

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO DI PRODUZIONE VEGETALE

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN
ORTOFLOROFRUTTICOLTURA - XIX CICLO

Anno Accademico 2006/2007

TESI DI DOTTORATO

**OTTIMIZZAZIONE DEGLI ITINERARI DI CONTROLLO DELLE
INFESTANTI IN SISTEMI ALTAMENTE SOSTENIBILI BASATI
SULL'IMPIEGO DI LEGUMINOSE DA GRANELLA**

Settore scientifico-disciplinare AGR 02

Coordinatore: Prof. Francesco Saccardo

Firma

Tutor: Prof. Roberto Paolini

Firma

Dottorando: Fabio Faustini

Firma

A mia moglie Daniela, compagna unica.

Ai nostri desideri sempre uniti insieme,

al nostro unico splendido oggi,

al nostro incredibile domani.

A chi un giorno leggerà.

Felix qui potuit rerum cognoscere causas (Virgilio)

INDICE

PARTE GENERALE

Capitolo 1. La specie al centro del presente studio: il cece	8
1.1 Inquadramento tassonomico	8
1.2 Il cece in Italia e nel mondo	10
1.3 Il ruolo del cece negli avvicendamenti colturali	13
1.4 Antracnosi o Rabbia: la principale malattia del cece	13
 Capitolo 2. La gestione della flora infestante	 15
2.1 La strategia convenzionale di controllo delle infestanti nel cece: definizione e problematiche	15
2.2 Strategie alternative e innovative di controllo delle infestanti. Uso del mezzo colturale ed esaltazione dell'abilità competitiva della coltura: definizione e problematiche. Stato dell'arte.	16
2.3 Il controllo integrato chimico ed il controllo integrato non chimico	17
2.4 Mezzi di controllo non chimico delle infestanti	18
2.5 Il mezzo colturale	18
2.6 Scelta della cultivar	21
2.7 Scelta dell'epoca di semina	23
2.8 I mezzi meccanici per il controllo delle infestanti	24
 Capitolo 3. L'effetto competitivo tra piante erbacee e infestanti	 26
3.1 Natura dell'effetto competitivo	26
3.2 Indici di determinazione	27

PARTE SPERIMENTALE

Capitolo 4. Scopi ed obiettivi della ricerca	31
4.1 Articolazione della ricerca	32
 Capitolo 5	 33
Prova n. 1 - Studio dell'abilità competitiva di genotipi di cece (<i>Cicer arietinum</i> L.) sottoposti a livelli diversi di competizione con le infestanti	 33
5.1 Scopo della prova	33
5.2 Materiali e metodi	35
5.3 Disegno sperimentale ed impostazione della prova	35
5.4 Tecnica colturale	36
5.5 Rilievi e determinazioni	38
 Risultati	 40
5.6 Andamento termopluviometrico	40
5.7 Analisi statistica	42
5.8 Caratteri produttivi e biometrici del cece in presenza ed in assenza di competizione con le infestanti	42
5.9 Caratteri di crescita a stadi precoci	48
5.10 Parametri di competizione	50
5.11 Caratteri delle infestanti	52
5.12 Correlazioni tra caratteri del cece ed abilità competitiva nei confronti delle infestanti	56
 5.13 Discussione	 61
5.14 Conclusioni	64

Capitolo 6	65
Prova n. 2 - Studio del grado di resistenza alle basse temperature mediante la tecnica del <i>Freezing Test</i> - <i>Ion Leakage Procedure</i> in linee stabili di cece (<i>Cicer arietinum</i> L.) a semina invernale	65
6.1 Scopo della prova	65
6.2 Disegno sperimentale	66
6.3 Materiali e metodi	66
6.4 Risultati e discussione	68
6.5 Conclusioni	70
 Capitolo 7	 71
Prova n. 3 - Studio del grado di resistenza ad <i>Ascochyta rabiei</i> mediante la tecnica dell'inoculazione su 60 tra linee stabili, ecotipi locali e <i>cultivar</i> di Cece (<i>Cicer arietinum</i> L.)	71
7.1 Scopo della prova	71
7.2 Disegno sperimentale	71
7.3 Materiali e metodi	72
7.4 Rilievi e determinazioni	73
7.5 Risultati e discussione	74
7.6 Conclusioni	79
 Capitolo 8	 80
Prova n. 4 - Effetto su infestazione e resa in granella di strategie di controllo non chimico delle infestanti in combinazione alla scelta dell'epoca di semina su genotipi di cece con superiore abilità competitiva	80
8.1 Scopo della prova	80
8.2 Materiali e metodi	80
8.3 Disegno sperimentale ed impostazione della prova	81
8.4 Tecnica colturale adottata e rilievi effettuati	81

Risultati	84
8.5 Andamento termopluviometrico	84
8.6 Analisi statistica	86
8.7 Caratteri biometrici e produttivi del cece	86
8.8 Caratteri delle infestanti	90
8.9 Discussione	95
8.10 Conclusioni	97
 Capitolo 9. Conclusioni comuni alla Tesi di Dottorato	 98
 9.1 Ringraziamenti	 99
 Capitolo 10. BIBLIOGRAFIA	 100
 10.1 Siti internet visitati	 107

PARTE GENERALE

Capitolo 1

La specie al centro del presente studio: il cece

Il cece è una specie leguminosa da granella, erbacea annuale, di tradizionale coltivazione e di grande valore che trova oggi la sua collocazione ideale negli ordinamenti colturali a bassi o nulli input di agrochimici (aziende biologiche) (Saccardo *et al.*, 2001) e nelle aziende in cui vi è presenza di allevamenti animali (Dana *et al.*, 2000), sia orientati alla produzione di latte che di carne.

Inquadramento tassonomico

La specie *Cicer arietinum* L. ha il seguente inquadramento tassonomico:

Regno: Plantae

Sottoregno: Tracheobionta – Piante vascolari

Superdivisione: Spermatophyta – Piante a seme

Divisione: Magnoliophyta – Piante a fiore

Classe: Magnoliopsida - Dicotiledoni

Sottoclasse: Rosidae

Ordine: Fabales

Famiglia: Fabaceae

Genere: *Cicer*

Specie: *Cicer arietinum* L.

Nomi comuni: cece (IT); chickpea (GBR); pois-chiche (FRA); garbanzo (ESP); chana (INDIA)

Figura 1. *Cicer arietinum* in fioritura.



La specie *Cicer reticulatum* è la progenitrice ancestrale selvatica del cece coltivato. Il più probabile centro di origine e di domesticazione della specie è ritenuto essere nel Sud-Est della Turchia (Zohary e Hopf, 2000).

Nel mondo esistono due tipi di cece: il tipo Desi è probabilmente la forma più antica, molto simile agli ancestrali selvatici e ai semi ritrovati nei più antichi siti archeologici della Turchia e del medio oriente. Desi, caratterizzato da semi piccoli, scuri e rugosi è coltivato prevalentemente nel subcontinente Indiano, in Pakistan, Iran, Messico ed Etiopia. Il tipo Kabuli, caratterizzato da semi più grandi, color crema più o meno intenso, lisci o rugosi, è coltivato soprattutto in Europa, Nord Africa, Libano, Siria e Afghanistan (Singh, 1997).

Il cece in Italia e nel mondo

Il cece è una leguminosa da granella di primaria importanza per l'alimentazione umana, e animale, diffusa sulla Terra su una superficie di circa dieci milioni di ettari (FAO, 2006). Su scala mondiale è la terza principale leguminosa da granella dopo la soia e il fagiolo. Il cece è largamente coltivato in tutti i Paesi del bacino del Mediterraneo, soprattutto in Turchia, Libano, Siria, Israele, Egitto e Tunisia. Nel mondo si trova estesamente diffuso in India, Afghanistan, Pakistan, Iran, Nepal, Cina, Australia, Messico, U.S.A., Canada, Brasile e Cile.

Storicamente, in Italia ha sempre occupato una superficie superiore ai 100.000 ettari fino al secondo dopoguerra, per poi scendere a circa 15.000 ettari nel 1980 e a poco più di 4.600 ettari nel 1990 (figura 2). Alla metà degli anni '90 si sono registrati i valori minimi storici (appena 3.000 ha nel 1995), mentre dal 1999 in poi si assiste ad una lenta ma costante risalita delle superfici nazionali, che oggi si sono stabilizzate intorno ai 6.000 ettari l'anno (ISTAT, 2006), in virtù di un rinnovato interesse verso la coltura del cece, intesa soprattutto come prodotto biologico, tipico e tradizionale, identificato da marchi di qualità e di provenienza geografica certificata.

Figura 2. La superficie investita a cece in Italia dal dopoguerra ad oggi (fonte ISTAT).

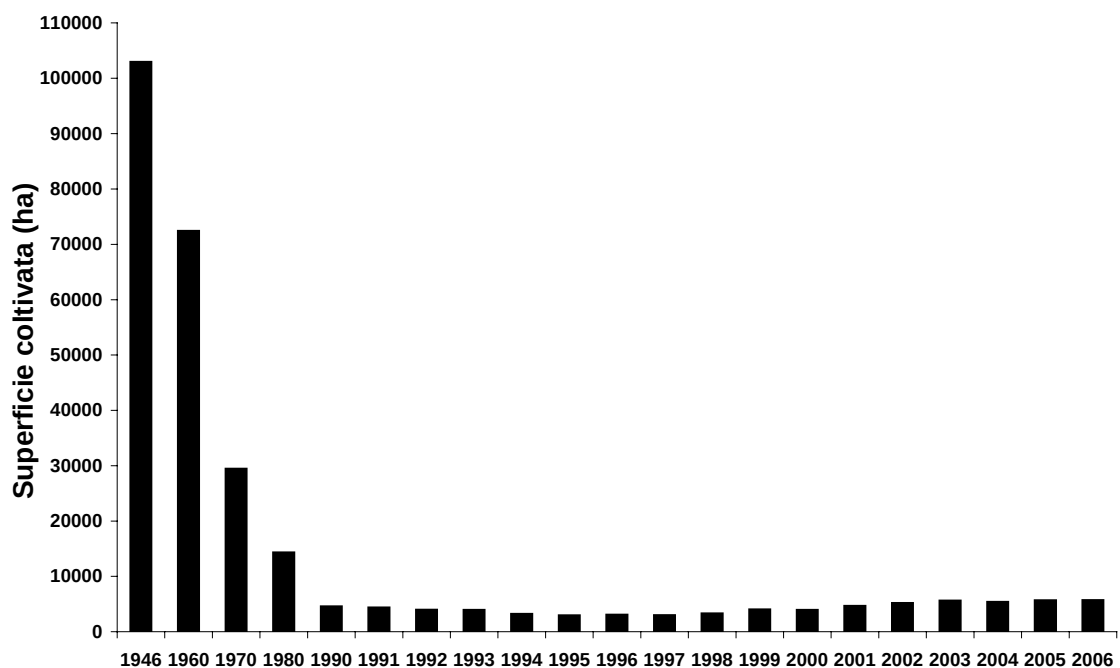
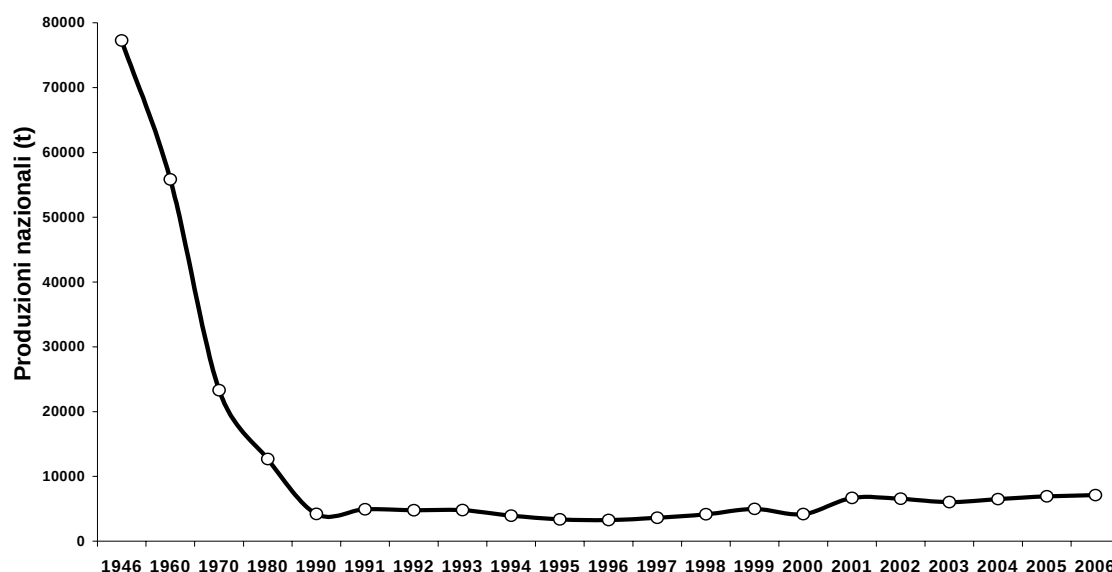


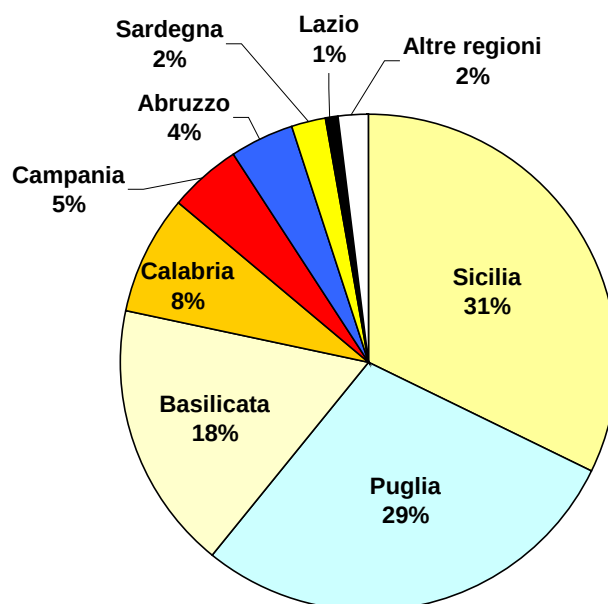
Figura 3. Andamento della produzione di cece in Italia dal dopoguerra ad oggi (fonte ISTAT)



Attualmente, il cece in Italia è coltivato su circa 6000 ha. A livello di ripartizione regionale, discrete superfici coltivate a cece si trovano ancora, in ordine decrescente di consistenza, in Sicilia, Puglia, Basilicata, Calabria, Campania e Abruzzo (figura 4).

Figura 4. Il cece in Italia. Ripartizione % a livello regionale delle superfici coltivate nell'anno 2006 (fonte ISTAT).

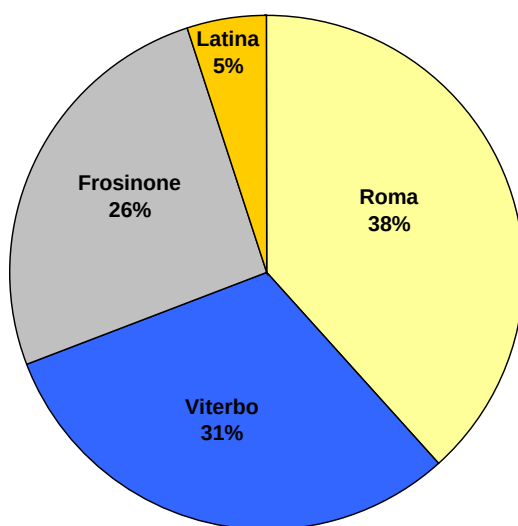
Cece: superfici coltivate nel 2006 - ripartizione regionale



Nel Lazio, la coltura è presente solo in quattro delle cinque province, mentre è assente nel Reatino principalmente per ragioni climatiche (figura 5).

Figura 5. Il cece nel Lazio. Ripartizione % a livello provinciale delle superfici coltivate nell'anno 2006 (fonte ISTAT).

Cece nel Lazio: ripartizione provinciale superfici coltivate 2006



Il ruolo del cece negli avvicendamenti colturali

All'interno degli avvicendamenti colturali il cece occupa notoriamente il ruolo di coltura miglioratrice. Infatti, grazie all'azotofissazione operata dai batteri simbiotici del genere *Rhizobium*, essa è in grado di provvedere interamente al proprio fabbisogno di azoto e, inoltre, è in grado di rilasciarne anche grandi quantità nel terreno a fine ciclo (Ranalli, 2001).

Il cece è una pianta arido-resistente, con epoche di semina ad intervalli piuttosto ampi (per le moderne varietà coltivate) che vanno indicativamente dal tardo autunno a inizio inverno per il Sud Italia, mentre per il Centro-Nord si preferisce la semina a fine febbraio o nel mese di marzo. La temperatura ottimale richiesta per la germinazione è di circa 15 °C, tuttavia la pianta vegeta bene anche a temperature sensibilmente inferiori, tanto che può resistere a temperature inferiori allo zero, e in letteratura sono riportati casi di resistenze anche fino a - 7 °C. Nelle regioni mediterranee, quindi, in conseguenza delle epoche di semina adottate, la germinazione avviene di norma a temperature inferiori a quelle ottimali e l'emergenza della coltura ritarda tanto più quanto più si abbassano le temperature notturne.

Tradizionalmente il cece nel Centro-Sud Italia è avvicendato al grano duro e al girasole. La coltura teme i luoghi molto umidi e nuvolosi (l'umidità dell'aria ostacola la perfetta allegagione) così come i climi eccessivamente aridi.

Antracnosi o Rabbia: la principale malattia del cece

Il cece può essere colpito da numerose malattie, fungine e virali. L'avversità di maggior peso è la Rabbia del cece, causata dal fungo *Ascochyta rabiei* (Pass.) Lab. [*Phyllosticta rabiei* (Pass.) Trott.]. questo fungo differenzia, oltre alla forma picnidica, anche una forma ascofora chiamata *Mycosphaerella rabiei* (Pass.) Kovach.

La malattia può interessare tutte le parti epigee della pianta, anche se risulta molto dannosa soprattutto per le infezioni sui fusti. Sulle foglioline e sui baccelli provoca delle macchie tondeggianti grigio-scuri, del diametro di circa 3 – 10 mm, con le fruttificazioni picnidiche distribuite in cerchi concentrici. Sui fusti provoca dei cancretti

di forma allungata che talvolta possono avvolgere gran parte dell'asse e dare seguito all'avvizzimento prima, e alla morte delle parti soprastanti, poi, con rottura del fusto e perdita totale del raccolto. In situazioni di pieno campo, le epidemie possono avere andamento estremamente rapido e causare la distruzione della coltura in pochi giorni (Zachos *et al.*, 1963).

Il parassita può conservarsi sia sul seme contaminato che sui residui di piante infette. Il suo sviluppo è favorito da una abbondante piovosità. La lotta agronomica si fonda *in primis* sull'impiego di seme sano e su rotazioni colturali appropriate. Il seme può essere trattato con Benomyl o Tiabendazolo; le piante possono essere protette mediante trattamenti a base di Maneb o con fungicidi sistemici. Da qualche anno sono state costituite alcune nuove cultivar dotate di resistenza alla malattia e di buone caratteristiche agronomiche, ma è stato anche segnalato che tale resistenza può essere superata da nuove razze fisiologiche del fungo.

Figura 6. Pianta di cece colpita da *Ascochyta rabiei*.



Capitolo 2

La gestione della flora infestante

La strategia convenzionale di controllo delle infestanti nel cece: definizione e problematiche

Nei Paesi ad agricoltura avanzata, la strategia convenzionale di controllo delle infestanti nel cece prevede il ricorso al mezzo chimico. Tale strategia prevede di eliminare le infestanti già presenti o che potenzialmente possono germinare nel corso del ciclo colturale attraverso il diserbo chimico in pre-semina o in pre-emergenza (subito dopo la semina della coltura e rigorosamente prima dell'emergenza) con prodotti erbicidi del tipo disseccanti totali sistemici (glyphosate). Contro le specie infestanti monocotiledoni si può intervenire anche sulla coltura già emersa (diserbo in post-emergenza) con principi attivi appartenenti alla famiglia dei Fop (ad esempio, quizalofop) e dei Dim (ad esempio, sethoxydim). Contro le specie infestanti dicotiledoni si interviene in pre-semina e pre-emergenza con trifluralin, pendimethalin e imazethapyr, ma questi principi attivi richiedono l'incorporazione nel terreno e non si addicono nei casi di non lavorazione e semina diretta del cece, tecniche diffuse in molti Paesi ad agricoltura industrializzata estensiva (Australia, Stati Uniti e Canada). Un Altro principio attivo molto usato per il diserbo del cece, da solo o in miscela all'interno di programmi erbicidi di pre-emergenza, è metribuzin.

Al momento della raccolta meccanica del cece, se sono presenti molte infestanti che ostacolano il procedere del cantiere di raccolta, si ricorre ad un trattamento erbicida disseccante con paraquat.

Spesso però la scelta dei vari principi attivi erbicidi è operata con insufficiente attenzione alla composizione floristica della comunità di infestanti bersaglio del trattamento. Altre volte, la coltura è inserita in avvicendamenti che prevedono colture che ricevono abitualmente trattamenti chimici (es. cereali, ortive di pieno campo, colture industriali) che possono avere effetti residui sulle colture in successione (Paolini *et al.*, 2004) e non si conoscono ancora bene tali effetti su tutte le colture, soprattutto su quelle minori come il cece.

Una ulteriore problematica del diserbo chimico del cece è che non esistono reali interessi da parte delle industrie chimiche a sperimentare e registrare nuovi prodotti su colture cosiddette “minori”, se non si hanno riscontri economici importanti a fronte dell’iniziale fase di ricerca.

Nell’ambito, poi, del controllo chimico convenzionale emergono problematiche di natura ambientale di notevole portata. Gli erbicidi con azione residuale nel tempo e caratterizzati da elevata persistenza possono causare l’inquinamento del suolo, delle acque e dell’aria (Vicari, 1995), ed arrivare a contaminare le derrate alimentari (Conte e Imbrogliani, 1998). Tali rischi sono percepiti in maniera sempre crescente dall’opinione pubblica, che chiede alimenti salubri, sicuri e di qualità superiore ottenuti senza compromettere le risorse ambientali. In tale contesto si trova oggi ad operare l’agricoltore, incoraggiato dalla Politica Agricola Comune dell’Unione Europea a ridurre o eliminare del tutto l’uso dei prodotti chimici di sintesi, con l’obiettivo di ridurre il più possibile gli *input* energetici, e quindi anche di agrochimici, senza andare incontro a significativi decrementi di produzione.

Per questi motivi oggi molto spesso il cece, rivestendo ormai nei Paesi industrializzati il ruolo di coltura di nicchia sia come superfici che come consumi, è prevalentemente coltivato in regime di agricoltura biologica. In Italia, ad esempio, si stima che le superfici coltivate a cece in biologico rappresentino circa il 65 % del totale nazionale (Guet, 2001).

Strategie alternative e innovative di controllo delle infestanti. Uso del mezzo culturale ed esaltazione dell’abilità competitiva della coltura: definizione e problematiche. Stato dell’arte.

In agricoltura biologica non è permesso l’uso degli erbicidi chimici, di conseguenza il controllo della flora infestante costituisce, assieme alla fertilizzazione da fonti alternative a quelle di sintesi e al controllo dei parassiti animali e dei funghi patogeni, uno dei problemi primari (Rasmussen e Ascard, 1995, Liebman, 2000). L’intensità dell’infestazione può dipendere da fattori quali l’avvicendamento colturale, le pratiche agronomiche e le strategie di contenimento della flora infestante effettuate in

precedenza. In questi casi, il controllo delle infestanti richiede scelte critiche, maggiormente ponderate e di lungo periodo, che negli scenari dell'agricoltura convenzionale spesso non si pongono, semplicemente perché si ricorre a strategie chimiche ormai ben collaudate e di sicuro effetto nella pratica. Infatti, operando in biologico, tutti i metodi che possano prevenire la germinazione delle infestanti e causare l'impoverimento della banca semi nel terreno, aumentare l'abilità competitiva della coltura e controllare in modo diretto le infestanti già presenti devono essere combinati tra loro, per interagire e ottenere i migliori risultati (Carroll Johnson e Mullinix, 1995; Kropff *et al.*, 2000).

Il controllo integrato chimico ed il controllo integrato non chimico

In via generale, un metodo di controllo degli organismi dannosi in un agroecosistema che utilizza tutti i fattori e le tecniche disponibili per mantenere le loro popolazioni al di sotto di soglie di densità che comportano un danno economico, nel rispetto dei principi ecologici, tossicologici ed economici, può essere definito integrato. Nel caso specifico del controllo integrato della flora infestante, esistono due strategie ad impiego ridotto o nullo di erbicidi: il controllo integrato chimico ed il controllo integrato non chimico.

Il controllo integrato chimico è una strategia che combina l'uso del mezzo chimico (a dosi o frequenze di applicazione ridotte rispetto al convenzionale) con l'uso di un mezzo non chimico (Bàrberi e Paolini, 1998). I mezzi di controllo non chimico possono essere agronomici, colturali, fisici e meccanici.

Il controllo integrato non chimico è una strategia che combina l'uso di due o più mezzi non chimici (Paolini, 2000). Attualmente, esso può avere numerose possibilità applicative in diverse colture, anche se persistono oggettive difficoltà su alcune colture, e in queste solo a determinati stadi di sviluppo, denominati "critici" per la scarsa abilità competitiva della coltura.

Il più delle volte, il controllo integrato non chimico comporta, tuttavia, una serie maggiore di vincoli ed oneri per l'agricoltore, e per questo può trovare la sua giustificazione applicativa solo nei sistemi di coltivazione in regime di agricoltura

biologica, all'interno dei quali si possono realizzare produzioni di qualità superiore e di maggior valore aggiunto (Paolini, 2000).

Mezzi di controllo non chimico delle infestanti

I più comuni mezzi di controllo non chimico delle infestanti utilizzabili nell'ambito di una strategia di controllo integrato si possono classificare, in base al tipo di effetto, in agronomici, fisici, meccanici e colturali (tabella 1 a pagina seguente).

Il mezzo colturale

All'interno di una concezione più evoluta ed innovativa, che pone in risalto la possibilità di sfruttare ai fini del controllo delle infestanti l'abilità competitiva propria della coltura, fino ad ora considerata solo come passiva beneficiaria degli interventi di controllo, considera il controllo integrato come una strategia che coinvolge differenti mezzi di controllo e di contenimento delle infestanti che agiscono in modo complementare contro individui diversi, ovvero in modo additivo o sinergico contro lo stesso individuo, nel corso di uno o più cicli colturali (Paolini, 1996).

L'abilità competitiva della coltura può essere favorita ed esaltata da precise scelte colturali e può rendere efficaci trattamenti con dosi ridotte di erbicida o interventi di controllo non chimici, che altrimenti risulterebbero solo parzialmente soppressivi della flora infestante presente e/o potenzialmente presente. Di conseguenza, l'esaltazione dell'abilità competitiva consiste in un reale e prezioso mezzo di controllo non chimico, definito in seguito anche come "mezzo colturale", cui fare ampio ricorso per integrare e implementare sia il mezzo di controllo chimico a dosi ridotte, sia il mezzo non chimico (Lemerle *et al.*, 1996a; Paolini *et al.*, 1998; Paolini 2000).

Tabella 1. Mezzi non chimici di controllo delle infestanti (da Paolini, 2001, modificato).

MEZZO	EFFETTO RINETTANTE	EFFETTO PREVALENTE SULLE INFESTANTI	ESEMPI PRATICI
<i>Agronomico</i>			
Avvicendamento colturale	non prevalente	riduzione emergenze	alternanza; rotazioni lunghe
Lavorazioni principali	non prevalente	riduzione emergenze	aratura tradizionale
Lavorazioni secondarie	esclusivo	riduzione emergenze	falsa semina
Colture di copertura	non prevalente	riduzione emergenze e dell'abilità competitiva	<i>living mulch; dead mulch;</i> sovescio
Consociazione	non prevalente	riduzione abilità competitiva	trasemina; bulatura
<i>Fisico</i>			
Calore umido	esclusivo	riduzione emergenze	getti di vapore
Pacciamatura	non prevalente	riduzione emergenze	film plastici; materiale organico
Pirodiserbo	esclusivo	riduzione emergenze	in pre e post emergenza
Solarizzazione	non prevalente	riduzione emergenze	in serra, in estate
<i>Meccanico</i>			
Lavorazioni consecutive	prevalente	riduzione emergenze	sarchiatura; rincalzatura; strigliatura; <i>finger weeding;</i> spazzolatura
<i>Colturale</i>			
Scelta della cultivar	esclusivo	riduzione abilità competitiva	cultivar a superiore abilità competitiva
Epoca di semina o di trapianto	esclusivo	riduzione emergenze e dell'abilità competitiva	anticipo/ritardo dell'epoca <i>standard</i>
Densità di semina o di trapianto	esclusivo	riduzione emergenze e dell'abilità competitiva	aumento densità; disposizione spaziale
Fertilizzazione azotata (epoca e modalità)	esclusivo	riduzione abilità competitiva	anticipo/ritardo dell'epoca <i>standard;</i> tipo/localizzazione concime

Il mezzo colturale è un mezzo agronomico rappresentato da qualsiasi scelta colturale che favorisca l'abilità competitiva della coltura nei confronti e a discapito delle infestanti (Paolini, 2000). Tra l'altro, esso consiste molto spesso in una scelta "a costo zero" per l'agricoltore, trattandosi solo di operare una decisione che ottimizzi i fattori impiegati (esempio: scelta di una cultivar più competitiva rispetto ad una meno competitiva ma con simili caratteristiche produttive ed organolettiche; scelta di anticipare o ritardare, a seconda dei casi, l'epoca di applicazione del concime azotato in copertura).

Colture più competitive sono in grado di contrastare più efficacemente l'emergenza e lo sviluppo delle infestanti, e di conseguenza di esaltare l'efficacia di interventi di controllo che in condizioni normali sarebbero solo parzialmente soppressivi delle infestanti, come ad esempio i trattamenti diserbanti a dose ridotta da soli, o altri interventi con mezzi non chimici.

Il mezzo colturale arricchisce, quindi, le possibilità di controllo integrato già esistenti e consente il raggiungimento di un più soddisfacente livello di controllo delle infestanti, pur ricorrendo ad *input* ridotti o addirittura nulli di erbicidi.

L'interesse per questo nuovo e per certi versi ancor in gran parte inapplicato mezzo di controllo è dovuto a due vantaggi essenziali rispetto agli altri mezzi non chimici: una maggiore generalizzabilità degli effetti e, soprattutto, una più ampia convenienza d'impiego (Paolini, 2001). Riguardo alla generalizzabilità degli effetti, colture più competitive possono essere realizzate in una varietà di situazioni spesso più numerose di quelle in cui si utilizzano altri mezzi non chimici e su un'ampia gamma di colture. La maggiore convenienza d'impiego si basa su una semplice asserzione: realizzare colture più competitive non costa niente all'agricoltore, piuttosto permette un concreto e tangibile risparmio attraverso la riduzione d'impiego del mezzo che va ad integrare quello colturale, sia che si tratti di un erbicida (che potrà essere applicato a dosi ridotte), sia che si tratti di un altro mezzo non chimico (che potrà essere applicato con interventi meno onerosi, meno intensi o meno frequenti) (Bàrberi, 2000).

In letteratura si riportano numerosi esempi di studio delle possibilità applicative del mezzo colturale. Ad esempio, Lemerle *et al.* (1996a) hanno dimostrato che l'impiego di varietà di frumento tenero più competitive ha permesso di esaltare l'effetto di trattamenti chimici erbicidi a dosi ridotte fino al 50 % della dose raccomandata in

etichetta, rendendoli della stessa efficacia di trattamenti alla dose *standard* raccomandata in etichetta, ma applicati su varietà dotate di “comune” abilità competitiva.

Le scelte colturali che appaiono oggi più efficaci per realizzare colture più competitive sono: a) la scelta della cultivar, ovvero l'impiego di varietà dotate di accertata superiore abilità competitiva nei confronti delle infestanti (nota: per la bibliografia si rimanda al seguente paragrafo dedicato); b) l'epoca di semina o di trapianto (Joenje e Kropff, 1987); c) la densità d'investimento (Williams, 1977; Blackshaw, 1983; Calcagno *et al.*, 1987; Wilson, 1988; Grevsen, 2003; Paolini *et al.*, 2003); d) l'epoca di distribuzione del fertilizzante azotato (Williams, 1977; Carlson e Hill, 1985; Angonin *et al.*, 1996; Rasmussen, 1996; Caporali *et al.*, 1998; Paolini *et al.*, 1999; Gonzales Ponce e Santin, 2001); e) la modalità di distribuzione nello spazio (localizzazione) e nel tempo (frazionamento della dose totale) dello stesso (Di Tomaso, 1995; Jörnsgård *et al.*, 1996; Rasmussen, 1996; Van Delden *et al.*, 2002).

In particolare, nel caso del cece, escludendo a priori la problematica della fertilizzazione azotata, principalmente la scelta della cultivar e dell'epoca di semina sembrano le opportunità più interessanti da perseguire. Per questa ragione, esse saranno di seguito analizzate in modo più approfondito, essendo state l'oggetto ultimo d'indagine dell'intero ciclo di esperimenti riportato nel presente studio.

Scelta della cultivar

Cultivar di elevato valore agronomico, capaci di alte rese e dotate di superiore abilità competitiva nei confronti delle infestanti sono state già individuate in diverse colture, quali avena (Hansen, comunicazione personale, 2005), 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; Lemerle *et al.*, 1996b; De Lucas Bueno e Froud-Williams, 1996; Lemerle *et al.*, 2001), frumento duro (Paolini *et al.*, 2002), lenticchia (Faustini *et al.*, 2003), 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 ora un valido strumento di controllo integrato a disposizione dell'agricoltore.

La differente abilità competitiva delle cultivar o dei genotipi coltivati è correlata con alcuni caratteri identificati e facilmente determinabili, il principale dei quali è probabilmente la produzione di biomassa a stadi precoci di sviluppo. Infatti, i genotipi con i più alti ritmi di crescita nelle prime fasi di sviluppo (che corrispondono generalmente alle prime 4-6 settimane successive all'emergenza della coltura) sono di solito i più competitivi, perché riescono ad assimilare una maggiore quantità di risorse limitate nell'unità di tempo e ad avere, di conseguenza, un vantaggio competitivo sulle specie infestanti concorrenti. Esistono poi altri tratti distintivi delle cultivar dotate di superiore abilità competitiva quali l'*habitus* di crescita, eretto o prostrato a seconda della coltura, l'architettura fogliare e la conformazione della *canopy* (Brougham, 1958; Lotz *et al.*, 1991), l'altezza della pianta alla fioritura, la posizione della fruttificazione sulla pianta e l'altezza da terra della prima fruttificazione fertile (Paolini *et al.*, 2006).

Poiché è dimostrato che non esiste correlazione inversa tra abilità competitiva della coltura e capacità produttiva (Wicks *et al.*, 1986; Paolini *et al.*, 1992; Lemerle *et al.*, 1996b; Paolini *et al.*, 1998; Paolini *et al.*, 2002; Faustini *et al.*, 2003), andrebbe decisamente smentita l'erronea convinzione ancora molto diffusa in base alla quale si sostiene che genotipi più competitivi sono caratterizzati da forte sviluppo dimensionale, associato a taglia elevata e basso indice di raccolto (Harvest Index) e pertanto non adatti alle condizioni richieste dalla moderna gestione degli ordinamenti colturali (Donald e Hamblin, 1976).

In cece, la scelta della cultivar appare plausibilmente in grado di esaltare l'abilità competitiva della coltura nei confronti delle infestanti. Lo dimostrano recenti studi (Paolini *et al.*, 2006) nei quali è messa in risalto la correlazione molto alta che esiste tra elevata abilità competitiva di alcuni genotipi di cece sviluppati in Italia (inizialmente ottenuti da materiale ICARDA proveniente dall'Italia e da altri Paesi del bacino del Mediterraneo) e caratteri di semplice misurazione come l'altezza da terra del primo baccello fertile e l'angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie della pianta.

Attualmente, quindi, su numerose specie di grande interesse agricolo è già possibile sfruttare a fini pratici molta della variabilità genetica disponibile nel patrimonio varietale esistente. Tuttavia, per il futuro è auspicabile una sempre maggiore

conoscenza dei meccanismi e delle dinamiche che regolano in campo la competizione tra individui diversi (coltura vs. infestanti) e sulla base di queste conoscenze avviare la costituzione di nuove cultivar più competitive nei confronti delle infestanti, attraverso un lavoro di selezione e di miglioramento genetico mirato alla fissazione nelle principali colture di queste caratteristiche di elevata competitività, utili in tutte le comuni situazioni di coltivazione.

Scelta dell'epoca di semina

La scelta dell'epoca di semina è l'altra opportunità di scelta agronomica concretamente a disposizione per la coltura del cece. Essa, peraltro, non esclude la possibilità di avvalersi contemporaneamente anche della scelta della cultivar, combinando così due mezzi colturali, ovvero due possibilità complementari e sinergiche utili a realizzare colture più competitive in condizioni di non uso di prodotti chimici. È questo il caso, come si vedrà nel seguito della descrizione degli esperimenti del presente Dottorato di Ricerca, delle nostre prove di campo.

In talune colture, però, questa scelta temporale incontra grossi limiti di applicazione e non è tecnicamente possibile, almeno alle nostre latitudini. Un esempio è quello delle colture estive di pieno campo (pomodoro, peperone, tabacco, mais da granella, melone, anguria, fagiolo, soia, solo per citare le principali) che necessitano di precisi minimi termici per svilupparsi in modo ottimale e quindi presentano ristretti margini operativi per operare scelte tecniche riguardo l'epoca di semina decisive e incisive sulla competizione con le infestanti senza compromettere la riuscita agronomica della coltura.

La scelta dell'epoca di semina della coltura influisce sull'emergenza assoluta delle specie infestanti, sulla loro densità di popolazione, sulla frequenza relativa, sui ritmi di accrescimento in competizione con la coltura. L'effetto dell'epoca di semina sull'emergenza delle infestanti, su densità e frequenza relativa deriva dalla forte dipendenza dalla stagionalità di queste per svilupparsi. L'effetto sulla competitività delle infestanti nei confronti della coltura è funzione delle esigenze relative di coltura e infestanti a un dato momento. Inoltre, più è precoce l'emergenza di una coltura posta in

competizione con le infestanti maggiore sarà il vantaggio competitivo acquisito a discapito di quello della comunità di specie infestanti presente e futura (Peters e Wilson, 1983; Martin e Field, 1988).

I mezzi meccanici per il controllo delle infestanti

Dato il risalto che ha l'uso dei mezzi meccanici di controllo delle infestanti, anche innovativi, all'interno di questa Tesi di Dottorato di Ricerca, si è ritenuto utile trattarli in un paragrafo *ad hoc*. Ad un primo elenco di mezzi meccanici tradizionali e di buona affidabilità, ormai largamente invalsi nell'uso comune, come erpici strigliatori, sarchiatrici, estirpatori, rincalzatori, nel corso degli ultimi anni si sono aggiunti una moltitudine di nuovi mezzi, che oggi offrono all'agricoltore un ben più ampio e diversificato ventaglio di scelta e nuove opportunità per praticare le coltivazioni in biologico.

La ricerca si è concentrata soprattutto sulla necessità di risolvere l'annoso problema del controllo delle infestanti sulla fila della coltura. La ricerca, iniziata dai più avanzati centri del Nord Europa e degli Stati Uniti, ha sviluppato numerosi mezzi meccanici. Tra questi, dimostrano di avere possibilità applicative anche su larga scala attrezzi come l'erpice a dita folli o *finger weeder*, il *torsion weeder*, il *brush weeder*, il *cage weeder*, e così via (tabella 2, pagina seguente) (San, 1997).

Oggi numerose ditte costruttrici europee e nord-americane (Kress & Co., Bartschi-Fobro, Svensk Ekologimaskin, Øko-Pro, Bezzerides, solo per citare le più grandi), hanno in produzione tali mezzi meccanici ed attorno ad essi si è sviluppata una fiorente nicchia di mercato, composta in prevalenza da aziende agricole biologiche ad indirizzo orticolo ed arboreo, da vivai di piante ornamentali e da aziende che coltivano piante officinali.

Altri strumenti, seppur funzionanti ed efficaci in talune situazioni operative, sembrano ancora in una fase troppo precoce di sviluppo per essere proposti su larga scala in agricoltura.

Tabella 2. I mezzi meccanici più innovativi per il controllo delle infestanti sulla fila.

Mezzo	Zona di intervento	Efficacia di intervento	Possibili danni alla coltura	Colture di riferimento
Finger weeder 	sulla fila	ottima	trascurabili (con terreno in tempera)	colture a file spaziate con interfila da cm 25 a superiori
Torsion weeder 	sulla fila	buona	scalzature, danni meccanici	tutte le colture sarchiate
Brush weeder 	interfila	buona	trascurabili	orticole a foglia; vivaismo ornamentale
Cage weeder 	interfila	buona	trascurabili	orticole a foglia; vivaismo ornamentale

Capitolo 3

L'effetto competitivo tra piante erbacee e infestanti

Natura dell'effetto competitivo

Lo studio degli effetti competitivi tra piante erbacee trova origine nei pionieristici lavori di Donald (1958 e 1963) e De Wit (1960). In seguito, Welden e Slauson (1986) hanno proposto una definizione di competizione come “induzione di uno stato fisiologico sub-ottimale in un organismo per effetto diretto della assunzione di risorse da parte di un altro organismo”. Pertanto, esiste competizione solo in presenza di risorse limitanti (acqua, luce, elementi nutritivi) in un ambiente condiviso da due o più individui.

La competizione tra piante ha effetti **diretti** sulla assunzione delle risorse limitanti, cui consegue un decremento della produzione di biomassa, ed effetti **indiretti** come il fenomeno della riallocazione dei prodotti della fotosintesi all'interno della pianta coltivata, molto spesso a sfavore delle parti di interesse agronomico ed economico, ovvero degli organi riproduttivi come semi e frutti, o di accumulo come tuberi, bulbi e radici.

L'effetto competitivo è tanto più forte quanto più sono simili le esigenze delle piante in competizione. Non a caso, molto spesso le specie infestanti antagoniste delle colture appartengono alla medesima famiglia botanica. Lontani da riduttive semplificazioni, si può tuttavia affermare come spesso i cereali autunno-vernini sono infestati da specie monocotiledoni “difficili” dei generi *Lolium*, *Avena*, *Bromus* e *Phalaris*; importanti colture orticole come patata e pomodoro sono infestate da specie della comune famiglia di appartenenza delle *Solanaceae*; la barbabietola da zucchero teme infestazioni precoci e severe di specie *Chenopodiaceae*, così come in coltivazioni intensive di carota e finocchio è molto frequente rinvenire specie appartenenti alla famiglia delle *Umbelliferae*.

Le piante presentano risposte adattative diverse allo *stress* competitivo e allo *stress* abiotico. Maggiori tassi di crescita e di assorbimento dei fattori vitali sono

risposte vantaggiose allo *stress* di natura competitiva, mentre ridotti tassi di crescita e la capacità di conservare la risorsa assorbita in ogni sua forma sono risposte vantaggiose allo *stress* abiotico (Paolini, 1991; Grime, 1977 e 1979).

Indici di determinazione

Gli approcci metodologici per studiare e misurare l'effetto competitivo tra gruppi di piante appartenenti a specie diverse sono distinti in:

- I) complementarietà nell'uso delle risorse condivise;
- II) abilità competitiva;
- III) severità di competizione.

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

1) Per verificare se esiste competizione tra due entità interagenti (individui o gruppi di individui) ed in che grado essa si manifesti si utilizza l'indice di complementarietà nell'uso delle risorse **RYT** (*Relative Yield Total* – resa relativa totale) proposto da De Wit e Van Den Bergh nel 1965.

Date le specie **i** e **j**

$$\mathbf{RYT} = \mathbf{RY}_i + \mathbf{RY}_j = \mathbf{Y}_{ij} / \mathbf{Y}_{ii} + \mathbf{Y}_{ji} / \mathbf{Y}_{jj}$$

dove **RYT** indica la *resa relativa totale* come somma della resa relativa della specie **i** (**RY_i**) e della specie **j** (**RY_j**), e dove **Y** indica la *produzione di biomassa per unità di superficie* rispettivamente della specie **i** in competizione con **j** (**Y_{ij}**) e della specie **j** in competizione con **i** (**Y_{ji}**) rispetto ai propri *stand* puri (**Y_{ii}** e **Y_{jj}**).

Con **RYT** = **1** vi è **piena competizione** tra le specie ed assenza di complementarietà nell'uso delle risorse.

Con **1 < RYT < 2** vi è **competizione parziale** tra le specie, ovvero parziale complementarietà nell'uso delle risorse.

Con $\mathbf{RYT} = 2$ vi è **assenza di competizione** tra le specie, ovvero piena complementarietà nell'uso delle risorse.

Numerosi sono stati gli indici proposti in letteratura per determinare la competizione tra specie e l'abilità competitiva di una specie. Tra questi ricordiamo l'indice **K** (di de Wit – il primo indice di competizione proposto nel 1960); **A** (*aggressivity* – di Mc Gilchrist e Trenbath, 1971); **CR** (*competitive ratio* – di Willey e Rao); **RCC** (*relative crowding coefficient* – di De Wit e Goudriaan, 1974); **C_b** (*competitive balance index* – di Wilson, 1988); **S** (*severity of competition* – di Snaydon e Satorre, 1989); **CI** (*competitive ability index* – di Hansen e Christensen, 2000). Tra questi si descrive nei particolari l'indice **RCC** e il suo derivato **C_b**.

2) Per valutare l'abilità competitiva di un genotipo nei confronti del proprio competitore si utilizza l'indice **RCC** (*relative crowding coefficient* – coefficiente di affollamento relativo), proposto da De Wit e Goudriaan nel 1974).

Data la specie **i**

$$\mathbf{RCC}_i = \mathbf{W}_{ij} / \mathbf{W}_{ji} / \mathbf{W}_{ii} / \mathbf{W}_{jj}$$

dove **W_{ij}** e **W_{ji}** sono il *peso per pianta* di **i** in associazione con **j** e di **j** in associazione con **i**, rispettivamente; **W_{ii}** e **W_{jj}** sono il *peso per pianta* dei corrispondenti *stand* puri.

L'indice si può calcolare anche rispetto a **j** e peraltro $\mathbf{RCC}_j = 1/\mathbf{RCC}_i$.

RCC può variare teoricamente tra 0 e $+\infty$ (questi valori indicano competitività nulla dell'una specie o dell'altra).

RCC ha un significato concreto perché misura per una specie (o un genotipo) il rapporto rispetto all'altra nella produzione percentuale di biomassa (o nella quantità percentuale di risorsa contesa assorbita) in paragone con i rispettivi *stand* puri.

Si segnala che talvolta l'uso di questo indice può generare concreti rischi di avere disomogeneità delle varianze nel *pool* di dati calcolati.

Per ovviare a questo inconveniente si utilizza maggiormente il seguente indice **C_b** (che altro non è se non la trasformazione logaritmica di **RCC**):

3) L'indice C_b (competitive balance index – indice di equilibrio competitivo) è stato proposto da Wilson nel 1988. Esso misura in maniera più sicura ed affidabile l'abilità competitiva di una specie in quanto non presenta il già ricordato problema della disomogeneità delle varianze.

Data la specie i

$$C_{b\ i} = \ln(x) W_{ij} / W_{ji} / W_{ii} / W_{jj}$$

con simbologia identica a quella descritta per **RCC**. L'indice si può calcolare anche rispetto a j e peraltro $C_{b\ j} = 1/ C_{b\ i}$.

In caso di associazioni tra individui diversi nella proporzione 50 / 50 (ad esempio coltura e infestanti presenti in proporzioni numeriche simili in campo) l'indice C_b (come anche **RCC**, del resto) può essere calcolato direttamente sulla produzione di biomassa per unità di superficie. I valori di C_b si distribuiscono simmetricamente intorno a 0, valore che corrisponde con il sistema di calcolo di **RCC** a 1. Valori di C_b della coltura maggiori di 0 stanno ad indicare che questa è più competitiva delle infestanti. Valori inferiori a 0 indicano che la coltura è meno competitiva delle infestanti. Con C_b uguale a 0 coltura e infestanti hanno la stessa abilità competitiva e nessuna delle due entità prevale sull'altra. A valori maggiori di C_b corrispondono superiori valori di abilità competitiva.

L'indice C_b indica quale delle specie in competizione e in che misura abbia assunto una maggiore quantità di risorse limitanti a discapito dell'altra (quindi anche coltura contro singola specie o comunità di specie infestanti) e lo confronta con il proprio *stand* puro (coltura pura, ovvero situazione di sola competizione tra individui della stessa specie).

PARTE SPERIMENTALE

Capitolo 4

Scopi ed obiettivi della ricerca

La presente ricerca ha avuto lo scopo di studiare, in regime di agricoltura biologica, le possibilità di applicazione dei mezzi agronomici, colturali e di controllo meccanico delle infestanti, per ottenere livelli di controllo integrato non chimico delle infestanti in un agro-ecosistema altamente sostenibile basato sull'impiego di una specie leguminosa azotofissatrice, il cece, coltivata per ottenere un prodotto (granella per il consumo umano) di elevato valore nutrizionale e con caratteristiche qualitative superiori dovute all'assenza di interventi chimici di alcun tipo in coltura e alle peculiarità del territorio di coltivazione, l'Alto Lazio, dove clima, terreno vulcanico e presenza di numerosi ecotipi locali di cece fanno da sempre di questa coltura un prodotto tipico e tradizionale.

Per raggiungere questi obiettivi sono state impiantate due prove sperimentali in pieno campo, ciascuna di durata biennale.

La prima (di seguito chiamata per brevità prova n. 1) intendeva studiare le possibilità offerte dal mezzo colturale (scelta della *cultivar*) in termini di superiore abilità competitiva del genotipo nei confronti delle infestanti e capire se esistono dei caratteri della specie facilmente identificabili e misurabili correlati con l'abilità competitiva.

La seconda (presentata in questo lavoro come prova n. 4) aveva lo scopo di mettere a punto itinerari tecnici di controllo non chimico delle infestanti che integrino uno o più interventi di controllo meccanico (applicati a diversi livelli di intensità e/o frequenza, o con diverse modalità), altrimenti solo parzialmente soppressivi nei confronti delle infestanti, con il mezzo colturale (scelta di genotipi più competitivi, scelta dell'epoca di semina) studiato nella prima prova.

Altre due prove collegate sono state eseguite su cece. Un esperimento di laboratorio (prova n. 2) ha riguardato lo studio delle temperature letali su genotipi di cece sottoposti a *stress* termico a stadi precoci di sviluppo. Questa prova ha effetti diretti sulla conoscenza di ulteriori possibilità offerte dal mezzo colturale, ovvero sulla scelta dell'epoca di semina della coltura.

Una prova in serra (prova n. 3) è servita per testare su numerosi genotipi di cece il diverso grado di sensibilità / tolleranza / resistenza a due isolati diversi del fungo *Ascochyta rabiei*, il patogeno chiave della specie studiata, agente causale della temibile Antracnosi o Rabbia del cece.

La prova n. 4, prevedendo anche due diverse epoche di semina, una autunnale ed una tardo-invernale (per valutare la risposta produttiva dei diversi genotipi allo *stress* abiotico da freddo), deve, perciò, essere considerata una sorta di *summa* delle tre precedenti, poiché racchiude in essa il frutto delle precedenti selezioni per caratteri di abilità competitiva nei confronti delle infestanti, di tratti fortemente correlati con l'abilità competitiva (*habitus* vegetativo, altezza di inserzione del primo baccello fertile, angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie, – per completezza si rimanda alla prova n. 1), di capacità produttiva in termini di granella, di resistenza a temperature sub-ottimali inferiori allo zero e di resistenza all'attacco del fungo *Ascochyta rabiei*.

Articolazione della ricerca

La presente ricerca è stata svolta principalmente presso i laboratori del Dipartimento di Produzione Vegetale della Facoltà di Agraria dell'Università della Tuscia a Viterbo e presso l'Azienda Didattico-Sperimentale “Nello Lupori” dell'Università della Tuscia, sita a Viterbo in località Riello.

Il ciclo di studi è stato svolto in un arco temporale comprendente le annate agrarie 2003/2004, 2004/2005 e 2005/2006.

Di seguito, ciascuna delle quattro prove svolte verrà presentata separatamente in un capitolo dedicato.

Capitolo 5

Prova n. 1

Studio dell'abilità competitiva di genotipi di cece (*Cicer arietinum* L.) sottoposti a livelli diversi di competizione con le infestanti

Scopo della prova

Nei sistemi altamente sostenibili (con impiego ridotto o nullo di agrochimici) la buona riuscita agronomica delle colture passa attraverso il mantenimento di un generale equilibrio dell'agro-ecosistema e l'ottimizzazione degli itinerari tecnici di controllo delle infestanti. In questi sistemi, per conservare le risorse e la fertilità del terreno una quota importante delle superfici in avvicendamento deve essere costantemente interessata dalla coltivazione di specie leguminose, e tra queste le leguminose da granella (cece, lenticchia, cicerchia, lupino, fava, fagiolo, pisello) offrono oggi nuove interessanti prospettive in termini di colture di qualità superiore e biologiche, oltre che dell'interesse da parte del consumatore verso la riscoperta delle colture tipiche di zone di tradizionale coltivazione.

Nella prima prova di questa tesi, in genotipi di cece (*Cicer arietinum* L.) dotati di differente abilità competitiva nei confronti delle infestanti, si sono studiate le interazioni competitive con le infestanti, attraverso il calcolo di indici di misura dell'abilità competitiva, allo scopo di individuare i genotipi più competitivi nonché rispondenti alle principali caratteristiche ricercate in termini di potenzialità produttiva, *habitus* vegetativo, caratteristiche agronomiche e resistenza in campo alle principali avversità.

L'attività di sperimentazione ha riguardato lo sviluppo e la valutazione di genotipi di cece ad elevata produttività caratterizzati da resistenza alle più comuni avversità parassitarie e da una più o meno elevata abilità competitiva nei confronti delle infestanti. Questa prova, condotta in regime di agricoltura biologica, era volta ad individuare in germoplasma di cece (*Cicer arietinum* L.), proveniente da linee stabili ottenute da miglioramento genetico e non ancora inserite in prove agronomiche di

questo tipo, e da due cultivar italiane ad oggi comunemente coltivate (Sultano e Visir), i principali tratti che determinano una maggiore abilità competitiva della coltura nei confronti delle infestanti (elevati ritmi di crescita a stadi precoci, portamento eretto, precocità, alta produttività, resistenza alle malattie) uniti ad elevate caratteristiche qualitative della granella per l'alimentazione umana e animale.

Le migliori linee selezionate con questo studio sono state poi utilizzate in una prova successiva all'interno del ciclo di esperimenti del presente Dottorato di Ricerca (prova n. 4, descritta al capitolo 8), atta a valutare l'efficacia del mezzo meccanico, altrimenti solo parzialmente soppressivo, in combinazione con queste linee (dotate di superiore abilità competitiva) nel controllo delle infestanti.

Riassumendo, in questa prova si intendeva:

- valutare la variabilità nelle caratteristiche dell'abilità competitiva nei confronti delle infestanti;
- correlare alcuni caratteri della coltura con l'abilità competitiva (tratti biometrici e fenologici, ritmo di accrescimento a stadi precoci di sviluppo, altezza della pianta, altezza del primo baccello fertile, angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie sul fusto principale, ecc.);
- ottenere indici di abilità competitiva validi oggettivamente e quindi ottenibili sempre perché intrinseci al genotipo e replicabili in tutte le condizioni di campo;
- capire se esiste correlazione tra gli indici di abilità competitiva e la maggiore o minore resa produttiva, e se questi siano correlati ad altri tratti caratteristici di ciascun genotipo.

Materiali e metodi

La sperimentazione è stata condotta nel biennio 2003/2004 su un appezzamento di terreno ubicato nell'Azienda Didattico-Sperimentale "Nello Lupori" dell'Università della Tuscia a Viterbo (42° 26' latitudine N, 12° 40' longitudine E, 310 m s.l.m.).

Disegno sperimentale ed impostazione della prova

All'interno di un avvicendamento biennale (2003 e 2004) frumento duro – cece, contemporaneo nel tempo e nello spazio e condotto in regime di agricoltura biologica, nei due anni di prova su cece è stato applicato un disegno sperimentale del tipo a parcella suddivisa o *split-split-plot* in blocchi randomizzati.

Il fattore anno è stato considerato come quello di livello gerarchicamente più importante. Il fattore secondario era rappresentato dai 18 genotipi di cece allocati in altrettante parcelle delle dimensioni di 21,6 m² (2,7 x 8 metri). In tabella 3 è riportato l'elenco del materiale usato con alcune caratteristiche salienti di ciascun genotipo.

Tabella 3. Principali caratteristiche dei 18 genotipi di cece studiati

Genotipo o cultivar	Tipo di seme	Portamento	Provenienza
C116	Rugoso	semi-eretto	*
C117	Rugoso	eretto	*
C120	Rugoso	semi-eretto	*
C121	Rugoso	semi-eretto	*
C133	Rugoso	eretto	*
C134	Rugoso	eretto	*
C1017 R	Rugoso	eretto	*
C1022 L	Liscio	eretto	*
C11112 L	Liscio	semi-eretto	*
C11112 R	Rugoso	semi-eretto	*
C11123 R	Rugoso	eretto	*
C11132 R	Rugoso	eretto	*
C6150 L	Liscio	eretto	*
C6150 R	Rugoso	eretto	*
EC1	Rugoso	semi-eretto	*
EC3	Rugoso	semi-eretto	*
cv. Sultano	Liscio	eretto	cultivar italiana
cv. Visir	Rugoso	eretto	cultivar italiana

* da linee stabili ottenute presso ENEA Casaccia (RM) da programmi di ibridazione su materiale autoctono e/o su linee migliorate inizialmente provenienti da *nurseries* ICARDA di germoplasma di provenienza mediterranea.

Il fattore terziario era rappresentato dalle due diverse intensità di controllo delle infestanti: a) coltura infestata (la flora infestante presente in coltura è lasciata sviluppare in assenza di controllo; di seguito sarà anche chiamato livello “infestato”); b) coltura pura (la coltura è mantenuta in assenza di competizione con le infestanti per mezzo di ripetuti interventi manuali di zappatura e scerbatura quando necessario; di seguito sarà anche chiamato livello “non infestato”).

La dimensione delle sub-parcelle coltura infestata / coltura pura erano di 10,8 m² (2,7 x 4 metri). I fattori sono stati replicati tre volte.

In ciascun parcellone (corrispondente ad una replica di una delle suddette combinazioni *genotipo x livello di infestazione*) si sono effettuati, in 2 epoche diverse, campionamenti di biomassa della coltura in stadi precoci di sviluppo, con interventi cadenzati ad intervalli di 15 giorni (a partire dall’epoca corrispondente a 30 giorni dopo la piena emergenza della coltura) su omogenee aree di saggio di 0,5 m² ciascuna. Nel disegno sperimentale erano previste anche delle particolari parcelle (denominate in seguito “*stand puri di infestanti*”), in numero di 2 per ogni ripetizione, nelle quali la flora infestante era lasciata sviluppare liberamente in assenza della coltura al fine di ricavare dati di biomassa secca utili per determinare alcuni indici di competizione coltura/infestanti, come RY_{cece} , $RY_{infestanti}$, RYT , RCC e C_b (per la descrizione analitica degli indici si rimanda alla parte generale, capitolo 3).

Tecnica culturale

La prova si è svolta su un appezzamento di terreno regolare per forma e dimensioni, con giacitura pianeggiante e ben drenato per la presenza sull’intero perimetro di fossi e scoline permanenti. Si è operato su terreno con caratteristiche fisico-chimiche uniformi di natura tendenzialmente franco-argillosa; prima dell’impianto della prova, è stata eseguita l’analisi del terreno. I risultati sono riassunti in tabella 4.

Il terreno è stato arato in estate alla profondità di 30 cm. Ogni anno, alcuni giorni prima dell’impianto della prova, il terreno è stato affinato con erpice a dischi, successivamente è stata distribuita a spaglio la concimazione di fondo, apportata interamente in presemina al momento dell’ultima erpicatura, composta da 100 kg ha⁻¹ di

P₂O₅ e di 50 kg ha⁻¹ di K₂O proveniente da fonti naturali (fertilizzanti del commercio ammessi dal legislatore in regime di agricoltura biologica). Si è provveduto ad interrare il concime con erpice rotativo.

Tabella 4. Caratteristiche fisico-chimiche medie del terreno della prova (strato 0-30 cm)

Sabbia grossa (% peso secco terreno)	18,7
Sabbia fina (% peso secco terreno)	24,6
Limo (% peso secco terreno)	28,7
Argilla (% peso secco terreno)	28,0
pH (in acqua, 1 : 2,5)	6,69
Calcare totale (%) (De Astis)	0,93
Sostanza organica (% su s.s.) (Lotti)	2,15
Azoto totale (% su s.s.) (Kjeldahl)	0,11
Carbonio organico (% su s.s.)	1,25
Rapporto C/N	11,3

Ogni anno, la coltura è stata seminata a mano alle date 24 febbraio 2003 e 18 febbraio 2004 (tabella 5), disponendo i semi, preventivamente trattati con conciante anti-fungino, alla distanza di circa 3 – 3,5 cm sulla fila, con differenze tra i genotipi calcolate in base alla differente percentuale di germinabilità rilevata con test eseguito in germinatoio su capsula Petri (7 giorni a 20 °C, in condizioni di buio).

Tabella 5. Dettaglio dei fattori sperimentali applicati nel corso della prova e calendario delle principali operazioni colturali effettuate.

Fattori sperimentali	2003	2004
Precessione colturale	Frumento duro cv. <i>Duilio</i>	
Concimazione di fondo (kg ha ⁻¹)	100 P ₂ O ₅ – 50 K ₂ O	
Fertilizzazione in copertura	assente	
Aratura	agosto 2002	agosto 2003
Semina prec. frumento duro	7 gennaio	8 gennaio
Semina cece	24 febbraio	18 febbraio
Emergenza	14 marzo	11 marzo
Raccolta cece	16 luglio	13 luglio

L'interfila scelta è stata di 45 cm. Dopo un leggero intervento di diradamento manuale, ove necessario, a 10 giorni dalla piena emergenza della coltura, si é ottenuto un investimento uniforme di 55 - 60 piante m⁻², come da protocollo sperimentale.

Subito dopo la completa emergenza della coltura, sono state individuate e delimitate all'interno di ciascuna delle parcellone sopra riportate, in posizione comprendente sempre le file centrali, 2 aree di saggio costituite da rettangoli metallici di 0,9 m² ciascuna (di dimensioni 100 x 90 cm, in modo da includere sempre due interfila intere e adiacenti di 45 cm ciascuna). All'interno di queste aree di saggio si sono effettuati tutti i principali rilievi e determinazioni nelle successive fasi della prova, fino alla raccolta finale.

Rilievi e determinazioni

Su ciascun genotipo di cece sono state registrate le principali fasi fenologiche: data di emergenza, emissione delle ramificazione secondarie, inizio della fase di attiva azotofissazione, incipiente fioritura, piena fioritura, inizio allegagione, riempimento dei

bacelli, maturità fisiologica e maturità di morte. Nel corso della prova, sono stati determinati i principali caratteri biometrici della coltura: numero di ramificazioni per pianta, angolo di inserzione sul fusto principale delle ramificazioni secondarie, altezza da terra del primo baccello fertile, altezza della pianta alla raccolta, numero di piante presenti nell'area di saggio (investimento unitario). Alla raccolta, sulla biomassa secca (previa essiccazione in stufa a 80°C fino a peso costante) sono state eseguite tutte le determinazioni previste (caratteri biometrici e resa quantitativa e qualitativa della coltura, componenti della produzione; correlazione tra C_b e caratteri biometrici e produttivi).

Oltre alla raccolta finale, si ricorda che, durante le prime fasi di sviluppo, sono stati effettuati anche due prelievi a stadi di sviluppo precoci della coltura (come sopra esposto), solo nelle parcelle non infestate, per valutare i ritmi di accrescimento nelle prime fasi di sviluppo dei diversi genotipi in assenza di competizione con le infestati.

Sulle infestanti sono state registrate le principali fasi fenologiche: emergenza, incipiente fioritura, piena fioritura e maturità di morte. Alla raccolta della coltura, sono state rilevate il numero di piante presenti nell'area di saggio, totali e divise per specie. Successivamente, sulla biomassa secca (previa essiccazione in stufa a 80°C fino a peso costante) sono state eseguite tutte le determinazioni previste: biomassa infestante totale e per specie, calcolo degli indici di abilità competitiva della coltura nei confronti delle infestanti (indici di competizione).

Risultati

Andamento termopluviometrico

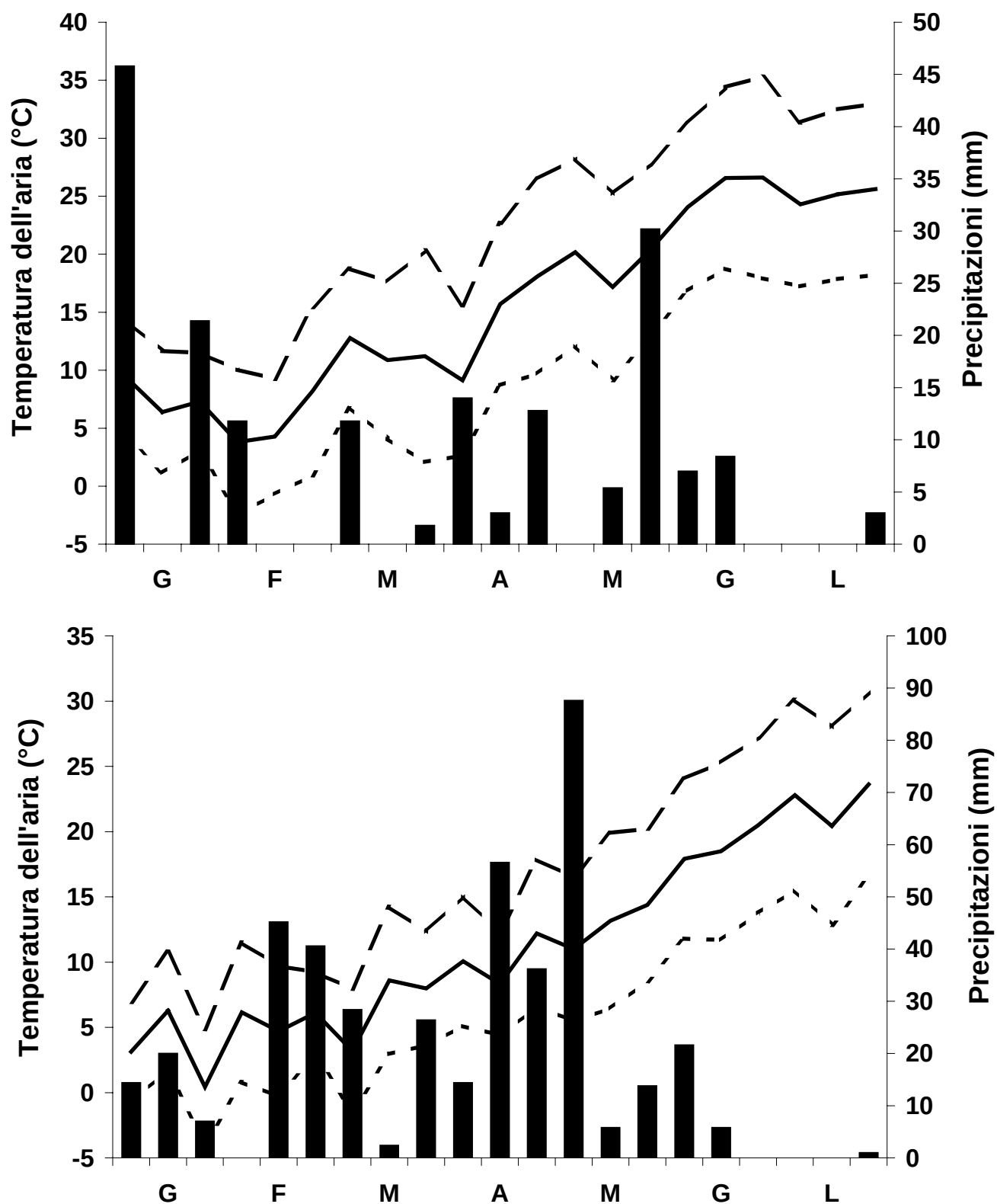
In figura 7 sono riportati i grafici dell'andamento termopluviometrico registrato nel corso dei due anni di prova presso la stazione meteorologica sita all'interno dell'Azienda Didattico-Sperimentale dell'Università della Tuscia a Viterbo.

Per quanto riguarda l'andamento delle precipitazioni, le due annate sono state caratterizzate da andamenti molto diversi tra loro. Nel 2003 si è registrata una piovosità molto scarsa, se si considera che nel periodo in cui la coltura era presente in campo sono caduti solo 88 mm di pioggia contro una media di 362 mm, ottenuta da una serie storica di dati raccolti in 20 anni (dal 1985 al 2004) presso la stazione meteorologica del Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università della Tuscia a Viterbo. Al contrario, nel 2004 la piovosità registrata durante il periodo di svolgimento della prova è stata di circa 390 mm, dato abbastanza in linea con la serie storica in precedenza menzionata.

Nell'anno 2003 le temperature medie dell'aria sono state nettamente superiori a quelle registrate nel 2004, sia nel caso della temperatura media minima decadica, con valori comunque sempre al di sopra dello zero (in media + 2,9 contro - 1,1 ° C nel mese di gennaio), sia nel caso della temperatura media massima decadica (in media 32,3 contro 29,5 ° C nel mese di luglio). Le temperature medie misurate durante l'intero ciclo di coltivazione hanno avuto andamenti simili a quanto già visto in precedenza, con in media 15,6 ° C nel 2003 contro 11,4 ° C nel 2004.

Nel 2003 la temperatura minima registrata in fase di coltivazione è stata di - 2,5 ° C contro - 4,2 ° C del 2004. Nei mesi di giugno e luglio le temperature hanno fatto registrare i valori massimi con 35,3 ° C nel 2003 (che si conferma anno caratterizzato da un andamento meteorologico particolarmente caldo e asciutto) e 30,9 ° C nel 2004.

Figura 7. Andamento termopluviometrico registrato a Viterbo nel corso dei due anni di prova (2003, in alto, 2004, in basso) presso la stazione meteorologica dell'Azienda Didattico-Sperimentale dell'Università della Tuscia.



Analisi statistica

I dati raccolti con misurazioni e i dati calcolati ottenuti ogni anno sulla coltura e sulle infestanti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA).

Il fattore “anno” è risultato quello gerarchicamente più importante, seguito dal fattore “genotipo” e dal fattore “livello di infestazione naturale” (coltura infestata/coltura pura).

Tutti i pool di dati le cui varianze sono risultate non omogenee al test di Bartlett sono stati trasformati in modo da ottenere varianze omogenee e quindi rielaborati. In particolare, per i dati espressi come percentuale, se questi erano compresi nell'intervallo 0-30 % o 70-100 % sono stati trasformati in radice quadrata; negli altri casi i dati percentuali compresi in intervalli diversi sono stati sottoposti a trasformazione angolare (arcsen) secondo Gomez & Gomez, 1984.

Dove necessario, anche i dati relativi a biomassa di coltura e infestanti sono stati sottoposti a trasformazione logaritmica prima dell'analisi della varianza. Tutte le trasformazioni statistiche operate sui dati sono riportate caso per caso nelle tabelle dell'analisi della varianza.

La significatività delle differenze tra le medie è stata saggiata in base al test di Duncan.

Caratteri produttivi e biometrici del cece in presenza ed in assenza di competizione con le infestanti

In tabella 6 sono riportati i risultati dell'analisi della varianza per i caratteri produttivi e biometrici del cece in presenza ed in assenza di competizione con le infestanti e le trasformazioni statistiche usate nei casi in cui si è riscontrata disomogeneità della varianza al test di Bartlett (Gomez & Gomez, 1984).

Tabella 6. Risultati dell'analisi della varianza sui caratteri produttivi e biometrici del cece in presenza ed in assenza di competizione con le infestanti. *, ** : Significatività per $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$

Causa di variazione	g.l.	Produzione granella (t ha ⁻¹ , s.s.)	Biomassa totale epigea (t ha ⁻¹ , s.s.)	Produzione di strame (t ha ⁻¹ , s.s.)	Intervallo semina – emergenza (giorni)	Densità piante a raccolta (n m ⁻²)
Trasformaz. statistica usata	---	ln(x)	ln(x)	ln(x)	---	---
Blocco	2					
Anno (A)	1	**	*	*	ns	*
Errore a	2					
Genotipo (G)	17	**	**	**	ns	ns
A x G	17	ns	ns	ns	ns	ns
Errore b	68					
Livello di infestazione (L)	1	**	**	**	ns	*
A x L	1	ns	**	**	ns	ns
G x L	17	**	**	**	ns	ns
A x G x L	17	ns	ns	ns	ns	ns
Errore c	72					

La produzione di granella è stata significativamente influenzata dall'anno, dal genotipo, dal livello di infestazione e dall'interazione *genotipo x livello di infestazione* ($P < 0,01$). La produzione di granella è stata superiore nel 2004 rispetto al 2003 (in media, 0,98 contro 1,90 t ha⁻¹ s.s.; dati non presentati in tabella). Come del resto ampiamente atteso, in coltura pura la resa in granella è stata superiore (in media, 1,93 contro 0,94 t ha⁻¹ s.s.; dati non presentati in tabella).

Il dato più interessante riguarda l'effetto dell'interazione *G x L* sulla resa in granella: in tabella 7 si vede come in coltura infestata C 134 e C 11132 R abbiano dato in media una resa superiore agli altri genotipi, pari a 1,28 contro 0,86 t ha⁻¹. La

riduzione di produzione di granella nel cece infestato è stata significativamente minore in C134 e C11132 R con valori di riduzione percentuale in media del 30,8 contro il 55,7 % dei rimanenti genotipi.

Tabella 7. Effetto del genotipo e del livello di infestazione sulla produzione di granella del cece e sulla riduzione di produzione di granella nell'infestato. Valori senza lettere in comune sono significativamente diversi per $P \leq 0,05$ (* test di Duncan su dati sottoposti a trasformazione logaritmica / ⁺ trasformazione angolare).

Genotipo o cultivar	Produzione granella (t ha ⁻¹ ; s.s.)		⁽⁺⁾ riduzione di produzione nell'infestato (%)
	^(*) cece puro	^(*) cece infestato	
C116	1,81 b	0,78 e	56,9 b
C117	1,68 c	0,71 e	57,7 b
C120	1,96 b	1,00 d-e	49,0 b
C121	2,33 a	0,90 e	61,4 b
C133	1,92 b	0,71 e	63,0 b
C134	1,80 b	1,27 d	29,4 a
C1017 R	1,96 b	0,78 e	60,2 b
C1022 L	1,93 b	0,94 e	51,3 b
C11112 L	1,86 b	0,86 e	53,8 b
C11112 R	2,16 a	0,90 e	58,3 b
C11123 R	1,90 b	1,04 d-e	45,3 b
C11132 R	1,90 b	1,29 d	32,1 a
C6150 L	2,10 a	0,89 e	57,6 b
C6150 R	2,12 a	0,82 e	61,3 b
EC1	1,86 b	0,83 e	55,4 b
EC3	1,80 b	0,76 e	57,8 b
cv. Sultano	1,95 b	0,91 e	53,3 b
cv. Visir	1,71 c	0,87 e	49,1 b

Sia la biomassa totale epigea della coltura che la produzione di stame sono state significativamente influenzate dall'anno, dal genotipo, dal livello di infestazione, e dalle interazioni *anno x livello di infestazione* e *genotipo x livello di infestazione* (tabella 6).

L'intervallo tra semina ed emergenza dei singoli genotipi non è stato significativamente influenzato da nessun fattore.

La densità di piante, misurata alla raccolta, è stata influenzata significativamente solo dall'anno e dal livello di infestazione (dati non presentati).

In tabella 8 sono riportati i risultati dell'analisi della varianza per i caratteri biometrici e produttivi del cece in assenza di competizione con le infestanti e le trasformazioni statistiche usate nei casi in cui si è riscontrata disomogeneità della varianza al test di Bartlett (Gomez & Gomez, 1984).

Tabella 8. Risultati dell'analisi della varianza sui caratteri biometrici del cece in assenza di competizione con le infestanti. *, ** : Significatività per $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$

Causa di variazione	g.l.	Peso di un seme (g; s.s.)	Altezza piante a raccolta (cm)	Altezza di inserzione del primo baccello fertile (cm)	Angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie sulla verticale (°)
Trasformazione statistica usata	---	ln(x)	---	---	arcsin
Blocco	2				
Anno (A)	1	ns	**	**	ns
Errore a	2				
Genotipo (G)	17	**	**	**	**
A x G	17	*	ns	ns	ns
Errore b	68				

In coltura pura, il peso di un seme è stato significativamente influenzato dal genotipo ($P < 0,01$) (vedi tabella 8) e dall'interazione *anno x genotipo* ($P < 0,05$).

L'altezza delle piante in coltura pura, misurata alla raccolta, è stata influenzata sia dall'anno che dal genotipo ($P < 0,01$) e non si è avuta interazione *anno x genotipo*. I genotipi caratterizzati da altezze maggiori sono stati in ordine cv. Sultano (62,8 cm in media), C1017 R (62,5 cm in media), cv. Visir (62,2 cm), C134 (61,5 cm) e C11132 con altezza media pari a 60,0 cm, contro una media dei restanti genotipi pari a 52,4 cm (tabella 9).

Anche l'altezza di inserzione del primo baccello fertile, misurata in coltura pura alla raccolta, è stata influenzata sia dall'anno che dal genotipo ($P < 0,01$), e non si è avuta interazione *anno x genotipo*. I genotipi con l'inserzione del primo baccello fertile più alta da terra sono stati C11132 R (37,3 cm), C134 (36,6 cm) e C11123 R (34,7 cm) con una media di 36,2 contro 25,9 cm dei restanti genotipi. C120, genotipo di interesse perché inserito anche in successive prove (le n° 2, 3 e 4 del presente ciclo di esperimenti), ha dato valori in media pari a 28,3 cm (tabella 9).

L'angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie sulla verticale, valore utile ad identificare il portamento più o meno eretto della pianta, misurato in coltura pura, è stato influenzato solo dal genotipo ($P < 0,01$). Non vi è stata influenza dell'anno, né interazione *anno x genotipo*. Come per il carattere precedente, anche in questo caso C134, C11132 R e C11123 (in media 15,6 contro 26,0 gradi dei rimanenti genotipi, tabella 9), hanno fatto registrare i valori più bassi, segno evidente di un portamento più eretto, e quindi di un *habitus* di crescita molto adatto alla raccolta meccanica della coltura.

Tabella 9. Effetto del genotipo sul peso di un seme, sull'altezza delle piante alla raccolta, sull'altezza di inserzione del primo baccello fertile e sull'angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie sulla verticale del cece in assenza di competizione con le infestanti. Valori senza lettere in comune sono significativamente diversi per $P \leq 0,05$ (test di Duncan; ⁽⁺⁾ test di Duncan su dati sottoposti a trasformazione angolare).

Genotipo	Peso di un seme (g; s.s.)	Altezza piante a raccolta (cm)	Altezza di inserzione del primo baccello fertile (cm)	⁽⁺⁾ Angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie sulla verticale (°)
C116	0,37 b	49,2 c	24,0 cd	27,8 d
C117	0,36 b	56,0 b	26,1 c	19,8 b
C120	0,32 c	50,5 c	28,3 b	22,6 c
C121	0,32 c	49,7 c	25,3 c	29,9 d
C133	0,38 b	56,2 b	26,2 c	26,0 cd
C134	0,44 a	61,5 a	36,6 a	14,9 a
C1017 R	0,34 c	62,5 a	24,8 c	27,2 d
C1022 L	0,31 c	47,5 c	21,3 d	25,0 c
C11112 L	0,34 c	46,8 d	26,0 c	26,5 d
C11112 R	0,37 b	52,7 c	27,2 c	24,2 c
C11123 R	0,38 b	55,7 b	34,7 a	17,0 a
C11132 R	0,44 a	60,0 a	37,3 a	15,0 a
C6150 L	0,33 c	53,5 c	28,3 b	24,8 c
C6150 R	0,32 c	53,8 c	30,5 b	23,3 c
EC1	0,36 b	59,2 ab	26,5 c	27,9 d
EC3	0,43 a	51,0 c	23,3 d	29,7 d
cv. Sultano	0,29 d	62,8 a	25,3 c	27,3 d
cv. Visir	0,42 a	62,2 a	27,2 c	26,3 d

Caratteri di crescita a stadi precoci

In tabella 10 sono riportati i risultati dell'analisi della varianza per i caratteri di crescita della coltura a stadi precoci di sviluppo, misurati in assenza di competizione con le infestanti. In questo caso, per ottenere omogeneità delle varianze (dopo esecuzione del test di Bartlett, secondo Gomez & Gomez, 1984) è stato necessario operare la trasformazione logaritmica dei dati a disposizione.

Tabella 10. Risultati dell'analisi della varianza per i caratteri di crescita della coltura a stadi precoci di sviluppo, in assenza di competizione con le infestanti.

** : Significatività per $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$

Causa di variazione	g.l.	Biomassa epigea a 30 gg da emergenza (g m ⁻² , s.s.)	Biomassa epigea a 45 gg da emergenza (g m ⁻² , s.s.)
Trasformazione statistica usata	---	ln(x)	ln(x)
Blocco	2		
Anno (A)	1	**	**
Errore a	2		
Genotipo (G)	17	**	**
A x G	17	ns	ns
Errore b	68		

La crescita a stadi precoci del cece in coltura pura è stata misurata con due prelievi di biomassa epigea effettuati ogni anno a 30 e 45 giorni dalla piena emergenza della coltura. Nel primo prelievo la biomassa è stata influenzata significativamente dall'anno e dal genotipo ($P < 0,01$), come riportato in tabella 10. Non vi è stata interazione significativa *anno x genotipo*. Nel primo prelievo C11132 R con 27,19 g m⁻² s.s. e C134 con 25,94 g m⁻² s.s., (valori comunque non significativamente diversi tra loro, e in media pari a 26,57 g m⁻² s.s.), hanno fatto registrare la biomassa più alta contro un valore medio nettamente inferiore pari a 18,25 g m⁻² s.s.

Al secondo prelievo le differenze nei ritmi di crescita a stadi precoci, e di conseguenza nell'abilità competitiva dei genotipi, sono rimaste sostanzialmente invariate rispetto al prelievo di 15 giorni antecedente. C134 e C11132 R (in media 78,95 contro 70,60 di C 11123 R, il terzo genotipo migliore in ordine di abilità competitiva, e, a seguire, contro 56,21 g m⁻² s.s. degli altri genotipi) si sono confermati i due genotipi più precoci del gruppo preso in esame.

Tabella 11. Effetto del genotipo sulla produzione di biomassa epigea in epoche precoci di sviluppo del cece in assenza di competizione con le infestanti. Valori senza lettere in comune sono significativamente diversi per $P \leq 0,05$ (test di Duncan su dati sottoposti a trasformazione logaritmica).

Genotipo	Biomassa epigea	Biomassa epigea
	a 30 gg da emergenza	a 45 gg da emergenza
	(g m⁻², s.s.)	(g m⁻²; s.s.)
C116	18,42 b	52,00 cd
C117	19,23 b	56,96 c
C120	19,14 b	51,48 d
C121	16,21 c	53,84 c
C133	20,38 ab	56,90 c
C134	25,94 a	79,00 a
C1017 R	16,88 c	59,10 c
C1022 L	16,11 c	56,06 c
C11112 L	15,66 c	48,28 d
C11112 R	20,52 ab	60,02 c
C11123 R	21,39 ab	70,60 b
C11132 R	27,19 a	78,80 a
C6150 L	19,33 b	52,62 cd
C6150 R	18,63 b	52,93 c
EC1	18,49 b	61,21 c
EC3	16,65 c	50,00 d
cv. Sultano	16,59 c	58,49 c
cv. Visir	18,29 b	58,90 c

Parametri di competizione

In tabella 12 sono riportati i risultati dell'analisi della varianza per i parametri di competizione del cece. In questo caso, non è stato necessario operare trasformazioni statistiche sui dati che si avevano a disposizione in quanto vi era omogeneità delle varianze (dopo esecuzione del test di Bartlett, secondo Gomez & Gomez, 1984).

Tabella 12. Risultati dell'analisi della varianza sugli indici di abilità competitiva.

** : Significatività per $P \leq 0,01$

Causa di variazione	g.l.	RY cece	RY infestanti	RYT	RCC cece	C _b cece
Trasformazione	---	---	---	---	---	---
statistica usata						
Blocco	2					
Anno (A)	1	ns	ns	ns	ns	ns
Errore a	2					
Genotipo (G)	17	**	**	ns	**	**
A x G	17	ns	ns	ns	ns	ns
Errore b	68					

La resa relativa del cece (RY_{cece}) è stata influenzata significativamente solo dal genotipo ($P < 0,01$). Non si è avuta interazione *anno x genotipo*, come era auspicabile per il fatto che questo indice, così come gli altri adottati nel presente studio, per essere validi, devono poter fornire per ciascun genotipo studiato indicazioni generalizzabili di anno in anno. Tra i genotipi, solo C11132 R e C134 hanno avuto una resa relativa superiore agli altri 16 genotipi studiati (0,69 contro 0,46; vedi tabella 13).

Anche la resa relativa delle infestanti ($RY_{infestanti}$) considerate nell'insieme come una comunità di specie, è stata influenzata significativamente solo dal genotipo ($P < 0,01$) e non si è avuta interazione *anno x genotipo*. In accordo con i risultati del precedente indice (RY_{cece}), le infestanti rinvenute in presenza della coltura e quindi in

consociazione ai diversi genotipi hanno avuto una resa relativa significativamente minore in C11132 R e C134 rispetto a quanto misurato nei rimanenti genotipi (0,34 contro 0,59; vedi tabella 13).

La resa relativa totale (RYT) non è stata influenzata significativamente da alcuna causa di variazione. I nostri valori di RYT (ricavabili dalla somma di $RY_{cece} + RY_{infestanti}$; vedi tabella 13) essendo molto prossimi a 1, indicano che vi è stata piena competizione tra il cece e le infestanti e quindi assenza di complementarità nell'uso delle risorse limitanti.

Si tralasciano i risultati dell'indice di abilità competitiva RCC (influenzato significativamente solo dal genotipo, $P < 0,01$, confronta tabella 12) per passare subito ad elencare quelli dell'altro indice C_b , in quanto *Competitive Balance Index* è il diretto derivato di RCC sottoposto a trasformazione logaritmica. Relativamente alla nostra coltura, $C_{b\ cece}$ è stato influenzato significativamente solo dal genotipo ($P < 0,01$). Non si è avuta differenza nei valori nei due anni, né soprattutto interazione *anno x genotipo*, come era auspicabile per il fatto che le *performance* di abilità competitiva dei diversi genotipi misurate con questo indice per essere generalizzabili deve poter essere replicabili di anno in anno. Tra i genotipi, C11132 R e C134 sono stati i più competitivi, con i valori più alti di C_b (0,71); a seguire, il genotipo C11123 R con $C_b = 0,07$ ha avuto un comportamento intermedio. Di seguito, un gruppo a minore abilità competitiva è formato da numerosi genotipi che hanno dato in media valori di $C_b = - 0,22$. Nell'ultimo gruppo sono i genotipi con la minore abilità competitiva in assoluto ($C_b = - 0,35$) (vedi tabella 13).

Tabella 13. Effetto del genotipo sulla resa relativa del cece, sulla resa relativa delle infestanti in consociazione alla coltura e sull'indice di abilità competitiva C_b . Valori senza lettere in comune sono significativamente diversi per $P \leq 0,05$ o $P \leq 0,01$ [⁽⁺⁾test di Duncan su dati sottoposti a trasformazione logaritmica; ⁽⁻⁾ test di Duncan su dati non trasformati].

Genotipo	⁽⁺⁾ RY	⁽⁺⁾ RY	⁽⁻⁾ C_b
	cece	infestanti	(cece vs infestanti)
C116	0,43 b	0,62 b	-0,38 d
C117	0,48 b	0,58 b	-0,18 c
C120	0,46 b	0,57 b	-0,21 c
C121	0,45 b	0,58 b	-0,27 cd
C133	0,45 b	0,58 b	-0,25 c
C134	0,68 a	0,35 a	0,66 a
C1017 R	0,43 b	0,62 b	-0,36 d
C1022 L	0,44 b	0,61 b	-0,21 c
C11112 L	0,43 b	0,59 b	-0,32 d
C11112 R	0,49 b	0,57 b	-0,16 c
C11123 R	0,53 b	0,50 b	0,07 b
C11132 R	0,70 a	0,33 a	0,76 a
C6150 L	0,45 b	0,57 b	-0,25 c
C6150 R	0,46 b	0,58 b	-0,23 c
EC1	0,45 b	0,58 b	-0,26 c
EC3	0,42 b	0,64 b	-0,44 d
cv. Sultano	0,44 b	0,60 b	-0,32 d
cv. Visir	0,48 b	0,59 b	-0,22 c

Caratteri delle infestanti

I risultati dell'analisi della varianza sui caratteri delle infestanti e le trasformazioni statistiche usate nei casi in cui si è riscontrata disomogeneità della varianza al test di Bartlett (Gomez & Gomez, 1984) sono riassunti nella tabella 14.

Tabella 14. Risultati dell'analisi della varianza sui caratteri delle infestanti.

*, ** : Significatività per $P \leq 0,05$ e $P \leq 0,01$

Causa di variazione	g.l.	Densità infestanti a raccolta (piante m ⁻²)	Biomassa totale infestanti (t ha ⁻¹ , s.s.)	Biomassa <i>Poligonum</i> <i>aviculare</i> (t ha ⁻¹ , s.s.)	Biomassa <i>Sinapis</i> <i>arvensis</i> (t ha ⁻¹ , s.s.)	Biomassa <i>Fallopia</i> <i>convolvulus</i> (t ha ⁻¹ , s.s.)	Biomassa altre infestanti (t ha ⁻¹ , s.s.)
Trasformazione	---	---	ln(x)	ln(x)	ln(x)	ln(x)	ln(x)
statistica usata							
Blocco	2						
Anno (A)	1	**	ns	ns	**	ns	ns
Errore a	2						
Genotipo (G)	17	**	**	*	ns	ns	ns
A x G	17	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Errore b	68						

La densità delle infestanti rinvenute alla raccolta è stata influenzata significativamente dall'anno e dal genotipo ($P < 0,01$). Non si è avuta interazione *anno x genotipo*. Nel 2003, annata caratterizzata da un andamento climatico particolarmente siccitoso durante il periodo di svolgimento della prova, si è riscontrata una minore densità di piante infestanti (39,4 piante m⁻² contro 50,7 piante m⁻² del 2004). Tra genotipi, in C134 e C11132 R la densità di infestanti alla raccolta è stata inferiore rispetto agli altri genotipi.

La biomassa epigea totale delle infestanti è stata influenzata significativamente solo dal genotipo ($P < 0,01$). Non si è avuta interazione *anno x genotipo*. Le infestanti si sono sviluppate in misura minore in C134 e C11132 R (in media 2,47 t ha⁻¹), ad un livello intermedio in C11123 R (3,16 t ha⁻¹, s.s.), in misura via via maggiore negli altri due casi di raggruppamenti di genotipi con valori statisticamente non diversi tra loro con 3,73 e 4,07 t ha⁻¹ s.s. rispettivamente (tabella 15).

Nei due anni, le tre specie infestanti più rappresentative sia numericamente che in termini di biomassa sono state nell'ordine *Poligonum aviculare*, *Sinapis arvensis* e

Fallopia convolvulus, con biomasse relative espresse in termini percentuali sul totale dell'infestazione di 53,1 22,5 e 9,8 % rispettivamente.

La biomassa epigea di *Poligonum aviculare* è stata influenzata significativamente solo dal genotipo ($P < 0,05$). Non si è avuta interazione *anno x genotipo*. In coltura infestata, su C134 e C11132 R si è raccolta una minore biomassa di *Poligonum* (2,00 t ha⁻¹, s.s.) rispetto a quanto misurato in C116, C117, C11123 R, C6150 L, EC3, Sultano e Visir (2,44 t ha⁻¹, s.s.). L'infestante principale in questo esperimento si è sviluppata in misura ancora maggiore nel terzo gruppo di genotipi, formato da C120, C121, C133, C1017 R e C11112 L con 2,75 t ha⁻¹ di biomassa secca in media, e nel quarto gruppo, composto da C1022 L, C11112 R, C6150 R e EC1 con 3,17 t ha⁻¹ s.s. (vedi tabella 15).

La biomassa epigea di *Sinapis arvensis* in coltura infestata è stata influenzata significativamente solo dall'anno ($P < 0,01$). Non si è avuta interazione *anno x genotipo*. Nel 2003 era rappresentata in media da 0,59 t ha⁻¹ s.s., contro un valore medio di 0,96 t ha⁻¹ s.s. nel 2004 (dati non presentati in tabella).

La biomassa epigea delle infestanti misurata nello *stand* puro infestato non è stata influenzata in maniera significativa dall'anno ed ha avuto un valore medio pari a 3,29 t ha⁻¹ di sostanza secca (dati non presentati in tabella).

Tabella 15. Effetto del genotipo sulla biomassa totale epigea del cece infestato, sulla biomassa totale epigea delle infestanti e sulla biomassa totale epigea della principale specie infestante *Poligonum aviculare*. Valori senza lettere in comune sono significativamente diversi per $P \leq 0,05$ o $P \leq 0,01$ (test di Duncan su dati sottoposti a trasformazione logaritmica).

Genotipo	Biomassa totale epigea del cece infestato (t ha⁻¹, s.s.)	Biomassa totale epigea delle infestanti (t ha⁻¹, s.s.)	Biomassa totale epigea <i>Poligonum aviculare</i> (t ha⁻¹, s.s.)
C116	2,25 c	3,56 c	2,37 b
C117	2,28 c	3,75 c	2,54 b
C120	2,29 c	3,84 c	2,85 c
C121	2,74 b	3,72 c	2,83 c
C133	2,33 c	3,53 c	2,77 c
C134	3,71 a	2,52 a	2,01 a
C1017 R	2,45 bc	3,78 c	2,65 c
C1022 L	2,47 bc	4,23 d	3,21 d
C11112 L	2,33 c	3,55 c	2,67 c
C11112 R	2,70 b	4,11 d	3,20 d
C11123 R	2,82 b	3,16 b	2,39 b
C11132 R	3,55 a	2,41 a	2,00 a
C6150 L	2,83 b	3,77 c	2,51 b
C6150 R	2,59 b	4,09 d	3,00 d
EC1	2,32 c	3,92 cd	3,25 d
EC3	2,06 d	4,10 d	2,45 b
cv. Sultano	2,48 bc	3,94 cd	2,56 b
cv. Visir	2,80 b	3,68 c	2,27 b

Correlazioni tra caratteri del cece ed abilità competitiva nei confronti delle infestanti

Sono state elaborate le correlazioni tra l'indice di abilità competitiva C_b e alcuni tra i principali caratteri biometrici e produttivi del cece in coltura pura determinati a fasi intermedie e/o alla raccolta finale, di caratteri del cece e delle infestanti in coltura infestata determinati alla raccolta finale, e tra C_b e ciascuno degli altri indici studiati nel presente lavoro. I risultati di tutte le correlazioni effettuate sono elencati nella seguente tabella 16 e illustrati graficamente nelle figure 7, 8, 9 e 10.

Tabella 16. Riepilogo delle correlazioni calcolate tra C_b e alcuni dei principali caratteri biometrici e produttivi del cece in coltura pura determinati a fasi intermedie e/o alla raccolta finale, del cece e delle infestanti in coltura infestata determinati alla raccolta finale, e tra C_b e ciascuno degli altri indici studiati nel presente lavoro.

Carattere	R^2	Significatività
Peso del seme (g, s.s.)	0,33	ns
Produzione di granella cece in coltura pura ($t\ ha^{-1}$, s.s.)	0,02	ns
Altezza piante alla raccolta (cm)	0,15	ns
Altezza di inserzione del primo baccello fertile (cm)	0,77	**
Angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie sulla verticale (°)	0,76	**
Biomassa epigea a 45 gg da emergenza ($g\ m^{-2}$, s.s.)	0,83	**
Biomassa epigea a 30 gg da emergenza ($g\ m^{-2}$, s.s.)	0,85	**
Produzione di granella cece infestato ($t\ ha^{-1}$, s.s.)	0,80	**
Biomassa epigea totale cece infestato ($t\ ha^{-1}$, s.s.)	0,81	**
Biomassa totale infestanti ($t\ ha^{-1}$, s.s.)	0,77	**
RY infestanti	0,98	**
RY cece	0,99	**

Figura 7. Correlazioni non significative tra l'indice di abilità competitiva C_b e il peso del seme (in alto), tra C_b e la produzione di granella del cece in coltura pura (al centro) e tra C_b e altezza delle piante alla raccolta (in basso).

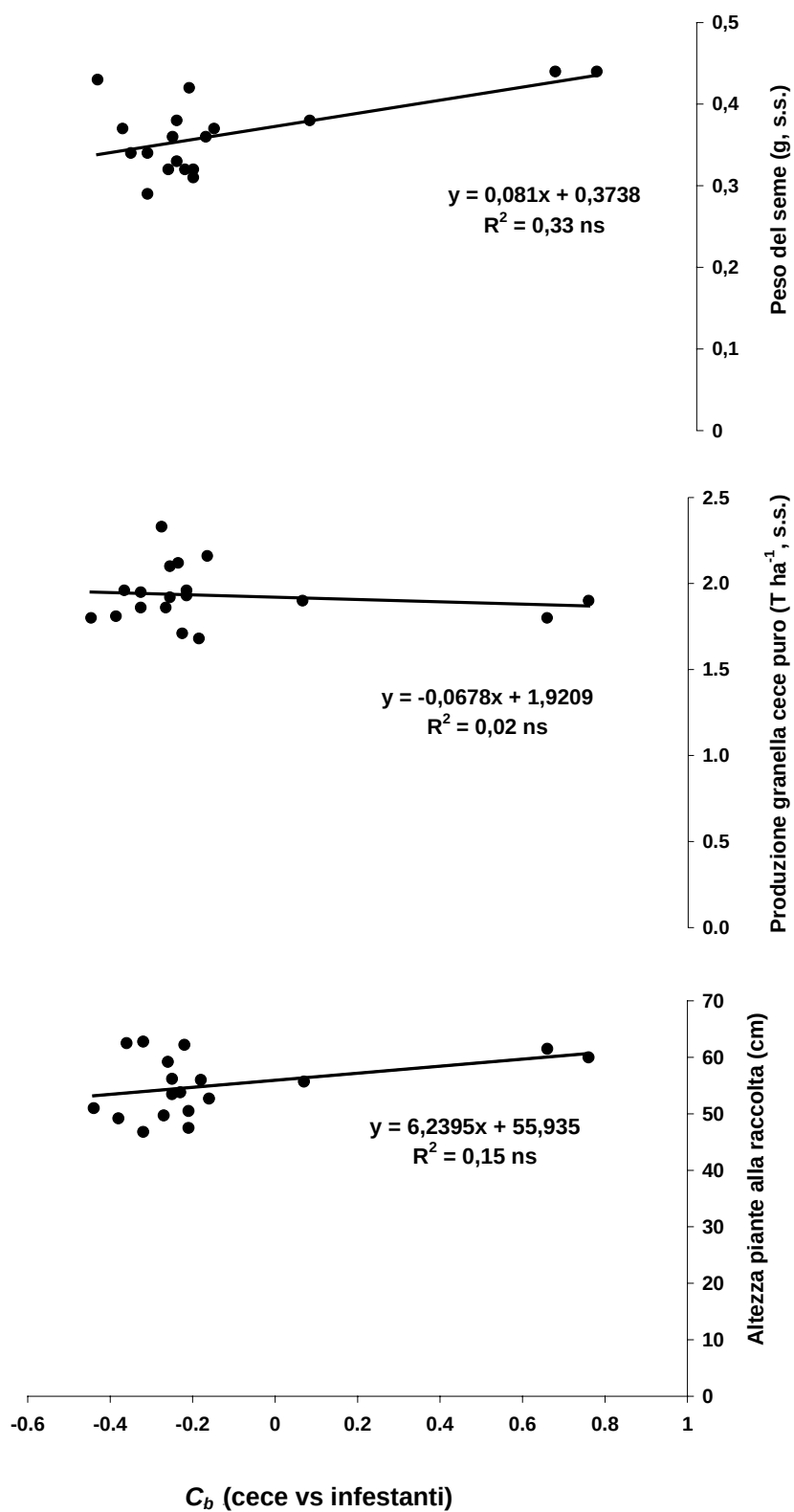


Figura 8.
Dall'alto verso il basso, correlazioni significative in coltura pura tra C_b e altezza da terra del 1° baccello fertile, tra C_b e angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie sulla verticale, e tra C_b e biomassa della coltura a 45 e 30 giorni, rispettivamente, dall'emergenza.

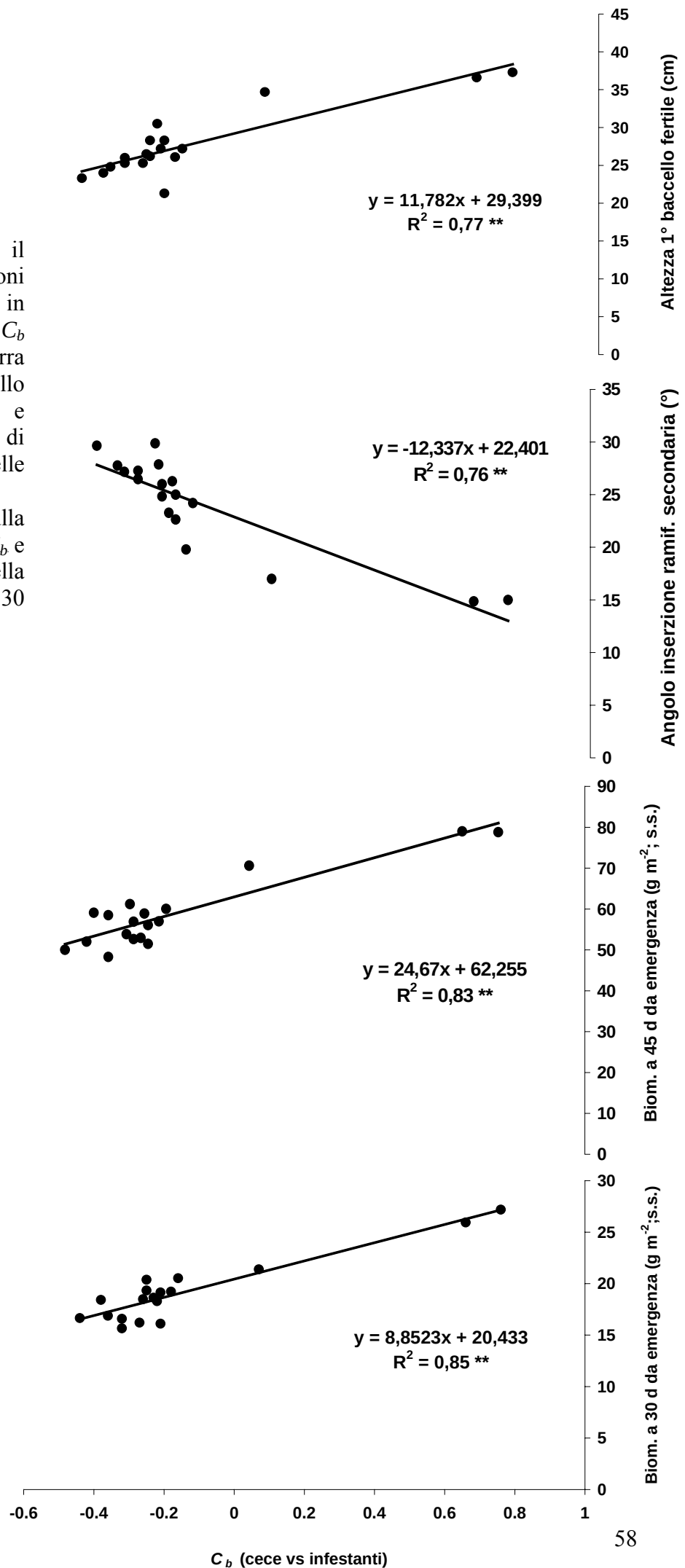


Figura 9.

Dall'alto verso il basso, correlazioni significative tra C_b e produzione di granella del cece infestato, tra C_b e biomassa totale del cece infestato, e tra C_b e biomassa totale delle infestanti rinvenute in coltura infestata.

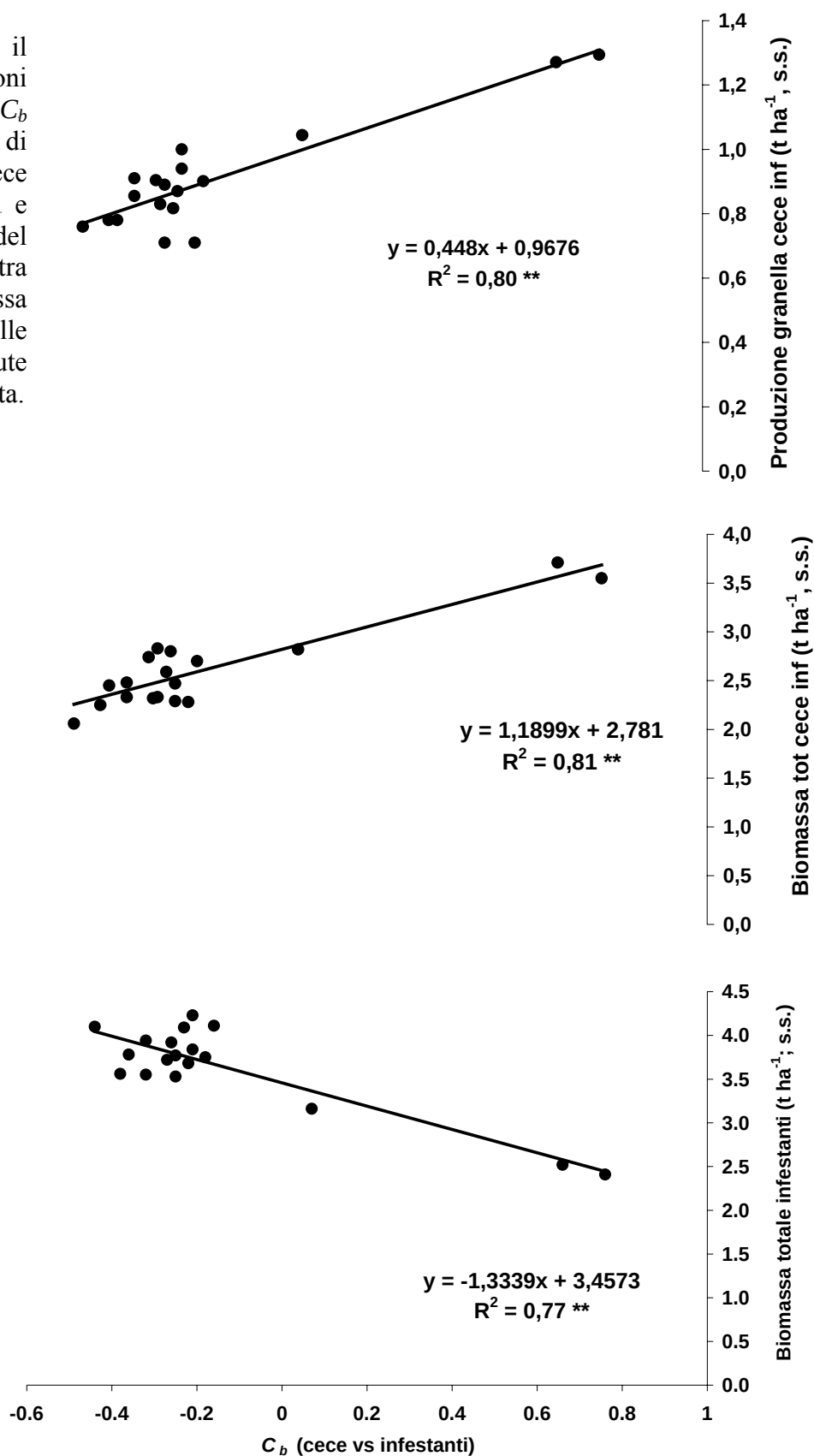
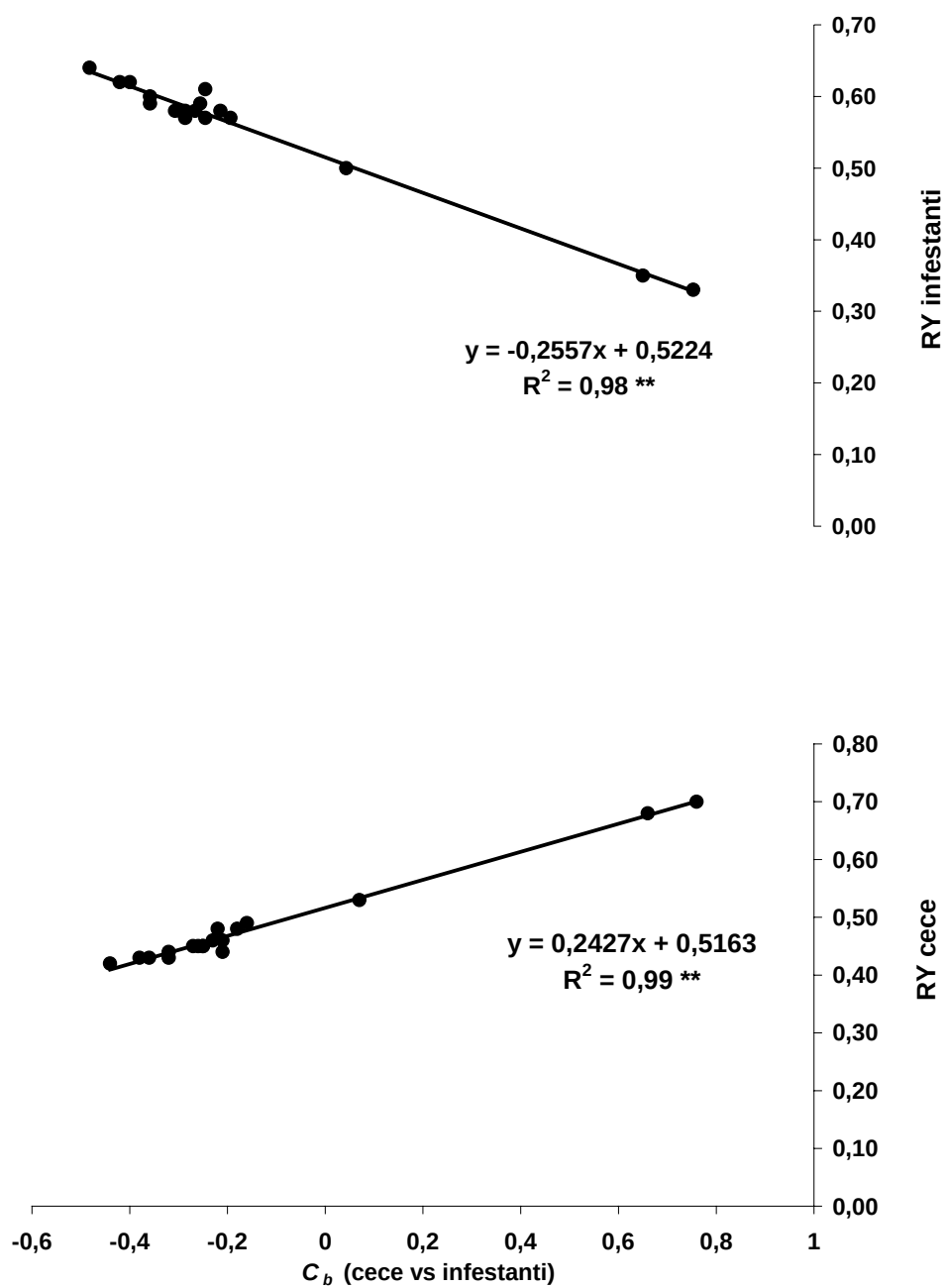


Figura 10. Dall'alto verso il basso, rispettivamente, correlazioni significative tra gli indici C_b e $RY_{\text{infestanti}}$, e tra C_b e RY_{cece} .



Discussione

Come era auspicabile, visti i risultati di precedenti esperienze su diverse altre colture, nonché quanto emerso da una precedente prova svolta proprio su cece (Paolini *et al.*, 2006), i risultati ottenuti mostrano che esiste in cece una notevole variabilità nell'abilità competitiva nei confronti delle infestanti tra i diversi genotipi e le cultivar studiate.

In particolare, due genotipi su tutti, C134 e C11132 R si segnalano per essere le più competitive verso le infestanti con valori di C_b pari a 0,66 e 0,76, rispettivamente.

In posizione intermedia, con valore di C_b comunque ancora positivo e uguale a 0,07 si trova C11123 R, genotipo per certi versi interessante (*habitus* eretto, buoni valori di altezza da terra del primo baccello fertile con 34,7 cm e di angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie sulla verticale con 17,0 gradi) ma che comunque non avvicina le ottime *performances* produttive fornite da C134 e C11132 R.

In questa prova, i ritmi di accrescimento elevati a stadi precoci di sviluppo si sono confermati uno delle caratteristiche più importanti che rendono una coltura, o meglio un genotipo nel nostro caso, più competitiva nei confronti delle infestanti.

In cece sono emersi anche altri caratteri fortemente correlati con l'abilità competitiva, come l'altezza da terra del primo baccello fertile, presumibilmente in dipendenza del fatto che i baccelli posti più in alto intercettano meglio la radiazione solare, sono in una posizione migliore per garantire l'ottima maturazione, l'arieggiamento e sfuggono alle condizioni sub-ottimali che in una coltura "stressata" predispongono al successivo attacco dei parassiti e delle malattie fungine.

Anche l'angolo di inserzione delle ramificazioni secondarie rispetto alla verticale si è rivelato un parametro ottimamente correlato con l'abilità competitiva dei diversi genotipi. Si è visto chiaramente come ad angoli di inserzione più stretti, che corrispondono a portamenti maggiormente eretti delle branche secondarie, corrispondano i livelli di abilità competitiva migliori. Questo si spiega presumibilmente con il fatto che gli individui più eretti intercettano meglio la luce e quindi sottraggono più efficacemente alle infestanti che occupano lo strato sottostante di vegetazione una quota maggiore della comune risorsa limitante.

La produzione di granella e di biomassa epigea totale nel cece infestato è stata superiore nei genotipi più competitivi C134 e C11132 R. Questo avviene perché a stadi precoci di sviluppo il genotipo più competitivo, anche in condizioni di competizione con le infestanti, anch'esse peraltro in fase precoce, nell'unità di tempo riesce a sfruttare meglio le risorse limitanti e disponendo di una quota maggiore di queste, acquisisce un differenziale di vantaggio competitivo che poi riesce a mantenere anche in fasi più avanzate di sviluppo, a tutto discapito delle infestanti che sviluppano ugualmente, ma con ritmi e aggressività limitate, compromettendo anche la capacità di queste di produrre e disperdere i semi nel terreno, e limitando, quindi, le possibilità di infestazione potenziale nelle colture successive.

Era, poi, quasi ovvio attendersi che la biomassa totale delle infestanti che sviluppano in coltura fosse decrescente al crescere dell'abilità competitiva della coltura. Questi dati ci confermano quanto atteso e ci forniscono un'indicazione quantitativa di quanto decresce la biomassa infestante assoluta da un genotipo poco competitivo ad uno molto competitivo. In casi simili a quello della nostra prova (condizioni di infestazione media o medio-elevata in coltura non irrigua nell'Italia centrale) ci potremmo nuovamente attendere differenze nell'ordine del 60 % in più o in meno tra gli estremi di abilità competitiva dei genotipi (nella nostra esperienza 2,47 contro 4,07 t ha⁻¹ s.s.).

La biomassa relativa (RB) della coltura e delle infestanti sono direttamente correlate a C_b . Nella nostra esperienza non c'è stata una rilevante complementarità d'uso delle risorse comuni tra la coltura e le infestanti. Questo è un aspetto sempre positivo e desiderabile perché in questo modo le infestanti hanno minori possibilità di occupare nicchie edafiche particolari e quindi hanno meno risorse da destinare alla produzione di semi, che se dispersi nel terreno, vanno ad incrementare la banca semi o "seed bank" a svantaggio diretto delle colture in successione e dell'agroecosistema produttivo.

Nella nostra sperimentazione, non sono parsi caratteri correlati all'abilità competitiva il peso del seme, l'altezza delle piante alla raccolta e la produzione di granella in coltura pura. Verosimilmente, l'altezza e il potenziale produttivo che un dato genotipo può esprimere pienamente e completamente in coltura pura non sono automaticamente gli stessi che il medesimo genotipo riesce ad esprimere se posto in diretta competizione con le infestanti. Questo spiega la differente risposta che danno

genotipi a differente abilità competitiva quando sono in diretta competizione con le infestanti e riporta all'attenzione del ricercatore, del tecnico di campo e dell'agricoltore la necessità di fare uso di questa importante risorsa ogni volta sia possibile, specialmente nelle condizioni spesso sub-ottimali che sono insite nei sistemi colturali a ridotto o nullo uso di erbicidi.

Conclusioni

I risultati ottenuti nella presente sperimentazione confermano quanto emerso in studi precedenti e lasciano intravedere le seguenti conclusioni:

- entro genotipi di cece esiste una notevole ed in parte ancora notevolmente inesplorata variabilità per quanto concerne l'abilità competitiva nei confronti delle infestanti. Tale variabilità intergenotipica si propone come un valido "mezzo culturale", ovvero come una scelta potenzialmente "a costo zero" per l'agricoltore nei sistemi a bassi o nulli *inputs* di agrochimici;
- i genotipi maggiormente competitivi sembrano essere caratterizzati da maggiori ritmi di crescita nelle prime fasi di sviluppo, che permettono ad essi di competere meglio con le infestanti per le comuni risorse limitanti (luce, acqua ed elementi nutritivi);
- i genotipi maggiormente competitivi sembrano essere quelli contraddistinti da un *habitus* di crescita eretto, ovvero con angoli di inserzione rispetto alla verticale delle ramificazioni secondarie stretti, da altezze di inserzione della fruttificazione (baccello) maggiori, e da una più elevata produzione di biomassa epigea quindi capaci di intercettare e sfruttare meglio a proprio favore la radiazione solare e di ombreggiare maggiormente il terreno sottostante a discapito delle infestanti;
- l'indice di abilità competitiva C_b si conferma un valido indicatore, con il noto limite di essere distruttivo nel metodo e laborioso da ottenere poiché esso non è ottenibile "in tempo reale" sulla coltura in atto ma richiede per l'elaborazione l'attesa del periodo post-raccolta, nonché la contemporanea coltivazione di appositi *stand puri di infestanti* nelle medesime condizioni di campo della coltura studiata.

Capitolo 6

Prova n. 2

Studio del grado di resistenza alle basse temperature mediante la tecnica del *Freezing Test - Ion Leakage Procedure* in linee stabili di cece (*Cicer arietinum* L.) a semina invernale

Scopo della prova

In buona parte dell'Italia centrale collinare e interna le temperature medie invernali permetterebbero generalmente la coltivazione di alcune leguminose da granella come lenticchia e cece, seminate in autunno. Tuttavia, sussiste in queste zone il rischio di gelate tardive o di inverni eccezionalmente freddi che possono ricorrere con una certa cadenza periodica, e nel timore di questi eventi meteorologici avversi è diffuso e invalso posticipare la semina di queste specie a fine inverno (grosso modo dalla fine di febbraio alla metà di marzo).

D'altra parte, disporre di genotipi di cece resistenti al freddo (Tucci *et al.*, 1997) che consentissero un anticipo delle semine permetterebbe di allungare il ciclo colturale, intercettando a favore della specie coltivata le precipitazioni del periodo invernale a beneficio soprattutto delle rese unitarie (Malhotra e Saxena, 1993; O'Toole *et al.*, 2001).



Figura 11. Viterbo, gennaio 2005: cece (C134) sopravvissuto dopo una nevicata.

Nella seconda prova presentata in questa tesi si riportano i principali risultati di un particolare e più approfondito studio, incentrato su 12 genotipi di cece scelti tra quelli a disposizione nel materiale per le altre prove previste nel presente Dottorato di Ricerca, che è stato realizzato mediante una prova sperimentale di laboratorio svolta presso il Dipartimento di Scienze del Suolo, della Pianta e dell'Ambiente – Sezione di Genetica Vegetale e Ortofloricoltura – dell'Università degli Studi di Napoli Federico II a Portici (NA) nel mese di ottobre 2004.

Lo scopo del presente studio è stato valutare la resistenza alle basse temperature nelle prime fasi di sviluppo (post-germinazione, stadi giovanili) di linee stabili di cece (*Cicer arietinum* L.) a semina invernale mediante la tecnica del *Freezing Test – Ion Leakage Procedure*.

Disegno sperimentale

In uno schema fattoriale a randomizzazione casuale con tre ripetizioni sono stati saggiati per la resistenza a livelli crescenti di esposizione al freddo 12 diversi genotipi di cece (10 linee stabili C 116, C 117, C 120, C 121, C 133, C 134, C 11123, C 11132, C 6150 ed EC 3, ottenute da precedenti programmi di ibridazione su materiale autoctono e/o su linee già esistenti; in aggiunta alle 2 *cultivar* italiane Sultano e Visir) sottoposti in laboratorio a 8 diverse temperature sub-ottimali (0, -2, -3, -4, -5, -6, -8 e -10 °C).

Materiali e metodi

Per valutare le temperature letali (LT_{50}) per ciascuno dei 12 genotipi di cece è stata usata la tecnica della cessione di elettroliti dalla foglia ("*ion leakage procedure*"). È questo un metodo universalmente riconosciuto come valido e preciso indicatore della tolleranza all'esposizione di piante al freddo (Carputo *et al.*, 2000; Carputo *et al.*, 2003; Iovene *et al.*, 2004).

Da più piante di ciascun genotipo di cece, che si trovavano ad uno stadio giovanile di sviluppo, sono state prelevate foglie intere e messe in tubi di coltura in vetro, posti in un bagno refrigerante di glicole etilenico (figura 12) alla temperatura

iniziale di 0 °C. La temperatura è stata progressivamente fatta scendere al ritmo di 0,5 °C ogni 30 minuti. Il trattamento “testimone” è consistito in 3 repliche per ciascun genotipo mantenute in ghiaccio alla temperatura costante di 0 °C. Ogni 30 minuti, alle temperature previste nell’esperimento, i tubi sono stati prelevati dal bagno refrigerante e immersi in ghiaccio, per disgelare poi nel corso della notte. Il giorno seguente, le foglie disgelate sono state tagliate in parti minuscole, immerse, con la tecnica del sottovuoto, in 25 ml di acqua distillata e deionizzata e poste in agitazione per 60 minuti a temperatura ambiente.

Figura 12. Un momento dell’esperimento del *Freezing Test*.



Il danno dovuto al freddo su ciascun genotipo è stato determinato misurando la perdita di elettroliti dal tessuto vegetale disgelato mediante un misuratore di conduttività elettrica. Per ciascun genotipo è stata calcolata una curva di risposta all’esposizione a livelli crescenti di freddo, avvalendosi dei dati relativi alla percentuale di perdita di elettroliti in soluzione (media + - deviazione standard da 3 misure diverse, ovvero le 3 repliche dello stesso trattamento) rispetto alle diverse temperature adottate nell’esperimento. La massima conducibilità elettrica possibile per ogni genotipo,

rappresentata dal totale degli ioni ceduti in soluzione per ciascun genotipo a ciascuna temperatura, è stata misurata in seguito a trattamento distruttivo del materiale vegetale in autoclave a 180 °C per 120 minuti. Il minimo valore di cessione di elettroliti in soluzione corrisponde sempre al valore di conducibilità elettrica misurato nei testimoni mantenuti costantemente a 0 °C. La tolleranza all'esposizione a livelli di freddo di intensità crescente è stata determinata per ciascun genotipo calcolando la temperatura alla quale è stato ceduto in soluzione il 50% del contenuto di ioni del materiale vegetale di partenza (LT_{50}), temperatura alla quale si ritiene che ci sia danno permanente da freddo per la pianta, in accordo con il modello descritto da Janacek e Prasil nel 1991.

Risultati e discussione

Per l'esperimento del *Freezing Test* (metodo: “*ion leakage procedure*”), si riportano in tabella 17 le temperature letali (LT_{50}) rilevate per ciascuno dei 12 genotipi di cece testati. I genotipi sono elencati in ordine crescente di tolleranza al freddo. Si può notare come tra la linea più suscettibile al freddo (C 117 con temperatura letale pari a – 3,0 °C) e quelle più tolleranti le basse temperature (C 134, EC 3 e C116 con temperatura letale pari in media a – 5,1 °C) ci siano ben 2,1 °C in termini assoluti di differenza a favore delle tre linee più resistenti.

Una di queste tre linee, la C134 (dotata, peraltro, anche di elevata abilità competitiva nei confronti delle infestanti) è stata pertanto inserita nella sperimentazione successiva, relativa alla prova n° 4 che sarà descritta più avanti. In virtù dei risultati ottenuti dal Test del Freddo, insieme a C134 sono stati scelti anche C120 ($LT_{50} = - 3,5$ °C), genotipo, quindi, appartenente al gruppo delle relativamente poco resistenti al freddo ed inoltre dotato di un indice di abilità competitiva C_b molto basso (cfr. Esperimento n. 1), C11123 R e C11132 R, genotipi di medio-alta resistenza al freddo (tabella 17) e dotati di abilità competitiva verso le infestanti da abbastanza buona ad ottima (cfr. Prova n.1 e tabella 17).

Nella successiva prova di campo descritta nell'esperimento n. 4 (capitolo 8), nella quale si prevedono due epoche di semina, una di queste, quella denominata “autunnale”, si colloca prima dell'inverno e presumibilmente vedrà le piante di cece presenti in

campo a stadi precoci di sviluppo esposte a livelli di freddo abbastanza intensi da far prevedere differenti risposte a tale stress abiotico nei quattro differenti genotipi che saranno coltivati, con riflessi evidenti su mortalità delle piante e produzioni di granella.

Tabella 17. Cece, *Freezing Test*, principali risultati ottenuti (media di 3 repliche). I genotipi sono elencati in ordine crescente di resistenza al freddo. Valori senza lettere in comune sono significativamente diversi per $P \leq 0,01$ (test di Duncan).

Genotipo o cultivar	Tipo di seme	Temperatura letale (LT ₅₀) (°C)
C 117	Rugoso	- 3,0 d
C 120	Rugoso	- 3,5 c
C 6150 L	Liscio	- 3,5 c
C 121	Rugoso	- 3,6 c
C 133	Rugoso	- 3,9 bc
C 11123 R	Rugoso	- 4,2 b
Cv. Sultano	Liscio	- 4,3 b
Cv. Visir	Rugoso	- 4,4 b
C 11132 R	Rugoso	- 4,5 b
C 116	Rugoso	- 4,9 a
EC 3	Rugoso	- 5,0 a
C 134	Rugoso	- 5,3 a
Significatività	---	**

In grassetto sono evidenziati i quattro genotipi inseriti nella prova agronomica di controllo meccanico delle infestanti descritta di seguito al capitolo 8 (Prova n. 4).

Conclusioni

I risultati ottenuti da questa prova evidenziano l'esistenza in cece di buone possibilità per selezionare nuovi genotipi dotati di resistenza a temperature inferiori allo zero, livelli termici che, anche se non portano alla morte della pianta, o alla completa distruzione della coltura se parliamo di realtà aziendali di pieno campo, sono comunque ritenute universalmente sub-ottimali per lo sviluppo di questa specie e per l'ottenimento di soddisfacenti livelli produttivi.

In cece, lo studio della resistenza ai diversi stress abiotici, siano essi il freddo delle temperature invernali alle nostre latitudini, o il caldo e la siccità dei climi più aridi del bacino del Mediterraneo (Nord Africa) e del vicino oriente (Siria, Libano, Israele), è un fattore importante per lo sviluppo e il rilancio della coltura su vasta scala, e dovrà essere ancora approfondito in successive esperienze sia di laboratorio che di pieno campo.

Capitolo 7

Prova n. 3

Studio del grado di resistenza ad *Ascochyta rabiei* mediante la tecnica dell'inoculazione su 60 tra linee stabili, ecotipi locali e *cultivar* di Cece (*Cicer arietinum* L.)

Scopo della prova

In questa terza prova, effettuata nel 2005, si intendeva individuare, attraverso l'esecuzione di numerosi test di resistenza ad *Ascochyta rabiei*, nuove linee tolleranti/resistenti idonee alla semina autunnale “anticipata” e confrontare la virulenza di più razze del fungo *Ascochyta rabiei* isolate in diverse parti d'Italia, al fine di ottimizzare gli itinerari tecnici di difesa preventiva dalle infezioni fungine per mezzo di scelte agronomiche (Porta-Puglia e Crinò, 1993; Porta-Puglia e Aragona, 1997), in sistemi colturali altamente sostenibili a minimi o nulli *input* di agrochimici, basati sull'impiego di leguminose da granella per il consumo umano e/o l'uso zootecnico, per ottenere prodotti di qualità superiore.

Disegno sperimentale

Il disegno sperimentale previsto è un fattoriale con 3 ripetizioni. I fattori sono costituiti da **a)** 2 diversi trattamenti di infezione delle piantine di cece con 2 isolati del fungo *Ascochyta rabiei*: isolato A (proveniente da Altamura, BA), isolato B (proveniente da Onano, VT) che sono stati spruzzati sulle piante alla stessa concentrazione media di inoculo di $1.800.000$ conidi ml^{-1} ; **x b)** 60 genotipi di cece, composti da: 52 linee stabili scelte sulla base di precedenti studi svolti all'interno di questo ciclo di esperimenti del Dottorato, più 6 *cultivar* già esistenti sul mercato, delle quali 3 **sensibili** (cv: Cairo, Conca d'oro ed Emiro) e 3 **resistenti** ad *Ascochyta rabiei* (cv: Pascià, Sultano e Visir), più 2 ecotipi, Canepina (ecotipo locale dei Colli Cimini – VT) e Canadese (ecotipo

nord-americano, portato in Italia ed in seguito conservato in purezza da emigranti italiani di ritorno dal Canada) x 3 repliche. In tabella 18 sono riassunti i principali dati relativi ai fattori sperimentali applicati nella prova.

Tabella 18. Cece: Fattori sperimentali applicati

Fattore sperimentale	Livello del fattore
Trattamento di infezione delle piantine di cece con il fungo <i>Ascochyta rabiei</i>	1 – isolato A (proveniente da Altamura, BA); 2 – isolato B (proveniente da Onano, VT).
Genotipi impiegati *	1 – 52 linee stabili di cece; 2 – 6 <i>cultivar</i> già esistenti sul mercato, 3 sensibili (cv: Cairo, Conca d'oro, Emiro) e 3 resistenti (cv: Pascià, Sultano, Visir) ad <i>Ascochyta rabiei</i> ; 3 – 2 ecotipi: Canepina (ecotipo locale dei Colli Cimini – VT) e Canadese (ecotipo nord-americano, portato in Italia ed in seguito conservato in purezza da emigranti italiani di ritorno dal Canada).

* alcuni di questi inseriti nella prova sulla base dei precedenti studi svolti all'interno di questo ciclo di esperimenti del Dottorato.

Materiali e metodi

In serra riscaldata, il metodo usato è stato quello dell'inoculazione del fungo *Ascochyta rabiei*, distribuito in suspo-soluzione acquosa direttamente sulle piante di cece nei primi stadi vegetativi (5-6 foglie) e del successivo mantenimento delle piante in atmosfera controllata all'interno di un tunnel di materiale plastico trasparente posto su di un bancale all'interno della serra (U.R. 100% all'interno del tunnel; T minima notturna + 9 °C e T massima diurna + 25 °C).

Principalmente, la tecnica colturale ha riguardato la preparazione del bancale di semina situato all'interno della serra riscaldata, per rendere possibile la successiva copertura del bancale con un telo plastico trasparente in modo da mantenere all'interno del tunnel stesso un livello di umidità relativa costantemente prossimo al 100%. Sul bancale sono stati predisposti numerosi contenitori alveolari in polistirolo all'interno dei quali è stato inserito il substrato di semina, composto da 2/3 di sabbia e da 1/3 di torba.

I semi di cece, divisi per genotipo, sono stati posti uno in ciascun foro dei contenitori alveolari, in numero di dieci semi per genotipo per ognuna delle tre repliche.

La germinazione (con valori prossimi al 99 %) è stata rapida e uniforme ed è occorsa a circa 6 giorni dalla semina. In serra riscaldata, lo sviluppo delle giovani piante, favorito dalle condizioni ambientali impostate (U.R. 80 %; T minima notturna + 9 °C e T massima diurna + 23 °C), è stato seguito giornalmente, effettuando moderate irrigazioni del substrato (con la tecnica della sub-irrigazione) quando era necessario.

Rilievi e determinazioni

Nel corso della prova si è proceduto ad effettuare i seguenti interventi e rilievi:

- rilievo delle principali fasi fenologiche (emergenza, primi stadi vegetativi) della coltura;
- rilievo sulle piantine di cece, precedente il momento del primo intervento di inoculazione del fungo *Ascochyta rabiei*, per constatare la perfetta sanità del materiale vegetale su cui effettuare l'inoculazione;
- intervento di inoculazione separata dei due isolati (A e B) ottenuti da due razze distinte del fungo *Ascochyta rabiei*, distribuito in suspo-soluzione acquosa, effettuato spruzzando direttamente sulle piante di cece nei primi stadi vegetativi (5-6 foglie);
- 1° rilievo degli effetti sul cece dell'infezione, a 15 giorni dall'inoculazione del fungo;
- 2° rilievo degli effetti dell'infezione a 30 giorni dall'inoculazione;
- 3° ed ultimo rilievo degli effetti dell'infezione a 45 giorni dall'inoculazione.

Risultati e discussione

Nella tabella 19 sono riportati i principali risultati di questa prova (per brevità, denominata n. 3). In grassetto sono evidenziate le quattro linee stabili selezionate in precedenza per parametri di abilità competitiva nei confronti delle infestanti (prova n. 1), per resistenza alle basse temperature invernali (prova n. 2) e per essere inserite nella prova di controllo meccanico delle infestanti (prova n. 4) e che, pertanto, sono risultate presenti in tutte e quattro le prove presentate in questa Tesi di Dottorato.

L'analisi della varianza è stata effettuata secondo lo schema sperimentale previsto, utilizzando il test di Duncan per la probabilità del 5 %. Nelle ultime righe in basso della tabella sono indicati i valori della media generale (in grassetto) e la significatività (** per $P < 0,01$).

In media, l'isolato A proveniente dalla Puglia, Altamura (BA) è risultato essere, nei tre rilievi effettuati a epoche cadenzate di 15 giorni dalla data di inoculazione delle piante di cece, sempre più virulento dell'isolato B, proveniente dall'Alto Lazio, Onano (VT). Esistono almeno 3 diverse razze conosciute del fungo *Ascochyta rabiei* e presumibilmente nei due isolati ne erano contenute due diverse. Soprattutto al terzo rilievo si hanno notevoli differenze tra A e B (in media, 4,3 vs 3,5), segno della attenuata virulenza dell'isolato laziale.

Al primo rilievo, effettuato dopo 15 giorni dall'inoculazione, la media di resistenza del cece all'attacco dell'isolato A del fungo, misurata tramite una scala visiva degli effetti dell'infezione sulle piante con punteggi da 1 a 5, con 1 = piante sane; 2 = sintomi leggeri e sporadici su poche piante; 3 = piante diffusamente colpite ma che ricacciano fusticini sani; 4 = piante seriamente colpite ed esito produttivo parzialmente compromesso e 5 = piante distrutte, è stata di 2,6. In particolare, i genotipi C11150, C121 e C9135 hanno avuto valori particolarmente bassi e comunque inferiori a 2 (vedi tabella 19). Alla stessa epoca, per l'isolato B la media è stata di 2,5 con ottimi risultati di resistenza per C102, **C120** e C19127 (tabella 19).

Al secondo rilievo, 30 giorni dopo l'inoculazione, la malattia manifesta segni sempre più evidenti sulle piante. Per isolato A, infatti, la media dei genotipi sale a 2,9 ma si registrano le ottime risposte di C121 e C9135 con medie di 1,9. Anche per isolato B, la media dei genotipi sale a 2,7 con **C120** fermo a 1,7 (tabella 19).

Nell'ultimo rilievo, a 45 giorni dall'inoculazione, i sintomi sulle piante sono ormai ben evidenti ed inequivocabili, con danni permanenti alla vegetazione e, nei casi più gravi, con morte dei genotipi più sensibili al fungo (tabella 19). L'isolato A si è dimostrato sempre molto aggressivo con media dei genotipi di 4,3. Nell'esperimento, la *cultivar* Sultano, come era noto e del resto anche atteso, si conferma abbastanza resistente (punteggio di 3,5) alla rabbia del cece. Bene anche i già nominati C121 e C9135 e C136 (tabella 19). L'isolato B, più attenuato, ha incontrato maggiore resistenza nelle *cultivar* Pascià, Sultano e Visir (in media 2,6) e in C114, C118, C135 e C136 (cfr. tabella 19).

In figura 13 si è voluto mettere in evidenza l'andamento dell'infezione nei genotipi C120, C134, C11123 R e C11132 R a confronto con la media di tutti i genotipi studiati. C 120 è stato il genotipo più resistente sia infettato dall'isolato A che dal B. Gli altri genotipi hanno dato valori di resistenza abbastanza buoni ma non eclatanti, comunque molto spesso inferiori alle medie di tutti gli altri genotipi.

Tabella 19 (pagina seguente). Risultati delle prove di inoculazione di piante di cece con il fungo *Ascochyta rabiei*.

Livello di resistenza / sensibilità al fungo: scala visiva degli effetti dell'infezione sulle piante, con valori da 1 a 5, con i seguenti punteggi intermedi: 1 = piante sane; 2 = sintomi leggeri e sporadici su poche piante; 3 = piante diffusamente colpite ma che ricacciano fusticini sani; 4 = piante seriamente colpite ed esito produttivo parzialmente compromesso; 5 = piante distrutte.

Genotipo o cultivar	1° rilievo		2° rilievo		3° rilievo	
	Isolato A Altamura (BA)	Isolato B Onano (VT)	Isolato A Altamura (BA)	Isolato B Onano (VT)	Isolato A Altamura (BA)	Isolato B Onano (VT)
C 100	2,7	2,6	3,1	2,7	4,6	3,7
C 101	2,7	2,6	3,4	3,2	4,5	3,0
C 1016	2,6	2,8	2,7	2,9	4,3	3,6
C 102	2,2	1,6	2,4	2,1	3,9	3,1
C 104	2,9	2,4	2,8	2,6	4,1	3,4
C 105	2,7	2,7	3,2	2,9	4,7	3,7
C 107	3,0	2,7	3,1	2,8	4,5	3,8
C 109	2,8	2,6	3,6	2,8	4,8	3,9
C 110	2,8	2,7	3,0	3,0	4,9	3,9
C 111	2,8	2,5	2,8	2,8	4,5	3,6
C 11111	2,4	2,6	2,9	2,8	4,1	3,5
C 11112	2,6	2,3	2,8	2,5	4,1	3,1
C 11123 R	2,3	2,7	3,2	2,8	4,6	3,8
C 11132 R	2,7	2,4	2,8	2,6	4,2	3,3
C 11142	2,6	2,9	3,0	3,3	4,5	4,2
C 11150	1,7	2,5	2,6	2,7	4,1	3,1
C 113	2,8	2,2	3,0	2,6	4,7	3,4
C 114	2,8	2,3	2,9	2,7	4,4	2,7
C 115	2,9	2,7	3,4	2,9	4,7	3,4
C 116	2,8	2,5	2,9	2,8	4,5	4,1
C 117	2,4	2,8	2,6	2,6	4,6	3,5
C 118	3,0	2,2	2,9	2,7	4,2	2,5
C 120	2,5	1,7	2,6	1,7	4,0	2,8
C 121	1,9	2,1	1,9	2,3	3,5	3,6
C 122	2,9	2,8	3,2	3,0	4,8	4,3
C 124	2,7	2,7	2,9	2,9	4,7	4,7
C 129	3,0	3,0	3,2	3,1	4,8	4,5
C 130	2,8	2,9	3,0	3,0	4,7	4,0
C 133	3,0	2,8	3,1	2,9	4,9	4,2
C 134	2,9	2,4	3,3	2,4	4,1	3,2
C 135	2,7	2,4	3,2	2,6	4,3	2,7
C 136	2,7	2,2	2,4	2,4	3,2	2,7
C 19116	2,6	2,3	2,7	2,8	4,3	3,4
C 19123	2,6	2,4	2,7	2,6	4,2	3,4
C 19124	2,4	2,3	2,5	2,6	4,3	3,5
C 19125	2,7	2,2	3,0	2,6	4,4	3,8
C 19127	2,2	1,9	2,5	2,2	4,0	3,6
C 19128	2,6	2,4	2,5	2,5	4,2	2,8
C 37/2000	2,6	2,7	3,1	2,9	4,2	3,8
C 9106	2,5	2,4	2,9	2,6	4,3	3,1
C 9108	2,6	2,2	2,9	2,3	4,2	3,6
C 9109	2,5	2,3	2,7	2,4	4,4	4,3
C 9112	3,0	2,5	3,1	2,5	4,5	3,4
C 9121	2,5	2,7	2,7	2,8	3,9	3,1
C 9127	2,7	2,5	2,6	2,7	4,2	3,6
C 9128	2,7	2,4	2,7	2,4	4,3	3,1
C 9132	2,6	2,6	2,7	2,8	4,3	3,8
C 9135	1,8	2,4	1,9	2,6	3,4	3,0
C 9203	2,4	2,5	2,7	2,7	4,2	3,9
C 9205	2,3	2,5	2,5	2,8	4,3	3,6
C 9211	2,6	2,4	2,7	2,6	3,8	4,0
C 9212	2,3	2,3	2,5	2,7	4,3	3,6
cv. Cairo	2,5	2,5	3,5	2,8	4,7	4,4
cv. Conca d'oro	2,5	2,4	3,1	3,0	4,7	4,7
cv. Emiro	3,0	2,6	3,3	2,8	4,7	4,4
cv. Pascià	2,3	2,4	2,4	2,3	4,0	2,5
cv. Sultano	2,3	2,3	2,2	3,3	3,5	2,6
cv. Visir	2,5	2,7	2,5	2,7	4,1	2,7
Ecotipo Canadese	3,3	2,7	4,2	3,3	5,0	4,5
Ecotipo Canepina	2,2	2,6	2,6	3,0	3,9	3,8
Media	2,6	2,5	2,9	2,7	4,3	3,5
DMS (P < 0,05)	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3
Significatività	**	**	**	**	**	**

Figura 13. Livello di resistenza / tolleranza dei genotipi C120, C134, C11123 R e C11132 R a confronto con la media dei genotipi studiati, dopo inoculazione con due diversi isolati del fungo *Ascochyta rabiei*.

Scala visiva degli effetti dell'infezione sulle piante, con valori da 1 a 5, con i seguenti punteggi intermedi: 1 = piante sane; 2 = sintomi leggeri e sporadici su poche piante; 3 = piante diffusamente colpite ma che ricacciano fusticini sani; 4 = piante seriamente colpite ed esito produttivo parzialmente compromesso; 5 = piante distrutte.

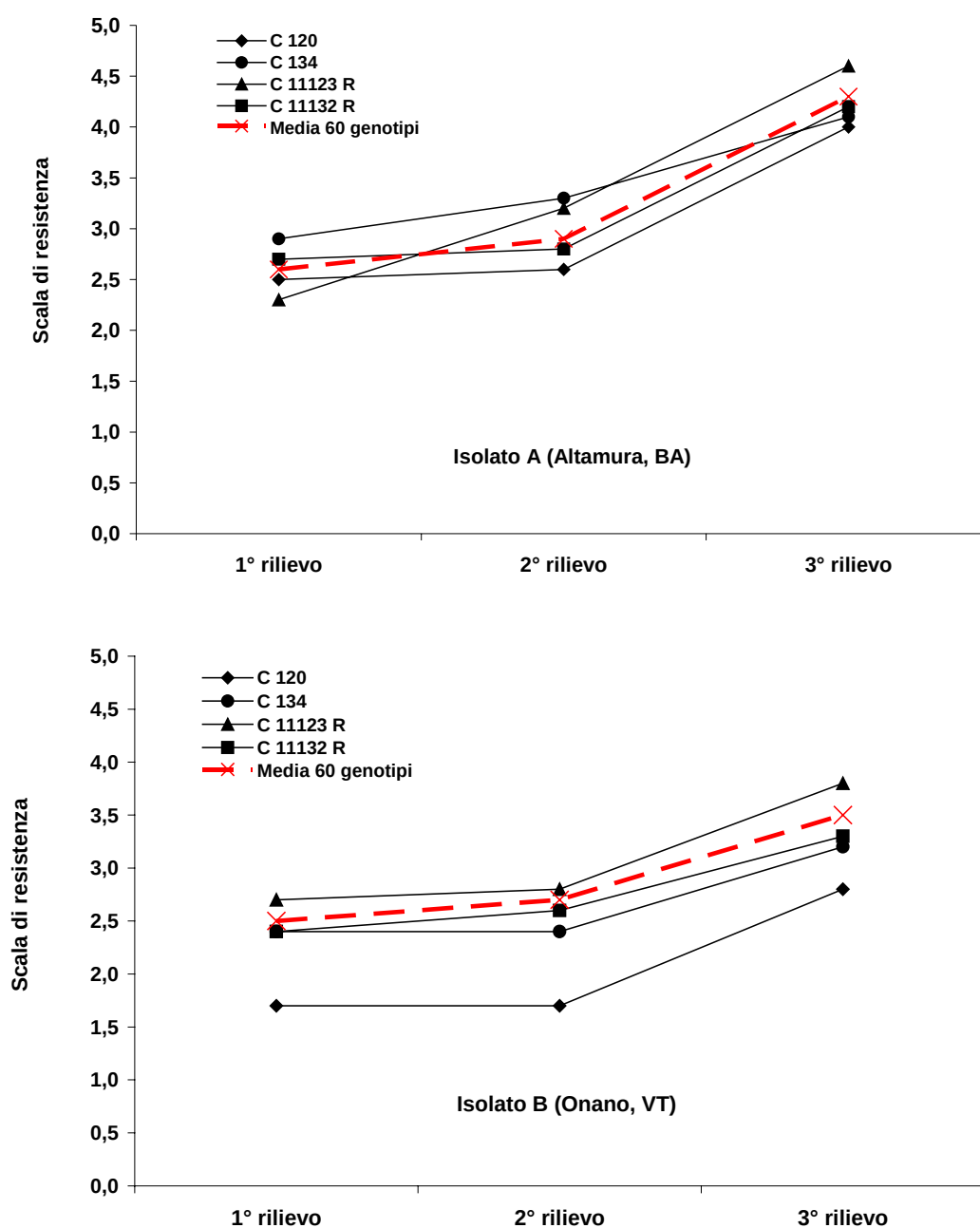


Figura 14. In alto a sinistra: coltura dell'isolato A (raccolto ad Altamura, BA). In alto a destra: uno dei bancali sede della prova con le piantine di cece al momento del primo intervento di inoculazione con il fungo *Ascochyta rabiei*. In basso, al centro, particolare di pianta colpita (appartenente al genotipo C134).



Conclusioni

In conclusione, questa prova di valutazione di numerosi genotipi di cece per la resistenza a diversi isolati del fungo *Ascochyta rabiei* è stata particolarmente utile per capire e valutare l'estrema variabilità genetica che è alla base delle differenze nelle risposte all'infezione del fungo.

Il fatto, poi, che uno dei due isolati utilizzati sia stato di provenienza laziale ha permesso di simulare quanto verosimilmente sarebbe possibile in una situazione di campo con fattori predisponenti allo sviluppo di una forte infezione sulle piante come microclima, stagione avversa e terreno contenente forti dosi di inoculo (come può esserlo un terreno per anni coltivato a leguminose da granella, ove non si praticano corretti avvicendamenti colturali e non si attuano le necessarie pratiche agronomiche).

Questi risultati, seppur preliminari ed ottenuti in serra, ovvero in un ambiente circoscritto con condizioni di esasperazione di tutti i parametri ambientali (umidità relativa elevatissima, microclima caldo-umido e senza ventilazione, massiccia presenza di inoculo), sono indicativi della notevole variabilità genetica insita entro la specie *Cicer arietinum* e delle buone possibilità che tuttora esistono di selezionare ulteriori tratti utili per la costituzione di nuove *cultivar* di cece di elevata qualità, dotate di resistenza anche agli stress biotici, oltre che a quelli abiotici e di competizione per le risorse limitanti, come studiato altrove nella presente tesi di Dottorato.

Capitolo 8

Prova n. 4

Effetto su infestazione e resa in granella di strategie di controllo non chimico delle infestanti in combinazione alla scelta dell'epoca di semina su genotipi di cece con superiore abilità competitiva

Scopo della prova

Nella quarta e conclusiva prova di questo ciclo di studi di Dottorato di Ricerca si intendeva confrontare, all'interno di un sistema colturale in regime di agricoltura biologica, l'efficacia di differenti tecniche di controllo meccanico delle infestanti in combinazione al mezzo agronomico (mezzo colturale: scelta della cultivar, scelta dell'epoca di semina), al fine di ottimizzare gli itinerari tecnici di controllo delle infestanti in sistemi colturali altamente sostenibili basati sull'impiego di leguminose da granella, per ottenere prodotti di qualità superiore a ridotto o nullo impatto ambientale.

Obiettivo non certo di minore importanza è stato, inoltre, quello di verificare concretamente se esiste la possibilità di introdurre in zona la pratica della semina autunnale di questa coltura (Sarno *et al.*, 1987).

Materiali e metodi

La sperimentazione è stata condotta nel biennio 2004/2006 su un appezzamento di terreno ubicato nell'Azienda Didattico-Sperimentale "Nello Lupori" dell'Università degli Studi della Tuscia a Viterbo (42° 26' latitudine N, 12° 40' longitudine E, 310 m s.l.m.).

Disegno sperimentale ed impostazione della prova

All'interno di un avvicendamento biennale (2004/05 e 2005/06) frumento duro – cece, contemporaneo nel tempo e nello spazio e condotto in regime di agricoltura biologica, su cece è stato applicato un disegno sperimentale del tipo a parcella suddivisa o split-split-plot in blocchi randomizzati.

Il fattore principale era rappresentato dalle due diverse epoche di semina del cece: a) semina autunnale; b) semina tardo-invernale.

Il fattore secondario era rappresentato da quattro diverse intensità di controllo non chimico delle infestanti presenti in coltura: a) coltura infestata con assenza di controllo (testimone infestato); b) controllo meccanico tramite sarchiatura nell'interfila; c) controllo meccanico tramite sarchiatura nell'interfila combinato con intervento meccanico sulla fila per mezzo di erpice a dita folli o *finger weeder*; d) coltura pura, mantenuta priva di competizione con le infestanti per mezzo di ripetuti interventi manuali di zappatura e scerbatura (testimone puro).

Il fattore terziario era costituito dai quattro genotipi di cece già studiati nelle precedenti prove 1, 2 e 3, contraddistinti dalle sigle: a) C 120; b) C 134; c) C 11123 R e d) C 11132 R. Questi genotipi sono stati scelti sulla base dei risultati ottenuti nei precedenti esperimenti svolti all'interno del presente ciclo di Dottorato, ed esposti nei capitoli precedenti di questa Tesi, cui si rimanda.

I fattori sono stati replicati tre volte. La dimensione delle parcelle base era di 16,2 m² ciascuna (2,7 x 6 metri). Ogni anno, in tutto erano quindi presenti 96 parcelle.

La prova prevedeva per ogni anno anche la contemporanea coltivazione di una precessione di frumento duro, presente sullo stesso campo in un appezzamento a fianco del cece.

Tecnica colturale adottata e rilievi effettuati

Su un appezzamento uniforme ed omogeneo di terreno, coltivato negli anni precedenti prevalentemente a cereali da granella (orzo e grano duro), si è effettuata una

aratura estiva alla profondità di 30 cm. All'inizio della prova sono state svolte le analisi del terreno, di cui si riportano i principali risultati nella Tabella 20 .

Tabella 20. Caratteristiche fisico-chimiche medie del terreno della prova (strato 0-30 cm)

Sabbia grossa (% peso secco terreno)	16,5
Sabbia fina (% peso secco terreno)	27,8
Limo (% peso secco terreno)	29,5
Argilla (% peso secco terreno)	26,2
pH (in acqua, 1 : 2,5)	6,95
Calcare totale (%) (De Astis)	0,81
Sostanza organica (% su s.s.) (Lotti)	2,02
Azoto totale (% su s.s.) (Kjeldahl)	0,13
Carbonio organico (% su s.s.)	1,37
Rapporto C/N	10,5

Nel mese di settembre degli anni 2004 e 2005 il terreno è stato affinato con erpice a dischi, successivamente è stata distribuita a spaglio la concimazione di fondo fosfopotassica ad una dose di 100 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e di 50 kg ha⁻¹ di K₂O sotto forma di concime organico ammesso in agricoltura biologica. Si è provveduto ad interrare il concime con erpice rotativo.

La semina delle tesi “epoca autunnale” è stata effettuata alle date 19/11/2004 e 18/11/2005, mentre quella delle tesi “epoca tardo invernale” alle date 18/02/2005 e 20/02/2006. Operativamente, tutte le parcelle sono state realizzate seminando manualmente il cece a file distanti 0,45 m. La dose di seme utilizzata variava in base al peso dei semi delle 4 linee stabili adottate, per tutte si è stabilita una densità di semina necessaria ad ottenere un investimento in campo pari a circa 50 piante al m².

Il tabella 21 sono riportati in dettaglio i fattori sperimentali applicati e il calendario delle principali operazioni colturali effettuate nel corso della prova.

All'interno di ciascuna parcella, in posizione comprendente sempre le file centrali, è stata disposta un'area di saggio di dimensioni pari a 0,9 m², costituita da un rettangolo

metallico di dimensioni 1 x 0,9 m, così da comprendere sempre 2 interfila intere di 0,45 m ciascuna. All'interno di queste aree di saggio si sono effettuati tutti i principali rilievi e determinazioni nelle successive fasi della prova, fino alla raccolta finale.

Tabella 21. Dettaglio dei fattori sperimentali applicati nel corso della prova e calendario delle principali operazioni colturali effettuate.

Fattori sperimentali	1° anno 2004/05	2° anno 2005/06
Precessione colturale	Frumento duro cv. <i>Sorrento</i>	
Concimazione di fondo (kg ha ⁻¹)	100 P ₂ O ₅ – 50 K ₂ O	
Fertilizzazione in copertura	assente	
Aratura	Agosto	Agosto
Semina prec. frumento duro (cv. <i>Sorrento</i>)	22 novembre	21 novembre
Semina cece 1 ^a epoca	19 novembre	18 novembre
Emergenza	7 dicembre	9 dicembre
Semina cece 2 ^a epoca	18 febbraio	20 febbraio
Emergenza	10 marzo	14 marzo
Controllo meccanico cece 1 ^a epoca	24 marzo	13 aprile
Controllo meccanico cece 2 ^a epoca	22 aprile	27 aprile
Raccolta cece 1 ^a epoca	6 luglio	5 luglio
Raccolta cece 2 ^a epoca	15 luglio	17 luglio

Figura 15. Panoramica della prova n. 4 (giugno 2006), con a destra le tesi a semina autunnale e a sinistra quelle a semina tardo-invernale.



Risultati

Andamento termopluviometrico

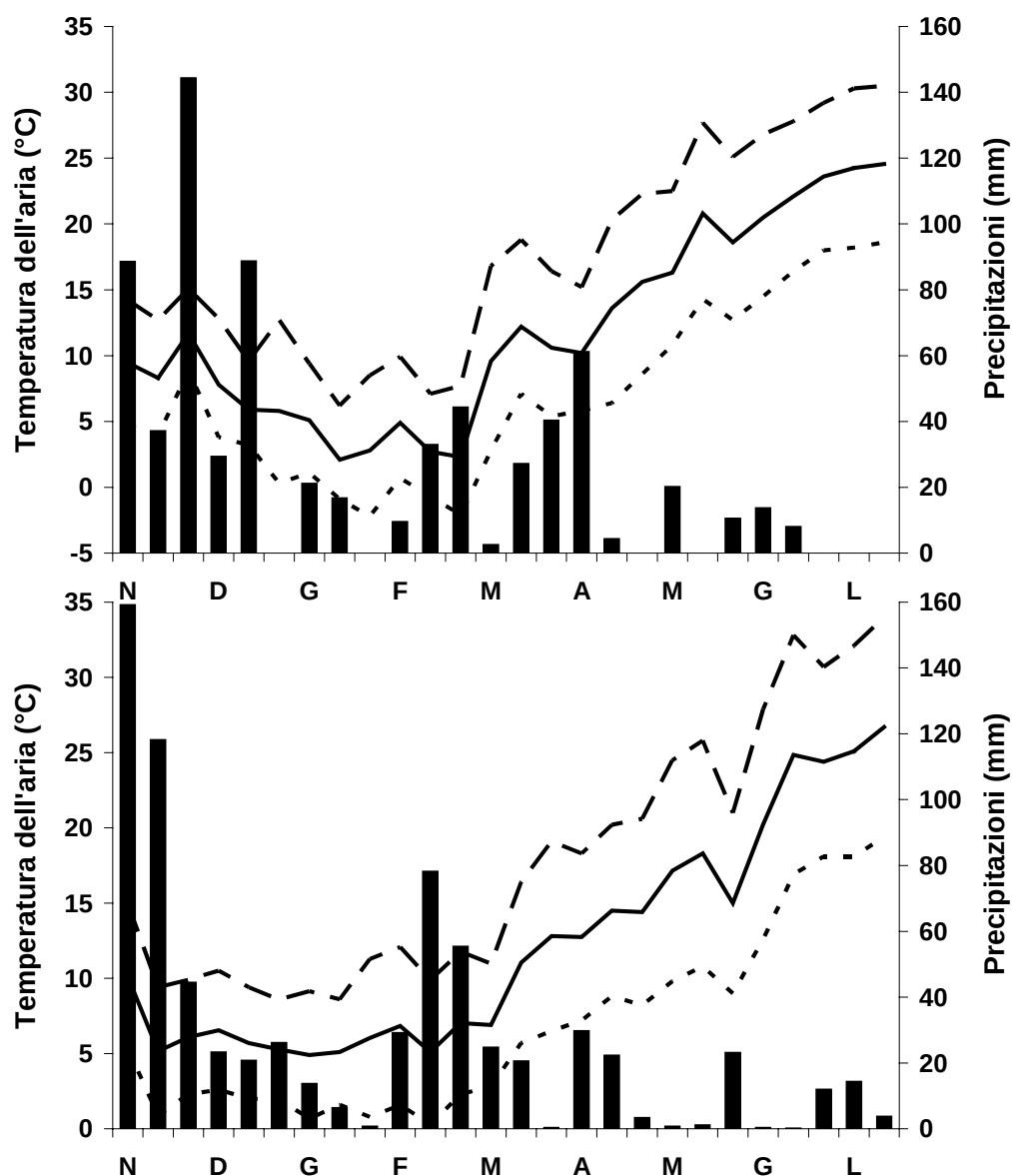
In figura 16 sono riportati i grafici dell'andamento termopluviometrico registrato nel corso dei due anni di prova presso la stazione meteorologica sita all'interno dell'Azienda Didattico-Sperimentale dell'Università della Tuscia a Viterbo.

Per quanto riguarda l'andamento delle precipitazioni, le due annate sono state caratterizzate da andamenti non troppo discosti tra loro. Nel primo anno di prova (2004/2005) si è registrata una piovosità abbondante, con circa 723 mm di pioggia caduta nel periodo in cui la coltura era presente in campo, contro una media di 644 mm, ottenuta da una serie storica di dati raccolti in 20 anni (dal 1985 al 2004) presso la stazione meteorologica del Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università della Tuscia a Viterbo. Anche il secondo anno di prova (2005/2006) ha fatto registrare precipitazioni copiose, per un totale di circa 781 mm durante il ciclo colturale.

Nel primo anno di prova, la temperatura media minima decadica del mese di gennaio è stata di $-0,9^{\circ}\text{C}$, con valori sempre di poco al di sotto dello 0, nel secondo anno di prova, in gennaio si sono avute temperature medie minime sempre maggiori di 0 (in media $+1,0^{\circ}\text{C}$). La temperatura media massima decadica registrata nel mese di

luglio del primo anno è stata in media di 30,0 contro 32,3 ° C del secondo anno. Le temperature medie misurate durante l'intero ciclo di coltivazione hanno avuto andamenti simili a quanto già visto in precedenza, con in media 14,7 ° C nel 2004/2005 contro 13,9 ° C nel 2005/2006. Nel primo anno di prova la temperatura minima registrata in fase di coltivazione è stata di - 2,3 ° C contro + 0,3 ° C del secondo anno. Nel mese di luglio le temperature hanno fatto registrare i valori massimi con 30,5 ° C nel 2005 e 30,0 ° C nel 2006.

Figura 16. Andamento termopluviometrico registrato a Viterbo nel corso dei due anni di prova (2004/2005 in alto, e 2005/2006 in basso) presso la stazione meteorologica dell'Azienda Didattico-Sperimentale dell'Università della Tuscia.



Analisi statistica

I dati raccolti con misurazioni e i dati calcolati ottenuti ogni anno sulla coltura e sulle infestanti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA).

Il fattore “epoca di semina” è risultato quello gerarchicamente più importante, seguito dal fattore “controllo delle infestanti” e dal fattore “genotipo”.

Tutti i pool di dati le cui varianze sono risultate non omogenee al test di Bartlett sono stati trasformati in modo da ottenere varianze omogenee e quindi rielaborati. In particolare, per i dati espressi come percentuale, se questi erano compresi nell'intervallo 0-30 % o 70-100 % sono stati trasformati in radice quadrata; negli altri casi i dati percentuali compresi in intervalli diversi sono stati sottoposti a trasformazione angolare (arcsen) secondo Gomez & Gomez, 1984.

Dove necessario, anche i dati relativi a biomassa di coltura e infestanti sono stati sottoposti a trasformazione logaritmica prima dell'analisi della varianza. Tutte le trasformazioni statistiche operate sui dati sono riportate caso per caso nelle tabelle dell'analisi della varianza.

La significatività delle differenze tra le medie è stata saggiata in base al test di Duncan.

Caratteri biometrici e produttivi del cece

Nella tabella 22 (a pagina seguente) sono riportati i risultati dell'analisi della varianza per i caratteri biometrici e produttivi del cece e le trasformazioni statistiche utilizzate nei casi di disomogeneità della varianza al test di Bartlett (Gomez & Gomez, 1984).

Tabella 22. Risultati dell'analisi della varianza sui caratteri biometrici e produttivi del cece. Sono indicate le trasformazioni statistiche usate per ottenere una varianza omogenea al test di Bartlett. ** : Significatività per $P \leq 0,01$

Causa di variazione	g.l.	Produzione di granella (t ha⁻¹; s.s.)	Altezza piante alla raccolta (cm)	Altezza 1° baccello fertile (cm)	Densità piante cece alla raccolta (n m⁻²)
Trasformazione statistica usata		ln(x)	---	---	ln(x)
Blocco	2				
Epoca semina (E)	1	**	**	ns	**
Errore a	2				
Controllo infestanti (C)	3	**	ns	ns	ns
E x C	3	**	ns	ns	ns
Errore b	12				
Genotipo (G)	3	**	**	**	**
E x G	3	**	ns	ns	ns
C x G	9	**	ns	ns	ns
E x C x G	9	**	ns	ns	ns
Errore c	48				

La produzione di granella è stata influenzata significativamente dall'epoca di semina, dal tipo di controllo, dal genotipo, dall'interazione $E \times C$, $E \times G$, $C \times G$ e $E \times C \times G$ ($P < 0,01$). L'epoca di semina anticipata, denominata “autunnale” ha avuto in media produzioni di ben 2,37 t ha⁻¹ s.s. contro 1,94 dell'epoca “tardo-invernale” (dati non presentati in tabella). Il tipo di controllo delle infestanti ha dato in media valori di produzione pari a 1,14 t ha⁻¹ s.s. per la coltura infestata, 1,93 per la coltura solo sarchiata nell'interfila, 2,39 per la coltura sottoposta all'intervento di sarchiatura nell'interfila in combinazione a quello di *finger weeding* sulla fila, e infine 2,56 in coltura pura (dati non presentati in tabella). Le medie di produzione di granella dei

quattro genotipi studiati sono state di 2,02 t ha⁻¹ s.s. per C120, 2,11 per C134, 2,05 per C11123 R e 2,35 per C11132 R.

Le seguenti interazioni di secondo ordine *epoca di semina x tipo di controllo delle infestanti*, *epoca di semina x genotipo* e *tipo di controllo delle infestanti x genotipo* non sono presentate in tabella, dato che in questa sede si riporta e discute l'interazione di ordine superiore *epoca di semina x tipo di controllo delle infestanti x genotipo* (figura 17). Nei due anni di prova, la produzione di granella in coltura infestata non è stata significativamente diversa nei quattro genotipi in entrambe le epoche di semina. Non vi è stata differenza significativa neanche nella media delle rese dei genotipi in semina autunnale e tardo-invernale sottoposti al solo intervento di sarchiatura nell'interfila. Valori di resa in granella significativamente diversi per $P < 0,05$ sono stati trovati per C134 e C11132 R in semina autunnale e sottoposti a sarchiatura nell'interfila + *finger weeding* sulla fila (in media 3,10 contro 2,29 t ha⁻¹ di sostanza secca dei restanti genotipi nelle medesime condizioni). Sulle produzioni di granella di C134 e C11132 R seminati in epoca precoce non hanno influito significativamente le differenti condizioni di controllo della flora infestante tra coltura pura e sarchiatura + *finger weeding*.

In coltura pura, tutti i genotipi seminati in epoca ritardata tardo-invernale hanno risentito a livello produttivo del ciclo di vegetazione più breve rispetto alla semina in autunno. Essi hanno dato produzioni non significativamente diverse tra loro entro seconda epoca e coltura pura, ma sempre significativamente inferiori a quanto ottenuto in coltura pura in epoca anticipata, dove C11132 R ha fatto registrare punte produttive anche notevoli pari a 3,29 t ha⁻¹ sostanza secca.

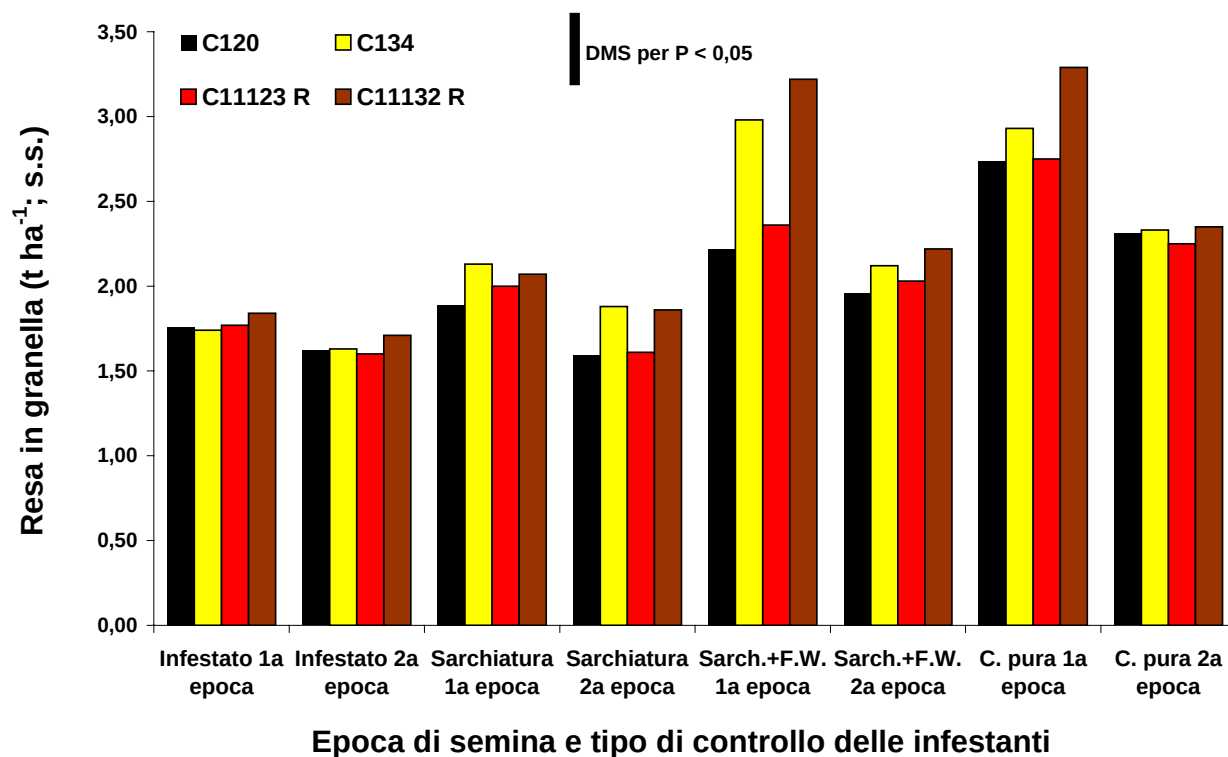
L'altezza delle piante di cece misurata alla raccolta è stata influenzata significativamente dall'epoca di semina e dal genotipo ($P < 0,01$). Il tipo di controllo delle infestanti applicato alla coltura non ha influenzato la misura e non si sono avute interazioni tra fattori. L'epoca di semina autunnale ha permesso lo sviluppo di piante con altezza media di 63,0 cm contro i 48,7 cm (DMS: 7,6) delle piante seminate alla seconda epoca. I genotipi C120 e C11123 R sono risultati alti in media 53,6 cm, contro 58,1 cm di C134 e C11132 R (DMS: 2,6) (dati non presentati in tabella).

L'altezza da terra del primo baccello fertile, misurata alla raccolta, è stata influenzata soltanto dal genotipo ($P < 0,01$). C120 ha dato un valore di 27,0 cm contro

C11123 R con 31,7 e C134 e C11132 R che in media hanno dato il valore 37,9 (DMS: 2,3) (dati non riportati in tabella).

La densità di piante di cece rilevata alla raccolta è stata influenzata dall'epoca di semina e dal genotipo ($P < 0,01$). Il tipo di controllo delle infestanti non ha influenzato la densità di piante (non ha quindi avuto effetti soppressivi sulla coltura) e non si sono avute interazioni tra fattori. Alla raccolta, il numero di piante in un metro quadrato è stato di 42,3 per quelle seminate in epoca autunnale contro 49,9 per quelle in semina tardo-invernale (DMS: 4,3). In media, il numero di piante del genotipo C120 alla raccolta è stato di 40,3, contro 46,9 dei genotipi C11132 R e C11123 R e 49,3 di C134 (DMS:1,9) (dati non riportati in tabella).

Figura 17. Effetto dell'epoca di semina, del tipo di controllo delle infestanti e del genotipo sulla produzione di granella ($t\ ha^{-1}$; s.s.).



Caratteri delle infestanti

Nella tabella 23 sono riportati i risultati dell'analisi della varianza per i caratteri delle infestanti e le trasformazioni statistiche utilizzate nei casi di disomogeneità della varianza al test di Bartlett (Gomez & Gomez, 1984).

Tabella 23. Risultati dell'analisi della varianza sulla biomassa delle infestanti alla raccolta, sulla densità delle infestanti prima dell'intervento di controllo e alla raccolta. Sono indicate le trasformazioni statistiche usate per ottenere una varianza omogenea al test di Bartlett. ** : Significatività per $P \leq 0,01$

Causa di variazione	g.l.	Biomassa infestanti alla raccolta (t ha ⁻¹ ; s.s.)	Densità infestanti pre-controllo meccanico (piante m ⁻²)	Densità infestanti alla raccolta (piante m ⁻²)
Trasformazione statistica usata		ln(x)	ln(x)	ln(x)
Blocco	2			
Epoca semina (E)	1	**	**	ns
Errore a	2			
Controllo infestanti (C)	2	**	ns	**
E x C	2	**	ns	**
Errore b	8			
Genotipo (G)	3	**	ns	**
E x G	3	ns	ns	**
C x G	6	**	ns	**
E x C x G	6	ns	ns	**
Errore c	36			

La biomassa epigea delle infestanti, misurata alla raccolta, è stata influenzata dall'epoca di semina, dal tipo di controllo delle infestanti, dal genotipo e dalle interazioni *epoca x controllo*, e *controllo x genotipo* (tabella 23).

La densità delle infestanti rilevata immediatamente prima del momento dell'intervento di controllo meccanico (figura 18) è stata influenzata in maniera significativa dall'epoca di semina della coltura ($P < 0,01$). Nelle tesi a semina autunnale essa è stata di 51 piante m^{-2} contro 35 delle tesi a semina tardo-invernale (DMS = 7).

La densità delle infestanti rilevata una settimana dopo l'esecuzione dell'intervento di controllo meccanico è stata influenzata in maniera significativa dal tipo di controllo e dal genotipo ($P < 0,01$).

Nel caso della densità delle infestanti rinvenute alla raccolta, ripetendo quanto appena visto sopra nel caso di conta post-intervento di controllo, anche questa è stata influenzata in maniera significativa dal tipo di controllo e dal genotipo ($P < 0,01$).

Tabella 24. Effetto dell'epoca di semina sulla densità delle infestanti rilevata immediatamente prima dell'intervento di controllo meccanico. Valori senza lettere in comune sono significativamente diversi per $P \leq 0,01$ (test di Duncan su dati sottoposti a trasformazione logaritmica).

Infestanti (n. m^{-2})		
Genotipo	1° epoca di semina	2° epoca di semina
C120	48,1 a	46,9 a
C134	35,4 b	36,5 b
C11123 R	45,9 a	48,5 a
C11132 R	36,2 b	38,0 b

Tabella 25. Controllo meccanico delle infestanti: % di controllo nei confronti del rispettivo testimone (densità di investimento colturale realizzata = 51 p m⁻²)

Genotipo	Semina autunnale (densità media delle infestanti pre-controllo = 41 p m ⁻²)			Semina tardo-invernale (densità media delle infestanti pre-controllo = 42 p m ⁻²)		
	Testimone	Sarchiatura	Sarchiatura	Testimone	Sarchiatura	Sarchiatura
	infestato (biomassa infestanti a raccolta; t ha ⁻¹ ; s.s.)	interfila	interfila + <i>Finger</i> <i>Weeding</i>	infestato (biomassa infestanti a raccolta; t ha ⁻¹ ; s.s.)	interfila	interfila + <i>Finger</i> <i>Weeding</i>
C120	3,61 a	36,3 b (3,4)	60,1 b (4,1 b)	2,33 a	67,9 b (2,9)	92,0 b (4,3 b)
C134	3,35 b	46,4 a (3,6)	72,4 a (4,7 a)	1,87 b	78,4 a (3,2)	95,7 a (4,8 a)
C11123 R	3,66 a	45,8 a (3,6)	69,5 a (4,0 b)	2,40 a	69,8 b (2,8)	91,5 b (4,1 b)
C11132 R	3,29 b	44,7 a (3,5)	73,6 a (4,8 a)	2,06 b	77,6 a (3,0)	95,4 a (4,7 a)

Nota: i valori in corsivo tra parentesi (t ha⁻¹; s.s.) si riferiscono alla biomassa epigea totale della coltura alla raccolta.

Sono di seguito elencate le specie infestanti numericamente più rappresentative in coltura, in ordine decrescente di abbondanza (vedi anche figura 18):

Semina autunnale: *Polygonum aviculare*, *Sinapis arvensis*, *Cirsium arvense*, *Chenopodium album*, *Convolvulus arvensis*, *Lolium spp.*, Altre specie minori (prevalentemente: *Fumaria officinalis*, *Veronica persica*, *Ammi majus*, *Galium aparine*, *Viola arvensis*, *Papaver rhoeas*).

Semina tardo-invernale: *Polygonum aviculare*, ricca comunità di specie estive (costituita in prevalenza da: *Portulaca oleracea*, *Solanum nigrum*, *Picris echioides*, *Anagallis arvensis*, *Amaranthus retroflexus*), *Cirsium arvense*, *Chenopodium album*, *Convolvulus arvensis*, *Sinapis arvensis*.

Figura 18. Effetto dell'epoca di semina sulla composizione relativa dell'infestazione naturale nel testimone infestato.

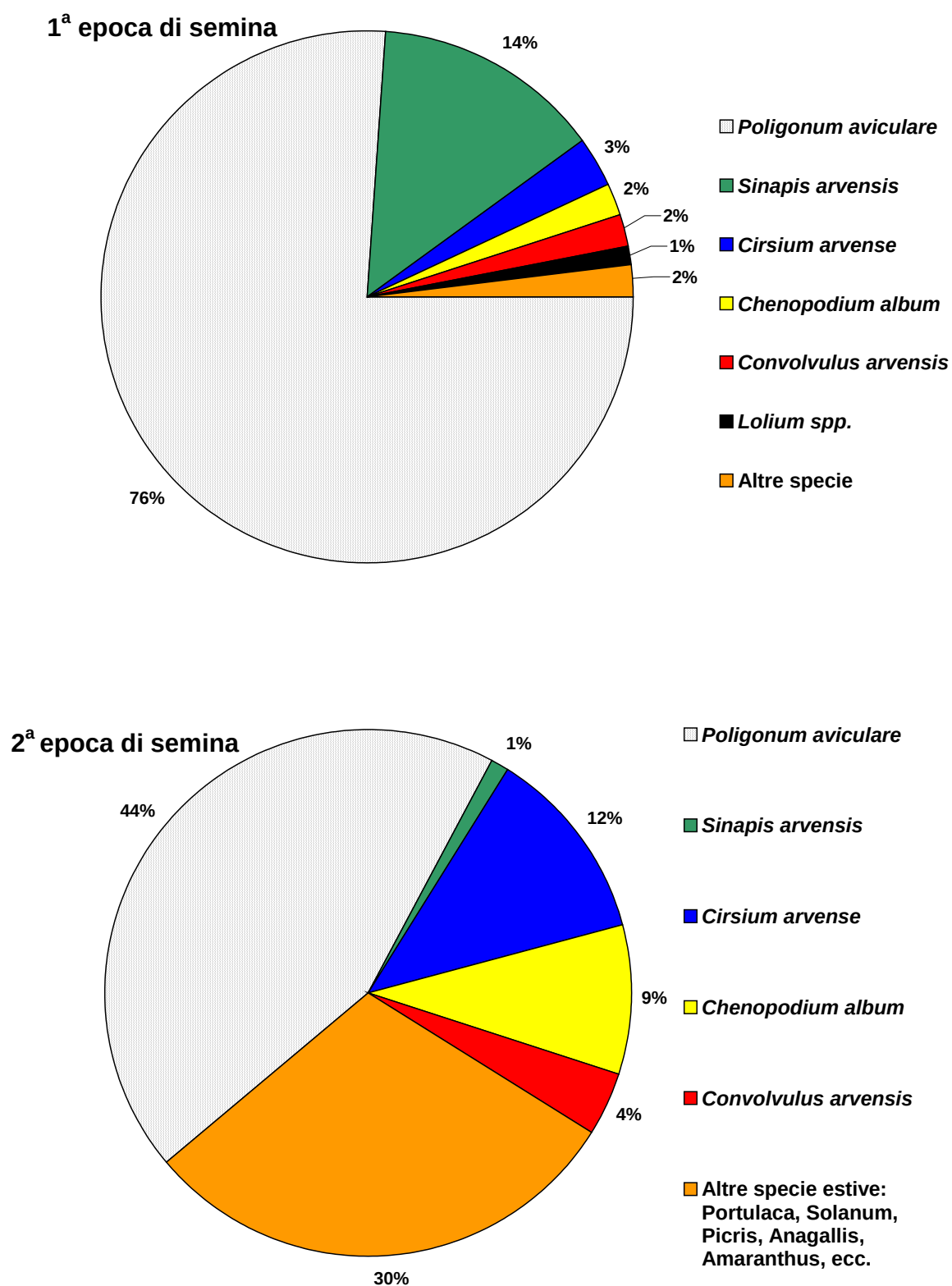


Figura 19. Cece: diverse caratteristiche dei genotipi in prova (foto **A** e **B**, in alto); diversi livelli di controllo meccanico dell'infestazione naturale (foto **C** e **D**, in basso).



A) C 120: genotipo sensibile al freddo in semina autunnale



B) C 134: genotipo tollerante il freddo ($LT_{50} -5,3^{\circ}C$) in semina autunnale



C) C 134: una tesi sarchiatura + *finger weeding* in semina autunnale



D) C 11132 R: una tesi sarchiatura + *finger weeding* in semina tardo invernale

Discussione

I risultati ottenuti mostrano una notevole differenza di risposta dei genotipi al tipo ed intensità di controllo meccanico delle infestanti applicato, anche in relazione all'epoca di semina.

La semina precoce, avvenuta ogni anno in autunno nel mese di novembre, ha permesso di ottenere ottimi livelli di resa, che nei casi applicativi più interessanti (sarchiatura + *finger weeding*; coltura pura) sono stati sempre maggiori di quelli ottenuti in condizioni di controllo analoghe dagli stessi genotipi seminati alla seconda epoca, ovvero ogni anno con circa 90 giorni di ritardo sulla prima epoca.

Pertanto, prolungandone il ciclo vegetativo, è stato permesso alla coltura lo sfruttamento ottimale delle risorse limitanti in ambiente mediterraneo, principalmente l'acqua. Questo è in accordo con quanto sostenuto, ad esempio, da Calcagno e Gallo (1997) in riferimento all'introduzione della semina autunnale del cece in Sicilia.

Tra le due possibilità di controllo meccanico provate, peraltro entrambe solo parzialmente soppressive delle infestanti, la sola sarchiatura nell'interfila sembra non essere sufficiente, anche in combinazione con il mezzo colturale rappresentato dalla scelta del genotipo e dell'epoca di semina, ad ottenere i superiori livelli produttivi attesi. Invece, in condizioni di semina autunnale la sarchiatura nell'interfila combinata con il *finger weeding* sulla fila della coltura ha permesso di ottenere, solo nei genotipi a maggiore abilità competitiva C134 e C11132 R (figura 19), ottimi livelli di resa con punte di $3,1 \text{ t ha}^{-1}$ in media, produzioni che diremmo quasi sorprendenti se paragonate alle medie di resa italiane per il cece seminato in epoca "convenzionale", che in annate con piovosità nella media nei casi migliori non vanno oltre $1,8 - 2,0 \text{ t ha}^{-1}$.

Nelle nostre condizioni operative, sui migliori genotipi (C134 e C11132 R) della coltura a semina autunnale, sarchiatura + *finger weeding* e coltura pura (assenza di competizione con le infestanti) non hanno dato differenze significative in termini di resa in granella. Questo verosimilmente si spiega con l'elevata efficienza della tecnica di erpicatura sulla fila operata dal *finger weeder* raggiunta nella nostra prova.

Grazie anche alla tempestività dell'intervento meccanico, applicato quando il cece si trovava ad uno stadio precoce di sviluppo (a circa 5 – 6 foglie vere, figura 19) la coppia di elementi a dita folli è intervenuta vantaggiosamente sulla fila della coltura,

enfaticamente l'effetto soppressivo delle infestanti dovuto alla notevole abilità competitiva posseduta dai genotipi C134 e C11132 R. In campo si è intervenuti in una fase in cui la coltura, ancora poco sviluppata, è solitamente in forte competizione con le infestanti più aggressive. C134 e C11132 R, però, proprio in questa fase di sviluppo precoce hanno dimostrato di possedere un differenziale di sviluppo tale da metterle in una posizione di vantaggio competitivo nei confronti delle infestanti (cfr. prova n. 1).

La comunità di specie infestanti effettivamente presenti in coltura varia in base all'epoca di semina e al ciclo di coltivazione. La specie infestante più rappresentata in termini di frequenze assolute in entrambe le epoche di semina della coltura è stata *Polygonum aviculare*. In epoca autunnale si è visto che il numero di individui appartenenti a questa specie arriva a rappresentare da solo circa i 3/4 dell'infestazione (figura 18). In epoca di semina tardo-invernale, la presenza di *Polygonum aviculare* scende in media al 44 % del totale, per lasciare spazio ad una serie di specie, del tutto assenti in epoca autunnale, a sviluppo prettamente primaverile-estivo come *Portulaca oleracea*, *Solanum nigrum*, *Picris echinoides*, *Anagallis arvensis* e *Amaranthus retroflexus* (in media, 30 % del totale, figura 18).

Molto probabilmente, la componente climatica e ambientale, e la variabile della composizione dell'infestazione reale, influenzata in linea diretta dalla composizione dell'infestazione potenziale contenuta all'interno della banca semi di ciascun terreno (*seed-bank*) possono far variare anche notevolmente i risultati di simili sperimentazioni, se ripetute in altri contesti con condizioni ambientali differenti. Per questi motivi, sperimentazioni di questo tipo dovrebbero essere condotte in ambienti diversi, per permettere l'arricchimento delle conoscenze nel campo del controllo integrato non chimico delle infestanti.

Conclusioni

I risultati della nostra prova permettono di trarre le seguenti conclusioni:

- in cece, tradizionalmente coltura sarchiata primaverile-estiva, il controllo meccanico delle infestanti tramite la sola sarchiatura nell'interfila non può essere realizzato con assoluta affidabilità nella generalità dei casi, specialmente se non si interviene in modo tempestivo su genotipi privi di superiore abilità competitiva nei confronti delle infestanti;
- in condizioni di divieto d'uso di erbicidi (in agricoltura biologica), un buon livello di controllo non chimico integrato delle infestanti si può ottenere combinando uno o più mezzi colturali (nel nostro caso: scelta del genotipo e scelta dell'epoca di semina) con uno o più mezzi di controllo non chimico (nel nostro caso: sarchiatura nell'interfila e *finger weeding* sulla fila della coltura), che altrimenti da soli sarebbero stati solo parzialmente soppressivi delle infestanti;
- il *finger weeder* si conferma essere un mezzo meccanico semplice ma affidabile per il controllo delle infestanti (a stadi precoci di sviluppo). Esso rimane, d'altra parte, uno dei pochi mezzi meccanici che permettono di intervenire direttamente sulla fila delle colture, senza danneggiare queste ultime.
- relativamente agli anni di prova (annate agrarie 2004/2005 e 2005/2006), nella zona collinare dell'Alto Lazio è stato possibile ottenere elevate produzioni di granella di ottima qualità, da colture di cece sane e resistenti agli stress abiotici (freddo) e biotici (Antracnosi) impiantate con semina "anticipata" in epoca autunnale;
- sui genotipi studiati è stato sempre possibile procedere alla raccolta meccanica integrale della granella, trattandosi di tutti genotipi a portamento eretto, quindi idonei alla raccolta con una comune mietitrebbiatrice, adattata con semplici accorgimenti per la raccolta del cece;
- in futuro, si auspica una più ampia diffusione in coltura di queste ed altre linee stabili di cece che assommano diverse caratteristiche positive, e si auspica la registrazione di una nuova cultivar italiana a semina autunnale, a partire dal materiale genetico studiato nelle nostre prove.

Capitolo 9

Conclusioni comuni alla Tesi di Dottorato

Riassumendo ora brevemente alcuni concetti fondamentali, dal presente studio emerge che, per ottenere con un certo margine di sicurezza la riuscita agronomica di una coltivazione di pieno campo in biologico di cece a semina autunnale in ambienti collinari dell'Italia Centrale, versante Tirrenico (ben rappresentati climaticamente dall'areale di Viterbo), occorre, principalmente, che si disponga di cultivar (o linee stabili) che siano dotate al tempo stesso delle seguenti prerogative:

- essere resistenti alla Rabbia del cece;
 - essere resistenti a temperature di alcuni gradi inferiori allo zero;
 - essere dotate di superiore abilità competitiva nei confronti delle infestanti;
 - avere *habitus* eretto, per permettere la raccolta meccanica con mietitrebbiatrice.
-
- Inoltre, le condizioni climatiche stagionali devono permettere sempre una tempestiva preparazione del terreno per la semina autunnale, in un'epoca in cui le precipitazioni possono rendere i terreni impraticabili per molti giorni consecutivi.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il signor Albino Balletti, funzionario tecnico in servizio presso il Dipartimento di Produzione Vegetale dell'Università della Tuscia, e la signora Ines Natali per la fattiva collaborazione nello svolgimento delle prove di campo.

Si ringrazia inoltre la signora D. De Paolis per il supporto fornito nel corso dell'intero svolgimento delle prove.

Alla memoria della cara amica Sabrina Ronzani.

Capitolo 10

BIBLIOGRAFIA

- Angonin C, Caussanel JP and Meynard JM, 1996. Competition between winter wheat and *Veronica hederifolia*: influence of weed density and the amount and timing of nitrogen application. *Weed Research* **36**, 175-188.
- Balyan RSR, Malik K, Panwar RS & Singh S, 1991. Competitive ability of winter wheat cultivars with wild oat (*Avena ludoviciana*). *Weed Science* **39**, 154-158.
- Bàrberi P, 2000. Il controllo integrato delle infestanti nelle colture orticole. *Informatore Agrario* **21**, 91-97.
- Bàrberi P e Paolini R, 1998. Il controllo delle infestanti secondo il regolamento CEE 2078/92. *Informatore Agrario* **48**, 69-74.
- Blackshaw RE, 1983. Safflower (*Carthamus tinctorius*) density and row species effects on competition with green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Science* **41**, 403-408.
- Brougham RW, 1958. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. *Australian Journal of Agricultural Research* **9**, 39-52.
- Calcagno F and Gallo G, 1997. Agronomic context and problems of chickpea cultivation in Central and Southern Italy. In "New perspectives for an ancient species: the Chickpea in the economy and diet of Mediterranean people". *Proceedings of the Chickpea Conference*, University La Sapienza, 5 December 1995, Rome, Italy. INTAGRES and ICARDA, Aleppo, Syria, 102 pp.
- Calcagno F, Gallo G, Raimondo I e Venora G, 1987. Effetti della densità colturale in differenti genotipi di cece. In: *La coltura del cece in Italia* (ed. P. Crinò), 128-129. ENEA, SIGA (Società Italiana di Genetica Agraria), Terra & Sole, Bologna, Italy.
- Caporali F, Campiglia E, Paolini R & Mancinelli R, 1998. The effect of crop species, nitrogen fertilization and weeds on winter cereal/pea intercropping. *Italian Journal of Agronomy* **2**, 1-9.
- Carlson HL and Hill JE, 1985. Wild oat (*Avena fatua* L.) competition with spring wheat: effects of nitrogen fertilization. *Weed Science* **34**, 29-33.

- Carputo D, Cardì T, Palta J P, Sirianni P, Vega S and Frusciante L, 2000. Tolerance to low temperatures and tuber soft rot in hybrids between *Solanum commersonii* and *Solanum tuberosum* obtained through manipulation of ploidy and endosperm balance number (EBN). *Plant Breeding* **119**, 127-130.
- Carputo D, Terra A, Barone A, Esposito F, Fogliano V, Monti L and Frusciante L, 2003. Glycoalkaloids and acclimation capacity of hybrids between *Solanum tuberosum* and the incongruent hardy species *Solanum commersonii*. *Theor Appl Genet* **107**, 1187-1194.
- Carroll Johnson W III and Mullinix BG Jr, 1995. Weed management in peanut using stale seedbed techniques. *Weed Science* **43**, 293-297.
- Christensen S, 1995. Weed suppression ability of spring barley varieties. *Weed Research* **35**, 241-247.
- 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.
- Dana N, Shenkoru T, Tegegne A, 2000. Growth rates and testicular characteristics of Ethiopian highland sheep offered chickpea haulm supplemented with incremental levels of *Leucaena leucocephala* leaf hay. *Livestock Production Science* **65**, 209-217.
- De Lucas Bueno C and Froud-Williams RJ, 1996. Effect of the seed size on the competitive ability of winter wheat cultivars. In: *Proceedings X^{ème} Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes*, Dijon, France, 137-142.
- De Wit CT, 1960. On competition. *Verslagen van Landouwkundige Onderzoekingen* **66**, 1-82.
- De Wit CT and Van Den Bergh JP, 1965. Competition between herbage plants. *Neth. J. Agric. Science* **13**, 212-221.
- De Wit CT and Goudriaan J, 1974. Simulation of ecological processes. *Centre Agric. Publ., Docum.* Wageningen, The Netherlands.
- Dhima KV, Eleftherohorinos IG and Vasilakoglou IB, 2000. Interference between *Avena sterilis*, *Phalaris minor* and five barley cultivars. *Weed Research* **40**, 549-559.
- Di Tomaso J, 1995. Approaches for improving crop competitiveness through the manipulation of fertilization strategies. *Weed Science* **43**, 491-497.

- Didon UME and 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.
- Donald CM and Hamblin J, 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy* **28**, 361-405.
- Donald CM, 1958. The interaction of competition for light and for nutrients. *Aust. J. Agric. Res.* **12**, 810-820.
- Donald CM, 1963. Competition among crop and pasture plants. *Adv. Agron.* **15**, 1-118.
- Erman M, Tepe I, Yazlik A, Levent R & Ipek K, 2004. Effect of weed control treatments on weeds, seed yield, yield components and nodulation in winter lentil. *Weed Research* **44**, 305-312.
- Faustini F, Paolini R, Saccardo F, Crinò P and Mirabelli C, 2004. First results on the competitive ability of lentil (*Lens culinaris*) genotypes. *Proceedings 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control*, Lillehammer, Norway, 8-10 March, 9-10.
- Ferrero A e Vidotto F, 1998. Mezzi alternativi al diserbo chimico nelle colture orticole. In *Atti 11° Convegno biennale SIRFI "il controllo della flora infestante nelle colture orticole"*, Bari, novembre 1998, 63-110.
- Gomez KA and Gomez AA, 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd edn. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Goñi I and Valentin-Gamazo C, 2003. Chickpea flour ingredient slows glycemic response to pasta in healthy volunteers. *Food Chemistry* **81**, 511-515.
- Gonzales Ponce R and Santin I, 2001. Competitive ability of wheat cultivars with wild oats depending on nitrogen fertilization. *Agronomie* **21**, 119-125.
- Gooding MJ, Thompson AJ & Davies WP, 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.
- 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 JP, 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am. Nat.* **111**, 1169-1194.

- Grime JP, 1979. Plant strategies and vegetation processes. John Wiley & Sons, New York, New York.
- Guet G, 2001. Agricoltura biologica mediterranea. Edagricole, Bologna, 527 pp.
- Hansen P K, 2002. A method to index competitiveness against weeds of spring barley varieties. *Proceedings 12th European Weed Research Society (EWRS) Symposium*. Wageningen, The Netherlands, 296-297.
- Hansen P K, Christensen S, 2000. Index of the competitive ability against weeds of winter wheat varieties. *DIAS Report n. 23. 17. Danish Crop Protection Conference*, Flakkebjerg, 103-113.
- Iovene M, Barone A, Frusciante L, Monti L and Carputo D, 2004. Selection for aneuploid potato hybrids combining a low wild genome content and resistance traits from *Solanum commersonii*. *Theor Appl Genet* **109**, 1139-1146.
- Janacek J & Prasil I, 1991. Quantification of plant frost injury by nonlinear fitting of an S-shaped function. *Cryo – Lett* **12**, 47-52.
- 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 volume 3*, 971-978.
- Jørnsgård B, Rasmussen K, Hill J, Christiansen L, 1996. Influence of nitrogen on competition between cereals and their natural weed populations. *Weed Research* **36**, 461-470.
- Kropff MJ, Baumann DT and Bastiaans L, 2000. Dealing with weeds in organic agriculture – challenge and cutting edge in weed management. In: *Proceedings 2000 13 th IFOAM Scientific Conference*, Basel, Switzerland, 175-177.
- Lemerle D, Verbeek B and Orchard B, 2001. Ranking the ability of wheat varieties to compete with *Lolium rigidum*. *Weed Research* **41**, 197-209.
- Lemerle D, Verbeek B, Cousens RD, Coombes NE, 1996b. The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research* **36**, 505-513.
- Lemerle, D, Verbeek B & Coombes NE, 1996a. Interaction between wheat (*Triticum aestivum*) and diclofop to reduce the cost of annual ryegrass (*Lolium rigidum*) control. *Weed Science* **44**, 634-639.
- Liebman M, 2000. Integration of soil, crop and weed management in low external – input systems. *Weed Research* **40**, 27- 47.

- Lotz LA, Groeneveld RMW, De Groot NA, 1991. Potential for reducing herbicide inputs in sugar beet by selecting early closing cultivars. *Brighton Crop Protection Conference, Weeds*, 1241-1247.
- Malhotra RS and Saxena MC, 1993. Screening for cold and heat tolerance in cool-season food legumes. In: *Breeding for Stress Tolerance in Cool-season Food Legumes* (eds. KB Singh and MC Saxena), 227-244, Wiley & Sons Publishing, Chichester, UK.
- Martin MPLD and Field RJ, 1988. Influence of time of emergence of wild oat on competition with wheat. *Weed Research* **28**, 111-116.
- Mc Donald GK, 2003. Competitiveness against grass weeds in field pea genotypes. *Weed Research* **43**, 48-58.
- Mc Gilchrist CA and Trenbath BR, 1971. A revised analysis of plant competition experiments. *Biometrics* **27**, 659-671.
- Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Armienta-Rodelo E, Carábez-Trejo A & Mora-Escobedo R, 2000. Physicochemical and nutritional characteristics of extruded flours from fresh and hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L). *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* **33**, 117-123.
- Mirabelli C, Faustini F and Paolini R, 2003. First results on competitive effects of weeds on chick-pea and potato genotypes. In: *Proceedings 7th EWRS Mediterranean Symposium*, Adana Turkey, 6-9 May, 13-14.
- Mortensen DA, Bastiaans L, Sattin M, 2000. The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook. *Weed Research* **40**, 49-62.
- O'Toole N, Stoddard FL and O'Brien L, 2001. Screening of chick-peas for adaptation to autumn sowing. *J. Agronomy & Crop Science* **186**, 193-207.
- Paolini R e Saccardo F, 2002. Grain legumes for organically managed cropping systems. *Grain Legumes* **38**, 10-11.
- Paolini R, 1996. Agronomic choices as a way to lower weed competitive ability. Perspectives for integrated control. In *Atti X^{eme}. Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes*. Dijon Settembre 1996, 99-105.
- Paolini R, 2000. L'evoluzione del diserbo: le pratiche agronomiche. In *Atti XII Convegno SIRFI*, Milano, Dicembre 2000, 19-54.

- Paolini R, 2001. Il controllo integrato delle infestanti: nuove idee e maggior concretezza. *Informatore Agrario* **26**, 67-72.
- Paolini R, Campiglia E 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 and Benedetti G, 2002. Early growth and competitive ability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) varieties. In: *Proceedings 12th Symposium EWRS*, Wageningen, NL, 266-267.
- Paolini R, Faustini F e Fiorillo A, 2004. Effetti sulle colture in successione di Hussar OF applicato su grano duro. *Informatore Agrario*, LX, **14**, 81-84.
- Paolini R, Faustini F, Saccardo F and Crinò P, 2006. Competitive interactions between chick-pea genotypes and weeds. *Weed Research* **46**, 335-344.
- Paolini R, Principi M, Froud-Williams RJ, Del Puglia S and Biancardi E, 1999. Competition between sugarbeet and *Sinapis arvensis* and *Chenopodium album* as affected by timing of nitrogen fertilization. *Weed Research* **39**, 425-440.
- Paolini R, Colla G, Saccardo F and 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.
- Peters NCB and Wilson BJ, 1983. Some studies on the competition between *Avena fatua* L. and spring barley. II. Variation of *Avena fatua* L. emergence and development and its influence on crop yield. *Weed Research* **23**, 305-311.
- Porta-Puglia A and Aragona M, 1997. Improvement of grain legumes. General part: diseases. *Field Crops Research* **53**, 17-30.
- Porta-Puglia A and Crinò P, 1993. 2. Case histories: resistenza a funghi fitopatogeni. *Ascochyta rabiei*/cece. In: Miglioramento genetico delle piante per resistenza a patogeni e parassiti (eds. P Crinò, A Sonnino, F Saccardo, M Buiatti, A Porta-Puglia, G Surico), 350-370. Calderini Edagricole, Bologna, Italy.
- Ranalli P, 2001. Leguminose e agricoltura sostenibile, Edagricole, 628 pp.

- Rasmussen J, 1996. Influence of nitrogen on competition between cereals and their natural weed populations. *Weed Research* **36**, 461-470.
- Rasmussen J and Ascard J, 1995. Weed control in organic farming systems. In "Ecology and integrated farming systems" (eds. Glen DM, Greaves MP and Anderson HM), 49-67. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- Saccardo F, Crinò P e Giordano I, 2001. Cece (*Cicer arietinum* L.). In: Leguminose e Agricoltura Sostenibile - Specie da granella e cover crops (ed. P. Ranalli), 555-590, Calderini Edagricole, Bologna, Italy.
- Saccardo F, Crinò P, Vitale P, Chiaretti Mosconi C, Coduti C, Porta-Puglia A, Infantino A, Venora G, Gallo G, Ocampo B, Singh K B, 1996. Sviluppo di germoplasma di cece resistente a stress nell'ambito di una collaborazione ICARDA- Istituti italiani di ricerca. *Agricoltura Ricerca* **161**:77-82.
- San J, 1997. Steel in the Field: A Farmers Guide to Weed Management Tools, Greg Bowman, ed., Sustainable Agriculture Network, 1997.
- Sarno R, Stringi L, Amato G e Cervello MC, 1987. Effetto dell'epoca di semina sulla produttività e sulle sue componenti in alcune popolazioni di cece. In: La coltura del cece in Italia (ed. P Crinò), 132-139. ENEA, SIGA (Società Italiana di Genetica Agraria), Terra & Sole, Bologna, Italy.
- Satorre EH and Snaydon RW, 1992. Root and shoot competition between spring cereals and *Avena fatua* L. *Weed Research* **32**, 45-55.
- Singh KB, 1997. Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research* **53**, 161-170.
- Snaydon RW, 1991. Replacement or additive designs for competition studies? *Journal of Applied Ecology* **28**, 930-946.
- Tucci M, Leone A, Coduti C and Saccardo F, 1997. Evaluation and breeding of chickpea for cold tolerance. In "New perspectives for an ancient species: the Chickpea in the economy and diet of Mediterranean people". Proceedings of the Chickpea Conference, University La Sapienza, 5 December 1995, Rome, Italy. INTAGRES and ICARDA, Aleppo, Syria, 102 pp.
- Tugnoli V, 2001. La sostanza organica: un tesoro in via di esaurimento. *Informatore Agrario* **7**, 83-87.
- Van Delden A, Plotz LA, Bastiaans L, Franke AC, Smid HG, Groenvelde RM and Kropff MJ, 2002. The influence of nitrogen supply on the ability of wheat and

- potato to suppress *Stellaria media* growth and reproduction. *Weed Research* **42**, 429-445.
- Vicari A, 1995. La dispersione degli erbicidi nell'ambiente. *Informatore Fitopatologico* **7-8**, 8-12.
- Wicks G A, Ramsel R E, Nordquist P T, Schimdt J W, Challaiah, 1986. Impact of wheat cultivars on establishment and suppression of summer annual weeds. *Agronomy Journal* **78**, 59-62.
- Williams E D, 1977. Growth of seedling of *Agropiron repens* L. Beauv. And *Agrostis gigantea* Roth. In wheat and barley: effect of time of emergence, nitrogen supply and cereal seed rate. *Weed Research* **17**, 69-76.
- Wilson J B, 1988. Shoot competition and root competition. *Journal of Applied Ecology* **25**, 279-296.
- Yip C P, Sweet R D and Sieczka J B, 1974. Competitive ability of potato cultivars with major weed species. In: *Proceedings Northern Weed Society* **28**, 271-281.
- Zachos D G, Panagopoulos C G, Makris S A, 1963. Recherches sur la biologie, l'epidemiologie et la lutte contre l'antracnose du pois-chiche. *Anns Ist. Phytopath. Benaki*, **5**, 167-192.
- Zohary D e Hopf M, 2000. Domestication of Plants in the Old World, third edition (Oxford: University Press, 2000), pp. 110.

Siti internet visitati

<http://www.fao.org>

<http://www.istat.it>

<http://www.politicheagricole.it>