



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

SCUOLA DI SCIENZE
DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA, ALIMENTI, RISORSE NATURALI, ANIMALI E
AMBIENTE

CORSO DI LAUREA IN “SCIENZE E TECNOLOGIE PER L’AMBIENTE”

**Valutazione degli effetti delle pratiche conservative sulla struttura di un suolo
medio limoso**

Relatore:

Dott.ssa Ilaria Piccoli

Correlatori:

Dott. Carlo Camarotto, Dott. Riccardo Polese

Laureando:

Davide Rampazzo

Matricola n. 2000067

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

INDICE

Riassunto	1
Abstract	2
1. Introduzione	3
1.1. Agricoltura convenzionale	5
1.2. Agricoltura conservativa	6
1.3. Parametri del suolo	7
1.3.1. Stabilità aggregati	7
1.3.2. Densità apparente	8
1.3.3. Contenuto idrico	8
1.4. Scopo della tesi	9
2. Materiali e metodi	9
2.1. Descrizione sito sperimentale	9
2.2. Campionamento	10
2.3. Determinazione densità apparente	11
2.4. Determinazione contenuto idrico volumetrico	11
2.5. Determinazione stabilità aggregati	12
2.5.1. Indice di stabilità di struttura	13
2.6. Analisi statistica	14
3. Risultati e discussione	14
3.1. Densità apparente	14
3.2. Contenuto idrico volumetrico	16
3.3. Stabilità degli aggregati in acqua	17
3.4. Relazione tra DA e WASI	18
4. Conclusioni	19
Bibliografia e Sitografia	20

Riassunto

La sostenibilità è definibile come la realizzazione di un processo dove uomo e natura siano in grado di coesistere in maniera produttiva nel mondo attuale e quello futuro.

Il suolo è una risorsa ambientale estremamente importante e necessita di essere gestita secondo questo principio, essendo l'entità alla base della catena alimentare, sede di un enorme riserva di biodiversità e fonte di numerosi altri servizi ecosistemici. Negli ultimi decenni, invece, si è registrato un costante declino quantitativo e qualitativo dei suoli, ascrivibile in gran parte all'attività agricola, che arriva a utilizzare fino a metà della superficie abitabile sulla Terra. L'agricoltura conservativa è quell'insieme di tecniche gestionali che si discostano da un approccio classico e spesso vengono indicate come una possibile soluzione ad alcuni dei problemi agro-ambientali che minacciano il terreno.

In questo studio sono stati osservati tre indici di salute di un suolo, in particolare la densità apparente, il contenuto idrico volumetrico e la stabilità degli aggregati, relativamente a gestioni convenzionali e conservative di alcuni appezzamenti nell'azienda sperimentale dell'Università di Padova "Lucio Toniolo".

I risultati ottenuti evidenziano come la tecnica agronomica possa impattare le proprietà di un suolo, con gli approcci conservativi che sembrano aumentare la stabilità degli aggregati e al contempo la densità del terreno. Non sono state osservate invece differenze apprezzabili in termini di contenuto idrico volumetrico tra le diverse gestioni.

La conservazione del suolo è una pratica complessa che può presentare effetti contraddittori, soprattutto nel periodo di transizione tra le differenti gestioni. Nonostante ciò, dai risultati sembra possibile che l'impiego delle tecniche conservative aiuti nel tempo a preservare il terreno, con particolare riguardo all'aumento della sua stabilità contro fenomeni erosivi. Visti i possibili benefici e criticità, è auspicabile conoscere e pianificare attentamente il management di un sito, in modo da selezionare il modello di conservazione più consono all'area interessata.

Abstract

Sustainability can be seen as a concept where humanity and nature can both coexist productively for the foreseeable future. Adhering to this principle will guarantee a chance for growth for next generations. Soil is one of many key natural resources and should be managed accordingly. A healthy soil implies a stable food chain, thriving biodiversity and numerous other ecosystem services. Instead, in the last decades, soils have seen a steep decline in quality and quantity, also due to agriculture. The latter uses up to half of the inhabitable world surface. Conservation agriculture is an innovative set of practices which could be an alternative to conventional approaches and could help mitigate agricultural and environmental issues. This study focuses on some soil quality indexes, namely bulk density, aggregate stability and volumetric water content. The experimental design involved three different soil management, including conventional and conservation agriculture, at the University of Padova's experimental farm "Lucio Toniolo". The results seem to highlight how soil management impacts soil properties, with conservation agriculture able to stabilize topsoil aggregates more efficiently than conventional and, at the same time, increasing bulk density. The analysis did not show any statistical difference in soil volumetric water content. Soil conservation can be challenging to implement, especially in the transition period, where there might be a time lag before positive effects occur. Nevertheless, this study seems to show how conservation agriculture may help preserve agricultural soils, especially by reducing soil erosion through enhanced aggregate stability. Therefore, it is critical to carefully plan the site management, in order to enforce the most suitable system available for a certain area.

1. Introduzione

Il suolo è definito, secondo la FAO, come un corpo naturale stratificato, composto da materiale minerale inorganico alterato, materiale organico, aria e acqua.

La formazione e composizione di un suolo dipende da cinque principali fattori [1]: condizioni climatiche, organismi, topografia, materiale d'origine, tempo.

La pedosfera, nel suo complesso, è una risorsa alla base di molti meccanismi naturali ed offre svariati servizi ecosistemici come:

- Mezzo per la crescita delle piante
- Sistema di riciclo dei nutrienti e sostanze organiche
- Habitat per una grandissima varietà di macro e microorganismi
- Interagisce con idrosfera, purificando e immagazzinando le acque
- Fornisce la base per attività costruttive umane

Il suolo è un'entità che possiede un proprio dinamismo; Verheijen et al. [2] ha stimato come il valore medio di generazione annua dei suoli europei spazi in un range tra le 0.3 e le 1.4 t/ha*yr. Questo dato rende chiara la capacità di rinnovamento del topsoil, principalmente legata a processi di weathering delle rocce e deposizione di polveri. Sempre secondo Verheijen et al., [2] nelle aree con elevata alterazione antropica, soprattutto quelle agricole, i ritmi di deterioramento legati ai diversi processi erosivi arrivano ad essere dalle 3 alle 40 volte superiori rispetto alla quantità prima citata. In uno studio volto a valutare la situazione globale [3], è stato stimato che le attività umane siano responsabili della perdita di 26 miliardi di tonnellate di topsoil ogni anno, 2.6 volte il ritmo di scomparsa naturale. Risulta quindi chiaro come i terreni europei e globali stiano subendo una gestione poco rispettosa, che sta portando ad un loro veloce depauperamento. Il terreno è una risorsa rinnovabile, ma le tempistiche di generazione naturale sono molto lente e non permettono a quest'ultimo di sopperire alle perdite legate al suo mismanagement.

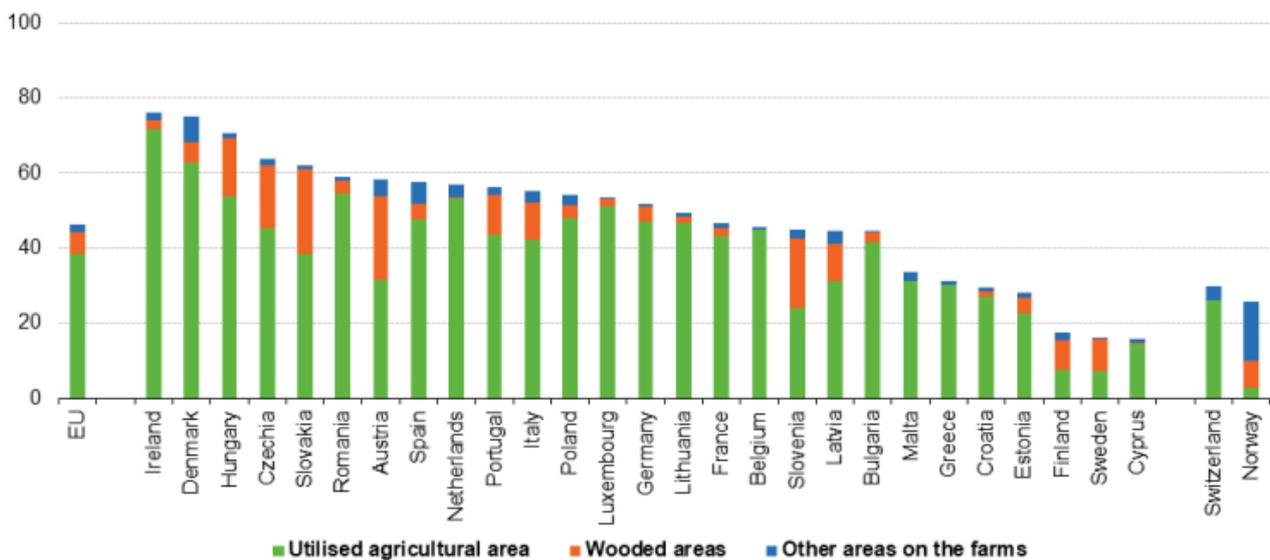
Diversi studi hanno osservato il problema dal punto di vista economico, al fine di materializzare l'entità delle perdite in gioco. Solo negli Stati Uniti, la scomparsa e deperimento del suolo causa danni all'agricoltura, corsi d'acqua, infrastrutture e salute stimati in 44 miliardi di dollari [4]. Secondo l'Agenzia Ambientale inglese, invece, lo stesso fenomeno comporta un costo per la collettività di più di 200 milioni di sterline all'anno.

Vista la sempre più crescente necessità di tutele verso il suolo, l'Unione Europea, per mezzo del JRC (Joint Research Centre), ha stilato nel 2016 un elenco delle principali minacce a cui i suoli sono soggetti, riassumibili in una lista di dieci punti:

- 1.Erosione (idrica ed eolica)
- 2.Declino della sostanza organica
- 3.Compattamento
- 4.Contaminazione
- 5.Salinizzazione
- 6.Acidificazione
- 7.Desertificazione
- 8.Allagamenti e frane
- 9.Declino della biodiversità
- 10.Impermeabilizzazione

Molte delle criticità elencate sono causate dalle varie attività agricole, in quanto queste ultime tendono a creare un ambiente artificiale e vulnerabile. Inoltre, l'agricoltura gestisce poco meno della metà della superficie abitabile del pianeta, più di qualsiasi altro settore, con lo scopo di realizzare colture volte al consumo umano e animale. In Europa, la proporzione risulta essere simile: secondo l'Eurostat, il 38.4% della superficie europea, equivalenti a circa 157 Mha (Fig. 1), è destinato all'utilizzo agricolo.

Land belonging to farms by type of land
(% share of total land area, 2020)



Source: Eurostat (online data codes: ef_lus_main and reg_area3)



Fig. 1: Area occupata dall'agricoltura per stato europeo. Fonte: Eurostat 2020

Negli ultimi decenni è stato osservato come l'utilizzo di metodi di gestione agricola convenzionale, ossia ad alta meccanizzazione con lavorazioni del terreno molto spinte, abbia contribuito alla perdita

di suolo e fertilità. Per questo sono state ricercate soluzioni alternative, come le diverse tecniche dell'agricoltura conservativa, che potessero mitigare l'impatto sui terreni.

1.1 Agricoltura convenzionale

Con questo termine ci si riferisce spesso in letteratura a quell'insieme di approcci di gestione del terreno che richiedono un'elevata meccanizzazione e utilizzo di input esterni, quali fertilizzanti e prodotti fitosanitari, per massimizzare la resa [5].

Una parte caratterizzante degli approcci tradizionali sono le lavorazioni del terreno, da intendersi come l'insieme di pratiche volte a consentire la creazione di un ambiente adatto all'impianto delle colture, che possa facilitarne la crescita e aumentare la produttività.

Le lavorazioni sono raggruppabili in tre categorie, in relazione al loro effetto sul terreno:

- *Lavorazioni con attrezzi discissori*: scarificatori, ripuntatori, erpici dentati, sono strumenti il cui utilizzo comporta il taglio del terreno nelle zone interessate dal loro passaggio. Sono spesso impiegati per eliminare suole di lavorazione o aree compattate e risultano poco impattanti sul terreno in quanto non ne alterano la stratigrafia e permettono di conservare parzialmente l'aggregazione.
- *Lavorazioni con attrezzi rovesciatori*: includono vangatura e aratura, le quali comportano uno stravolgimento dell'ordine del suolo, portando in superficie gli strati più profondi e viceversa per gli orizzonti superiori. Lasciano il terreno con elevata zollosità, favoriscono inoltre la rottura degli aggregati e stimolano la mineralizzazione del carbonio organico.
- *Lavorazioni con attrezzi rimescolatori*: comprendono operazioni con frese, erpici o altri strumenti rotativi. La loro funzione è spesso quella di ridurre le zolle e irregolarità lasciate da altre lavorazioni. In termini di struttura del suolo portano ad una disgregazione quasi totale degli aggregati, dato l'opera di macinazione che realizzano con la loro azione. Favoriscono anch'essi l'inversione stratigrafica, seppur interessando solo la parte più superficiale di terreno.

I vantaggi legati a questo tipo di gestione sono da ricercare principalmente in ambito agrario, in quanto si ottengono dei miglioramenti temporanei, come una minore densità del terreno e una maggiore porosità, un migliore controllo di organismi e piante infestanti con possibile conseguente riduzione dell'impiego di prodotti fitosanitari [6].

Gli approcci convenzionali presentano però varie criticità e hanno un impatto ecologico non indifferente. Un'eccessiva manipolazione meccanica destruttura i suoli e li espone a fenomeni erosivi,

limita la biodiversità e accelera la mineralizzazione della sostanza organica. L'insieme di questi ed altri fattori esacerba le problematiche di perdita di terreno fertile.

1.2 Agricoltura conservativa

L'agricoltura conservativa comprende una serie di pratiche volte a minimizzare l'alterazione della composizione e struttura del terreno, nata per porsi come alternativa alla classica gestione agronomica.

Secondo la FAO l'approccio conservativo è definito da tre principi fondamentali:

- Minimo disturbo meccanico del terreno
- Copertura organica permanente del suolo mediante cover crop o residui
- Diversificazione delle specie mediante rotazioni e/o consociazioni e/o uso di cover crop

Questa pratica è stata riconosciuta [7, 21] come una possibile soluzione per ridurre la perdita di suoli e al contempo aiutare a rigenerare quelli degradati.

L'agricoltura conservativa comprende diverse pratiche al suo interno, tra cui quelle in analisi in questo studio, di "minimum tillage (MT)" e "no tillage (NT)".

Nella pratica di MT, ci si limita a lavorazioni del terreno superficiali che non vanno a modificare eccessivamente l'organizzazione stratigrafica del sito.

Per quanto riguarda invece l'approccio NT, il terreno non viene mai manipolato e l'unica operazione che esso subisce è la semina delle colture tramite appositi macchinari che permettono l'impianto sulla superficie non lavorata.

I benefici agro-ambientali riscontrati sono molteplici:

- Riduzione dell'erosione del suolo, sia idrica, legata alla pendenza delle zolle, che eolica grazie alla presenza dei residui colturali.
- Aumento del contenuto idrico del terreno, dovuto principalmente alla riduzione dell'evaporazione, ottenuta grazie l'ombreggiamento fornito dai residui e dalle cover crop.
- Minor degradazione strutturale: sia come conseguenza della ridotta manipolazione meccanica del suolo, che, come protezione da agenti atmosferici, (la pioggia battente) offerta dalla copertura permanente.
- Riduzione delle emissioni di CO₂, limitatamente legate alla diminuzione di traffico di macchine trattatrici (minor consumo di gasolio agricolo).
- Minor disturbo microflora e microfauna.

Esistono comunque svariate limitazioni ai modelli conservativi [8]:

- Compattamento dei terreni, soprattutto nello strato superficiale.

- Aumento dell'uso di erbicidi, e del conseguente carico ambientale, in particolare riguardo all'approccio no-till.
- Possibili cali di rese delle colture.

1.3 Parametri del suolo

Si procede alla descrizione di alcuni parametri utili nello studio della qualità del suolo.

1.3.1 Stabilità aggregati

Gli aggregati in un terreno sono le unità di base del suolo formatesi per l'interazione tra particelle minerali primarie con sostanze organiche ed inorganiche, tramite processi flocculativi e di cementazione, entrambi rafforzati da fattori fisici e biologici.

Gli aggregati sono spesso classificati in base alla loro dimensione come (Fig. 2):

- Macroaggregati: particelle con dimensioni $>250 \mu\text{m}$
- Microaggregati: particelle con dimensioni comprese tra $250\text{-}53 \mu\text{m}$
- Particelle primarie: particelle con dimensioni $<53 \mu\text{m}$

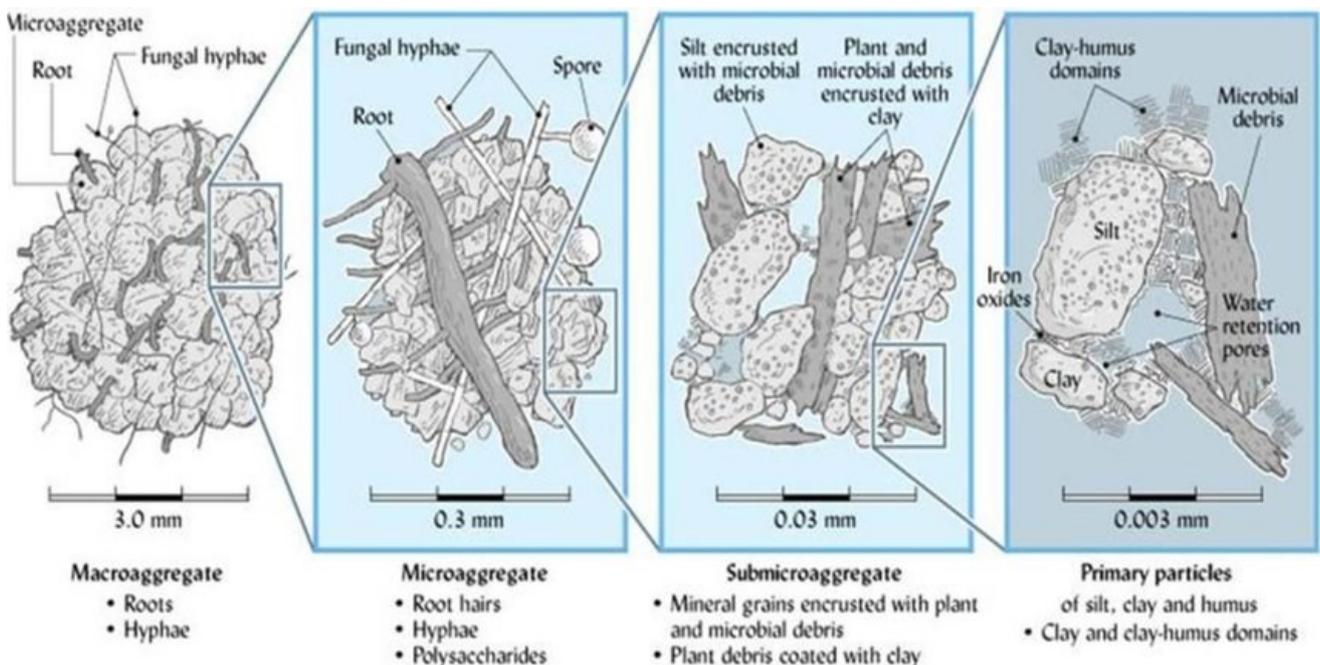


Fig. 2: Schema dell'aggregazione delle particelle del suolo. Adapted from Brady and Weil (2010)

La presenza di queste unità si traduce nella formazione di entità con forze coesive maggiori rispetto alle componenti non aggregate. Questo fenomeno ha ripercussioni positive in termini di erosione dei suoli, sia eolica che idraulica, in quanto i granuli sono più difficili da separare e di conseguenza si oppongono al trasporto. Esistono anche correlazioni positive tra stabilità degli aggregati e una

maggiore porosità del suolo, dove quest'ultima favorisce una migliore infiltrazione di acqua e migliori scambi gassosi.

La misura della stabilità degli aggregati può essere realizzata sia in ambiente acquoso (Wet Aggregate Stability) che aereo (Dry Aggregate Stability).

1.3.2 Densità apparente

La densità apparente del terreno è definibile come la massa secca di terreno relativa all'unità di volume del campionario usato, includendo quindi anche la porosità.

Questa proprietà è analizzata sovente per verificare il grado di compattezza di un'area e può essere indice del livello di impermeabilizzazione del terreno.

Un suolo compatto, ad elevata densità, risulta compromesso in molte delle sue attività fisiche e biologiche. Presenta, ad esempio, una ridotta capacità di infiltrazione, ridotta porosità, un minor sviluppo radicale e attività microbica parzialmente impedita.

Le principali cause di un terreno molto denso sono da ricercarsi sia nella composizione del suolo che nel suo utilizzo. Tanveera et al. [9] ha riportato come la densità presenti una correlazione negativa con il contenuto di argille e la porosità.

Molti altri studi hanno invece evidenziato una diminuzione della densità apparente all'aumentare della SOM nel suolo.

1.3.3 Contenuto idrico

Il contenuto idrico nel terreno descrive l'acqua disponibile in un suolo. Può essere studiato da un punto di vista gravimetrico (massa di acqua per unità di massa di sostanza secca) o volumetrico (volume di acqua per unità di volume di suolo). Le due entità sono unite dalla relazione

$$\theta = \frac{DA}{\rho_w} * CIG$$

Con:

θ = Contenuto idrico volumetrico [m^3/m^3]

DA= Densità apparente [kg/m^3]

ρ_w = Densità acqua [kg/m^3]

w= Contenuto idrico gravimetrico [kg/kg]

Il terreno può presentarsi in diverse condizioni, relativamente l'osservazione del suo contenuto idrico.

- *Terreno saturo*: condizione raggiunta dopo l'evento di precipitazione, con tutta la porosità riempita di acqua.
- *Capacità di campo*: condizione successiva a quella di terreno saturo, rappresenta la capacità di immagazzinamento massima di un suolo. Si ottiene una volta che l'acqua contenuta nei macropori percola per azione gravitazionale nella falda e permane solo quella ritenuta nei micropori.
- *Punto di appassimento*: parte dell'acqua contenuta nei micropori (l'acqua capillare) può essere estratta dalle piante, sino a che il potenziale con cui il terreno trattiene quest'ultima non diventa maggiore di quello di suzione radicale. A questo punto si è raggiunta la soglia di saturazione irriducibile.

1.4 Scopo della tesi

Questo lavoro ha lo scopo di osservare come differenti lavorazioni del suolo (convenzionale, minima lavorazione e no-tillage) possano impattare su alcuni indicatori di qualità del suolo come, ad esempio, la stabilità degli aggregati, la densità apparente e il contenuto idrico.

Le analisi sono state svolte in una prova avviata nel 2018 e all'interno dell'Azienda sperimentale "Lucio Toniolo" dell'Università di Padova.

2. Materiali e metodi

2.1 Descrizione del sito sperimentale

L'azienda sperimentale "Lucio Toniolo" è situata a Legnaro, PD, (45°21' N, 11°58' E; 6m s.l.m. – sul livello mare). Il clima è classificabile come sub-umido, con precipitazioni che raggiungono gli 850 mm annui con un'evapotraspirazione di riferimento pari a 945 mm. I terreni sono classificati come Fluvi-Calcaric Cambisol, secondo classificazione WRB, con tessitura franco limosa (25% sabbia, 57% limo, 18% argilla).

La prova sperimentale è cominciata nel 2018 ed ha interessato due appezzamenti (2 repliche) di 1 ha ciascuno. Ogni campo è stato a sua volta suddiviso in lunghezza in tre strisciate (6 in totale) che sono state lavorate in maniera differente (Fig. 3).

Le 3 tesi sperimentali messe a confronto erano:

- Lavorazioni del terreno convenzionali (CT), con aratura a 30cm e successiva erpicatura a 15cm
- Minima lavorazione (MT), con la sola erpicatura a 15cm
- No-tillage (NT), nessuna lavorazione e successiva semina su sodo.

Le colture principali presenti nell'area sperimentale sono state il mais (*Zea mays L.*), il frumento (*Triticum aestivum L.*) e la soia (*Glycine max L.*).



Fig. 3: Immagine satellitare dell'area campionata, con suddivisione grafica delle diverse tesi

2.2 Campionamento

Il campionamento è stato eseguito nel periodo luglio-agosto 2022.

Per ogni parcella sono stati identificati tre punti di campionamento, circa equidistanti fra di loro, in modo da coprire l'intera lunghezza del sito.

Per ogni punto è stato prelevato un campione di suolo disturbato e uno di suolo indisturbato, entrambi nello strato più superficiale 0-15cm. I campioni disturbati sono stati realizzati estraendo una porzione di terreno mediante vanga, previa rimozione di eventuali residui colturali. I campioni indisturbati sono stati ottenuti tramite un campionatore manuale.

Il suddetto consiste di due cilindri concentrici; il più esterno, dal bordo smussato e tagliente, è saldamente connesso al campionatore tramite un incastro meccanico e realizzerà l'effettiva penetrazione nel terreno.

Il cilindro interno ($\varnothing 6\text{cm}$ e altezza 5cm), più piccolo e inserito manualmente in tolleranza meccanica, è destinato alla raccolta della carota di terreno; il sistema a doppio cilindro ha lo scopo di ridurre le deformazioni a carico del campione ed ottenere un risultato di maggiore qualità.

Il suolo in eccesso è stato rimosso manualmente tramite un apposito coltello.

In entrambi i casi, i campioni di terreno sono stati prontamente sigillati in sacchetti di plastica e posti in frigo per conservare le proprietà fisiche, con particolare riguardo al contenuto idrico.

Per i campioni di terreno indisturbato sono stati utilizzati anche gli appositi tappi di plastica da apporre sul cilindro contenente la carota.

2.3 Determinazione densità apparente

L'analisi della densità apparente è stata effettuata mediante il metodo del carotaggio [10].

Per la sua misurazione i campioni indisturbati sono stati rimossi dai cilindri metallici e posti in contenitori di alluminio previamente tarati, dove sono stati disgregati manualmente.

È stato quindi rilevato il peso fresco per ogni campione tramite bilancia tecnica; si è proceduto poi all'essiccazione in stufa a 105°C per due giorni.

Il campione raffreddato è stato pesato, sempre su bilancia tecnica, per ottenere il peso secco.

La densità apparente è stata ricavata con la seguente formula:

$$DA = \frac{\text{Peso secco} \text{ [g]}}{\text{Volume totale} \text{ [cm}^3\text{]}}$$

2.4 Determinazione contenuto idrico volumetrico

Il contenuto idrico volumetrico è stato anch'esso ricavato dal campione indisturbato.

Mediante la formula sottostante è stato ottenuto il contenuto idrico gravimetrico (CIG) in termini percentuali.

$$CIG = \frac{(\text{Peso fresco} - \text{Peso secco})}{\text{Peso fresco}} * 100 \text{ [\%]}$$

Dalla seguente relazione empirica è stato poi ricavato il contenuto idrico volumetrico.

$$CIV = \frac{CIG * DA \text{ [cm}^3\text{]}}{\rho_w \text{ [cm}^3\text{]}}$$

2.5 Determinazione stabilità aggregati

Il campione di suolo disturbato è stato utilizzato per l'analisi della stabilità degli aggregati.

Dopo aver riposto ogni campione in una vaschetta di alluminio preventivamente etichettata, i campioni sono stati disaggregati manualmente con delicatezza.

I campioni sono poi stati lasciati a seccare all'aria per una settimana; periodicamente si è proceduto a scomporli in aggregati di minor dimensione, come già descritto, per facilitarne l'essiccazione.

I campioni sono stati portati in laboratorio e macinati manualmente con pestello.

Il macinato è stato setacciato per ottenere granuli di dimensione compresa tra $1\text{mm} < D < 2\text{mm}$, utili per la procedura (Fig. 4).

Per l'analisi è stato seguito il metodo di determinazione unica con depurazione dalla sabbia ed oscillazione verticale [11].



Fig. 4: Pestello e setacci utilizzati per selezionare i granuli per l'analisi

Per ogni campione sono stati prelevati circa 10g di aggregati 1-2mm, versati in becher e poi lasciati in bagno di acqua deionizzata per approssimativamente 10 minuti.

Il contenuto così ottenuto è stato travasato in setacci con maglia da 200 μm , poi montati sul dispositivo di Tiulin (Fig. 5). Questo strumento ha lo scopo di separare la porzione di aggregati con dimensione inferiore a quella del filtro tramite “wet-sieving”, ossia setacciamento in acqua. La macchina produce un movimento ritmico (con frequenza di 30 Hz) di immersione ed emersione del cestello da un bagno di acqua deionizzata. L'agitazione del campione è proseguita per 30 minuti.



Fig. 5: Dispositivo di Tiulin utilizzato nell'analisi

Il contenuto rimanente dei filtri è stato poi posto in vaschette di PVC tarate e opportunamente codificate. Queste ultime sono state poste in stufa a 105°C ad essiccare per 24 ore. Per ogni campione è stato annotato il peso secco.

La frazione residua dopo il trattamento è composta da aggregati di sabbia, limo e argilla con dimensioni $>200\mu\text{m}$, assieme alle sabbie grossolane. Queste ultime devono essere separate e determinate per via gravimetrica, tramite la disaggregazione della frazione aggregata di suolo.

Il campione è stato posto in circa 250ml di una soluzione deflocculante di esametafosfato di sodio. Lo ione sodio presente nel composto salino si sostituisce ai cationi bivalenti, come Ca^{2+} e Mg^{2+} , presenti nel terreno tramite processi di scambio cationico, favorendo l'allontanamento e separazione delle particelle primarie.

Dopo aver lasciato a riposo il campione per 24 h, si procede ad un ulteriore filtraggio a $200\mu\text{m}$, avendo cura di versare il terreno sempre nello stesso contenitore.

Il residuo, ossia la sabbia grossolana, è essiccato in stufa per 24 h e successivamente pesato.

2.5.1 Indice di stabilità di struttura

Per la determinazione dell'indice di stabilità di struttura (o indice di Cavazza) [12] si è utilizzata la sottostante formula

$$WASI = \frac{(C - B) - (D - B)}{A - (D - B)} * 100 [\%]$$

Con:

A= Peso aggregati iniziale [g]

B= Peso del contenitore, tara [g]

C= Peso secco frazione aggregati + sabbia [g]

D= Peso della frazione sabbiosa [g]

Questo indice esprime la quantità di materiale inferiore i 0.2mm (composta da argilla, limo e sabbia fine) rimasta aggregata dopo l'agitazione in acqua, in percentuale rispetto a tutto il materiale di dimensioni minori di 0.2mm presenti nel campione.

Maggiori i valori ottenuti, migliore è la stabilità e resilienza agli stress che il terreno presenta.

2.6 Analisi statistica

I dati sono presentati come medie \pm errore standard. I dati raccolti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) utilizzando il software di calcolo RStudio (Posit Software, PBC precedentemente RStudio, versione 2022.12.0+353). Il valore di p di significatività è stato posto a 0.05. Il Post-hoc è stato effettuato con test di Tukey-HSD.

È stata infine testata la correlazione tramite indice di Pearson tra la stabilità degli aggregati e gli altri parametri analizzati/disponibili (densità apparente, contenuto idrico volumetrico e carbonio organico). I dati del carbonio sono stati ricavati da uno studio realizzato precedentemente nel medesimo campo di prova [13].

3. Risultati e discussione

3.1 Densità apparente

Riguardo la densità apparente del terreno, i risultati ottenuti tendono a rispettare la letteratura. I valori di DA medi osservati sono di 1.46 g cm⁻³ per il trattamento convenzionale (CT), 1.52 g cm⁻³ per il trattamento conservativo (MT), ed infine, per la tesi su sodo (NT), sono stati rilevati i valori maggiori con densità a 1.64 g cm⁻³. (Fig. 6)

L'analisi statistica ha evidenziato differenze significative solamente tra il trattamento NT e CT.

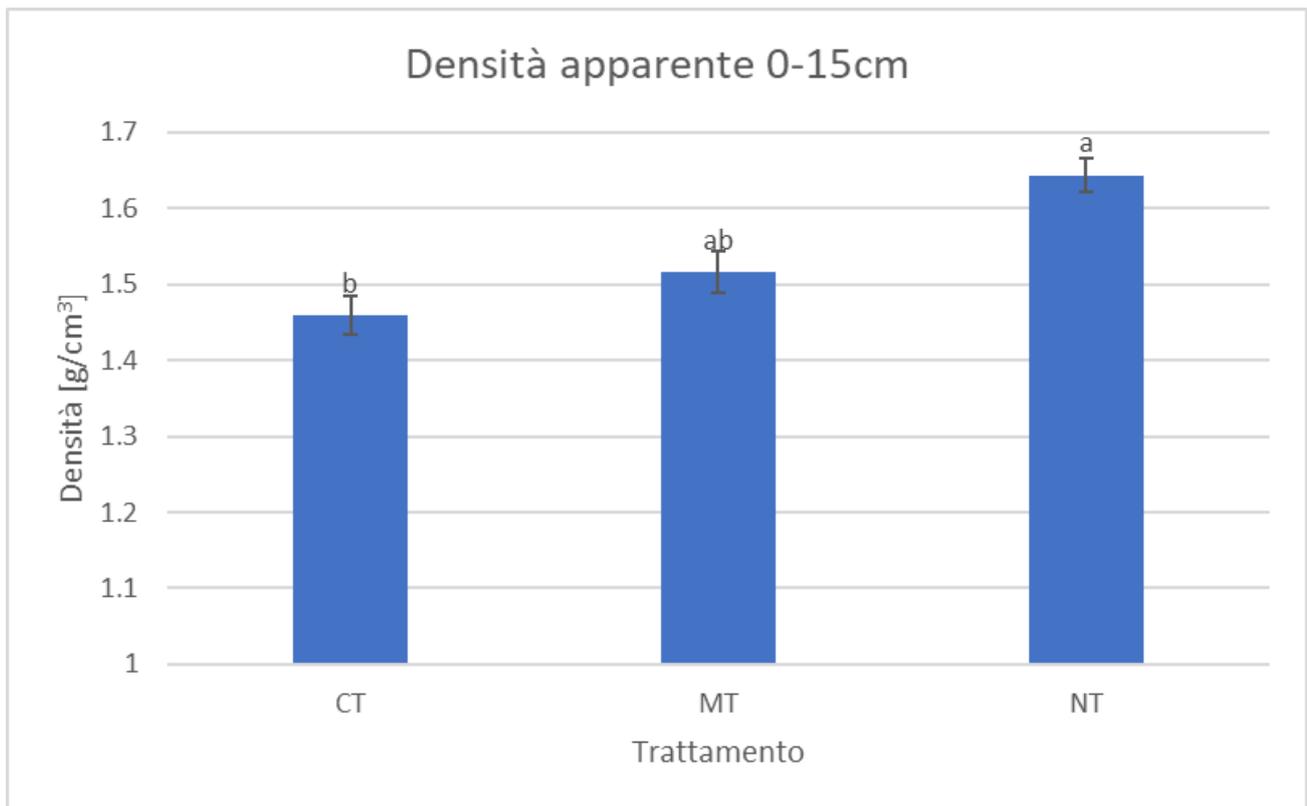


Fig. 6: Densità apparente terreno 0-15cm

Il compattamento è un fenomeno problematico per il terreno in quanto riduce la porosità, peggiora la struttura del suolo e degli aggregati, oltre a limitare la capacità di infiltrazione dell'acqua [14].

La maggior densità registrata nella tesi NT è possibilmente imputabile a compattamento di origine antropogenica, come il traffico agricolo, e a fattori naturali come la pioggia.

È utile notare come un periodo di 4 anni (2018-2022) sia considerata una transizione di medio periodo per la conversione agricola, secondo Kay et. al [15]. Secondo questo studio, gli iniziali effetti di compattamento del suolo sotto regimi NT vanno ad attenuarsi gradualmente grazie all'azione della macrofauna edafica che genera macropori orientati verticalmente.

Effetti significativi di de-compattamento possono quindi richiedere dieci o più anni, arco temporale maggiore a quello di esistenza della prova.

Si noti comunque, che secondo Pachepsky e Park [16] terreni limosi con una $\rho > 1.33 \text{ g cm}^{-3}$ sono da considerarsi ad alta densità e questo può risultare limitante per lo sviluppo dell'apparato radicale di piante e colture, come impattare le caratteristiche fisiche del terreno, con particolare riguardo alla conducibilità idrica.

In tutte e tre le tesi osservate il valore medio supera notevolmente la suddetta soglia. È ragionevole quindi ipotizzare che nessuna delle tre pratiche agricole risolva attualmente a pieno il problema

dell'elevata densità, dato che sembra sia determinato anche da altri fattori oltre la sola manipolazione meccanica del suolo.

Nonostante ciò, uno studio effettuato nelle stesse condizioni pedoclimatiche da Piccoli et al. [17] ha evidenziato come le radici delle principali colture presenti nella Regione Veneto (mais, frumento e soia) non siano state influenzate negativamente da densità apparente superiori a 1.3 g cm^{-3} .

3.2 Contenuto idrico volumetrico

In relazione all'analisi del contenuto idrico volumetrico i valori medi misurati in data 04/08/2022, quando il terreno si trovava in presenza di residui colturali del frumento, non sono risultati significativamente differenti tra le varie tesi a confronto registrando un valore medio di $13.24 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Sebbene non statisticamente significativo, le due tesi conservative (MT e NT) hanno evidenziato un valore medio del 30.05% più elevato rispetto alla tesi convenzionale (Fig. 7).

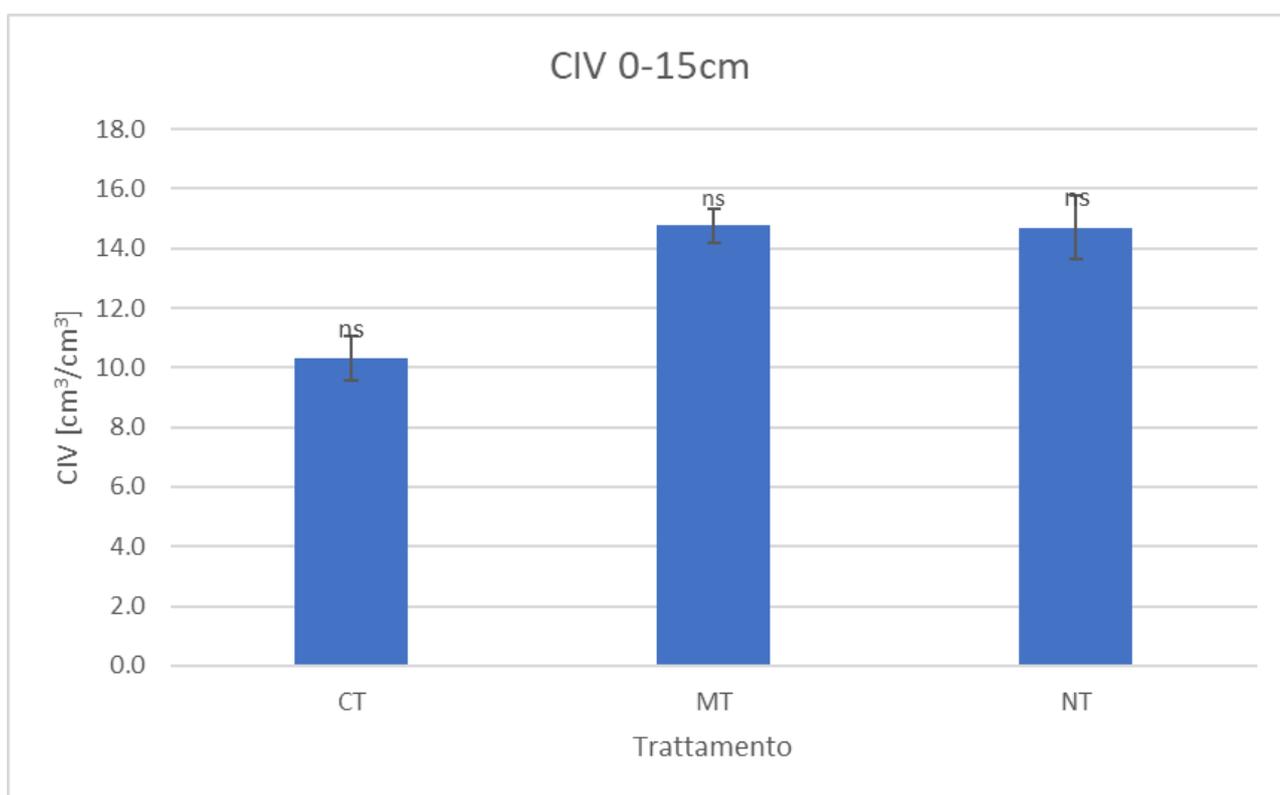


Fig. 7: Contenuto idrico volumetrico 0-15cm

La letteratura più recente afferma che l'utilizzo di tecniche conservative aumenti la ritenzione idrica del terreno [18] [19], in particolare in ambienti aridi grazie all'accumulo di sostanza organica nel topsoil e alla presenza dei residui colturali in superficie [8].

La sostanza organica favorisce un maggior grado di umidità grazie all'immagazzinamento di acqua nella sua elevata porosità, alla grande capacità di adsorbimento e all'alta superficie specifica. I residui,

invece, fungono da pacciamatura per il terreno, riducendo l'evaporazione e al contempo proteggendolo dall'impatto diretto della pioggia cosicché sia favorita un'infiltrazione graduale.

3.3 Stabilità degli aggregati in acqua

L'analisi statistica della stabilità degli aggregati in acqua, WASI (Wet Aggregate Stability Index) indica un effetto rilevante della tecnica agronomica sulla stabilità degli aggregati di suolo, così come evidenziato dall'indice di Cavazza. Differenze significative sono state sottolineate fra CT e NT (16.92% contro 33.92%) mentre MT si è attestato attorno a valori intermedi (23.51%) (Fig. 8).

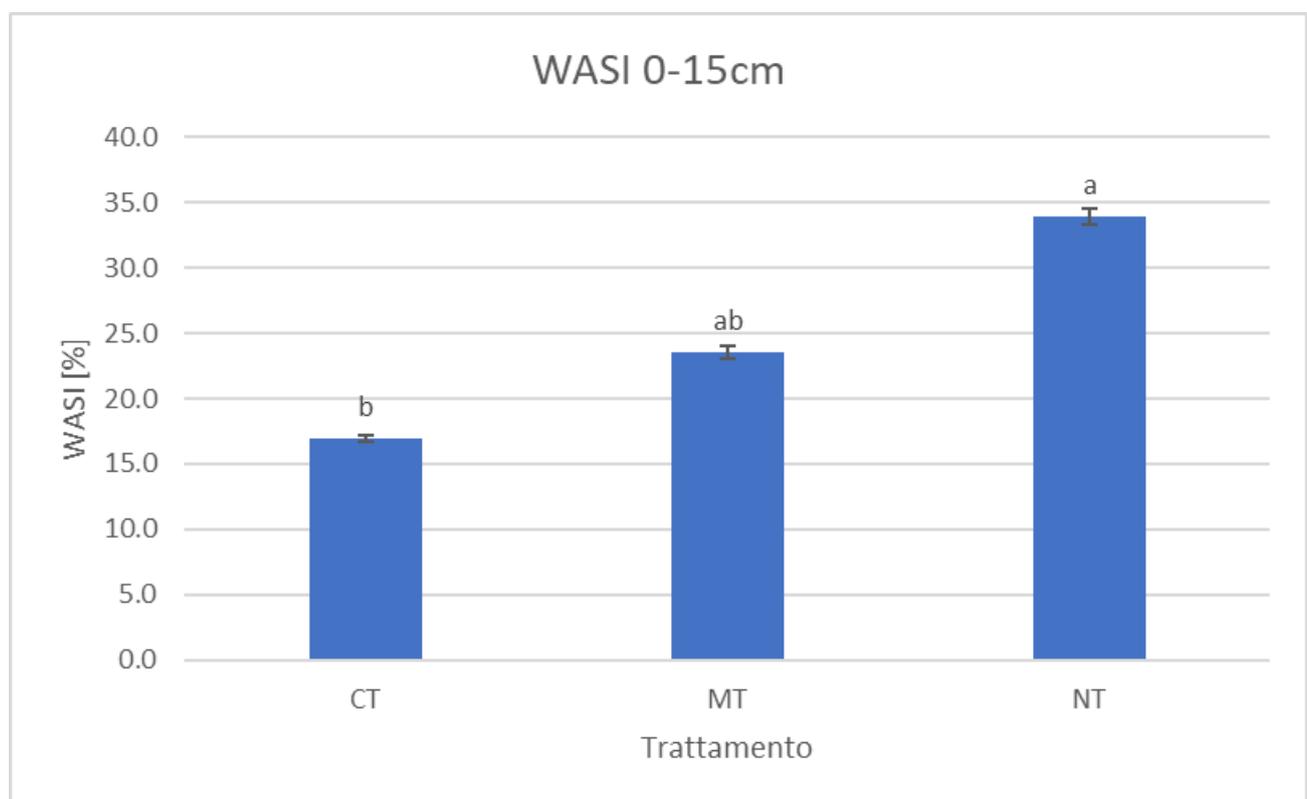


Fig. 8: Stabilità aggregati 0-15cm

I risultati ancora una volta rispettano la letteratura più recente, in cui si afferma che gli approcci conservativi favoriscano la formazione di aggregati stabili.

Al contrario, la minor aggregazione per l'approccio convenzionale è da ricercarsi negli effetti diretti e indiretti delle lavorazioni del terreno [20].

La movimentazione porta alla rottura fisica degli aggregati e delle loro componenti coesive, quali radici e micorrize fungine, oltre a interrompere il processo di formazione di nuovi aggregati in corrispondenza di ogni attività di manipolazione del terreno.

In aggiunta, la presenza dei residui colturali nelle tecniche conservative può proteggere gli aggregati dall'azione di agenti esogeni quali la pioggia battente.

In ottica di preservazione dei suoli, gli approcci conservativi, in particolare No-Till, offrono un'ottima alternativa per migliorare la struttura dei terreni e potenzialmente ridurre la perdita di topsoil.

Nonostante ciò, l'agricoltura convenzionale è ancora di gran lunga il metodo prevalente sul territorio europeo (Fig. 9), dimostrando la necessità di approfondire la ricerca per superare le criticità degli approcci conservativi e facilitarne la loro eventuale diffusione.

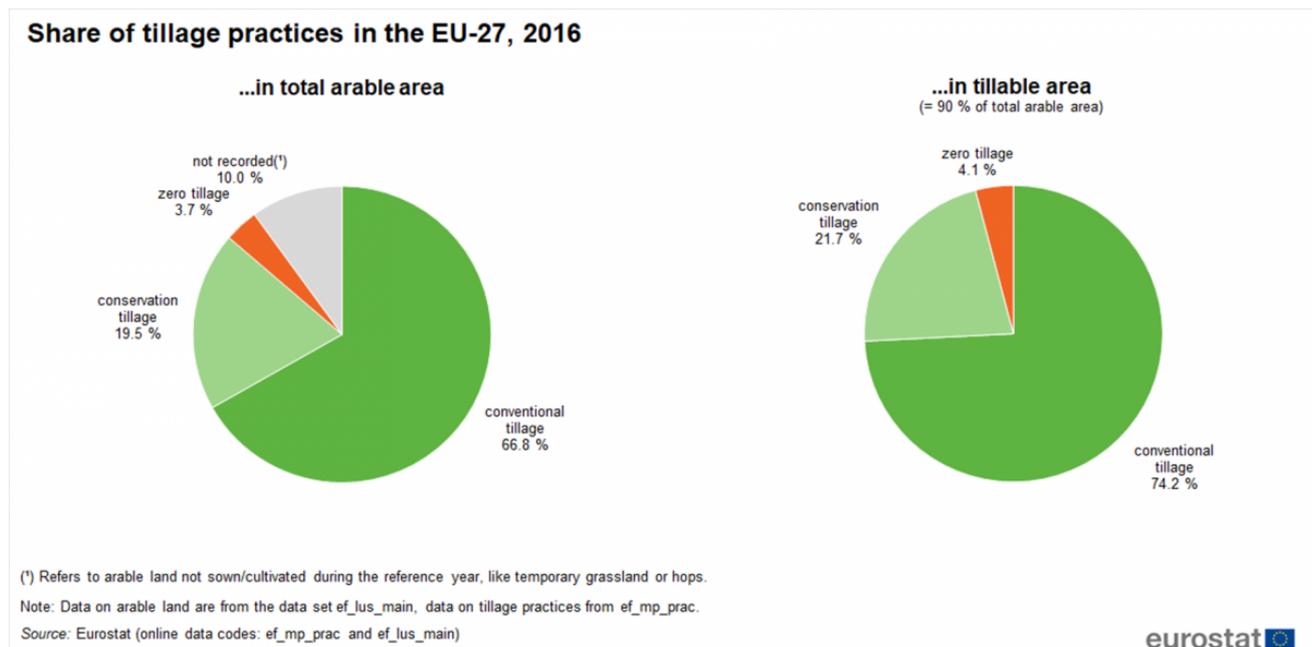


Fig. 9: Percentuali di terreno agricolo per tipologia di gestione. Fonte: Eurostat 2016

3.4 Relazione tra WASI e parametri del suolo

L'analisi di relazione fra i parametri testati ha mostrato una correlazione significativa ($p < 0.05$) solo tra WASI e DA con $r = 0.86$, pendenza positiva con coefficiente pari a 51 e $R^2 = 0.3$ (Fig. 10).

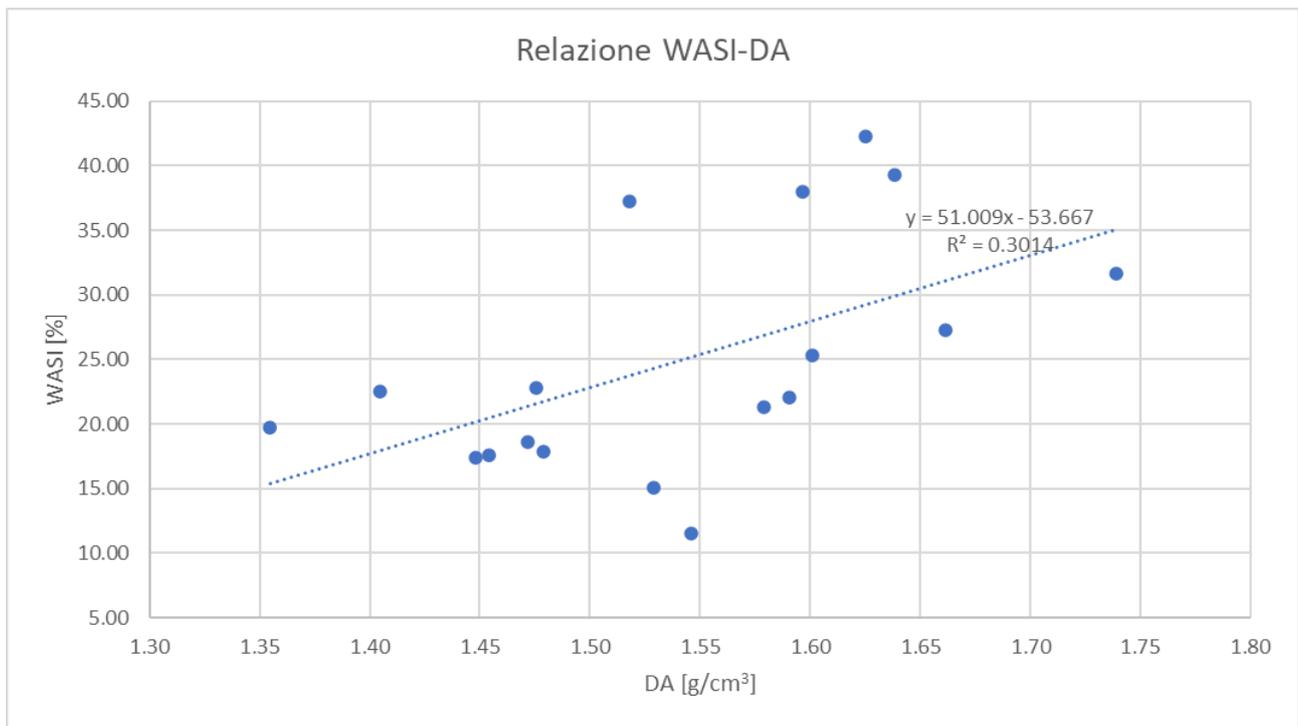


Fig. 10: Regressione lineare DA-WASI

Non sono invece risultate significative le correlazioni fra WASI e C organico e WASI e CIV.

4. Conclusioni

Le pratiche conservative si sono rivelate capaci di avere un impatto positivo per la stabilità degli aggregati, mostrando una certa potenzialità ricostitutiva del terreno anche nel breve-medio periodo nelle condizioni pedoclimatiche della bassa pianura veneta. In particolare, l'adozione del no-tillage ha mostrato i risultati più promettenti.

Nonostante ciò, alcuni effetti di compattamento superficiale sono stati evidenziati nel no-tillage a seguito dell'assenza delle lavorazioni, mentre l'elevata incertezza nei dati sul contenuto idrico non ha permesso di trarre conclusioni significative a riguardo. Si rimanda a successive analisi per confermare la tendenza di apparente aumento di CIV nelle tesi minimum tillage e no-tillage.

Inoltre, ulteriori studi nel medio-lungo periodo saranno necessari al fine di valutare gli eventuali vantaggi delle pratiche conservative in un arco temporale più consono alla loro espressione.

L'agricoltura conservativa, per quanto osservato, potrebbe essere una pratica agronomica efficace per mitigare il depauperamento dei suoli della pianura Veneta.

Bibliografia e sitografia

1 Jenny, H. Dover Press, New York (1941)

2 Verheijen, F.G.A., Jones, R.J.A., Rickson, R.J., Smith, C.J., *Earth-Science Reviews*, **2009**, *94*, 23-38

3 Kaiser, J., *Science*, **2004**, *304*, 1617

4 Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpretz, L., Fitton, L., Saffouri, R., and Blair, R. *Science*, **1995**, *267*, 1117-1123

5 Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V., Evans, A.D., *Biol. Cons.*, **2005**, *122*, 113-130

6 Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. *Soil & Tillage Reas.*, **2012**, *118*, 66-87

7 Holland, J.M., *Agric. Ecosyst. And Environ.*, **2004**, *103*, 1-25

8 Giller, K. E., Andersson, J. A., Corbeels, M., Kirkegaard J., Mortensen, D., Erenstein O., Vanlauwe B., *Front. in plant Sc.* **2015**, *6*, 1-14

9 Tanveera, A., Kanth, T.A., Tali, P.A., Naikoo, M. *Int. Res. J. Earth Sci.*, 2016, *4*, 1-6

10 Busoni E. *Metodi di analisi fisica del suolo* coordinatore Marcello Pagliai, Milano, 1-6

11 Bocchi, S., Confalonieri, R., Frigeni, S., Morari, F., Patruno, A., *Agrochimica* **2008**, *52*, 71-82

12 Cavazza, L *Agricoltura e Ambiente*, Edagricole, Bologna (1981), 3-33

13 Sartori, F., Piccoli, I., Polese, R., Berti, A., *Land*, **2022**, *11*, 55

14 Ferreira, C.S.S., Ferreira, A.J.D., Pato, R.L., Magalhães, M.C., Coelho, C.O., Santos, C., Z. *Geomorphol.*, **2012**, *56*, 5–20

- 15 Kay, B.D., VandenBygaart, A.J., *Soil & Til. Res.*, **2002**, 66, 107-118
- 16 Pachepsky, Y., Park, Y., *Soil Sc. Soc. Of Americ. Journ.*, **2015**, 79, 1094-1100
- 17 Piccoli, I., Lazzaro, B., Furlan, L., Berti, A., Morari, F., *Europ. Journ. Of Agronomy*, **2021**, 122, 126-171
- 18 Sekaran U., Sagar K. L., Kumar S., *Soil & Til. Res.*, **2021**, 208, 104885
- 19 Imaz, M.J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O., *Soil & Til. Res.*, **2010**, 107, 17-25
- 20 Verhulsta, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Walla, P.C., Chocobar, A., Deckers, J., Sayre, K. D. *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*; Lal R., Stewart B.A. (Eds.); CRC Press, **2010**; pp 137-208.
- 21 <https://www.fao.org/conservation-agriculture/en/> (accesso in rete 23/02/2023)
- 22 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_tillage_practices#Analysis_at_EU_level (accesso in rete 23/02/2023)
- 23 <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/> (accesso in rete 23/02/2023)
- 24 <https://esdac.jrc.ec.europa.eu> (accesso in rete 23/02/2023)
- 25 <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/what-are-soils-67647639/> (accesso in rete 23/02/2023)
- 26 https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farms_and_farmland_in_the_European_Union_-_statistics#The_evolution_of_farms_and_farmland_between_2005_and_2020 (accesso in rete 23/02/2023)