

Acqua e malerbe: un binomio da gestire per la produttività e l'ambiente

Antonio Berti^{1*}, Paolo Bàrberi², Francesco Vidotto³, Aldo Ferrero³, Giuseppe Zanin¹

¹ *Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Università di Padova
Viale dell'Università 16, 35023 Legnaro (Pd)*

² *Scuola Superiore Sant'Anna*

Piazza Martiri della Libertà 33, 56127 Pisa

³ *Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del Territorio, Università di Torino
Via Leonardo da Vinci 44, 10095 Grugliasco (To)*

Società Italiana per la Ricerca sulla Flora Infestante

Riassunto

La gestione dell'acqua a livello di sistema colturale ed in particolare l'epoca e la modalità degli apporti idrici sono a tutti gli effetti una componente essenziale di una gestione integrata delle infestanti. Lo stato idrico del terreno, infatti, influenza la persistenza dei semi, può contribuire ad indurre o interrompere la dormienza regolandone quindi la germinazione, influenza l'affrancamento delle plantule, l'esito della competizione in fase adulta ed il numero, la vitalità ed il grado di dormienza dei semi prodotti. Le interazioni tra stato idrico del terreno e competizione sono però molto complesse e solo parzialmente conosciute. Un approfondimento delle conoscenze sarebbe quindi molto promettente in quanto potrebbe consentire di immaginare approcci anche nuovi e non scontati nella gestione delle malerbe. Questi studi potrebbero portare un contributo importante allo sviluppo di una "Gestione Ecologica delle Malerbe" che non mira semplicemente ad eliminare le malerbe, ma a ridurne la densità, a limitarne la competitività e a prevenire cambiamenti floristici dannosi.

Parole chiave: acqua, malerbe, competizione, sistema colturale, gestione integrata delle infestanti.

Summary

WATER MANAGEMENT AS A KEY COMPONENT OF INTEGRATED WEED MANAGEMENT

Water management within the cropping system is a key factor for an integrated weed management. Soil moisture affects seed persistence and seed dormancy, thus influencing their germination, the establishment of seedlings as well as the competition at adult stage and the number, vitality and dormancy of the new seeds produced by the weeds. The interactions among water availability and competition are very complex and still not fully understood. A research effort in this sector should be very relevant for the development of new approaches of weed management, such as "Ecological weed management", aiming to reduce weed density and competitiveness and, in the medium term, to prevent undesired modifications of the weed flora.

Key-words: water, weeds, competition, cropping system, integrated weed management.

* Autore corrispondente: tel.: +39 049 8272828; fax: +39 049 8272839. Indirizzo e-mail: antonio.berti@unipd.it

1. Introduzione

La quantità di acqua che può essere utilizzata dalla pianta per la crescita è regolata sostanzialmente dalla sua disponibilità nell'arco della stagione vegetativa (precipitazioni e irrigazioni), dalla morfologia e dallo sviluppo dell'apparato radicale e dalle caratteristiche fisiologiche della pianta stessa, in particolare dalla sua efficienza d'uso. In ambienti aridi o semi-aridi, la presenza di infestanti che utilizzano parte delle scarse riserve idriche è chiaramente molto dannosa per la coltura; anche in situazioni di elevata disponibilità idrica complessiva, comunque, si possono verificare fasi di stress idrico di intensità variabile in relazione alle variazioni della disponibilità naturale e degli apporti (distribuzione irregolare della piovosità, irrigazioni turnate con turni prolungati). In queste condizioni la presenza di piante infestanti può determinare effetti competitivi anche intensi, in particolare nei momenti di maggiori esigenze idriche delle colture, che, per le principali specie agrarie, corrispondono al periodo riproduttivo, durante il quale è richiesta un'elevata traslocazione dei fotosintati ai frutti (Radosevich et al., 1997).

Lo stato idrico del terreno influenza la persistenza dei semi, può contribuire ad indurre o interrompere la dormienza regolandone quindi la germinazione, influenza l'affrancamento delle plantule, l'esito della competizione in fase adulta ed il numero, la vitalità ed il grado di dormienza dei semi prodotti. La gestione del sistema colturale ed in particolare l'epoca e la modalità degli apporti idrici sono a tutti gli effetti una componente importante della gestione integrata delle infestanti (Integrated Weed Management – IWM, Shaw, 1982).

2. Acqua ed ecofisiologia della germinazione dei semi

Come in tutte le piante, anche nelle malerbe l'acqua svolge un ruolo fondamentale nella regolazione delle funzioni vitali. Tuttavia, tra piante coltivate e malerbe esistono delle differenze eco-fisiologiche, soprattutto per quanto riguarda l'effetto dell'acqua nel modulare i fenomeni di germinazione dei semi ed emergenza delle plantule; nelle malerbe tale azione è di solito molto più pronunciata che non nelle colture. Le malerbe, infatti, presentano una molteplicità di

condizioni fisiologiche del seme maturo (differenti stadi di dormienza primaria e/o suscettibilità alla dormienza indotta) che normalmente non si riscontra nelle colture. Conoscere le relazioni che intercorrono tra acqua e malerbe nelle primissime fasi di crescita di queste ultime rappresenta pertanto un aspetto importante.

2.1 Germinazione, emergenza delle malerbe e contenuto idrico del terreno

Il contenuto idrico del terreno è uno dei principali fattori ambientali in grado di influenzare il tasso di germinazione dei semi e conseguentemente il flusso delle emergenze delle infestanti in campo. Il passaggio dalla fase di imbibizione a quella di germinazione del seme dipende dal raggiungimento di un valore critico del potenziale idrico del terreno (ψ) e di un valore critico della percentuale di acqua assorbita dal seme in rapporto alla propria massa (Boyd e Van Acker, 2004). Entrambi questi valori sono specie-specifici, ma per motivi sia di importanza pratica che di facilità di misura, per una data specie non si stima la dinamica della germinazione quanto quella delle emergenze in relazione a ψ .

Alcune specie (es. *Alopecurus myosuroides*, *Digitaria* spp., *Rumex crispus* e *Setaria faberii*) necessitano di più cicli di idratazione-disseccamento-reidratazione per avviare la germinazione dei propri semi. Il potenziale idrico del terreno non rappresenta generalmente un fattore limitante per l'emergenza delle malerbe in climi temperati e temperato-freddi (es. in Canada; Leblanc et al., 2002), ma può esserlo in climi mediterranei, aridi e sub-aridi. In questi ambienti, la limitata disponibilità idrica è un fattore che può ridurre l'incidenza degli attacchi di specie parassite quali *Orobanche* spp. (Manschadi et al., 2001), aspetto da tenere in debita considerazione nei sistemi orticoli mediterranei irrigui.

In alcune specie, tuttavia, il ridotto contenuto idrico del seme può invece rappresentare una condizione favorevole alla germinazione. Ad esempio, in *Lolium rigidum* si è osservato che il tasso di rimozione della dormienza dei semi è maggiore quando il loro contenuto idrico è < 9% (Steadman et al., 2003). In questa specie, sono importanti anche le condizioni ambientali in cui si è formato il seme. I semi di *L. rigidum* che maturano in condizioni di basse temperatu-

re e limitata umidità relativa dell'aria presentano una dormienza più ridotta rispetto a quelli che si formano in buone condizioni idriche (Steadman et al., 2004).

Albrecht e Pilgram (1997), in uno studio volto ad esaminare l'effetto di diverse variabili colturali ed ambientali sulla densità della banca semi in agroecosistemi arativi, hanno osservato che il contenuto idrico del suolo è risultato come la variabile ambientale più importante.

La sommersione costante o per periodi più o meno prolungati del terreno condiziona fortemente le caratteristiche delle comunità vegetali presenti in un dato ambiente. Questo fenomeno è particolarmente evidente nell'agroecosistema risicolo, dove si è differenziata una flora infestante altamente specializzata. L'adattamento delle piante infestanti a tali condizioni ambientali estreme può indurre l'insorgenza di strategie germinative inusuali: ad esempio, i semi di *Leptochloa chinensis* possono germinare anche in situazione di completa anossia (Benvenuti et al., 2004).

Tra le principali infestanti del riso, il riso crodo rappresenta forse la più importante infestante del riso a livello mondiale. Botanicamente è considerata appartenente alla stessa specie del riso coltivato, rispetto al quale presenta analoghe esigenze idriche, oltre a numerose caratteristiche anatomiche, biologiche ed ecofisiologiche che la rendono particolarmente competitiva nei confronti della coltura. L'acqua di sommersione può tuttavia inibirne in misura variabile la germinazione e l'emergenza. Una delle tecniche più diffuse per il controllo di questa malerba è la falsa semina. Per una buona riuscita di questo intervento è indispensabile una corretta gestione dell'acqua per stimolare la germinazione e l'emergenza del riso crodo. È stato osservato che, in generale, le più elevate percentuali di emergenza, in relazione ad una data banca semi, si ottengono quando il suolo è in condizioni di saturazione. Viceversa, la sommersione rallenta e riduce la germinazione aumentandone la scalarità (figura 1), marcatamente nei terreni pesanti (Vidotto e Ferrero, 2000). Va tuttavia segnalato che ad una minore emergenza in condizioni di sommersione corrisponde spesso lo sviluppo di plantule meno vigorose rispetto a quelle che si sviluppano in condizioni di saturazione. Pertanto, se da un lato la sola saturazione consente un più rapido

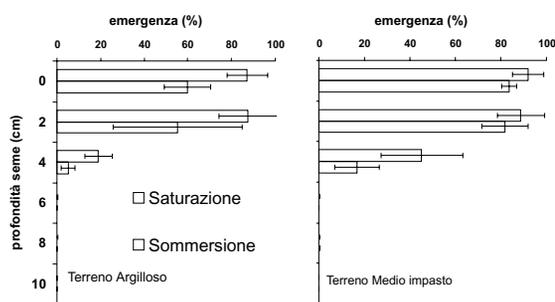


Figura 1. Relazione tra percentuale di emergenza del riso crodo, profondità del seme e condizioni idriche in due tipi di terreno. Da Vidotto e Ferrero (2000).

Figure 1. Relationship between emergence of red rice, seed depth and soil water status in two types of soils. From Vidotto e Ferrero (2000).

depauperamento della banca semi della malerba, dall'altro la sommersione determina lo sviluppo di plantule più facilmente controllabili con mezzi chimici o meccanici.

In condizioni ambientali non estreme, il flusso delle emergenze delle malerbe è maggiormente influenzato dalla distribuzione delle precipitazioni piuttosto che dalla loro quantità. Normalmente, infatti, si osserva un sincronismo tra il *pattern* stagionale delle emergenze e quello delle precipitazioni. Specie infestanti caratterizzate da *pattern* di emergenza più ampio (ad es. quelle appartenenti al gruppo eco-fisiologico delle "indifferenti"; Zanin et al., 2001) meglio si adattano a distribuzioni irregolari delle precipitazioni rispetto a specie con *pattern* di emergenza più ristretto, che possono emergere abbondantemente solo quando, in corrispondenza del loro picco stagionale d'emergenza, vi è una adeguata quantità di pioggia.

2.2 Interazioni tra acqua del terreno e luce

Ai fini degli effetti sulla germinazione ed emergenza delle infestanti, molto importanti sono anche le interazioni tra acqua e luce. L'idratazione del seme, infatti, determina quella del fitocromo e la sua conseguente attivazione. In agroecosistemi caratterizzati da sensibili variazioni stagionali nel contenuto idrico del terreno, la fotoinduzione della germinazione può essere fortemente ridotta (Gallagher e Cardina, 1997). Resta ancora da chiarire se un limitato contenuto idrico del terreno riduca (Juroszek e Gerhards, 2004) o aumenti (Botto et al., 2000) l'efficacia del "fotocontrollo", tecnica che mira

ad inattivare la germinazione dei semi delle malerbe evitando la loro esposizione alla luce (ottenibile ad esempio con la preparazione notturna del letto di semina). Verosimilmente, i risultati contrastanti di queste sperimentazioni sono da porre in relazione con la presenza – nelle diverse situazioni – di specie prevalenti caratterizzate da diverso fotoblastismo e/o differenti stadi di dormienza dei semi.

In alcune specie tipiche della risaia (es. *Heteranthera limosa*) si è osservato una complessa interazione acqua/luce sulla dinamica della dormienza dei semi (Baskin et al., 2003), i cui effetti sono risultati dipendere sia dal contenuto idrico del suolo sia dalla modalità di gestione dell'acqua nel sistema colturale: le condizioni di terreno asciutto in inverno ed inondato in estate rappresenterebbero una condizione favorevole alla germinazione della specie.

2.3. Interazioni tra acqua del terreno e temperatura

La germinazione e l'emergenza delle malerbe variano fortemente anche in dipendenza degli effetti delle interazioni tra acqua e temperatura dell'aria e del terreno. Ad esempio, in specie come *Amaranthus retroflexus* ed *Echinochloa crus-galli*, l'alternanza di temperatura diviene un fattore importante per l'interruzione della dormienza dei semi solo quando il contenuto idrico del suolo supera una soglia critica. Studi di laboratorio hanno evidenziato che, in queste due specie, un'idratazione sub-ottimale del substrato abbinata a temperature costanti sembra indurre nei semi lo stato di dormienza secondaria (Martinez-Ghersa et al., 1997). Tuttavia, Oryokot et al. (1997) hanno osservato che quando la temperatura ambientale si avvicina all'*optimum* per la specie ($T > 27,9$ °C), la capacità germinativa di *A. retroflexus* diventa indipendente dal contenuto idrico del terreno. I risultati parzialmente contrastanti di queste due esperienze suggeriscono che – anche nell'ambito della stessa specie – esistono differenze di comportamento germinativo probabilmente imputabili alle condizioni in cui semi appartenenti a differenti popolazioni si sono formati.

Più in generale, è noto che le caratteristiche della vegetazione delle aree naturali sono in buona misura influenzate dai principali parametri ambientali. Considerando gli aspetti climatici, particolare importanza assumono l'an-

damento delle temperature e le caratteristiche delle precipitazioni (quantità e distribuzione). Negli ambienti agricoli l'effetto del clima sulla vegetazione infestante risulta spesso fortemente mitigato dall'attività dell'uomo, rendendo le comunità vegetali normalmente più semplificate rispetto a quelle naturali. Numerosi accorgimenti agronomici sono infatti tesi a modificare in parte gli effetti del clima sulle piante coltivate e, conseguentemente, sulla vegetazione infestante. Pur senza considerare le situazioni estreme in cui la coltivazione si attua in modo svincolato dall'andamento climatico (es. in serra), anche le sistemazioni e le lavorazioni del terreno possono avere un effetto più o meno marcato sulle fluttuazioni termiche e idriche del suolo.

In alcuni casi, gli interventi agronomici non sono tuttavia in grado di mascherare completamente l'effetto dell'andamento termo-pluviometrico sulla vegetazione infestante. In uno studio condotto in Piemonte analizzando i dati malerbologici relativi alla coltura del mais e acquisiti in ottanta stazioni di rilevamento, è stato comunque possibile individuare alcune relazioni tra le caratteristiche climatiche dei siti (in particolare la disponibilità idrica) e la ricchezza specifica della vegetazione spontanea. In particolare, facendo ricorso alla classificazione climatologica di Thornthwaite (riferita all'andamento evapotraspirativo stagionale), è stato possibile individuare una minor ricchezza specifica negli areali tendenzialmente secchi ed un maggior numero di specie, in particolare monocotiledoni, negli ambienti tendenzialmente umidi (Ferrero e Vidotto, 2006).

2.4. Previsione dei flussi di emergenze delle malerbe in campo

Dal punto di vista agronomico, riuscire a stimare con un buon livello di precisione il flusso delle emergenze delle malerbe in campo rappresenta un'informazione molto importante ai fini dell'impostazione di una corretta strategia di gestione. Non sorprende quindi il fatto che numerosi ricercatori si siano in questi ultimi anni dedicati allo sviluppo di modelli matematici di previsione dell'emergenza delle malerbe. Recentemente, ad esempio, è stato sviluppato il modello SHAW, basato sulla stima delle emergenze in relazione a quella simultanea dei flussi di calore e di acqua nel suolo (Flerchinger e Hardegree, 2004).

In questo ambito, un'importante svolta metodologica si è avuta con lo sviluppo del concetto di *Hydrothermal Time* (Θ_H), che in malerologia ha subito trovato ampia applicazione nello sviluppo e/o affinamento di modelli di previsione delle emergenze (Roman et al., 1999 e 2000; Shrestha et al., 1999; Grundy et al., 2000; Hardegree et al., 2003; Masin et al., 2005). L'*Hydrothermal Time* rappresenta un'evoluzione del concetto di *Thermal Time* (comunemente espresso come *Growing Degree Days*, GDD): esso presuppone per ciascuna specie la stima, oltre che di una temperatura basale (T_b), anche di un potenziale idrico basale (ψ_b), al di sotto del quale il seme non è in grado di germinare (e quindi emergere). L'equazione per il calcolo dell'*Hydrothermal Time* è la seguente:

$$\Theta_H = \sum_{i=1}^n (\psi - \psi_b) [((T_{max} + T_{min})/2) - T_b]$$

(espresso in *Hydro Degree Days*; HDD)

dove:

- ψ = potenziale idrico del suolo (giornaliero),
- ψ_b = potenziale idrico basale per l'emergenza (specie-specifico),
- T_b = temperatura basale per l'emergenza (specie-specifica),
- T_{max} = temperatura massima (giornaliera),
- T_{min} = temperatura minima (giornaliera).

Generalmente, l'*Hydrothermal Time* si adatta meglio del *Thermal Time* a simulare l'emergenza di specie (come spesso le malerbe) che presentano dormienza dei semi. Leguizamón et al. (2005) hanno simulato l'emergenza cumulata di *Avena sterilis* in funzione del *Thermal time* o dell'*Hydrothermal time* e in relazione all'epoca di semina basandosi su un set di dati novennale. Nonostante l'adattamento delle funzioni sia migliore per il *Thermal time*, in questo caso è stato necessario sviluppare due funzioni diverse: una per la semina anticipata, in cui la minore percentuale di emergenza è dovuta allo scarso contenuto idrico del suolo ($\psi < \psi_b$) e una per la semina ritardata, in cui il contenuto idrico non è limitante ($\psi > \psi_b$). Nel caso dell'*Hydrothermal Time*, invece, un'unica funzione (funzione di Weibull) ha permesso di ottenere un adattamento statisticamente significativo indipendentemente dalle condizioni ambientali e dall'epoca di semina (figura 2). La possibilità di utilizzare un'unica funzione di validità generale rappresenta ovviamente un vantaggio dal pun-

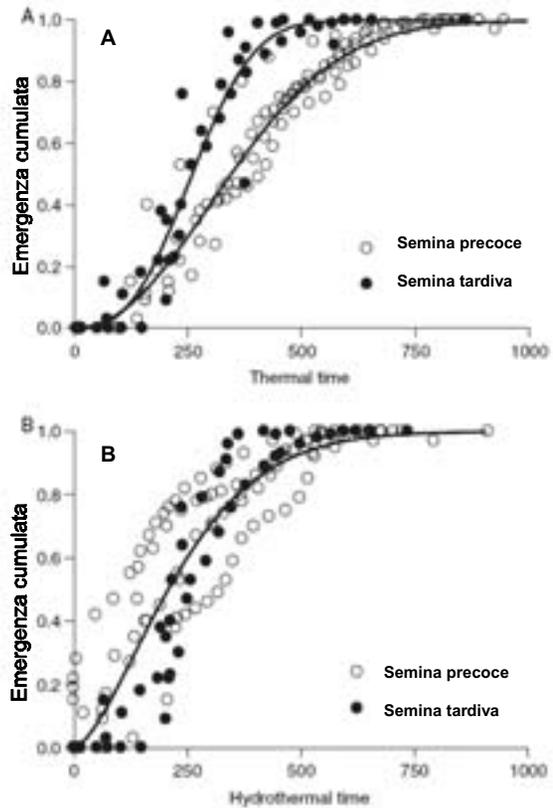


Figura 2. Emergenza cumulativa di *Avena sterilis* in funzione del Thermal Time (A) o dell'Hydrothermal Time (B) in relazione all'epoca di semina. Da Leguizamón et al. (2005).

Figure 2. Relationships between cumulated emergences of *Avena sterilis* and Thermal Time (A) or Hydrothermal Time (B), depending on time of emergence. From Leguizamón et al. (2005).

to di vista della modellizzazione del flusso delle emergenze della specie. In sintesi, dal lavoro citato risulta che per stimare le emergenze di *A. sterilis* si possono usare indipendentemente GDD e HDD quando le condizioni idriche del suolo non solo limitanti, mentre quando lo sono l'uso di HDD permette una maggiore flessibilità.

3. Competizione radicale per l'acqua

La competizione idrica a livello radicale inizia quando le "aree o zone di svuotamento" che circondano le radici (root depletion zones, cioè le zone dalle quali provengono l'acqua e gli elementi nutritivi che le radici assorbono) di piante vicine si sovrappongono. La competitività relativa delle infestanti e delle piante coltivate per

i fattori presenti nel terreno è quindi in larga parte determinata dal volume di suolo esplorato dalle radici di ciascuna specie (Sattin e Tei, 2001). La pianta schematicamente funziona come uno “stoppino”: le radici assorbono acqua dal terreno, che è trasportata e utilizzata nella pianta e poi traspirata nell’atmosfera. Questo processo dipende: 1) dallo stato idrico del terreno; 2) dalle caratteristiche della vegetazione; 3) dalla domanda evaporativa dell’atmosfera (cioè dal suo deficit di saturazione per il vapore d’acqua). Lo stato idrico del terreno e la domanda evaporativa dell’atmosfera sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche pedo-climatiche del sito mentre le caratteristiche della vegetazione più importanti sono: a) le resistenze che il flusso idrico incontra nell’attraversare radici, fusto e foglie ; b) le dimensioni e la struttura dell’apparato sia fogliare che radicale; c) l’efficienza nell’uso dell’acqua (Water Use Efficiency – WUE), cioè la quantità di sostanza secca prodotta per quantità di acqua traspirata.

La regolazione delle resistenze al flusso idrico dipende dalle specifiche caratteristiche genotipiche e fenotipiche della pianta; tra queste ultime ha importanza particolare la presenza di strutture di adattamento allo stress come la pubescenza fogliare, l’infossamento degli stomi, la presenza di tessuti lassi che favoriscono la conservazione dell’acqua. A livello di campo coltivato, dove gli stress idrici non possono comunque essere eccessivamente prolungati per non compromettere completamente la produzione, la struttura dell’apparato radicale svolge un ruolo particolarmente importante.

3.1 Ruolo degli apparati radicali

Nel caso della competizione tra coltura ed infestanti, lo studio di apparati radicali concreti è particolarmente complesso e laborioso per la difficoltà di distinguere le radici appartenenti a specie diverse. Negli anni '30 e '40 del secolo scorso, Pavlychenko effettuò in Canada una serie di studi quantitativi sulla struttura dell’apparato radicale di colture pure ed in competizione con infestanti (Pavlychenko, 1937). Effettuando rilievi su tutto il profilo radicale, questo Autore ricostruì la distribuzione spaziale e lunghezza complessiva dell’apparato radicale per orzo e frumento da soli o in competizione con *Avena fatua* e *Sinapis arvensis* seminate nell’interfila e con emergenza contemporanea alla

Tabella 1. Lunghezza relativa dell’apparato radicale di orzo e frumento in competizione con *Avena fatua* e *Sinapis arvensis*. Dati espressi in % del testimone non infestato. Modificato da Pavlychenko (1937).

Table 1. Relative root length (% of the weed-free check) of barley and wheat in competition with *Avena fatua* and *Sinapis arvensis*. Modified from Pavlychenko (1937).

Coltura	Giorni dall'emergenza	Coltura in competizione con	
		<i>A. fatua</i>	<i>S. arvensis</i>
Orzo	5	87	88
	22	72	65
	40	73	65
Frumento	5	82	84
	22	80	77
	40	78	65

coltura. L’effetto competitivo delle infestanti si estrinsecò in una riduzione della lunghezza delle radici delle colture, evidente già subito dopo l’emergenza e progressivamente crescente nel tempo (tabella 1). L’effetto competitivo risultò più marcato con la specie dicotiledone rispetto alla graminacea, in relazione alla diversa morfologia dell’apparato radicale. La ricostruzione della distribuzione degli apparati radicali, inoltre, mise in evidenza che ambedue le infestanti erano in grado di colonizzare parte dello spazio al di sotto della fila della coltura, concrescendo il proprio apparato radicale con quello dei cereali ed essendo quindi in grado di competere attivamente per l’intercettazione delle risorse nutritive e idriche.

3.2 Strategie di utilizzo dell’acqua

L’effetto competitivo finale è comunque fortemente influenzato dalla richiesta complessiva di acqua dei competitori e soprattutto dalla diversa strategia di utilizzo delle risorse idriche. Per valutare il comportamento medio di specie diverse si può fare ricorso al coefficiente di evapotraspirazione (Cet), che esprime il consumo idrico richiesto mediamente per produrre la sostanza secca (g H₂O/g s.s. prodotta). In figura 3 sono riportati i Cet per alcune colture ed infestanti. Pur con un’ovvia variabilità, le colture erbacee tendono ad allinearsi su un ideotipo unico, mentre le infestanti presentano una maggiore variabilità, legata soprattutto al chimismo fotosintetico (C₃ o C₄). Le differenze nei consumi idrici specifici forniscono una prima chiave interpretativa delle strategie competitive delle infestanti: le specie con Cet elevate saranno in-

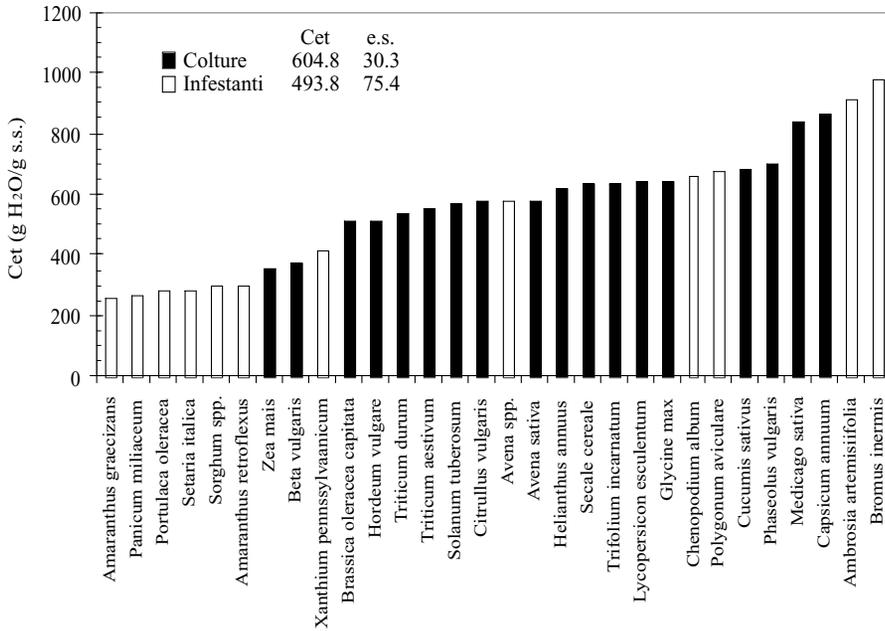


Figura 3. Coefficiente di evapotraspirazione (Cet) di alcune specie coltivate ed infestanti. Modificato da Radosevich et al. (1997) e Sattin e Tei (2001).

Figure 3. Evapotranspiration coefficient (Cet) of some crop and weeds. Modified from Radosevich et al. (1997) and Sattin e Tei (2001).

fatti più adatte ad ambienti in cui le limitazioni idriche sono modeste o intermittenti mentre quelle con Cet ridotte potranno sfruttare al meglio la loro maggiore efficienza in condizioni di limitazione più prolungata. Le differenze di comportamento possono essere meglio evidenziate riferendosi al tasso medio di traspirazione e ai potenziali idrici fogliari. In una serie di sperimentazioni effettuate presso il Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali dell'Università di Padova (Zanin e Berti, dati non pubblicati), si è studiato il comportamento idrico di una coltura (soia) e di alcune infestanti estive in coltura pura. Nel corso dell'estate 1989 sono stati rilevati gli andamenti giornalieri del potenziale idrico fogliare e la traspirazione fogliare. Ponendo in relazione il potenziale minimo (midday water potential) con il tasso medio di traspirazione (figura 4), le specie studiate possono essere suddivise in specie isoidriche (dette anche stabili) e anisoidriche (dette anche labili) (Zanin et al., 1993). Le prime sono in grado di limitare le perdite d'acqua, grazie alla loro efficiente regolazione dell'apertura degli stomi, e mantengono un'attività traspirativa fino a potenziali fogliari molto bassi. Questo comportamento limita il loro consumo di acqua, permettendo lo sviluppo anche in condizioni di stress prolungato. Appartengono a questo gruppo la maggior parte delle piante C₄ e più in generale le specie adattate a climi do-

ve la disponibilità di acqua è scarsa, nonché parecchie graminacee. Le specie anisoidriche (es. riso, molte delle specie orticole, *Abutilon theophrasti*, *Solanum nigrum*, *Bidens* spp., *Xanthium strumarium*) sono invece caratterizzate da una scarsa regolazione stomatica e perciò tendono a mantenere un elevato tasso di traspirazione, chiudendo però gli stomi a potenziali

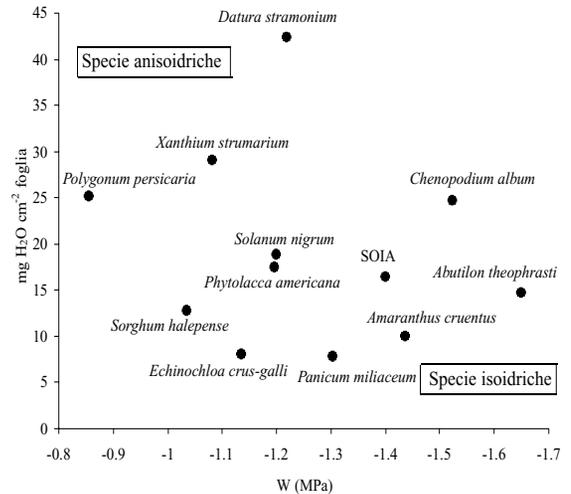


Figura 4. Relazione tra potenziale idrico fogliare minimo (midday water potential) e traspirazione fogliare per la soia ed alcune infestanti. Da Zanin e Berti, dati non pubblicati.

Figure 4. Relationship between midday water potential and leaf transpiration in soybean and some weeds. From Zanin and Berti, unpublished data.

ancora relativamente elevati. In questa maniera la pianta massimizza l'accrescimento finché il suolo ha dell'acqua facilmente disponibile, per poi arrestarlo in attesa di un ritorno della disponibilità idrica a livelli non limitanti. Questo comportamento può condurre alla morte della pianta in caso di stress prolungati, ma, in presenza di fluttuazioni rapide della disponibilità idrica, può essere fortemente pericoloso per la coltura in quanto determina nelle fasi di sviluppo delle infestanti forti consumi d'acqua.

Queste differenze di comportamento possono essere interpretate, in termini ecologici, come degli adattamenti ad una competizione asimmetrica ("gara" o "contest") nel caso delle isoidriche o ad una competizione simmetrica ("zuffa" o "scramble") per le anisoidriche (Vazzana, 1998). Nel primo caso ci sono vincitori e vinti: un singolo ottiene tutte le risorse di cui ha bisogno, mentre l'altro si accontenta di ciò che rimane; nella competizione per zuffa, invece, le limitate risorse sono ugualmente suddivise tra i competitori, ma tutti vengono almeno in parte limitati nel loro potenziale di crescita (Crawley, 1991). Le piante adattate a condizioni aride hanno generalmente un adattamento alla competizione di tipo gara; considerando le infestanti dei nostri ambienti colturali, invece, si possono identificare adattamenti diversi, sia di tipo gara che zuffa. In ambienti tendenzialmente più aridi, come in ampie zone del centro-sud Italia, e in assenza di irrigazione la capacità di mantenere un apprezzabile tasso di crescita anche in condizioni di stress idrico da moderato a severo è chiaramente un vantaggio ecologico rilevante; in ambienti sub-umidi o umidi, invece, i periodi di stress, se presenti, sono di durata limitata per il ritorno delle precipitazioni o per eventuali interventi irrigui. In queste condizioni una tendenza ad un adattamento alla zuffa (anisoidria) può essere vantaggioso per un competitore in quanto permette di sfruttare i periodi favorevoli con un tasso di crescita vicino

al potenziale e di utilizzare una notevole quota delle riserve idriche. Un competitore isoidrico, infatti, nella fase di elevata disponibilità idrica può presentare un tasso di crescita proporzionalmente più ridotto per la tendenza a mantenere un tasso traspirativo moderato, non essendo poi in grado di recuperare lo svantaggio nella successiva fase di stress in quanto la pianta anisoidrica ha comunque portato il potenziale idrico a valori limitanti per entrambi i competitori. Questo comportamento è ben evidenziato da Berti et al. (1993), che hanno posto in competizione in ambiente controllato (serra) soia e *Solanum nigrum*. Questa infestante è caratterizzata da una tendenza all'anisoidria più spiccata della soia, che può essere invece identificata come isoidrica (figura 4). Le piante erano allevate in vaso (4 piante per vaso) ed era prevista una situazione di coltura pura (4 piante di soia per vaso) e di competizione (2 piante di soia e 2 di *S. nigrum* per vaso). Per valutare l'effetto differenziale della competizione radicale, metà dei vasi previsti erano divisi in quarti con setti impermeabili, in modo da contenere l'apparato radicale di ogni pianta in un quarto del volume totale, mentre l'altra metà dei vasi permetteva la crescita libera delle radici. Metà dei vasi di ogni tesi è stata quindi sottoposta ad un ciclo di stress sospendendo l'apporto idrico, mentre l'altra metà è stata mantenuta con un rifornimento ottimale. Al termine del periodo di misure, la soia in coltura pura non presentava differenze di accrescimento in relazione alla modalità di crescita degli apparati radicali (concresciuti o separati) mentre la soia in competizione con la solanacea raggiungeva un peso secco quasi dimezzato rispetto alla coltura pura se gli apparati radicali erano concresciuti e superiore di un quarto se essi erano separati (tabella 2). L'effetto finale sulla biomassa dipende sostanzialmente dall'effetto della competizione per la luce, e quindi dallo sviluppo relativo dei competitori. Le differenze nel-

Tabella 2. Soia in competizione con *Solanum nigrum*: s.s. totale per pianta (g) a 42 giorni dall'emergenza. Da Berti et al. (1993).

Table 2. Soybean in competition with *Solanum nigrum*: total dry weight per plant (g) after 42 days from emergence. From Berti et al. (1993).

Stress idrico	sì	sì	no	no
App. radicali	concresciuti	separati	concresciuti	separati
Soia pura	5.5 g	5.4 g	10.3 g	10.1 g
Soia + SOLNI	-42%	+24%	-50%	+26%

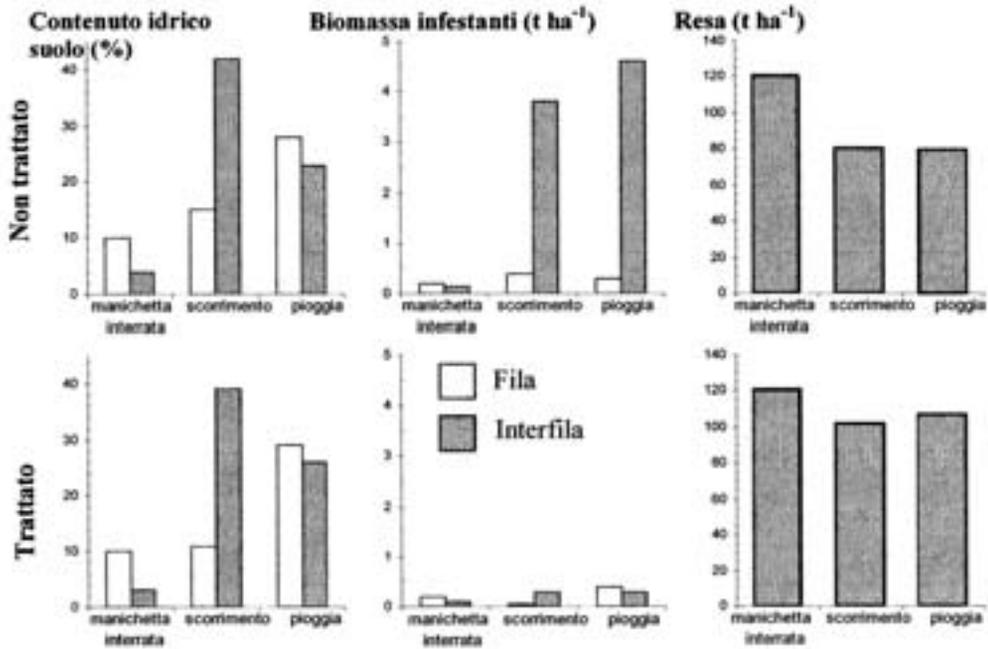


Figura 5. Effetto del metodo irriguo e del controllo delle infestanti sul contenuto idrico del suolo, la biomassa delle infestanti e sulla resa commerciabile di pomodoro. Ridisegnato da Grattan, Schwankl e Lanini (1988).

Figure 5. Effects of irrigation methods and weed control on soil moisture content, weed biomass and marketable tomato yield. Redrawn from Grattan, Schwankl e Lanini (1988).

lo sviluppo radicale tra le diverse tesi influenza però l'intercettazione delle risorse di nutrienti e di acqua, regolando l'accrescimento della parte epigea. L'analisi completa dei dati ha in effetti evidenziato che il *S. nigrum* si è avvantaggiato nella competizione con la soia quando gli apparati radicali erano concresciuti ed in particolare in situazione di stress idrico: in questa condizione l'infestante ha incrementato la biomassa del 39% passando dalla situazione di apparati radicali separati a quella di apparati concresciuti, mentre in condizioni idriche ottimali l'incremento è risultato solo del 14%. La solanacea ha dunque dimostrato una notevole capacità di competizione radicale, legata probabilmente ad una più ridotta resistenza radicale rispetto alla soia, che si estrinseca in particolare in condizioni limitanti ma che è rilevabile anche in condizioni ottimali.

4. Influenza dei metodi irrigui sulla dinamica delle malerbe e sulla competizione

Come visto in precedenza, le piante infestanti tendono ad avere un Cet mediamente inferiore a quello delle colture. In altri termini, pur con una fortissima variabilità interspecifica, le infe-

stanti degli ambienti agrari italiani tendono ad una maggiore efficienza d'uso dell'acqua rispetto a gran parte delle colture erbacee. In queste condizioni l'azione più rilevante che può essere adottata è la localizzazione dell'apporto idrico: l'apporto idrico direzionato specificamente sulla coltura determina un vantaggio competitivo che compensa ampiamente l'eventuale differenza di efficienza d'uso dell'acqua. Questo è particolarmente evidente per colture ortive e per le solanacee, spesso caratterizzate da un'elevata richiesta idrica. Negli Stati Uniti (California) una serie di sperimentazioni su pomodoro (Grattan et al., 1988) ha messo chiaramente in luce questo aspetto: con irrigazioni a tutto campo (per scorrimento o a pioggia), il contenuto idrico del suolo si mantiene elevato sia nella fila che nell'interfila (figura 5): ciò permette, in assenza di controllo, lo sviluppo delle infestanti che possono produrre un'elevata biomassa e, di conseguenza, determinare un rilevante danno produttivo. In queste condizioni il controllo delle infestanti diviene quindi una pratica imprescindibile per l'ottimizzazione della produttività della coltura. Se il pomodoro viene invece irrigato tramite manichetta interrata forata, il contenuto idrico del terreno nell'interfila ri-

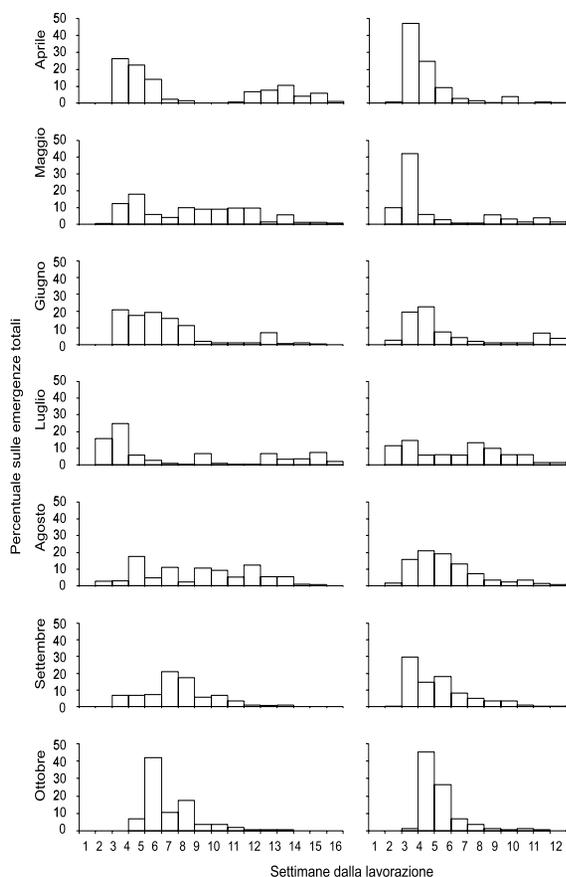


Figura 6. Flussi di emergenze conseguenti alla preparazione del letto di semina in epoche diverse, con e senza interventi irrigui. Le percentuali si riferiscono al totale delle emergenze osservate in un periodo di 16 settimane successive all'intervento. Da Bond e Baker (1990).

Figure 6. Emergence fluxes following depending on timing of seed bed preparation and with or without irrigation. Data expressed as % of the cumulative emergencies observed over a 16 weeks period following seed bed preparation. From Bond e Baker (1990).

sulta notevolmente ridotto, mentre in corrispondenza della fila e nella zona di massimo assorbimento da parte delle radici esso si mantiene su livelli elevati. Ciò da una parte favorisce lo sviluppo della coltura e dall'altra determina uno sviluppo fortemente ridotto delle malerbe che devono svilupparsi in un ambiente estremamente secco. Di conseguenza, lo sviluppo delle infestanti è particolarmente ridotto, tanto da rendere, in condizioni favorevoli, non strettamente necessario il controllo delle malerbe.

Più in generale, oltre alla tecnica irrigua, la distribuzione degli apporti idrici lungo la stagione colturale può condizionare i flussi germinativi delle infestanti, influenzando sia il quadro

malerbologico della coltura in atto, sia l'evoluzione negli anni delle popolazioni infestanti. In studi condotti da Bond e Baker (1990) è stato osservato che con irrigazioni effettuate dopo la preparazione del letto di semina si ottengono dei flussi di emergenza delle malerbe concentrati prevalentemente in primavera e tarda estate, mentre in assenza di tale apporto idrico le emergenze sono generalmente più diluite nel tempo e risultano influenzate dall'andamento delle precipitazioni (figura 6).

Tale comportamento può essere efficacemente sfruttato in abbinamento alla falsa semina, effettuando una irrigazione 15-20 giorni prima dell'impianto di una coltura nei letti di semina preparati in anticipo. Oltre a stimolare l'emergenza delle infestanti, l'intervento irriguo favorisce un rapido insediamento della coltura seminata subito dopo l'intervento di pulizia del letto di semina, determinando un vantaggio competitivo sulle infestanti emerse successivamente.

In risaia, attraverso la gestione dell'acqua è possibile, in alcuni casi, modulare la crescita delle infestanti e del riso, con l'obiettivo di inibire lo sviluppo delle malerbe, senza sfavorire troppo la coltura. La maggiore capacità del riso di tollerare le condizioni di sommersione rispetto ad altre graminacee infestanti della coltura viene da tempo valorizzata attraverso il mantenimento di un elevato strato d'acqua. In California, ad esempio, la coltivazione del riso in sommersione continua è stata introdotta a partire dagli anni Venti prevalentemente per contrastare infestazioni abbondanti di *Echinochloa crus-galli* (Fischer et al., 2000; Hill et al., 2006). Oltre a inibire lo sviluppo di alcune infestanti, con la sommersione si ottiene una maggiore sensibilità delle stesse agli interventi chimici di controllo. La sensibilità alle condizioni di sommersione può variare molto fra le varie specie, anche all'interno dello stesso genere. In esperienze condotte in California è stato osservato, ad esempio, che *E. crus-galli* risulta maggiormente sensibile alla sommersione rispetto a *E. oryzoides* (Williams et al., 1990).

Nel caso di *Murdannia keisak*, commelinacea infestante del riso in fase di recente espansione in alcune aree risicole italiane, è stato osservato che le condizioni più favorevoli per la sua crescita sono rappresentate da una gestione dell'acqua che consenta di mantenere il terreno in condizioni di saturazione idrica fin dalla semina della coltura (figura 7). Viceversa, la som-

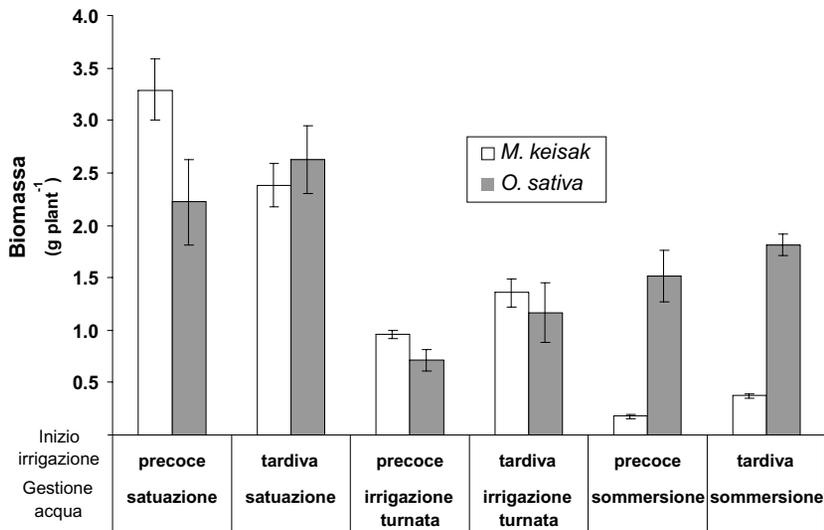


Figura 7. Biomassa prodotta da *Murdannia keisak* e da riso in condizioni di saturazione, irrigazione turnata e sommersione. Le tre modalità di gestione dell'acqua sono state applicate immediatamente dopo la semina (inizio irrigazione "precoce") oppure dieci giorni dopo ("tardiva"). Da Tesio et al. (2004).

Figure 7. Biomass of *Murdannia keisak* and rice in saturated soils, with sprinkler irrigation and in submersion. The three types of water management were applied from seeding or after 10 days. From Tesio et al. (2004).

mersione continua, che rappresenta la tecnica di gestione di fatto maggiormente diffusa, determina un significativo contenimento della malherba, pur con qualche negativa, ma accettabile, influenza sulla coltura (Tesio et al., 2004).

5. Conclusioni

Quanto illustrato evidenzia il ruolo decisivo dell'acqua nel modulare i rapporti tra coltura e malerbe e tra tecnica colturale e malerbe; detti rapporti sono molto complessi e scarsamente conosciuti in particolare per quanto riguarda gli effetti delle interazioni acqua/luce/temperatura sulla dinamica dei semi nel terreno (dormienza, ciclicità, persistenza, scalarità di emergenza). Questo campo di studio è molto promettente in quanto può consentire di immaginare approcci anche nuovi e non scontati nella gestione delle malerbe. Questi studi potrebbero portare un contributo importante allo sviluppo della cosiddetta "Gestione Ecologica delle Malerbe" (GEM), strategia che non esclude il mezzo chimico ma lo minimizza attraverso la costituzione di "sistemi agricoli soppressivi", che ostacolano le malerbe riducendo, a favore della coltura, le risorse disponibili (Liebman et al., 2001; Kremer e Jianmei, 2003). La GEM non vuol infatti eliminare le malerbe ma ridurne la densità, limitarne la competitività, prevenire i dannosi cambiamenti floristici. La GEM si basa su una serie di paradigmi che indicano i criteri generali di azione e che vengono di volta in volta adat-

tati alle condizioni del contesto: la GEM può avere successo solo se viene alimentata con continuità da nuove conoscenze.

Bibliografia

- Albrecht H., Pilgram M. 1997. The weed seed bank of soils in a landscape segment in southern Bavaria: II. Relation to environmental variables and to the surface vegetation. *Plant Ecology*, 131:31-43.
- Baskin C.C., Baskin J.M., Chester E.W. 2003. Ecological aspects of seed dormancy-break and germination in *Heteranthera limosa* (Pontederiaceae), a summer annual weed of rice fields. *Weed Research*, 43:103-107.
- Benvenuti S., Dinelli G., Bonetti A. 2004. Germination ecology of *Leptochloa chinensis*: A new weed in the Italian rice agro-environment. *Weed Research*, 44:87-96.
- Berti A., Zanin G., Toniolo L. 1993. Effetto della competizione radicale e aerea in soia (*Glycine max* L. Merr.) allevata in presenza di *Solanum nigrum* L. e *Amaranthus cruentus* L. *Rivista di Agronomia*, 27:517-523.
- Bond W., Baker P.J. 1990. Patterns of weed emergence following soil cultivation and its implications for weed control in vegetable crops. *Proceedings of Symposium on "Crop protection in organic and low input agriculture"*, British Crop Protection Council. Monograph n. 45:63-68.
- Botto J.F., Scopel A.L., Sánchez R.A. 2000. Water constraints on the photoinduction of weed seed germination during tillage. *Functional Plant Biology*, 27:463-471.
- Boyd N.S., Van Acker R.C. 2004. Imbibition response of green foxtail, canola, wild mustard, and wild oat seeds to different osmotic potentials. *Canadian Journal of Botany*, 82:801-806.

- Crawley M.J. 1991. The structure of plant communities. In: Crawley M.J. (ed.): *Plant Ecology*, 1-50. Blackwell Scientific Publications.
- Ferrero A., Vidotto F. 2006. Inerbimenti del mais e loro rapporti con alcuni parametri pedo-climatici. In: *Caratteristiche agronomiche, economiche e ambientali dei diserbanti del mais: il caso di studio della terbutilazina*, 11-21. Cooperativa Terremerse.
- Fischer A.J., Ateh C.M., Bayer D.E., Hill J.E. 2000. Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllo-pogon* in California *Oryza sativa* fields. *Weed Science*, 48:225-230.
- Flerchinger G.N., Hardegree S.P. 2004. Modelling near-surface soil temperature and moisture for germination response predictions of post-wildfire seedbeds. *Journal of Arid Environments*, 59:369-385.
- Gallagher R.S., Cardina J. 1997. Soil water thresholds for photoinduction of redroot pigweed germination. *Weed Research*, 45:414-418.
- Grattan S.R., Schwankl L.J., Lanini W.T. 1988. Weed control by subsurface drip irrigation. *California Agriculture*, 42(3):22-24.
- Grundy A.C., Phelps K., Reader R.J., Burston S. 2000. Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytologist*, 148:433-444.
- Hardegree S.P., Flerchinger G.N., Van Vactor S.S. 2003. Hydrothermal response and the development of probabilistic germination profiles. *Ecological Modelling*, 167:305-322.
- Hill J.E., Williams J.F., Mutters R.G., Greer C.A. 2006. The California rice cropping system: agronomic and natural resource issues for long-term sustainability. *Paddy and Water Environment*, 4:13-19.
- Juroszek P., Gerhards R. 2004. Photocontrol of weeds. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190:402-415.
- Kremer R.J., Jianmei L. 2003. Developing weed-suppressive soils through improved soil quality management. *Soil and Tillage Research*, 72:193-202.
- Leblanc M.L., Cloutier D.C., Hamel C. 2002. Effect of water on common lambsquarters (*Chenopodium album* L.) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L. Beauv.) seedling emergence in corn. *Canadian Journal of Plant Science*, 82:855-859.
- Leguizamón E.S., Fernandez-Quintanilla C., Barroso J., Gonzalez-Andujar J.L. 2005. Using thermal and hydrothermal time to model seedling emergence of *Avena sterilis* ssp. *ludoviciana* in Spain. *Weed Research*, 45:149-156.
- Liebman M., Mohler C.L., Stave C.P. 2001. *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge University Press.
- Manschadi A.M., Sauerborn J., Stützel H. 2001. Quantitative aspects of *Orobanche crenata* infestation in faba beans as affected by abiotic factors and parasite soil seedbank. *Weed Research*, 41:311-324.
- Martinez-Ghersa M.A., Satorre E.H., Ghersa C.M. 1997. Effect of soil water content and temperature on dormancy breaking and germination of three weeds. *Weed Science*, 45:791-797.
- Masin R., Zuin M.C., Archer D.W., Forcella F., Zanin G. 2005. Weedturf: A predictive model to aid control of annual weeds in turf. *Weed Science*, 53:193-201.
- Orykott J.O.E., Murphy S.D., Swanton C.J., Thomas A.G. 1997. Temperature- and moisture-dependent models of seed germination and shoot elongation in green and redroot pigweed (*Amaranthus powellii*, *A. retroflexus*). *Weed Science*, 45:488-496.
- Pavlichenko T.K. 1937. Quantitative studies of the entire root system of weed and crop plant under field conditions. *Ecology*, 18:62-79.
- Radosevich S., Holt J., Ghersa C. 1997. *Weed Ecology*. John Wiley & Sons, New York, USA, 589 pp.
- Roman E.S., Swanton C.J., Murphy S.D. 2000. Simulation of *Chenopodium album* seedling emergence. *Weed Science*, 48:217-224.
- Roman E.S., Swanton C.J., Thomas A.G., Murphy S.D. 1999. Modelling germination and seedling elongation of common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Science*, 47:149-155.
- Sattin M., Tei F. 2001. Malerbe componente dannosa degli agroecosistemi. In: Catizone P., Zanin G. (eds.): *Malerbologia*, 171-245. Ed. Pàtron, Bologna.
- Shaw W.C. 1982. Integrated Weed Management Systems technology for pest management, *Weed Science*, 30 (Suppl. 1):2-12.
- Shrestha A., Roman E.S., Swanton C.J., Thomas A.G. 1999. Modelling germination and shoot-radicle elongation of *Ambrosia artemisiifolia*. *Weed Science*, 47:557-562.
- Steadman K.J., Crawford A.D., Gallagher R.S. 2003. Dormancy release in *Lolium rigidum* seeds is a function of thermal after-ripening time and seed water content. *Functional Plant Biology*, 30:345-352.
- Steadman K.J., Ellery A.J., Chapman R., Turner N.C., Moore A. 2004. Maturation temperature and rainfall influence seed dormancy characteristics of annual ryegrass (*Lolium rigidum*). *Australian Journal of Agricultural Research*, 55:1047-1057.
- Tesio F., Vidotto F., Busi R., Ferrero A. 2004. Growth of *Murdannia keisak* as affected by water management and timing and rate of several herbicides. In: *Challenges and opportunities for sustainable rice-based production systems*, 239-248. Torino, Italy.
- Vidotto F., Ferrero A. 2000. Germination behaviour of red rice (*Oryza sativa* L.) seeds in field and laboratory conditions. *Agronomie*, 20:375-382.
- Vazzana C. 1998. *Ecologia vegetale agraria*. Pàtron editore, Bologna, 390 pp.
- Williams J.F., Roberts S.R., Hill J.E., Scardaci S.C., Tibbitts G. 1990. Managing water for weed control in rice. *California Agriculture*, 44:7-10.
- Zanin G., Sattin M., Berti A. 1993. *Zea mays* L. – *Abutilon theophrasti* Medicus: valutazione di alcuni aspetti della fisiologia della competizione. *Rivista di Agronomia*, 27:350-359.
- Zanin G., Zuin M.C., Catizone P. 2001. Definizione e classificazione delle malerbe. In: Catizone P., Zanin G. (eds.): *Malerbologia*, 23-52. Ed. Pàtron, Bologna.