

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI ALIMENTI  
RISORSE NATURALI E AMBIENTE

Corso di laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

Le lavorazioni conservative in sostituzione  
all'aratura: effetti sull'accrescimento e sulla resa  
in frumento (*Triticum aestivum L.*)

Relatore

Prof. Antonio Berti

Correlatore

Dott.ssa Maria Florencia Ribero

Laureando:

Riccardo Favero

Matricola n. 2062914

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

# SOMMARIO

<u>SOMMARIO</u> .....	2
<u>RIASSUNTO</u> .....	5
<u>ABSTRACT</u> .....	6
<u>1.INTRODUZIONE</u> .....	7
<u>1.1 L'agricoltura conservativa</u> .....	7
<u>1.2 I principi di base dell'agricoltura conservativa</u> .....	7
<u>1.2.1 Minimo disturbo meccanico del suolo</u> .....	7
<u>1.2.1.1 Minimum tillage</u> .....	8
<u>1.2.1.2 Strip tillage</u> .....	8
<u>1.2.1.3 No tillage</u> .....	9
<u>1.2.2 Copertura organica permanente del suolo</u> .....	9
<u>1.2.3 Diversificazione delle specie coltivate</u> .....	10
<u>1.3 I punti di forza dell'agricoltura conservativa</u> .....	11
<u>1.3.1 Struttura e porosità del terreno</u> .....	11
<u>1.3.2 SOC (Soil Organic Carbon)</u> .....	11
<u>1.3.3 Nutrienti</u> .....	12
<u>1.3.4 Prevenzione dall'erosione</u> .....	13
<u>1.3.5 Riduzione delle emissioni</u> .....	13
<u>1.3.6 Infiltrazione e ritenzione idrica</u> .....	14
<u>1.3.7 Qualità dell'acqua</u> .....	14
<u>1.3.8 Biodiversità</u> .....	15
<u>1.4 I principali limiti dell'agricoltura conservativa</u> .....	16
<u>1.5 La diffusione dell'agricoltura conservativa</u> .....	17
<u>1.6 Esperienze italiane e venete</u> .....	17
<u>1.7 Scopo della tesi</u> .....	19
<u>2. MATERIALI E METODI</u> .....	20
<u>2.1 Inquadramento del sito sperimentale</u> .....	20
<u>2.2 Schema sperimentale</u> .....	20
<u>2.3 Le misurazioni effettuate</u> .....	23
<u>2.3.1 Le misurazioni effettuate durante il ciclo vegetativo del frumento</u> .....	24
<u>2.3.1.1 LAI</u> .....	25
<u>2.3.1.2 NDVI</u> .....	26
<u>2.3.1.3 Clorofilla</u> .....	27

<u>2.3.1.4 Umidità dei tessuti</u> .....	28
<u>2.3.2 Le misurazioni quanti-qualitative della granella</u> .....	29
<u>2.3.2.1 Proteina totale</u> .....	29
<u>2.3.2.1 Glutine umido</u> .....	29
<u>2.3.2.1 Test di Zeleny</u> .....	29
<u>2.3.2.1 Peso specifico</u> .....	29
<u>2.4 Andamento meteorologico del periodo di coltivazione</u> .....	30
<u>2.5 Analisi statistiche</u> .....	31
<u>3. RISULTATI</u> .....	32
<u>3.1 Misurazioni effettuate durante la crescita del frumento</u> .....	32
<u>3.1.1 LAI</u> .....	32
<u>3.1.2 NDVI</u> .....	33
<u>3.1.3 Clorofilla</u> .....	35
<u>3.1.4 Umidità dei tessuti %</u> .....	36
<u>3.1.5 Azoto totale % (determinato con metodo Kjeldahl)</u> .....	38
<u>3.1.6 Proteine (%)</u> .....	39
<u>3.2 Analisi qualitative della granella</u> .....	40
<u>3.2.1 Resa (t/ha)</u> .....	40
<u>3.2.2 Glutine umido (14%)</u> .....	40
<u>3.2.3 Indice di panificazione (Zeleny Test)</u> .....	41
<u>3.2.4 Peso specifico</u> .....	42
<u>3.2.5 Azoto totale %</u> .....	42
<u>3.2.6 Proteina (N*6,25) %</u> .....	43
<u>3.2.7 Contenuto di ceneri</u> .....	44
<u>4. DISCUSSIONE</u> .....	45
<u>5. CONCLUSIONI</u> .....	47
<u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	48



# RIASSUNTO

Una delle principali sfide del nostro tempo per il comparto agricolo globale, è quella di dover far fronte ad un continuo aumento della popolazione da sfamare. Per fare ciò sono necessarie produzioni sempre più abbondanti e di qualità, legate però ad una riduzione degli input esterni e a impatti ambientali minimi. L'agricoltura conservativa è un insieme di tecniche di coltivazione sostenibili che possono contribuire ad affrontare attivamente questa sfida. Tale tipologia di agricoltura presenta numerosi vantaggi, come quello di preservare l'acqua e la sostanza organica presenti nel suolo, migliorare la struttura del terreno e l'infiltrazione idrica, ridurre l'erosione, ridurre le emissioni e aumentare la biodiversità degli agroecosistemi. I principi su cui pone le proprie basi l'agricoltura conservativa sono il minimo disturbo del suolo, la copertura permanente dello stesso e le rotazioni colturali. Lo scopo del presente lavoro di tesi è quello di valutare se diversi tipi di lavorazioni, in sostituzione all'aratura, provocano degli effetti significativi sulla crescita e sulla qualità del frumento. Nello specifico, sono state confrontate la minima lavorazione (MT) e la non lavorazione (NT) con la lavorazione convenzionale (aratura), su un terreno in conversione da sei anni. Nel corso di due anni di sperimentazione (2022-2023) sono stati analizzati numerosi parametri. Durante il ciclo colturale del frumento sono stati raccolti i dati relativi a LAI, NDVI, contenuto di clorofilla fogliare, contenuto di umidità delle diverse parti della pianta, contenuto di azoto e di proteine dei tessuti vegetali. Dopo la raccolta invece, analizzando la granella è stato possibile confrontare la resa, il glutine umido, l'indice di panificazione, il peso specifico e i contenuti di azoto, proteine e ceneri delle cariossidi di frumento. Le analisi statistiche effettuate sui dati raccolti, nella maggior parte dei casi, non hanno evidenziato nessuna differenza significativa dovuta alle diverse lavorazioni del terreno. Per quasi tutti i parametri, al contrario, è risultata significativa la differenza tra i valori medi osservati nelle due annate, e ciò è attribuibile all'andamento climatico differente dei due periodi di coltivazione. In generale con l'applicazione delle lavorazioni conservative, nonostante il breve periodo di conversione del terreno circoscritto a sei anni, già iniziano ad evidenziarsi alcuni effetti favorevoli sulle condizioni del terreno mentre non si sono evidenziati svantaggi produttivi. L'agricoltura conservativa si dimostra quindi applicabile nell'ambiente Veneto, consentendo da una parte di mantenere la produttività e la qualità del prodotto e dall'altra di contenere costi ed input energetici, grazie alla riduzione degli interventi meccanici.

## **ABSTRACT**

One of the main challenges facing the global agricultural sector today is the continuous increase in the population that needs to be fed. To achieve this, there is a need for increasingly abundant and high-quality productions, while reducing external inputs and minimizing environmental impacts. Conservation agriculture is a set of sustainable cultivation techniques that can actively contribute to addressing this challenge. This type of agriculture offers numerous advantages, such as preserving water and organic matter in the soil, improving soil structure and water infiltration, reducing erosion, lowering emissions, and enhancing biodiversity in agroecosystems. The foundational principles of conservation agriculture are minimal soil disturbance, permanent soil cover, and crop rotations. The aim of this thesis is to evaluate whether different types of soil management, as alternatives to ploughing, have significant effects on the growth and quality of wheat. Specifically, minimum tillage (MT) and no-tillage (NT) were compared with conventional tillage (plowing) on soil under conversion for six years. Over two years of experimentation (2022-2023), numerous parameters were analyzed. During the wheat growing cycle, data were collected on Leaf Area Index (LAI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), leaf chlorophyll content, moisture content of various plant parts, nitrogen content, and protein content of plant tissues. After harvest, grain analyses allowed for the comparison of yield, wet gluten, baking index, specific weight, and nitrogen, protein, and ash content of wheat kernels. Statistical analyses of the collected data, in most cases, did not reveal any significant differences due to different soil management practices. On the contrary, significant differences were observed for almost all parameters between the average values observed in the two years, attributable to the different climatic conditions during the cultivation periods. With the application of conservative tillage, despite the short conversion period of the land limited to six years, some favourable effects on the soil conditions are already starting to emerge, while no production disadvantages have been highlighted. Conservative agriculture therefore proves applicable in the Veneto environment, allowing on the one hand to maintain the productivity and quality of the product and on the other to contain costs and energy inputs, thanks to the reduction of mechanical interventions.

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 L'agricoltura conservativa

L'agricoltura conservativa è definita dalla FAO (L'Organizzazione delle Nazioni unite per l'alimentazione e l'agricoltura) come un sistema agricolo che promuove il minimo disturbo del suolo (ad esempio la non lavorazione del terreno), il mantenimento di una copertura permanente del terreno e la diversificazione delle colture. Lo scopo di tale agricoltura è quello di andare a migliorare la biodiversità e i processi biologici naturali sopra e sotto la superficie del terreno, che contribuiscono ad aumentare l'efficienza nell'uso dell'acqua e dei nutrienti e a migliorare e sostenere la produzione agricola.

## 1.2 I principi di base dell'agricoltura conservativa

L'agricoltura conservativa pone le sue fondamenta su tre principi fondamentali, che sono:

- minimo disturbo meccanico del suolo
- copertura organica permanente del suolo
- diversificazione delle specie coltivate

### 1.2.1 Minimo disturbo meccanico del suolo

Il disturbo meccanico del suolo è uno degli aspetti più dannosi per il suolo stesso, in un'ottica di mantenimento della fertilità e della struttura. L'acronimo "PT" (plow tillage) si riferisce alla pratica agricola convenzionale, che implica l'utilizzo dell'aratro. Questo metodo di lavorazione comporta generalmente un profondo disturbo del terreno e si caratterizza per la quasi totale eliminazione dei residui colturali dalla superficie, prima della semina della coltura successiva. Sebbene l'aratura presenti diversi vantaggi, come l'aerazione del substrato, la possibilità di interrare concimi organici e il controllo delle infestazioni di patogeni e infestanti tramite il loro seppellimento, allo stesso tempo ha effetti negativi sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche del terreno. L'aratro è comunemente identificato come la principale causa di degrado del suolo, per via della diminuzione della materia organica e della perdita di nutrienti associata (Mutema *et al.*, 2013). Tra i vari problemi legati

all'aratura ci sono l'eccessiva ossigenazione e mineralizzazione della S.O., il riporto in superficie degli strati inerti più profondi, la formazione di uno strato costipato e impermeabile in profondità (suola di aratura) e l'elevata richiesta di tempo e carburante per eseguire la lavorazione. Le lavorazioni conservative, al contrario, garantiscono in ogni caso la non inversione degli strati, per preservare la SO dalla mineralizzazione. Esistono varie tipologie di lavorazioni conservative, che differiscono tra loro per il disturbo che arrecano al suolo.

### **1.2.1.1 Minimum tillage**

“Minimum tillage” (MT) è l'espressione globalmente utilizzata per indicare la minima lavorazione: una pratica molto diffusa, soprattutto nei Paesi che possiedono appezzamenti di grandi dimensioni, da lavorare in poco tempo. La minima lavorazione viene effettuata con attrezzi specifici in grado di non rovesciare l'orizzonte superficiale del suolo. Sulla base della tessitura terrestre possono variare le attrezzature da impiegare, ma, in ogni caso, è necessario che siano dotate di organi di lavoro adatti a gestire in maniera opportuna i residui e in grado di dissodare il terreno in un'unica passata. Solitamente si adoperano ancore, dischi, rulli e/o molle. La miglior combinazione di questi utensili permette la miscelazione superficiale dei resti colturali (quindi una concentrazione maggiore della S.O. nel primo orizzonte), una riduzione delle perdite di suolo per erosione, una minor polverizzazione, un minor compattamento e un minor consumo di gasolio per unità di superficie. Il principale svantaggio della minima lavorazione è l'elevata richiesta di potenza specifica della trattrice per metro di larghezza di lavoro, che è solitamente piuttosto elevata, in funzione delle caratteristiche del terreno lavorato. Le strumentazioni impiegate devono infatti tipicamente lavorare a velocità sostenute comprese tra 7-15 km/h (Lovarelli, 2021). Inoltre, per assicurare una buona qualità di lavorazione, devono avere una massa ragguardevole, essendo composte da molti elementi.

### **1.2.1.2 Strip tillage**

“Strip tillage” (ST) o “lavorazione a strisce” è una pratica agricola che prevede la minima lavorazione di strisce di suolo che rappresentano meno del 25% della superficie totale dell'appezzamento coltivato (Morrison, 2002). Le strisce lavorate serviranno ad ospitare le singole file della coltura successiva: il resto del campo, non lavorato, ospita sulla sua superficie residui colturali o cover crops.



### **1.2.1.3 No tillage**

L'espressione "No tillage" (NT) è sinonimo di "no till" e di "zero tillage" (ZT) ed indica la "non lavorazione" del terreno. Il no till è una tecnica che prevede la semina diretta della coltura sui residui vegetali della specie precedente, senza alcun tipo di disturbo meccanico del suolo: la conversione allo ZT non implica per forza un cambiamento delle attrezzature aziendali, bensì un importante stravolgimento nella gestione e nelle scelte agronomiche. L'unica operazione che viene eseguita in zero tillage è la messa a dimora delle sementi, attraverso particolari seminatrici che operano la cosiddetta "semina su sodo". Esse sono dotate di dischi metallici che aprono dei solchetti nel terreno con lo scopo di poter deporre i semi appena al di sotto della superficie terrestre. La non lavorazione, col tempo, porta alla formazione di uno strato di natura organica che permane in superficie per la maggior parte dell'anno, con innumerevoli vantaggi per la struttura e la microfauna terricola. In generale, tutti i suoli sono adatti alla coltivazione su sodo, purché siano ben livellati e non compattati. Tuttavia, i massimi miglioramenti in termini strutturali sono tipici dei suoli argillosi (Munkholm *et al.*, 2003). I terreni sabbiosi e grossolani, con bassa componente organica, sono quelli che fanno più fatica a trarre beneficio dal no tillage. Infatti, una struttura equilibrata è raggiungibile da tali terreni solo a seguito dell'impiego di NT per molti anni consecutivi, grazie all'aumento della SO (Ehlers e Claupein, 1994). Uno dei problemi maggiori dello ZT, risiede nel fatto che nei primi anni a seguito della conversione, la popolazione di infestanti cresce drasticamente rispetto a quella presente nelle coltivazioni convenzionali, a causa della ritenzione dei semi sulla superficie del terreno (Christian e Ball, 1994), problema che solitamente viene risolto facendo ricorso all'aratura. Sono quindi spesso necessari più interventi diserbanti per limitare lo sviluppo delle malerbe.

### **1.2.2 Copertura organica permanente del suolo**

In agricoltura conservativa è fondamentale che il suolo rimanga coperto per più tempo possibile durante l'anno: la copertura del suolo si può ottenere tramite cover crops vive, cover crops terminate o residui colturali della coltura principale. Le "cover crops" (colture di copertura), chiamate anche "inter crops" o "catch crops" (colture intercalari o di cattura rispettivamente), sono delle specie vegetali che vengono coltivate in finestre dell'anno temporali e spaziali, in cui solitamente il terreno non è occupato dalle colture principali (Dabney *et al.*, 2001). Rappresentano una valida alternativa al maggese. Le cover crops non vengono seminate con lo scopo di produrre un reddito, bensì di fornire numerosi servizi ecosistemici all'agricoltore, al terreno e all'ambiente (Thorup-Kristensen *et al.*,

2012). Tra le varie funzioni svolte dalle colture di copertura, le più importanti riguardano sicuramente la protezione del terreno dall'erosione, la riduzione delle perdite di nutrienti e l'aumento di fertilità dovuto ad un incremento della SO. Migliorano l'infiltrazione dell'acqua e aumentano la biodiversità della microfauna sulla superficie del suolo. Inoltre, sono importati nella lotta alle infestanti e ai parassiti (Derpsch *et al.*, 2014; Schipanski *et al.*, 2014). In ambiente mediterraneo le essenze più utilizzate appartengono a 3 famiglie: Poaceae (*Lolium multiflorum* L., *Avena sativa* L., *Secale cereale* L.), Brassicaceae e Fabaceae (*Vicia sativa* L., *Vicia villosa* Roth., *Trifolium meneghinianum* Clem., *Trifolium alexandrinum* L.). Le leguminose vengono impiegate per la loro funzione azotofissatrice (Galieni *et al.*, 2017; Stagnari *et al.*, 2017) mentre le graminacee e le crucifere sono efficienti nella cattura e conservazione dell'azoto del terreno. Alcune specie (ad esempio *Raphanus sativus* L., *Fagopyrum esculentum* Moench. e *Avena strigosa* L.) sono in grado di produrre sostanze allelopatiche durante la loro crescita, che vanno a sopprimere le malerbe durante la loro germinazione e il loro sviluppo (Sturm *et al.*, 2018). In generale, è buona pratica seminare delle miscele di essenze differenti, per trarre vantaggio dai benefici di ciascuna (Lal, 2015). Prima di procedere alla semina o al trapianto di una coltura principale viene abitualmente terminata la CC (in agricoltura convenzionale e MT), mentre in NT viene lasciata intatta e si effettua la semina sulla cover stessa. Un metodo poco invasivo e molto efficace per l'eliminazione delle CC in MT è rappresentato dal rullo crimper, che porta ad una percentuale di mortalità del 94% (Ashford e Reeves, 2003).

### **1.2.3 Diversificazione delle specie coltivate**

La diversificazione delle specie coltivate è un pilastro fondamentale dell'agricoltura conservativa in quanto permette di ottenere un incremento della biodiversità e della fertilità del suolo. Secondo Kassam *et al.* (2019) la rotazione ideale in CA dovrebbe includere almeno 3 colture differenti. Le specie che possono essere inserite nei piani colturali sono le più svariate: piante annuali e perenni, erbacee e arboree, colture intercalari, di cattura e di copertura, miscele di cultivar, leguminose e non, incluse radici e tuberi (Derpsch e Friedrich, 2009; Kassam *et al.*, 2012). La biodiversità delle colture garantisce una migliore resilienza dell'agroecosistema: un'ampia diversità di organismi è una condizione fondamentale per il corretto funzionamento degli ecosistemi e per la fornitura di molteplici servizi ecosistemici (Lin, 2011).

## 1.3 I punti di forza dell'agricoltura conservativa

### 1.3.1 Struttura e porosità del terreno

Gli effetti della gestione conservativa del terreno sulla struttura dello stesso dipendono dal periodo temporale che si considera: nel breve periodo (settimane/mesi) si possono osservare compattazione e rottura degli aggregati, mentre nel medio-lungo periodo, grazie all'attività dei macro-invertebrati e alla stabilizzazione del carbonio organico viene raggiunto un equilibrio stabile della struttura. L'agricoltura conservativa agisce sulla porosità del terreno riducendo il numero di pori totale e promuovendo un cambiamento nella distribuzione a favore dei pori di dimensioni meso e micro, a discapito di quelli di dimensioni maggiori. Secondo Dal Ferro *et al.* (2014) non ci sono differenze significative nella distribuzione dei micropori in terreni convenzionali piuttosto che conservativi, bensì differenze di distribuzione dei macropori. La densità apparente dello strato superficiale del suolo (entro i primi 30 cm) risulta di solito inferiore nei terreni soggetti a lavorazione tradizionale rispetto a quelli gestiti con il no till, grazie all'effetto di rottura degli aggregati causato dall'aratura vicino alla superficie (Dolan *et al.*, 2006). Secondo So *et al.* (2009) l'aratura comporta un "rilassamento" della struttura del suolo e determina un aumento immediato dei macro-pori e della porosità totale, con conseguente riduzione della densità apparente. Tuttavia, ricerche a lungo termine indicano che nella parte inferiore del suolo, al di sotto dei 30 cm (sotto la suola di aratura), la densità apparente e la porosità totale risultano generalmente simili tra NT e PT (Dolan *et al.*, 2006). A conferma di quanto detto, un esperimento condotto in Veneto da Piccoli *et al.* (2016), ha dimostrato che nei primi 5 cm di terreno la differenza tra le densità è stata significativa, con valori più alti in CA (1450 kg/m<sup>3</sup>) che in PT (1385 kg/m<sup>3</sup>). Gao-bao *et al.* (2012) affermano che le attrezzature utilizzate in convenzionale rendono il suolo più compatto in profondità e, dopo ripetute lavorazioni, portano alla formazione di un duro strato impermeabile sotto il livello di aratura.

### 1.3.2 SOC (Soil Organic Carbon)

Uno dei principali vantaggi offerti dall'agricoltura conservativa è quello di andare a modificare le quantità del carbonio organico del suolo (Soil Organic Carbon), attraverso la fissazione del carbonio atmosferico. Ciò avviene sottraendo la CO<sub>2</sub> dall'atmosfera e immagazzinandola sotto forma di materia organica nel terreno. Il SOC è cruciale per la fertilità e la salute generale dell'ecosistema agricolo. Contribuisce a migliorare la struttura del suolo, la capacità di ritenzione dell'acqua, la disponibilità di

nutrienti per le piante e la resistenza all'erosione. Secondo gli studiosi West e Post (2002) grazie all'agricoltura conservativa, sarebbe possibile aumentare lo stock di SOC di  $0.57 \pm 0.14$  t di C per ettaro, all'anno, nei primi 30 cm di suolo. Nel territorio Veneto, sono state condotte diverse sperimentazioni per andare a valutare gli effetti dell'agricoltura conservativa sulle quantità e qualità del carbonio organico del suolo. I risultati ottenuti non hanno evidenziato ingenti variazioni sul contenuto di SOC dei terreni, bensì dei cambiamenti nella distribuzione di quest'ultimo nel suolo. Nello specifico, un primo esperimento (Piccoli *et al.*, 2016) ha analizzato l'evoluzione del carbonio organico in 3 anni di transizione dalla lavorazione convenzionale a quella conservativa, in 3 differenti aziende agricole della pianura veneta, con oltre 150 posizioni di campionamento complessive. I risultati ottenuti hanno dimostrato che in condizioni conservative la maggior quantità di SOC si è concentrata nei primi cm del terreno (0-5 cm di profondità), mentre l'aratura ha comportato un aumento del carbonio organico in profondità (30-50 cm). Sono state evidenziate delle differenze statisticamente significative tra il livello di SOC nello strato 0-5 cm (1.20% in CA e 0.98% in PA), mentre negli strati sottostanti le differenze non sono state significative. L'incremento di sostanza organica negli strati superficiali è dovuto alla non lavorazione e al mantenimento dei residui colturali (Bisset *et al.*, 2013). Sempre in Veneto, è stata svolta una seconda analisi di confronto tra il SOC di terreni condotti con tecniche convenzionali e conservative: i campionamenti si sono svolti tra il 2011 e il 2017 in 240 località differenti. I risultati in questo caso hanno evidenziato un lieve aumento generale di SOC negli strati 0-30 cm dei suoli conservativi rispetto a quelli arati, mentre nessuna variazione è stata osservata negli strati 0-50 cm. In 6 anni, non è stato rilevato nessun aumento significativo della quantità di SOC del terreno, ma solamente un miglioramento della distribuzione dello stesso sul profilo del suolo (Camarotto *et al.*, 2020).

### **1.3.3 Nutrienti**

Le tecniche di minima e non lavorazione possono determinare dei cambiamenti di concentrazione e/o di distribuzione dei nutrienti nel terreno. Essenzialmente, tutto ruota attorno alla presenza di SOM (soil organic matter). L'eccessiva mineralizzazione della materia organica è un problema comune per chi opera in convenzionale: l'assenza di aratura in NT e MT rende il suolo meno ossigenato, e questo implica una minor mineralizzazione. L'accumulo di SO sulla superficie terrestre permette ai nutrienti in essa contenuti di essere più accessibili per le piante. Secondo gli autori Sithole *et al.* (2016), in agricoltura conservativa aumentano le quantità di azoto ed altri elementi nei primi strati di terreno, a discapito di quelli più profondi. Un'abbondante presenza di carbonio organico amplifica la capacità

di scambio cationico del substrato e ne provoca dei lievi cali di pH, con conseguente aumento della disponibilità di vari micronutrienti.

#### **1.3.4 Prevenzione dall'erosione**

Una delle principali minacce odierne per la salute dei suoli è rappresentata dall'accelerazione dell'erosione derivante dalle pratiche agricole (Govers *et al.*, 2017). La quantità di erosione del suolo causata dalle attività umane è stata approssimativamente calcolata in 25000–40000 Tg all'anno per l'erosione idrica, circa 5000 Tg all'anno per l'erosione dovuta all'aratura e 2000–3000 Tg all'anno per l'erosione del vento (Govers *et al.*, 2014). Secondo uno studio di Govers *et al.* (2017), il tasso di degradazione globale delle riserve di suolo è venti volte superiore al tasso di formazione del suolo stesso. L'utilizzo delle colture di copertura e il mantenimento dei residui sulla superficie del terreno sono elementi fondamentali per la riduzione dell'erosione, soprattutto in condizioni collinari e montuose: prevengono fenomeni erosivi dovuti sia al vento che all'acqua. L'incremento della capacità di ritenzione e di infiltrazione, uniti ad un aumento della sostanza organica, rendono il suolo più resistente all'erosione eolica e idrica (Pisante, 2018).

#### **1.3.5 Riduzione delle emissioni**

Il comparto agricolo italiano contribuisce per il 7% alle emissioni totali in atmosfera di gas serra (fonte: ISPRA, 2020). Anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e protossido d'azoto (N<sub>2</sub>O) sono i principali GHGs emessi, e tutti e 3 possono essere gestiti mediante la scelta di conduzione del suolo. La pratica dell'agricoltura conservativa presenta il potenziale di mitigare e, in alcuni casi, invertire il tasso di emissione di CO<sub>2</sub> e altri gas a effetto serra nell'ambito agricolo, come riportato da Lal (2002, 2008). La CA influisce sulle emissioni di CO<sub>2</sub> sia direttamente che indirettamente. Innanzitutto, le pratiche agricole a bassa intensità di lavorazione del suolo consentono di ridurre l'utilizzo di combustibili fossili, come evidenziato da Soane *et al.* (2012). Inoltre, il deposito di carbonio organico nel terreno apporta un contributo al controllo delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Uno studio condotto nel sud della Spagna da Carbonell Bojollo *et al.* (2011) ha evidenziato valori di CO<sub>2</sub> significativamente superiori, compresi tra il 39% e il 90%, nei terreni coltivati rispetto alle aree non coltivate. La quantità di CO<sub>2</sub> emessa dopo la lavorazione del suolo è risultata proporzionale al grado di disturbo del suolo stesso, come indicato da Álvaro-Fuentes *et al.* (2007). Le emissioni di metano e protossido d'azoto sono principalmente associate a terreni scarsamente aerati, terreni fortemente compattati o suoli

pesanti e mal drenati. Il suolo rappresenta una fonte significativa di N<sub>2</sub>O atmosferico in quanto è in grado di produrlo ed emetterlo, in dipendenza dalla quantità di azoto presente nel suolo stesso e da vari altri fattori intrinseci ed estrinseci. Sebbene in alcune situazioni sia stato segnalato un aumento delle emissioni di N<sub>2</sub>O in sistemi "no-till", specialmente su suoli precedentemente sottoposti a lavorazione intensiva, questo fenomeno è associato a condizioni di compattazione e scarsa strutturazione del terreno. Terreni ben drenati sotto la CA, anche se occasionalmente lavorati, generalmente mostrano emissioni inferiori di N<sub>2</sub>O rispetto a terreni regolarmente coltivati (Baig e Gamache, 2009; Omonode *et al.*, 2010). La gestione del suolo mediante CA favorisce infine la presenza di batteri ossidanti del metano, contribuendo così a ridurre le emissioni di CH<sub>4</sub> (Ceja-Navarro *et al.*, 2010).

### **1.3.6 Infiltrazione e ritenzione idrica**

L'acqua è un elemento cruciale per la coltivazione agricola. Diversi autori hanno osservato che le tecniche conservative migliorano l'infiltrazione dell'acqua grazie alla stabilità della struttura e al miglioramento della connettività bio-macroporosa (Palm *et al.*, 2014). Le pratiche di agricoltura conservativa sono particolarmente efficaci nel preservare l'acqua disponibile, specialmente in aree con temperature elevate e risorse idriche limitate: favoriscono una minore evaporazione e, grazie alla presenza di residui vegetali, promuovono elevate infiltrazioni (Pisante, 2018). Secondo alcuni autori (Lipiec *et al.*, 2006), al contrario, la non lavorazione può provocare una compromissione dell'infiltrazione (-61%) a causa di una forte compattazione del suolo dovuta al traffico intenso. Dei ricercatori (Pittelkow *et al.*, 2015) hanno confrontato le rese ottenute da due coltivazioni irrigue: una condotta in CV e una in CA. I risultati non hanno dimostrato alcun vantaggio in termini quantitativi della produzione conservativa a discapito di quella convenzionale. Ne consegue che, quando l'acqua non rappresenta un fattore limitante, il no tillage non offre vantaggi tangibili dal punto di vista produttivo.

### **1.3.7 Qualità dell'acqua**

L'adozione delle pratiche conservative offre un contributo significativo alla salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee. In particolare, l'uso della semina diretta ha dimostrato di ridurre drasticamente, fino al 70-100%, il deflusso di prodotti fitosanitari, come evidenziato nello studio di Palm *et al.* (2014). La biodiversità presente nel suolo conservativo permette una maggior

degradazione dei PF (Busari *et al.*, 2015) e allo stesso tempo la presenza di lombrichi (Capowiez *et al.*, 2009) contribuisce in maniera importante alla produzione di materia organica, che a sua volta svolge un ruolo cruciale nella riduzione della dispersione nell'ambiente degli agrochimici (Alletto *et al.*, 2012).

### **1.3.8 Biodiversità**

La gestione del suolo svolge un ruolo centrale nel preservare la biodiversità dello stesso: influenza sia i microrganismi invertebrati che le piante e gli animali superiori che ci vivono. L'aratura è la lavorazione più dannosa per gli equilibri vitali del terreno, in quanto porta in superficie materiali inerti inospitali e, al contrario, spinge in profondità organismi utili e sostanza organica. L'impiego di tecniche sostenibili, come l'agricoltura conservativa e la copertura vegetale, emerge come strategia chiave per promuovere la biodiversità del suolo. L'utilizzo di cover crops, associato all'assenza di lavorazioni e alla maggior ritenzione idrica della superficie terrestre, creano un ambiente ottimale per lo sviluppo della vita di lombrichi ed altri organismi, tutti essenziali per il mantenimento dell'agroecosistema in cui sono inseriti.

### **1.3.9 Convenienza economica**

A livello economico non è facile capire se l'agricoltura conservativa porta a maggiori introiti rispetto a quella convenzionale: ci sono numerosi aspetti da prendere in considerazione per poi trarre delle conclusioni. La minima lavorazione e la non lavorazione del terreno, portano ad una drastica riduzione dei consumi di carburanti e mezzi produttivi, che si traducono poi in minori costi di produzione a parità di superficie seminata. Secondo la FAO (2008), i risparmi energetici dell'agricoltura conservativa toccano il 70%. Mengel *et al.* (1992) affermano che la presenza di copertura vegetale e il mantenimento dei residui in superficie aumentano la sostanza organica e i nutrienti nella soluzione circolante, con conseguente calo nella richiesta di concimazioni antropiche. Degli studi (Lindwall e Sonntag, 2010) mostrano come grazie alle rotazioni sarebbe possibile ridurre l'impiego di insetticidi in CA. Nei primi anni a seguito della conversione dal convenzionale, la gestione dei patogeni e delle malerbe potrebbe rivelarsi particolarmente difficoltosa (Melander *et al.*, 2013), a causa dell'impossibilità di invertire gli strati di terreno con la classica aratura. Generalmente servono un numero di interventi diserbanti e antiparassitari superiori al normale, e ovviamente questi

interventi rappresentano un costo per l'agricoltore. L'unione Europea, attraverso la PAC, promuove attivamente l'agricoltura conservativa. In Veneto, la misura 10.1.1 del PSR (Programma di sviluppo rurale) 2014-2020 prevedeva lo stanziamento di fondi per le "tecniche agronomiche a ridotto impatto ambientale", con pagamenti diretti per gli agricoltori che ne facevano uso. Anche l'attuale programmazione (2023-2027) è molto legata al tema.

#### **1.4 I principali limiti dell'agricoltura conservativa**

L'agricoltura conservativa, oltre ad avere innumerevoli vantaggi per il suolo e per l'ambiente, porta con sé anche dei limiti e delle criticità. Questi, generalmente, sorgono nel periodo di transizione dalla gestione in PT a quelle in MT e/o NT. Nei primi anni di conversione è necessario ricorrere ad un numero di trattamenti fitosanitari superiore al normale, sia per contenere le popolazioni di patogeni che quelle di malerbe. Inoltre, una gestione errata dei residui colturali può causare degli intasamenti e dei malfunzionamenti delle attrezzature che si impiegano, ad esempio le seminatrici. È fondamentale stare molto attenti alle dimensioni e al peso dei macchinari che scendono in campo, in quanto il terreno è facilmente vittima di calpestamento. Le lavorazioni devono essere effettuate allo stato di tempera, altrimenti si va incontro a ristagni e costipazione. Nel periodo di transizione possono aumentare le emissioni di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O). La conversione delle aziende da convenzionali a conservative non richiede grossi finanziamenti, servono solamente le attrezzature necessarie a compiere qualche lavorazione, ad esempio seminatrice da sodo e decompattatore. La produzione conseguibile con le varie tecniche è fondamentale: più alta è la produzione lorda vendibile e maggiori saranno i ricavi derivanti dalla coltivazione. Purtroppo, è stato dimostrato che nelle situazioni irrigue non ci sono vantaggi in termini quantitativi delle produzioni conservative rispetto a quelle convenzionali (Pittelkow *et al.*, 2015). Pertanto, chi coltiva non è incentivato a cambiare approccio. Tuttavia, a livello globale, le risorse idriche scarseggiano sempre di più; quindi, quest'ultimo pare essere un problema limitato a pochi areali. Spesso, gli agricoltori fanno riferimento ai cali produttivi e tendono a tralasciare, invece, gli innumerevoli altri vantaggi che le tecniche conservative possono offrire a lungo andare. Alla luce di tutto ciò, il passaggio ad un'agricoltura più sostenibile è una scelta che deve essere fatta dagli agricoltori dopo aver considerato svariati fattori: uno tra i più importanti è quello economico, oltre a quello gestionale. Gli operatori del settore agricolo possono avere a cuore la salute dei propri terreni e le questioni ambientali ma, se il cambiamento non provoca alcun aumento del reddito, allora non trovano motivo di abbandonare la vecchia aratura.



## **1.5 La diffusione dell'agricoltura conservativa**

L'agricoltura conservativa è nata in America ai tempi del secondo dopoguerra. All'inizio era una pratica sconosciuta: si è diffusa molto lentamente nel continente da nord a sud fino a che, negli anni 90', grandi organizzazioni come la FAO l'hanno presa in considerazione come tecnica da impiegare per rendere l'agricoltura più sostenibile e meno impattante (Pisante *et al.*, 2020). Con l'arrivo del nuovo millennio si è verificato un aumento esponenziale della diffusione delle tecniche di minima e non lavorazione del terreno. A livello globale, secondo l'aggiornamento FAO 2015/16, sono circa 180 milioni gli ettari condotti in modo conservativo. I paesi che presentano il maggior numero di Ha in CA sono: USA, Brasile, Argentina, Canada e Australia. America e Oceania assieme possiedono l'86% della superficie totale coltivata in maniera conservativa. La superficie Europea dei terreni non arati rappresenta solamente il 2% di quella globale e gli stati che ne detengono la maggior superficie sono Spagna, Romania e Polonia. In base alle stime FAO, in Italia siamo passati dagli 80 mila ha del 2008/9 ai 380 mila ha del 2013/14 e 284 mila del 2015/16.

## **1.6 Esperienze italiane e venete**

In Italia, nonostante siano provati i numerosi vantaggi dell'agricoltura conservativa, tanti agricoltori non sono ancora disposti ad abbandonare l'aratura. Rispetto ai primi anni 2000, tuttavia, un gran numero di ettari sono stati convertiti, ma rappresentano ancora una quota irrisoria rispetto alla SAU totale, che ammonta a circa 12,5 milioni di ettari (FAO). Con l'avanzamento dei cambiamenti climatici le condizioni di coltivazione sono sempre più dure: spesso viviamo dei lunghi periodi siccitosi seguiti da settimane di forti piogge e l'alternarsi delle stagioni non è più marcato come in passato. Una delle soluzioni per combattere la crisi che stiamo vivendo, e allo stesso tempo fare del bene all'ambiente, è rappresentata dall'agricoltura conservativa. Nella nostra penisola negli ultimi anni sono stati condotti degli esperimenti su questo tipo di agricoltura emergente ma, se confrontati con quelli condotti nel resto del mondo, sono stati pochissimi. Nel centro-sud Italia la minima lavorazione e la non lavorazione sono più diffuse rispetto al nord, per le temperature medie maggiori e per la scarsità d'acqua che caratterizzano le annate agrarie. Dal 1995, a Foggia, viene portata avanti una prova di confronto tra la semina convenzionale e quella su sodo del frumento duro. I risultati produttivi ottenuti in 20 anni di coltivazione (1995-2015) non hanno dimostrato differenze statisticamente significative della produzione, con rese medie per ettaro pari a 2,78 t in PT e 2,64 t in

NT (Rinaldi e Troccoli, 2015). Tuttavia, lo scenario è completamente differente se si aggiungono alla resa annuale di NT i chilogrammi equivalenti di granella provenienti dal risparmio economico dovuto all'adozione del sodo. In questo caso, la produzione totale del terreno non lavorato sarebbe maggiore di quella convenzionale. Furlan *et al.* (2021) hanno dimostrato come, in 8 anni di coltivazione di diverse specie in Veneto, le produzioni conservative siano risultate scarse rispetto a quelle convenzionali. Nello specifico, il frumento in MT ha reso mediamente il 19,6% in meno di quello in PT, la soia ha subito un calo del 32,1% medio, e il mais del 44% medio. Le particolari condizioni geografiche e climatiche del nostro Paese han sempre permesso agli imprenditori agricoli di ottenere grandi risultati produttivi facendo ricorso all'aratura, e questo è il motivo per il quale fanno fatica a cambiare prospettiva. La diffusione della CA è in crescita, e sono necessari aiuti economici concreti e aggiornamenti per fare in modo che la tendenza non si fermi ma aumenti.

## 1.7 Scopo della tesi

Lo scopo del presente lavoro di tesi è quello di valutare gli impatti che diversi tipi di lavorazioni conservative hanno sulla crescita e sulla resa del frumento (*Triticum aestivum* L.). La prova è stata eseguita su un terreno soggetto a conversione da 6 anni e sono stati confrontati i dati raccolti in 2 annate consecutive (2021-22 e 2022-23). Le lavorazioni soggette allo studio erano:

- Lavorazione convenzionale
- Minimum tillage
- No tillage

I parametri presi in considerazione durante la crescita del frumento sono stati:

- LAI
- Contenuto di clorofilla fogliare
- NDVI
- Umidità di fusti, foglie e spighe
- Contenuto di azoto
- Contenuto di proteine

Dopo la raccolta, invece, sono state analizzate diverse caratteristiche della granella:

- Resa finale
- Contenuto di glutine
- Valore di panificazione
- Peso specifico
- Contenuto di azoto
- Contenuto di proteine
- Contenuto di ceneri

## **2. MATERIALI E METODI**

### **2.1 Inquadramento del sito sperimentale**

La sperimentazione si è svolta presso l'Azienda Agricola Sperimentale Lucio Toniolo, situata a Legnaro, PD (NE Italia, 45° 21 N; 11° 58 E; 6 m s.l.m.), nella bassa pianura veneta. La zona in questione è caratterizzata da un clima di tipo sub-umido, con temperature comprese tra -1,5 °C in media a gennaio e 27,2 °C in media a luglio. Le precipitazioni annuali raggiungono gli 850 mm, con un'evapotraspirazione di riferimento di 945 mm che supera le precipitazioni da aprile a settembre. L'inverno è la stagione più secca, con precipitazioni medie di 55 mm, mentre le piogge più abbondanti si verificano mediamente a giugno (100 mm) ottobre (90 mm). L'altezza della falda freatica fluttua da 0,5 a 2 m di profondità e risulta essere più profonda in estate. Il suolo è franco limoso e viene classificato come Fluvi-Calcaric Cambisol (CMcf) (IUSS Working Group WRB, 2014). L'area di coltivazione è caratterizzata da una bassa fertilità naturale dovuta allo scarso contenuto di sostanza organica (circa 15 g kg<sup>-1</sup>), una bassa capacità di scambio cationico e degli elevati livelli di carbonati di calcio (CaCO<sub>3</sub>) (Regione Veneto, 2005).

### **2.2 Schema sperimentale**

L'esperimento è iniziato nell'autunno del 2021 e si è concluso nell'estate del 2023 ed è stato eseguito con uno schema sperimentale a strisce. La superficie di coltivazione totale era pari a 2 ha, suddivisa in due repliche, di 1 ha ciascuna. All'interno di ogni replica sono state ottenute 3 fasce di 13 m x 260 m (3380 m<sup>2</sup>), ognuna corrispondente ad una diversa lavorazione del terreno (figura 1). I trattamenti all'interno dell'appezzamento, infatti, sono stati tre: lavorazione convenzionale, minima lavorazione e non lavorazione. Ogni fascia, infine, è stata suddivisa in 3 zone caratterizzate dallo stesso trattamento, per cui i diversi campionamenti da fare all'interno di ogni blocco (replica) complessivamente erano 9. L'appezzamento in cui è stata eseguita la lavorazione convenzionale (CT) è stato arato ad una profondità di 30 cm ed erpicato a 15 cm; l'appezzamento coltivato con la minima lavorazione (MT) è stato lavorato ad una profondità di 15 cm e poi erpicato; l'appezzamento di non lavorazione (NT), infine, è stato seminato sui residui dei raccolti precedenti.

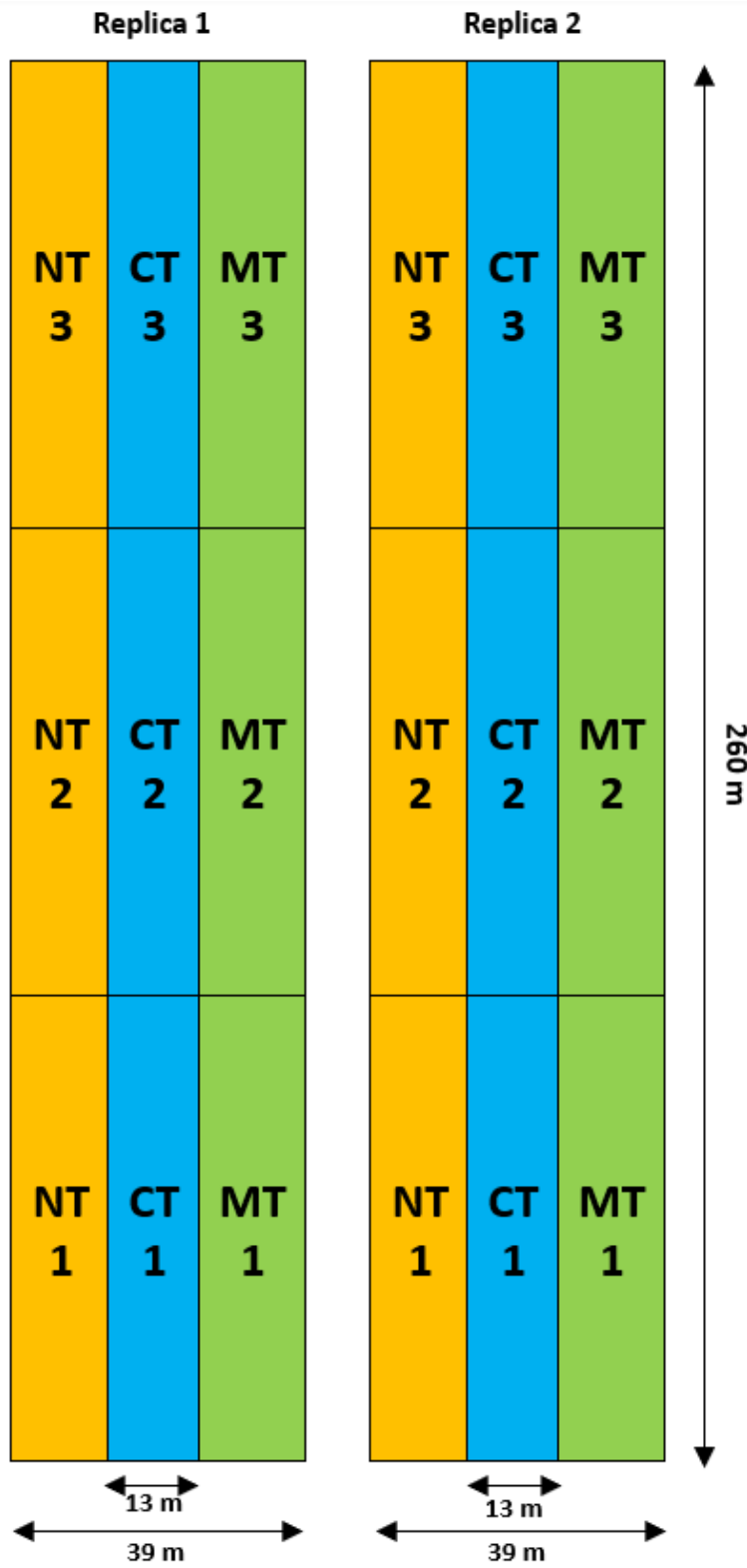


Figura 1: Schema sperimentale

I sistemi di lavorazione MT e NT sono stati applicati nel sito sperimentale per la prima volta nel 2018, nell'ambito di una tesi di dottorato (Sartori *et al.*, 2021). La coltura utilizzata per il confronto tra gli effetti ottenuti dalle diverse lavorazioni è stata il frumento (*Triticum aestivum* L.), seminato in 2 annate consecutive (autunno 2021 e 2022). Durante la crescita del cereale sono stati fatti, in maniera indifferente sui due blocchi, tutti i trattamenti necessari allo sviluppo e alla produzione dello stesso. Nella tabella 1, sono riportate le pratiche agronomiche eseguite.

<b>PRATICHE AGRONOMICHE</b>	<b>1° CICLO</b>	<b>2° CICLO</b>
Semina	28/10/2021	3/11/2022
Concimazione pre-semina (8-16-20)	X	X
Concimazione di copertura (Nitrato di ammonio 27%)	X	X
Concimazione di copertura (Urea 46%)	X	X
Trattamento diserbante (post-emergenza)	X	X
Trattamento fungicida	X	X
Raccolta	27/6/2022	29/6/2023

*Tabella 1: Operazioni colturali effettuate durante la sperimentazione*

## 2.3 Le misurazioni effettuate

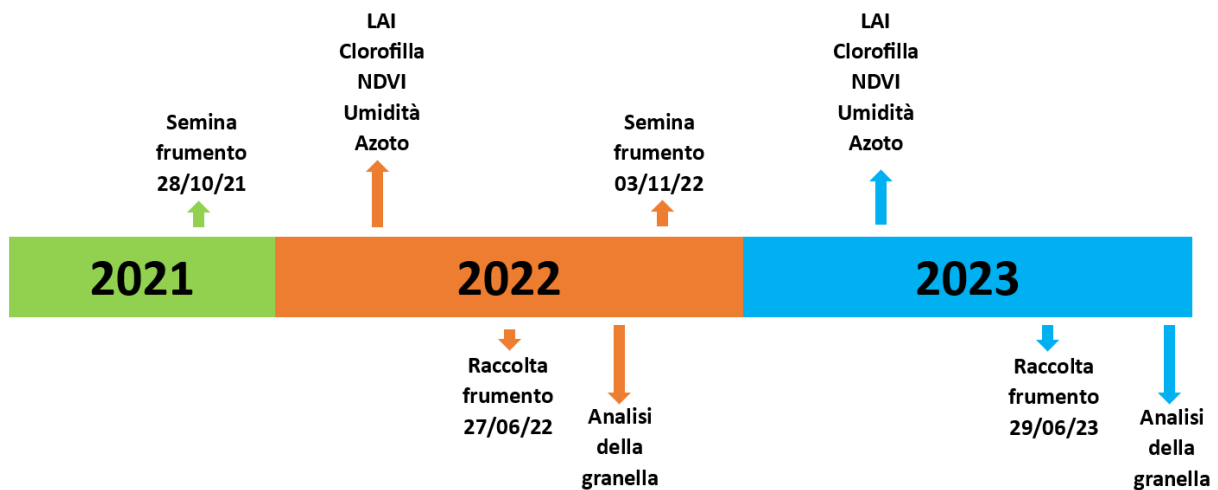


Figura 2: Mappa temporale delle operazioni e misurazioni effettuate

Durante l'accrescimento del frumento sono stati eseguiti diversi rilievi in campo (Fig. 2) e, a seguito della raccolta, sono state fatte le analisi alla granella. I dati collezionati includevano la misurazione del LAI (Leaf Area Index), dell'indice di clorofilla, dell'indice di vegetazione a differenza normalizzata (NDVI), delle proteine durante la crescita della pianta, della resa e della qualità del cereale raccolto. Per la misura qualitativa delle cariossidi sono stati impiegati parametri come le proteine, il glutine umido, il test dello Zeleny, il peso specifico.

### 2.3.1 Le misurazioni effettuate durante il ciclo vegetativo del frumento

Per effettuare i campionamenti durante la crescita primaverile del frumento sono stati scelti 5 momenti (P=fase). Ciascuno dei 5 momenti di raccolta dati sul campo avrebbe dovuto corrispondere ad una specifica fase fenologica secondo la scala di Zadoks. La scala di Zadoks, ideata dall'omonimo fitopatologo olandese, è ampiamente utilizzata in ambito cerealicolo per classificare le diverse fasi di crescita delle piante. Tuttavia, a causa delle condizioni meteorologiche inconsuete riscontrate durante le due annate di sperimentazione, non è stato possibile sincronizzare perfettamente le fasi di crescita con le date pianificate per i controlli.

<b>Momenti di campionamento</b>	<b>Fase fenologica</b>	<b>Zadok</b>
<b>2022</b>		
<b>P1</b>	Fioritura	6.80
<b>P2</b>	Fase lattea	7.10
<b>P3</b>	Fase Lattea	7.80
<b>P4</b>	Fase cerosa	8.00
<b>P5</b>	Maturazione fisiologica	9.00
<b>2023</b>		
<b>P1</b>	Botticella	4.50
<b>P2</b>	Fine della spigatura	5.90
<b>P3</b>	Fase lattea	7.30
<b>P4</b>	Fase cerosa	8.30
<b>P5</b>	Maturazione fisiologica	9.00

*Tabella 2: Fasi fenologiche del frumento nei vari momenti di campionamento*



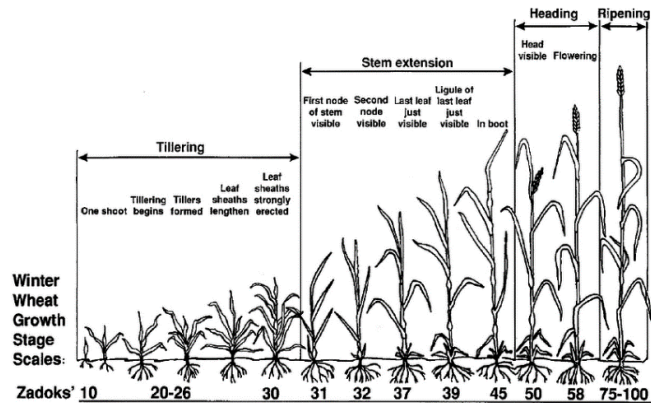


Figura 3: Fasi della scala Zadoks in riferimento alla crescita del frumento (Alley et al, 1993).

### 2.3.1.1 LAI

Il LAI (Leaf Area Index) è la misura dell'area fogliare per superficie di suolo. È una quantità adimensionale che dipende dal grado di copertura vegetale del terreno e in parole povere indica l'energia effettivamente disponibile per la fotosintesi. Il LAI determina il microclima sotto la chioma, l'assorbimento delle radiazioni, l'intercettazione dell'acqua, l'evapotraspirazione e lo scambio di gas di carbonio. Per questi motivi, rappresenta una componente chiave dei cicli biochimici negli ecosistemi (Brèda, 2003). Il LAI è stato rilevato grazie all'utilizzo di un ceptometro. L'innovativo strumento in questione è l'"ACCUPAR LP-80". È fornito di una sonda di un metro circa e riesce a calcolare l'intensità della copertura fogliare in maniera indiretta, a partire dalla quantità di PAR (radiazione fotosinteticamente attiva) intercettata dallo strumento. Il dispositivo è stato posizionato in maniera ortogonale rispetto alla vegetazione in pieno sole, definendo così l'incidenza della luce. È stato poi inserito nella vegetazione (a livello del suolo) in modo parallelo al terreno, per ottenere una misura tra le piante e tra i filari. La procedura è stata ripetuta 3 volte ad ogni punto di misura (2 blocchi x 3 lavorazioni x 3 ripetizioni di ogni lavorazione= 18 punti).



Figura 4: Ceptometro in fase di taratura (foto propria)

### 2.3.1.2 NDVI

L'NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) è l'indice di vegetazione più comunemente utilizzato in agricoltura e non solo: descrive il livello di vigoria delle colture e permette di conoscere le aree con problemi di sviluppo. Viene definito, dalla letteratura scientifica, come il rapporto di riflettanza differenziato nelle lunghezze d'onda del rosso e del vicino infrarosso (Tucker, 1979). È un parametro direttamente correlato alla quantità di azoto presente nella vegetazione, per cui tanto più vigorosa sarà quest'ultima e tanto più alto sarà il valore del parametro. Il range di variazione è tra -1 (acqua) e +1 (massima vigoria della copertura vegetale), lo 0 rappresenta il suolo nudo. Lo strumento utilizzato per i rilievi in campo è stato il "CROP CIRCLE ACS-430" della "Holland Scientific Sensor". È dotato di un data logger, un sensore e un alimentatore. I dati sono stati presi posizionando il sensore ad un metro di altezza sopra la chioma; in ogni punto di misura sono stati raccolti 5 valori, e successivamente è stata fatta la media per ottenerne uno solo. Complessivamente quindi, sono stati raccolti  $2 \times 3 \times 3 = 18$  campioni.



Figura 5: Crop Circle (foto propria)

### 2.3.1.3 Clorofilla

Il contenuto di clorofilla è un indicatore molto importante della salute delle piante e può essere utilizzato per ottimizzare i tempi e le quantità di applicazione dei fertilizzanti, in modo da ottenere rese elevate e allo stesso tempo un carico ambientale inferiore. La quantità di clorofilla presente nei tessuti vegetali verdi è direttamente proporzionale alla disponibilità di azoto dei tessuti stessi; pertanto, conoscendo la prima, è possibile sapere se c'è la necessità di intervenire con concimazioni azotate o meno. Lo strumento utilizzato per le misurazioni è lo "SPAD-502 Plus", che consente di trovare in modo rapido e semplice il contenuto di clorofilla delle foglie senza danneggiarle. Questo è possibile grazie alla misura dell'assorbanza fogliare in due diverse regioni di lunghezza d'onda. La clorofilla ha dei picchi di assorbimento nelle regioni di lunghezza d'onda del blu (400-500nm) e del rosso (600-700nm), mentre nelle regioni vicine non c'è assorbimento. Lo SPAD misura l'assorbimento della foglia nelle regioni del rosso (red) e dell'infrarosso vicino (near-infrared) e grazie a queste calcola automaticamente il contenuto di clorofilla totale del tessuto. In ognuno dei 18 punti di misura (2 x 3 x 3) è stato calcolato un valore medio, a partire da 5 misurazioni effettuate.



Figura 6: Strumento per la misurazione della clorofilla fogliare "SPAD-502 Plus" (foto propria)

#### 2.3.1.4 Umidità dei tessuti

Per conoscere la quantità d'acqua presente nei tessuti vegetali del frumento è stato raccolto un campione lineare di piante lungo 1 m per ogni punto di misura. Delle piante raccolte, per prima cosa, sono state divise foglie, fusti e spighe. Le singole parti sono state pesate umide e successivamente ne è stato ricavato anche il peso secco, a seguito di essiccazione in stufa a 80°C. Facendo la differenza tra il peso umido e quello secco è stato possibile calcolare l'umidità media dei tessuti vegetali del cereale durante le varie fasi di crescita dello stesso.



*Figura 7: Separazione di foglie, fusti e spighe di frumento per le relative misurazioni dell'umidità (foto propria)*

## **2.3.2 Le misurazioni quanti-qualitative della granella**

Il frumento è stato raccolto, in entrambi gli anni di sperimentazione, al raggiungimento della fase z.9 della scala Zadoks. La raccolta del frumento nel primo periodo di coltivazione è avvenuta il 27 giugno 2022, mentre quella dell'anno successivo il 29 giugno 2023. È stata calcolata la resa produttiva in entrambi i casi e la granella è stata sottoposta a vari test per valutarne le caratteristiche qualitative. Utilizzando la tecnologia NIR attraverso un misuratore ("FOOS infratec") dell'Università di Padova, sono stati analizzati i seguenti componenti:

### **2.3.2.1 Proteina totale**

La proteina totale (SS) è ottenuta a partire dal contenuto di azoto della granella e ha una notevole importanza a livello industriale.

### **2.3.2.1 Glutine umido**

È rappresentato da un complesso proteico in grado di conferire, agli impasti dei panificati, elasticità, viscosità e coesione.

### **2.3.2.1 Test di Zeleny**

È un metodo indiretto di determinazione del valore di panificazione. Nello specifico, misura la capacità di rigonfiamento delle proteine in una soluzione acquosa di acido lattico. Man mano che le particelle proteiche si gonfiano, la loro velocità di sedimentazione diminuisce: più lenta è la velocità, maggiore è la qualità delle particelle proteiche.

### **2.3.2.1 Peso specifico**

È un indice di pienezza della cariosside, si calcola dividendo il peso della granella per il suo volume. Tanto più alto è il peso specifico, e tanto maggiore sarà la qualità delle cariossidi in esame.

## 2.4 Andamento meteorologico del periodo di coltivazione

Nel periodo compreso tra la data di semina e di raccolta del frumento nel corso della prima annata, complessivamente sono scesi 258,2 mm di pioggia (28 ottobre 2021 - 27 giugno 2022); nel corso della seconda annata invece, durante la crescita del cereale sono scesi 547 mm di pioggia (3 novembre 2022 - 29 giugno 2023) (Fig. 8). I dati ottenuti sono stati raccolti da una stazione meteo ARPAV (Agenzia Regionale per la Protezione e la Prevenzione dell'Ambiente del Veneto) situata a 100m dalle prove.

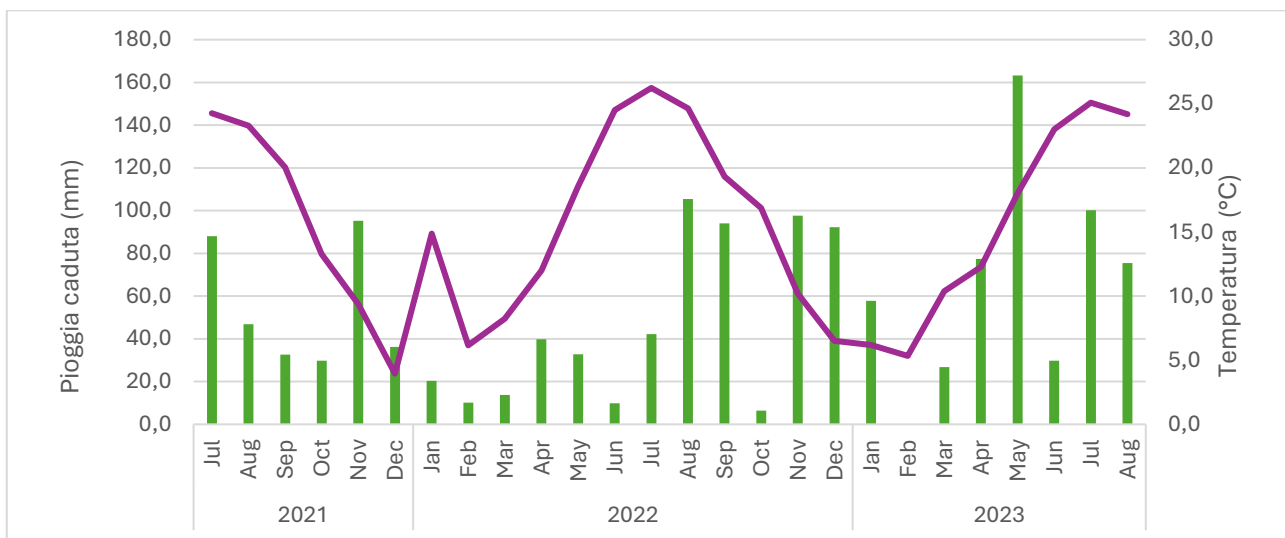


Figura 8: relazione tra andamento pluviometrico (verde) e andamento delle temperature medie (viola) nel periodo di sperimentazione (fonte: ARPAV)

## 2.5 Analisi statistiche

Gli effetti delle lavorazioni del terreno sulla crescita e sulla resa del frumento e la loro interazione sono stati analizzati usando la modellizzazione degli effetti misti. L'anno di campionamento e la lavorazione sono stati considerati come effetti fissi, la replica è stata considerata come effetto casuale mentre le ripetizioni all'interno di ciascun trattamento sono state considerate nidificate. Tutte le analisi statistiche sono state eseguite con R studio versione 3 e Infostat. Dopo aver eseguito le analisi principali, sono stati fatti dei confronti post hoc dei minimi quadrati, per cercare di capire se e dove risiedevano delle differenze significative tra specifiche coppie di gruppi. Per regolare i confronti multipli è stato impiegato il metodo Fisher, una tecnica di correzione statistica che consente di ridurre l'incidenza degli errori di tipo I (falsi positivi), e quindi garantire che le differenze segnalate siano effettivamente significative e non dovute al puro caso.

### 3. RISULTATI

#### 3.1 Misurazioni effettuate durante la crescita del frumento

##### 3.1.1 LAI

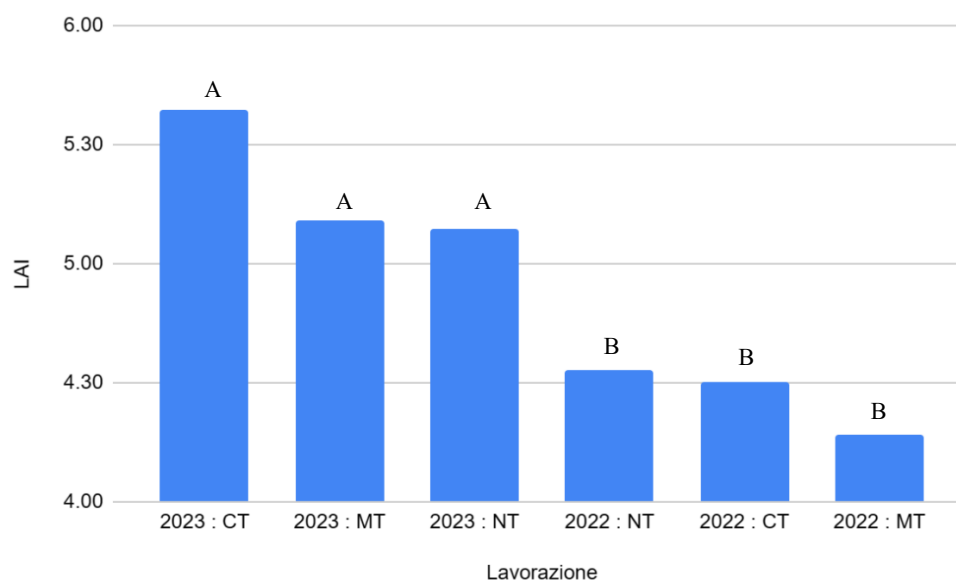


Figura 9: Valori medi di LAI in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

Dalle analisi statistiche effettuate ai dati raccolti, non è emersa nessuna differenza significativa tra i valori di LAI ottenuti in frumento coltivato con una lavorazione piuttosto che con un'altra. Tuttavia, in relazione all'andamento meteo particolarmente siccitoso della primavera 2022 (Fig. 8), è risultata statisticamente significativa la differenza tra le misurazioni effettuate nel 2022 e quelle del 2023 (Fig. 9); nella prima annata i valori medi di LAI misurato sono infatti minori (3,87) rispetto a quelli del secondo periodo (5,20).

Considerando l'andamento del LAI nei diversi prelievi (Fig. 10), si può notare come l'effetto dello stress idrico nel 2022 sia diventato evidente dal terzo prelievo, mantenendosi fino alla maturazione.



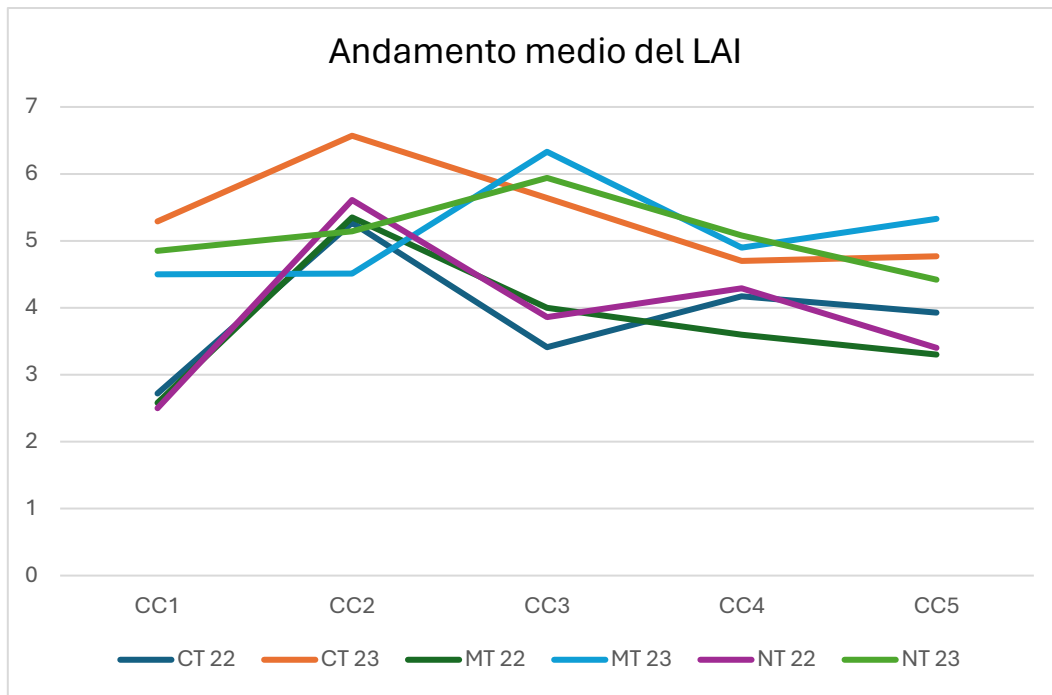


Figura 10: andamento medio del LAI nel corso dei diversi campionamenti effettuati (CC)

### 3.1.2 NDVI

I valori di NDVI raccolti nei vari campionamenti con l'utilizzo del CROP CIRCLE sono stati analizzati tramite ANOVA. Come è possibile intuire dalla Figura 11, non sono state rilevate significative differenze tra le lavorazioni effettuate nello stesso anno mentre, come per gli altri parametri di crescita, si è rilevata una notevole differenza tra i due anni, in relazione al differente andamento meteo-climatico. Differenza significativa è stata rilevata tra i valori medi di NDVI raccolti nel 2022 (0,56) e quelli raccolti nel 2023 (0,70). La Figura 12 rappresenta l'andamento dell'NDVI nei due anni di sperimentazione, in riferimento ai 5 momenti di campionamento di ogni annata. La tendenza dell'indice in entrambe le annate è quella di diminuire con l'avvicinamento al periodo della raccolta; nel 2022 la diminuzione si manifesta più repentina rispetto a quella dell'anno successivo.

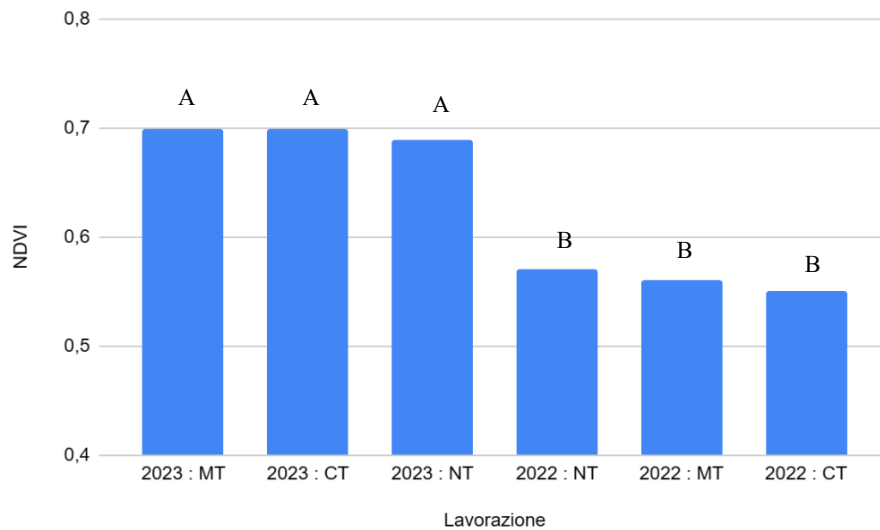


Figura 11: Valori medi di NDVI in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

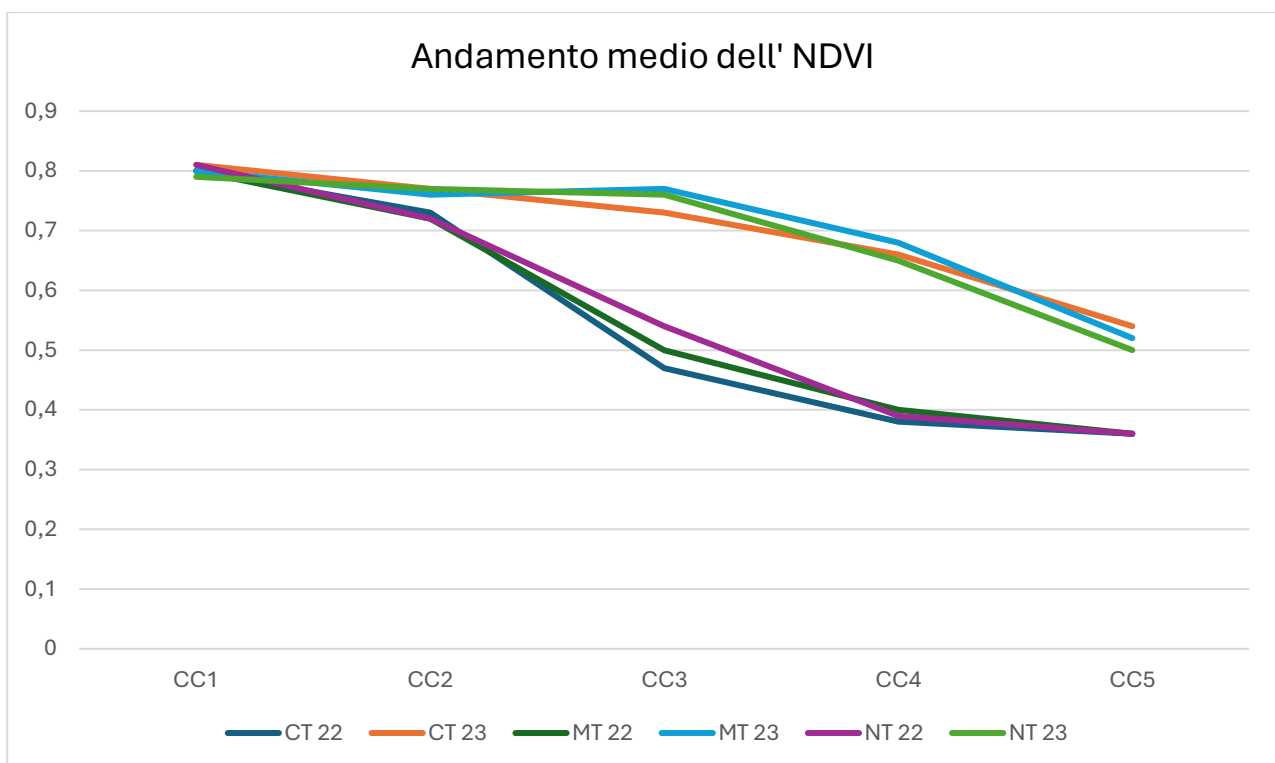


Figura 12: andamento medio dell'NDVI nel corso dei diversi campionamenti effettuati (CC)

### 3.1.3 Clorofilla

Il contenuto di clorofilla dei tessuti vegetali campionati con l'utilizzo dello SPAD è risultato simile in tutti i rilievi effettuati nel corso della stessa annata. Non c'è differenza significativa tra gli effetti che le varie lavorazioni hanno sul contenuto di clorofilla. Come nel caso di NDVI e LAI, anche per la clorofilla è emersa una differenza statisticamente significativa tra i dati medi raccolti nel 2022 (29,92) e quelli del 2023 (42,95) (Fig. 13). L'incremento medio di clorofilla nel secondo anno di coltivazione, rispetto al primo, è stato pari a 43,46%. La Figura 14 rappresenta l'andamento del contenuto di clorofilla durante i 5 campionamenti che sono stati fatti in ciascuno dei due anni di sperimentazione: è evidente come nelle 2 annate l'andamento sia pressoché lo stesso fino al secondo campionamento, dopo il quale vi è un drastico calo dei valori riferiti al 2022.

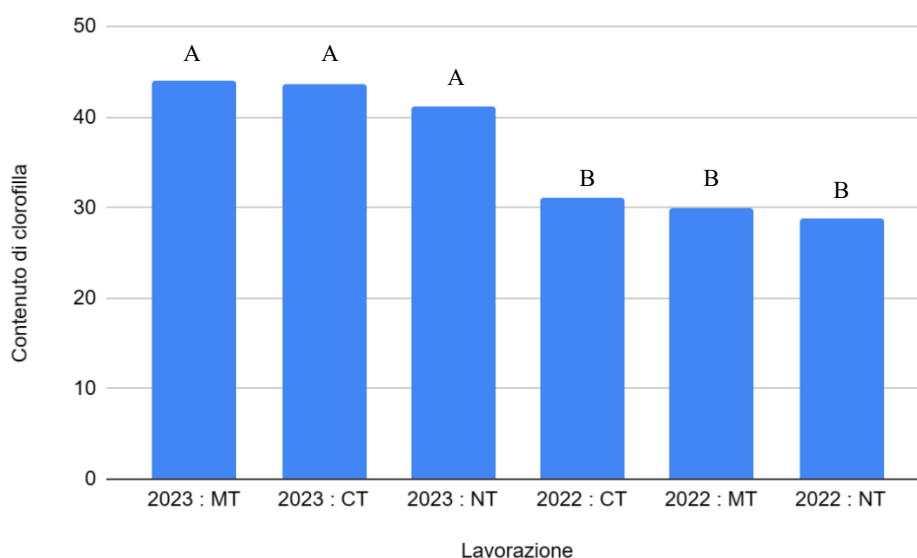


Figura 13: Valori medi del contenuto di clorofilla in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

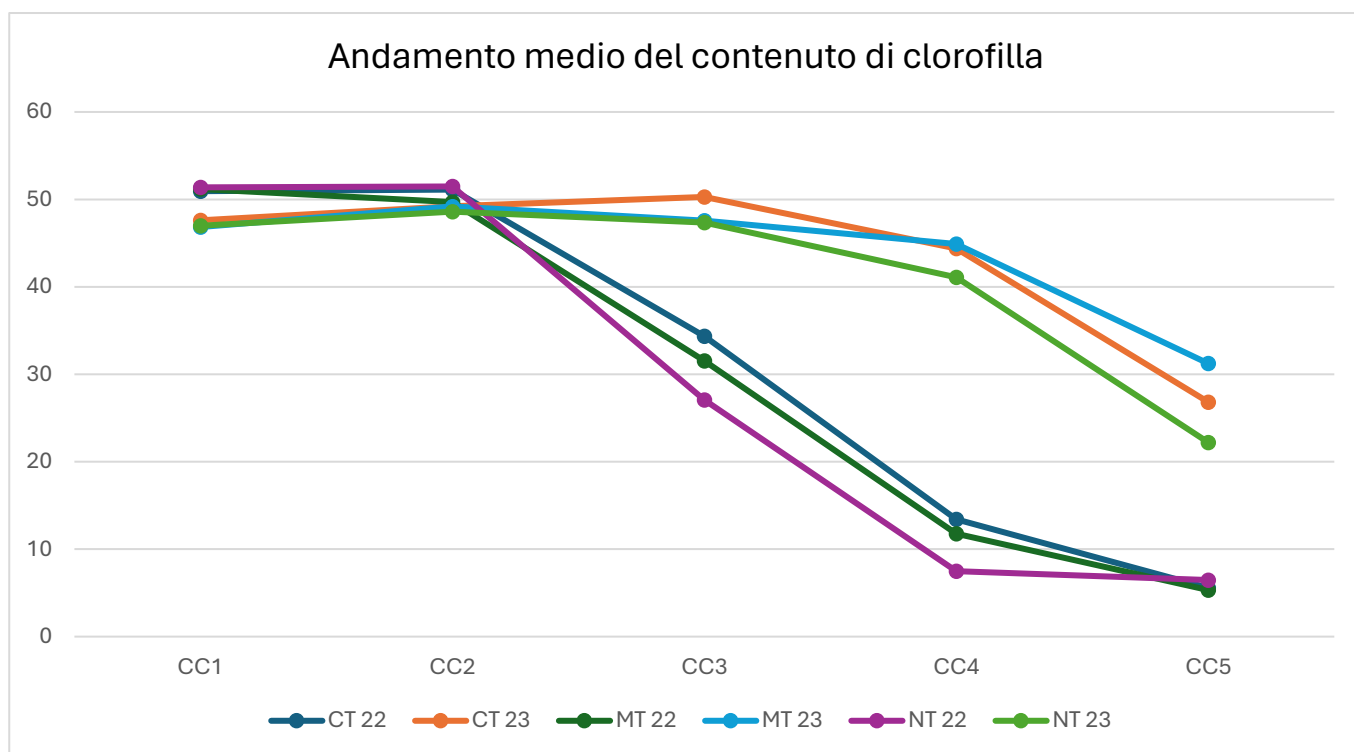


Figura 14: andamento medio del contenuto di clorofilla nel corso dei diversi campionamenti effettuati (CC)

### 3.1.4 Umidità dei tessuti %

Dalle analisi statistiche effettuate sui valori medi di umidità di fusti, foglie e spighe dei campioni di frumento raccolti, non sono emerse differenze significative tra i trattamenti con diverse lavorazioni nel corso del 2023. Tuttavia, nel grafico che rappresenta l'umidità delle spighe (Fig. 15), è rappresentata nel 2022 una differenza significativa tra le lavorazioni, in particolare tra il NT e il CT. Il valore medio di umidità delle spighe nel 2022 è stato più alto nelle unità sperimentali non lavorate (42,89%), rispetto a quelle coltivate in maniera convenzionale (38,67%), indice di una maggiore disponibilità idrica a fine ciclo. È evidente, e confermato dai test statistici impiegati, che c'è stata una differenza significativa tra l'umidità dei vari tessuti misurata nel 2022 e quella del 2023 (Fig. 16 e 17). Quest'ultima è molto più alta, probabilmente grazie alle abbondanti piogge cadute nella primavera dello stesso anno.

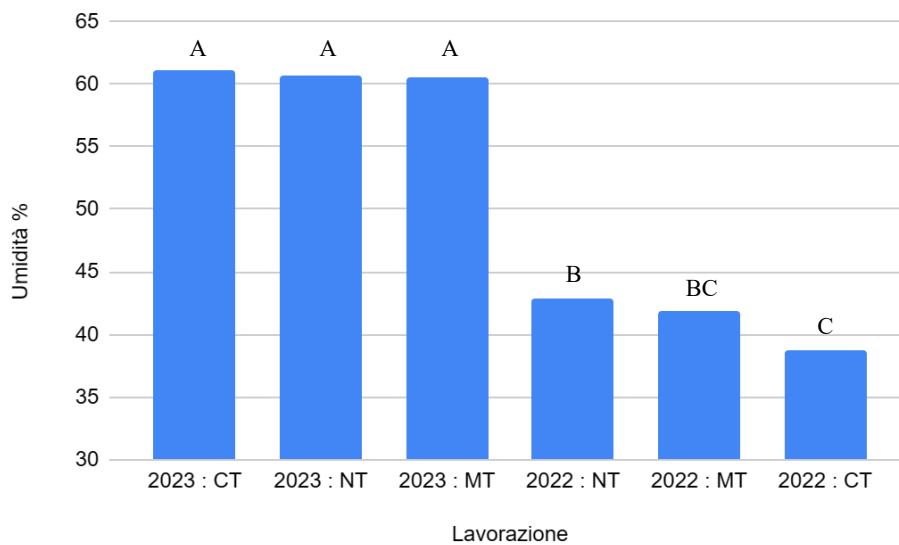


Figura 15: Valori medi % del contenuto di acqua delle spighe in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

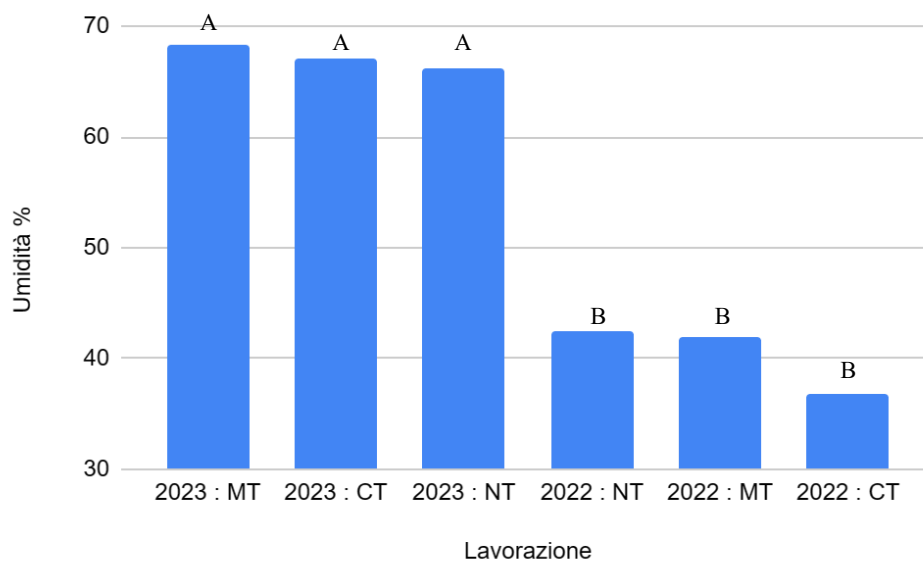


Figura 16: Valori medi % del contenuto di acqua delle foglie in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

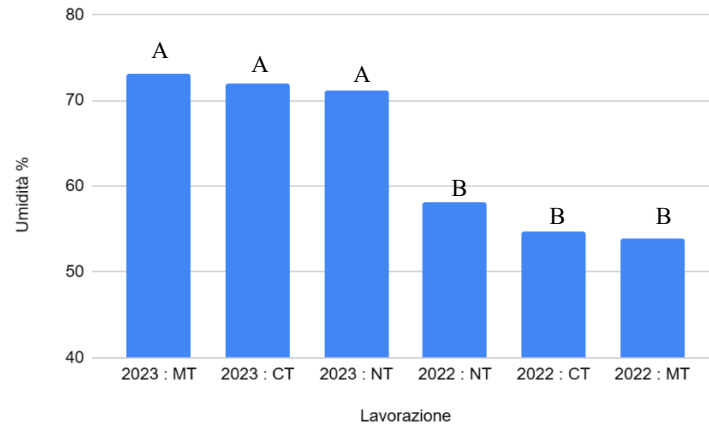


Figura 17: Valori medi % del contenuto di acqua dei fusti in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

### 3.1.5 Azoto totale % (determinato con metodo Kjeldahl)

Nel 2022, non sono emerse differenze statisticamente significative tra le medie di azoto Kjeldahl dei trattamenti lavorati con metodi differenti. Nel 2023 invece, è emersa una differenza significativa tra l'azoto del frumento in MT e quello del frumento in NT (Fig. 18). In particolare, il primo (1,84%) è risultato più alto del secondo (1,75%) del 5,14%. Differenza significativa è stata rilevata anche tra i dati medi raccolti nel 2022 (più bassi) e quelli del 2023.

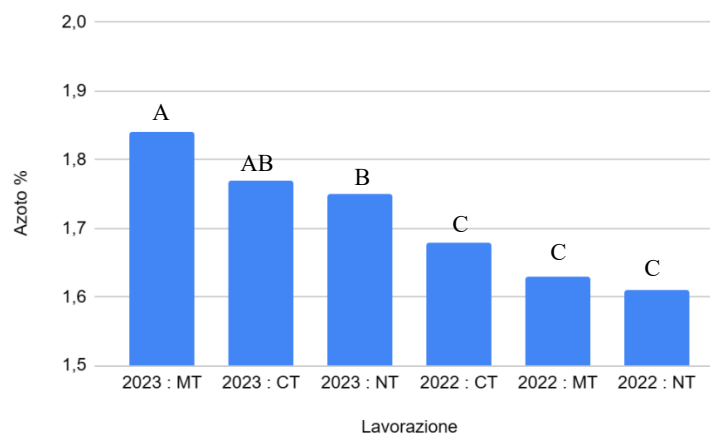


Figura 18: Valori medi % del contenuto di azoto delle piante in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

### 3.1.6 Proteine (%)

Il contenuto di proteine dei tessuti vegetali durante la crescita del frumento è direttamente correlato con il contenuto di azoto dei tessuti stessi, in quanto l'elemento riveste un ruolo cruciale nella formazione delle molecole proteiche. Pertanto, le differenze significative riscontrate tra le medie delle proteine contenute nei tessuti, sono le stesse riscontrate nel caso dell'azoto. Il contenuto di proteine dei campioni delle due annate è significativamente differente. Nel 2022 non sono state rilevate differenze significative tra i frumenti coltivati con le diverse lavorazioni, mentre nel 2023 c'è stata una differenza significativa tra il contenuto di proteine medio dei campioni MT e NT (Fig. 19). In minima lavorazione, nel 2023, il valore medio di proteine è stato pari a 11,48%, mentre in no tillage si è misurato un valore medio pari a 10,93%. La differenza è stata quindi del 5,03%.

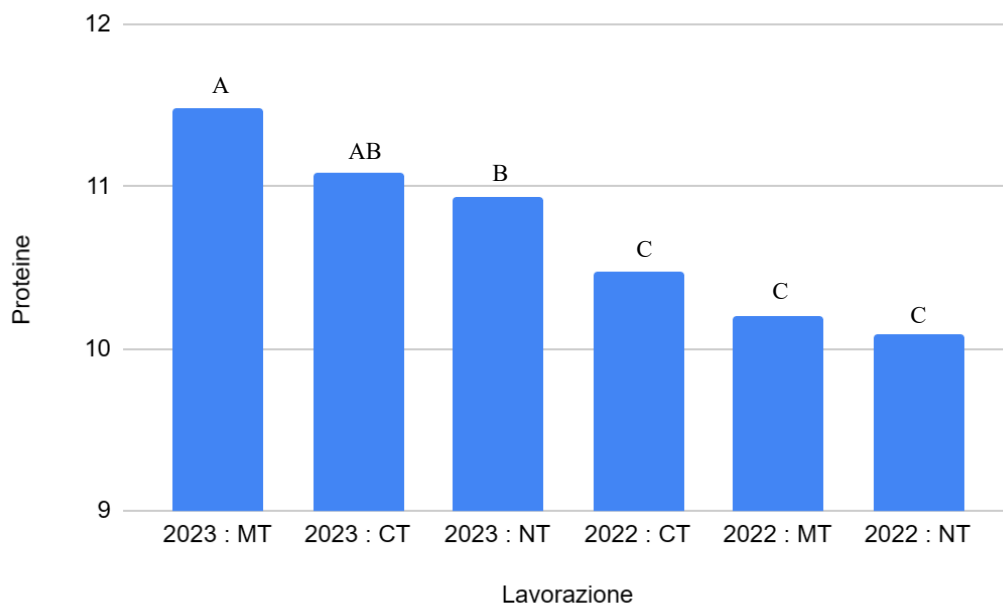


Figura 19: Valori medi % del contenuto di proteine delle piante in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

## 3.2 Analisi qualitative della granella

### 3.2.1 Resa (t/ha)

Nel 2023, la resa media totale, è stata pari a 7,56 t/ha, mentre nel 2022 era di 6,20 t/ha. Complessivamente quindi, nel 2023 la resa è stata significativamente (21,94%) più alta che nel 2022 (Fig. 20). Tra le tre lavorazioni effettuate nel corso della stessa annata, invece, non sono state rilevate differenze significative delle rispettive rese produttive.

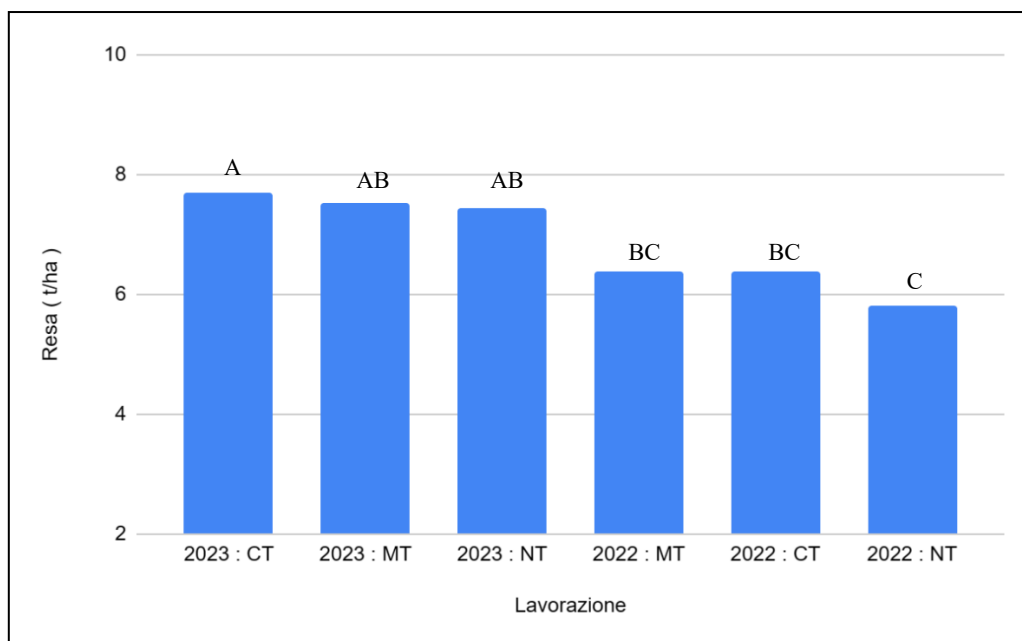


Figura 20: Valori medi di resa (Tn/ha) delle piante in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

### 3.2.2 Glutine umido (14%)

Dalle analisi statistiche effettuate sul contenuto di glutine della granella, non sono emerse differenze significative tra i trattamenti con le diverse lavorazioni del terreno nella stessa annata. È stato differente in maniera significativa il contenuto di glutine medio nelle 2 annate (34,36 nel 2022 e 28,22 nel 2023) (Fig. 21). Facendo la media tra i valori delle due annate, il NT ha superato il MT e il CT per il contenuto di glutine, ma comunque la differenza non è stata significativa.



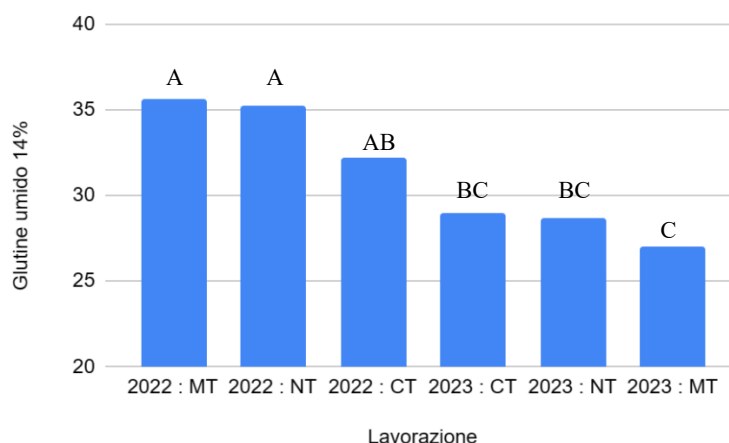


Figura 21: Valori medi del contenuto in glutine umido 14% della granella di frumento in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

### 3.2.3 Indice di panificazione (Zeleny Test)

I valori medi dell'indice di panificazione, ottenuti con il test Zeleny, sono stati significativamente diversi nel corso delle due annate di sperimentazione. Nello specifico, la bontà della panificazione media del 2023 (24,86) è risultata più elevata rispetto a quella del 2022 (22,18) (Fig. 22). Nel 2022, non ci sono state differenze significative tra i valori ottenuti nelle unità sperimentali condotte con i vari tipi di lavorazioni. Nel 2023, invece, la media dei dati ottenuti in MT è stata più elevata, e significativamente differente, rispetto a quella osservata in NT. In particolare, MT ha registrato un valore medio pari a 26,73, mentre NT 23,28. Anche tra MT e CT (24,57) nello stesso anno la differenza è stata significativa.

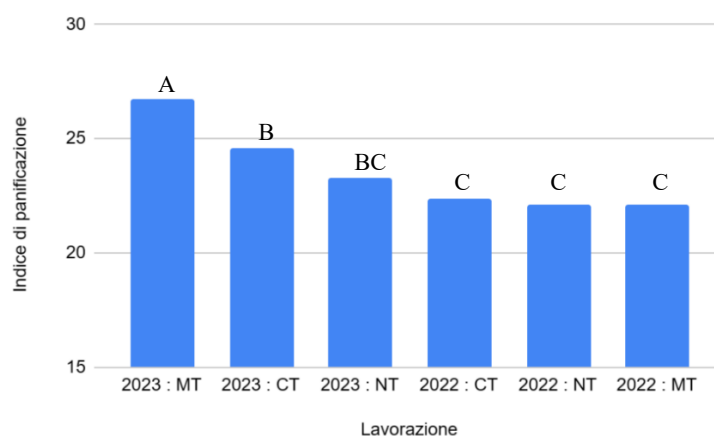


Figura 22: Valori medi dell'indice di qualità del glutine della granella di frumento in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

### 3.2.4 Peso specifico

Nel 2023, il frumento ha registrato un peso specifico medio superiore rispetto all'anno precedente (Fig. 23). Tra le 2 annate, la differenza statistica è stata significativa. Non sono state rilevate invece delle differenze significative tra i pesi specifici della granella ottenuta con lavorazioni del terreno differenti.

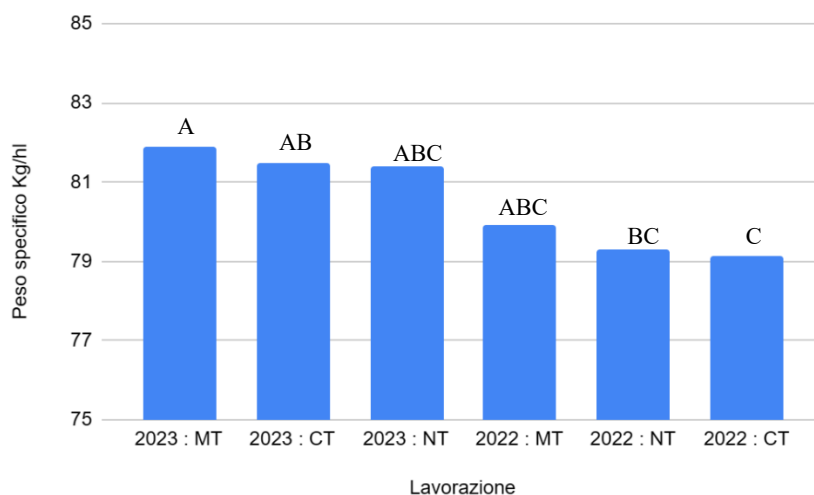


Figura 23: Valori medi del peso specifico (Kg/hl) della granella di frumento in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

### 3.2.5 Azoto totale %

L'azoto totale contenuto nella granella, misurato con il metodo Kjeldahl, è stato differente in maniera significativa tra le due annate. Nel 2022 il contenuto medio di azoto nel frumento è stato pari all'1,91%, mentre nel secondo anno di coltivazione (2023) era del 2,13% (Fig. 24). Sia nel primo che nel secondo anno, non sono state rilevate differenze significative tra le granelle ottenute nelle unità sperimentali lavorate in maniera diversificata.

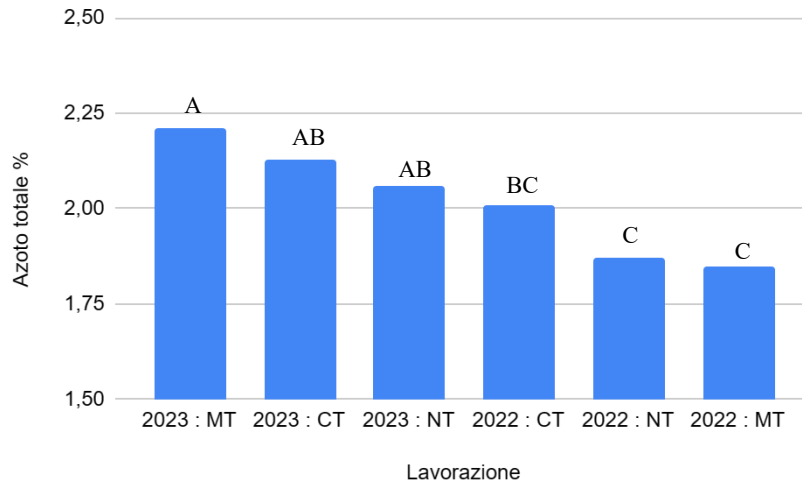


Figura 24: Valori medi % del contenuto di azoto della granella di frumento in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

### 3.2.6 Proteina (N\*6,25) %

La proteina contenuta nelle cariossidi di frumento è direttamente correlata con la quantità di azoto presente nelle stesse. Pertanto, anche per la proteina, l'analisi statistica ha dimostrato l'esistenza di una differenza significativa tra la media del contenuto proteico del 2022 e quella del 2023 (Fig. 25). Nel secondo anno di coltivazione, la proteina era maggiore (13,32%, a fronte di un 11,94% del primo anno). I vari tipi di lavorazione non hanno influenzato in modo significativo la proteina del cereale, in nessuno dei due anni di sperimentazione.

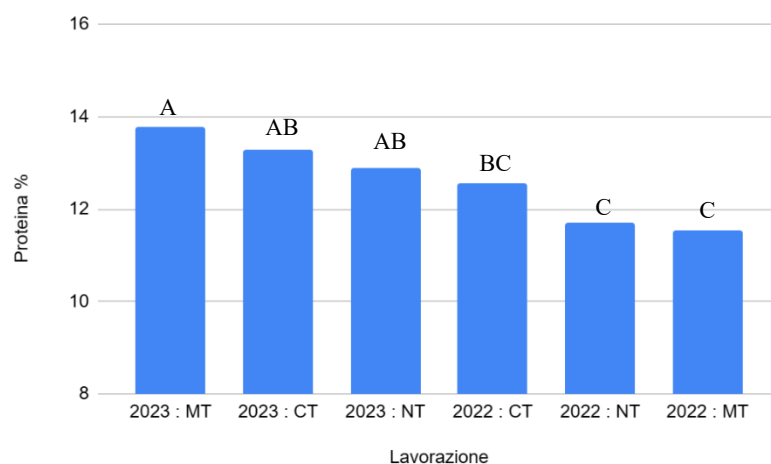


Figura 25: Valori medi % del contenuto di proteine della granella di frumento in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

### 3.2.7 Contenuto di ceneri

Il contenuto di ceneri della granella di frumento non ha ricevuto alcuna influenza dal tipo di lavorazione effettuata al terreno (Fig. 26). Al contrario, è evidente guardando il grafico la presenza di una differenza significativa tra il contenuto medio di ceneri della granella del 2022 (1,63%) e quello del 2023 (2,01%).

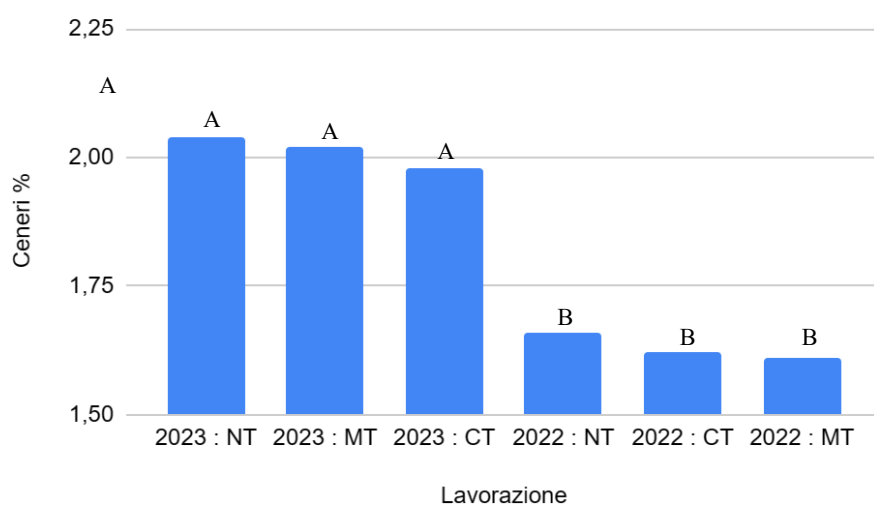


Figura 26: Valori medi % del contenuto di ceneri della granella di frumento in riferimento alle lavorazioni effettuate nelle due annate; valori con lettere diverse si intendono statisticamente diversi

## 4. DISCUSSIONE

I risultati emersi nell'arco dei due anni di sperimentazione indicano che, per la maggior parte dei parametri analizzati durante la fase di crescita e successiva raccolta del frumento, non sono state rilevate differenze statisticamente significative tra i diversi metodi di lavorazione del suolo. Tuttavia, emerge un quadro contrastante quando si confrontano i dati delle due annate di studio, con differenze significative riscontrate in quasi tutti i casi. Tale disparità deve essere attribuita soprattutto alle condizioni meteorologiche prevalenti durante il periodo di sperimentazione. Nel corso del 2022, si sono registrati un inverno e una primavera caratterizzati da scarse precipitazioni, con medie mensili che non hanno mai superato i 50 mm di pioggia. Al contrario, nel 2023, le precipitazioni primaverili sono state notevolmente più abbondanti, raggiungendo picchi di quasi 200 mm al mese. La disparità nella disponibilità di acqua per le piante di frumento ha avuto un impatto favorevole sul loro benessere e rendimento nel secondo anno. Nel corso del 2023, infatti, si è registrato un incremento significativo in quasi tutti gli indicatori analizzati, tra cui LAI, NDVI, contenuto di clorofilla, umidità dei tessuti, contenuto di azoto e proteine, indice di panificazione, peso specifico dei chicchi e contenuto di azoto, proteine e ceneri della granella. È importante notare che l'unico parametro che ha mostrato valori più elevati nel 2022 è stato il glutine umido (Fig. 21). Riassumendo i risultati ottenuti nei due anni di prove, si evidenziano alcuni punti rilevanti. In primo luogo, il valore medio dell'Indice di Area Fogliare (LAI) misurato nel 2023 nella coltivazione tradizionale, sebbene non statisticamente diverso dagli altri valori, è risultato superiore rispetto a quello rilevato nella coltivazione a minima lavorazione (Figura 9). Questo risultato sembra confermare quanto già osservato da altri autori, come ad esempio Buczek et al. (2021). Un ulteriore aspetto interessante riguarda l'umidità delle spighe durante la crescita del frumento nel 2022 (Figura 15). In quell'anno, l'umidità è stata più elevata nelle unità sperimentali non lavorate (42,89%) rispetto a quelle coltivate in maniera convenzionale (38,67%). Si ipotizza che la maggiore ritenzione idrica nel terreno conservativo possa aver influito positivamente rispetto a quella del terreno arato tradizionalmente, contribuendo a mantenere un livello più elevato di umidità nelle spighe durante le varie fasi di crescita della pianta nonostante l'andamento pluviometrico sfavorevole. Un aspetto degno di particolare attenzione e meritevole di approfondimento riguarda le quantità di azoto e proteine presenti nei tessuti vegetali durante le fasi di sviluppo del frumento nel 2023 (Figure 18 e 19). Per entrambe le componenti, si sono osservati risultati più elevati e statisticamente significativi nelle aree sottoposte a lavorazione minima (1,84% di azoto e 11,48% di proteine) rispetto a quelle senza lavorazione (1,75% di azoto e 10,93% di proteine), mentre i valori nelle aree con lavorazione convenzionale risultavano intermedi. Ciò

potrebbe essere posto in relazione ad un maggior sviluppo di infestanti nel non lavorato e, quindi ad una parziale sottrazione dell'N disponibile per l'assorbimento da parte della coltura. La valutazione del rendimento produttivo della coltura riveste un ruolo di rilievo in esperimenti di questo tipo, poiché può influire significativamente sulla percezione degli agricoltori riguardo all'adozione di pratiche agricole conservative. Nel 2023, la resa media è stata di 7,56 t/ha, rispetto alle 6,20 t/ha registrate nel 2022. La differenza tra le produzioni è attribuibile alla quantità di pioggia caduta nelle due annate. Nonostante l'assenza di benefici produttivi nelle unità sperimentali conservative (Figura 20), l'interessante constatazione è che l'utilizzo dell'aratura non ha portato a significativi incrementi di resa, offrendo una prospettiva incoraggiante. Contrariamente, Furlan *et al.* (2021) hanno rilevato una riduzione media del 19,6% nella resa del frumento derivante dall'impiego di tecniche conservative in un periodo di 8 anni in Veneto. La letteratura scientifica presenta risultati divergenti, evidenziando contesti in cui NT e MT conducono a rese superiori, come indicato da Omara *et al.* (2019), e situazioni in CT offre vantaggi in termini produttivi, come riportato da Buczek *et al.* (2021). Uno studio condotto da De Vita *et al.* (2007), basato su sperimentazioni pluriennali effettuate in Abruzzo e Puglia, ha sottolineato il ruolo determinante delle precipitazioni nella produzione differenziata in base alle pratiche di lavorazione del terreno. In presenza di piogge abbondanti, la lavorazione convenzionale tende a generare maggiori rendimenti, mentre in assenza prolungata di precipitazioni, il terreno non lavorato e seminato su sodo risulta più produttivo. Amato *et al.* (2013), attraverso esperimenti condotti nella provincia di Agrigento, confermano questo fenomeno, ottenendo significativi vantaggi dall'utilizzo del non-lavorato (NT) solo in annate siccitose. Rinaldi e Troccoli (2015), inoltre, riportano che a Potenza, in Basilicata, nel biennio 2012-2013 è stato riscontrato un comportamento produttivo simile nel frumento, con rese superiori del 34% nel terreno lavorato convenzionalmente (CT) rispetto al non-lavorato (NT) in condizioni di piovosità normale, mentre in condizioni di siccità il NT ha superato il CT del 42%. L'analisi delle fonti bibliografiche in relazione all'esperimento attuale sottolinea la necessità di proseguire con ulteriori studi e confronti nel corso degli anni a venire. Il focus conclusivo è orientato sull'Indice di sedimentazione (Zeleny test), un parametro rivelatore della qualità del glutine, che è stato influenzato dalla lavorazione del terreno nel corso del 2023, come illustrato nella Figura 24. Le unità sperimentali sottoposte a lavorazione minima hanno manifestato risultati superiori (26,73), seguite da quelle con lavorazione convenzionale (24,57) e da quelle senza lavorazione (23,28). I risultati sono in linea con quanto già visto per il contenuto proteico totale, anche in questo caso, si ipotizza un effetto sfavorevole dell'infestazione nel sodo sull'assorbimento di N della coltura. In contrasto, altri studiosi, tra cui Buczek *et al.* (2021), hanno investigato lo stesso fenomeno, ottenendo dati divergenti, con il valore più elevato riscontrato nella CT (46,1), seguita da MT (38,8) e NT (34,8). La significatività del comportamento osservato rimane ambigua. Pertanto,

ulteriori ricerche simili saranno essenziali in futuro per approfondire la comprensione di questa dinamica.

## **5. CONCLUSIONI**

Il presente lavoro di tesi ha esplorato in maniera dettagliata le differenze dovute all'impiego di vari tipi di lavorazione sulla crescita del frumento e sulla qualità della granella successivamente alla raccolta. Le due annate di sperimentazione (2022 e 2023) hanno avuto un andamento meteorologico molto differente l'una dall'altra, andamento che ha fortemente influenzato tutti i parametri analizzati. In generale, non emergono sostanziali divergenze tra gli effetti delle diverse lavorazioni, ma piuttosto piccole differenze che necessitano di approfondimenti ulteriori. In particolare, durante la crescita delle piante di frumento, si sono notate variazioni della quantità di azoto e proteine dei tessuti vegetali e dell'umidità delle spighe. Dall'analisi del cereale dopo la raccolta invece, sono emerse differenze significative in relazione all'indice di panificazione. Le rese ottenute con l'impiego di tecniche di lavorazione conservative non sono state significativamente diverse rispetto a quelle ottenute ricorrendo all'operazione di aratura. In un contesto più ampio, sia italiano che globale, la ricerca di altri studiosi ha evidenziato una stretta relazione tra le condizioni climatiche e i vantaggi derivanti dall'adozione di pratiche agricole conservative. Questi benefici risultano particolarmente accentuati in situazioni di scarsità di precipitazioni e in periodi caratterizzati da condizioni di siccità pronunciate. In conclusione, è possibile affermare che, nonostante il breve periodo di conversione del terreno, circoscritto a sei anni, già iniziano ad evidenziarsi alcuni effetti favorevoli sulle condizioni del terreno in agricoltura conservativa. Anche se i risultati dovranno essere valutati su un arco temporale più lungo, per i cereali autunno-vernini le tecniche conservative appaiono validamente applicabili nell'areale Veneto.

## BIBLIOGRAFIA

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto. Dati storici Meteo-Idro ultimi anni. <https://www.arpa.veneto.it/>

Alletto L., Benoit P., Bergheaud V., e Coquet Y. 2012. Variability of retention process of isoxaflutole and its diketonitrile metabolite in soil under conventional and conservation tillage. *Pest Management Science*, 68(4), 610–17.

Álvaro-Fuentes J., Cantero-Martínez C., López M.V. e Arrúe J.L. 2007. Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 96(1), 331–41.

Amato G., Ruisi P., Frenda A.S., Di Miceli G., Saia S., Plaia A. e Giambalvo, D. 2013. Long-term tillage and crop sequence effects on wheat grain yield and quality. *Agronomy journal*, 105(5), 1317–27.

Ashford D.L. e Reeves D.W. 2003. Use of a mechanical roller-crimper as an alternative kill method for cover crops. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18(1), 37–45.

Baig M.N. e Gamache P.M. 2009. The economic, agronomic and environmental impact of no-till on the Canadian prairies. Alberta Agriculture and Rural Development. Alberta Environment Climate Change Action Fund.

Ball D.G.C. e Christian B.C. 1994. Reduced cultivation and direct drilling for cereals in great britain. In conservation tillage in temperate agroecosystems. CRC Press.

Bisset A., Brown M.V., Siciliano S.D. e Thrall P.H. 2013. Microbial community responses to anthropogenically induced environmental change: towards a systems approach. *Ecology Letters*, 16. 128-139.

Buczek J., Migut D. e Jańczak-Pieniżek M. 2021. Effect of soil tillage practice on photosynthesis, grain yield and quality of hybrid winter wheat. *Agriculture*, 11(6), 479.

Busari M.A., Kukul S.S., Kaur A., Bhatt R. e Dulazi A.A. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 119–29.

Capowiez Y., Cadoux S., Bouchant P., Ruy S., Roger-Estrade J., Richard G. e Boizard H. 2009. The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 105(2), 209–16.



- Carbonell-Bojollo R., González-Sánchez E. J., Veróz-González O. e Ordóñez-Fernández R. 2011. Soil management systems and short term CO<sub>2</sub> emissions in a clayey soil in southern Spain. *Science of The Total Environment*, 409(15), 2929–35.
- Ceja-Navarro J.A., Rivera-Orduña F.N., Patiño-Zúñiga L., Vila-Sanjurjo A., Crossa J., Govaerts B. e Dendooven L. 2010. Phylogenetic and multivariate analyses to determine the effects of different tillage and residue management practices on soil bacterial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(11), 3685–91.
- Claupein W.E. e Ehlers W. 1994. Approaches toward conservation tillage in germany. In *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. CRC Press.
- Dabney S.M., Delgado J.A. e Reeves D.W. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7–8), 1221–1250.
- Dal Ferro N., Sartori L., Simonetti G., Berti A. e Morari F. 2014. Soil macro and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. *Soil and Tillage Research*, 140, 55–65.
- De Vita P., Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N. e Pisante M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*, 92(1), 69–78.
- Derpsch R. e Friedrich T. 2010. Development and current status of no-till adoption in the world. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3, (1).
- Derpsch R., Franzluebbbers A.J., Duiker S.W., Reicosky D.C., Koeller K., Friedrich T., ... Weiss K. 2014. Why do we need to standardize no-tillage research? *Soil and Tillage Research*, 137, 16–22.
- Di Cristofaro E. 2020. Focus sulle emissioni da agricoltura e allevamento. ISPRA - Istituto superiore di protezione e ricerca ambientale. <https://www.isprambiente.gov.it/it>
- Dolan M.S., Clapp C.E., Allmaras R.R., Baker J.M. e Molina J.A.E. 2006. Soil organic carbon and nitrogen in a Minnesota soil as related to tillage, residue and nitrogen management. *Soil and Tillage Research*, 89(2), 221–31.
- FAO, 2011. What is Conservation Agriculture? <http://www.fao.org/ag/ca/1a.html>
- FAO, 2015. Conservation Agriculture adoption worldwide. <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html>

- Furlan L., Spolon S., Chiarini F., Barbieri S., Morari F., Piccoli I., Camarotto C., Lazzaro B., Martini I., Sartori L., Loddo D. 2021. Agricoltura conservativa, vantaggi agronomici e criticità. Analisi dei risultati ottenuti dopo 8 anni di sperimentazione in Veneto. *L'informatore agrario*, (19).
- Galièni A., Stagnari F., Speca S., D'Egidio S., Pagnani G. e Pisante M. 2017. Management of crop residues to improve quality traits of tomato (*solanum lycopersicum* l.) Fruits. *Italian Journal of Agronomy*, 12(1), 759.
- Govers G., Merckx R., Van Wesemael B. e Van Oost K. 2017. Soil conservation in the 21st century: why we need smart agricultural intensification. *SOIL*, 3(1), 45–59.
- Govers G., Van Oost K. e Wang Z. 2014. Scratching the critical zone: the global footprint of agricultural soil erosion. *Procedia Earth and Planetary Science, Geochemistry of the Earth's surface GES-10 Paris France, 18-23 August, 2014.*, 10, 313–18.
- Have we reached the turning point? Looking for evidence of SOC increase under conservation agriculture and cover crop practices - Camarotto - 2020 - *European Journal of Soil Science* - Wiley Online Library. (Consultato 12 gennaio 2024).
- Huang G.B., Chai Q., Feng F.X. e Yu A.Z. 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*triticum aestivum* l.) In arid northwest china. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(8), 1286–96.
- Kassam A., Friedrich T. e Derpsch R. 2019. Global Spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, 76(1), 29–51.
- Kassam A. 2020. *Advances in Conservation Agriculture. Vol. 2: Practice and Benefits.*
- Lal R. 2002. Carbon sequestration in dryland ecosystems of west Asia and north Africa. *Land Degradation & Development*, 13(1), 45–59.
- Lal R. 2004. Carbon sequestration in dryland ecosystems. *Environmental Management*, 33(4), 528–44.
- Lal R. 2015. Cover cropping and the “4 per thousand” proposal. *Journal of Soil and Water Conservation*, 70(6), 141A-141A.
- Lindwall W. e Sonntag B. 2010. *Landscapes transformed: the history of conservation tillage and direct seeding; the knowledge impact in society.* University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Lipiec J., Kuś J., Słowińska-Jurkiewicz A. e Nosalewicz A. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil and Tillage Research*, 89(2), 210–20.

- Lovarelli D. (2021). Macchine per la minima lavorazione del terreno. <https://www.mondomacchina.it/it/macchine-per-la-minima-lavorazione-del-terreno-c2961>
- Mengel D.B., Moncrief J.R. e Schulte E.E. 1992. Fertilizer management. Conservation tillage systems and management. Midwest Plan Serv. Pub. MWPS-45. Iowa State University, Ames, IA, pp. 83–7.
- Morrison Jr. (2002). Strip tillage for “no–till” row crop production. *Applied Engineering in Agriculture*.
- Munkholm L.J., Hansen E.M. e Olesen J.E. 2008. The effect of tillage intensity on soil structure and winter wheat root/shoot growth. *Soil Use and Management*, 24(4), 392–400.
- Mutema M., Nyagumbo I., Mafongoya P. e Chikukura L. 2013. Effects of crop residues and reduced tillage on macrofauna abundance.
- Omonode R.A., Smith D.R., Gàl A. e Vyn T. 2011. Soil nitrous oxide emissions in corn following three decades of tillage and rotation treatments. *Soil Science Society of America Journal*, 75 (1), 152-163.
- Omara P., Aula L., Eickhoff E.M., Dhillon J.S., Lynch T., Wehmeyer G.B. e Raun W. 2019. Influence of no-tillage on soil organic carbon, total soil nitrogen, and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) grain yield. *International Journal of Agronomy*, 2019.
- Palm C., Blanco-Canqui H., DeClerck F., Gatere L. e Grace P. 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187, 87–105.
- Piccoli I., Chiarini F., Carletti P., Furlan L., Lazzaro B., Nardi S., ... Morari F. 2016. Disentangling the effects of conservation agriculture practices on the vertical distribution of soil organic carbon. Evidence of poor carbon sequestration in North- Eastern Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 68–78.
- Pisante M. e Stagnari F. 2018. *Agricoltura blu. La via italiana dell’Agricoltura Conservativa*. Edagricole - Edizioni Agricole di New Business Media Srl.
- Pittelkow C.M., Liang X., Linquist B.A., van Groenigen K.J., Lee J., Lundy M.E., ... Kessel C.V. 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534), 365–68.
- Rinaldi M. e Troccoli A. *L’agricoltura conservativa. Programma di sviluppo rurale della regione Basilicata 2007-2013*. <https://www.crea.gov.it/>

Sartori F., 2021, Impact of soil covering and tillage on soil physical-chemical quality. Relatore: Bonghi C. Dipartimento di Agronomia, Alimenti, Risorse Naturali, Animali e Ambiente. Università degli Studi di Padova.

Schipanski M.E., Barbercheck M., Douglas M.R., Finney D.M., Haider K., Kaye J.P., ... Kemanian A.R. 2014. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 125, 12–22.

Sithole N.J., Magwaza L.S. e Mafongoya P.L. 2016. Conservation agriculture and its impact on soil quality and maize yield: A South African perspective. *Soil and Tillage Research*, 162, 55–67.

So H.B., Grabski A. e Desborough P. 2009. The impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on the physical properties and crop yields of a loam soil at Grafton NSW, Australia. *Soil and Tillage Research*, 104(1), 180–84.

Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F. e Roger-Estrade J. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 118, 66–87.

Stagnari F., Maggio A., Galieni A. e Pisante M. 2017. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1), 2.

Stagnari M., Pisante M., Galieni A., Basch G. e Friedrich T. 2020. Soil management practices and benefits in Conservation Agriculture systems. In *Advances in Conservation Agriculture*. Burleigh Dodds Science Publishing.

Thorup-Kristensen K., Dresbøll D.B. e Kristensen H.L. 2012. Crop yield, root growth, and nutrient dynamics in a conventional and three organic cropping systems with different levels of external inputs and N re-cycling through fertility building crops. *European Journal of Agronomy*, 37(1), 66–82.

West T.O. e Post W.M. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6), 1930–46.