

# Università degli Studi di Palermo

---

Dipartimento dei Sistemi Agro-Ambientali

Dottorato di Ricerca in Agro-Ecosistemi Mediterranei  
S.S.D. – AGR02



**Studi sull'abilità competitiva nei confronti delle malerbe  
di alcune specie e varietà tipiche dell'ambiente  
mediterraneo**

**Dottorando**

*Dott. Benedetto Frangipane*

**Tutor**

*Prof. Alfonso S. Frenda*

**Coordinatore**

*Prof.ssa Adriana Bonanno*

# Università degli Studi di Palermo

---

Dipartimento dei Sistemi Agro-Ambientali

Dottorato di Ricerca in Agro-Ecosistemi Mediterranei  
S.S.D. – AGR02

## Studi sull'abilità competitiva nei confronti delle malerbe di alcune specie e varietà tipiche dell'ambiente mediterraneo

**Dottorando**

*Dott. Benedetto Frangipane*

**Tutor**

*Prof. Alfonso S. Frenda*

**Coordinatore**

*Prof.ssa Adriana Bonanno*

---

Ciclo XXII

*Alla mia famiglia che mi ha sostenuto in tutti i momenti  
A mio zio Angelo uomo di grande cultura e di nobili sentimenti*

*Un sentito ringraziamento a tutti gli operai dell'azienda Pietranera che con  
grande capacità e immensa disponibilità hanno contribuito in maniera  
fattiva alla realizzazione delle prove sperimentali*

*"... Quello che è stolto per il mondo, Dio lo ha scelto per confondere i sapienti; quello  
che è debole per il mondo, Dio lo ha scelto per confondere i forti; quello che è ignobile e  
disprezzato per il mondo, quello che è nulla, Dio lo ha scelto per ridurre a nulla le cose  
che sono, perché nessuno possa vantarsi di fronte a Dio"*

(San Paolo) I Cor I, 26-31



# INDICE

## **Parte generale**

### **Capitolo 1 - La competizione vegetale**

1.1 Introduzione	1
1.2 La competizione per la luce	3
1.3 La competizione per l'acqua	5
1.4 La competizione per gli elementi nutritivi	7
1.5 La competizione tra le colture e le specie infestanti	7
1.6 Indici di determinazione della competizione coltura-infestante	10
1.7 Danni causati dalle infestanti	13
1.8 Abilità competitiva delle colture	16
1.9 Scopo della ricerca	18

## **Parte sperimentale**

### **Capitolo 2 - Periodo critico per il controllo delle infestanti in leguminose da granella tipiche dell'ambiente Mediterraneo**

2.1 Premessa	20
2.2 Materiali e metodi	23
2.3 Risultati e discussione	27
2.4 Conclusioni	35

### **Capitolo 3 - Valutazione dell'abilità competitiva di genotipi di frumento duro**

3.1 Premessa	36
3.2 Materiali e metodi	38
3.3 Risultati e discussione	42
3.4 Conclusioni	72

## **Bibliografia**

# **Parte generale**

## Capitolo 1

### La competizione vegetale

#### 1.1 Introduzione

Nel 1859 Charles Darwin definì “*la lotta alla sopravvivenza*” come: “*l’interazione competitiva tra gli esseri viventi*. All’interno di questo complesso meccanismo, gli individui che possiedono caratteristiche più adatte mostrano un vantaggio concorrenziale nei confronti di altri meno adatti” (Darwin, 1859). Questa definizione sin da allora ha trovato piena approvazione da parte della comunità scientifica internazionale.

La *competizione* rappresenta, dunque, un tipo d’interazione in cui l’*adeguamento biologico* di un individuo è ridotto dalla presenza di altri attraverso lo sfruttamento fisico (parassitismo e predazione), l’*antibiosi* (allelopatia) o la sottrazione delle risorse naturali. Nei primi due casi un organismo trae beneficio a discapito di altri; nel terzo caso, tra gli organismi si generano effetti reciprocamente avversi.

L’intensità della competizione cresce negli ecosistemi semplici poco evoluti e tende a diminuire con il raggiungimento dello stato definito *Climax* in cui la complessità specifica equilibra i flussi energetici.

La competizione tra i vegetali differisce in modo sostanziale da quella che insorge tra gli animali, in quanto le piante sono vincolate da un rapporto di estrema dipendenza alle risorse per le quali competono; gli animali possono, piuttosto, sostituire la propria fonte di sostentamento (partizione delle risorse).

Nel mondo vegetale la competizione insorge quando due o più piante tendono ad assimilare le risorse luce, acqua e nutrienti, all’interno di uno spazio limitato (Grime, 1979); ciò può avvenire sia tra individui della stessa specie (competizione intraspecifica) che tra individui appartenenti a specie diverse (competizione interspecifica).

Lo studio dell’interazione competitiva tra i vegetali è stato oggetto di numerose ricerche, volte per lo più a valutare l’influenza che la stessa esercita sulla struttura, sul

funzionamento e sulla dinamica degli ecosistemi naturali (Oosting, 1956; Clements, 1929; Keddy, 1989; Grace e Tilman, 1990; Callaway, 2007; Brooker et al., 2008).

Anche se i primi studi scientifici su quest'argomento risalgono al quattordicesimo secolo (Grace e Tilman, 1990), molti meccanismi concernenti l'assimilazione delle risorse native restano ancora oggi da chiarire (Harper 1982; Tilman, 1987). È, tuttavia, facile comprendere che l'intensità della competizione tra le piante è correlata a numerosi fattori, tra i quali svolgono un ruolo determinante: la quantità delle risorse disponibili, la densità degli individui in competizione, le caratteristiche morfologiche e fisiologiche di questi ultimi; normalmente, cresce all'aumentare del numero d'individui per unità di superficie e al diminuire della disponibilità delle risorse ambientali.

La risposta adattativa delle piante allo *stress* competitivo, comunemente definita *abilità competitiva*, può essere espressa in termini d'*effetto* o di *risposta* alla competizione (Goldberg, 1990; Miller e Werner, 1987). Nel primo caso si considera la capacità della pianta a sopprimere la crescita di altri individui attraverso la sottrazione delle risorse ambientali (Goldberg, 1990); nel secondo caso si considera, piuttosto, l'abilità della pianta a tollerare la scarsa disponibilità delle risorse ambientali (Coleman et al., 2001).

Per una migliore comprensione di questi concetti è necessario considerare il fenomeno competitivo sin dalle prime fasi di sviluppo delle plantule, ossia quando queste cominciano a colonizzare l'ambiente circostante, sovrapponendo i propri spazi biologici. In tali condizioni l'utilizzo concorrenziale delle risorse porta ben presto a una competizione di tipo asimmetrica, caratterizzata da retroazioni (feedbacks) positive per gli individui "dominanti" di dimensioni superiori. Quest'ultimi riescono, difatti, a reinvestire la maggiore quantità delle risorse assimilate in nuova crescita, conseguendo un continuo vantaggio competitivo nei confronti degli individui "subordinati".

Osservando in questa fase le ipotetiche distribuzioni di frequenza dei pesi e delle altezze degli individui, si nota come la prima ha un andamento asimmetrico con una "coda" protesa verso i valori di peso più alti, in ragione della differente abilità competitiva tra gli individui (*effetto della competizione*); la seconda è una distribuzione di tipo normale, poiché alcuni individui di peso minore rispondono alla pressione

competitiva sviluppandosi in altezza (*risposta alla competizione*) (Harper, 1977). Di conseguenza, nelle prime fasi di sviluppo i competitor mostreranno altezza relativamente uniforme e pesi molto diversi; in seguito con l'intensificarsi della reciproca azione di disturbo anche le altezze tenderanno a differenziarsi.

È interessante notare come nella competizione intraspecifica la differenza tra le altezze dei competitor resterà contenuta fino al termine del ciclo di sviluppo; viceversa in condizione di competizione interspecifica, gli individui mostreranno un accrescimento condizionato dalle caratteristiche genetiche (Catizone e Zanin, 2001) che controllano i caratteri morfologici, fisiologici e biochimici delle singole specie (Lemerle et al., 2001a).

## **1.2 La competizione per la luce**

Stabilire sperimentalmente in che modo la competizione per ciascuna risorsa incide sull'effetto competitivo complessivo non è semplice. Tuttavia, è facile comprendere che in condizioni di sufficiente disponibilità d'acqua e nutrienti le piante entrano in competizione solo per la risorsa luce (Kropff, 1993).

La luce differisce sensibilmente dalle altre risorse per disponibilità e modo d'uso da parte delle piante. La disponibilità è, infatti, strettamente correlata alle ore di luce giornaliera, all'esposizione orografica e alle condizioni meteorologiche; l'utilizzo avviene attraverso un processo istantaneo che non consente accumuli nel sistema pianta-ambiente (Kropff, 1993). L'abilità competitiva per tale risorsa è, pertanto, correlata a quei caratteri morfologici e fisiologici che riescono a massimizzare l'intercettazione della radiazione solare e l'efficienza d'uso della stessa. Un ruolo decisivo è svolto dall'altezza della pianta (Michael et al., 2008; Korres e Froud-Williams, 2002; Hucl, 1998; Champion et al., 1998; Cosser et al., 1997; Lemerle et al., 1996; Huel e Hucl, 1996; Garrity et al., 1992; Kwon et al., 1991; Wicks et al., 1986), dall'indice di superficie fogliare (LAI) (Seavers e Wright, 1999; Huel e Hucl, 1996), dall'angolo d'inserzione delle foglie sul culmo e dall'orientamento delle stesse (fillotassi) (Davies et al., 2004).

Generalmente, le piante alte sono più competitive poiché riescono a intercettare più luce rispetto a quelle ombreggiate a taglia ridotta (Lemerle et al., 2001a). Allo stesso

modo le specie con portamento fogliare orizzontale “*planofile*” e con alto indice di superficie fogliare, riescono a controllare nel modo migliore l’accesso alla luce manifestando un vantaggio competitivo nei confronti di quelle con foglie a portamento verticale “*erectofile*” e con basso indice di superficie fogliare (Davies et al., 2004; de Wit, 1965). Tuttavia, le specie planofile mostrano un progressivo ombreggiamento verso le foglie basali. Un effetto del tutto simile è determinato dallo spessore delle foglie; quelle più spesse schermano la luce in maniera più accentuata riducendo la quantità di radiazione in grado di raggiungere la base della pianta.

Un alto livello d’intercettazione della luce non può assicurare alcun vantaggio competitivo se a questo non è associata un’alta efficienza di utilizzazione della stessa (quantità di anidride carbonica fissata per unità di energia luminosa assorbita).

Al fine di massimizzare tale efficienza in particolari ambienti a clima caldo-arido, le specie  $C_4$  hanno evoluto specifici adattamenti morfo-fisiologici e biochimici che favoriscono l’attività carbossilasica a discapito di quell’ossigenasica, in modo da far prevalere la fotosintesi sulla foto-respirazione. In tali condizioni, le piante  $C_4$  mostrano alti livelli di saturazione fotosintetica (Ludlow, 1976; Bjorkman, 1973; Slatyer, 1970; Bull, 1969; Osmond et al., 1969), riuscendo a fissare quantitativi di  $CO_2$  compresi tra 10 a 90  $kg\ CO_2\ ha^{-1}h^{-1}$ , contro i 10 a 50  $kg\ CO_2\ ha^{-1}h^{-1}$  delle comuni  $C_3$  (van Keulen e Seligman, 1987; Goudriaan, 1982), manifestando così un grande vantaggio competitivo (Bjorkman, 1975, 1973).

Un altro importante carattere fisiologico correlato all’abilità competitiva delle piante è il punto di compensazione fotosintetico per la luce, cioè l’intensità luminosa alla quale la velocità della fotosintesi è uguale in valore assoluto alla velocità della respirazione. In tali condizioni tutta la sostanza organica prodotta è consumata con la respirazione e la “fotosintesi apparente” è uguale a zero. I valori del punto di compensazione variano in maniera rilevante da specie a specie. Il bilancio tra produzione e consumo di sostanza organica, per le specie a basso punto di compensazione, diventa attivo a un’intensità luminosa nettamente più bassa rispetto a quanto avviene per le specie con alto punto di compensazione. Pertanto le prime, in condizioni di ombreggiamento diventano più competitive.

In natura la diversità dei punti di compensazione può spiegare la successione di specie che trasformano un prato in un bosco. Nelle zone a clima temperato, difatti, un prato è una comunità vegetale instabile che tende spontaneamente a trasformarsi in foresta. Il processo inizia quando i semi di varie specie arboree cadono sul prato e germinano. Inizialmente sono favorite quelle specie che germinano bene in piena luce e che hanno un alto punto di compensazione. Quando queste avranno raggiunto un'altezza sufficiente, si creeranno le condizioni favorevoli per le specie dotate di basso punto di compensazione, in grado di germinare e crescere all'ombra.

### **1.3 La competizione per l'acqua**

L'acqua rappresenta, al pari della luce, una risorsa di estrema importanza per la crescita delle piante.

Le piante terrestri assorbono l'acqua dal terreno mentre l'umidità atmosferica può essere sfruttata in qualche caso eccezionale. Solo l'1,5% dell'acqua assorbita è trattenuta dalla pianta, il resto è rilasciato nell'atmosfera dalle foglie (in minor misura dalle altre parti della pianta) sotto forma di vapore, mediante la traspirazione (Longo, 1997).

Assorbimento e trasporto dell'acqua all'interno delle piante avvengono per differenza di potenziale osmotico, il quale assicura il graduale passaggio dal suolo all'atmosfera attraverso i tessuti vegetali con potenziale idrico sempre più negativo. La forza motrice del movimento è dunque la traspirazione fogliare che genera un richiamo continuo d'acqua lungo i vasi xilematici.

I tratti morfologici correlati all'abilità competitiva per questa risorsa sono facilmente riconoscibili nel gruppo delle xerofite (dal greco *xeros*=secco). Le specie appartenenti a questo gruppo sfruttano particolari modifiche anatomiche al fine di potenziare l'assorbimento radicale e contenere la traspirazione fogliare (Longo, 1997).

L'efficienza d'assorbimento dell'acqua è fondamentalmente correlata allo sviluppo dell'apparato radicale. Le specie provviste di radici espanse sono in grado di esplorare grandi volumi di terreno e quindi di attingere agevolmente la risorsa idrica anche in condizioni di disponibilità limitata, mostrando un vantaggio competitivo nei confronti

di quelle specie con apparato radicale superficiale. È proprio questa una delle peculiari caratteristiche che contraddistingue le xerofite. In queste specie spesso si assiste a uno sviluppo disarmonico tra radici e parte epigea.

La logica alternativa al grande sviluppo della superficie assorbente è la riduzione di quella traspirante. Le foglie delle piante che hanno seguito quest'adattamento evolutivo non hanno il normale aspetto laminare, ma tendono a diventare strette e lunghe in modo da ridurre le perdite d'acqua per traspirazione. Un caso estremo di questa tendenza è rappresentato dalle cactacee le quali sotto molti aspetti segnano un limite insuperabile nella resistenza alla siccità (Longo, 1997). In queste ultime le foglie sono trasformate in spine prive di attività fotosintetica, la quale è invece svolta da un fusto generalmente di forma sferica o cilindrica capace di accumulare grosse quantità d'acqua. Le foglie possono poi mostrare un aspetto coriaceo dovuto allo strato cuticolare che le riveste; in altri casi sono provviste di una fitta peluria epidermica, avente la funzione di limitare la radiazione assorbita e incrementare quella riflessa (Longo, 1997). L'epidermide in certi casi è formata da più di uno strato di cellule.

Alcune xerofite sono dotate di particolari tessuti meccanici, ossia fibre sottoepidermiche o *scleridi* del mesofillo, capaci di ridurre l'afflosciamento della foglia in caso di stress idrico (Longo, 1997).

L'abilità competitiva per la risorsa idrica è influenzata, oltre che dai suddetti adattamenti anatomici, anche da particolari meccanismi fisiologici, come quelli adottati dalle specie  $C_4$  al fine di mantenere prevalentemente chiusi gli stomi durante il giorno senza alterare la velocità di assimilazione dell'anidride carbonica.

Le piante con metabolismo CAM sono riuscite, piuttosto, a differenziare nel tempo il momento di entrata della  $CO_2$  nella foglia con quello della sua fissazione. Attraverso questa strategia possono tenere aperti gli stomi durante la notte, quando la temperatura è più bassa, e chiusi di giorno quando le condizioni di stress idrico diventano più probabili.

#### **1.4 La competizione per gli elementi nutritivi**

Il meccanismo di assimilazione degli elementi nutritivi può essere considerato simile a quello dell'acqua. Infatti, in condizioni di sufficiente disponibilità non si hanno effetti limitanti sullo sviluppo delle specie in competizione e le dimensioni dell'apparato radicale non influenzano il processo di assimilazione (van Noordwijk, 1983; Seligman e van Keulen, 1981), di conseguenza il meccanismo d'assorbimento tra gli individui di una popolazione vegetale equivale a quello di una vegetazione monospecifica. Quando la disponibilità dei nutrienti diventa limitante, ogni singola specie assimila una quota dell'assorbimento potenziale strettamente correlata allo sviluppo del proprio apparato radicale. In tali condizioni soltanto la frazione di nutrienti non utilizzata dagli individui più competitivi è resa disponibile a quelli meno competitivi.

Generalmente, gli elementi nutritivi si trovano distribuiti nel suolo in modo molto disomogeneo (Cain et al., 1999; Farley e Fitter, 1999; Jackson e Caldwell, 1993a, 1993b; Lechowicz e Bell, 1991; Ryel et al., 1996) al punto da determinare risposte diverse tra gli individui in competizione (Hodge, 2004; Robinson, 1994). Alcuni studi, ad esempio, hanno accertato rilevati incrementi dei tassi di crescita e di assorbimento radicale nelle zone ricche di nutrienti (Hodge, 2004; Robinson, 1994), d'intensità diversa secondo la specie considerata (Rajaniemi e Reynolds, 2004).

Nella competizione tra specie erbacee, è stato osservato che i competitor con tassi di assorbimento meno efficienti si dimostrano "dominanti" in terreni con disponibilità omogenea di nutrienti e tendono a divenire "subordinati" in quelli eterogenei (Fransen et al., 2001).

#### **1.5 La competizione tra le colture e le specie infestanti**

Tra i diversi tipi di competizione interspecifica merita particolare attenzione quella che insorge all'interno degli agro-ecosistemi, tra le colture agrarie e le erbe infestanti, ossia tra le specie coltivate e quelle "*nocive, prive di valore agronomico o almeno non desiderate in un particolare ambiente, tanto da richiedere un intervento specifico volto ad eliminarle*" (Goidanich, 1981).

La necessità di tenere sotto controllo le erbe infestanti ha origini remote. Già nel neolitico l'uomo, cominciando ad addomesticare le piante selvatiche, si trovò a dover discriminare specie utili da coltivare da specie meno utili o addirittura dannose alle prime.

Da allora il concetto d'infestante è mutato contemporaneamente ai cambiamenti delle abitudini alimentari e alla diffusione di sistemi colturali sempre più intensivi e specializzati. Così ad esempio, specie coltivate in passato hanno mutato il proprio valore agronomico divenendo nel corso del tempo infestanti. Si pensi a quelle essenze utilizzate un tempo come foraggio o verdure per il consumo umano, oggi considerate dannose all'interno dei moderni ordinamenti colturali.

Nel tempo sono cambiate anche le strategie di controllo della vegetazione spontanea; l'antico approccio agronomico, orientato verso la totale eliminazione dai campi coltivati, è stato recentemente sostituito dall'obiettivo di mantenere nel tempo fitocenosi spontanee quantitativamente basse ma qualitativamente diverse. La complessità botanica delle diverse associazioni floristiche tende, difatti, a contenere l'aggressività delle erbe infestanti nei confronti della coltura (Benvenuti et al., 2005; Hyvonen e Salonen, 2001). Tuttavia, i ripetuti impatti sulla vegetazione spontanea, determinati dalle pratiche agricole convenzionali e i cambiamenti associati all'intensificazione dell'uso del territorio (Petit, 2009; Petit e Firbank, 2006; Tschardt et al., 2005; Benton et al., 2003) hanno causato la scomparsa o la rarefazione delle specie che meno hanno tollerato la pressione esercitata dall'uomo e la contemporanea diffusione di quelle che hanno saputo trarre vantaggio dal disturbo antropico. Le fitocenosi dei campi coltivati si sono, così, gradualmente semplificate (Fried et al., 2009; Hyvonen, 2007; Baessler e Klotz, 2006; Preston et al., 2002; Sutcliffe e Kay, 2000; Andreasen et al., 1996) incrementando le problematiche connesse alla competizione delle malerbe.

La composizione delle associazioni floristiche non è casuale ma profondamente influenzata da numerosi fattori, tra i quali svolgono un ruolo determinante: le condizioni climatiche, le agrotecniche applicate e l'interazione competitiva tra le singole specie.

I fattori climatici sono generalmente abbastanza stabili e condizionano la distribuzione geografica delle singole specie in funzione delle loro esigenze ecologiche. I fattori riguardanti l'agrotecnica dipendono dalla coltura praticata, sono molto meno stabili e in molti casi condizionano direttamente o indirettamente i periodi di emergenza della coltura, delle infestanti e i relativi ritmi di crescita (Norsworthy e Oliveira, 2004). A questi appartengono: l'epoca e il tipo di lavorazioni del terreno, l'epoca di semina e di raccolta della coltura, il tipo di concimazione e le strategie applicate per il controllo delle erbe infestanti.

Il processo competitivo tra le diverse specie influenza la capacità associativa delle infestanti e l'azione di disturbo che queste esercitano nei confronti del soggetto colturale.

All'interno di questo complesso meccanismo svolge un ruolo decisivo, l'affinità morfologica, fisiologica e biologica che insorge tra la coltura e le infestanti. Alcune avventizie definite "imitatrici" riescono, difatti, a sincronizzare il loro ciclo con quello della coltura; altre modificano il loro habitus vegetativo rendendolo simile a quello della specie coltivata; in tali condizioni l'adattamento a specifiche colture può raggiungere livelli così elevati da farle convenientemente classificare come infestanti "satelliti".

L'esistenza di queste forme di specializzazione spiega come molte specie sono in grado di coesistere senza grosse difficoltà all'interno dei campi coltivati riunite in tipiche associazioni alle quali è attribuito il nome dal genere più rappresentativo. Tipiche delle colture cerealicole autunno-primaverili sono, ad esempio, le associazioni di: *Camomilla*, *Scandix* o *Papaver*. Mentre tipiche associazioni delle colture sarchiate a ciclo primaverile-estivo sono quelle di: *Spergula*, *Chenopodium* o *Digitaria*. Altre forme di specializzazione si rinvencono nei campi di lino in cui è favorita l'espressione di *Camelina alyssum* e *Lolium remotum*. Alcune fanerogame parassite, come le orobanche o le cuscute, sono piuttosto condizionate dalla presenza della coltura ospite.

Le problematiche legate alla diffusione della flora infestante sono accentuate dalla capacità di adattamento, attraverso la quale molte specie riescono a diffondersi con

estrema rapidità, senza essere danneggiate né dalle operazioni colturali né da fattori naturali avversi. Inoltre, la lunga vitalità del seme e, in certi casi, la produzione di propaguli perennanti (stoloni, rizomi, ecc.) assicurano la perpetuazione nei campi di tali specie, rendendone difficile la soppressione definitiva.

La competizione tra coltura ed erbe infestanti è fondamentale influenzata: dalla densità degli individui in competizione, dalle loro caratteristiche morfologiche e fisiologiche, nonché dal tempo di emergenza (Otto et al., 2009; Didon, 2002) e permanenza in campo di queste ultime.

### 1.6 Indici di determinazione della competizione coltura-infestante

Gli approcci metodologici per studiare e misurare l'effetto competitivo tra gruppi di piante appartenenti a specie diverse possono essere distinti in: a) complementarietà nell'uso delle risorse condivise; b) abilità competitiva; c) severità della competizione.

In base a questa suddivisione sono stati messi a punto diversi *Indici di complementarietà ed Indici di competizione*.

1) Per verificare se esiste competizione tra due entità interagenti (individui o gruppi d'individui) e valutare il grado con il quale essa si manifesta, può essere utilizzato l'indice di complementarietà nell'uso delle risorse, *RYT* (Relative Yield Total – resa relativa totale), proposto da (Fetene, 2003). Anche se questo indice nasce per la determinazione della complementarietà d'uso delle risorse tra colture consociate, con una leggera forzatura può dare indicazioni utili riguardo all'interazione competitiva esistente tra la coltura e le infestanti.

Date le specie *i* e *j*:

$$RYT = RYi + RYj = \frac{Y_{ij}}{Y_{ii}} + \frac{Y_{ji}}{Y_{jj}}$$

dove: *RYT* indica la resa relativa totale, ottenuta come somma della resa relativa della specie *i* (*RYi*) e della specie *j* (*RYj*); *Y* indica la produzione di biomassa per unità di superficie rispettivamente della specie *i* in competizione con *j* (*Y<sub>ij</sub>*) e della specie *j* in competizione con *i* (*Y<sub>ji</sub>*) rispetto ai valori delle relative specie allevate in purezza (*Y<sub>ii</sub>*) e (*Y<sub>jj</sub>*).

Valori di  $RYT=1$  indicano piena competizione tra le specie e assenza di complementarità nell'uso delle risorse.

Valori di  $RYT=2$  indicano assenza di competizione tra le specie, in altre parole piena complementarità nell'uso delle risorse.

Con  $1 < RYT < 2$  vi è competizione parziale tra le specie, ossia parziale complementarità nell'uso delle risorse.

2) Esistono due modi fondamentali per definire l'abilità competitiva della coltura nei confronti delle erbe infestanti, valutando: *a*) la capacità della coltura di contenere le perdite di resa causate dalla pressione competitiva (*AWC* - Crop Withstand Ability) e *b*) la capacità della coltura di sopprimere le erbe infestanti (*AC* - Crop Ability) (Goldberg e Landa, 1991; Jordan, 1993).

Alcuni autori (Lemerle et al., 2001a) consigliano di valutare separatamente queste due condizioni, in quanto possono verificarsi contemporaneamente o separatamente.

Per tale scopo sono spesso utilizzati i seguenti indici di determinazione (Watson et al., 2002):

$$AWC = \left( \frac{V_i}{V_p} \right) \times 100$$

dove:  $V_i$  è la resa della coltura allevata in presenza di infestanti;  $V_p$  è la resa della coltura allevata in assenza di infestanti.

Molti altri indici sono stati proposti in letteratura per determinare la competizione tra specie diverse. Tra questi grande interesse rivestono gli indici: *CE* (Crop equivalent - Wilson, 1986); *A* (Aggressivity - McGilchrist e Trenbath, 1971); *CI* (Competitive Ability Index - Zand, 2000); *CI2* (Competitive Ability Index - Zand, 2000); *Lw* (Kropff e Spitters, 1991).

3) L'indice *CE* (Crop Equivalent) proposto da Wilson nel 1986, consente di valutare l'abilità competitiva della coltura *b* nei confronti dell'infestante *a* attraverso la seguente equazione:

$$CE = \frac{Wab}{Wbb}$$

dove:  $W_{ab}$  rappresenta il peso della biomassa prodotta dalla coltura allevata in presenza delle erbe infestanti;  $W_{bb}$  rappresenta il peso della biomassa prodotta dalla coltura in assenza di competizione. Valori di  $CE$  uguali a 1 indicano assenza di competizione; valori uguali a zero indicano piena competizione.

4) L'indice  $A$  (Aggressivity) proposto da McGilchrist e Trenbath nel 1971, consente di determinare l'aggressività competitiva delle infestanti attraverso la seguente equazione:

$$A = \text{Aggressivity} = \frac{W_{ab}}{W_{aa}} - \frac{W_{ba}}{W_{bb}}$$

dove:  $W_{aa}$  e  $W_{bb}$  rappresentano i pesi delle biomasse prodotte rispettivamente dalle specie  $a$  (weed) e  $b$  (crop) allevate in purezza, mentre  $W_{ab}$  e  $W_{ba}$  i pesi delle biomasse prodotte rispettivamente dell'infestante  $a$  e dalla coltura  $b$  in competizione tra loro. Valori uguali a zero indicano che le specie hanno la stessa abilità competitiva; valori diversi da uno indicano una differente abilità competitiva tra le specie.

5) L'indice  $CI$  (Competition Index) proposto da Zand nel 2000, consente di valutare l'abilità competitiva di una cultivar in funzione delle rese medie di un gruppo di cultivar in studio:

$$CI = \frac{\frac{V_i}{V_{mean}}}{\frac{W_i}{W_{mean}}}$$

dove:  $V_i$  rappresenta la resa della cultivar  $i$  allevata in presenza delle erbe infestanti;  $V_{mean}$  è la resa media delle cultivar in studio allevate in presenza delle infestanti;  $W_i$  la biomassa della cultivar  $i$ ;  $W_{mean}$  è la media della biomassa prodotta da tutte le cultivar.

6) L'indice  $CI2$  (Competition Index2) (Zand, 2000) consente di valutare l'abilità competitiva di una cultivar in funzione delle rese medie di un gruppo di cultivar in studio e la produzione di seme delle infestanti:

$$CI2 = \frac{\left(\frac{V_i}{V_{mean}}\right)}{\left(\frac{S_i}{S_{mean}}\right)}$$

dove:  $S_i$  è la produzione di seme prodotto dalle erbe infestanti in competizione con la cultivar  $i$ ;  $S_{mean}$  rappresenta la produzione di seme prodotto dalle erbe infestanti in competizione con tutte le cultivar.

7) L'indice di  $Lw$  (Kropff e Spitters, 1991) valuta l'abilità competitiva in relazione all'indice di superficie fogliare della coltura e dell'infestante, attraverso l'equazione:

$$Lw = \frac{LAIw}{LAIw + LAIc}$$

dove:  $Lw$  rappresenta l'area fogliare relativa dell'infestante;  $LAIw$  e  $LAIc$  sono rispettivamente gli indici di superficie fogliare dell'infestante e della coltura.

### 1.7 Danni causati dalle infestanti

Il danno che le erbe infestanti causano alle colture agrarie si materializza, fondamentalmente, attraverso la riduzione delle rese (Oerke, 2006). Per avere un'idea globale, circa il 10% delle perdite di produzione agricola nel mondo è attribuito al disturbo competitivo che le erbe infestanti esercitano sulle colture agrarie (Zimdahl, 1980).

In assenza di controllo, le perdite di resa possono oscillare tra il 10 e il 100% in funzione dell'abilità competitiva della coltura (van Heemst, 1985) e delle infestanti, dalla loro densità e dal periodo in cui si genera la competizione. In alcune colture come il frumento, ad esempio, sono state registrate riduzioni di resa del 25% circa (Montazeri et al., 2005).

L'azione di disturbo esercitata dalle erbe infestanti è fondamentalmente ascrivibile al fenomeno competitivo per l'utilizzo delle risorse trofiche (luce, acqua ed elementi nutritivi) (Grichar, 2006; Soufizadeh e Zand, 2004; Olesen et al. 2004; Powles et al. 1997) e all'azione allopatrica di molte specie nei confronti della coltura o della microflora tellurica. Non mancano, tuttavia, i casi in cui specie rampicanti, come: convolvoli, vecchie o "attaccamani" (*Galium* spp. L.), possono favorire allettamenti, ritardi di maturazione o condizioni di ristagno idrico che favoriscono attacchi di crittogame. Altre specie, come cuscute e orobanche, esercitano parassitismo specifico nei confronti di alcune specie leguminose, compromettendo talvolta l'inserimento di queste ultime negli avvicendamenti colturali.

Questo tipo di danni può essere associato allo scadimento qualitativo delle produzioni. La presenza di certe avventizie può, difatti, causare l'inquinamento delle partite di semente, contraendone il valore commerciale fino a impedirne la

commercializzazione; altre specie come *Pigri hieracioides* L. e *Setaria faberi* L. possono conferire sapori sgradevoli alle farine alimentari o rendere economicamente poco conveniente la raccolta di orticole da foglia quali insalate, bietole o spinaci, a causa degli elevati costi di cernita manuale. In altri casi, specie non pabulari, tossiche o velenose possono alterare la qualità delle risorse foraggere compromettendo l'appetibilità e la salute degli animali.

Alcune specie, oltre ad essere vettori di potenziali patogeni, fitofagi o virus delle piante coltivate, possono rendere più difficoltosa con la loro presenza alcune lavorazioni, specie la raccolta meccanica, provocando rallentamenti e ingolfamenti degli organi trebbianti. Infine, la presenza di particolari specie, come gramigna, cardi e stoppioni, può diminuire il valore di mercato dei terreni agricoli.

Le perdite di resa che la coltura può subire, e di conseguenza la convenienza economica di eventuali interventi di controllo, possono essere valutati attraverso particolari modelli matematici predittivi. A tale scopo si presta bene il modello proposto da Cousens nel 1985, che mette in relazione le perdite di resa con la densità delle erbe infestanti, attraverso la seguente espressione:

$$YL = \frac{iD}{1 + \frac{iD}{a}}$$

in cui:  $YL$  rappresenta la perdita percentuale di resa,  $D$  la densità delle malerbe,  $i$  la pendenza iniziale della curva del modello ed  $a$  la perdita di resa massima osservabile con densità molto alte di infestazione. È facile intuire che all'aumentare della densità delle malerbe cresce gradualmente la perdita di resa fino al raggiungimento del valore massimo e viceversa.

La riduzione di resa tuttavia è correlata, oltre che alla densità delle infestanti, anche alla fase del ciclo colturale in cui insorge la competizione. Pertanto, è possibile individuare un periodo durante il quale la presenza delle infestanti reca effettivamente danno alla coltura (Periodo Critico).

Per una migliore comprensione di tale periodo è necessario distinguere il caso in cui le malerbe emergono contemporaneamente alla coltura e permangono per un periodo di tempo più o meno lungo; e il caso in cui le malerbe sono assenti durante le prime fasi del ciclo colturale e l'inizio della competizione si verifica solo qualche tempo dopo

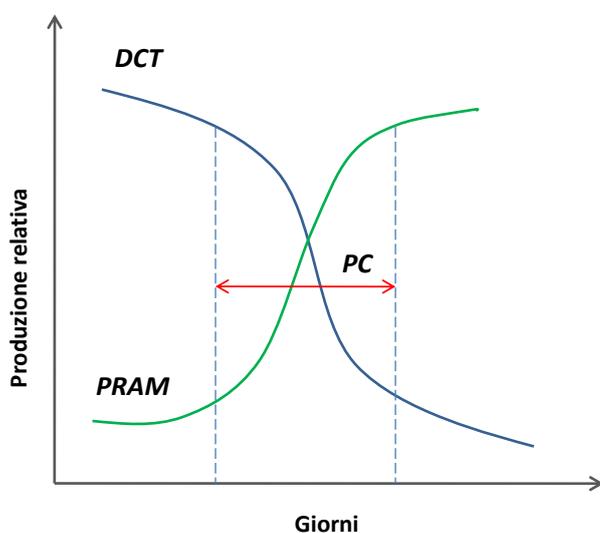
(Knezevic et al., 2002; Nieto et al., 1968). Nel primo caso, all'aumentare del tempo di permanenza delle infestanti si verifica una progressiva flessione della produzione, per cui fissando un livello di perdita economica tollerabile è possibile individuare una fase definita durata della competizione tollerata (DCT); nel secondo caso, al progressivo ritardo d'emergenza delle infestanti è associato un graduale incremento di resa, per cui è possibile identificare una fase oltre la quale nuovi flussi di emergenza non hanno alcuna influenza sulle rese o causano perdite tollerabili (PRAM). Relazionando questi due parametri ai corrispondenti decrementi di produzione si individua il periodo critico (PC), ossia il periodo di crescita della coltura durante il quale è indispensabile limitare la competizione delle malerbe al fine di contenere le perdite di resa entro una soglia limite accettabile (Knezevic et al., 2002; Nieto et al., 1968; Van Acker et al., 1993; Weaver e Tan, 1987).

Il PC è strettamente influenzato da molteplici fattori ambientali e colturali, come: la densità delle infestanti (Knezevic et al., 2002; Martin et al., 2001; Sattin et al., 1992; Wilson e Westra, 1991; Beckett et al., 1988), i relativi tempi di emergenza (Mclachlan et al., 1993a, b; Wilson e Westra, 1991), la composizione della flora infestante (Sibuga e Bandeen, 1980; Swinton et al 1994; Zimdahl, 1988), l'intensità della luce disponibile (Retta et al 1991 Zimdahl, 1988), la specie colturale e la varietà (Bairamkenga e Leroux, 1994; Ford e Pleasant, 1994; Van Acker et al 1993), la densità d'impianto (Mclachlan et al 1993a, b; Moomaw e Martin, 1984; Wilson e Westra, 1991), la temperatura e l'umidità del suolo (Duke, 1985; Mclachlan et al, 1993a, b; Retta et al, 1991), la fertilità del suolo (Van Acker et al, 1993; Duke, 1985; Evans et al, 2003; Papamichail et al., 2002) e l'epoca di semina della coltura (Zimdahl, 1988).

Comunemente il periodo critico si esprime in giorni dopo l'emergenza (Norsworthy e Oliveira 2004) o settimane dopo la semina (Everman et al. 2008). Tuttavia, considerata la stretta correlazione con le condizioni climatiche (Knezevic et al., 2002; Hall et al., 1992), alcuni autori hanno preferito esprimerlo in "gradi giorno" (GGD) o in stadio di sviluppo della coltura (Halford et al. 2001), rendendo così possibile la comparazione di valori stimati in luoghi diversi (Evans et al., 2003; Knezevic et al., 2003; Van Acker et al., 1993).

La conoscenza del periodo critico consente di: individuare il momento adatto per la semina di eventuali colture di copertura (Martin et al., 2001), ottimizzare il momento d'intervento per il controllo delle infestanti (Hall et al., 1992; Martin et al., 2001) e riducendo le perdite di resa, i costi economici e ambientali annessi.

Il periodo critico alle infestanti è stato già individuato in molte colture, quali: il mais (Hall et al., 1992), la patata (Ahmadvand et al., 2009), il cece (Mohammadi et al., 2004), il cotone (Bukun, 2003), il peperoncino (Amador-Ramírez, 2002), il colza (Martin et al., 2001), il fagiolo (Ngouajio et al., 1997), ecc.



Generalmente, tale periodo, inizia poche settimane dopo le emergenze in coincidenza delle prime fasi di sviluppo vegetativo (Martin et al., 2001; Halford et al., 2001; Van Acker et al., 1993; Hall et al., 1992; Weaver e Tan, 1983). Così per esempio, nella soia (*Glycine max* L.), può iniziare già nove giorni dopo l'emergenza (Van

Acker et al., 1993), nel mais (*Zea Mays* L.), tra ventuno e ventotto giorni, quando le piante si trovano allo stadio di sviluppo di terza-quarta foglia (Coxe et al., 2006; Evans et al., 2003; Hall et al., 1992).

### 1.8 Abilità competitiva delle colture

La pressione esercitata dalle erbe infestanti all'interno degli agro-ecosistemi rende, dunque, indispensabile l'attuazione di adeguate strategie di controllo, che nella maggior parte dei casi fanno ricorso all'uso di prodotti chimici di sintesi. Tuttavia il crescente interesse verso un'agricoltura di tipo ecosostenibile ha determinato la rivalutazione dei mezzi di controllo non chimico.

In tale contesto assumono grande importanza le scelte colturali in grado di rendere più competitiva la coltura, come: scelta della cultivar (Huel e Hucl, 1996; Lemerle et al.,

1996); epoca di semina o di trapianto (Joenje e Kropff, 1987); la densità d'investimento (Grevsen, 2003; Paolini et al., 2003; Korres e Froud-Williams, 2002); avvicendamenti e consociazioni colturali (hartl 1989); tipo di lavorazione del suolo (Bàrberi et al., 2000) ed epoca di distribuzione del fertilizzante azotato (Gonzales Ponce e Santin, 2001).

La possibilità di utilizzare varietà più competitive nei confronti delle erbe infestanti arricchisce le possibilità di controllo integrato già esistenti e consente il raggiungimento di un più soddisfacente livello di controllo, pur ricorrendo a *input energetici* ridotti o addirittura nulli.

Una coltura più competitiva è in grado di contrastare efficacemente l'emergenza e lo sviluppo della flora spontanea, esaltando di conseguenza l'efficacia degli interventi di controllo che in condizioni normali sarebbero solo parzialmente risolutivi, come i trattamenti diserbanti a dose ridotta.

Cultivar di elevato valore agronomico e dotate di superiore abilità competitiva nei confronti delle malerbe sono state già individuate per diverse colture, quali: barbabietola da zucchero (Lotz et al., 1991), cartamo (Paolini et al., 1998), frumento tenero (Wicks et al., 1986; Balyan et al., 1991; Satorre e Snaydon, 1992; Gooding et al., 1993; De Lucas Bueno e Froud-Williams, 1996; Lemerle *et al.*, 2001b), frumento duro (Paolini et al., 2002), lenticchia (Faustini et al., 2004), orzo (Satorre e Snaydon, 1992; Christensen, 1995; Dhima et al., 2000; Didon e Boström, 2003; Hansen, 2002), patata (Yip et al., 1974; Mirabelli et al., 2003), pisello (Grevsen, 2003; Mc Donald, 2003), soia (Paolini et al., 1992) e costituiscono un valido strumento di controllo integrato a disposizione dell'agricoltore.

La differente abilità competitiva delle varietà coltivate è correlata con alcuni caratteri facilmente determinabili, tra i quali il principale sembra essere la produzione di biomassa a stadi precoci di sviluppo (Cousens et al., 2003). I genotipi con i più alti ritmi di crescita nelle prime fasi di sviluppo (generalmente 4-6 settimane successive all'emergenza della coltura) sono di solito i più competitivi, in quanto riescono ad assimilare una maggiore quantità di risorse disponibili nell'unità di tempo (Botwright et al., 2002; Lopez Castaneda e Farquhar, 1995; Rebetzke e Richards, 1999).

Altri caratteri associati alla superiore abilità competitiva delle cultivar sono: l'*habitus* di crescita, l'architettura fogliare e la conformazione della *canopy* (Brougham, 1958; Lotz et al., 1991), l'altezza della pianta, la posizione dei frutti e l'altezza da terra della prima fruttificazione fertile (Paolini et al., 2006) e la capacità d'accestimento (Korres e Froud-Williams, 2002; Hulc, 1998; Lemerle et al., 1996).

Attualmente, su numerose specie di grande interesse agricolo è già possibile sfruttare per fini pratici molta della variabilità genetica disponibile nel patrimonio varietale esistente. Tuttavia, per il futuro è auspicabile acquisire nuove informazioni concernenti i meccanismi e le dinamiche che regolano la competizione tra individui diversi (colture vs infestanti), in modo da poter avviare adeguati programmi di miglioramento genetico, volti alla costituzione di varietà sempre più competitive.

Tra tutte le pratiche agricole, l'epoca di semina sembra avere un'importanza fondamentale, in quanto influenza direttamente: la composizione, la densità, il tempo di emergenza e l'accrescimento relativo della flora infestante (Norsworthy e Oliveira, 2004); pertanto, in molti casi, può contribuire a migliorare l'efficienza delle tecniche adottate per il controllo e il contenimento delle malerbe.

### **1.9 Scopo della ricerca**

Studiare i rapporti di competizione che si instaurano tra le specie infestanti e alcune colture erbacee inserite nei sistemi colturali mediterranei risulta di fondamentale importanza sia in regime convenzionale sia in regime biologico. Nei primi, infatti, l'uso dei diserbanti chimici, oltre a determinare un consistente impatto ambientale e potenziali interazioni con la salute degli operatori e dei consumatori, determina la selezione di specie resistenti ai principi chimici impiegati nella lotta; nei secondi le problematiche concernenti il controllo delle malerbe diventano molto più complesse date l'impossibilità di utilizzare i prodotti chimici di sintesi.

La conoscenza degli aspetti correlati all'abilità competitività nelle specie coltivate, consente senza dubbio di migliorare l'efficienza delle strategie di controllo delle malerbe e al contempo di ridurre la quantità degli input energetici impiegati e, quindi, il costo economico e ambientale.

Pertanto, al fine di acquisire informazioni sull'abilità competitiva di alcune colture tipiche degli agroecosistemi mediterranei, nel triennio di attività, sono state condotte alcune prove sperimentali di campo, con lo scopo di:

1. individuare il periodo critico (PC) per il controllo delle infestanti in alcune leguminose da granella tipiche dell'ambiente mediterraneo (favino e cece), attraverso la stima a) durata della competizione tollerata (DCT) e del b) periodo richiesto di assenza delle malerbe (PRAM);
2. valutare l'abilità competitiva per le risorse native di alcuni genotipi di frumento duro, differenti per caratteristiche morfo-strutturali e fisiologiche ed allevati in presenza ed in assenza di competizione simulata con *Avena sativa*, attraverso la stima dell'efficienza di utilizzazione dell'azoto ed il monitoraggio delle perdite di resa indotte dalla presenza del competitor;
3. individuare i caratteri morfologici e fisiologici del frumento correlati con la diversa abilità competitiva.

# **Parte sperimentale**

## Capitolo 2

### Individuazione del periodo critico per il controllo delle infestanti in leguminose da granella tipiche dell'ambiente Mediterraneo

#### 2.1 Premessa

Le leguminose da granella hanno svolto fin dal passato un ruolo di fondamentale importanza per le aree rurali dell'entroterra siciliano. Il largo interesse per queste colture è giustificato dalle profonde modificazioni che determinano su molteplici fattori, processi e meccanismi concorrenti all'effetto "*precedente colturale*", quali: disponibilità dei nutrienti, attività microbica, disponibilità idrica, controllo delle infestanti, incidenza dei parassiti (crittogame e nematodi) e presenza di sostanze stimolanti la crescita originate dalla decomposizione dei residui colturali (Stringi et al. 2003).

L'effetto precedente colturale si manifesta con incrementi produttivi delle colture in successione (Kumar e Goh, 2002; Lopez-Bellido, 2001; Schulz et al., 1999b; Dalal et al., 1998; Dakora e Keya, 1997; Armstrong et al., 1997; Postiglione et al., 1995; Giardini et al., 1995; Karlen et al., 1994; Marcellos e Felton, 1992; MacColl, 1989; Chapman e Myers, 1987).

In studi condotti in Sicilia (Giambalvo et al., 1999), le rese del frumento in successione a fava sono state mediamente superiori del 30% rispetto alla monosuccessione cerealicola.

Nonostante tutto negli ultimi cinquant'anni, la superficie destinata a tali colture ha mostrato una profonda contrazione, dovuta prevalentemente: ai modesti risultati economici ottenibili dalla coltivazione, ai grandi cambiamenti degli indirizzi produttivi aziendali e alla massiccia importazione di farina di soia per l'alimentazione animale in sostituzione alle tradizionali leguminose da granella.

La tendenza attuale è caratterizzata, comunque, da una loro crescente rivalutazione, soprattutto nei sistemi produttivi in regime biologico, all'interno dei quali le

leguminose contribuiscono significativamente alla riduzione degli input energetici ausiliari di sintesi.

Gli investimenti in Sicilia nel 2009 sono stati di 14.060 ettari per il favino e 1.662 ettari per il cece, con produzioni totali rispettivamente di 272.570 e 22.297 quintali (ISTAT).

Tra le avversità naturali in grado di compromettere la produzione di tali colture un peso rilevante è attribuito all'effetto competitivo delle erbe infestanti che può causare perdite oscillanti tra il 5 e il 100%, in funzione del binomio specifico coltura-infestante, del periodo in cui si verifica la competizione e delle condizioni pedoclimatiche; studi condotti in Iran su cece, in condizione d'infestazione, hanno evidenziato riduzioni medie di resa del 57% (Mohammadi et al., 2005).

Alti livelli di resa possono essere, dunque, ottenuti solo attraverso l'adozione di adeguate strategie di controllo della flora infestante, che nella maggior parte dei casi fanno ricorso al mezzo chimico convenzionale.

Le tematiche inerenti quest'argomento, oggi più che mai, sono fonte d'intense discussioni di natura agronomica e ambientale. L'uso indiscriminato di erbicidi causa, difatti, notevoli impatti sull'ambiente, potenziali interazioni con la salute dei consumatori e fenomeni di resistenza delle infestanti ai principi attivi utilizzati (Zand et al., 2006; Heap, 2004; Thill and Lemerle, 2001). Queste problematiche hanno condotto ad un'attenta riconsiderazione della competizione coltura-infestante e alla graduale conversione del concetto di "lotta" in "controllo" e più recentemente in "gestione" delle erbe infestanti.

In tale contesto, la conoscenza del *periodo critico per il controllo delle infestanti* rappresenta un valido strumento per migliorare l'efficienza degli interventi di controllo integrato e convenzionale, riducendo contemporaneamente i costi economici e ambientali annessi.

Il periodo critico per il controllo delle infestanti, determinato per diverse colture, può essere utilizzato per ottimizzare le strategie di controllo delle infestanti, come l'applicazione di erbicidi in post-emergenza (Hall et al., 1992; Martin et al., 2001) e per individuare il momento migliore per seminare le cover-crop (Martin et al., 2001). Tuttavia, diversi studi hanno dimostrato che il periodo critico per il controllo delle

infestanti può variare in funzione di diversi fattori, tra cui: le caratteristiche morfo-fisiologiche delle colture e delle infestanti, le condizioni ambientali (Hall et al., 1992; Mohamed et al., 1997; Knezevic et al., 2002), i flussi di emergenza e la densità delle infestanti (Martin et al., 2001; Knezevic et al., 2002).

Secondo Weaver e Tan (1987), la durata del periodo massimo di infestazione dipende da quanto velocemente le malerbe cominciano a competere con la coltura per luce, acqua e sostanze nutritive, mentre la durata del periodo di minimo di assenza delle malerbe, a sua volta, dipende da velocità di crescita della coltura e dai flussi di emergenza delle infestanti. Tali autori hanno rilevato che il periodo critico per il controllo delle infestanti nel pomodoro è stato più lungo, cioè il periodo massimo di infestazione è stato più breve o il periodo minimo di assenza di malerbe più lungo, in un'annata caratterizzata da maggiori precipitazioni rispetto ad una asciutta, probabilmente a causa della migliore efficienza di utilizzazione delle risorse da parte delle malerbe rispetto alla coltura.

L'obiettivo della presente ricerca è stato quello di determinare gli effetti della competizione delle infestanti sulla risposta di due genotipi di leguminose da granella tipiche dell'ambiente mediterraneo, individuare il periodo critico per il controllo delle infestanti; informazione questa essenziale per pianificare efficaci strategie per il controllo della malerbe.

## 2.2 Materiali e metodi

La prova è stata condotta nell'annata agraria 2007/2008, presso l'azienda Pietranera (S. Stefano Quisquina - AG) della Fondazione A. e S. Lima Mancuso, sita in un tipico ambiente dell'area interna siciliana (37°33'N – 13°30'E, 170 m s.l.m.). Il suolo della sperimentazione afferisce al gruppo Vertic Haploxerept (SSS, 1999) ed ha le seguenti caratteristiche: argilla 38%, limo 25%, sabbia 37%, pH 8,4, sostanza organica 1,27%, azoto totale 0,85%.

Il terreno sede della prova, precedentemente coltivato a frumento duro, è stato arato in estate (ad una profondità di 25 cm) e successivamente erpicato, dopo le prime piogge autunnali e prima della semina, al fine di eliminare la flora infestante emersa, preparare il letto di semina e interrare i concimi fosfatici distribuiti (92 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>).

Per la semina, effettuata a file continue distanti 32 cm il 05/01/2008, sono stati impiegati 50 semi germinabili m<sup>-2</sup> per il favino (cv. Sikelia) e 60 semi germinabili m<sup>-2</sup> per il cece (cv. Sarah). Al fine di determinare una elevata presenza di erbe infestanti, la seed-bank delle malerbe è stata ampliata distribuendo a spaglio, in coincidenza della semina delle colture, circa 200 semi m<sup>-2</sup> di un miscuglio costituito da *Sinapis* spp., *Lolium* spp. e *Brassica* spp., infestanti queste tipiche dell'ambiente di prova.

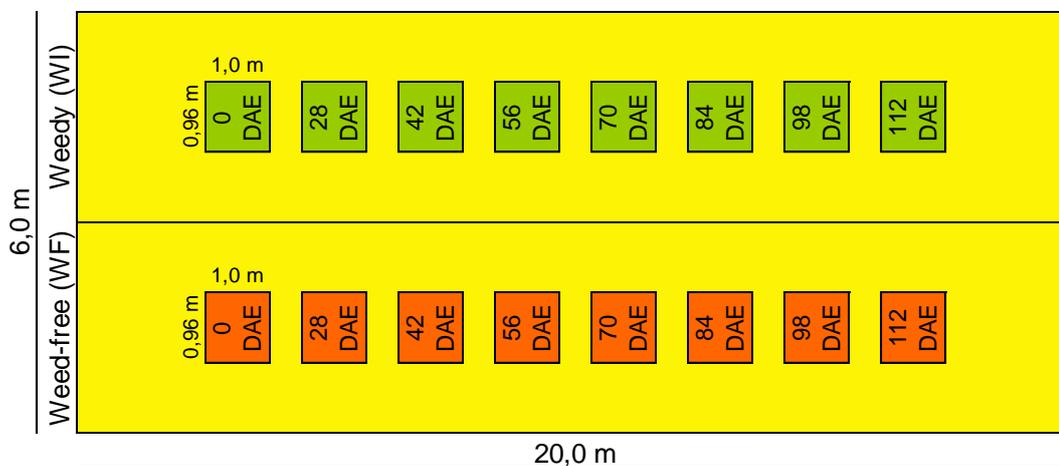
Al fine di determinare il periodo critico per il controllo delle infestanti (PC), sono stati pianificati differenti trattamenti (16 in totale); in un set di 7 trattamenti (WF) è stata progressivamente dilazionata l'emergenza delle infestanti mantenendo le colture libere da competizione dall'emergenza fino a tempi programmati (28, 42, 56, 70, 84, 96, 112 giorni dall'emergenza - DAE). In un altro set di 7 trattamenti (WI) le colture hanno subito la competizione fin dall'emergenza per periodi differenziati intervenendo, eliminando le malerbe, a 28, 42, 56, 70, 84, 96, 112 giorni dall'emergenza (DAE). Con il primo set di trattamenti è stato possibile identificare il tempo oltre il quale l'emergenza di nuove infestanti non ha più alcuna influenza sulla produzione o, tutt'al più, determini perdite tollerabili; con il secondo set di trattamenti è stato possibile individuare il periodo di permanenza delle infestanti in grado di determinare livelli di perdite produttive tollerabili. Sono stati inoltre realizzati due trattamenti di controllo, in cui le colture sono state mantenute, rispettivamente, libere

da infestanti per tutto il ciclo culturale (WFC) e permanentemente infestate (WC) (Tab. 2.1).

**Tab. 2.1 - Trattamenti realizzati**

WC	controllo infestato (WF 0 DAE)	WFC	controllo libero da infestanti (WI 0 DAE)
WF 28	assenza di infestanti per 28 DAE	WI 28	infestazione per 28 DAE
WF 42	assenza di infestanti per 42 DAE	WI 42	infestazione per 42 DAE
WF 56	assenza di infestanti per 56 DAE	WI 56	infestazione per 56 DAE
WF 70	assenza di infestanti per 70 DAE	WI 70	infestazione per 70 DAE
WF 84	assenza di infestanti per 84 DAE	WI 84	infestazione per 84 DAE
WF 98	assenza di infestanti per 96 DAE	WI 98	infestazione per 96 DAE
WF 112	assenza di infestanti per 112 DAE	WI 112	infestazione per 112 DAE

È stato adottato un disegno sperimentale a blocchi randomizzati con quattro repliche e parcella elementare di 120 m<sup>2</sup> (6 m x 20 m). In ciascuna parcella elementare sono state delimitate 16 aree di 0,96 m<sup>2</sup> (0,96 m x 1,00 m) in cui sono state realizzati i trattamenti pianificati precedentemente descritti (Fig. 2.1).



**Fig. 2.1 – Parcella elementare**

Per singola specie, in coincidenza dell'intervento di eliminazione delle infestanti, ove previsto, sono stati condotti i seguenti rilievi: numero e peso delle infestanti distintamente per singola specie; allettamento (entità e percentuale); altezza delle piante, ricoprimento generale e specifico del suolo. Analoghi rilievi sono stati condotti a maturazione delle colture su tutte le unità sperimentali; inoltre, sempre a

maturazione, sono stati rilevati: altezza di inserzione del primo baccello; numero di baccelli per unità di superficie; numero di semi per baccello; peso unitario dei semi; produzione areica di biomassa e di granella.

I dati relativi alla resa granellare ed alle componenti della produzione sono stati sottoposti, separatamente per specie, all'analisi della varianza utilizzando la procedura GLM del SAS (SAS Institute, 2007); le differenze tra i valori medi sono state evidenziate utilizzando il Fisher's Protected LSD test al livello di probabilità  $P=0,05$ .

La resa relativa (RY), calcolata per trattamento e per specie in rapporto alla resa del controllo privo di infestanti, è stata analizzata con il modello misto di regressione lineare utilizzando la procedura NLMIXED del SAS (SAS Institute, 2007) come descritto da Knezevic et al. (2002).

Per descrivere l'effetto dell'aumento del tempo di permanenza delle infestanti sulle produzioni delle colture è stata utilizzata la seguente equazione logistica con tre parametri, proposta da Hall et al. (1992) e modificata da Knezevic et al. (2002):

$$RY = \left[ \frac{1}{\exp[c \times (DAE - d)] + f} \right] + \left[ \frac{f - 1}{f} \right] \times 100 \quad [1]$$

dove: RY è la resa relativa (%), DAE è la durata del periodo di interferenza con le infestanti (giorni dall'emergenza della coltura),  $d$  è il punto di flesso,  $c$  ed  $f$  sono costanti.

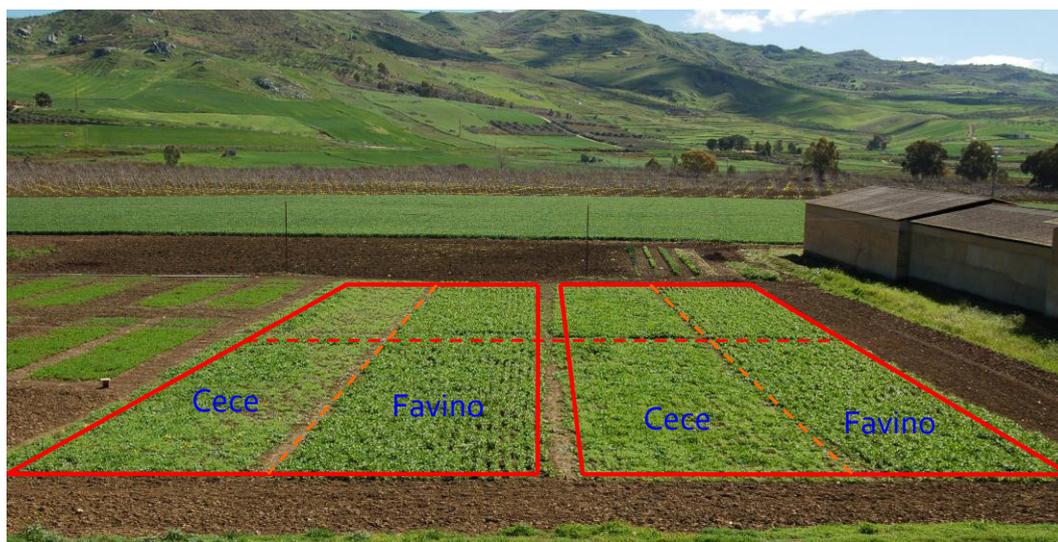
Per stimare gli effetti della progressiva dilazione dell'emergenza delle infestanti sulla risposta produttiva delle colture è stata utilizzata l'equazione di Gompertz (Hall et al., 1992; Knezevic et al., 2002):

$$RY = a \times \exp(-b \times \exp(-k \times DAE)) \quad [2]$$

dove: RY è la resa relativa (%),  $a$  è l'asintoto della resa o la resa massima in assenza di interferenze con le infestanti,  $b$  e  $k$  sono costanti e DAE è la durata del periodo privo di infestanti (giorni dall'emergenza della coltura).

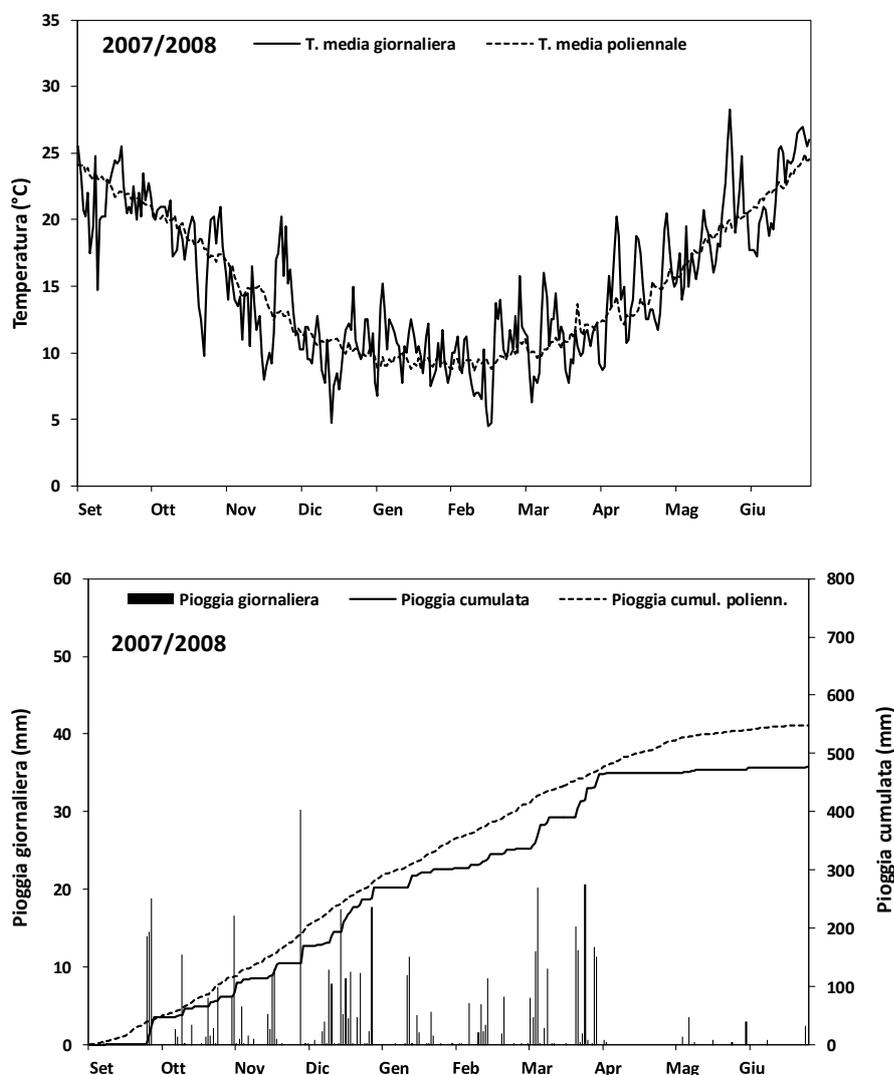
L'adeguatezza dei modelli utilizzati (Gompertz e logistica) è stata valutata attraverso il calcolo dell'*efficiency index* (EF), come proposto da Masin et al (2005); il valore di EF può oscillare da 1 a 0, tanto più il valore si avvicina ad 1 tanto maggiore è la capacità predittiva del modello.

L'equazione logistica [1] e l'equazione di Gompertz [2] sono state utilizzate per determinare, distintamente per le due specie in valutazione, il periodo critico (PC), cioè l'intervallo minimo di tempo durante il quale le infestanti devono essere controllate per prevenire perdite produttive di un dato livello, che nel presente lavoro è stato stabilito pari al 5% ed al 10%, in accordo con quanto proposto da Evans et al. (2003).



### 2.3 Risultati e discussione

In figura 2.2 viene riportato l'andamento termopluviometrico registrato presso l'azienda Pietranera nel periodo settembre 2007-giugno 2008. La temperatura media, registrata durante la stagione di crescita, non si è discostato significativamente dalla media poliennale (1980-2009). La piovosità complessiva (479 mm) è risultata inferiore di circa il 13% rispetto alla media poliennale, con eventi piovosi distribuiti per il 56% nel periodo autunnale (pre-semina) e per il 35% nel periodo gennaio-marzo; mentre il periodo primaverile è stato caratterizzato da una bassa piovosità (circa 35 mm) localizzata nel mese di aprile.



**Fig. 2.2 - Temperatura media giornaliera e pioggia giornaliera e cumulata registrate a Pietranera nell'annata agraria 2007/08 (linee continue) e nel periodo 1980-2009 (linee tratteggiate).**

Tale andamento ha consentito alle colture di esprimere a pieno il loro potenziale produttivo; infatti, in assenza di infestanti, sono state rilevate produzioni di granella pari in media a 3,67 e 3,98 t ha<sup>-1</sup>, rispettivamente per cece e favino [tesi WI 0 DAE (WFC)] (Tabb. 2.2 e 2.3), livelli questi particolarmente elevati per l'ambiente di prova (Giambalvo et al, 2003).

**Tab. 2.2 - Produzione e sue componenti, rilevati nel cece a maturazione, al variare del periodo di assenza di infestanti (WF) e della durata della competizione (WI).**

Tesi	Granella (g m <sup>-2</sup> )	Biomassa (g m <sup>-2</sup> )	Piante m <sup>-2</sup> (n)	Baccelli m <sup>-2</sup> (n)	Semi / baccello (n)	Peso 1000 semi (g)	Biomassa infestanti (g m <sup>-2</sup> )
WF 0 DAE (WC)	18	106	37	70	1,0	249	757
WF 28 DAE	115	440	44	385	1,0	298	484
WF 42 DAE	215	748	48	715	1,0	291	230
WF 56 DAE	324	940	55	1020	1,0	306	32
WF 70 DAE	318	901	56	997	1,0	307	8
WF 84 DAE	363	954	54	1091	1,0	319	6
WF 98 DAE	363	933	53	1103	1,1	313	5
WF 112 DAE	373	934	52	1106	1,1	319	0
WI 0 DAE (WFC)	367	872	54	1103	1,0	315	2
WI 28 DAE	341	891	53	1032	1,1	319	0
WI 42 DAE	313	819	50	981	1,0	313	0
WI 56 DAE	255	684	49	780	1,0	316	0
WI 70 DAE	214	511	48	685	1,0	300	0
WI 84 DAE	128	375	48	415	1,0	299	0
WI 98 DAE	50	190	43	164	1,0	306	0
WI 112 DAE	20	128	34	82	1,0	225	0
<i>LSD</i> <sub>(0,05)</sub>	87,6	177,9	14,2	254,1	0,04	32,9	186,3

DAE: giorni dopo l'emergenza della coltura; WC: controllo permanentemente infestato; WFC: controllo permanentemente libero da infestanti.

Nel cece (Tab. 2.2), la presenza continua delle infestanti (tesi WF 0 DAE – WC) ha determinato, rispetto al controllo continuamente libero da malerbe, pesanti riduzioni della fitomassa epigeica complessiva (1,06 vs 8,72 t ha<sup>-1</sup>), della resa granellare (0,18 vs 3,67t ha<sup>-1</sup>) e delle componenti della produzione: numero di baccelli per m<sup>-2</sup> (70 vs 1103) e del peso di 1000 semi (249 vs 315), mentre le variazioni osservate a carico del numero di semi per baccello, pur se significative all'analisi statistica, sono apparse nel complesso contenute. I risultati ottenuti confermano quanto emerso nelle ricerche condotte da Mohammadi et al (2005) sul cece, da Chhokar e Balyan (1999) su soia e da Al-Thahabi et al (1994) su cece; in tali sperimentazioni infatti gli effetti della

competizione si sono concretizzati attraverso una riduzione del numero di baccelli e, in minor misura, del peso unitario dei semi. Nel complesso a maturazione la biomassa delle malerbe è risultata pari a circa  $7,5 \text{ t ha}^{-1}$  nella tesi in cui non è stato realizzato alcun controllo; tale valore si è progressivamente ridotto, come atteso, aumentando la durata del periodo di assenza di malerbe, riducendosi a valori pressoché nulli allorquando gli interventi di controllo sono stati sospesi a 70 giorni dall'emergenza. Nel complesso, il peso delle infestanti si è incrementato progressivamente durante il ciclo colturale con un andamento pressoché lineare nel periodo compreso tra 42 e 112 giorni dall'emergenza (Fig. 2.3). Le infestanti prevalenti sono risultate: *Sinapis* spp., *Lolium* spp., *Brassica* spp., *Papaver rhoeas*, *Anetum graveolens* ed *Convolvulus arvensis*; specie queste tipiche del seminativo dell'area di prova (Amato et al, 2003).

**Tab. 2.3 - Produzione e sue componenti, rilevate nel favino a maturazione, al variare del periodo di assenza di infestanti (WF) e della durata della competizione (WI).**

Tesi	Granella ( $\text{g m}^{-2}$ )	Biomassa ( $\text{g m}^{-2}$ )	Piante $\text{m}^{-2}$ (n)	Baccelli $\text{m}^{-2}$ (n)	Semi / baccello (n)	Peso 1000 semi (g)	Biomassa infestanti ( $\text{g m}^{-2}$ )
WF 0 DAE (WC)	123	374	35	106	2,4	503	565
WF 28 DAE	230	665	35	165	2,5	569	228
WF 42 DAE	336	778	36	233	2,4	603	26
WF 56 DAE	357	864	39	226	2,5	632	23
WF 70 DAE	397	962	40	286	2,2	632	0
WF 84 DAE	402	936	39	253	2,5	632	0
WF 98 DAE	389	960	38	247	2,6	615	0
WF 112 DAE	398	948	37	255	2,4	632	0
WI 0 DAE (WFC)	398	943	42	269	2,4	610	2
WI 28 DAE	375	927	40	245	2,5	614	4
WI 42 DAE	377	930	41	246	2,3	660	8
WI 56 DAE	362	816	39	258	2,3	622	0
WI 70 DAE	237	545	38	151	2,5	626	0
WI 84 DAE	233	595	38	164	2,4	575	0
WI 98 DAE	120	398	34	94	2,2	557	0
WI 112 DAE	118	357	36	87	2,3	558	0
<i>LSD</i> <sub>(0,05)</sub>	87,9	205,1	11,9	60,9	0,24	57,3	167,5

DAE: giorni dopo l'emergenza della coltura; WC: controllo permanentemente infestato; WFC: controllo permanentemente libero da infestanti.

Il favino (Tab. 2.3) ha mostrato nel complesso una maggiore abilità competitiva rispetto al cece, avendo riscontrato nella tesi inerbita una presenza di infestanti a maturazione pari al 75% circa rispetto a quella osservata nel cece ( $565 \text{ vs } 757 \text{ g m}^{-2}$ ,

rispettivamente). Le differenze nel peso delle infestanti tra le due specie si sono evidenziate già nelle prime fasi del ciclo e si sono incrementate progressivamente per raggiungere il massimo a circa 100 giorni dall'emergenza (Fig. 2.3). Nessuna differenza è emersa nella composizione floristica della popolazione di malerbe tra le due specie in valutazione. Sulla base di quanto detto, gli effetti della competizione delle infestanti sono apparsi più contenuti, avendo osservato nella tesi inerbita riduzioni di resa, rispetto al controllo mantenuto continuamente netto da malerbe, pari al 70% ed al 60%, rispettivamente in granella ed in fitomassa epigeica, valori questi decisamente inferiori rispetto a quelli registrati nel cece. Anche nel favino gli effetti della competizione si sono concretizzati prevalentemente sul numero di baccelli per unità di superficie (ridotti da 269 a 106, rispettivamente nelle tesi con continua assenza e presenza di malerbe) ed in minor misura sul peso di 1000 semi (la competizione in questo caso si è concretizzata in una riduzione del 17% circa del peso unitario dei semi). Analogamente a quanto osservato per il cece nessun effetto è stato registrato a carico del numero di semi per baccello, ciò lascia supporre che tale carattere sia sotto stretto controllo genico e poco influenzato da fattori colturali.

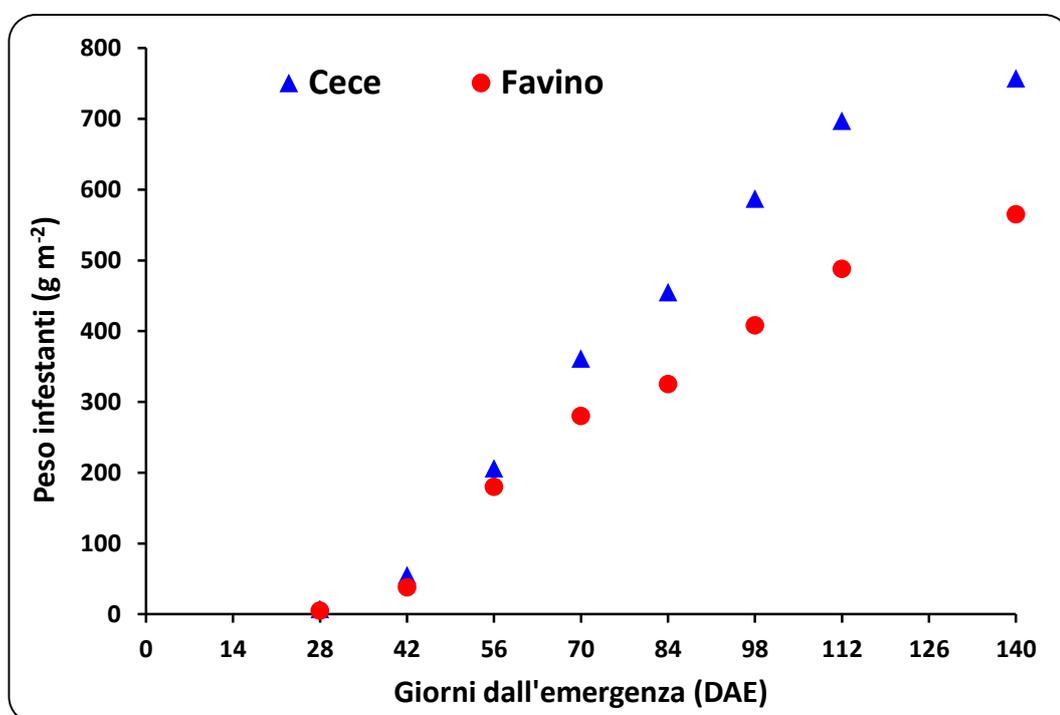


Fig. 2.3 – Variazioni ponderali della biomassa delle infestanti durante il ciclo biologico del cece (▲) e del favino (●).

I modelli utilizzati per descrivere le variazioni di resa al variare della durata della competizione e del periodo di assenza di infestanti sono risultati altamente efficaci; infatti, i valori dell'efficiency index sono risultati, per entrambe le specie e per entrambe le equazioni [1] e [2], prossimi ad 1 e ciò indica un'ottima capacità predittiva dei modelli (Tab. 2.4).

**Tab. 2.4 - Parametri stimati con l'equazione di Gompertz (per la stima della durata del periodo di assenza delle infestanti) e con l'equazione Logistica (per la stima della durata del periodo di competizione tollerata).**

<b>Specie</b>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>k</i>	<i>EF</i>
Durata del periodo di assenza di infestanti (Equazione di Gompertz)				
Cece	101 (5,3)	6,7 (5,42)	0,06 (0,022)	0,99
Favino	103 (5,3)	1,3 (0,30)	0,04 (0,010)	0,97
<b>Specie</b>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>EF</i>
Durata del periodo di competizione con le infestanti (Equazione Logistica)				
Cece	0,06 (0,004)	74,7 (4,53)	0,9 (0,05)	0,99
Favino	0,08 (0,024)	69,0 (5,88)	1,4 (0,13)	0,96

Dove: *a* è l'asintoto; *d* è il punto di flesso; *b*, *k*, *c* ed *f* sono costanti. I valori in parentesi rappresentano gli errori standard.

Dall'analisi della figura 2.4 è emerso che la durata della competizione tollerata nel cece in grado di prevenire perdite di resa in granella del 5% e del 10% sia pari a 21 e 34 giorni a partire dall'emergenza; tali soglie rappresentano l'inizio del periodo critico e prima di tale fase la presenza delle infestanti non è apparsa in grado di influire significativamente sulla resa in granella del cece. I risultati ottenuti sono apparsi leggermente superiori rispetto a quanto riportato da Mohammadi et al (2005) i quali, in una sperimentazione condotta in due differenti ambienti iraniani, hanno riscontrato come nel cece per prevenire perdite superiori al 10% non deve essere consentito una durata della competizione con le infestanti superiore a 17-24 giorni dall'emergenza. Differenze tra questi dati e quelli ottenuti nella presente ricerca potrebbero dipendere dal differente momento di emergenza delle infestanti; infatti, in accordo con quanto suggerito da Knezevic et al (2002), il periodo critico per il controllo delle infestanti per una data coltura può variare in relazione al tempo di emergenza delle stesse e una precoce emergenza delle infestanti può condurre ad un più precoce inizio del periodo critico. Va inoltre rilevato che anche la densità delle malerbe può essere importante

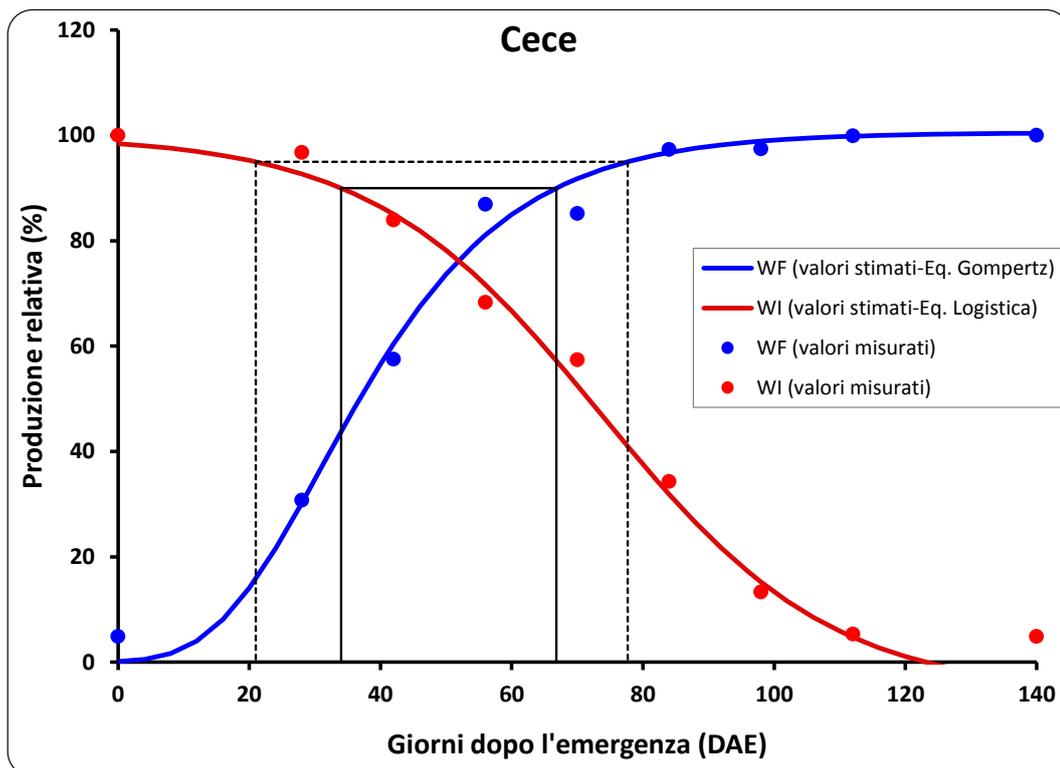
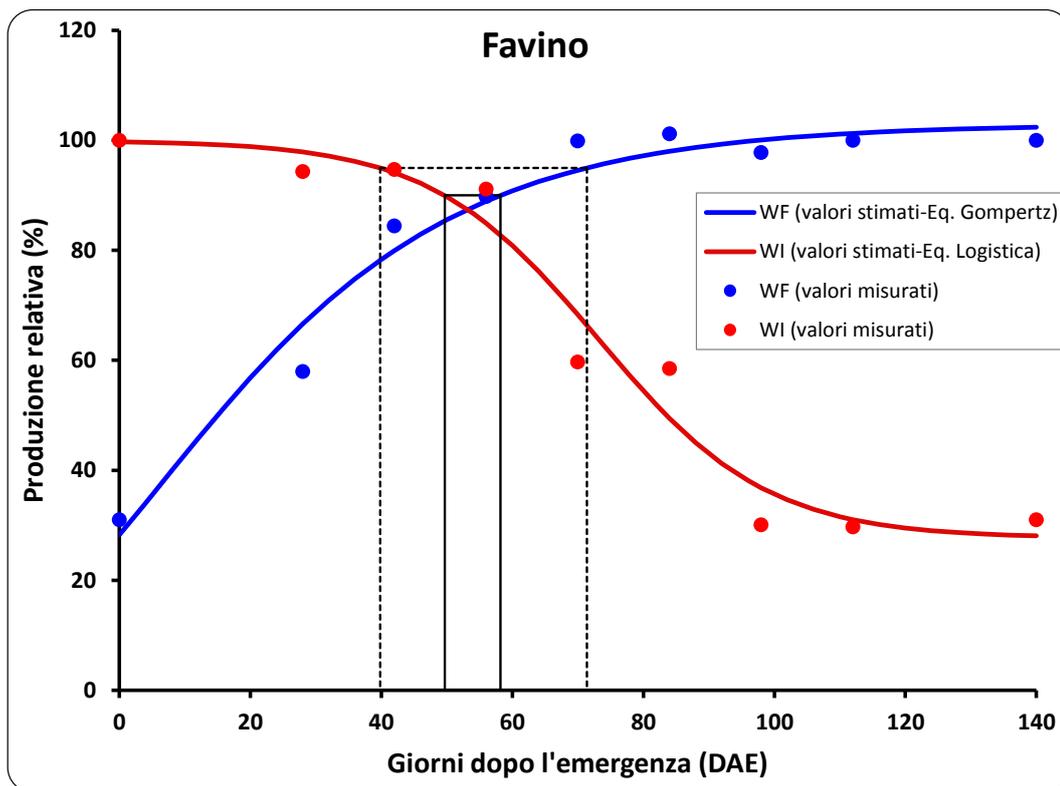


Fig. 2.4 - Andamento della produzione relativa del cece (rispetto al controllo mantenuto costantemente libero da infestanti) in funzione del periodo di assenza di infestanti (WF) e della durata della competizione (WI). Le linee orizzontali rappresentano la durata del Periodo critico e le linee verticali l'inizio e la fine del Periodo critico per livelli di perdita di resa accettabile del 5% (linee tratteggiate) e del 10% (linee continue).

nel determinare l'inizio del periodo critico, così suggerito da Martin et al (2001) e da Hall et al (1992), i quali, in ricerche condotte rispettivamente su *Brassica napus* e su *Zea mays*, hanno riscontrato come l'inizio del periodo critico tende ad essere ritardato al ridursi della densità delle infestanti. Lindquist et al (1999) hanno evidenziato come sia il momento di emergenza delle infestanti e della coltura che le relative densità possono spiegare le differenti effetti della competizione sulle rese tra anni e località di prova. In ricerche condotte sulla lenticchia (Mohamed et al, 1997; Ahlawat et al, 1979; Saxena e Wassimi, 1980; Al-Thahabi et al, 1994) l'inizio del periodo critico è risultato compreso tra 14 e 49 giorni dalla semina e tale variabilità può essere giustificata considerando le differenti condizioni ambientali dei siti di prova, il differente livello di infestazione e la relativa composizione delle popolazioni di malerbe, nonché la



**Fig. 2.5 - Andamento della produzione relativa del favino (rispetto al controllo mantenuto costantemente libero da infestanti) in funzione del periodo di assenza di infestanti (WF) e della durata dell'infestazione (WI). Le linee orizzontali rappresentano la durata del Periodo critico e le linee verticali l'inizio e la fine del Periodo critico per livelli di perdita di resa accettabile del 5% (linee tratteggiate) e del 10% (linee continue).**

differente umidità e fertilità dei suoli. Sempre dall'analisi del grafico 2.4 emerge come la fine del periodo critico per il controllo delle infestanti ricade tra 67 e 78 giorni dall'emergenza della coltura considerando anche in questo caso riduzioni di resa pari al 10% e 5% della resa potenziale rispettivamente; tale periodo coincide con la fase di inizio fioritura. Pertanto oltre tale stadio fenologico eventuali flussi di emergenza delle malerbe non sembrano in grado di arrecare riduzioni significative di resa granellare. Anche Mohammadi et al (2005) hanno osservato come la fine del periodo critico coincida con lo stadio di piena fioritura, anche se nella loro ricerca tale stadio è stato raggiunto a 49 giorni dall'emergenza. In altre ricerche (Al-Tahabi et al, 1994; Masood-Ali, 1993; Bhan e Kukula, 1987; Ahlawat et al, 1981; Saxena et al, 1976), condotte sempre sul cece, la fine del periodo critico è risultata compresa tra 42 e 60 giorni dall'emergenza.

La maggiore abilità competitiva del favino rispetto al cece si evidenzia con chiarezza

**Tab. 2.5 - Durata del periodo critico (PC) per il controllo delle infestanti, nel cece e nel favino, ipotizzando due livelli di perdita di resa (5% e 10%).**

Specie	5%	10%
Cece	57 (21-78)	33 (34-67)
Favino	32 (40-71)	8 (50-58)

I valori in parentesi rappresentano l'inizio e la fine del periodo critico, espressi in giorni dall'emergenza della coltura (DAE).

considerando rispettivamente una soglia di danno accettabile pari al 5% ed al 10%. Tali valori sono decisamente superiori rispetto a quelli registrati per il cece e sono probabilmente da correlare alla maggiore velocità di crescita del favino nelle fasi iniziali del ciclo biologico. La rapida crescita nelle fasi iniziali ha fatto sì che coltura raggiungesse precocemente uno sviluppo tale oltre il quale l'emergenza di nuove infestanti non è in grado di indurre alcun effetto significativo sulla produzione della coltura; infatti per il favino il periodo richiesto di assenza delle malerbe, espresso in giorni dall'emergenza della coltura, è risultato pari a 58 e 71 giorni (in coincidenza degli stadi di inizio formazione boccioli fiorali ed inizio fioritura rispettivamente) ipotizzando una soglia di danno accettabile pari al 10% e 5% rispettivamente. Anche in questo caso tali valori sono risultati decisamente inferiori (-7 e -9 giorni) rispetto a quelli registrati per il cece. Nel complesso pertanto la durata del periodo critico per il favino è risultata limitata ad appena 8 giorni ipotizzando una soglia di perdita del 10% e pari a 32 giorni ritenendo la soglia di danno accettabile del 5%.

La maggiore abilità competitiva del favino rispetto al cece si evidenzia analizzando le perdite di resa rilevate nelle due colture nei trattamenti in cui non è stato realizzato alcun controllo della flora infestante; infatti nel cece l'assenza di controllo delle malerbe ha indotto decrementi di resa superiori al 90% mentre nel favino, in analoghe condizioni, sono state osservate perdite pari al 70%.

dai dati riportati nella tabella 2.5 e dall'analisi della figura 2.5. L'inizio del periodo critico per il favino, infatti, è iniziato a 40 e 50 giorni dall'emergenza (stadi fenologici compresi tra 5 e 7 foglie vere),

## 2.4 Conclusioni

La ricerca, pur se limitata ad un solo anno di sperimentazione ed ad un solo ambiente di prova, ha consentito di acquisire informazioni utili alla definizione di soglie di durata della competizione tollerata e del periodo richiesto di assenza delle malerbe per due leguminose da granella tipiche dell'ambiente mediterraneo, quali il cece ed il favino.

Tali informazioni risultano essenziali al fine di individuare efficaci strategie di gestione della flora infestante. Infatti, la conoscenza del periodo critico durante il quale la presenza delle malerbe provoca una diminuzione significativa delle rese granellari e superiore ad una soglia di danno, ritenuta agronomicamente ed economicamente accettabile, può consentire da un lato di pianificare un controllo tempestivo delle malerbe (sia con mezzi meccanici o chimici) e dall'altro di valutare fino a quando è necessario mantenere libera la coltura dalle infestanti con mezzi meccanici o quale deve essere la persistenza di azione dei principi attivi utilizzati in pre-semina e/o in pre-emergenza.

Dai dati è emerso come il cece, rispetto al favino, si caratterizzi per una minore abilità competitiva, una minore capacità di tollerare la competizione con le infestanti ed un più lungo periodo richiesto di assenza delle malerbe. Il periodo critico nel cece, ipotizzando una soglia di danno accettabile pari al 10%, è risultato compreso tra 34 e 67 giorni dall'emergenza, corrispondenti a stadi di sviluppo rispettivamente di 4-5 foglie vere ed inizio formazione dei boccioli fiorali. Nel favino la durata del periodo critico, ipotizzando un'analogia soglia di danno a quella indicata per il cece, è risultata decisamente più contenuta (8 giorni) e coincidente con gli stadi fenologici di 7-8 foglie vere ed inizio formazione dei boccioli fiorali (50-58 giorni dall'emergenza).

Tali informazioni, associate ad una profonda conoscenza della biologia ed ecologia delle malerbe ed alle dinamiche delle popolazioni nonché all'approfondita conoscenza dei mezzi tecnici, biologici ed agronomici utilizzabili, rappresentano un contributo essenziale per la pianificazione di efficaci sistemi integrati di gestione delle malerbe basati su un ricorso limitato e consapevole di mezzi chimici.

## Capitolo 3

### Valutazione dell'abilità competitiva di genotipi di frumento duro

#### 3.1 Premessa

Lo sviluppo scientifico e tecnologico del secolo scorso ha profondamente mutato lo scenario della cerealicoltura moderna. Il graduale processo evolutivo che sta alla base di tale cambiamento ha prevalentemente interessato il frumento, per la sua grande importanza e diffusione a livello mondiale.

Nell'ultimo secolo le rese di questa coltura hanno fatto registrare incrementi significativi, attribuibili soprattutto all'elevato impiego di mezzi tecnici e all'attività del miglioramento genetico, attraverso la quale sono stati riuniti geni utili in genotipi "moderni" a taglia bassa caratterizzati da alto *harvest index*, ridotta tendenza all'allettamento, anche in condizioni di elevate fertilizzazioni azotate.

La riduzione dell'altezza dei nuovi genotipi da un lato ha contribuito a incrementare le rese granellari dall'altro ha ridotto l'abilità competitiva nei confronti delle erbe infestanti (Vandeleur e Gill, 2004; Lemerle et al., 1996), incrementando la dipendenza ai trattamenti chimici convenzionali per il controllo e con questa numerose problematiche agro-ambientali. Infatti, gli erbicidi, specie quelli con azione residuale, possono causare inquinamento del suolo e delle acque (Vicari, 1995) e in alcuni casi contaminare le derrate alimentari (Conte e Imbroglini, 1998). Tali rischi sono percepiti in maniera sempre crescente dall'opinione pubblica, che richiede alimenti salubri, sicuri e di qualità superiore, ottenuti con sistemi produttivi eco-compatibili.

Altri problemi di natura agronomica conseguenti al diserbo chimico sono connessi a fenomeni di resistenza delle specie infestanti nei confronti dei comuni principi di sintesi impiegati per il controllo (Zand et al., 2006b; Heap, 2004; Thill e Lemerle, 2001) e, in certi casi, all'azione fitotossica che gli stessi erbicidi provocano sulla coltura. Le limitazioni più grandi riguardano principalmente i sistemi produttivi gestiti in biologico nei quali non è consentito l'uso di erbicidi chimici; in questi casi il controllo della flora infestante, insieme alla fertilizzazione e al controllo dei parassiti, diviene uno dei problemi principali (Rasmussen e Ascard, 1995; Liebman, 2000).

Le nuove politiche agricole comunitarie incoraggiano gli agricoltori a ridurre o eliminare del tutto l'uso dei prodotti chimici di sintesi, con l'obiettivo di limitare il più possibile gli *input energetici* ausiliari e, quindi, anche di agrochimici, senza andare incontro a significativi decrementi di produzione.

Le problematiche legate al controllo delle erbe infestanti impongono, pertanto, l'adozione di nuove misure "preventive" e di "controllo" nei sistemi produttivi ecocompatibili. Tale concezione pone in risalto la possibilità di sfruttare l'abilità competitiva della coltura per integrare e implementare il controllo chimico, comunque a dosi ridotte, con i mezzi di controllo agronomici (Lemerle et al, 1996a; Paolini et al, 1998; Paolini, 2000).

Nasce così l'esigenza di rivalutare l'abilità competitiva dei "vecchi genotipi" di frumento in grado di assicurare alte rese anche in condizioni d'infestazione da malerbe (Lemerle et al, 2001). La possibilità di sfruttare la variabilità genetica delle vecchie popolazioni di frumento duro, rappresenta un approccio indispensabile per la realizzazione di nuovi programmi di miglioramento genetico volti a incrementare l'abilità competitiva delle nuove costituzioni genetiche.

Quest'obiettivo è, tuttavia, perseguibile solo attraverso l'acquisizione d'informazioni sui caratteri morfologici e fisiologici dei genotipi correlati all'abilità competitiva nei confronti delle infestanti, sul loro tipo di controllo genetico ed eventuale associazione a caratteri di resistenza alle malattie.

Considerando l'importanza dell'argomento e le limitate informazioni disponibili per l'ambiente mediterraneo si è ritenuto opportuno avviare una ricerca con lo scopo di acquisire informazioni sulla risposta produttiva e qualitativa nonché sull'efficienza di utilizzazione dell'azoto di differenti genotipi di frumento (di vecchia e nuova costituzione) diversi per caratteristiche morfo-strutturali e fisiologiche, allevati in presenza o assenza di competizione interspecifica; inoltre la ricerca ha avuto l'obiettivo di individuare caratteri morfologici e fisiologici in qualche modo correlati con l'abilità competitiva nei confronti delle malerbe.

### 3.2 Materiali e metodi

La sperimentazione è stata condotta nel biennio 2008/09 e 2009/10 presso l'azienda "Pietranera" (S. Stefano Quisquina - AG), sita in un tipico ambiente dell'area interna collinare siciliana, su un suolo classificato come *Vertic Xerochrepts* (SSS, 1999) a morfologia pianeggiante, ben strutturato e profondo, con reazione sub-alcaina (Tab. 3.1).

**Tab. 3.1 – Principali caratteristiche chimico-fisiche ed idrologiche dei suoli sede delle prove.**

Argilla	%	52,5
Limo	%	22,7
Sabbia	%	24,8
pH (in H <sub>2</sub> O)		8,2
S.O.	%	2,90
N (totale)	‰	1,78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ass.)	ppm	92,0
K <sub>2</sub> O (ass.)	ppm	35,0
Calcio totale	%	12,0
Calcio attivo	%	3,5
C.S.C.	meq/100 g	35,0
C.E. (25 °C pasta satura)	mS cm <sup>-1</sup>	2,2

Sono stati studiati 12 genotipi di frumento duro diversificati per caratteristiche morfo-strutturali (taglia, indice di accestimento, fogliosità, ecc.) e fisiologiche (velocità di insediamento, precocità di spigatura, potenzialità produttiva, ecc.), di cui sei varietà "moderne" iscritte al RNV (*Simeto, Iride, Claudio,*

*Valbelice, Creso, Capeiti*) e sei genotipi di "vecchia costituzione" (*Senatore Cappelli, Russello, Scorsonera, Biancuccia, Realforte, Maiorcane*).

Al fine di acquisire informazioni sull'abilità competitiva nei confronti delle infestanti, tutte le accessioni sono state allevate sia in assenza di competizione che in condizioni di infestazione controllata, simulata seminando nell'intracfila l'avena sativa (cv *Rogar*), specie caratterizzata da elevata capacità competitiva ed efficienza di utilizzazione delle risorse.

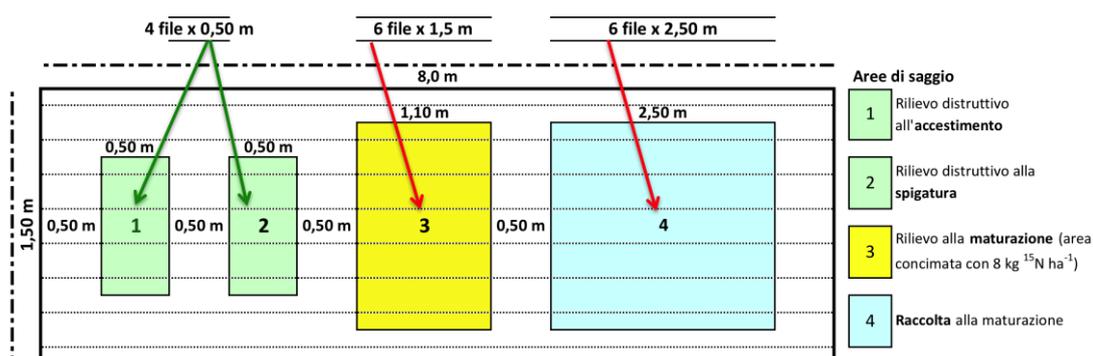
La semina è stata eseguita in entrambi gli anni di prova in successione a trifoglio alessandrino, nella terza decade di dicembre distribuendo, per ciascun genotipo, 350 semi m<sup>-2</sup> a file distanti 18 cm; contestualmente è stata seminata l'avena alla dose di 100 semi m<sup>-2</sup>.

La concimazione fosfatica è stata eseguita in presemina apportando 69 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, mentre quella azotata con 80 kg N ha<sup>-1</sup>, sotto forma di solfato ammonico, in unica soluzione all'accestimento del frumento.

Inoltre, è stata stimata l'efficienza di utilizzazione dell'azoto dei genotipi in studio, in presenza ed in assenza di competizione, attraverso l'impiego dell'isotopo  $^{15}\text{N}$ . All'emergenza, all'interno di ogni parcella elementare sono state individuate e delimitate 4 aree di saggio, in una delle quali, sempre all'accestimento del frumento, sono stati distribuiti  $8 \text{ kg N ha}^{-1}$  sotto forma di  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  con arricchimento isotopico ( $^{15}\text{N}$ ) al 10%, seguendo la procedura descritta da Høgh-Jensen e Schjoerring (1994). La somministrazione del concime isotopico è stata realizzata in soluzione acquosa, irrigando subito dopo l'intervento di concimazione la superficie interessata (circa 5 litri per area) in modo da consentire il dilavamento del fertilizzante dalla vegetazione e una migliore penetrazione lungo il profilo del suolo.

Nelle parcelle in cui era presente l'avena, le specie spontanee a foglia larga sono state controllate chimicamente utilizzando specifici principi attivi, mentre le monocotiledoni sono state eliminate manualmente prima della concimazione azotata; nelle parcelle allevate in assenza di avena tutte le malerbe sono state controllate chimicamente utilizzando una apposita miscela di principi attivi.

È stato adottato un disegno sperimentale a parcella suddivisa (split-plot), con quattro ripetizioni e parcella elementare di  $12 \text{ m}^2$  ( $1,50 \text{ m} \times 8,00 \text{ m}$ ), considerando come fattore principale il genotipo e sub-fattore la presenza-assenza del competitore.



**Figura 3.1 - Parcella elementare con aree di saggio**

All'accestimento ed alla spigatura del frumento, nelle aree di saggio **1** e **2** (Fig. 3.1) sono stati effettuati i seguenti rilievi: ricoprimento generale, altezza media della canopy, caratteri della pianta di frumento riconducibili all'abilità competitiva

(portamento delle foglie, indice di accestimento, ecc.), numero di piante per unità di superficie (distintamente per frumento ed avena, dove presente) e relativi culmi (o pseudoculmi) di accestimento; inoltre per singola specie, frumento ed avena (dove presente), è stata determinata la biomassa complessiva e ripartita nelle differenti frazioni botaniche (foglie, culmi, spighe), la superficie fogliare e la percentuale di sostanza secca delle varie componenti.

Alla maturazione del frumento nell'area di saggio **3**, preventivamente concimata con  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , sono state prelevate le piante intere delle quattro file centrali, contate e separate per specie (frumento e avena, ove presente), essiccate a 60 °C, fino al raggiungimento di un peso costante, e macinate; i campioni ottenuti sono stati utilizzati per la determinazione della concentrazione dell'azoto totale e dell' $^{15}\text{N}$ .

Per entrambe le specie, i dati sull'arricchimento isotopico della biomassa sono stati utilizzati per calcolare il  $^{15}\text{N}_{\text{Rec}}$  (la quota dell'azoto distribuito effettivamente prelevato dalla coltura), in termini assoluti ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) e relativi (%) attraverso le formule [1] e [2], proposte da Hauck e Bremner (1976):

$$^{15}\text{N}_{\text{Rec}} = N_t \times \frac{^{15}\text{N}_{fp} - ^{15}\text{N}_{nfp}}{^{15}\text{N}_{fert} - ^{15}\text{N}_{nfp}} \quad [1]$$

$$\% ^{15}\text{N}_{\text{Rec}} = \frac{^{15}\text{N}_{\text{Rec}}}{f} \times 100 \quad [2]$$

dove:  $N_t$  è l'azoto totale contenuto nella pianta a maturazione ( $\text{kg ha}^{-1}$ );  $^{15}\text{N}_{fp}$  è la % di azoto isotopico nella pianta concimata;  $^{15}\text{N}_{nfp}$  è la % di isotopico nella pianta non concimata;  $^{15}\text{N}_{fert}$  è la % di azoto isotopico nel fertilizzante;  $f$  è la dose di concime somministrato ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ).

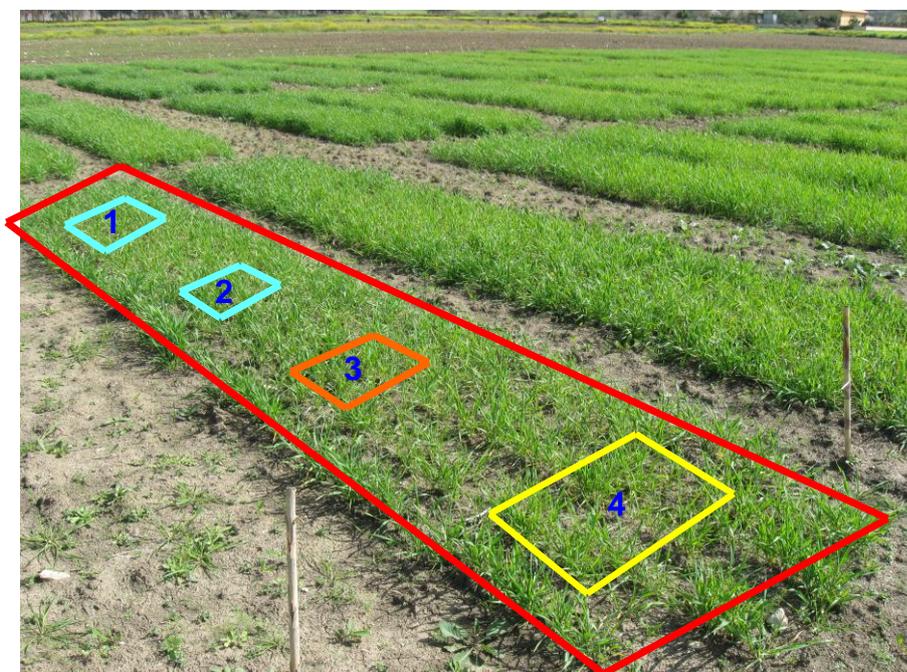
Sempre a maturazione della coltura, nell'area di saggio **4** sono stati rilevati: il grado e il tipo di allettamento, l'altezza media delle piante, il numero di spighe per unità di superficie, il numero medio di spighette fertili e sterili per spiga (solo frumento), la biomassa epigeica e la produzione di granella.

Inoltre, su un campione di granella di frumento è stata determinata l'umidità, il peso ettolitrico, il peso di 1.000 semi, la percentuale di semi bianconati e volpati ed il contenuto proteico.

I dati raccolti nel biennio di sperimentazione sono stati sottoposti all'analisi della varianza (*Proc GLM*, SAS Institute, 2007) trattando, in accordo con Gómez e Gómez (1984), gli anni come variabile randomizzata; le differenze tra i valori medi sono state evidenziate utilizzando il Fisher's Protected LSD test al livello di probabilità  $P=0,05$ . Per i parametri in cui le interazioni *Anno x Trattamenti* sono risultati significativi, l'LSD è stato calcolato separatamente per ciascun anno.

Sono stati inoltre determinati i coefficienti di correlazione lineare tra caratteri morfologici e fisiologici rilevati sia all'accestimento che alla spigatura con i decrementi di resa in granella e fitomassa, di *Nuptake* e di *Nrecovery* per effetto della competizione interspecifica tra i diversi genotipi in valutazione.

Infine, è stata effettuata un'analisi di regressione multipla per verificare l'influenza di più parametri sulla variabilità dei dati di produzione e di asportazione di azoto indotta dalla presenza del competitore. L'analisi è stata eseguita utilizzando la procedura *Reg selection=stepwise* del SAS (SAS Institute, 2007); il livello di significatività accettato è stato del 10%.



### 3.3 Risultati e discussione

In figura 3.2 è riportato l'andamento termopluviometrico registrato presso l'azienda Pietranera nel periodo settembre-giugno delle annate agrarie 2008/09 e 2009/10.

Al primo anno di sperimentazione la temperatura media, registrata durante la stagione di crescita, non si è discostata significativamente dalla media poliennale (1980-2010). La piovosità complessiva è risultata superiore di circa il 30% rispetto alla media poliennale (548 mm), con eventi piovosi distribuiti per il 34% nel periodo autunnale (pre-semina) e per oltre il 50% nel periodo gennaio-marzo; mentre il periodo primaverile è stato caratterizzato da una discreta piovosità (circa 64 mm) localizzata per lo più nel mese di aprile.

Anche l'annata 2009/10 è stata caratterizzata da una piovosità complessiva superiore alla media poliennale (+47%) e da una distribuzione delle piogge simile a quella registrata nell'annata 2008/09; le temperature medie, minime e massime sono state leggermente più alte (3 °C in media) rispetto a quelle registrate nel trentennio di riferimento. L'entità e la distribuzione delle piogge, in entrambi gli anni, hanno permesso alla coltura del frumento di manifestare a pieno le proprie potenzialità produttive.

Nella tabella 3.2 viene riportata la significatività dei valori dell'*F value* per i parametri rilevati nel frumento allo stadio di pieno accestimento nei due anni di prova.

Differenze significative tra i genotipi sono emerse nel numero di piante per unità di superficie (Tab. 3.3), risultato compreso in media tra 203 (Simeto) e 332 (Realforte), e nell'indice di accestimento che è oscillato tra 1,5 (Cappelli) e 2,4 (Maiorcone). Nessuna relazione apprezzabile statisticamente, diversamente da quanto atteso, è emersa tra densità di piante e indice di accestimento. È interessante inoltre rilevare che nessuna differenza è emersa tra i genotipi relativamente alla capacità di accestimento al variare dell'epoca di costituzione.

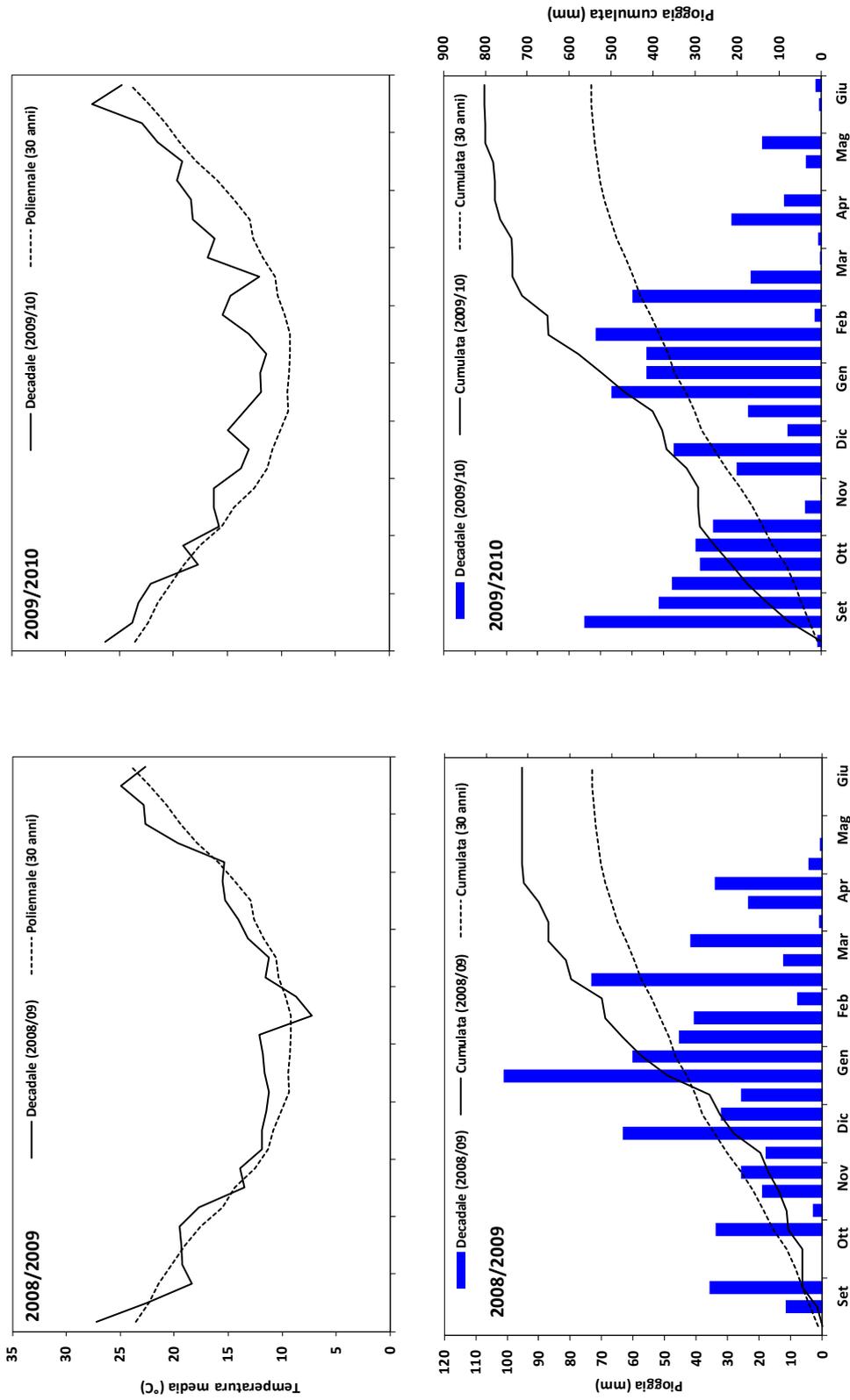


Figura 3.2 - Temperatura media dell'aria e pioggia decadale e cumulata (su base annuale e poliennale) registrate a Pietranera nei due anni di sperimentazione.

Tab. 3.2 - Analisi della varianza per alcuni caratteri morfo-strutturali e produttivi del frumento rilevati allo stadio accestimento.

Fonte di variazione	df	Ricop. suolo	Altezza piante	Densità piante	IA	Prod. biomassa	Incid. lamine	Incid. mat. senesc.	LAI
<i>Anno (Yr)</i>	1	ns	ns	ns	*	ns	ns	***	ns
<i>Genotipo (Gen)</i>	11	*	ns	***	***	ns	***	*	**
<i>Yr x Gen</i>	11	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Competizione (Comp)</i>	1	***	**	ns	***	***	***	***	***
<i>Yr x Comp</i>	1	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
<i>Gen x Comp</i>	11	ns	***	ns	*	ns	ns	ns	ns
<i>Yr x Gen x Comp</i>	11	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\*: rispettivamente significativo per P=0,05, P=0,01 e P=0,001; ns: non significativo.

Tab. 3.3 - Caratteri morfo-strutturali e produttivi del frumento rilevati allo stadio di accestimento nei due anni di prova.

Genotipi	Ricoprimento suolo (%)						Altezza piante (cm)						Densità piante ( $n\ m^{-2}$ )						Indice accestimento					
	2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10					
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C				
Biancuccia	78	80	76	75	42	42	44	41	254	219	332	269	2,8	2,5	2,1	2,3								
Cappelli	75	80	78	78	44	43	50	48	283	246	294	264	1,7	1,7	1,4	1,3								
Maiorcone	83	83	69	80	42	42	41	44	294	285	267	335	2,7	2,3	2,5	2,0								
Realforte	84	81	83	80	42	42	47	44	297	301	350	378	2,6	2,4	2,3	1,7								
Russello	76	80	75	83	38	40	42	45	242	279	307	257	2,1	2,4	1,8	1,6								
Scorsonera	78	79	73	76	43	42	45	43	254	343	313	300	2,1	1,4	1,4	1,3								
Capeti	73	75	69	73	43	41	52	44	274	274	246	265	2,0	1,5	1,9	1,4								
Claudio	73	79	68	68	40	41	48	42	199	246	276	161	2,3	1,7	1,6	1,6								
Creso	79	81	71	80	35	36	38	44	274	190	250	221	2,8	2,2	2,4	1,9								
Iride	73	78	66	74	38	33	43	45	219	196	257	203	2,2	1,8	2,0	1,6								
Simeto	69	76	66	78	37	34	46	45	156	135	231	290	3,0	1,7	1,9	1,4								
Valbelice	78	80	79	79	43	42	61	50	243	281	226	224	2,1	1,6	2,0	1,4								
Differenze minime significative per P=0,05																								
Anno	-		-		-		-		-		56,7		0,26		0,37		0,11		0,36					
Genotipo	6,5		-		-		-		-		-		-		-		-		-					
Comp	1,8		0,8		-		-		-		-		-		-		-		-					
Gen x Comp	-		2,6		3,4		-		-		-		-		-		-		-					

(segue)

Tab. 3.3 - Caratteri morfo-strutturali e produttivi del frumento rilevati allo stadio di accostimento nei due anni di prova.

Genotipi	Prod. biomassa ( $g\ m^{-2}$ )						Lamine (%)						Materiale senescente (%)						LAI					
	2008/09		2009/10		2009/10		2008/09		2009/10		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
Antichi	Biancuccia	232	190	182	116	50	46	46	44	44	5,5	5,8	3,3	6,4	2,2	1,6	1,9	1,0						
	Cappelli	231	223	224	183	42	41	39	39	39	7,4	8,0	3,9	5,2	2,2	2,0	2,1	1,6						
	Maiorccone	293	243	206	206	49	43	46	43	43	6,1	8,5	3,6	5,4	3,3	3,0	2,1	2,0						
	Realforte	308	269	226	187	44	43	46	45	45	8,9	8,9	3,3	4,6	3,1	2,4	2,8	2,0						
	Russello	229	224	190	141	46	44	45	43	43	7,3	8,4	3,9	6,0	2,1	2,1	1,8	1,3						
Moderni	Scorsonera	269	229	162	150	38	38	40	41	41	7,6	8,4	5,5	5,0	2,1	1,7	1,6	1,4						
	Capeti	239	191	219	163	39	37	37	34	34	5,5	7,9	2,8	5,8	1,9	1,4	1,8	1,2						
	Claudio	247	212	198	107	43	36	40	39	39	4,1	6,8	2,9	4,8	2,2	1,6	1,8	0,9						
	Creso	250	140	189	142	47	43	42	40	40	4,7	5,7	3,8	6,8	2,4	1,4	2,0	1,3						
	Iride	199	145	206	105	40	37	38	38	38	4,8	7,7	3,4	3,7	1,7	1,2	1,7	0,9						
Valbelice	Simeto	203	102	241	223	40	35	37	35	35	4,3	7,1	3,5	4,2	1,7	0,8	2,0	1,6						
	Valbelice	238	201	246	154	35	34	31	31	31	7,2	8,0	6,1	6,8	1,9	1,6	1,8	1,1						
	Differenze minime significative per P=0,05																							
<b>Anno</b>		-				-																		
<b>Genotipo</b>		-				2,5																		
<b>Comp</b>		12,0				1,2			0,8															
<b>Gen x Comp</b>		-				-																		

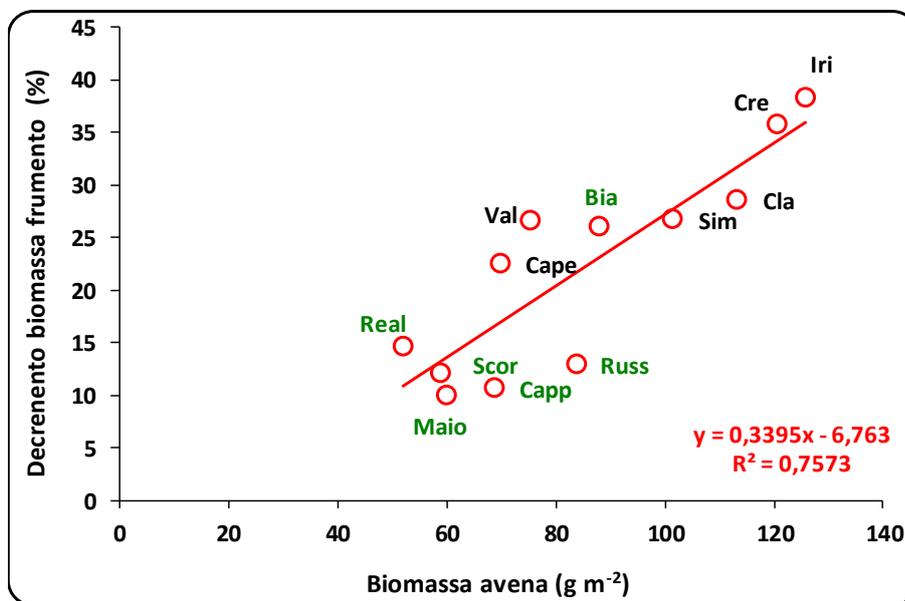
Tra le costituzioni in valutazione nessuna differenza è emersa relativamente all'altezza delle piante ed alla produzione di fitomassa epigeica; in particolare la biomassa è risultata, in assenza di competizione interspecifica, pari in media a  $226 \text{ g m}^{-2}$ . Differenze tra i genotipi sono invece emerse relativamente all'incidenza delle lamine sulla fitomassa epigeica complessiva, risultata, sempre in assenza di competizione interspecifica, compresa tra il 33% (Valbelice) ed il 48% (Biancuccia). Considerando che le differenze in termini di biomassa tra i genotipi in valutazione sono risultate nel complesso modeste, non deve stupire che all'aumento dell'incidenza delle lamine fogliare sulla fitomassa epigeica complessiva si abbia in genere un proporzionale incremento dell'indice di superficie fogliare (LAI). Quest'ultimo parametro, compreso tra 1,7 (Iride) e 2,9 (Realforte), è risultato significativamente e positivamente correlato ( $r=0,67$ ) con i valori percentuali di ricoprimento del suolo.

Il comportamento dei genotipi per i caratteri descritti è apparso stabile nei due anni di sperimentazione (interazione *Anno x Genotipo* mai significativa) (Tab. 3.2).

Gli effetti della competizione interspecifica sono risultati, già in questa fase precoce del ciclo biologico del frumento, marcati e significativi per tutti i parametri rilevati, ad eccezione della densità di piante. In particolare, la competizione interspecifica ha in media indotto una riduzione del 22% della fitomassa epigeica, un minore accostamento delle piante (-17%), nonché riduzioni significative dell'incidenza delle lamine sulla fitomassa complessiva (-8%) e del LAI (-26%) (Tab. 3.3). Nel complesso, gli effetti della competizione interspecifica sono apparsi di entità analoga tra i diversi genotipi in valutazione (interazione *Genotipo x Competizione*) per tutti i parametri rilevati, ad eccezione dell'indice di accostamento e dell'altezza delle piante. Per quest'ultimo carattere, infatti, gli effetti della competizione interspecifica, pur se modesti in valore assoluto, sono apparsi variabili tra i diversi genotipi in valutazione avendo riscontrato, in taluni casi, incrementi della taglia delle piante (es. Creso e Russello) ed in altri riduzioni (es. Valbelice e Capeiti).

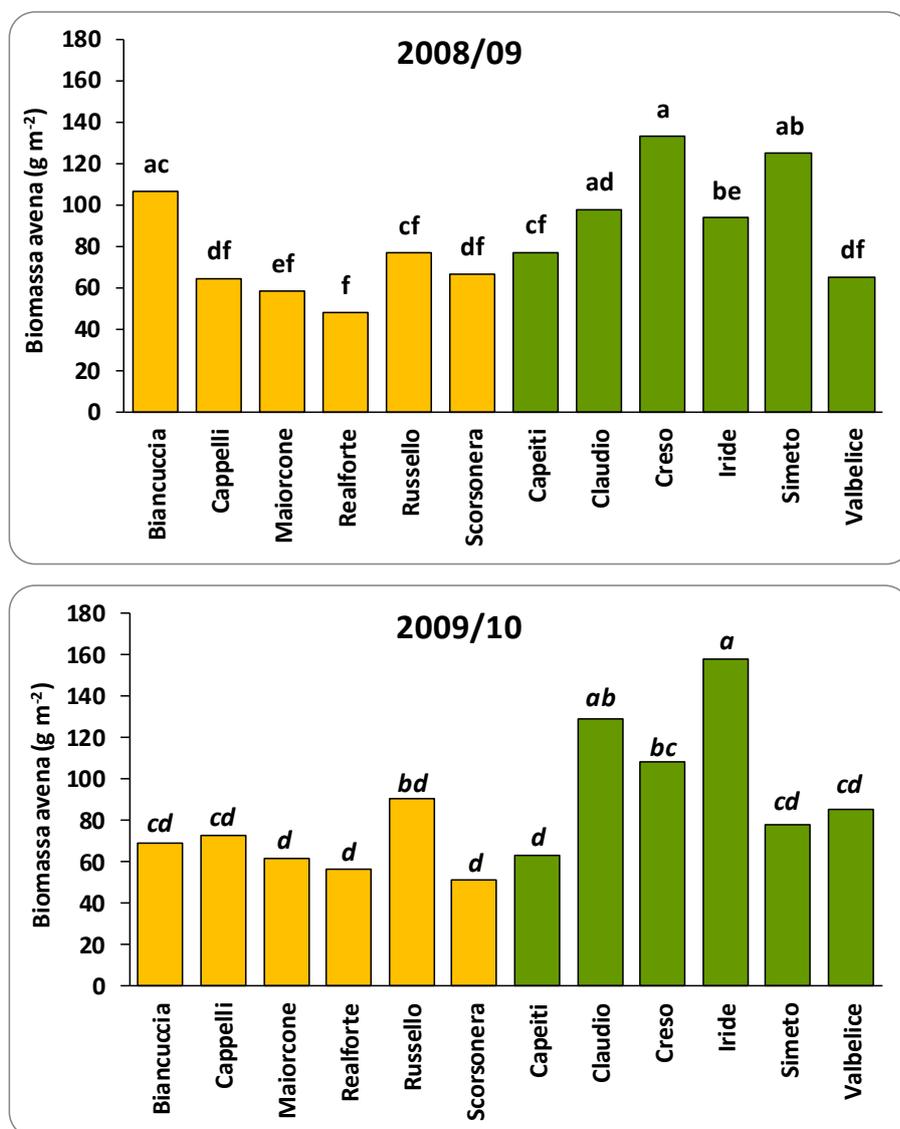
È interessante evidenziare come le riduzioni di resa in fitomassa epigeica, osservate tra i genotipi di frumento in valutazione per effetto della competizione interspecifica, sono

apparse, pur se non significative all'analisi statistica, strettamente relazionate alle variazioni dell'entità della fitomassa del competitore ( $r=0,87$ ) (Fig. 3.3).



**Figura 3.3 - Relazione tra le variazioni di fitomassa del competitore e le riduzioni di resa in biomassa epigeica nel frumento per effetto della competizione interspecifica.** (valori medi del biennio di prova rilevati all'accostamento del frumento)

In media la biomassa del competitore è apparsa compresa tra  $52 \text{ g m}^{-2}$  (Realforte) e  $126 \text{ g m}^{-2}$  (Iride) (Fig. 3.4), risultando decisamente più contenuta nelle popolazioni locali e vecchie costituzioni genetiche, le quali hanno pertanto manifestato, già in questo stadio, una maggiore abilità competitiva rispetto alle varietà moderne. Nessuno dei parametri rilevati sui genotipi di frumento è apparso strettamente associato alle variazioni di fitomassa del competitore e ciò lascia supporre che le differenze in abilità competitiva siano relazionabili ad una pluralità di caratteri, quali la densità di piante, l'altezza della vegetazione, la percentuale di ricoprimento di suolo e l'indice di superficie fogliare.



Fonte di variazione	df	IA	Biomassa	Incid. lamine	Incid. mat. senesc.	LAI
Anno (Yr)	1	*	ns	ns	ns	ns
Genotipo (Gen)	11	**	***	ns	ns	***
Yr x Gen	11	*	*	ns	ns	*

**Figura 3.4 - Produzione di biomassa ed analisi della varianza per alcuni caratteri dell'avena rilevati nel biennio di prova all'accestimento del frumento.**

I genotipi di frumento in valutazione sono apparsi altamente differenziati per epoca di spigatura (Tabb. 3.4); in media nelle vecchie accessioni questa è coincisa con la fine di aprile (ricadendo tra il 27 aprile ed il 3 di maggio, rispettivamente in Scorsonera e Biancuccia) (Tab. 3.5), mentre nelle nuove costituzioni genetiche è avvenuta alla metà di aprile (tra il 15 e il 19 di aprile, rispettivamente in Valbelice e Claudio). Tra le varietà moderne ha fatto eccezione la varietà Creso che si è caratterizzata per un'epoca di spigatura analoga a quella delle vecchie costituzioni genetiche (30 aprile). I risultati ottenuti concordano con quanto riportato da De Vita et al (2007) ed evidenziano come tale carattere sia stato interessato dall'attività del miglioramento genetico, che ha avuto appunto come obiettivo prioritario, particolarmente per le varietà da diffondere negli ambienti meridionali, l'individuazione di genotipi caratterizzati da elevata precocità (Maccaferri et al, 2008; Cattivelli et al, 2008). Infatti, in ambienti difficili, in cui sovente si verificano carenze idriche nella tarda primavera (nella quale ricade la fase finale del ciclo biologico del frumento), l'utilizzo di varietà più precoci (che localizzano pertanto la fase riproduttiva in un periodo più favorevole) si concretizza spesso in un vantaggio in termini di rese granellari e qualità delle produzioni. Per tale carattere i genotipi di frumento hanno mostrato un comportamento stabile nei due anni di prova (interazione *Anno x Genotipo* non significativa).

Le differenze tra i genotipi in valutazione, per tutti i caratteri rilevati allo stadio di spigatura, si sono amplificate rispetto a quanto osservato allo stadio di accestimento, risultando sempre significative per  $P=0,001$  (Tab. 3.4).

Le popolazioni ed i genotipi di vecchia costituzione, in assenza di competizione interspecifica, hanno mostrato un'altezza decisamente più elevata rispetto alle nuove costituzioni (135 vs 82 cm, in media rispettivamente) (Tab. 3.5); l'eccessivo sviluppo vegetativo ha determinato l'inizio di fenomeni di allettamento che hanno interessato in media, nei vecchi genotipi, il 17% della superficie parcellare.

All'aumento della taglia è corrisposto un aumento della fitomassa epigeica (Tab. 3.5); infatti, sempre in assenza di competizione interspecifica, nelle vecchie costituzioni genetiche questa è risultata, al primo anno, compresa tra  $965 \text{ g m}^{-2}$  (Realforte) e  $1082$

Tab. 3.4 - Analisi della varianza per alcuni caratteri fenologici, morfo-strutturali e produttivi del frumento rilevati allo stadio di spigatura.

Fonte di variazione	df	Data spigatura	Altezza piante	Allett. nto %	Prod. biomassa	Incid. lamine	Incid. culmi	Incid. spighe	Incid. mat.	LAI
<i>Anno (Yr)</i>	1	***	***	ns	***	***	ns	***	***	*
<i>Genotipo (Gen)</i>	11	***	***	***	***	***	***	***	***	***
<i>Yr x Gen</i>	11	ns	**	ns	*	**	***	ns	ns	*
<i>Competizione (Comp)</i>	1	ns	***	**	***	***	ns	***	***	***
<i>Yr x Comp</i>	1	ns	ns	*	ns	**	***	*	**	ns
<i>Gen x Comp</i>	11	ns	ns	***	*	ns	ns	ns	ns	**
<i>Yr x Gen x Comp</i>	11	ns	ns	***	ns	*	ns	ns	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\*: rispettivamente significativo per P=0,05, P=0,01 e P=0,001; ns: non significativo.

Tab. 3.5 - Caratteri fenologici, morfo-strutturali e produttivi del frumento rilevati allo stadio di spigatura nei due anni di prova.

Genotipi	Data spigatura (d dal 1/4)				Altezza piante (cm)				Allettamento (%)				Prod. biomassa (g m <sup>-2</sup> )			
	2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
Biancuccia	35	36	31	31	139	132	122	117	25	26	48	3	1005	781	968	557
Cappelli	32	32	26	26	140	138	121	119	11	5	30	6	1082	865	854	627
Maiorcone	34	34	30	30	142	138	117	115	15	13	20	18	1028	877	751	692
Realforte	33	33	29	29	145	135	113	103	10	10	29	29	965	887	983	730
Russello	35	35	31	31	161	158	141	127	14	15	3	0	1016	838	910	725
Scorsonera	29	29	26	26	154	138	120	115	1	1	0	5	1012	765	680	494
Capeti	17	17	14	14	108	106	86	80	0	0	0	0	691	402	622	468
Claudio	21	22	17	17	80	79	73	75	0	0	0	0	802	379	749	275
Creso	33	33	28	28	80	68	72	71	0	0	0	0	924	275	747	448
Iride	17	18	15	15	76	71	64	58	0	0	0	0	632	378	614	295
Simeto	21	21	16	17	75	72	67	66	0	0	0	0	701	268	682	439
Valbelice	17	17	12	13	114	113	94	87	0	0	0	0	806	504	640	428
Differenze minime significative per P=0,05																
<b>Anno</b>			0,6		7,0				-				54,2			
<b>Genotipo</b>			1,0		8,5		3,2		14,1				162,0		54,4	
<b>Comp</b>			-		1,9				1,4		4,0		42,96			
<b>Gen x Comp</b>			-		-				3,5		9,9		79,0			

(segue)

Tab. 3.5 - Caratteri fenologici, morfo-strutturali e produttivi del frumento rilevati allo stadio di spigatura nei due anni di prova.

Genotipi	Lamine (%)				Culmi (%)				Spighe (%)				Materiale senescente (%)				LAI			
	2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10	
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
Biancuccia	10	10	12	11	70	66	71	73	13	11	10	11	7	14	7	6	2,8	2,2	2,4	1,4
Cappelli	12	11	18	15	70	71	68	70	11	11	11	10	7	7	3	5	3,2	2,6	3,3	2,1
Maiorcone	11	10	16	13	69	67	69	72	12	10	10	9	8	13	5	6	3,3	3,1	3,2	2,1
Realforte	10	10	15	12	69	69	69	70	11	11	10	9	10	9	6	8	3,2	2,8	2,9	2,3
Russello	9	8	14	11	71	71	70	70	12	10	11	10	8	11	6	8	2,9	2,0	2,9	2,0
Scorsonera	11	11	16	15	71	70	68	69	14	13	11	10	4	6	5	6	2,9	2,4	2,6	1,5
Capeti	11	12	17	15	70	69	66	67	16	14	14	14	3	5	3	4	2,0	1,4	2,4	1,7
Claudio	12	11	18	15	64	65	62	65	19	18	17	16	4	6	3	5	3,1	2,0	2,9	0,9
Creso	13	18	20	16	63	57	63	64	17	11	13	12	7	14	5	8	3,3	2,1	3,1	2,3
Iride	11	10	18	19	61	61	59	58	24	21	20	18	4	8	3	4	2,6	2,0	2,9	2,0
Simeto	13	11	17	17	66	65	63	64	18	17	17	16	2	7	4	3	3,1	1,4	2,9	2,1
Valbelice	11	9	19	17	71	72	67	67	15	14	12	13	4	5	2	3	3,0	2,0	2,9	2,5
Differenze minime significative per P=0,05																				
<b>Anno</b>	1,6				-				0,5				0,8				0,34			
<b>Genotipo</b>	2,9	2,6			3,0	3,0	3,0	3,0	1,8				2,2				0,49	0,24		
<b>Comp</b>	0,7	0,7			-				0,8		0,5		1,4		0,42				0,15	0,53
<b>Gen x Comp</b>	-				-				-				-							

g m<sup>-2</sup> (Cappelli) mentre nelle varietà moderne i valori registrati sono risultati compresi tra 632 g m<sup>-2</sup> (Iride) e 924 g m<sup>-2</sup> (Creso, varietà questa costituita peraltro già alla fine degli anni '60). Le differenze tra vecchie e nuove costituzioni, al secondo anno, pur mantenendosi significative, sono apparse attenuate (858 vs 676 g m<sup>-2</sup>, in media).

La differente statura delle piante è risultata associata alle variazioni del contributo delle diverse frazioni botaniche della fitomassa epigeica (Tab. 3.5); in particolare nelle nuove costituzioni genetiche l'incidenza degli organi riproduttivi (spighe) è risultata, come peraltro atteso, decisamente più elevata rispetto a quanto riscontrato nelle popolazioni locali e nelle vecchie varietà. Tale risultato è apparso stabile nei due anni di prova (interazione *Anno x Genotipo* non significativa).

L'indice di superficie fogliare (Tab. 3.5), in assenza di competizione interspecifica, è variato tra 2,2 (Capeiti) e 3,3 (Maiorccone e Cappelli), con variazioni tuttavia non stabili negli anni di prova (interazione *Anno x Genotipo* significativa per  $P \leq 0,05$ ). Per tale parametro, in media, non è emersa alcuna differenza, in entrambi gli anni di prova, tra vecchie e nuove costituzioni genetiche.

La competizione interspecifica non ha modificato in alcun modo la fenologia dei genotipi in valutazione mentre, al contrario, ha indotto significative riduzioni, pur se non consistenti in valore assoluto, della taglia delle piante, passata da 108 a 103 cm, in media (Tab. 3.5). Per quest'ultimo carattere gli effetti della competizione sono apparsi stabili al variare del genotipo (interazione non significativa).

Marcate e significative riduzioni di fitomassa epigeica alla spigatura, pari in media nel biennio al 33%, sono state osservate per effetto della competizione interspecifica; i genotipi in valutazione hanno risposto in maniera differenziata alla competizione, avendo riscontrato riduzioni di resa compresa tra il 12% (Maiorccone) ed il 59% (Claudio). Nel complesso le varietà moderne hanno subito effetti più marcati per la competizione rispetto alle vecchie costituzioni genetiche (riduzioni in media pari al 47% ed al 21%, rispettivamente). Le variazioni osservate sono apparse strettamente relazionate alla taglia delle piante e all'entità della biomassa dell'infestante; come ben si evidenzia dall'analisi della figura 3.5; all'aumento della taglia delle piante ha corrisposto una pressoché proporzionale riduzione delle perdite in fitomassa epigeica

così come all'aumento della fitomassa del competitore ha corrisposto un aumento (con andamento pressoché lineare) delle perdite percentuali in fitomassa indotte nel frumento dalla competizione.

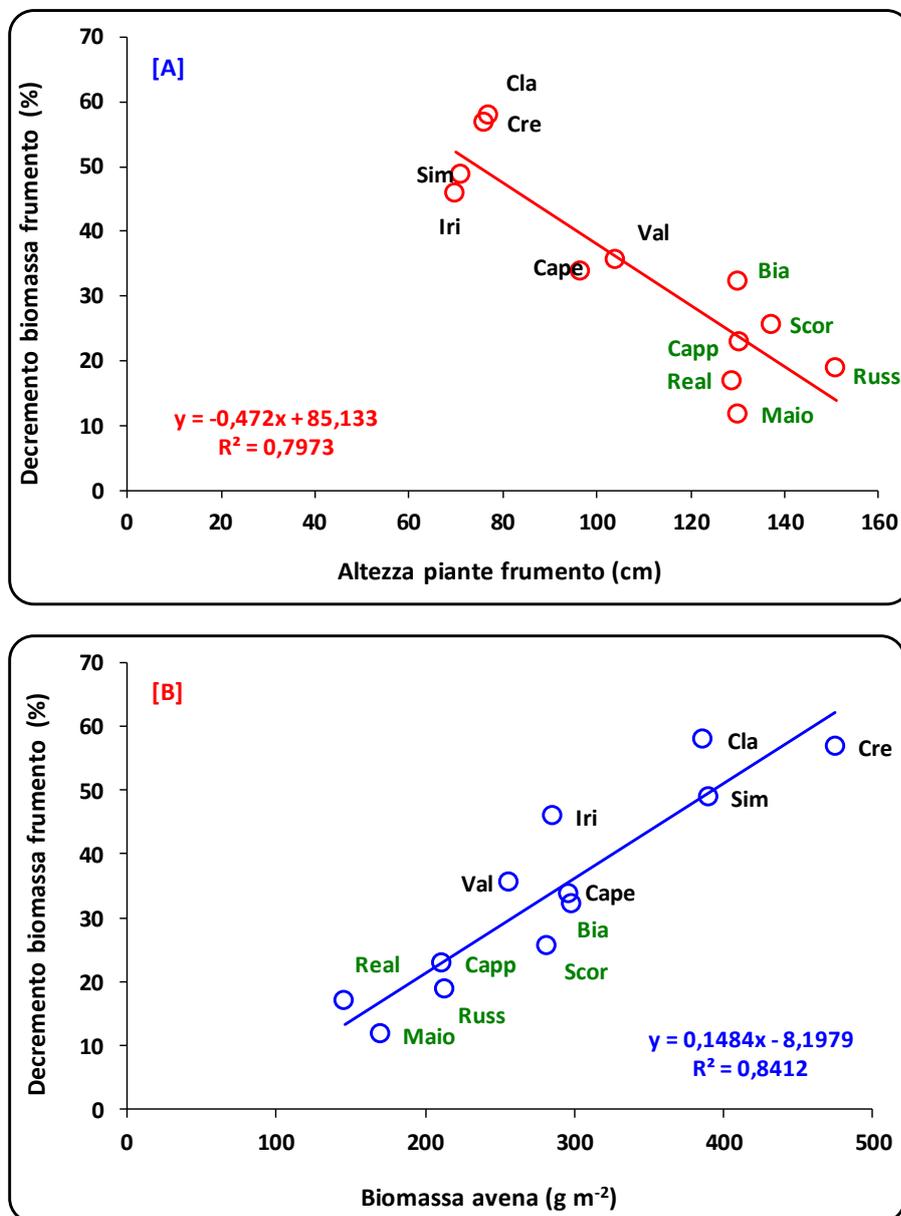
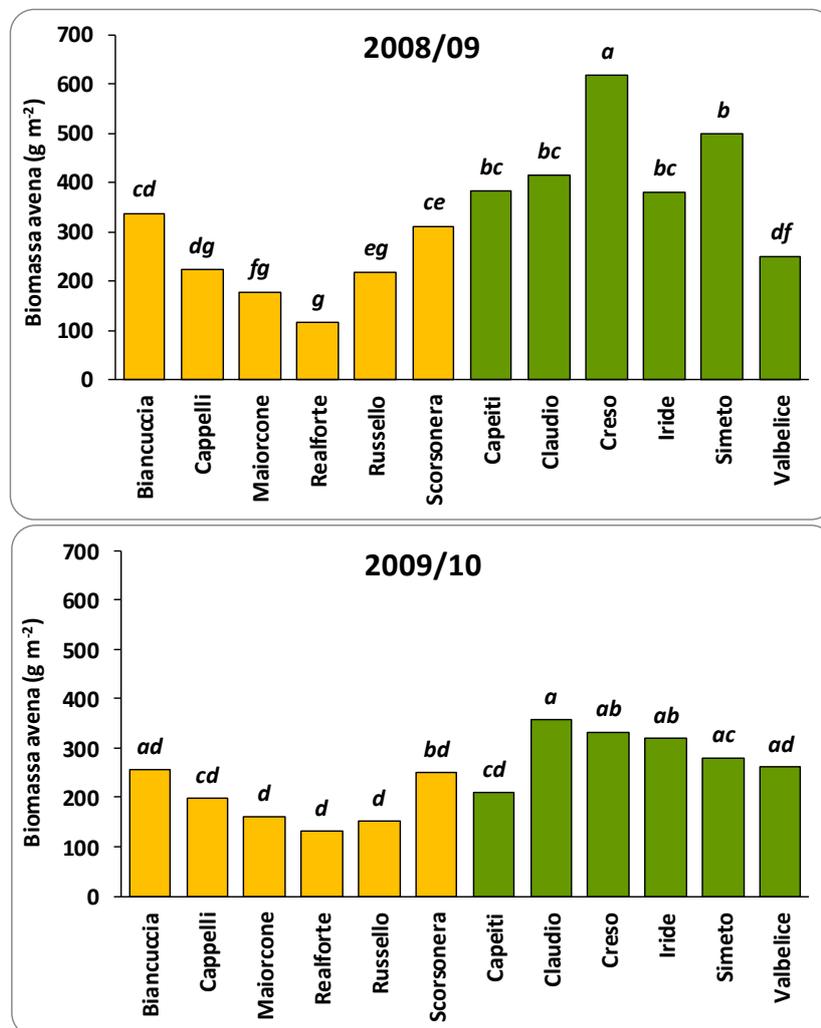


Figura 3.5 - Relazione tra le altezze delle piante e le riduzioni di resa in biomassa nel frumento [A] e tra le variazioni di fitomassa del competitore e le riduzioni di resa in biomassa nel frumento [B] per effetto della competizione interspecifica. (Valori medi del biennio di prova rilevati alla spigatura del frumento)

La presenza del competitore ha modificato solo lievemente l'incidenza delle differenti frazioni botaniche sulla fitomassa epigeica del frumento (Tab. 3.5), pur se le differenze

osservate hanno raggiunto talvolta la significatività statistica. Per tali parametri i genotipi in valutazione hanno mostrato un comportamento analogo (non avendo l'interazione *Genotipo x Competizione* mai raggiunto la significatività statistica).



Fonte di variazione	df	IA	Biomassa	Incid. lamine	Incid. culmi	LAI
Anno (Yr)	1	***	*	***	*	*
Genotipo (Gen)	11	*	***	***	**	***
Yr x Gen	11	ns	***	***	***	***

Fig. 3.6 - Produzione di biomassa ed analisi della varianza per alcuni caratteri dell'avena rilevati nel biennio di prova alla spigatura del frumento.

La competizione interspecifica ha indotto al contrario marcati e significativi effetti sul LAI, avendo registrato valori in media pari a 2,9 e 2,0 nel frumento allevato in assenza o presenza di competizione interspecifica rispettivamente. Così come rilevato per la resa in biomassa, per tale parametro gli effetti della competizione sono apparsi

variabili tra i diversi genotipi in valutazione avendo riscontrato decrementi più marcati nelle nuove costituzioni genetiche rispetto alle popolazioni locali e vecchie varietà.

I dati relativi alla biomassa del competitore, distintamente per anno e per genotipo di frumento in valutazione, sono riportati nella figura 3.6. In dettaglio la biomassa del competitore è risultata al primo anno compresa tra 115 e 617 g m<sup>-2</sup> (rispettivamente in Realforte e Creso); al secondo anno le differenze tra i genotipi si sono notevolmente ridotte avendo riscontrato un campo di variazione compreso tra 132 g m<sup>-2</sup> (Realforte) e 358 g m<sup>-2</sup> (Claudio). Va sottolineato tuttavia come tali dati vanno interpretati con cautela in quanto il rilievo alla spigatura è stato realizzato in date differenziate in relazione alla differente fenologia del materiale in valutazione.

I dati alla maturazione relativamente ai parametri morfo-strutturali e produttivi sono riportati nelle tabelle 3.6 e 3.7.

**Tab. 3.6 - Analisi della varianza per alcuni caratteri morfologici e produttivi del frumento rilevati alla maturazione della granella.**

Fonte di variazione	df	Altezza piante	Allett.nton %	Allett.nton Tipo	Densità spighe	Prod. biomassa	Prod. granella
<b>Anno (Yr)</b>	1	*	ns	ns	**	***	**
<b>Genotipo (Gen)</b>	11	***	***	***	***	***	***
<b>Yr x Gen</b>	11	ns	***	ns	*	ns	ns
<b>Competizione (Comp)</b>	1	**	***	***	***	***	***
<b>Yr x Comp</b>	1	ns	*	***	ns	ns	*
<b>Gen x Comp</b>	11	ns	***	***	**	***	***
<b>Yr x Gen x Comp</b>	11	ns	ns	*	ns	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\*: rispettivamente significativo per P=0,05, P=0,01 e P=0,001; ns: non significativo.

Gli effetti dei trattamenti applicati nei due anni di prova sulla taglia delle piante rilevata a maturazione (Tab. 7) sono apparsi del tutto analoghi a quelli descritti in precedenza per il rilievo condotto a spigatura e pertanto se ne omette la trattazione.

Come atteso l'incidenza e l'intensità dell'allettamento (Tab. 3.7) sono risultate a maturazione decisamente più elevate nelle vecchie costituzioni genetiche rispetto a quanto rilevato nelle nuove varietà; in particolare nelle varietà Creso, Claudio, Iride e Simeto, varietà tutte caratterizzate da una taglia nel complesso inferiore a 90 cm, non è stato registrato allettamento.



Le differenze tra i genotipi sono state rilevate anche a carico del numero di spighe per unità di superficie (Tab. 3.7); in assenza di competizione interspecifica la densità di spighe è risultata, in media, compresa tra 254 (Russello) e 350 (Realforte). Nel complesso nessuna differenza è stata osservata nell'investimento di spighe per unità di superficie tra vecchie e nuove costituzioni; tale dato contrasta con quanto riportato da Lemerle et al (2001a) i quali affermano che il miglioramento genetico ha condotto nel frumento ad una progressiva riduzione della capacità di accestimento e conseguentemente del numero di spighe per m<sup>-2</sup>.

In assenza di competizione interspecifica, tra i genotipi sono state osservate differenze modeste in termini di biomassa epigeica; altre ricerche hanno evidenziato come il miglioramento genetico nel frumento non abbia determinato variazioni della biomassa epigeica ma progressivi aumenti dell'*harvest index* (Austin et al, 1980 e 1989; Siddique et al, 1989; Slafer e Andrade, 1991 e 1993; Reynolds et al, 1999; Motzo et al, 2004; De Vita et al, 2007).

Differenze ampie e significative tra i genotipi in valutazione sono state osservate relativamente alla produzione in granella (Tab. 3.7) risultata, in assenza di competizione, compresa in media tra 241 (Maiorccone) e 455 g m<sup>-2</sup> (Valbelice). Nel complesso le vecchie costituzioni genetiche hanno fatto registrare livelli produttivi decisamente più bassi rispetto a quelli realizzata dalle nuove varietà; tale risultato concorda con quanto riportato in letteratura. De Vita et al (2007) hanno riscontrato un incremento di resa granellare annuo attribuibile al miglioramento genetico pari al 19,9 kg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>; risultati analoghi sono riportati per il frumento duro da Pecetti ed Annichiarico (1998) (17 kg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>), da McCaig e Clarke (1995) (22,6 kg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>) e da Ramdani et al (2003) (24 kg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>).

Gli effetti della competizione interspecifica, sulla statura delle piante e sull'allettamento, sono apparsi nel complesso modesti, pur se le differenze osservate tra il materiale in valutazione sono risultate statisticamente apprezzabili. Al contrario, la presenza del competitore ha indotto in genere una marcata e significativa riduzione della densità di spighe (-25% in media); tale effetto è apparso tuttavia diversificato in

rapporto al genotipo, risultato attenuato nelle vecchie costituzioni genetiche che hanno pertanto mostrato di tollerare meglio la presenza del competitore.

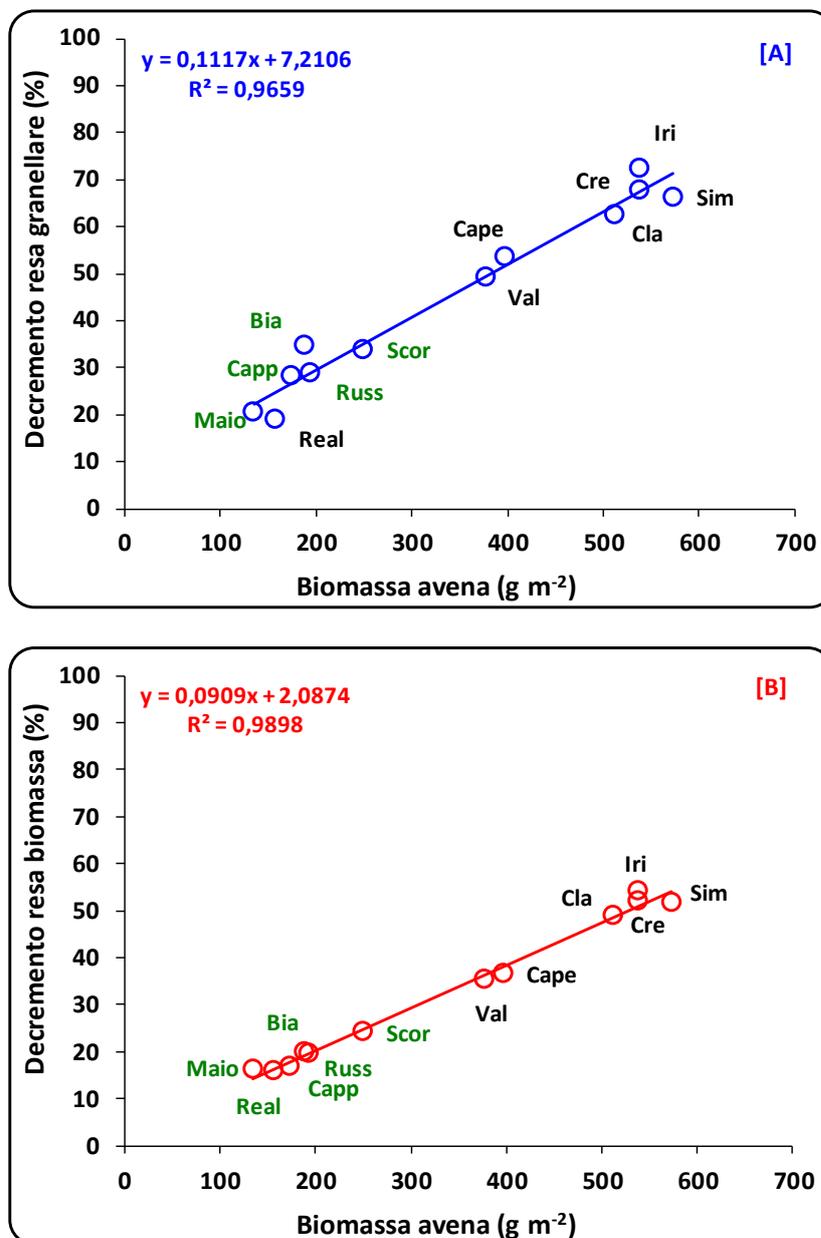


Figura 3.7 - Relazione tra le variazioni di fitomassa del competitore e le riduzioni di resa in granella [A] e biomassa [B] nel frumento per effetto della competizione interspecifica. (Valori medi del biennio di prova rilevati alla maturazione del frumento)

Come atteso, la competizione interspecifica ha determinato marcate riduzioni delle rese in fitomassa e granella (in media pari al 32% e 49%, rispettivamente). Per entrambi i caratteri tali effetti sono variati in relazione al genotipo (interazioni *Genotipo x Competizione* significative per  $P < 0,001$ ); nelle vecchie costituzioni

genetiche infatti la competizione interspecifica ha indotto riduzioni di resa pari in media al 18,5% (fitomassa) ed al 27,9% (granella), mentre nelle nuove costituzioni genetiche sono state registrati valori rispettivamente pari al 46,2% ed al 62,0%. Tali variazioni sono risultate strettamente associate alle differenze riscontrate a maturazione nella biomassa del competitore (Fig. 3.7); ciò evidenzia con chiarezza come i genotipi in valutazione si caratterizzino per una differente capacità soppressiva nei confronti delle infestanti (Tab. 3.8). Altre ricerche hanno evidenziato come le cultivar selezionate in epoche in cui gli erbicidi non erano ancora disponibili sono spesso più competitive verso le infestanti rispetto alle cultivar selezionate negli ultimi anni (Lemerle et al, 1996; Vandeleur e Gill, 2004; Wicks et al, 2004; Murphy et al, 2008). Alcuni studi hanno, inoltre, riscontrato la presenza di una associazione tra riduzioni di resa granellare e biomassa delle infestanti a maturazione (Lemerle et al, 1996 e 2000a; Gill e Coleman, 1999), mentre molti altri hanno evidenziato come la differente abilità soppressiva nei confronti delle infestanti tra i genotipi sia da correlare con la taglia delle piante (Lemerle et al, 1996; Hogg e Seefeldt, 1999; Gonzales Ponce e Santin, 2001); pertanto non deve stupire il fatto che nella presente ricerca i genotipi che hanno fatto registrare riduzioni di resa meno marcate siano risultati quelli di più antica costituzione, caratterizzati come visto da una maggiore taglia delle piante.

Appare interessante inoltre evidenziare come, in presenza di competizione interspecifica, le differenze produttive tra vecchie e nuove accessioni si siano praticamente annullate e ciò concorda con quanto riportato da Giambalvo et al (2010) i quali suggeriscono come spesso nei sistemi organici, dove il controllo delle infestanti rappresenta un serio problema, le vecchie ed alte varietà siano da preferire alle nuove costituzioni genetiche. Al contrario Vandeleur e Gill (2004) hanno evidenziato come in frumento le nuove costituzioni genetiche risultino in grado di fornire rese granellari superiori ai vecchi genotipi sia in assenza che in presenza di competizione interspecifica. La discordanza tra tali risultati va presumibilmente attribuita a diversi fattori, quali: differente materiale genetico impiegato, diversità floristica nella composizione della flora infestante, differenti condizioni pedo-climatiche dei siti di prova.

Tab. 3.8 - Caratteri morfo-strutturali e produttivi dell'avena rilevati alla maturazione del frumento nei due anni di prova.

Genotipi	Altezza piante (cm)		Densità spighe ( $n\ m^{-2}$ )		Produzione granella ( $g\ m^{-2}$ )		Produzione biomassa ( $g\ m^{-2}$ )		Nuptake ( $kg\ ha^{-1}$ )		Nrecovery (%)	
	2008/09	2009/10	2008/09	2009/10	2008/09	2009/10	2008/09	2009/10	2008/09	2009/10	2008/09	2009/10
Biancuccia	130	119	76	21	81	5	273	103	30	9	11,9	2,5
Cappelli	136	128	62	25	65	13	223	124	18	12	4,9	3,4
Maiorcone	124	107	50	27	44	10	162	107	16	8	6,7	2,7
Realforte	118	118	65	38	53	20	186	128	16	9	5,2	2,9
Russello	137	130	56	45	65	27	216	172	18	13	8,2	4,2
Scorsonera	144	129	83	50	88	32	270	230	31	24	8,1	6,2
<b>Antichi</b>												
Capeiti	148	123	135	58	196	34	560	234	47	19	15,7	6,0
Claudio	151	133	133	47	227	35	695	329	59	32	17,8	9,5
Creso	158	128	150	62	270	44	775	302	64	23	21,2	6,4
Iride	151	125	144	69	261	48	730	346	64	31	26,0	8,3
Simeto	156	132	148	67	291	51	824	322	69	35	22,3	9,0
Valbelice	146	130	125	51	165	30	495	262	41	20	11,6	5,8
Differenze minime significative per P=0,05												
Anno	5,0		14,0		14,2		34,3		3,3		1,27	
Genotipo	11,3		33,7		51,6		162,0		15,7		5,83	

Tra i genotipi in valutazione, in assenza di competizione interspecifica, le asportazioni complessive di azoto (Tabb. 9 e 10) sono risultate comprese tra 110 kg ha<sup>-1</sup> (Simeto) e 129 kg ha<sup>-1</sup> (Russello) al primo anno e tra 81 kg ha<sup>-1</sup> (Creso) e 99 kg ha<sup>-1</sup> (Cappelli) al secondo anno; pertanto le differenze osservate, pur se significative all'analisi statistica, sono apparse in valore assoluto di modesta entità così come quelle riscontrabili confrontando vecchie e nuove costituzioni genetiche (valori solo leggermente superiori nei genotipi di più antica costituzione). Ortiz-Monasterio et al (1997) e Guarda et al (2004) hanno riscontrato come il miglioramento genetico abbia condotto nel frumento ad un progressivo aumento delle asportazioni di azoto; al contrario altri autori (Austin et al, 1977) hanno evidenziato una generale riduzione delle asportazioni di azoto nelle varietà a taglia bassa rispetto a quelle a taglia più elevata, caratteristica questa che contraddistingue le vecchie costituzioni genetiche. D'altra parte in altre ricerche non sono state trovate relazioni tra asportazioni di azoto ed anno di costituzione delle varietà o taglia delle piante (Fischer e Wall, 1976; Paccaud et al, 1985; Feil e Geisler, 1989; Calderini et al, 1995; Motzo et al, 2004). Anche in questo caso i risultati contrastanti riportati in letteratura possono trovare una plausibile spiegazione nelle differenti condizioni pedoclimatiche dei siti di prova, nella diversa agrotecnica applicata (es. epoca e modalità di distribuzione dei fertilizzanti azotati), nei diversi materiali genetici in valutazione.

**Tab. 3.9 - Analisi della varianza per i caratteri qualitativi del frumento rilevati a maturazione.**

Fonte di variazione	df	Nuptake	Nrecovery
<b>Anno (Yr)</b>	1	***	***
<b>Genotipo (Gen)</b>	11	*	***
<b>Yr x Gen</b>	11	*	ns
<b>Competizione (Comp)</b>	1	***	***
<b>Yr x Comp</b>	1	ns	ns
<b>Gen x Comp</b>	11	***	***
<b>Yr x Gen x Comp</b>	11	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\*: rispettivamente significativo per P=0,05, P=0,01 e P=0,001; ns: non significativo.

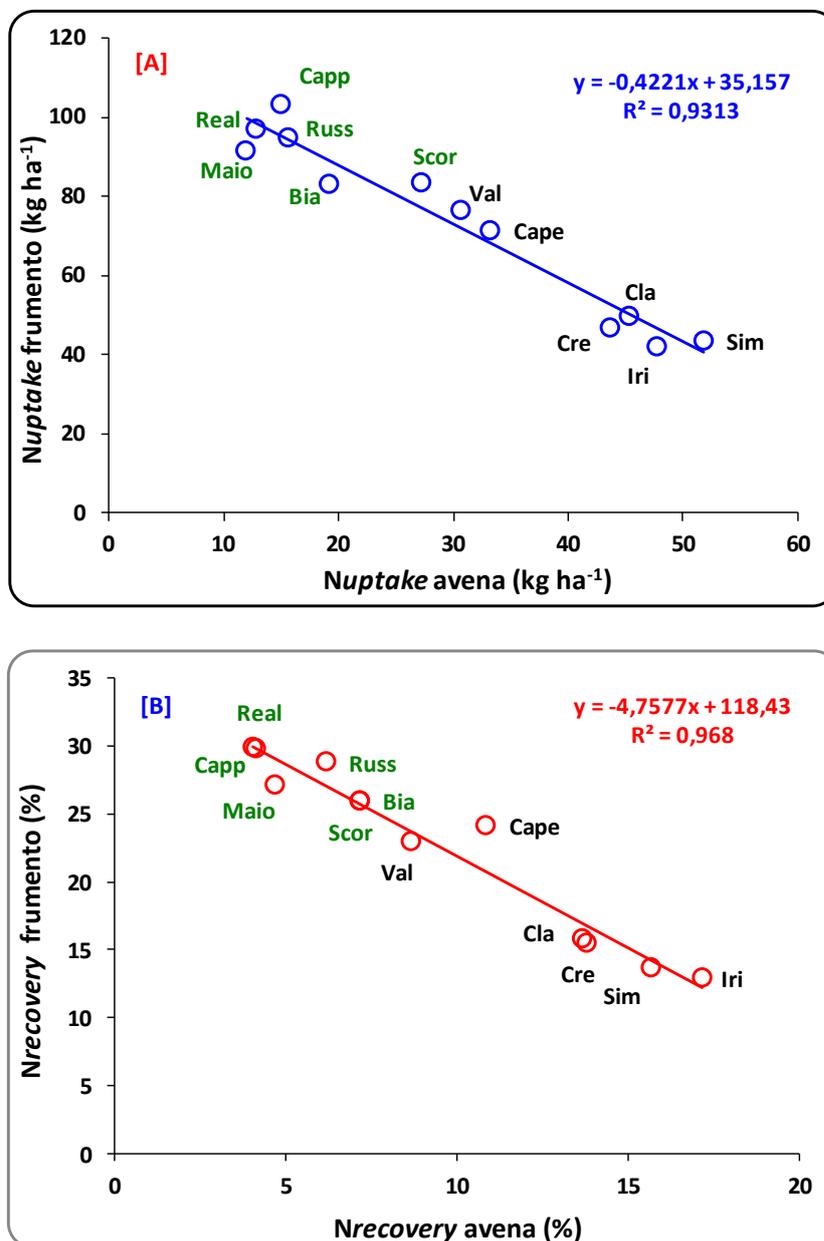
La percentuale di *Nrecovery*, che rappresenta la quota di azoto distribuito effettivamente prelevato dalla coltura, in assenza di competizione interspecifica è risultata pari in media al 39,8% al primo anno ed al 27,5% al secondo anno (Tab. 3.10). Le differenze tra i due anni possono essere dovute al diverso andamento climatico ed in particolare alla differente distribuzione

**Tab. 3.10 - Asportazioni di azoto (Nuptake) e quota di azoto distribuito effettivamente prelevato dalla coltura del frumento (Nrecovery) rilevati alla maturazione della granella nei due anni di prova.**

Genotipi	Nuptake (kg ha <sup>-1</sup> )				Nrecovery (%)				
	2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	
Antichi	Biancuccia	125	87	97	79	43,5	27,8	30,0	24,1
	Cappelli	125	117	99	89	40,8	32,9	29,1	26,7
	Maiorccone	123	106	88	77	42,1	31,0	30,1	23,3
	Realforte	112	105	92	89	38,9	33,9	32,3	25,8
	Russello	129	121	84	68	45,0	33,5	27,3	24,0
	Scorsonera	117	103	83	64	35,3	33,5	24,7	18,2
Moderni	Capeiti	123	81	88	61	40,0	30,0	25,6	18,3
	Claudio	114	66	82	34	38,4	20,0	26,0	11,5
	Creso	116	56	81	38	42,9	19,1	28,1	11,8
	Iride	112	52	89	32	37,6	16,3	25,9	9,5
	Simeto	110	43	82	44	36,1	14,5	26,2	12,8
	Valbelice	120	95	84	58	36,6	31,0	24,9	14,8
Differenze minime significative per P=0,05									
<b>Anno</b>									3,19
<b>Genotipo</b>		29,8		15,8					6,41
<b>Comp</b>									3,35
<b>Gen x Comp</b>									6,35

delle precipitazioni che possono avere influito diversamente sui rilasci ambientali di azoto influenzandone le asportazioni. I valori ottenuti in questo esperimento sono di poco superiori a quelli rilevati sul frumento in Tunisia da Sanaa et al (1992), in Siria da Pilbeam et al (1997) ed in Italia da Giambalvo et al (2009 e 2010). Lopez-Bellido et al (2006), in uno studio condotto in Spagna sul frumento duro, hanno riscontrato valori di <sup>15</sup>Nrecovery compresi tra il 12,7% (quanto il fertilizzante è stato applicato in un'unica soluzione alla semina) e il 41,6% (quando il fertilizzante è stato distribuito integralmente in copertura). Le differenze rilevate tra i genotipi in valutazione hanno mostrato un andamento pressoché analogo a quello riscontrato per le asportazioni di azoto; in media, in assenza di competizione interspecifica, la percentuale di Nrecovery è risultata compresa tra 30,0% (Scorsonera) e 36,7% (Biancuccia), con valori nel

complesso leggermente più elevati nelle vecchie costituzioni genetiche. Al contrario, Foulkes et al (1998) hanno riscontrato valori di *Nrecovery* più elevati nelle nuove costituzioni ed hanno attribuito ciò alla capacità delle varietà moderne di allungare la durata del periodo di assimilazione dell'elemento.



**Figura 3.8 - Relazione tra le variazioni di Nuptake [A] e Nrecovery [B] rilevati nell'avena ed i decrementi di Nuptake [A] e Nrecovery [B] rilevati nel frumento a maturazione per effetto della competizione interspecifica. (Valori medi del biennio di prova rilevati alla maturazione del frumento)**

La presenza del competitore ha determinato una riduzione, pari in media al 30%, sia delle asportazioni complessive di azoto che dei valori medi di *Nrecovery*. Per entrambi i

parametri, gli effetti della competizione sono variati ampiamente tra i genotipi in valutazione; infatti, le vecchie accessioni hanno mostrato una maggiore abilità nell'assimilare l'azoto disponibile allorché l'elemento è conteso con le infestanti. In media nelle vecchie costituzioni genetiche è stata infatti osservata, per effetto della competizione, una riduzione delle asportazioni di azoto pari al 13,1%, valore questo decisamente inferiore rispetto a quello registrato nelle varietà moderne (-45,3%). Analoghe considerazioni possono essere formulate per il *Nrecovery*, e tutto ciò in accordo con quanto riportato da Giambalvo et al (2010). Appare inoltre interessante evidenziare come le differenze osservate nelle asportazioni di azoto e nei valori *Nrecovery* tra i genotipi, in presenza di competizione interspecifica, siano risultate strettamente associate a differenze nelle asportazioni e nel *Nrecovery* del competitore (avena), come ben si evidenzia dall'analisi della figura 3.8.

I dati relativi ai parametri qualitativi rilevati sono riportati nelle tabelle 3.11 e 3.12.

**Tab. 3.11 - Analisi della varianza per alcuni caratteri qualitativi del frumento rilevati alla maturazione della granella.**

Fonte di variazione	df	Peso 1000	Peso ettolitrico	Semi bianconati	Contenuto proteico
<i>Anno (Yr)</i>	1	ns	*	ns	***
<i>Genotipo (Gen)</i>	11	***	***	***	***
<i>Yr x Gen</i>	11	**	**	ns	ns
<i>Competizione (Comp)</i>	1	***	***	***	ns
<i>Yr x Comp</i>	1	***	ns	ns	ns
<i>Gen x Comp</i>	11	***	n	ns	ns
<i>Yr x Gen x Comp</i>	11	***	ns	ns	ns

\*, \*\*, \*\*\*: rispettivamente significativo per P=0,05, P=0,01 e P=0,001; ns: non significativo.

Per quanto concerne il peso di 1000 semi differenze significative sono emerse tra i genotipi in valutazione avendo osservato, in assenza di competizione interspecifica, valori compresi tra 37,3 g (Biancuccia) e 54,2 g (Simeto) (Tab. 3.12). Nel complesso nelle nuove costituzioni genetiche è stato rilevato un peso unitario dei semi leggermente superiore rispetto alle vecchie costituzioni evidenziando come il miglioramento genetico ha influito solo modestamente su tale parametro; simili risultati sono stati ottenuti da De Vita et al (2007), Richards (1992) e Ortelli et al (1996)

Tab. 3.12 - Caratteri qualitativi del frumento rilevati alla maturazione della granella nei due anni di prova.

Genotipi	Peso 1.000 semi (g)				Peso ettolitrico (kg hl <sup>-1</sup> )				Semi bianconati (%)				Contenuto proteico (%)				
	2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		2008/09		2009/10		
	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	
Biancuccia	37,3	38,3	37,2	37,7	81,5	83,7	81,1	80,3	0,7	5,0	2,6	5,8	16,9	15,2	12,3	13,0	
Cappelli	52,1	49,0	52,8	52,1	81,0	82,5	81,0	80,6	2,5	1,0	4,5	13,0	14,6	14,0	11,8	12,1	
Maiorcone	35,3	33,5	41,0	41,1	79,5	78,6	79,0	79,4	0,4	1,5	0,5	1,4	15,2	15,1	12,0	13,0	
Realforte	36,4	34,1	41,2	41,2	79,3	78,7	79,4	79,4	1,0	1,6	0,5	5,4	14,3	15,0	11,9	12,3	
Russello	45,3	43,7	47,2	44,5	80,0	79,8	80,3	79,1	3,4	1,2	8,1	11,2	15,3	15,1	11,8	12,0	
Scorsonera	45,9	43,4	46,2	43,8	81,8	81,9	80,8	80,3	0,9	1,6	3,7	10,3	15,1	15,0	13,0	12,3	
Capeti	47,4	38,6	41,9	40,2	82,9	81,8	80,8	80,4	14,6	30,6	3,8	14,5	12,6	11,7	11,1	11,0	
Claudio	47,7	40,0	44,8	42,8	83,2	80,4	79,0	77,3	17,1	25,0	38,3	41,5	12,0	12,8	10,1	10,7	
Creso	52,3	39,2	50,0	45,1	82,8	79,3	81,0	80,1	8,8	4,0	8,4	7,6	13,6	15,4	10,9	11,5	
Iride	43,1	30,8	42,1	36,4	81,7	77,0	79,8	77,0	24,4	28,2	6,1	8,3	10,8	11,6	11,0	11,6	
Simeto	49,5	44,6	48,9	46,4	80,5	79,1	78,9	76,2	9,3	14,1	7,5	16,6	12,4	11,8	11,6	11,5	
Valbelice	45,0	38,1	46,5	42,5	83,1	82,4	80,3	79,4	9,8	21,3	18,1	21,6	12,7	11,8	10,6	11,1	
Differenze minime significative per P=0,05																	
<b>Anno</b>	-		-		1,35		-		-		-		0,45		-		
<b>Genotipo</b>	4,47	3,06	2,55	1,97	2,55	1,35	1,97	10,22	10,22	10,22	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	
<b>Comp</b>	1,03	0,65	0,40	2,02	0,40	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
<b>Gen x Comp</b>	3,55	2,26	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40

e ciò lascia ipotizzare come incrementi produttivi realizzati attraverso il miglioramento genetico siano imputabili in prevalenza all'incremento del numero di cariossidi per unità di superficie piuttosto che ad un aumento del peso unitario. In media la presenza del competitore ha determinato una significativa riduzione del peso unitario dei semi, più marcata al primo anno di prova (-12,7% e -4,7%, rispettivamente al primo ed al secondo anno). Anche in questo caso i genotipi in valutazione hanno risposto in maniera differenziata alla competizione interspecifica avendo riscontrato riduzioni nel peso unitario delle cariossidi decisamente più elevate nelle nuove costituzioni genetiche, in particolare al primo anno di prova.

Le variazioni osservate nei valori di peso ettolitrico per effetto dei trattamenti applicati sono risultate analoghe a quelle registrate per il peso dei 1000 semi (Tab. 3.12).

Ampie e significative differenze tra i genotipi in valutazione sono state osservate relativamente alla percentuale di semi bianconati che, in assenza di competizione interspecifica, è risultata compresa tra 0,5% e 27,7% (Tab. 3.12); le nuove varietà hanno fatto registrare percentuali di semi bianconati decisamente più elevate rispetto a quelle rilevate nelle vecchie costituzioni. Ciò è presumibilmente da collegare alle differenze produttive tra le costituzioni genetiche; infatti è facile immaginare come le nuove accessioni, più esigenti in azoto in quanto più produttive, abbiano trovato maggiori difficoltà, rispetto ai vecchi genotipi, a soddisfare le proprie esigenze nutrizionali con un conseguente aumento dell'incidenza della bianconatura. La competizione interspecifica ha determinato un aumento della percentuale di semi bianconati, senza differenze apprezzabili tra i genotipi in valutazione (interazione *Genotipo x Competizione* non significativa).

Per quanto concerne il contenuto proteico, i dati rilevati hanno evidenziato ampie differenze tra i genotipi da porre in relazione con l'anno di costituzione (Tab. 3.12); infatti, in media nelle vecchie costituzioni genetiche, allevate in assenza di competizione interspecifica, il contenuto proteico è risultato pari al 13,7%, valore questo ben più elevato rispetto a quanto rilevato nelle varietà moderne (11,6%). Molte ricerche hanno evidenziato l'esistenza di una relazione tra produzione e contenuto in proteine nella granella (Calderini et al, 1995; Guarda et al, 2004; Motzo et al, 2004; De

Vita et al, 2007; Giambalvo et al, 2010) e pertanto i risultati della presente ricerca vanno attribuiti, piuttosto che ad una conseguenza diretta del miglioramento genetico, ad un effetto diluizione. Nessuna differenza significativa è emersa per effetto della competizione interspecifica sul contenuto in proteine nella granella e tutti i genotipi, a tal proposito, hanno evidenziato un comportamento analogo; evidentemente alla riduzione delle asportazioni di azoto ha corrisposto un proporzionale e generalizzato decremento di resa granellare.

Nella tabella 3.13 sono riportati i valori dei coefficienti di correlazione tra i caratteri morfologici e fisiologici, rilevati sia all'accestimento che alla spigatura, con i decrementi di resa in granella e fitomassa, di *Nuptake* e di *Nrecovery* per effetto della competizione interspecifica tra i diversi genotipi in valutazione.

**Tab. 3.13 - Matrice di correlazione lineare tra alcuni parametri morfo-fenologici e fisiologici ed i decrementi di rese in granella e biomassa epigeica, di *Nuptake* e di *Nrecovery*.**

		Decremento resa granellare	Decremento resa biomassa	Decremento <i>Nuptake</i>	Decremento <i>Nrecovery</i>
<b>Accestimento</b>	Ricoprimento	-0,75	-0,74	-0,78	-0,69
	Altezza piante	-0,24	-0,29	-0,39	-0,50
	Densità piante	-0,81	-0,81	-0,77	-0,72
	IA	0,06	0,13	0,20	0,35
	Biomassa areica	-0,48	-0,39	-0,49	-0,39
	LAI	-0,63	-0,54	-0,54	-0,36
<b>Spigatura</b>	Ricoprimento	-0,68	-0,64	-0,63	-0,51
	Data spigatura	-0,70	-0,69	-0,60	-0,48
	Altezza piante	-0,94	-0,96	-0,94	-0,92
	Densità piante	-0,50	-0,45	-0,48	-0,36
	IA	-0,20	-0,17	-0,07	0,03
	Biomassa areica	-0,82	-0,82	-0,71	-0,60
	LAI	-0,30	-0,21	-0,22	-0,05

Limitando l'analisi ai dati rilevati all'accestimento è possibile notare come i decrementi di resa in granella tra le accessioni in valutazione sono risultati significativamente e negativamente associati sia alla densità di piante ( $r=-0,81$ ) sia al ricoprimento del suolo ( $r=-0,75$ ) che al valore del LAI ( $r=-0,63$ ). Tali caratteri, ad eccezione del LAI, sono risultati inoltre significativamente e negativamente correlati con i decrementi osservati

per effetto della competizione sulla resa in fitomassa, sull'asportazione di azoto e sui valori *Nrecovery*.

Relazioni altamente significative sono state trovate tra variazioni nelle rese e nelle asportazioni di azoto e altezza della vegetazione alla spigatura (valori di  $r$  sempre superiori a -0,9), biomassa del frumento (valori di  $r$  compresi tra -0,60 e -0,82) e ricoprimento (valori di  $r$  compresi tra -0,51 e -0,68).

Come descritto nella sezione materiali e metodi, è stata effettuata un'analisi di regressione multipla, adottando la metodologia *stepwise*, allo scopo di spiegare quote della variabilità osservata per effetto della competizione interspecifica sulle rese in granella e fitomassa, sulle asportazioni di azoto e sui valori di *Nrecovery*, attraverso le differenze per caratteri morfo-fenologici e fisiologici rilevati sia all'accestimento che alla spigatura. Le variabili utilizzate in ingresso sono state, in entrambi gli stadi fenologici, il grado di ricoprimento del suolo, l'altezza delle piante, la densità di piante, l'indice di accestimento, la biomassa epigeica ed il LAI. Il livello di significatività prefissato affinché ciascuna variabile in ingresso restasse nel modello è stato del 10%.

Per quanto concerne i dati all'accestimento (Tab. 3.14), i modelli generati hanno spiegato nel complesso quote di variabilità comprese tra 0,6070 e 0,7316; tuttavia soltanto il modello relativo ai decrementi indotti dalla competizione sui valori *Nrecovery* ha presentato più variabili indipendenti: altezza della vegetazione, in grado di spiegare il circa 51% della variabilità e il numero di piante per  $m^{-2}$  che ha presentato un valore di  $R^2$  parziale pari 0,22. Nei modelli relativi alle variazioni di resa in granella e in fitomassa l'unica variabile accettata è stata il numero di piante  $m^{-2}$  che apparsa in grado di spiegare, in entrambi i casi, una quota di variabilità pari al 65% circa.

I modelli generati utilizzando i parametri rilevati alla spigatura (Tab. 3.15) sono apparsi in grado di spiegare quote di variabilità decisamente più elevate avendo riscontrato valori di  $R^2$  compresi tra 0,85 e 0,96. L'altezza della vegetazione è sempre risultata la variabile indipendente che ha contribuito a spiegare in modo preponderante la varianza delle variabili dipendenti (valori di  $R^2$  parziali compresi tra 0,85 e 0,92). La densità di piante, pur entrando spesso nel modello, ha contribuito a spiegare quote aggiuntive modeste di variabilità (valori di  $R^2$  compresi tra 0,03 e 0,05).

Tab. 3.14 - Regressione multipla stepwise: equazioni e parametri statistici per alcuni caratteri morfo-fenologici e fisiologici del frumento rilevati all'accostimento ed alla spigatura.

	Equazione della regressione	Significatività modello			R <sup>2</sup> parziali del modello			Significatività degli R <sup>2</sup> parziali del modello		
		R <sup>2</sup>	F	P	R <sup>2</sup> (a)	R <sup>2</sup> (b)	R <sup>2</sup> (c)	P (a)	P (b)	P (c)
Accostimento	Decremento resa granellare = -0,4997* <i>Densità piante</i> + 177,7658	0,6521	18,75	0,0015	0,6521			0,0015		
	Decremento resa biomassa = -0,4025* <i>Densità piante</i> + 139,7944	0,6525	18,78	0,0015	0,6525			0,0015		
	Decremento Nuptake = -3,5087* <i>Ricoprimento suolo</i> + 290,5671	0,6070	15,44	0,0028	0,6070			0,0028		
	Decremento Nrecovery = -2,0284* <i>Altezza piante</i> - 0,3922* <i>Densità piante</i> + 255,6601	0,7316	12,27	0,0027	0,5122	0,2194		0,0089	0,0239	
Spigatura	Decremento resa granellare = -0,5688* <i>Altezza piante</i> - 0,1245* <i>Densità piante</i> - 17,1898* <i>IA</i> + 168,5332	0,9567	58,97	<0,0001	0,8793	0,0542	0,0232	<0,0001	0,0240	0,0720
	Decremento resa biomassa = -0,4805* <i>Altezza piante</i> - 0,0764* <i>Densità piante</i> + 105,7165	0,9456	78,18	<0,0001	0,9158	0,0298		<0,0001	0,0537	
	Decremento Nuptake = -0,5832* <i>Altezza piante</i> - 0,1129* <i>Densità piante</i> + 123,6063	0,9189	51,01	<0,0001	0,8777	0,0412		<0,0001	0,0611	
	Decremento Nrecovery = -0,5552* <i>Altezza piante</i> + 93,1924	0,8511	57,17	<0,0001	0,8511			<0,0001		

### 3.4 Conclusioni

In conclusione, questa ricerca ha evidenziato che, sebbene le accessioni di frumento in valutazione si siano ampiamente differenziate per potenzialità produttiva (maggiore nelle nuove costituzioni genetiche rispetto alle popolazioni locali ed alle vecchie varietà), le differenze tra esse si sono praticamente annullate quanto sono state allevate in presenza di competizione interspecifica.

Inoltre, tra i genotipi in prova sono emerse solo lievi differenze relativamente sia alle asportazioni di azoto sia alla quota di azoto distribuito effettivamente prelevato dalla coltura (*Nrecovery*); infatti, in assenza di competizione interspecifica, per entrambi i parametri sono stati riscontrati valori solo leggermente superiori nei genotipi di più antica costituzione.

Le accessioni in valutazione si sono ampiamente diversificate anche per abilità competitiva nei confronti delle malerbe e le differenze osservate si sono concretizzate già nelle prime fasi del ciclo biologico e si sono progressivamente incrementate fino alla maturazione. La differente abilità competitiva è apparsa strettamente correlata con la statura delle piante, carattere questo che è apparso in grado di spiegare in maggior misura le variazioni di resa in fitomassa ed in granella e delle asportazioni di azoto indotte dalla competizione interspecifica sul differente materiale genetico in valutazione.

Inoltre, la differente abilità competitiva è apparsa dipendere in prevalenza da una diversa capacità dei genotipi nel ridurre la disponibilità di risorse per il competitore piuttosto che da una differente adattabilità a condizioni di progressivo esaurimento delle risorse stesse. Infatti, le variazioni delle asportazioni di azoto e delle rese granellari dovute alla competizione interspecifica sono apparse altamente e negativamente correlate con le asportazioni e le rese in fitomassa del competitore.

Questi risultati potrebbero avere delle implicazioni pratiche per la scelta delle varietà, particolarmente nei sistemi organici o a bassi input, dove il controllo delle infestanti e la disponibilità di azoto rappresentano spesso un serio problema. I risultati della ricerca sembrano infatti suggerire che in presenza di elevati livelli di infestazioni da

malerbe le vecchie ed alte varietà siano da preferire; in tali condizioni infatti queste possono garantire livelli produttivi analoghi o superiori a quelli realizzabili con le moderne accessioni; inoltre, la loro maggior abilità a competere con le infestanti può contribuire a ridurre la loro *seed-bank* nel suolo con positivi effetti sui seguenti colturali. Infine, non va trascurato che tali accessioni, caratterizzate da valori di *harvest index* decisamente più bassi rispetto alle nuove costituzioni genetiche, forniscono una grande quantità di residui che potrebbe rappresentare una importante fonte di sostanza organica per il suolo.

## Bibliografia

- Ahlawat I.P.S., Singh A., Saraf C.S. 1979. *Studies on weed control in lentil*. LENS Newsletter 6:19-21.
- Ahlawat I.P.S., Singh A., Saraf C.S. 1981. *It pays to control weeds in pulses*. Indian Farming 31:11-13.
- Ahmadvand G., Mondani F., Golzardi F. 2009. *Effect of crop plant density on critical period of weed competition in potato*. Scientia Horticulturae 121:249–254.
- Al-Thahabi S.A., Yasin J.Z., Abu-Irmaileh B.E., Haddad N.I., Saxena M.C. 1994. *Effect of weed removal on productivity of chickpea (Cicer arietinum L.) and lentil (Lens culinaris Med.) in a Mediterranean environment*. Journal of Agronomy and Crop Science 5:333-341.
- Amador-Ramírez M.D. 2002. *Critical period of weed control in transplanted chilli pepper*. INIFAP-Zacatecas, Calera V.R., Zac. 98500 Mexico.
- Amato G., Giambalvo D., Frenda A.S., Trapani P. 2003. *Tecniche di controllo delle infestanti nella coltura da seme di sulla (Hedysarum coronarium)*. In: Atti del XXXV Convegno della Società Italiana di Agronomia. Napoli, 16-18 settembre 2003. pp. 145-146.
- Andreasen C., Stryhn H., Streibig J.C. 1996. *Decline of the flora in Danish arable fields*. J. Appl. Ecol. 33:619–626.
- Armstrong E.L., Heenan D.P., Pate J.S., Unkovich M.J. 1997. *Nitrogen benefit of lupin, field pea and chickpea to wheat production in south-eastern Australia*. Aust. J. Agric. Res., 48:39-47.
- Austin R.B., Bingham J., Blackwell R.D., Evans L.T., Ford M.A., Morgan C.L., Taylor M. 1980. *Genetic improvement in winter wheat yields since 1990 and associated physiological changes*. Journal of Agriculture Science 94:675-689.
- Austin R.B., Ford A., Morgan C.L. 1989. *Genetic improvement in the yield of winter wheat: a further evaluation*. Journal of Agriculture Science 112:295-301.
- Baessler C., Klotz S. 2006. *Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years*. Agric. Ecosys. Environ. 115:43–50.
- Bairamkenga R., Leroux G.D. 1994. *Critical period of quak grass (Elytrigia repens) removal in potatoes (Solanum tuberosum)*. Weed Sci. 42:528–533.
- Balyan R.S.R., Malik K., Panwar R.S., Singh S. 1991. *Competitive ability of winter wheat cultivars with wild oat (Avena ludoviciana)*. Weed Science 39:154-158.
- Bàrberi P., Silvestri N., Peruzzi A., Raffaelli M. 2000. *Finger-harrowing of durum wheat under different tillage system*. Biological and Horticulture 17:285-303.

- Beckett T.H., Stoller E.W., Wax L.W. 1988. *Interference of four annual weeds in corn (Zea mays)*. Weed Sci. 36:762–769.
- Benton T.G., Vickery J.A., Wilson J.D. 2003. *Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?* Trends Ecol. Evol. 18:182–188.
- Benvenuti S., Loddo D., Macchia M. 2005. *Biodiversità delle fitocenosi spontanee presenti nell'agro-ecosistema: ruolo agronomico, ambientale e paesaggistico*. Italus Hortus 13:400-409.
- Bhan V.M., Kukula S. 1987. Weeds and their control in chickpea. In: Saxena M.C., Singh K.B. (Eds.), *The Chickpea*. C.A.B. International, Wallingford, Oxon, UK. pp. 319-328.
- Bjorkman O. 1973. *Comparative studies on photosynthesis in higher plants*. In: Giese A.C. (Ed) *Photophysiology*, Vol 8. Academic Press, New York London, p 1-63.
- Bjorkman O. 1975. *Environmental and biological control of photosynthesis: Inaugural address*. In: Marcelle R. (Ed.) *Environmental and biological control of photosynthesis*. Dr Junk W. The Hague, p 1-16.
- Botwright T.L., Condon A.G., Rebetzke G.J., Richards R.A. 2002. *Field evaluation of early vigour for genetic improvement of grain yield in wheat*. Aust. J. Agric. Res. 53(10):1137-1145.
- Brooker R.W. et al. 2008. *Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future*. Journal of Ecology 96:18-34.
- Brougham R.W. 1958. *Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants*. Aust. J. Agric. Res. 9:39-52.
- Bukun B. 2003. *Critical periods for weed control in cotton in Turkey*. Weed Research 44:404-412.
- Bull T.A. 1969. *Photosynthetic efficiencies and photorespiration in Calvin Cycle and C<sub>4</sub> dicarboxylic acid plants*. Crop Sci 9:726-729.
- Cain M.L., Subler S., Evans J.P., Fortin M.J. 1999. *Sampling spatial and temporal variation in soil nitrogen availability*. Oecologia 118:397–404.
- Calderini D.F., Torres-Leòn S., Slafer G.A. 1995. *Consequences of wheat breeding on nitrogen and phosphorus yield, grain nitrogen and phosphorus concentration and associated traits*. Ann. Bot. (London) 76:315-322.
- Callaway R.M. 2007. *Positive Interactions and Interdependence in Plant Communities*. Springer, Dordrecht.
- Cattivelli L., Rizza F., Badeck F.W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Francia E., Mare` C., Tondelli A., Stanca M.A. 2008. *Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics*. Filed Crop Research 105:1-14.
- Champion G.T., Froud-Williams R.J., Holland J.M. 1998. *Interactions between wheat (Triticum aestivum L.) cultivar, row spacing and density and the effect on weed suppression and crop yield*. Annals of Applied Biology 133:443-453.

- Chapman A.L., Meyers R.J.K. 1987. *Nitrogen contributed by grain legumes to rice grown in the rotation on the Cununurra soils of the Ord irrigation area, Western Australia*. Aust. J. Exp. Agric. 27:155-163.
- Chhokar R.S., Balyan R.S. 1999. *Competition and control of weeds in soybean*. Weed Science 47:107-111.
- Christensen S. 1995. *Weed suppression ability of spring barley varieties*. Weed Research 35:241-247.
- Clements F. E. 1929. *Plant competition: an analysis of community function*. Carnegie Institute of Washington, Washington, D.C.
- Coleman R.D., Gill G.S., Rebetzke G.J. 2001. *Identification of quantitative trait loci traits conferring weed competitiveness in wheat (Triticum aestivum L.)*. Australian Journal of Agricultural Research 52:1235-1246.
- Conte E., Imbroglini G. 1998. *Risultati delle indagini sui residui di erbicidi nelle parti eduli*. In: Atti 11° Convegno biennale SIRFI, *Il controllo della flora infestante nelle colture orticole*. Bari, novembre 1998:165-173.
- Cosser N.D., Gooding M.J., Thompson A.J., Froud-Williams R.J. 1997. *Competitive ability and tolerance of organically grown wheat cultivars to natural weed infestations*. Annals of Applied Biology 130:523-535.
- Cousens R.D. 1985. *A simple model relating yield loss to weed density*. Ann. Appl. Biol. 107:239-252.
- Cousens R.D., Barnett A.G., Barry G.C. 2003. *Dynamics of competition between Wheat and Oat: I. Effects of changing the timing of phenological events*. Agron. J. 95(5):1295-1304.
- Cox W.J., Hahn R.R., Stachowski P.J.H. 2006. *Time of weed removal with glyphosate effects corn growth and yield components*. Agronomy journal 98:349-353.
- Dakora F., Keya S. 1997. *Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in subsaharian Africa*. Soil Biol. Biochem. 29:809-817.
- Dalal R.C., Strong W.M., Weston E.J., Cooper J.E., Wildermuth G.B., Lehane K.J., King A.J., Holmes C.J. 1998. *Sustaining productivity of a Vertisol at Warra, Queensland, with fertilisers, no-tillage, or legumes. 5. Wheat yields, nitrogen benefits and water-use efficiency of chickpea-wheat rotation*. Australian Journal of Experimental Agriculture, 38:489-501.
- Darwin C. 1859. *The Origin of Species by Means of Natural Selection, or Preservation of Favoured Races in the Struggle for life*. London: John Murray, Albemarle Street, 1859.
- Davies D.H.K., Hoad S., Maskell P., Topp K. 2004. *Looking at cereal varieties to help reduce weed control inputs*. In: Procs 2004 Crop Protection in Northern Britain, Dundee U.K., 159-164.

- De Lucas Bueno C., Froud-Williams R.J. 1996. *Effect of the seed size on the competitive ability of winter wheat cultivars*. In: Procs X<sup>ème</sup> Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, Dijon, France, 137-142.
- De Vita P., Li Destri Nicosia O., Nigro F., Platani C., Riefolo C., Di Fonzo N., Cattivelli L. 2007. *Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century*. European Journal of Agronomy 26:39-53.
- Dhima K.V., Eleftherohorinos I.G., Vasilakoglou I.B. 2000. *Interference between Avena sterilis, Phalaris minor and five barley cultivars*. Weed Research 40:549-559.
- Didon U.M. 2002. *Variation between barley cultivars in early response to weed competition*. Journal of Agronomy and Crop Science 188:176-184.
- Didon U.M.E., Boström U. 2003. *Growth and development of six barley (Hordeum vulgare ssp. vulgare L.) cultivars in response to a model weed (Sinapis alba L.)*. Journal of Agronomy & Crop Science 189:409-417.
- Duke S.O. 1985. *Weed physiology*. Reproduction and Ecophysiology, vol. I. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
- Evans S.P., Knezevic S.Z., Lindquist J.L., Shapiro C.A., Blankenship E.E. 2003. *Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn*. Weed Science 51:408-417.
- Everman W.J., Burke I.C., Clewis S.B., Thomas W.E., Wilcut W. 2008. *Critical period of grass vs. broadleaf weed interference in peanut*. Weed Technol. 22:68-73.
- Farley R.A., Fitter A.H. 1999. *Temporal and spatial variation in soil resources in a deciduous woodland*. J. Ecol. 87:688-696.
- Faustini F., Paolini R., Saccardo F., Crinò P., Mirabelli C. 2004. *First results on the competitive ability of lentil (Lens culinaris) genotypes*. Procs 6<sup>th</sup> EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Lillehammer, Norway, 8-10 March, 9-10.
- Feil B., Geisler G. 1989. *Uptake and distribution of nitrogen in old and new German summer wheats*. J. Agron. Crop Sci. 162:49-56.
- Fetene M. 2003. *Intra- and inter-specific competition between seedlings of Acacia etbaica and a perennial grass (Hyparrhenia hirta)*. Journal of Arid Environments, 55: 441-451.
- Fischer R.A., Wall P.C. 1976. *Wheat breeding in Mexico and yield increases*. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 42:139-148.
- Ford G.T., Pleasant J.M. 1994. *Competitive abilities of six corn (Zea mays) hybrids with four weed control practices*. Weed Technol. 8:124-128.
- Foulkes M.J., Sylvester-Bradley R., Scott R.K. 1998. *Evidence for differences between winter cultivars in acquisition of soil mineral nitrogen and uptake and utilization of applied fertilizer nitrogen*. J. Agric. Sci. 130:29-44.

- Fransen B., de Kroon H., Berendse F. 2001. *Soil nutrient heterogeneity alters competition between two perennial grass species*. Ecology 82:2534–2546.
- Fried G., Petit S., Dessaint F., Reboud X. 2009. *Arable weed decline in Northern France: crop edges as refugia for weed conservation?* Biol. Conserv. 142:238–243.
- Garrity D.P., Movillon M., Moodt K. 1992. *Differential weed suppression ability in upland rice cultivars*. Agron. J. 84:586-591.
- Giambalvo D., Amato G., Di Miceli G., Frenda A.S., Stringi L. 2009. *Nitrogen efficiency in wheat as affected by crop rotation, tillage and N fertilization*. In: Grignani C. et al (Eds.) *Connecting different scales of nitrogen use in agriculture*. Proc. of the 16th Nitrogen Workshop, Turin, Italy. 28 June-1 July 2009. pp. 251-252.
- Giambalvo D., Ruisi P., Di Miceli G., Frenda A.S., Amato G. 2010. *Nitrogen use efficiency and nitrogen fertilizer recovery of Durum Wheat genotypes as affected by interspecific competition*. Agron. J. 102:707-715.
- Giambalvo D., Stringi L., Di Miceli G., Scarpello C. 2003. *Stima dell'azotofissazione nella fava e nel cece in ambiente mediterraneo*. Rivista di Agronomia 37:129-132.
- Giambalvo D., Stringi L., Frenda A.S., Di Miceli G. 1999. *Influenza della precessione e delle tecniche di lavorazione del terreno sulla produttività e qualità del frumento duro in un ambiente collinare siciliano*. Rivista di Agronomia 4:202-208.
- Giardini L., Borin M., Berti., Giupponi C. 1995. *Confronto tra avvicendamenti colturali con diversi tipi di concimazione minerale ed organica*. Riv. Agron., 3:403-408.
- Goidanich G. 1981. *Manuale di Patologia vegetale*. Il Sole 24 Ore Edagricole, Vol. IV: 803- 821.
- Goldberg D.E. 1990. *Components of resource competition in plant communities*. In: Grace J.B., Tilman D. (Eds.) *Perspectives on plant competition*. Academic Press, San Diego, pp 27–49.
- Goldberg D.E., Landa K. 1991. *Competitive effect and response: hierarchies and correlated traits in the early stages of competition*. Ecology 79:1013-1030.
- Gomez K.A., Gomez A.A. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd edn. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Gonzales Ponce R., Santin I. 2001. *Competitive ability of wheat cultivars with wild oats depending on nitrogen fertilization*. Agronomie 21:119-125.
- Gooding M.J., Thompson A.J., Davies W.P. 1993. *Interception of photosynthetically active radiation, competitive ability and yield of organically grown wheat varieties*. Aspects of Applied Biology 34, Physiology of varieties, 345-354.
- Goudriaan J. 1982. *Some techniques in dynamic simulation*. In: Penning de Vries F.W.T., van Laar H.H. (Eds.), *Simulation of Plant Growth and Crop Production*. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen, pp. 66-84.
- Grace J.B., Tilman D. (eds) 1990. *Perspectives on Plant Competition*. Academic Press, Inc., San Diego, pp. 484.

- Grevsen K. 2003. *Weed competitive ability of green peas (Pisum sativum L.) affected by seeding rate and genotype characteristics*. Biological Agriculture and Horticulture 21:247-261.
- Grime J.P. 1979. *Plant Strategies and Vegetation Processes*. Wiley, Chichester, pp 222.
- Guarda G., Padovan S., Delogu G. 2004. *Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels*. Eur. J. Agron. 21:181-192.
- Halford C., Hamail A.S., Zhang J., Doucent C. 2001. *Critical period of weed control in no-till soybean (Glycine max) and Corn (Zea mays)*. Weed Technol. 15:737-744.
- Hall M.R., Swanton C.J., Anderson G.W. 1992. *The critical period of weed control in grain corn (Zea Mays)*. Weed Science 40:441-447.
- Hansen P.K. 2002. *A method to index competitiveness against weeds of spring barley varieties*. Proceedings 12<sup>th</sup> European Weed Research Society (EWRS) Symposium. Wageningen, The Netherlands, 296-297.
- Harper J.L. 1977. *Population Biology of plants*. Academic Press, New York.
- Hartl W. 1989. *Influence of undersown clovers on weeds and on the yield of winter-wheat in organic farming*. Agriculture Ecosystem and Environment 27:389-396.
- Hauck R.D., Bremner J.M. 1976. *Use of tracers for soil and fertilizer nitrogen research*. Adv. Agron. 28:219-266.
- Heap I.M. 2010. *International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. Web page: <http://www.weedscience.org>. Consultato il 2 Ottobre 2010.
- Hodge A. 2004. *The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients*. New Phytol 162:9-24.
- Hucl P. 1998. *Response to weed control by four spring wheat genotypes differing in competitive ability*. Canadian Journal of Plant Science 78:171-173.
- Huel D.G., Hulc P. 1996. *Genotypic variation for competitive ability in spring wheat*. Plant Breed. 115:325-329.
- Hyvonen T. 2007. *Can conversion to organic farming restore the species composition of arable weed communities?* Biol. Conserv. 137:382-390.
- Hyvonen T., Salonen J. 2001. *Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels – a six-year experiment*. Plant Ecology, 154:73-81.
- Jackson R.B., Caldwell M.M. 1993a. *Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants*. J. Ecol. 81:683-692.
- Jackson R.B., Caldwell M.M. 1993b. *The scale of nutrient heterogeneity around individual plants and its quantification with geostatistics*. Ecology 74:612-614.

- Joenje W., Kropff M.J. 1987. *Relative time of emergence, leaf area development and plant height as major factors in crop-weed competition*. British crop protection conference – Weeds. 3:971-978.
- Jordan N. 1993. *Prospects for weed control through crop interference*. Ecol. Applic. 3:84-91.
- Karlen D.L., Varvel G.E., Bullock D.G., Cruse R.M. 1994. *Crop rotation for the 21<sup>st</sup> century*. Adv. Agron. 53:1-45.
- Keddy P.A. 1989. *Competition*. Chapman and Hall, New York.
- Knezevic S.Z., Evans S.P., Blankenship E.E., Van Acker R.C., Lindquist J.L. 2002. *Critical period for weed control: the concept and data analysis*. Weed Science 50:773-786.
- Knezevic S.Z., Evans S.P., Mainz M. 2003. *Row spacing influences the critical timing for weed removal in soybean (Glycine max)*. Weed Technology 17:666-673.
- Korres N.E., Froud-Williams R.J. 2002. *Effects of winter wheat cultivars and seed rate on the biological characteristics of naturally occurring weed flora*. Weed Research 42:417-428.
- Kropff M.J. 1993. *Mechanisms of Competition for Light*. In: Kropff M.J. and van Laar H.H. (Eds.) *Modelling Crop-Weed interactions*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK (1993), 33-61.
- Kropff M.J., Spitters C.J.T. 1991. *A simple model of crop loss by weed competition from early observation of relative leaf area of weeds*. Weed Res. 31:97-105.
- Kumar K., Goh K.M. 2002. *Management practices of antecedent leguminous and non-leguminous crop residues in relation to winter wheat yields, nitrogen uptake, soil nitrogen mineralization and simple nitrogen balance*. Eur. J. Agron., 16:295-308.
- Kwon S.L., Smith Jr. Talbert R.E. 1991. *Interference of red rice (Oryza sativa) densities in rice (O. sativa)*. Weed Sci. 39:169-174.
- Lechowicz M.J., Bell G. 1991. *The ecology and genetics of fitness in forest plants II. Microspatial heterogeneity of the edaphic environment*. J Ecol 79:687-696.
- Lemerle D., Gill G.S., Murphy C.E., Walker S.R., Cousens R.D., Mokhtari S., Peltzer S.J., Coleman R., Luckett D.J. 2001a. *Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds*. Aust. J. Agric. Res. 52(5):527-548.
- Lemerle D., Verbeek B., Cousens R.D., Coombes N.E. 1996. *The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds*. Weed Research, 36:505-513.
- Lemerle D., Verbeek B., Orchard B. 2001b. *Ranking the ability of wheat varieties to compete with Lolium rigidum*. Weed Research 41:197-209.
- Lindquist J.L., Mortensen D.A., Westra P., Lambert W.J., Bauman T.T., Fausey J.C., Kells J.J., Langton S.J., Harvey R.G., Bussler B.H., Banken K., Clay S., Forcella F. 1999. *Stability of corn (Zea mays)-foxtail (Setaria spp.) interference relationships*. Weed Science 47:195-200.
- Longo C. 1997. *Biologia Vegetale. Forme e funzioni* – UTET, p 421-454.

- Lopez Castaneda C., Farquhar G.D. 1995. *Variation in early vigor between wheat and barley*. Crop Sci. 35(2):472-479.
- Lopez-Bellido L., Lopez-Bellido R.J., Lopez-Bellido F.J. 2006. *Fertilizer nitrogen efficiency in durum wheat under rainfed Mediterranean conditions: Effect of split application*. Agron. J. 98:55-62.
- López-Bellido R.J., López-Bellido L. 2001. *Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effects of tillage, crop rotation and N fertilization*. Field Crop Res., 71:31-46.
- Lotz L.A.P., Groeneveld R.M.W., De Groot N.A.M.A. 1991. *Potential for reducing herbicide inputs in sugar beet by selecting early closing cultivars*. Brighton Crop Protection Conference - Weeds, British Crop Protection Council, Farnham (1991), pp 1241-1247.
- Ludlow M.M. 1976. *Ecophysiology of C<sub>4</sub> grasses*. In: Lange O.L., Kappen L., Schulze E.D. (Eds.) *Water and plant life*. Springer, Berlin Heidelberg New York, p 364-386.
- Maccaferri M., Sanguineti M.C., Corneti S., Araus Ortega J.L., Ben Salem M., Bort J., De Ambrogio E., et al 2008. *Quantitative Trait Loci for Grain Yield and Adaptation of Durum Wheat (Triticum durum Desf.) Across a wide range of water availability*. Genetics 178: 489-511.
- MacColl D., 1989. *Studies on maize (Zea Mays) at Bunda, Malawy. II. Yield in short rotations with legumes*. Exp. Agric., 25:367-374.
- Marcellos H., Felton W.L. 1992. *Cropping systems of the temperate summer rainfall region*. In: Hutchinson K.J., Vickery O.J. (Eds.), Proc of the Sixth Australian Agronomy Conference, Armidale, 10-14 February 1992. Parkville, Vic.: The Australian Society of Agronomy. pp. 48-53.
- Martin S.G., Van Acker R.C., Friesen L.F. 2001. *Critical period of weed control in spring canola*. Weed Science 49:326-333.
- Masin R., Zuin M.C., Archer D.w., Forcella F., Zanin G. 2005. *WeedTurf: a predictive model to aid control of annual summer weeds in turf*. Weed Science 53:193-201.
- Masood-Ali 1993. *Studies on crop-weed competition in chickpea (Cicer arietinum L.)/mustard (Brassica juncea L.) intercropping*. In: *Proceeding 1993 on an Indian Society of Weed Science International Symposium*. Integrated Weed Management for Sustainable Agriculture, Hisar, India, pp. 18-20.
- McCaig T.N., Clarke J.M. 1995. *Breeding durum wheat in western Canada: historical trends in yield and related variables*. Canadian Journal of Plant Science 75: 55-60.
- McDonald G.K. 2003. *Competitiveness against grass weeds in field pea genotypes*. Weed Research 43:48-58.
- McGilchrist C.A., Trenbath B.R. 1971. *A revised analysis of plant competition experiments*. Biometrics, 27:659-671.

- Mclachlan S.M., Tollenaar M., Swanton C.J., Weise S.F. 1993a. *Effect of corn induced shading on dry matter accumulation, distribution, and architecture of redroot pigweed (Amaranthus retroflexus)*. Weed Sci. 41:568–573.
- Mclachlan S.M., Tollenaar M., Swanton C.J., Weise S.F. 1993b. *Effect of corn induced shading and temperature on rate of leaf appearance in redroot pigweed (Amaranthus retroflexus)*. Weed Sci. 41:590–593.
- Miller T.E., Werner P.A. 1987. *Competitive effects and responses between plant species in a first-year old-field community*. Ecology 68:1201-1210
- Mirabelli C., Faustini F., Paolini R. 2003. *First results on competitive effects of weeds on chick-pea and potato genotypes*. In: Proc 7<sup>th</sup> EWRS Mediterranean Symposium, Adana Turkey, 6-9 May, 13-14.
- Mohamed E.S., Nourai A.H., Mohamed G.E., Mohamed M.I., Saxena M.C. 1997. *Weeds and weed management in irrigated lentil in Northern Sudan*. Weed Research 37:211–218.
- Mohammadi G., Javanshir A., Khoorie F.R., Mohammadi S.A., Zehtab Salmasi S. 2005. *Critical period of weed interference in chickpea*. Weed Research 45:57–63.
- Moomaw R.S., Martin A.R. 1984. *Cultural practices affecting season-long weed control in irrigated corn (Zea mays)*. Weed Sci. 32:460–467.
- Motzo R., Fois S., Giunta F. 2004. *Relationship between grain yield and quality of durum wheat from different eras of breeding*. Euphytica 14:147-154.
- Murphy K.M., Dawson J.C., Jones S.S. 2008. *Relationship among phenotypic growth traits, yield and weed suppression in spring wheat landraces and modern cultivars*. Field Crops Research 105:107-115.
- Ngouajio M., Foko J., Fouejio D. 1997. *The critical period of control in Cammon Bean (Phaseolus vulgaris L.) in Cameroon*. Crop Protection 16:127-133.
- Nieto J.H., Brondo M.A., Gonzalez J.T. 1968. *Critical period of the growth cycle for competition for weeds*. Pans 14: 159-166.
- Norsworthy J.K., Oliveira M.J. 2004. *Composition of the critical period for weed control in wide-and narrow-row corn*. Weed Sci. 52:802-807.
- Oerke E.C. 2006. *Crop losses to pests*. J. Agric. Sci. 144:31-43.
- Oosting H.J. 1956. *The study of plant communities: An Introduction to Plant Ecology*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Ortelli S., Winzeler H., Winzeler M., Fried P.M., Nosberger P. 1996. *Leaf rust resistance genes Lr9 and winter wheat yield reduction. Yield and yield components*. Crop Sci. 36:1590-1595.
- Osmond C.B., Troughton J.H., Goodchild D.J. 1969. *Physiological, biochemical, and structural studies of photosynthesis and photorespiration in two species of Atriplex*. Z Pflanzenphysiol 61:218-237.

- Otto S., Masin R., Casari G., Zanin G. 2009. *Weed-Corn Competition Parameters in Late-Winter Sowing in Northern Italy*. Weed Science 57:194-201.
- Paccaud F.X., Fossati A., Cao H.S. 1985. *Breeding for yield and quality in winter wheat: Consequences for nitrogen uptake and partitioning efficiency*. Z. Pflanzenzuecht 94:89-100.
- Paolini R. 2000. *L'evoluzione del diserbo: le pratiche agronomiche*. In: Atti XII Convegno SIRFI, Milano, Dicembre 2000, 19-54.
- Paolini R., Colla G., Saccardo F., Campiglia E. 2003. *The influence of crop plant density on the efficacy of mechanical and reduced-rate chemical weed control in lentil (Lens culinaris Medik.)*. Italian Journal of Agronomy 7 (2):85-94.
- Paolini R., Campiglia E., Benvenuti S. 1992. *Effetto competitivo di amaranto (Amaranthus retroflexus L.) e chenopodio (Chenopodium album L.) nei confronti della soia (Glicine max L. Merr.)*. Agricoltura e Ricerca 135:85-90.
- Paolini R., Del Puglia S., Principi M., Barcellona O., Riccardi E. 1998. *Competition between safflower and weeds as influenced by crop genotype and sowing time*. Weed Research 38:247-255.
- Paolini R., Faustini F., Benedetti G. 2002. *Early growth and competitive ability of durum wheat (Triticum durum Desf.) varieties*. In: Procs 12th Symposium EWRS, Wageningen, NL, 266-267.
- Paolini R., Faustini F., Saccardo F., Crinò P. 2006. *Competitive interactions between chick-pea genotypes and weeds*. Weed Research 46:335-344.
- Papamichail D., Eleftherohorinos I., Froud-Williams R., Gravanis F. 2002. *Critical periods of weed competition in cotton in Greece*. Phytoparasitica 30:105-111.
- Pecetti L., Annicchiarico P. 1998. *Agronomic value and plant type of Italian durum wheat cultivars from different eras of breeding*. Euphytica 99:9-15.
- Petit S., Firbank L.G. 2006. *Predicting the loss of the semi-natural habitat to intensive agriculture to the national scale*. Agric. Ecosys. Environ. 115:277-280.
- Petit, S. 2009. *The dimensions of land use change in rural landscapes: lessons learnt from the GB Countryside Surveys*. J. Environ. Manage. 90:2851-2856.
- Pilbeam C.J., McNeill A.M., Harris H.C., Swift R.S. 1997. *Effect of fertilizer rate and form on the recovery of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer applied to wheat in Syria*. J. Agric. Sci. 128:415-424.
- Postiglione L., Fagnano M., Cozza C. 1995. *Prove di rotazione: effetto delle colture di mais (Zea mais L.), Frumento (Triticum durum Desf.) e lupino dolce (Lupinus albus L.) sulle caratteristiche quali-quantitative della produzione e del suolo*. Riv. Agron. 29 (Suppl. 3):434-441.
- Powles S.B., Preston C., Bryan I.B. 1997. *Herbicide resistance: Impact and management*. Advances Agronomy 58:57-93.

- Preston C., Telfer M., Arnold H., Carey P., Cooper J., Dines T., Hill M., Pearman D., Roy D., Smart S. 2002. *The Changing Flora of the UK*. Defra, London.
- Rajaniemi T.K., Reynolds H.L. 2004. *Root foraging for patchy resources in eight herbaceous species*. *Oecologia* 141:519–525.
- Ramdani A., Martos-Nunes V., Villegas D., Garcia del Mral L.F., Rharrabti Y., Royo C. 2003. *Changes on some agronomic and physiological traits of durum wheat cultivars release in Italy and Spain throughout the 20th century*. In: Pogna N.E., Romanò M., Pogna E.A., Galterio G. (Eds). *Proceedings of the 10th International Wheat Genetics Symposium*, vol. 1, pp. 163-166.
- Rasmussen J., and Ascard J. 1995. *Weed control in organic farming systems*. In: Glen D.M., Greaves M.P., Anderson H.M. (Eds.), *Ecology and integrated farming systems*, 49-67. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- Rebetzke G.J., Richards R.A. 1999. *Genetic improvement of early vigour in wheat*. *Aust. J. Agric. Res.* 50(3):291-301.
- Retta A., Vanaderlip R.L., Higgins R.A., Moshier L.J., Feyerherm A.M. 1991. *Suitability of corn growth models for incorporation of weed and insect stresses*. *Agron. J.* 83:757–765.
- Reynolds M.P., Rajaram S. Sayre K.D. 1999; *Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand*. *Crop Science* 39:1611-1621.
- Richards R.A. 1992. *The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments: agronomic characteristics*. *Aust. J. Agric. Res.* 43:517-527.
- Robinson D. 1994. *The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients*. *New Phytol* 127:635–674.
- Ryel R.J., Caldwell M.M., Manwaring J.H. 1996. *Temporal dynamics of soil spatial heterogeneity in sagebrush–wheatgrass steppe during a growing season*. *Plant Soil* 184:299–309.
- Sanaa M., Van Cleemput O., Baert L., Mhiri A. 1992. *Field study of the fate of labelled fertilizer nitrogen applied to wheat on calcareous Tunisian soils*. *Pedologie*: 42:245-255.
- SAS Institute, 2007. *SAS/STAT 9.1.3 User's guide*. SAS Inst., Cary, NC.
- Satorre E.H., Snaydon R.W. 1992. *Root and shoot competition between spring cereals and Avena fatua L.* *Weed Research* 32:45-55.
- Sattin M., Tei F. 2001. *Malerbe componente dannosa degli agroecosistemi*. In: Catizone P., Zanin G. (Eds.) *Malerbogia*. Pàtron Editore 2001, pp 171-240.
- Sattin M., Zanin G., Berti A. 1992. *Case history for weed competition population ecology: Velvetleaf (Abitilon theophrasti) in corn (Zea mays)*. *Weed Technol.* 6:213–219.

- Saxena M.C., Subramaniam K.K., Yadav D.S. 1976. *Chemical and mechanical control of weeds in gram*. Pantanagar Journal of Research 1:112-116.
- Saxena M.C., Wassimi N. 1980. Crop weed competition studies in lentils. LENS Newsletter 7:55-57.
- Schulz S., Keating J.D.H., Wells G.J. 1999. *Productivity and residual effects on rice*. Field Crops Res. 61:37-49.
- Seavers G.P., Wright K.J., 1999. *Crop canopy development and structure influence weed suppression*. Weed Research 39:319-328.
- Seligman N.G., van Keulen H. 1981. *PAPRAN: A simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen*. In: Frissel M.J., van Veen J.A. (Eds.) *Simulation of Nitrogen Behaviour of Soil-Plant Systems*. Pudoc, Wageningen, pp. 192-220.
- Sibuga K.P., Bandeen J.D. 1980. *Effects of green foxtail and lambs quarters interference in field corn*. Can. J. Plant Sci. 60:1419-1425.
- Siddique K.H.M., Kirby E.J.M., Perry M.W. 1989. *Ear to stem ratio in old and modern wheats; relationship with improvement in number of grains per ear and yield*. Field Crop Res. 21:59-78.
- Slafer G.A., Andrade F.H. 1993. *Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras*. Field crops Research 31:351-367;
- Slatyer R.O. 1970. *Comparative photosynthesis, growth and transpiration of two species of Atriplex*. Planta 93:175-189.
- Soil Survey Staff 1999. *Soil Taxonomy, 2nd Ed.* Agricultural handbook N° 436. Washington D.C.
- Stringi L., Giambalvo D., Frenda A.S., Trapani P. 2003. *Ruolo agro-ecologico delle leguminose da granella nei sistemi colturali mediterranei*. Riv. Agron. 37: 47-56.
- Sutcliffe O.L., Kay Q.O.N. 2000. *Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s*. Biol. Conserv. 93:1-8.
- Swinton S.M., Buhler D.D., Forcella F., Gunsolus J.L., King R.P. 1994. *Estimation of crop yield loss due to interference by multiple weed species*. Weed Sci. 42:103-109.
- Thill, D.C., Lemerle D. 2001. *World wheat and resistance, in Herbicides resistance and world grains*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 308 pp.
- Tscharntke T., Klein A.M., Kruess A., Steffan-Dewenter I., Thies C. 2005. *Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity—ecosystem service management*. Ecol. Lett. 8:857-874.
- van Acker R.C., Swanton C.L., Weise S. 1993. *The critical period of weed control in soybean (Glycine max L. Merr.)*. Weed Science 41:194-200.
- van Keulen H., Seligman N.G. 1987. *Simulation of water use, nitrogen and growth of a spring wheat crop*. Simulation monographs. Pudoc, Wageningen, 310 pp.

- van Noordwijk M. 1983. *Functional interpretation of root densities in the field for nutrient and water uptake*. In: *Root Ecology and its Practical Application*. International Symposium Gumpenstein, 1982, Bundesanstalt Gumpenstein, Irdning, Austria, pp. 207-226.
- Vandeleur R.K., Gill G.S. 2004. *The impact of plant breeding on the grain yield and competitive ability of wheat in Australia*. Aust. J. Agric. Res. 55:855-861.
- Vicari A. 1995. *La dispersione degli erbicidi nell'ambiente*. Informatore Fitopatologico 7-8:8-12.
- Watson P.R., Derksen D.A., van Acker R.C. 2006. *The ability of 29 barley cultivars to compete and withstand competition*. Weed Science 54:783-792.
- Weaver S.E., Tan C.S. 1983. *Critical period of weed interference in transplanted tomatoes (Lycopersicon esculentum): Growth analysis*. Weed Science 31:476-481.
- Weaver S.E., Tan C.S. 1987. *Critical period of weed interference in field-seeded tomatoes and its relation to water stress and shading*. Canadian Journal of Plant Science 67:575-583.
- Wicks G.A., Nordquist P.T., Baenziger P.S., Klein R.N., Hammons R.H., Watkins J.E. 2004. *Winter wheat cultivar characteristics affect annual weed suppression*. Weed Technol. 18:988-998.
- Wicks G.A., Ramsel R.E., Nordquist P.T., Schimdt J.W., Challaiah O. 1986. *Impact of wheat cultivars on establishment and suppression of summer annual weeds*. Agronomy Journal 78:59-62.
- Wilson B.J. 1986. *Yield responses of winter cereals, to the control of broad leaf weeds*. In: Proc. EWRS Sympo. On Economic Weed Control, Wageningen, Netherland pp 75-82.
- Wilson R.G., Westra P. 1991. *Wild-proso millet (Panicum miliaceum) interference in corn (Zea mays)*. Weed Sci. 39:217-220.
- Wit C.T. de 1965. *Photosynthesis of Leaf Canopies*. Agricultural Research Reports 633, Pudoc, Wageningen, pp 57.
- Yip C.P., Sweet R.D., Siczka J.B. 1974. *Competitive ability of potato cultivars with major weed species*. In: Proceedings Northern Weed Society 28:271-281.
- Zand E. 2000. *The Ecophysiological Basis of the Genetic Improvement of Iranian Wheat from 1956 to 1995*. Ph.D. thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, pp. 105 (in Persian).
- Zand E., Bena Kashani F., Alizadeh H.M., Soufizadeh S., Ramezani K., Maknali, A., Fereydounpoor M. 2006. *Resistance to aryloxyphenoxypropionate herbicides in wild oat (Avena ludoviciana)*. Iranian J. Weed Science 2:17-31.
- Zanin G., Berti A., Sattin G., 1989. *Mais (Zea mays L.). Abutilon theophrasti Medicus: effetto della durata e del periodo di competizione*. Riv. Agron. 23:185-192.

- Zerner M.C., Gill G.S., Vandeleur R.K. 2008. *Effect of Height on the Competitive Ability of Wheat with Oats*. *Agronomy Journal* 100:1729-1734.
- Zimdahl R.L. 1980. *Weed Crop Competition – a Review*. International Plant Protection Center, Oregon State University, Corvallis.
- Zimdahl R.L. 1988. *The concept and application of the critical weed-free period*. In: Altieri, M.A., Eibman M.L. (Eds.), *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches*. CRC, Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 145–155.