1	36	2	40
2023	GR	19.C	2	2	1	FS	2	2	1	2	2	2	2	40	1	42
2023	GR	19.D	2	2	1	FS	2	2	1	2	2	2	2	40	2	44
2023	BS	6.C	2	1	2	F	1	1	1	1	2	2	Non possibile	?	2	?
2023	BS	6.D	1	0,5	2	FAL	1	1	0	2	2	2	2	29	2	32,5
2023	TA	21.C	2	1,5	1	FS	0	2	0	2	2	2	Non possibile	?	1	?
2023	TA	21.D	2	2	2	FL	1	1	0	2	2	2	Non possibile	?	1	?
2023	BS	31.B	2	1,5	2	F	2	2	1	2	2	2	2	42	2	45,5
2023	PC	47	1	1,5	0	AL	0	1	0	0	2	2	1	19	1	20,5
2023	PC	48	2	2	2	FL	1	1	1	2	2	1	1	35	2	39
2023	PV	33.C	2	1,5	2	FA	2	2	0	0	1	2	1	32	2	35,5
2023	PV	33.D	2	2	2	FAL	1	1	0	0	1	2	1	28	2	32
2023	AL	1.E	2	1	2	FL	1	2	0	0	0	1	1	24	2	28

Tabella 4.5: dati dei rilievi effettuati con il metodo dell'analisi visiva del suolo e relativo punteggio finale. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	Riduzione	Radici	Tatto	Tessitura a vista	Struttura	Porosità	Lombrichi	Ristagno superficiale	Crosta	Erosione	Colore	VSA FAO	Suola lavoraz.	VSA con S.L.
2023	AL	1.F	2	1	2	FL	0	1	0	2	0	1	1	23	1	25
2023	AL	36.C	2	2	2	FL	2	2	0	2	0	1	2	34	2	38
2023	PD	44.C	2	2	0	FA	2	1	0	2	2	2	2	31	1	33
2023	PD	44.D	2	1	2	F	2	2	0	2	2	2	1	36	2	40
2023	GR	20.C	2	1,5	1	FA	1	2	0	2	2	2	2	34	2	37,5
2023	GR	20.D	2	1,5	1	FA	1	2	0	2	2	2	2	34	2	37,5
2023	AG	50.A	2	0,5	2	FAL	0	1	0	2	0	2	2	25	1	26,5
2023	AG	50.B	2	2	2	FA	2	2	0	2	2	2	2	40	2	44
2023	AG	50.C	2	2	2	FA	1	2	0	2	2	2	2	38	2	42
2023	AG	50.D	2	2	2	FAL	1	2	0	2	2	2	2	38	1	40

Tabella 4.6: dati dei rilievi effettuati con il metodo dell'analisi visiva del suolo e relativo punteggio finale. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

4.1.1 Struttura e porosità

Azienda	Punteggio	
	Struttura	Porosità
41.E	0	2
13.B	0	2
21.C	0	2
47	0	1
1.F	0	1
50.A	0	1
39.A	1	2
39.B	2	1
39.F	1	1
51	2	1
52	1	1
53	1	1
55	1	2
1.A	2	1
1.B	2	1
2.A	1	1
2.B	2	1
3.A	1	1
3.E	1	1
4.A	1	2
4.B	2	1
4.C	1	1
6.B	2	1
10.B	2	1
11	2	1
12.A	1	1
13.B	0	2
15.A	2	1
15.B	2	1
17.A	1	1
17.B	1	1
19.A	1	2
19.B	1	2
22	2	1
23.A	1	1
23.C	1	1
24.B	1	2

Azienda	Punteggio	
	Struttura	Porosità
25.A	1	1
25.B	1	2
27.A	1	1
27.B	1	1
27.C	2	1
32.B	1	1
32.C	1	1
32.E	1	1
32.F	1	1
33.A	1	1
33.B	1	2
37.A	2	1
37.E	1	1
37.F	1	1
38.A	2	1
38.B	2	1
40.A	1	1
40.F	1	1
42	2	1
29.D	2	1
40.I	1	1
44.A	2	1
6.C	1	1
6.D	1	1
21.C	0	2
21.D	1	1
47	0	1
48	1	1
33.D	1	1
1.E	1	2
1.F	0	1
44.C	2	1
20.C	1	2
20.D	1	2
50.A	0	1
50.C	1	2
50.D	1	2

Tabella 4.7: aziende che hanno ricevuto punteggio pari a “0” o “1” negli indicatori struttura e porosità.

La struttura del suolo è classificata in base alla dimensione, forma, compattezza, porosità e relativa abbondanza di aggregati e zolle (FAO, 2008). Le aziende sopra riportate presentano suolo che fatica a frantumarsi, con porzioni significative di zolle grossolane e compatte con pochi aggregati fini, le quali presentano pochi o nessun poro. I risultati evidenziano come le aziende che presentano un punteggio pari a “1” nella struttura (*Figura 4.3*), hanno un egual punteggio anche per la porosità, a dimostrazione di come questi due parametri siano strettamente correlati fra di loro.

I suoli che invece ricevono il punteggio massimo per l’indicatore della struttura, uguale a “2” (*Figura 4.4*), presentano zolle con molti macropori tra e dentro gli aggregati, che si possono notare osservando la superficie delle zolle. Tale superficie non deve presentarsi liscia, ma con irregolarità, e la zolla facilmente disgregabile, indice di una buona struttura del suolo (*Figura 4.2*).



Figura 4.2: focus sulla macroporosità rilevata con il metodo VSA durante un rilievo in vigneto. Si nota un terreno con porosità ottimale, che solitamente si abbina a struttura altrettanto interessante.



Figura 4.3: prova dell'indicatore struttura in due differenti appezzamenti presi in analisi. in entrambe le foto possiamo notare la presenza di grosse zolle con profili spigolosi, in entrambi i casi il punteggio attribuito all'indicatore è stato pari a "1".



Figura 4.4: prova dell'indicatore struttura di un appezzamento preso in analisi in cui entrambi gli indicatori struttura e porosità hanno preso punteggio "2". Si nota il terreno dominato da aggregati friabili e fini, senza zolle significative.

4.1.2 Il colore

Il confronto del colore di un campione di suolo prelevato in vigneto con un campione di suolo rilevato ai margini dell'appezzamento in una zona non soggetta a lavorazione, viene eseguito per osservare la differente sfumatura di colore del suolo (*Figura 4.5*). Infatti, un cambiamento di colore può fornire un'indicazione generale sul contenuto di sostanza organica: più il colore del suolo è scuro maggiore è la quantità di sostanza organica nel terreno.

Dai risultati riportati nelle precedenti tabelle si nota come due aziende abbiano ricevuto un punteggio uguale a "0" per questo indicatore e 46 aziende hanno ricevuto punteggio "1". Ciò vuol dire che il contenuto di sostanza organica del suolo interessato dalle lavorazioni e dalla crescita delle vigne presenta una riduzione di sostanza organica rispetto al circostante suolo naturale. In questo caso l'utilizzo di colture di copertura può favorire l'accumulo di sostanza organica e quindi un miglioramento di quelle che sono le condizioni generali del terreno.



Figura 4.5: in questa immagine è possibile notare il netto cambio di colore fra un campione di terra prelevato in vigneto (a sinistra) e un campione di terra prelevato in una zona ai bordi del vigneto non soggetta a lavorazione (a destra).

Commento e indicazioni operative per i paragrafi 4.1.1 e 4.1.2

La struttura è l'insieme delle singole particelle di terra fine in aggregati riconoscibili e separabili meccanicamente, formati da un fenomeno complesso frutto di processi fisici, chimici e biologici. La formazione della struttura aumenta lo spazio non occupato dalla fase solida. Il volume fra questo spazio in rapporto al volume totale del suolo è la porosità. È nei pori che stanno le altre due fasi del suolo, quella liquida e quella gassosa (Certini *et al.*, 2023).

La struttura del suolo ha una grande influenza sull'equilibrio dell'aria e dell'acqua, sull'immagazzinamento dell'acqua e dei nutrienti, sulla penetrazione delle radici, sulla suscettibilità all'erosione e alla compattazione e sull'habitat degli organismi del suolo (Lupo *et al.*, 2023).

Le particelle di sabbia, limo e argilla, che in varie percentuali, costituiscono la tessitura del suolo, sono aggregate fra di loro a formare la struttura soprattutto grazie alla presenza di sostanza organica. Quest'ultima funge da collante fra le particelle del suolo ed ha la capacità di rendere un suolo più areato e soffice, in cui le radici riescono a penetrarvi facilmente, l'attività microbica viene favorita e la disponibilità dei nutrienti aumenta.

Gli aggregati sono uno degli indicatori importanti della porosità del suolo, aiutano a coordinare l'umidità, la fertilità, l'aria e il calore del suolo. Inoltre, mantengono e stabilizzano lo strato poroso del suolo. La struttura stabile di questi aggregati è importante per i meccanismi di crescita complessivi delle colture e pertanto aumentare il numero degli aggregati favorisce il miglioramento della struttura del suolo (Cen *et al.*, 2021).

L'aggiunta di materia organica al suolo, sotto forma di residui colturali o ammendanti organici, aumenta il livello di materia organica a bassa densità, che può rappresentare fino al 45% della SOM totale. Questa forma di SOM ha la funzione di migliorare le proprietà meccaniche del suolo (Carter, 2002).

Per garantire quindi un ripristino della struttura del suolo può essere utile impiegare concimi ed ammendanti organici al fine di aumentare il contenuto di sostanza organica e di conseguenza limitare anche i fenomeni erosivi, garantendo una migliore capacità di ritenzione idrica del suolo a differenza di quanto si può osservare in terreni compatti.

Alcuni studi condotti da Abad *et al* (2023) hanno dimostrato come anche l'utilizzo di colture di copertura abbiano modificato in modo rilevante le proprietà fisiche e la struttura del suolo solo dopo 15 mesi dal trattamento. È stato mostrato come l'aggregazione e la

distribuzione degli aggregati si sia modificata in aggregati più stabili. In termini di funzionamento del suolo, questi risultati mostrano un miglioramento della qualità del suolo a diversi livelli nel suolo sotto le viti con colture di copertura. Oltre alla fornitura di un ambiente fisico migliore per i processi biologici del suolo, la ritenzione idrica e l'infiltrazione, e anche la resistenza al degrado fisico, possono essere associate a una struttura del suolo più stabile (Abad *et al.*, 2023).

Inoltre, le colture di copertura forniscono molti servizi agli agroecosistemi. In particolare, diminuiscono l'erosione, migliorano l'infiltrazione e riducono il deflusso, migliorano la ritenzione dei nutrienti del suolo e costruiscono la materia organica del suolo (SOM).

La coltivazione è noto che porta a possibili riduzioni della SOM presente nell'appezzamento, dovute ad ossidazione della SOM protetta all'interno degli aggregati del suolo. Gli agroecosistemi perenni possono supportare dinamiche di carbonio del suolo diverse rispetto agli agroecosistemi annuali a causa della minore frequenza di disturbo del suolo da parte della lavorazione del terreno. I vigneti rappresentano un agroecosistema perenne ideale in cui utilizzare colture di copertura per migliorare il contenuto di SOM (Steenwerth e Belina, 2008).

La semina di miscele di sementi di colture di copertura negli interfilari dei vigneti può garantire una buona fertilità del suolo, una migliore struttura del suolo e una buona attività microbica. Le colture di copertura possono supportare la crescita ottimale della vite e la quantità e la qualità della resa desiderata (Migléczy *et al.*, 2015).

Le colture di copertura sono spesso una buona scelta dal punto di vista ambientale, poiché generalmente aumentano il carbonio organico (SOC) del suolo, migliorano l'infiltrazione dell'acqua e la stabilità degli aggregati, riducono l'erosione del suolo e le emissioni di gas serra e aumentano la biodiversità nei vigneti.

Pertanto, una strategia complementare per il miglioramento della struttura dei suoli, può essere quelle di prevedere inerbimenti artificiali con essenze in grado di produrre abbondante biomassa e dotate di apparati radicali profondi e espansi, possibilmente fittonanti, che contribuiscano a rendere il suolo poroso anche in profondità e fungano da veicolo per la penetrazione e diffusione di acqua, elementi nutritivi e sostanza organica.

4.1.3 Presenza di suola di lavorazione

L'identificazione di strati compatti lungo il profilo del suolo viene verificata poiché strati di eccessiva compattezza determinano l'impossibilità delle radici di penetrarli e di approfondirsi, così come per lombrichi di esplorarli adeguatamente.

Dall'analisi dei dati risulta che 58 aziende presentano un punteggio relativo alla presenza di suola di lavorazione pari a "1", mentre una sola azienda mostra un punteggio uguale a "0". Questo vuol dire che negli appezzamenti il suolo appare molto compatto e difficile da penetrare (*Figura 4.6*), e ha un punteggio di porosità del suolo che va da 0 a 1. Ciò causa la riduzione della permeabilità del suolo a causa del compattamento degli orizzonti interessati dalle lavorazioni, e interferisce con il bilancio idrico del suolo non permettendo un accumulo di acqua negli strati più profondi.

Commento e indicazioni operative

È possibile intervenire per risolvere questo problema tramite l'utilizzo di ripuntatori che decompattano il suolo in profondità, a patto che la lavorazione garantisca la rottura della suola di lavorazione che si è formata. In questo modo si può migliorare anche la struttura e la porosità del suolo.



Figura 4.6: in queste immagini è possibile vedere la presenza di suola di lavorazione. Nell'immagine a destra si nota uno strato compatto, ma particolarmente profondo; nell'immagine a sinistra lo strato compatto è situato appena al di sotto del topsoil, dove cambia il colore degli orizzonti.

4.1.4 Approfondimento radicale

Perché la pianta sia in salute, è essenziale un perfetto sviluppo dell'apparato radicale. Un apparato radicale più profondo garantisce alla pianta di avere una maggiore resilienza a fenomeni di siccità estremi, nonché una minore sensibilità a situazioni di compattamento superficiale. Radici efficienti permettono un migliore approvvigionamento di elementi nutritivi.

L'apparato radicale in crescita ha inoltre un impatto diretto sulla struttura del suolo. Infatti le radici causano un riarrangiamento spaziale delle particelle minerali del suolo proprio a causa della pressione fisica che esercitano sulle particelle del suolo stesso durante la loro crescita. Inoltre l'escrezione di mucillagini e rizodeposizioni influisce sulle proprietà fisiche del microambiente della rizosfera (Mueller *et al.*, 2019).

La crescita di un apparato radicale più profondo è a sua volta influenzata dalla presenza di una buona struttura e una maggiore porosità del suolo, poiché in questo caso la radice non trova un'eccessiva opposizione alla sua crescita. Una buona porosità si traduce in una maggior esplorabilità del terreno.

Nei rilievi effettuati è stato possibile notare come in corrispondenza di valori non ottimali relativi alla porosità, l'approfondimento radicale riceva spesso un punteggio tra "1,5" e "0,5", corrispondenti ad un approfondimento radicale compreso tra 40 e 60 cm. Sono stati trovati anche apparati radicali molto sviluppati che superavano il metro di profondità, in particolare sono state trovate radici ad una profondità di 112 cm (Figura 4.7).



Figura 4.7: apparato radicale sviluppato in profondità, focus su radici presenti ad una profondità di 112 cm.

4.2 Elementi di indagine aggiuntivi

La disponibilità di analisi chimico fisiche permette di integrare le osservazioni della VSA con elementi oggettivi che sono fondamentali per interpretare compiutamente il terreno.

4.2.1 Dati analisi chimico-fisiche

Per le analisi chimico fisiche sono stati rilevati numerosi parametri quali:

- Il contenuto di sabbia, limo e argilla
- Il calcare totale e il calcare attivo
- Fosforo assimilabile
- Potassio scambiabile
- Magnesio scambiabile
- Il rapporto magnesio/potassio
- Il pH
- La capacità di scambio cationico
- Il contenuto in rame
- Il contenuto in sostanza organica, le frazioni di carbonio organico totale e labile (POM) e il carbonio organico stabile

I dati relativi a questi parametri sono riportati dalla *Tabella 4.8* alla *Tabella 4.15*.

Di tali parametri ne sono stati presi in considerazione tre, contenuto in rame, contenuto in fosforo assimilabile e rapporto Mg/K, di seguito approfonditi.

Anno	Zona	Codice azienda	Sabbia g/kg	Limo g/kg	Argilla g/kg	Calcarea_tot g/kg	Calcarea_att g/kg	Fosforo ass mg/kg P2O5	Potassio sc mg/kg K2O	Magnesio sc mg/kg MgO	Mg/K
2022	BS	26.A	457	363	180	283	18	29	142	356	5,86033
2022	BS	26.B	381	419	200	228	17	149	436	471	2,525195
2022	BS	30	104	536	360	121	78	28	239	555	5,428196
2022	BS	39.A	604	306	90	576	75	21	122	229	4,387692
2022	BS	39.B	422	428	150	417	85	22	147	295	4,690997
2022	BS	39.C	406	444	150	293	62	42	210	504	5,610114
2022	BS	39.D	396	434	170	237	47	87	283	421	3,477412
2022	BS	39.E	529	381	90	577	79	47	175	265	3,539715
2022	BS	41.A	399	391	210	291	29	52	253	504	4,656616
2022	BS	41.C	380	420	200	224	17	40	204	728	8,341836
2023	BS	41.F	231	489	280	429	111	26	225	580	6,025678
2023	BS	41.H	416	404	180	360	75	36	220	358	3,803827
2022	AL	1.A	37	553	410	280	119	16	234	575	5,743973
2022	AL	1.D	71	699	230	208	99	17	372	317	1,991942
2022	PC	2.A	178	382	440	160	53	18	257	385	3,501773
2022	PC	2.C	99	441	460	169	93	13	226	1472	15,22509
2022	BS	3.A	262	368	370	< 10	< 10	42	226	225	2,327204
2022	BS	3.B	288	442	270	< 10	< 10	42	169	298	4,121829
2022	BS	3.C	242	478	280	23	10	87	340	602	4,138834
2022	BS	3.D	220	490	290	10	10	54	407	288	1,654088
2022	BS	3.E	190	470	340	119	45	71	473	287	1,418343
2022	BS	4.A	399	401	200	< 10	< 10	9	64	186	6,793497
2022	BS	4.B	242	628	130	< 10	< 10	129	129	191	3,46102
2022	BS	4.C	286	504	210	<10	<10	46	80	197	5,756211
2022	BS	4.D	219	521	260	< 10	< 10	17	102	259	5,935537

Tabella 4.8: risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui rilievi eseguiti in alcune delle aziende prese in indagine per la VSA. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	Sabbia g/kg	Limo g/kg	Argilla g/kg	Calcare_tot g/kg	Calcare_att g/kg	Fosforo ass mg/kg P2O5	Potassio sc mg/kg K2O	Magnesio sc mg/kg MgO	Mg/K
2022	BS	5	109	461	430	17	17	12	306	333	2,543802
2022	BS	6.A	297	493	210	< 10	< 10	20	111	145	3,053553
2022	BS	6.B	363	427	210	< 10	< 10	70	260	348	3,128717
2022	BS	7.A	438	412	150	< 10	< 10	33	118	212	4,199662
2022	BS	7.B	467	343	190	< 10	< 10	50	140	303	5,059121
2022	BS	7.C	341	429	230	< 10	< 10	42	175	360	4,808669
2022	BS	8.A	495	355	150	17	< 10	30	52	148	6,65302
2022	BS	8.B	493	397	110	< 10	< 10	25	56	87	3,631547
2022	BS	9	364	516	120	< 10	< 10	68	48	100	4,869891
2022	BS	10.A	247	493	260	< 10	< 10	48	276	280	2,371425
2022	BS	10.B	210	390	400	23	16	28	234	275	2,747118
2022	BS	10.C	239	421	340	< 10	< 10	48	207	288	3,25224
2022	BS	11	283	437	280	60	23	64	292	340	2,721802
2022	BS	12.A	324	466	210	< 10	< 10	102	222	245	2,579726
2022	BS	12.B	418	462	120	< 10	< 10	68	81	148	4,271074
2022	BS	12.C	548	342	110	< 10	< 10	43	38	143	8,79656
2022	BS	12.D	508	362	130	< 10	< 10	34	190	259	3,186446
2022	BS	13.A	461	379	160	< 10	< 10	22	85	103	2,832558
2022	BS	13.B	632	258	110	297	46	20	67	73	2,54688
2022	BS	13.C	489	391	120	< 10	< 10	109	101	152	3,517893
2022	BG	14.A	126	624	250	< 10	< 10	27	187	277	3,46257
2022	BG	14.B	137	503	360	< 10	< 10	35	126	308	5,714005
2022	PV	15.A	284	396	320	196	69	23	304	176	1,353317
2022	PV	15.B	329	371	300	154	47	17	229	201	2,051734
2022	PV	16	169	581	250	389	122	7	170	361	4,963851
2022	PV	17.A	224	556	220	148	60	54	611	310	1,18599
2022	PV	17.B	152	528	320	142	59	32	419	240	1,338929

Tabella 4.9: risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui rilievi eseguiti in alcune delle aziende prese in indagine per la VSA. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	Sabbia g/kg	Limo g/kg	Argilla g/kg	Calcare_tot g/kg	Calcare_att g/kg	Fosforo ass mg/kg P2O5	Potassio sc mg/kg K2O	Magnesio sc mg/kg MgO	Mg/K
2022	TN	18.A	479	361	160	348	12	96	223	600	6,289365
2022	TN	18.B	573	307	120	349	< 10	149	305	695	5,326543
2022	TN	18.C	575	275	150	376	11	143	175	471	6,291342
2022	GR	19.A	292	428	280	252	78	14	72	555	18,01859
2022	GR	19.B	330	340	330	35	21	14	85	277	7,617655
2022	GR	20.A	309	331	360	<10	<10	21	160	451	6,588962
2022	GR	20.B	197	463	340	343	106	32	146	176	2,817865
2022	TA	21.A	268	372	360	< 10	< 10	25	673	671	2,330601
2022	TA	21.B	706	174	120	647	88	7	153	164	2,505606
2022	AN	22	142	478	380	291	110	32	282	401	3,323959
2022	MC	23.A	127	533	340	395	120	19	312	554	4,150645
2022	MC	23.B	134	516	350	415	122	13	307	410	3,121806
2022	MC	23.C	121	539	340	406	121	23	414	550	3,105437
2022	AN	24.A	196	544	260	332	105	20	296	519	4,098605
2022	AN	24.B	66	594	340	286	105	9	246	998	9,483221
2022	AN	25.A	101	509	390	234	93	16	270	1103	9,549314
2022	AN	25.B	181	439	380	245	105	24	243	431	4,14602
2022	TV	27.A	90	650	260	39	25	264	736	1200	3,811219
2022	TV	27.A	175	525	300	112	26	160	295	730	5,784439
2022	TV	27.B	128	552	320	70	27	79	313	1000	7,468203
2022	BS	28.A	599	311	90	< 10	< 10	30	60	140	5,454277
2022	BS	28.B	562	318	120	27	< 10	30	115	119	2,418853
2022	BS	28.D	387	323	290	< 10	< 10	66	153	318	4,858432
2022	BS	29.A	518	322	160	< 10	< 10	249	271	181	1,56124
2022	BS	29.C	537	313	150	< 10	< 10	85	70	127	4,240979
2022	BS	31.A	327	423	250	< 10	< 10	32	143	196	3,203911
2022	BG	32.A	393	427	180	< 10	< 10	14	57	259	10,62149

Tabella 4.10: risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui rilievi eseguiti in alcune delle aziende prese in indagine per la VSA. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	Sabbia g/kg	Limo g/kg	Argilla g/kg	Calcare_tot g/kg	Calcare_att g/kg	Fosforo ass mg/kg P2O5	Potassio sc mg/kg K2O	Magnesio sc mg/kg MgO	Mg/K
2022	BG	32.B	326	554	120	< 10	< 10	15	53	264	11,64363
2022	BG	32.C	333	467	200	< 10	< 10	10	79	328	9,70526
2022	BG	32.D	406	454	140	< 10	< 10	24	64	227	8,290989
2022	BG	32.E	281	429	290	< 10	< 10	15	102	348	7,975162
2022	PV	33.A	186	434	380	81	36	21	296	532	4,201268
2022	PV	33.B	59	581	360	362	124	9	369	564	3,572837
2022	PV	34.A	291	449	260	248	77	23	260	406	3,65017
2022	PV	34.B	596	284	120	149	34	6	91	179	4,598033
2022	PV	35	187	433	380	< 10	< 10	14	111	698	14,69917
2022	AL	36.A	180	570	250	254	127	12	365	279	1,786783
2022	PR	37.A	222	518	260	331	22	18	123	484	9,198154
2022	PR	37.B	663	137	200	613	12	13	72	557	18,08353
2022	PR	37.C	392	328	280	121	20	23	97	446	10,7479
2022	PR	37.D	303	387	310	361	81	20	116	754	15,19406
2022	PR	37.E	540	170	290	523	13	126	187	904	11,30023
2022	PR	37.F	302	478	220	60	11	30	107	804	17,56438
2022	PR	37.G	255	435	310	292	55	18	251	570	5,308375
2022	PR	37.H	106	514	380	368	81	18	200	1577	18,43156
2022	PR	38.A	510	330	160	<10	<10	32	101	415	9,604774
2022	PR	38.B	315	435	250	<10	<10	92	210	1015	11,29815
2022	PR	38.C	296	444	260	<10	<10	49	141	1447	23,98887
2022	KR	40.A	210	510	280	138	40	33	225	524	5,443888
2022	KR	40.B	546	294	160	172	28	99	166	212	2,985302
2022	KR	40.C	266	484	250	98	27	21	239	459	4,489265
2022	KR	40.D	221	459	320	205	85	12	179	376	4,910156
2022	KR	40.E	242	528	230	170	41	26	166	373	5,252441
2022	KR	40.F	115	485	400	190	86	10	275	1356	11,52623

Tabella 4.11: risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui rilievi eseguiti in alcune delle aziende prese in indagine per la VSA. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	pH	CSC meq/100g	Cu_totale mg/kg	Sost_organica g/kg	Carbonio organico totale g/kg	Carbonio organico labile (POM) g/kg	Carbonio organico stabile g/kg	% POM
2022	BS	26.A	8,1	20,8	90	27	15,5	3,6	11,9	0,23
2022	BS	26.B	8	26,9	195	43	25	9,4	15,6	0,38

2022	BS	30	8,1	34,5	54	32	18,4	5,4	13	0,29
2022	BS	39.A	8,1	6,9	40	27	15,5	5,6	9,9	0,36
2022	BS	39.B	8	12,7	39	36	20,7	4,7	16	0,23
2022	BS	39.C	7,8	22,6	49	44	25,7	8,8	16,9	0,34
2022	BS	39.D	8	17,6	50	38	21,8	8,3	13,5	0,38
2022	BS	39.E	7,9	11,4	43	27	15,7	7,3	8,4	0,46
2022	BS	41.A	7,9	26,6	72	53	30,5	10,1	20,4	0,33
2022	BS	41.C	7,8	30,2	104	57	33,2	8,7	24,5	0,26
2023	BS	41.F	8,1	18,9	35	32	18,3	4,3	14	0,23
2023	BS	41.H	7,8	21	44	43	25	7,3	17,7	0,29

2022	AL	1.A	8,4	23,4	164	10	5,6	1,7	3,9	0,30
2022	AL	1.D	8,4	21,1	225	14	7,9	3,2	4,7	0,41
2022	PC	2.A	8,1	36,2	55	26	15,2	3	12,2	0,20
2022	PC	2.C	8,2	36,3	33	14	8,4	2,1	6,3	0,25
2022	BS	3.A	7,7	26,7	134	27	15,4	6,8	8,6	0,44
2022	BS	3.B	6,4	25,3	255	43	24,6	6,4	18,2	0,26
2022	BS	3.C	7,7	28,9	249	50	29,2	13	16,2	0,45
2022	BS	3.D	7,6	21,5	111	37	21,4	5,1	16,3	0,24
2022	BS	3.E	7,9	24,4	83	41	23,6	6,2	17,4	0,26
2022	BS	4.A	7,8	14,8	74	12	7,2	2,3	4,9	0,32
2022	BS	4.B	6,2	11,8	39	18	10,7	1,8	8,9	0,17
2022	BS	4.C	7,4	17,8	49	22	12,6	4,3	8,3	0,34
2022	BS	4.D	7,5	13,9	67	18	10,6	2,9	7,7	0,27

Tabella 4.12: risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui rilievi eseguiti in alcune delle aziende prese in indagine per la VSA. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	pH	CSC meq/100g	Cu_totale mg/kg	Sost_organica g/kg	Carbonio organico totale g/kg	Carbonio organico labile (POM) g/kg	Carbonio organico stabile g/kg	% POM
2022	BS	5	7,6	30,3	78	29	16,8	2,8	14	0,17
2022	BS	6.A	6,1	12,7	44	10	5,9	1,2	4,7	0,20
2022	BS	6.B	6,3	17	169	31	18,1	4,2	13,9	0,23
2022	BS	7.A	7,3	15,6	108	29	17,1	4,7	12,4	0,27
2022	BS	7.B	7,1	15,9	171	31	18,1	4,5	13,6	0,25
2022	BS	7.C	6,8	17	122	30	17,6	4,7	12,9	0,27
2022	BS	8.A	8	11,7	44	14	8,4	1,6	6,8	0,19
2022	BS	8.B	8,2	11,8	36	22	12,5	2,9	9,6	0,23
2022	BS	9	6,7	10,5	35	14	7,9	1,2	6,7	0,15
2022	BS	10.A	6,6	19,6	146	27	15,8	6,2	9,6	0,39
2022	BS	10.B	8	22,3	58	15	8,4	1,5	6,9	0,18
2022	BS	10.C	7,7	24,6	317	26	15,1	4,5	10,6	0,30
2022	BS	11	7,9	26,1	100	35	20,6	6,1	14,5	0,30
2022	BS	12.A	7,5	22,2	68	35	20	6	14	0,30
2022	BS	12.B	5,9	10,3	42	18	10,5	3,5	7	0,33
2022	BS	12.C	6,6	9,4	145	16	9,5	2,1	7,4	0,22
2022	BS	12.D	7,5	17,1	57	42	24,3	7,9	16,4	0,33
2022	BS	13.A	7,6	15,1	77	22	12,8	2,2	10,6	0,17
2022	BS	13.B	8,2	11,1	34	12	7	2,7	4,3	0,39
2022	BS	13.C	6,2	9,2	91	13	7,7	2,5	5,2	0,32
2022	BG	14.A	6,3	16,2	133	28	16,1	5,1	11	0,32
2022	BG	14.B	6,6	18,4	71	17	10,1	3,1	7	0,31
2022	PV	15.A	8,1	24,1	96	21	12,4	2,6	9,8	0,21
2022	PV	15.B	8,2	27,7	176	23	13,5	4,3	9,2	0,32
2022	PV	16	8,2	19,7	29	13	7,4	2,2	5,2	0,30
2022	PV	17.A	8	25	149	29	17,1	7,2	9,9	0,42
2022	PV	17.B	8,2	24,7	81	14	8	1,9	6,1	0,24

Tabella 4.13: risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui rilievi eseguiti in alcune delle aziende prese in indagine per la VSA. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	pH	CSC meq/100g	Cu_totale mg/kg	Sost_organica g/kg	Carbonio organico totale g/kg	Carbonio organico labile (POM) g/kg	Carbonio organico stabile g/kg	% POM
2022	TN	18.A	7,5	23,9	202	64	37,3	17,1	20,2	0,46
2022	TN	18.B	7,7	22,6	416	73	42,5	24,4	18,1	0,57
2022	TN	18.C	7,9	13,7	160	28	16,5	3,3	13,2	0,20
2022	GR	19.A	8,4	14,5	60	13	7,3	1,7	5,6	0,23
2022	GR	19.B	8,3	22,3	51	20	11,5	2,5	9	0,22
2022	GR	20.A	7,3	21,6	35	17	9,6	1,9	7,7	0,20
2022	GR	20.B	8,4	4,9	51	25	14,2	2,8	11,4	0,20
2022	TA	21.A	8,2	23,2	74	18	10,5	1,8	8,7	0,17
2022	TA	21.B	8,4	11,8	15	5	2,8	2,2	0,6	0,79
2022	AN	22	8,2	22,6	38	16	9,4	2,8	6,6	0,30
2022	MC	23.A	8,4	19,9	24	11	6,2	1,3	4,9	0,21
2022	MC	23.B	8,2	20,3	30	14	7,9	2,7	5,2	0,34
2022	MC	23.C	8,1	21	52	24	14	5,8	8,2	0,41
2022	AN	24.A	8,1	20,1	30	13	7,3	2,3	5	0,32
2022	AN	24.B	8,5	22,1	19	8	4,8	0,6	4,2	0,13
2022	AN	25.A	8,4	23,1	38	10	5,7	1	4,7	0,18
2022	AN	25.B	8,1	25	60	17	9,9	3,3	6,6	0,33
2022	TV	27.A	8	27,7	141	30	17,3	4,6	12,7	0,27
2022	TV	27.A	8	24,5	40	27	15,5	3	12,5	0,19
2022	TV	27.B	8,1	25,9	78	26	14,8	3,4	11,4	0,23
2022	BS	28.A	6,4	11,6	34	25	14,3	2,8	11,5	0,20
2022	BS	28.B	8,3	11,7	65	18	10,3	3,2	7,1	0,31
2022	BS	28.D	6,8	16,7	48	14	8,2	2,1	6,1	0,26
2022	BS	29.A	6	13,1	47	25	14,4	1,7	12,7	0,12
2022	BS	29.C	5,9	10,1	39	23	13,5	1,7	11,8	0,13
2022	BS	31.A	7,6	22,6	40	29	16,8	2,1	14,7	0,13
2022	BG	32.A	6,7	10,9	25	12	7,1	1,8	5,3	0,25

Tabella 4.14: risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui rilievi eseguiti in alcune delle aziende prese in indagine per la VSA. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

Anno	Zona	Codice azienda	pH	CSC meq/100g	Cu_totale mg/kg	Sost_organica g/kg	Carbonio organico totale g/kg	Carbonio organico labile (POM) g/kg	Carbonio organico stabile g/kg	% POM
2022	BG	32.B	6,6	12,7	71	25	14,6	5,8	8,8	0,40
2022	BG	32.C	7,3	14,4	59	19	11,2	3	8,2	0,27
2022	BG	32.D	6,8	11,2	62	23	13,4	4,4	9	0,33
2022	BG	32.E	6,6	19,9	82	24	13,6	2,4	11,2	0,18
2022	PV	33.A	8,1	22,2	99	21	12	4,9	7,1	0,41
2022	PV	33.B	8,2	15,4	74	17	10	3,1	6,9	0,31
2022	PV	34.A	7,6	15,7	169	17	10	3,2	6,8	0,32
2022	PV	34.B	8,2	9,2	22	5	3	1,4	1,6	0,47
2022	PV	35	5,4	19,7	54	19	10,7	3,1	7,6	0,29
2022	AL	36.A	7,9	23,3	134	25	14,6	4,5	10,1	0,31
2022	PR	37.A	8,1	19,7	34	23	13,3	1,1	12,2	0,08
2022	PR	37.B	8,3	10,6	11	11	6,5	1,2	5,3	0,18
2022	PR	37.C	8,1	19,2	129	19	11,2	2,6	8,6	0,23
2022	PR	37.D	8,3	18,8	46	21	12,3	3,6	8,7	0,29
2022	PR	37.E	7,9	21,4	30	13	7,6	2,3	5,5	0,30
2022	PR	37.F	8,1	25,7	258	29	16,9	5,3	11,6	0,31
2022	PR	37.G	8,3	21,6	143	18	10,4	1,4	9	0,13
2022	PR	37.H	8,4	24,7	21	11	6,4	1,2	5,2	0,19
2022	PR	38.A	6,7	12,4	22	13	7,5	1,6	5,9	0,21
2022	PR	38.B	7,5	23,3	28	24	13,8	2,4	11,4	0,17
2022	PR	38.C	7,9	23,3	25	21	12,4	1,3	11,1	0,10
2022	KR	40.A	8,4	14,3	19	13	7,6	1,6	6	0,21
2022	KR	40.B	8,4	9,7	18	10	5,8	1,5	4,3	0,26
2022	KR	40.C	8,3	15,2	22	18	10,6	2,2	8,4	0,21
2022	KR	40.D	8,3	15,1	19	15	8,5	1,1	7,4	0,13
2022	KR	40.E	8,4	11,8	16	11	6,3	0,9	5,4	0,14
2022	KR	40.F	8,3	18,9	17	9	5,3	0,9	4,4	0,17

Tabella 4.15: risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui rilievi eseguiti in alcune delle aziende prese in indagine per la VSA. In rosa sono riportati i dati delle aziende dell'area viticola DOC Valtènesi e in giallo quelli dell'area viticola DOC Lugana. I restati dati sono stati rilevati in altre provincie italiane.

4.2.2 Confronto tra tessitura a vista VSA e tessitura reale delle analisi chimico-fisiche

La tessitura è la distribuzione percentuale delle tre classi dimensionali della terra fine: sabbia, limo e argilla. Durante la descrizione di campo, come con il metodo VSA, si cerca di individuare non tanto la tessitura, quanto la classe tessiturale tramite la lavorazione a mano di un campione di suolo bagnato. Cogliendo aspetti peculiari dalla manipolazione del campione, quali la ruvidezza, la saponosità e la plasticità, è possibile definire la classe tessiturale (Certini *et al.*, 2023). Durante l'analisi chimico-fisica di un campione di suolo è invece possibile rilevare la tessitura reale, ovvero le giuste percentuali di sabbia, limo e argilla.

Anche se meno precisa rispetto alla analisi di laboratorio, il vantaggio della VSA è quello di poter correlare immediatamente la classe tessiturale con le altre osservazioni di campo, inoltre di poter valutare economicamente e velocemente il suolo a diverse profondità, ad esempio in funzione dell'osservazione di vari strati di terreno con caratteristiche diverse.

4.2.3 Contenuto in rame

34 campioni di suolo sui 106 sottoposti ad analisi chimico-fisica hanno mostrato un contenuto di rame totale superiore ad 80 mg/kg, e molti di questi campioni superano di molto il contenuto di 100 mg/kg. In generale si osserva una media del contenuto di rame di 81 mg/kg, inferiore alla soglia convenzionale alla quale si ritiene che il rame possa avere effetti negativi sullo sviluppo vegeto-produttivo e sulla qualità del suolo.

Commento e indicazioni operative

Conoscere la quantità di rame ed operare scelte tecniche che ne limitino gli apporti è quindi fondamentale per garantire minore impatto ambientale.

Per ridurre l'apporto di rame in suoli contaminati, oltre ad un utilizzo di prodotti a base di rame solo quando necessario, si può pensare di eseguire una coltivazione di piante che estraggono il rame negli interfilari dei vigneti, un modo attualmente in esame in agroecologia per ridurre la contaminazione da rame dei suoli. La fitoestrazione di rame potrebbe essere associata ad altre pratiche agricole come l'applicazione di composti e concimi calcici o calciomagnesiaci o l'aggiunta di materia organica per controllare efficacemente la fitodisponibilità di rame nei suoli dei vigneti (Cornu *et al.*, 2022).

4.2.4 Rapporto tra magnesio e potassio

Dai risultati ottenuti dalle analisi chimico-fisiche si nota che 53 appezzamenti mostrano un rapporto Mg/K adeguato compreso tra 2 e 5; 8 appezzamenti mostrano un contenuto inferiore a 2; mentre 45 appezzamenti hanno un rapporto squilibrato superiore a 5.

Commento e indicazioni operative

Il rapporto magnesio/potassio, determinato dividendo le concentrazioni dei due elementi espresse come cmol/kg, è equilibrato quando è compreso tra 2 e 5, mentre valori superiori a 5 riducono la disponibilità del potassio. In questi casi si consiglia di effettuare concimazioni potassiche consistenti, evitando qualsiasi apporto di magnesio (Sequi *et al.*, 2017). Alte concentrazioni di potassio possono indurre uno stato di magnesio carenza pur in presenza di quantità di per sé adeguate di magnesio. Il dato analitico permetterà di suggerire alle aziende la migliore strategia di concimazione.

4.2.5 Contenuto in fosforo P₂O₅

Nei 106 campioni di suolo analizzati si osserva una media del contenuto di fosforo pari a 44 mg/kg, valore che si attesta ad un contenuto di fosforo (P₂O₅) nel suolo valutato “medio” dalle tabelle relative alla valutazione della dotazione di elementi dei principali protocolli di analisi chimico-fisiche del suolo.

Commento e indicazioni operative

Valori bassi di fosforo nel suolo indicano la necessità di sostenere le colture con adeguati apporti. Mentre valori molto elevati rendono superflua ogni somministrazione.

La maggior parte dei campi agricoli del mondo oggi si basa su fertilizzanti derivati dalla roccia fosfatica. Tuttavia, la roccia fosfatica è una risorsa non rinnovabile che ha impiegato 10-15 milioni di anni per formarsi e il fosforo non ha alcun sostituto nella produzione alimentare.

Il ciclo del fosforo nel suolo è molto complesso e comprende processi chimici, fisici e biologici che influenzano la disponibilità di fosforo per le piante. Considerato una risorsa in esaurimento, per mitigarne l'ulteriore degrado vi è una necessità immediata di aumentare l'efficienza d'uso del fosforo negli agroecosistemi. Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso una gestione che aumenta la materia organica del suolo e la mineralizzazione del fosforo organico (Schneider *et al.*, 2019).

I miglioramenti strutturali apportati al suolo aumentando la quantità di sostanza organica possono migliorare la disponibilità di fosforo delle piante. Il fosforo organico può essere mineralizzato durante la mineralizzazione biologica e consentire un maggiore accesso delle radici alle riserve di fosforo del suolo. (Schneider *et al.*, 2019).

5 CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

L'indagine eseguita in aziende vitivinicole dislocate su tutto il territorio italiano ha permesso di constatare uno stato medio-ottimale dei suoli vitati, e non ha rilevato suoli con condizioni scarse relative agli indicatori analizzati tramite il metodo VSA della FAO.

L'analisi VSA garantisce la comprensione delle caratteristiche fisiche e strutturali del terreno e permette di pianificare interventi *ad hoc* in grado di intervenire con le giuste strategie agronomiche.

Dall'indagine si denota come le colture di copertura svolgano un ruolo importante nelle strategie di gestione del vigneto in quanto permettono di ridurre la formazione di crosta superficiale lungo gli interfilari, proteggono la superficie del suolo dall'erosione e migliorano la struttura e la porosità del suolo apportando sostanza organica. In generale, l'apporto di sostanza organica, o la predilezione di tecniche colturali conservative che ne incrementino la presenza, ha un ruolo fondamentale nel mantenimento di un suolo di qualità, influenzando sulla struttura, sulla porosità, e agisce indirettamente sullo stato di benessere e resilienza della pianta.

Sulla base dell'esperienza acquisita dalle osservazioni fatte su diversi campioni, la procedura della FAO potrebbe essere integrata con ulteriori osservazioni, come la valutazione della quantità e qualità della presenza di scheletro a vari livelli di profondità. Si potrebbe inserire un approfondimento sulla descrizione dei profili presenti negli strati del suolo, quali il topsoil, lo strato intermedio e profondo, con riferimenti al loro spessore e alla loro tessitura.

In prospettiva di un miglioramento del lavoro di analisi visiva del suolo, potrebbe inoltre essere inserito un punteggio relativo alla prova dell'indicatore della presenza di suola di lavorazione, come fatto nell'analisi dei dati di questo lavoro di indagine, dopo aver denotato la presenza di un giudizio negativo di questo indicatore in numerose delle aziende prese in esame.

In un'ottica futura potrà essere interessante approfondire le considerazioni fatte ed eventualmente integrare il metodo della FAO per renderlo più adatto all'indagine nei vigneti. Comunque si ritiene che questo metodo possa utilmente essere applicato al fine di ottenere informazioni complementari interessanti rispetto alle indagini classiche dei suoli, ed elementi integrativi che riguardano lo stato della pianta, per poter indirizzare al meglio i consigli di gestione agronomica.

6 BIBLIOGRAFIA

1999. Decreto ministeriale 13.09.1999 n. 185. Approvazione dei “Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo”. Gazzetta Ufficiale n. 248, supplemento ordinario, 21 ottobre.

Abad, F.J., Marín, D., Imbert, B., Virto, I., Garbisu, C., Santesteban, L.G. 2023. Undervine cover crops: Impact on physical and biological soil proprieties in an irrigated Mediterranean vineyard. *Sci. Hortic.* 311, 111797

Adamo P. e Celi L. 2009. Conoscenza, conservazione e uso sostenibile del suolo: aspetti chimico-agrari. *Italian Journal of Agronomy*, (3) :137-149

Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Ziaurrehman, M., Irshad, M.K., Bharwana, S.A. 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 8148–8162.

Andrés, P., Doblaz-Miranda, E., Silva-Sánchez, A.; Mattana, S., Font F. 2022. Physical, Chemical, and Biological Indicators of Soil Quality in Mediterranean Vineyards under Contrasting Farming Schemes. *Agronomy* 2022, 12, 2643

Bach E.M., Ramirez K.S., Fraser T.D. e Wall D.H. 2020. Soil biodiversity integrates solution for a sustainable future. *Sustainability* 2020, 12(7), 2662

Batey T. 2009. Soil compaction and soil management-a review. *Soil Use and Management* 25, 335–345

Benedetti A. e Mocali S. 2009. La qualità del suolo: chiave delle produzioni sostenibili. *Italian Journal of Agronomy*, (1): 13-21

Bevivino A., Sonnino A. e Rossi L. 2020. Il microbioma dell’agro-ecosistema al servizio della produzione primaria

Bhaduri D., Sihi D., Bhowmik A., Verma B.C., Munda S., Dari B. 2022. A review on effective soil health bio-indicators for ecosystem restoration and sustainability. *Front Microbiol.* 2022 Aug 17;13:938481

Blouin M., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussard L., Butt K.R., Dai J., Dendooven L., Peres G., Tondoh J.E., et al. 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *Eur. J. Soil Sci.* 2013, 64, 161–182

- Bordoni M., Vercesi A., Maerker M., Ganimede C., Reguzzi M.C., Capelli E., Wei X., Mazzoni E., Simoni S., Gagnarli E., Meisina C. 2019. Effects of vineyard soil management on the characteristics of soils and roots in the lower Oltrepò Apennines (Lombardy, Italy). *Sci Total Environ.* 2019 novembre 25;693:133390
- Bossuyt H., Six J., Hendrix P.F. 2005. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry.* 37(2), 251-258
- Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R., Flesskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., van Groenigen J.W. e Brussaard L. 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120: 105-125
- Caravaca F., Alguacil M.M., Torres P., Roldán A. 2005. Plant type mediates rhizospheric microbial activities and soil aggregation in a semiarid Mediterranean salt marsh. *Geoderma* 124:375–382
- Carter M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94, 38–47
- Cataldo E., Fucile M., Mattii G.B. 2021. A Review: Soil Management, Sustainable Strategies and Approaches to Improve the Quality of Modern Viticulture. *Agronomy* 2021, 11, 2359
- Cavani L., Manici L.M., Caputo F., Peruzzi E., Ciavatta C. 2016. Ecological restoration of a copper polluted vineyard: Long-term impact of farmland abandonment on soil bio-chemical properties and microbial communities. *J Environ Manage.* 1;182:37-47
- Cen R., Feng W., Yang F., Wu W., Liao H., Qu Z. 2021. Effect mechanism of biochar application on soil structure and organic matter in semi-arid areas. *J. Environ. Manage.* 286, 112198
- Chaignon, V., Sanchez-Neira, I., Herrmann, P., Jaillard, B., Hinsinger, P., 2003. Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. *Environ. Pollut.* 123, 229–238
- Colombo C., Palumbo G. e Belliggiano A. 2011. Il degrado della risorsa suolo, quale futuro per l'agricoltura e per l'ambiente? *Italian Journal of Agronomy*, (2)
- Cornu J.Y., Waterlot C., Lebeau T. 2022. Advantages and limits to copper phytoextraction in vineyards. *Environ Sci Pollut Res Int.* 29(20):29226-29235

- Costa J.M., Egipto R., Aguiar F.C., Marques P., Nogales A., Madeira M. 2023. The role of soil temperature in mediterranean vineyards in a climate change context. *Front. Plant Sci.* 14:1145137
- Cotrufo M.F., Ranalli M.G., Haddix M.L., Six J. e Lugato E. 2019. Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nat. Geosci.* 12, 989–994
- Creed I.F., Bergström A.K., Trick C.G., Grimm N.B., Hessen D.O., Karlsson J., Kidd K.A., Kritzberg E., McKnight D.M., Freeman E.C. et al. 2018. Global change-driven effects on dissolved organic matter composition: Implications for food webs of northern lakes. *Glob. Chang. Biol.* 24, 3692–3714
- Darriaut R., Antonielli L., Martins G., Ballestra P., Vivin P., Marguerit E., Mitter B., Masneuf-Pomarède I., Compant S., Ollat N. and Lauvergeat V. 2022. Soil composition and rootstock genotype drive the root associated microbial communities in young grapevines. *Front. Microbiol.* 13:1031064
- Darriaut R., Lailheugue V., Masneuf-Pomarède I., Marguerit E., Martins G., Compant S., Ballestra P., Upton S., Ollat N. e Lauvergeat V. 2022. Grapevine rootstock and soil microbiome interactions: Keys for a resilient viticulture, *Horticulture Research*, Volume 9, uhac019
- Dazzi C. e Lo Papa G. 2021. A new definition of soil to promote soil awareness, sustainability, security and governance. *International Soil and Water Conservation Research* 10(1): 99-108
- Donna P., Tonni M., Bono D., Divittini A., Ghiglieno I., Valenti L. 2015. Biodiversità aziendale e qualità dei suoli in aree viticole italiane. *Supplemento Informatore Agrario* n° 10
- Donna P., Tonni M., Ghiglieno I. 2017. Gestione sostenibile del suolo nel vigneto biologico, *Supplemento Inf. Agr.* 12-2017, pp. 40.42.
- Doran J.W. e Parkin T.B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In *Soil Science Society of America, Special Publication* (5): 3-21
- Droulia F. and Charalampopoulos I. 2022. A Review on the Observed Climate Change in Europe and Its Impacts on Viticulture. *Atmosphere* 2022, 13, 837
- Emde D., Hannam K.D., Midwood A.J. and Jones M.D. 2022. Estimating Mineral-Associated Organic Carbon Deficits in Soils of the Okanagan Valley: A Regional Study With Broader Implications. *Front. Soil Sci.* 2:812249

FAO (Food And Agriculture Organization Of The United Nations). 2008. Visual Soil Assessment (VSA), Field Guides. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2008.

Filho W.L., Nagy G.J., Setti A.F.F., Sharifi A., Donkor F.K., Batista K. e Djekic I. 2023. Handling the impacts of climate change on soil biodiversity. *Science of the total environment* 869:61671

Findlay S.E.R. and Sinsaubaug R. 2003. Aquatic ecosystems: interactivity of dissolved organic matter. *Journal of the North American Benthological Society*, 23(3)

Fregoni M. 2013. *Viticultura di qualità. Trattato dell'eccellenza da terroir*. Milano, Tecniche nuove Spa

Ghiglieno I., Simonetto A., Donna P., Tonni M., Valenti L., Bedussi F., Gilioli G. 2019. Soil Biological Quality Assessment to Improve Decision Support in the Wine Sector. *Agronomy*. 2019; 9(10):593

Ghiglieno I., Simonetto A., Sperandio G., Ventura M., Gatti F., Donna P., Tonni M., Valenti L., Gilioli G. 2021. Impact of Environmental Conditions and Management on Soil Arthropod Communities in Vineyard Ecosystems. *Sustainability* 2021, 13, 11999

Giffard B., Winter S., Guidoni S., Nicolai A., Castaldini M., Cluzeau D., Coll P., Cortet J., Le Cadre E., d'Errico G., Forneck A., Gagnarli E., Griesser M., Guernion M., Lagomarsino A., Landi S., Bissonnais Y.L., Mania E., Mocali S., Preda C., Priori S., Reineke A., Rusch A., Schroers H.J., Simoni S., Steiner M., Temneanu E., Bacher S., Costantini E.A.C., Zaller J. and Leyer I. 2022. Vineyard Management and Its Impacts on Soil Biodiversity, Functions, and Ecosystem Services. *Front. Ecol. Evol.* 10:850272

Gougoulias C., Clark J.M. and Shaw L.J. 2014. The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the below-ground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94: 2362-2371

Griggs Reid G., Steenwerth Kerri L., Mills David A., Cantu D. e Bokulich Nicholas A. 2021. Sources and Assembly of Microbial Communities in Vineyards as a Functional Component of Winegrowing. *Frontiers in Microbiology* 12:673810.

Guida all'interpretazione agronomica dell'analisi chimica del suolo. Laboratorio Regionale Analisi Terreni e Produzioni Vegetali (Regione Liguria)

Haling R.E., Brown L.K., Bengough A.G., Young I.M., Hallett P.D., White P.J., George T.S. 2013. Root hairs improve root penetration, root–soil contact, and phosphorus acquisition in soils of different strength. *Journal of Experimental Botany* 64: 3711–3721

Hartman K. and Tringe S.G. 2019. Interactions between plants and soil shaping the root microbiome under abiotic stress. *Biochem J.* 2019 Oct 15;476(19):2705-2724.

Huang B., Fang W., Gu Q. and Tilocca B. 2023. Editorial: Soil microbiome community and functional succession mechanism driven by different factors in agricultural ecology. *Frontiers in Microbiology* 14:1276119

Krull E.S, Baldock J.O and Skjemstad J.A. 2003. Importance of mechanisms and processes of the stabilisation of soil organic matter for modelling carbon turnover. *Functional Plant Biology* 30(2). DOI: 10.1071/FP02085

Lavallee J.M., Soong J.L. e Cotrufo M.F. 2019. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. *Global Change Biology* 26(1): 261-273

Leal Filho W., Nagy G.J., Setti A.F.F., Sharifi A., Donkor F.K., Batista K. and Djekic I. 2023. Handling the impacts of climate change on soil biodiversity. *Sci Total Environ.* 2023 Apr 15;869:161671

Miglécz T., Valkò O., Torok P., Dèak B., Kelemen A., Donkò A., Drexler D., Tothmeresz B. 2015. Establishment of three cover crop mixtures in vineyards. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 197, 117–123

Mueller C.W., Carminati A., Kaiser C., Subke J.A., Gutjahr C. 2019. Editorial: rhizosphere functioning and structural development as complex interplay between plants, microorganisms and soil minerals. *Front Environ Sci* 7

Paoletti M.G. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74: 137-155.

Paoletti M.G., Thomson L.J. and Hoffmann A.A. 2007. Using invertebrate bioindicators to assess agricultural sustainability in Australia: proposals and current practices. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47: 379-383.

Parikh, S. J. and James, B. R. 2012. Soil: The Foundation of Agriculture. *Nature Education Our* 3(10):2

Polge de Combret - Champart L., Guilpart N., Mérot A., Capillon A. and Gary C. 2013. Determinants of the degradation of soil structure in vineyards with a view to conversion to organic farming. *Soil Use Manage*, 29: 557-566

Rabot E., Wiesmeier M., Schlüter S. e Vogel H.-J. 2018. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma* 314: 122-137

Schneider K.D., Thiessen Martens J.R., Zvomuya F., Reid D.K., Fraser T.D., Lynch D.H., O'Halloran I.P., Wilson H.F. 2019. Options for Improved Phosphorus Cycling and Use in Agriculture at the Field and Regional Scales. *J Environ Qual*. 48(5):1247-1264

Sequi P., Ciavatta C. e Miano T. 2017. *Fondamenti di chimica del suolo*. Bologna, Pàtron Editore

Smart D.R., Schwass E., Lakso A. and Morano L. 2006. Grapevine Rooting Patterns: A Comprehensive Analysis and a Review. *Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium*. 57 (1): 89-104

Sokol N. W., Sanderman J. and Bradford M. A. 2018. Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. *Glob. Change Biol*. 25, 12–24

Steenwerth K., Belina K.M. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Appl. Soil Ecol*. 40, 359–369

Tonni M., Donna P., Bono D., Divittini A., Ghiglieno I., Valenti L. 2015. Misura della biodiversità nell'azienda e vitalità del suolo. *Supplemento Informatore Agrario* n° 10.

Tonni M., Donna P., Ghiglieno I., Valenti L. 2022. Per una zonazione della biodiversità dei suoli. *Corriere Vinicolo*, n.4.

USDA, 2011. *Soil Quality Indicators*. USDA Natural Resources Conservation Service

Van Leeuwen C. 2021. Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening, and wine sensory attributes. *Managing Wine Quality* (2): 341-393

Weissert L., Salmond J. and Scwendenmann L. 2016. Variability of soil organic carbon stocks and soil CO₂ efflux across urban land use and soil cover types. *Geoderma*, 271: 80-90

Xie K., Cakmak I., Wang S., et al. 2021. Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants. *Crop J.* 9 (2), 249–256

7 SITOGRAFIA

- CE 2022. Strategia dell'UE per il suolo per il 2030 Suoli sani a vantaggio delle persone, degli alimenti, della natura e del clima. Commissione europea
[EUR-Lex - 52016DC0710 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)
- EEA 2019. Editoriale – Suolo e territorio. Verso un uso e una gestione sostenibili di queste risorse vitali. European Environment Agency
[Editoriale – Suolo e territorio: verso un uso e una gestione sostenibili di queste risorse vitali — Agenzia europea dell'ambiente \(europa.eu\)](#)
- EEA 2022. Soil monitoring in Europe - Indicators and thresholds for soil health assessments. European Environment Agency
[Soil monitoring in Europe – Indicators and thresholds for soil health assessments — European Environment Agency \(europa.eu\)](#)
- EEA 2019. Suolo, territorio e cambiamenti climatici. European Environment Agency
[Suolo, territorio e cambiamenti climatici — Agenzia europea dell'ambiente \(europa.eu\)](#)
- FAO 2015. I suoli permettono di contrastare il cambiamento climatico e di adattarsi ai suoi effetti. Food and Agriculture Organization of the United Nations
[I suoli permettono di contrastare il cambiamento climatico e di adattarsi ai suoi effetti grazie alla funzione che svolgono all'interno del ciclo del carbonio \(fao.org\)](#)
- FAO 2015. Il suolo è una risorsa non rinnovabile. Food and Agriculture Organization of the United Nations
[Il suolo è una risorsa non rinnovabile \(fao.org\)](#)
- FAO 2015. Suoli e biodiversità. Food and Agriculture Organization of the United Nations
[Suoli e biodiversità \(fao.org\)](#)

- FAO 2008. Visual Soil Assessment (VSA) for Vineyards. Food and Agriculture Organization of the United Nations
[Visual Soil Assessment \(VSA\) | FAO](#)
- FAO 2008. Visual Soil Assessment (VSA). Food and Agriculture Organization of the United Nations
[VSA \(Visual Soil Assessment\) Volume 1 \(orgprints.org\)](#)
- ISPRA. Uso del suolo e cambiamenti. Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale
[Uso del suolo e cambiamenti — Italiano \(isprambiente.gov.it\)](#)
- USDA 2011. Soil Quality Indicators. United States Department of Agriculture
[indicator sheet guide sheet.pdf \(usda.gov\)](#)
- What is soil organic carbon? Department of Primary Industries and Regional Development's Agriculture and Food 2022.
[What is soil organic carbon? | Agriculture and Food](#)