



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE AGRARIE E DEL TERRITORIO

**EFFETTO DI DIVERSE GESTIONI  
AGRONOMICHE DEL FRUMENTO DURO:  
ZERO STRESS VS BUSINESS AS USUAL**

**EFFECT OF DIFFERENT AGRONOMICAL MANAGEMENT OF  
DURUM WHEAT: ZERO STRESS VS BUSINESS AS USUAL**

**TIPO TESI: Sperimentale**

**Studente:  
Riccardo Ventorino**

**Relatore:  
PROF. LUIGI LEDDA**

**Correlatore:  
DOTT. FRANCONI MATTEO**

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

1



# SOMMARIO

SOMMARIO.....	4
ELENCO DELLE TABELLE.....	6
ELENCO DELLE FIGURE .....	7
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI.....	8
INTRODUZIONE.....	9
1.1 Il frumento duro.....	9
1.1.1 Storia della coltura.....	9
1.1.2 Prospettive future.....	11
1.2 Stress biotici e abiotici.....	12
1.2.1 Stress da patogeni (insetti e funghi).....	12
1.2.2 Stress idrico e stress termico .....	13
1.2.3 Obiettivi della tesi.....	14
CAPITOLO 2 MATERIALI E METODI .....	15
2.1 Inquadramento area di studio: .....	15
2.2 Disegno sperimentale.....	16
2.3 Rilevamento variabili.....	17
2.3.1 Rilievi fenologici ed altezze .....	17
2.3.2 Leaf Area Index .....	17
2.3.3 SPAD .....	17
2.4 Analisi statistica.....	17
CAPITOLO 3 RISULTATI.....	19
3.1 Fasi Fenologiche ed altezza piante .....	19
3.2 Leaf Area Index.....	22
3.3 SPAD.....	23
CAPITOLO 4 DISCUSSIONE.....	24
4.1 Frumento.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

CAPITOLO 5 CONCLUSIONI: BIBLIOGRAFIA.....28

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1: Valutazione di significatività dei dati delle fasi fenologiche.....	Pag.20
Tabella 2: Valutazione di significatività dei dati delle altezze.....	Pag.21
Tabella 3: Valutazione di significatività dei dati delle LAI.....	Pag.23
Tabella 4: Valutazione di significatività dei dati del CIRAS.....	Pag.24

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1: Inquadramento area di studio.....	Pag.13
Figura 2: Schema sperimentale dell'area di studio.....	Pag.15
Figura 3: Grafico illustrativo dell'evoluzione nel tempo delle fasi fenologiche in BAU e ZST.....	Pag.19
Figura 4: Grafico illustrativo dell'evoluzione nel tempo delle altezze in BAU e ZST.....	Pag.20
Figura 5: Due grafici con modelli quadratici di BAU e ZST.....	Pag.22
Figura 6: Grafico illustrativo della variazione nel tempo del LAI in BAU e ZST.....	Pag.23
Figura 7: Grafico illustrativo della variazione nel tempo dello SPAD in BAU e ZST.....	Pag.24

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

SIGLA1	CV = cultivar
SIGLA2	BAU= Business as usual
SIGLA 3	CI = Convenzionale implementato
SIGLA 4	ZST= zero stress



# INTRODUZIONE

## 1.1 Il frumento duro

### 1.1.1 Storia della coltura

Il frumento duro (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (Desf.) Husn.) è una delle specie minori dei cereali coltivati, rappresenta il 5% del frumento coltivato nel mondo ed è importante in particolare per la produzione di pasta, il restante 95% è coperto dalla coltivazione e produzione di grano tenero (*Triticum turgidum* L. subsp. *aestivum*)

La prima coltivazione del grano avvenne circa 10.000 anni fa, come parte della 'Rivoluzione Neolitica', che vide una transizione dalla caccia e raccolta di cibo all'agricoltura sedentaria. Queste prime forme coltivate erano il grano mono cocco (genoma AA, 8enkir9) e il farro (genoma AABB) e le loro relazioni genetiche indicano che originarono dalla parte sud-orientale della Turchia. La coltivazione si diffuse nel Vicino Oriente circa 9000 anni fa quando il grano tenero esaploide fece la sua prima comparsa.

Le prime forme coltivate di grano erano essenzialmente varietà locali selezionate dagli agricoltori dalle popolazioni selvatiche, presumibilmente a causa del loro rendimento superiore e altre caratteristiche, una forma precoce e chiaramente non scientifica di selezione vegetale. Tuttavia, la domesticazione era anche associata alla selezione di caratteri genetici che li separavano dai loro parenti selvatici migliorando così la coltura. Necessario evidenziare due caratteri che sono di sufficiente importanza: il primo è la perdita della dispersione della spiga a maturità, che comporta la perdita di semi durante la raccolta, questo è chiaramente un tratto importante per garantire la dispersione dei semi nelle popolazioni naturali. Il secondo tratto importante è il passaggio da forme con glume, in cui le glume aderiscono strettamente al chicco, a forme prive di glume che si possono separare facilmente (Shewry, 2009).

Le forme coltivate di grano mono cocco, farro e grano tenero esaploide hanno tutte un rachide robusto a parte la forma spelta del grano tenero. Allo stesso modo, le prime forme domestiche di enkir, farro e spelta sono tutte con glume, mentre le forme moderne di grano duro e grano tenero tetraploide ed esaploide sono prive di glume (Shewry, 2009). Le aree di

diffusione del grano duro includono principalmente regioni con climi mediterranei e aridi, dove la coltivazione di questa varietà è favorita dalle condizioni climatiche e pedologiche. Queste regioni comprendono paesi come l'Italia, la Spagna, la Grecia, il Nord Africa, il Vicino Oriente e parti del Nord America, come il Sud degli Stati Uniti e il Canada. Tuttavia, il grano duro può essere coltivato anche in altre regioni del mondo, a seconda delle pratiche agronomiche e delle tecniche di gestione adottate.

Le aree di diffusione del grano duro includono principalmente regioni con climi mediterranei e aridi, dove la coltivazione di questa varietà è favorita dalle condizioni climatiche e pedologiche. Queste regioni comprendono paesi come l'Italia, la Spagna, la Grecia, il Nord Africa, il Vicino Oriente e parti del Nord America, come il Sud degli Stati Uniti e il Canada. Tuttavia, il grano duro può essere coltivato anche in altre regioni del mondo, a seconda delle pratiche agronomiche e delle tecniche di gestione adottate.

In generale il frumento duro non necessita di grandi quantitativi di acqua, essendo una specie altamente resiliente e rustica, estremamente resistente agli stress abiotici rispetto al frumento tenero. La gestione agronomica del frumento duro comprende una serie di pratiche agricole e tecniche di gestione per massimizzare i rendimenti e la qualità del raccolto. La preparazione del terreno incide sulla produzione; lavorazioni frequenti e la rimozione dei residui colturali dai seminativi dopo il raccolto, aumentano il deflusso del suolo, riducono l'umidità e la fertilità del suolo e determinano una diminuzione della resa del raccolto (Desta et al., 2021).

La selezione delle varietà adatte alle condizioni locali è essenziale per ottenere buoni risultati; un corretto dosaggio di acqua per permettere al frumento di crescere, la gestione dell'irrigazione deve essere pianificata per evitare stress idrico o eccesso di acqua che possono ridurre i rendimenti e la qualità del raccolto. Un eccesso idrico porta la pianta alla morte per anossia, una ridotta disponibilità porta ad una crescita stentata, bassa vigoria e bassa produzione (Akram, 1970).

Un aspetto fondamentale è la fertilizzazione, necessaria per fornire alla pianta una crescita sana e garantire una buona resa. È essenziale analizzare il terreno per determinare le sue esigenze nutritive e applicare fertilizzanti in modo mirato, particolarmente la nutrizione azotata nella fase di levata e botticella. Carenze in questa fase fenologica causano un ridotto contenuto proteico nella spiga (Daaloul Bouacha et al., 2014). Il controllo delle malattie e il continuo monitoraggio per poter tempestivamente intervenire, l'utilizzo di rotazioni, l'utilizzo di varietà resistenti e trattamenti chimici possono aiutare nel ridurre le avversità e massimizzare qualità e resa del frumento.

### 1.1.2 *Prospettive future*

Nei prossimi 40 anni secondo la Food and Agriculture Organization (FAO) la domanda di cibo aumenterà a causa dell'aumento della popolazione globale e del consumo. Sono state vagliate soluzioni per migliorare agronomicamente, produttivamente e qualitativamente le varietà disponibili. Il miglioramento genetico del frumento duro può essere una soluzione anche se è necessario ribadire come questo sia in netto ritardo rispetto al tenero ed inoltre sia un processo relativamente lento, in netta contrapposizione alle esigenze immediate di intervento. Va comunque evidenziato come si stia assistendo ad una netta ripresa soprattutto nella selezione di nuove varietà innovatrici almeno al livello italiano (32.2010DeVitaetal.2010InfAgragrogen).

In particolare, viene perseguito l'obiettivo di selezionare cv che agronomicamente più performanti di quelle presenti già in Italia Centro-Meridionale e di selezionare cv che possano estenderne la coltivazione anche in Italia Settentrionale. Particolare attenzione va riservata alla manipolazione genomica che porta la biotecnologia vegetale a cercare di soddisfare questa domanda attraverso l'ingegneria genetica. Esempi di manipolazione genetica includono soia, colza, mais e cotone resistenti a vari stress biotici. L'idea di manipolare geneticamente il grano al fine di ottenere varietà migliorate per rendimento, resa, e resistenza a stress biotici e abiotici è stata ampiamente perseguita. Tuttavia, molte delle varietà selezionate non sono state commercializzate per diverse ragioni. Tra queste, la difficoltà di accettazione da parte dei consumatori nei confronti del grano transgenico ha giocato un ruolo significativo. Ancor più determinante è risultata la complessità del genoma del frumento, che può essere esaploide o tetraploide, rendendo estremamente complicata la manipolazione genetica e la selezione delle varietà (Li et al., 2012).

Necessariamente le prospettive future del frumento duro sono in stretta relazione con il cambiamento climatico. In Italia per valutare i potenziali effetti dei futuri cambiamenti climatici sulla resa del grano (ma anche altre colture), Tubiello et al. hanno utilizzato gli scenari derivati da due modelli di circolazione (CropSyst) generale come input meteorologici per il simulatore di crescita suolo-pianta. Gli autori hanno riportato che gli effetti combinati dell'elevata CO<sub>2</sub> atmosferica e del cambiamento climatico in entrambi i siti italiani studiati (Modena e Foggia) ridurrebbero le rese delle colture se le pratiche di gestione attuali non venissero modificate. Verrillo et al. hanno utilizzato un sistema di arricchimento di CO<sub>2</sub> 8FACE9 per valutare la resa e la qualità del grano tenero dove le piante sono state coltivate a una concentrazione di 570 ppm di CO<sub>2</sub> per due stagioni di crescita. I risultati hanno evidenziato

Un'influenza sulle prestazioni agronomiche aumentando la resa ma influenzando negativamente la qualità (Sabella et al., 2020; Tubiello et al., 2000; Verrillo et al., 2017).

Inoltre, è doveroso citare la situazione contemporanea con i due principali paesi esportatori di grano, Russia e Ucraina, che sono in conflitto fra loro. Ciò ha portato ad un blocco delle esportazioni di grano che si è ripercosso sulle disponibilità del prodotto provocandone una rapida impennata dei prezzi.

## 1.2 Stress biotici e abiotici

### 1.2.1 Stress da patogeni (insetti e funghi)

Il frumento duro è conosciuto comunemente come una specie estremamente rustica e resiliente; nonostante queste caratteristiche, sono molte le avversità di tipo biotico che possono andare a intaccare la vitalità e la produzione della coltura. Principalmente il frumento viene gravemente colpito da patogeni di tipo fungino su tutti la fusariosi e la septoriosi. La fusariosi della spiga è una delle principali malattie fungine delle colture di cereali come il grano, l'orzo e il mais. Questa malattia, che si manifesta con una colorazione più chiara delle cariossidi, tendenti al rosato e un ridotto sviluppo dei semi, è causata da ben 16 specie del genere *Fusarium* che infettano una varia gamma di ospiti, la loro azione si concentra sulla produzione di micotossine, in particolare il Deossinivalenolo e il Zearalenone che sono tossiche rispettivamente per gli esseri umani e gli animali. Il *Fusarium graminearum*, principale agente del marciume, trova le sue migliori condizioni per lo sviluppo in condizioni di elevata umidità (80%) e temperature relativamente alte (20-25 °C per l'infezione). Nonostante gli sforzi e la riduzione della malattia, questa causa annualmente milioni e milioni di dollari di perdite economiche per le aziende (Dweba et al., 2017). L'altra grande avversità è la septoriosi del grano causata principalmente da due agenti patogeni: *Septoria tritici* e *Stagonospora nodorum*. Questa è considerata una malattia importante a causa del loro impatto sulle colture e sulla produzione di grano. I due principali agenti sono distinguibili per diversi aspetti. *S. tritici* è considerata più confinata a climi di tipo mediterraneo (inverni umidi con temperature temperate), mentre *S. nodorum* è più comune nelle latitudini settentrionali. Un'altra sostanziale differenza è la parte di pianta attaccata, il *S. tritici* si sviluppa principalmente a scapito delle foglie, intaccando così la capacità fotosintetica delle piante, il *S. nodorum* predilige lo stelo, i nodi, le spighe e le cariossidi del grano, arrecando quindi meno danni (Eyal, 1999). La diffusione della malattia è direttamente correlata alla capacità delle picnidiospore di diffondersi, grazie alla pioggia e al vento oppure attraverso residui colturali. Sono necessarie, comunque, condizioni di elevata umidità, una continua bagnatura fogliare e temperature di

minimo 15 °C affinché ci sia lo svernamento del micelio. I danni si presentano come necrosi sulle foglie che possono intaccare la capacità fotosintetica della pianta, le prime ad essere colpite sono le foglie basali che inizialmente presentano una punteggiatura necrotica con un alone giallastro che si allarga su tutta la foglia. Su una pianta malata, la diffusione della malattia è rapida e si verificano, molto frequentemente, infezioni secondarie anche sulle foglie più giovani. Il disseccamento della foglia è causato da due tossine, la septorina e l'ochracina che però non sono tossiche né per l'uomo né per gli animali (Eyal, 1999).

### 1.2.2 *Stress idrico e stress termico*

La siccità è uno dei principali stress ambientali che minacciano la produttività del grano in tutto il mondo. I modelli climatici globali prevedono cambiamenti nelle precipitazioni con frequenti episodi di siccità. Il frumento duro, comunque, è una specie resiliente e resistente alle carenze idriche, ma in alcune fasi la siccità può arrecare grossi danni alla produzione.

La germinazione è forse la fase fenologica dove la pianta è più sensibile e l'acqua è un fattore limitante; il seme necessita di una quantità sufficiente di acqua per germogliare. Tuttavia, in condizioni di stress idrico, il seme non assorbe acqua e quindi può non germogliare (Lonbani & Arzani, n.d.)

Un'altra fase estremamente critica è lo stress antecedente all'antesi, questa porta ad un ridotto numero di spighe e chicchi per spiga. (Denčić et al., 2000), oppure durante la fase fenologica riproduttiva e di riempimento delle cariossidi è molto sensibile e ciò causa una riduzione della resa in granella. Nella fase di riempimento delle cariossidi la foglia a bandiera svolge un ruolo chiave nella sintesi di zuccheri visto che contribuisce per il 30-50% degli assimilati totali nella pianta. In condizioni di stress idrico, il frumento va incontro ad una senescenza precoce delle foglie, inclusa quella a bandiera, che a sua volta si traduce in perdite di resa in granella (HAY, 1997). Il deficit di acqua influenza anche la crescita della pianta e la sua biomassa. Infatti, in condizioni di ridotta disponibilità di acqua nel suolo, le radici tendono ad esplorare strati più profondi di terreno, ma al contempo, la crescita della parte epigea rallenta (Ahmad et al., 2018; Dhakal, 2021).

Gli stress termici sono anch'essi dannosi, soprattutto in alcuni momenti del ciclo fenologico. L'induzione fiorale e la fioritura sono sensibili agli stress termici; infatti, la maggior parte del polline si produce principalmente nelle ore fredde della giornata (circa il 90%). Gli stress termici hanno un fortissimo impatto sulla riproduzione degli organi vitali,

specialmente durante l'apertura fiorale, con effetti avversi nei confronti dello sviluppo del polline

(Kaur & Behl, 2010)

Durante la meiosi, alte temperature, causano una sterilità del polline, dell'ovulo e l'indeiscenza delle antere; inoltre, è stato dimostrato che temperature superiori a 30°C per 3 giorni portano alla formazione di sacche embrionali del tutto anomale con ovari distorti nei pistilli e organizzazione cellulare incompleta (Omidi et al., 2014). In sintesi, lo stress termico durante le fasi gametofitiche causa anomalie negli organi riproduttivi maschili e femminili nel grano.

### 1.2.3 *Obiettivi della tesi:*

L'obiettivo della tesi è valutare il comportamento del frumento duro sottoposto a diversi regimi idrici, per comprendere come e quanto lo stress idrico incida sulla resa potenziale e reale della coltura.

Questa tesi si trova all'interno di un progetto più ampio chiamato FOLLOU (Bringing knowledge and consensus to prevent and reduce FOod LOss at primary production stage. Understanding, measuring, training and adopting), uno studio sovvenzionato dall'Unione Europea che coinvolge diverse università europee (in Italia Ancona e Bologna), che ha come scopo quello di prevenire e ridurre le perdite alimentari nella produzione primaria, perché queste hanno impatti negativi sulla società contribuendo all'insicurezza alimentare, impoverendo l'ambiente, generando gas serra evitabili e aumentando la pressione sulla terra e sull'acqua.

## Capitolo 2

### MATERIALI E METODI

#### 2.1 Inquadramento area di studio:

Le prove di campo sono condotte all'interno dell'Azienda Agraria Didattico-Sperimentale "P. Rosati" del Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali (D3A) dell'Università Politecnica delle Marche di Ancona (Figura 1). L'azienda è localizzata in Agugliano ed è situata a 11,4 km dalla costa del mare Adriatico, l'altitudine è 203 s.l.m. e ha un'esposizione SSE. Il sito ha una pendenza del 5 % ed il sito presenta una tessitura limosa-argillosa fino ad una profondità di 1,1 m. Il suolo si è sviluppato da fini, calcarei, sedimenti marini semi-coerenti e sub- alcalini Plio-Pleistocenici (Tavoletti et al., 2023).

La stazione meteorologica in dotazione all'azienda ha rilevato una temperatura media annuale è di 13.3 °C, gennaio è il mese più freddo (4.5 °C) mentre i mesi di luglio e agosto sono mediamente i più caldi (22.4 °C). Le precipitazioni medie annuali sono di circa 750 mm e sono concentrate principalmente in autunno ed in inverno con periodi siccitosi d'estate.



*Figura 1 – Inquadramento area di studio*

## 2.2 Disegno sperimentale

Le parcelle sono state disposte secondo un disegno split-plot con parcelloni replicati 3 volte. Ogni split-plot è stato replicato a sua volta per tre gestioni agronomiche differenti: Business As Usual (BAU); Convenzionale migliorato (ECV); Zero Stress (ZST). Le parcelle hanno dimensioni di 40 m<sup>2</sup> (4 m × 10 m).

La gestione BAU segue il modello di gestione ordinario dell'azienda agraria sperimentale e delle aziende del territorio limitrofo in termini di irrigazione, nutrizione e trattamenti contro le fitopatie. Difatti non sarà applicata irrigazione, si adotterà bensì una gestione ordinaria dei nutrienti e la difesa sarà quella prevista dai disciplinari di produzione integrata della regione Marche (<http://www.regione.marche.it>).

La gestione ECV è basata sulla gestione ordinaria in termini di fertilizzazione e difesa dalle fitopatie ma si differenzia da BAU per adottare irrigazione di soccorso.

La gestione ZST mira a limitare quanto più possibile qualsiasi tipo di stress. In ZST è stato implementato un sistema di irrigazione/fertirrigazione di precisione. Per i trattamenti contro le fitopatie effettua una lotta calendarizzata.

In questo elaborato, sono state prese in considerazione le gestioni BAU e ZST, selezionate con l'obiettivo di massimizzare le differenze nello stato di salute del frumento. Tale scelta è volta a individuare le motivazioni alla base della resa reale e potenziale, al fine di evidenziare le fasi del processo di coltivazione che possono essere migliorate.



*Figura 2 – Schema sperimentale dell'area di studio (scala 1:1000)*



## 2.3 Rilevamento variabili

### 2.3.1 Rilievi fenologici ed altezze:

Sono state scelte 10 piante per parcella che, sin dalla semina, hanno mostrato accrescimento regolare al fine di avere sviluppi fenologico comparabili. Le piante sono state identificate singolarmente da 1 a 10 con un contrassegno di altezza tale da permettere la loro individuazione anche in pieno sviluppo. I rilievi sono stati effettuati a cadenza mensile per le prime fasi fenologiche e a cadenza settimanale per le fasi fenologiche critiche (e.g., accostimento, fioritura). Per ciascuna pianta, è stato rilevato lo stadio fenologico attribuendone il corrispondente codice della scala BBCH per il frumento. Sulle stesse piante è stata misurata l'altezza, espressa in cm.

### 2.3.2 Leaf Area Index:

A cadenza mensile sono stati effettuati con un ceptometro che calcola automaticamente l'indice di area fogliare o leaf area index (LAI). Le misurazioni sono state condotte in condizione PAR superiore ai  $500 \mu\text{mol m}^2/\text{s}$ . Per ogni parcella sono state effettuate quattro misurazioni sopra la coltura e dieci ad altezza coltello. Le misurazioni sono state effettuate in posizioni randomiche all'interno della parcella.

### 2.3.3 SPAD:

I rilievi sono stati effettuati a cadenza mensile per mezzo di uno SPAD-502 (Konika-Minolta) in grado di misurare il contenuto di clorofilla. Sono state scelte tre piante per parcella e su ogni pianta sono state effettuate due letture.

## 2.4 Analisi statistica

I rilievi fenologici (scala BBCH), le altezze (cm), il Leaf Area Index e lo SPAD sono stati considerati come variabili di risposta. L'analisi della varianza (ANOVA) a due vie è stata condotta utilizzando come fattori la gestione (BAU vs ZST) i blocchi (N=3) ed il tempo (date di rilievi). Successivamente, le medie sono state confrontate utilizzando il test HSD di Tukey. Un test T per dati appaiati (criterio di appaiamento = blocco) è stato utilizzato per verificare eventuali differenze tra gestioni entro data.

Prima dell'ANOVA e test T, tutte le variabili di risposta sono state sottoposte a verifiche di normalità della distribuzione (ispezione visiva di box-plot) e omogeneità delle

varianze (test di Levene). Quando i dati non presentavano una distribuzione normale e/o varianze non omoschedastiche, ogni variabile numerica è stata trasformata mediante la procedura di Box e Cox. In tutti i test, le differenze sono state considerate significative a  $P < 0,05$ . Le analisi statistiche sono state eseguite utilizzando IBM SPSS Statistics versione 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

## Capitolo 3 RISULTATI

### 3.1 Fasi Fenologiche ed altezza piante

I risultati evidenziano che le fasi fenologiche sono variate in funzione del tempo significativo in generale, tuttavia la gestione ZST non è risultata diversa da BAU (Figura 3, Tabella 1). Al contrario, data emergono differenze significative nelle date di 12 febbraio, 13 e 20 maggio) e altamente significativo il 1 aprile e l'8 aprile (Figura 3).

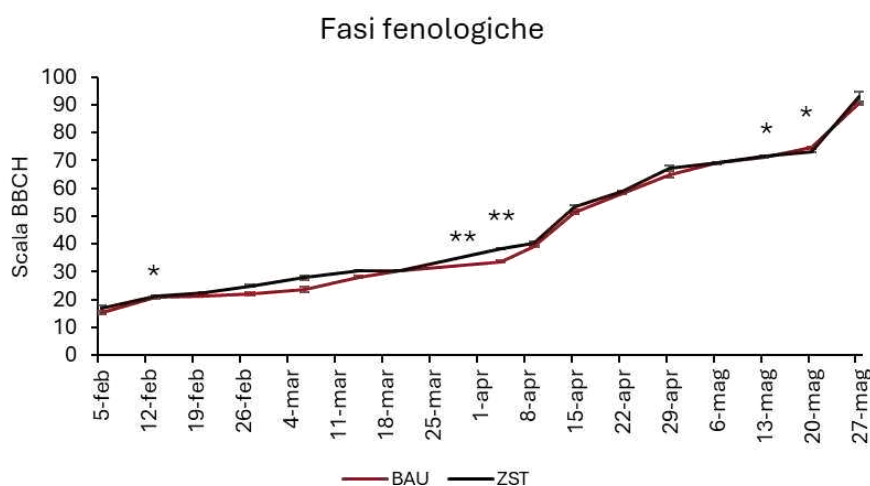


Figura 3: Evoluzione nel tempo delle fasi fenologiche in BAU e ZST.

Tabella 1: Valutazione di significatività dei dati delle fasi fenologiche

<b>Test di effetti entro soggetti</b>					
Origine	SS	gl	MS	F	Sign.
Data	7484.32	1.15	6530.42	4432.96	0.00
Data * Block	4.89	2.29	2.13	1.45	0.40
Data * MNG	3.99	1.15	3.49	2.37	0.25
Errore (Data)	3.38	2.29	1.47		
<b>Test di effetti tra soggetti</b>					
Origine	SS	gl	MS	F	Sign.
Intercetta	64035.67	1.00	64035.67	42548.62	0.00

Block	7.10	2.00	3.55	2.36	0.30
MNG	14.88	1.00	14.88	9.89	0.09
Errore	3.01	2.00	1.50		

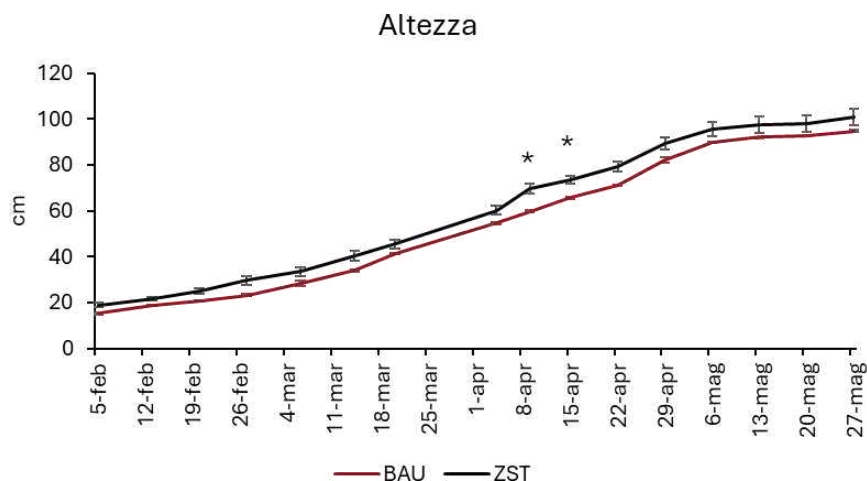


Figura 4: Grafico illustrativo dell'evoluzione nel tempo delle altezze in BAU e ZST

Tabella 2: Valutazione di significatività dei dati delle altezze

**Test di effetti entro soggetti**

Origine	SS	gl	MS	F	Sign.
Data	11836.95	1.73	6830.68	507.07	0.00
Data * Block	18.45	3.47	5.32	0.40	0.79
Data * MNG	14.59	1.73	8.42	0.63	0.57
Errore (Data)	46.69	3.47	13.47		

**Test di effetti tra soggetti**

Origine	SS	gl	MS	F	Sign.
Intercetta	119695.25	1.00	119695.25	1833.91	0.00
Block	89.79	2.00	44.89	0.69	0.59
MNG	310.32	1.00	310.32	4.75	0.16
Errore	130.54	2.00	65.27		

Il grafico e la tabella esprimono l'effetto significativo che il tempo ha sulle altezze, con effetto significativo nelle date dell'8 aprile e del 15 aprile; nonostante dal grafico si evinci che la gestione ZST garantisce delle altezze maggiori, dal punto di vista statistico non possiamo dirlo.

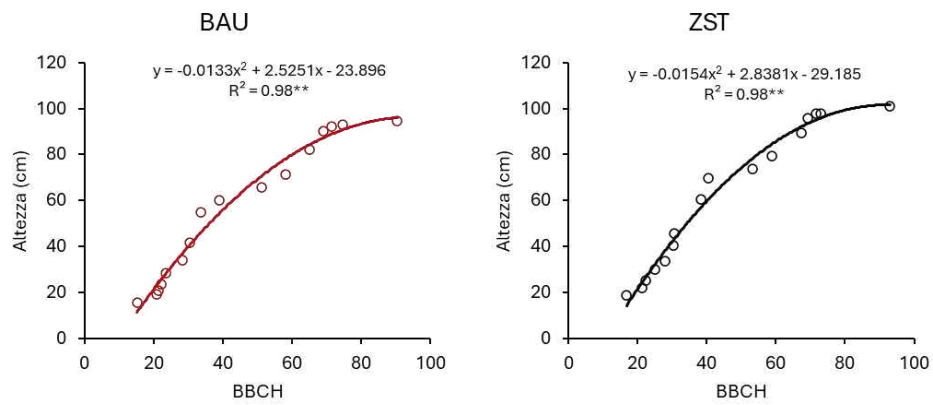


Figura 5: Due grafici con modelli quadratici di BAU e ZST

Questi due grafici rappresentano la diretta correlazione fra scala BBCH (fasi fenologiche) e altezza, è stato applicato un modello quadratico che è attendibile, per entrambi i regimi, al 98%, di fatto possiamo affermare che l'altezza è in funzione delle fasi fenologiche.

### 3.2 Leaf Area Index

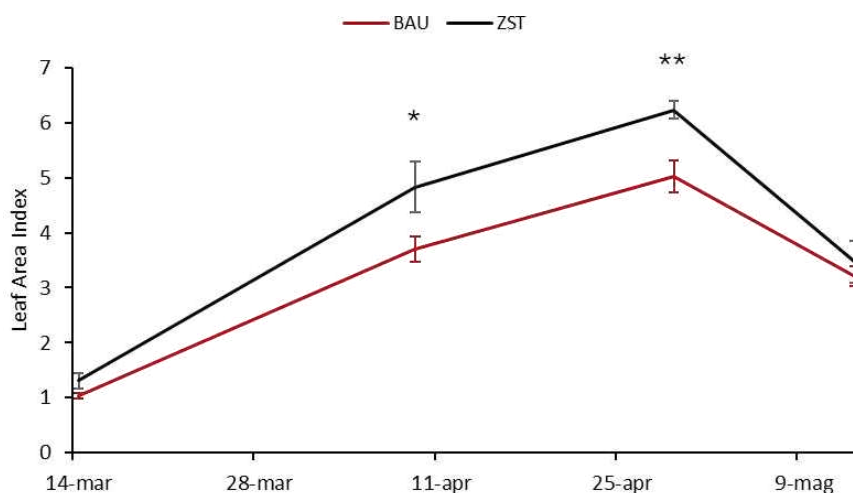


Figure 6: Grafico illustrativo della variazione nel tempo del LAI in BAU e ZST

Tabella 3: Valutazione di significatività dei dati delle LAI

#### Test di effetti entro soggetti

Origine	SS	gl	MS	F	Sign.
Data	62.98	1.15	54.94	755.10	0.00
Data * Block	0.50	2.29	0.22	3.01	0.23
Data * MNG	1.24	1.15	1.08	14.81	0.05
Errore (Data)	0.17	2.29	0.07		

#### Test di effetti tra soggetti

Origine	SS	gl	MS	F	Sign.
Intercetta	310.79	1.00	310.79	3124.77	0.00
Block	0.11	2.00	0.05	0.53	0.65
MNG	3.12	1.00	3.12	31.38	0.03
Errore	0.20	2.00	0.10		

In questo caso, grafico e tabella ci indicano che c'è un effetto significativo del tempo nei confronti del LAI che si individua nelle due date di aprile (11 aprile e 25 aprile), ma soprattutto in questo caso c'è una differenza significativa anche nel management e nell'interazione tra tempo e management. In sintesi il regime ZST produce sostanzialmente differenze significative sul LAI rispetto al BAU.

### 3.3 SPAD

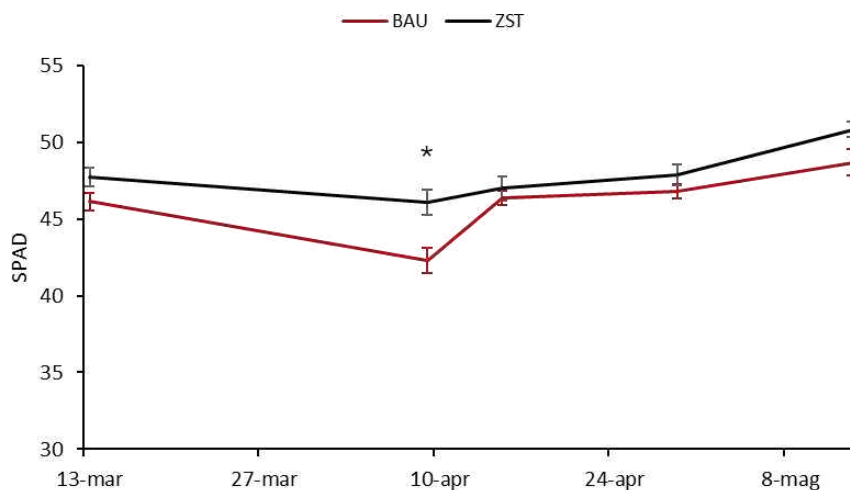


Figura 7: Grafico illustrativo della variazione nel tempo dello SPAD in BAU e ZST

Tabella 4: Valutazione di significatività dei dati del CIRAS

Test di effetti entro soggetti					
Origine	SS	gl	MS	F	Sign.
Data	93.93	1.74	53.92	16.50	0.02
Data * Block	11.01	3.48	3.16	0.97	0.51
Data * MNG	6.25	1.74	3.59	1.10	0.41
Errore(Data)	11.38	3.48	3.27		

Test di effetti tra soggetti					
Origine	SS	gl	MS	F	Sign.
Intercetta	53136.702	1.00	53136.70	26766.51	0.00
Block	5.204	2.00	2.60	1.31	0.43
MNG	27.378	1.00	27.38	13.79	0.07
Errore	3.970	2.00	1.99		

Il grafico sullo SPAD ci indica che c'è un effetto significativo del tempo sulle misure, anche qui il management sembrerebbe avere differenze significative ma non possiamo dirlo statisticamente parlando (93%).

## Capitolo 4

### DISCUSSIONE

Le due diverse gestioni del frumento duro BAU e ZST garantiscono comunque una corretta crescita della coltura ma con risultati e osservazioni abbastanza diverse, in alcune misure possiamo affermare statisticamente che una gestione è meglio dell'altra, in altre possiamo dedurlo ma non confermarlo dal punto di vista statistico.

Partendo dalle analisi delle fasi fenologiche ed analizzando i dati a nostra disposizione è possibile notare una maggiore e più rapida crescita nel ZST dovuto con molta probabilità alla grande disponibilità di acqua e nutrienti.

Ci sono due momenti particolari in cui lo ZST ha mostrato differenze significative, il primo, durante le prime fasi di crescita, precisamente nella fase 2.1 della scala BBCH (inizio accestimento e primo germoglio visibile) dove c'è una differenza significativa fra le due gestioni con ZST che è più rapido nell'arrivare a questa fase, dovuto probabilmente alla maggiore nutrizione e umidità; considerando che in questa fase la pianta necessita soprattutto di nutrizione è plausibile che dipenda da ciò tale differenza.

L'altra fase dove si individuano differenze significative tra le due gestioni sono i rilievi e le misure prese nella prima decade di aprile. In questa fase ZST mostra delle fasi fenologiche nettamente più avanzate rispetto al BAU: ZST si trova già nella fase 4 (botticella) mentre BAU ancora è nelle ultime fasi della terza (levata e emissione della foglia a bandiera).

Da sottolineare però nonostante queste piccole differenze durante la fase di crescita entrambe arrivano alla fase del riempimento della granella e della senescenza (fase 8 e 9) congiuntamente e quasi allo stesso tempo, con addirittura BAU (come si evince dalla Figura 3) arriva in anticipo rispetto a ZST, probabilmente dovuto al fatto che produce meno e quindi il peso nutrizionale e idrico di cui la pianta si deve far carico è minore.

Le altezze (Figura 4) sono un'altra misurazione che permette di estrapolare delle riflessioni. Primariamente notiamo dalla Figura 4 che ZST presenta altezze sempre superiori a BAU ma non possiamo affermare che sia la gestione a garantire altezze più alte in ZST.



Sicuramente l'apporto tempestivo di acqua e nutrienti garantisce in ZST una crescita e una biomassa maggiore, questo incide sulla fotosintesi della pianta che trovandosi in uno stato di benessere cresce in maniera regolare.

In BAU la crescita ovviamente sarà ridotta se confrontata con ZST, dovuto al minor apporto di acqua e nutrienti, ma nonostante questi deficit la crescita prosegue regolarmente e in maniera del tutto proporzionale con ZST (Figura 4).

L'unica differenza significativa l'abbiamo nella seconda decade di aprile dove ci troviamo nella fase di spigatura e ZST mostra una crescita più marcata di quella che ci sia aspetta.

Il LAI, leaf area index o indice di area fogliare, rappresenta un importante indice per il calcolo della produttività primaria netta, e quindi può fornire informazioni sulla capacità di immagazzinamento di CO<sub>2</sub> delle piante. Il LAI è una delle principali variabili biofisiche sulla vegetazione e rappresenta il rapporto tra superficie fogliare totale e superficie del suolo su cui le foglie si proiettano. La stima di questo indice è importante per darci delle indicazioni sul monitoraggio della crescita delle piante, la stima della resa della coltura e il monitoraggio dello stress a cui è sottoposta la vegetazione.

Dalle misurazioni del LAI effettuate su BAU e ZST c'è una forte e significativa differenza tra le due gestioni che viene evidenziata nella Figura 5, nelle misurazioni prese nel mese di aprile. Si vede effettivamente anche dal grafico che il LAI di ZST è nettamente superiore.

Questa differenza sicuramente è dovuta al maggior apporto idrico e nutrizionale che si ha in ZST, questo input maggiore di acqua e elementi, si traduce al livello della pianta in maggior capacità fotosintetica che è in diretta correlazione con una maggior apporto di biomassa e maggiori rese; questo divario ci dà un'indicazione anche relativa al diverso stato di benessere in cui si trovano le piante di frumento nelle diverse gestioni, normalmente le piante con il maggior LAI si trovano in uno stato eccezionale, non gli manca nulla, le altre in BAU sicuramente peccano di qualche carenza che però da come si evince dal grafico, sono sì, certamente meno produttive, meno sviluppate, con una capacità fotosintetica della foglia abbastanza limitata, ma comunque nel range ottimale del LAI di una pianta di frumento duro (che si attesta intorno a 3-6 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> nel momento di massima crescita vegetativa).

Tornando al LAI del ZST sembrerebbe che è esageratamente elevato, nel momento di massima crescita vegetativa arriva a picchi di 6.40 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, superiori rispetto al range ottimale. Un'elevata fogliatura, causa all'interno del microclima della coltura una diminuzione dell'intercettazione luminosa, soprattutto delle foglie basali, una minore areazione e soprattutto un aumento sostanziale dell'umidità che si traducono in un decremento del

benessere della pianta, conseguentemente una riduzione della vitalità e della vigoria produttiva della coltura.

In condizioni di elevata umidità inoltre potremmo avere problemi con diversi funghi che attaccano il frumento, fusariosi e ruggini su tutte.

L'ultima analisi statistica è stata effettuata con lo SPAD-502, questo strumento attua delle misurazioni non distruttive sulle foglie per valutarne il contenuto di clorofilla.

Il contenuto di clorofilla è un indicatore del benessere della pianta, in particolare della nutrizione della pianta; attraverso questo indice capiamo se la pianta è in stress nutrizionale e se necessita di fertilizzazione.

Il grafico costruito con i dati che sono stati rilevati con l'utilizzo dello SPAD, ci mostra come evidentemente il regime ZST si dimostri ancora una volta superiore rispetto al BAU, con una forte differenza significativa nel campionamento effettuato tra la prima e la seconda decade di aprile, dove il frumento si trovava in fase di levata.

Questa differenza sostanziale è da imputare alla differente nutrizione tra i due regimi, lo SPAD infatti misura, sì il contenuto di clorofilla ma questo è in diretta correlazione anche con il quantitativo di azoto che la pianta assorbe, ma soprattutto perché sappiamo che durante la fase di levata, il fattore limitante è proprio l'azoto.

Per il resto del ciclo biologico BAU e ZST hanno un andamento molto simile e proporzionale. Dalle analisi, dai dati raccolti, dalla sperimentazione in campo i due regimi produttivi differenti non appaiono così diversi, per molti tratti del ciclo biologico, sono entrambi produttivi, non c'è alcuna criticità nella crescita, nella gestione e nella futura produzione, però necessariamente c'è da evidenziare che in un particolare momento, durante la fase fenologica della levata, ci sono, in tutte le analisi effettuate dall'altezza, considerando il LAI e infine lo SPAD, una sostanziale differenza tra BAU e ZST.

Nel periodo che va dalla prima alla seconda decade di aprile con una gestione ZST, avremo una velocizzazione del processo di levata che comporta una maggiore altezza delle piante dovuto anche ad una maggior densità fogliare, che si traduce in una maggiore attività fotosintetica, miglior benessere della pianta, maggiore vigoria e conseguentemente maggiore produzione.

Nel regime BAU avremo rallentamenti in questa fase fenologica, lo vediamo dalle analisi con lo SPAD e con il LAI, la foglia rallenta la sua attività in levata, produce meno clorofilla, che comporta una minor produzione di foglie e minore crescita.

Questa crescita ridotta accentuata in fase di levata, comunque non va a intaccare il sistema produttivo in BAU che va ad avere in tutte le altre fasi fenologiche una crescita molto regolare e che non è sostanzialmente molto differente da ZST.

## Capitolo 5

### CONCLUSIONI: BIBLIOGRAFIA

Le due gestioni analizzate non hanno mostrato differenze nelle fasi fenologiche, evidenziando uno sviluppo vegetativo comparabile e proporzionale. Tuttavia, la gestione ZST ha presentato altezze medie superiori, con differenze significative osservate intorno alla prima decade di aprile (levata). In termini di indice di area fogliare (LAI), è emersa un'interazione significativa tra gestione e tempo, con valori di LAI più alti per la gestione ZST rispetto a BAU tra aprile e maggio (fine fioritura). Inoltre, nella prima decade di aprile (levata), ZST ha registrato valori di SPAD superiori rispetto a BAU. In conclusioni, in un'annata agraria sostanzialmente favorevole dal punto di vista meteorologico, le differenze principali tra BAU e ZST sono emerse chiaramente nella fase di levata. Tali differenze potrebbero tradursi in potenziali maggiori rese per ZST ma, almeno per l'annata in esame, non sono attese differenze sostanziali. Per validare ulteriormente questi risultati, è fondamentale estendere il periodo di osservazione a più anni, includendo sia l'analisi della resa e delle sue componenti, sia il confronto dei dati sotto diverse condizioni climatiche, con particolare attenzione a stagioni caratterizzate da scarse precipitazioni

## **Bibliografia:**

32.2010DeVitaetal.2010InfAgragrogen. (n.d.).

- Ahmad, Z., Waraich, E. A., Akhtar, S., Anjum, S., Ahmad, T., Mahboob, W., Hafeez, O. B. A., Tapera, T., Labuschagne, M., & Rizwan, M. (2018). Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. In *Acta Physiologiae Plantarum* (Vol. 40, Issue 4). Polish Academy of Sciences, Institute of Slavic Studies. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2651-6>
- Akram, M. (1970). Growth And Yield Components Of Wheat Under Water Stress Of Different Growth Stages. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 36(3), 455–468. <https://doi.org/10.3329/bjar.v36i3.9264>
- Daaloul Bouacha, O., Nouaigui, S., & Rezgui, S. (2014). Effects of N and K fertilizers on durum wheat quality in different environments. *Journal of Cereal Science*, 59(1), 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.11.003>
- Denčí'denčí'c, S., Kastori, R., Kobiljski, B., & Duggan, & B. (2000). Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. In *Euphytica* (Vol. 113).
- Desta, B. T., Gezahegn, A. M., & Tesema, S. E. (2021). Impacts of tillage practice on the productivity of durum wheat in Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1869382>
- Dhaka, A. (2021). EFFECT OF DROUGHT STRESS AND MANAGEMENT IN WHEAT - A REVIEW. *Food & Agribusiness Management*, 2(2), 62–66. <https://doi.org/10.26480/fabm.02.2021.62.66>
- Dweba, C. C., Figlan, S., Shimelis, H. A., Motaung, T. E., Sydenham, S., Mwadzingeni, L., & Tsilo, T. J. (2017). Fusarium head blight of wheat: Pathogenesis and control strategies. In *Crop Protection* (Vol. 91, pp. 114–122). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.002>
- Eyal, Z. (1999). The septoria tritici and stagonospora nodorum blotch diseases of wheat. In *European Journal of Plant Pathology* (Vol. 105).
- HAY, R. K. M. (1997). Crop Evolution, Adaptation and Yield . By L. T. EVANS. 23 × 15 cm. Pp. xi + 500 with 131 text-figures. Cambridge: Cambridge University Press, 1st paperback edition, 1996. Price: £22.95. ISBN 0 521 29558 0. . *New Phytologist*, 135(3), 567–574. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00655.x>

- Kaur, V., & Behl, R. (2010). Grain yield in wheat as affected by short periods of high temperature, drought and their interaction during pre- and post-anthesis stages. *Cereal Research Communications*, 38(4), 514–520. <https://doi.org/10.1556/CRC.38.2010.4.8>
- Li, J., Ye, X., An, B., Du, L., & Xu, H. (2012). Genetic transformation of wheat: Current status and future prospects. In *Plant Biotechnology Reports* (Vol. 6, Issue 3). <https://doi.org/10.1007/s11816-011-0213-0>
- Lonbani, M., & Arzani, A. (n.d.). *Morpho-physiological traits associated with terminal drought-stress tolerance in triticale and wheat*.
- Omidi, M., Siahpoosh, M. R., Mamghani, R., & Modarresi, M. (2014). The influence of terminal heat stress on meiosis abnormalities in pollen mother cells of wheat. *Cytologia*, 79(1), 49–58. <https://doi.org/10.1508/cytologia.79.49>
- Sabella, E., Aprile, A., Negro, C., Nicoli, F., Nutricati, E., Vergine, M., Luvisi, A., & De Bellis, L. (2020). Impact of climate change on durum wheat yield. *Agronomy*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy10060793>
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. In *Journal of Experimental Botany* (Vol. 60, Issue 6, pp. 1537–1553). <https://doi.org/10.1093/jxb/erp058>
- Tavoletti, S., Cocco, S., & Corti, G. (2023). Comparisons among barley–pea mixed crop combinations in a replacement design as related to N fertilization and soil variation. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43050-9>
- Tubiello, F. N., Donatelli, M., Rosenzweig, C., & Stockle, C. O. (2000). Effects of climate change and elevated CO<sub>2</sub> on cropping systems: model predictions at two Italian locations. In *European Journal of Agronomy* (Vol. 13). [www.elsevier.com/locate/eja](http://www.elsevier.com/locate/eja)
- Verrillo, F., Badeck, F. W., Terzi, V., Rizza, F., Bernardo, L., Di Maro, A., Fares, C., Zaldei, A., Miglietta, F., Moschella, A., Bracale, M., & Vannini, C. (2017). Elevated field atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations affect the characteristics of winter wheat (cv. Bologna) grains. *Crop and Pasture Science*, 68(8), 713–725. <https://doi.org/10.1071/CP17156>