

La resistenza agli erbicidi nelle infestanti del riso: importanza e possibilità di gestione

Aldo Ferrero* - Silvia Fogliatto* - Gabriele Gariglio* - Francesco Vidotto*

* Dipartimento Scienze Agrarie, Forestali ed Alimentari – Università degli Studi di Torino

Introduzione

La gestione delle piante infestanti rappresenta uno degli aspetti più critici nella coltivazione del riso, vista la forte influenza negativa che queste sono in grado di esercitare sulla produzione della coltura, in termini quantitativi e qualitativi. L'evoluzione delle pratiche colturali adottate in risaia, avvenuta a partire dalla fine degli anni '50 del secolo scorso, ha portato ad un significativo cambiamento nella comunità di malerbe, determinando la selezione di una flora infestante particolarmente specializzata (Ferrero *et al.*, 2002). L'abbandono della pratica del trapianto a favore della semina diretta, la diffusione della monocultura e l'introduzione della lotta chimica alle infestanti, mediante l'utilizzo di erbicidi selettivi e di un ristretto numero di principi attivi, hanno favorito la scomparsa o la riduzione di invasività di malerbe, un tempo considerate dannose e difficili da contenere, come ad esempio la *Leersia oryzoides* e l'*Alopecurus geniculatus*. A seguito della diffusione di varietà di riso di taglia bassa, poco competitive, si sono rapidamente diffuse infestanti, quali ad esempio il riso crodo che, invece, in passato erano presenti in misura limitata (Campagna e Rapparini, 2008). A partire dagli anni '90, la gestione delle malerbe è divenuta sempre più complessa, oltre che per questi problemi malerbologici anche a causa di vincoli normativi e problematiche agronomiche. L'introduzione della direttiva 91/414/CE, ad esempio, ha portato al riesame delle caratteristiche tossicologiche, fitoiatriche ed ambientali degli agrofarmaci, determinando il divieto di autorizzazione all'impiego di numerosi diserbanti per il riso. Tra questi merita ricordare a titolo di esempio erbicidi quali: tiocarbazil, cinosulfuron, dalapon, pretilaclor, quinclorac e propanile. Alcuni di questi prodotti (es. propanile e quinclorac), hanno potuto beneficiare, negli anni, di autorizzazioni per impieghi eccezionali, limitati nel tempo (4 mesi), per far fronte ad emergenze legate alla mancanza di soluzioni alternative di adeguata efficacia (Rapparini *et al.*, 2011). L'applicazione di tale normativa ha portato alla riduzione del numero di erbicidi disponibili sul mercato, caratterizzati da un numero molto ridotto di meccanismi d'azione. L'uso ripetuto di tali prodotti ha favorito la crescente diffusione di fenomeni di resistenza in diverse specie di malerbe, con la conseguente riduzione di efficacia degli interventi di lotta (Campagna e Geminiani, 2015). Inoltre, dalla prima metà degli anni '90, dopo l'introduzione sul mercato di famiglie di erbicidi molto efficaci e con sito d'azione molto specifico, i casi di resistenza sono aumentati notevolmente. In queste condizioni viene sensibilmente a ridursi la possibilità di alternare (singolarmente) o miscelare prodotti con diverso meccanismo d'azione, al fine di prevenire la comparsa della resistenza delle infestanti. Il fenomeno delle resistenze in risaia è stato inoltre favorito dalla limitata adozione della rotazione del riso con altre colture a causa dell'elevata

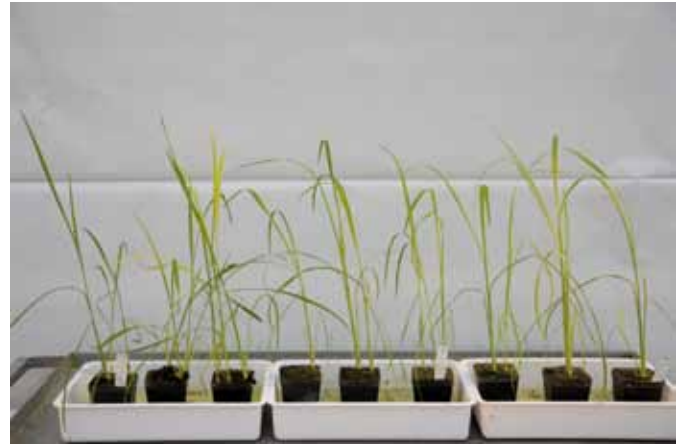


Figura 1 - Piante di giavone a 21 giorni dopo il trattamento con penoxsulam a dosi crescenti.

Figure 1 - Barnyardgrass plants at 21 days after treatment with growing rates of penoxsulam.

specializzazione delle aziende e delle specifiche condizioni ambientali di coltivazione del riso (Campagna e Fabbri, 2016) (Figg. 1, 2 e 3).

La resistenza delle malerbe determina importanti conseguenze sfavorevoli sia per le società agrochimiche e, sia, per gli agricoltori. In conseguenza alla diffusione di questo fenomeno, le prime vedono ridursi il mercato dei loro prodotti, diventati inefficaci e devono investire nello sviluppo di nuovi diserbanti. Gli agricoltori, oltre a dover sopportare perdite di produzione dovute allo scarso contenimento delle malerbe, sono indotti ad eseguire ulteriori trattamenti erbicidi con relativi costi addizionali.



Figura 2 - Risaia infestata da piante di *Schoenoplectus mucronatus* sfuggite ai trattamenti.

Figure 2 - Rice field infested by plants of *Schoenoplectus mucronatus* that escaped herbicide treatments.



Figura 3 - Infestazione di riso crodo sfuggito ai trattamenti.
 Figure 3 - Infestation of weedy rice plants escaped field treatments.

Negli USA è stato stimato un costo aggiuntivo per gli agricoltori di circa 64 \$/ha per il contenimento dei giavoni, una delle principali malerbe della risaia, divenuti resistenti a quinclorac e propanil (Norsworthy *et al.*, 2012).

La resistenza, meccanismi e tipologie

La resistenza nei confronti di un diserbante è la capacità naturale ed ereditabile di alcuni individui presenti in una popolazione di sopravvivere alla dose del diserbante normalmente utilizzata per il loro contenimento (Heap, 2014). In tutte le popolazioni di malerbe vi è un numero di piante molto limitato in grado di sopravvivere naturalmente al trattamento erbicida. L'uso ripetuto di diserbanti con lo stesso meccanismo d'azione, nello stesso appezzamento, porta all'eliminazione delle piante sensibili, mentre favorisce la selezione nel tempo di popolazioni di malerbe resistenti sfuggite ai trattamenti. La resistenza presenta una caratteristica fondamentale, l'ereditabilità, ovvero la trasmissibilità da una generazione a quella successiva dei caratteri di resistenza. In una specie, la resistenza agli erbicidi si può presentare naturalmente o può essere indotta attraverso tecniche di ingegneria genetica, di mutagenesi oppure di selezione forzata (De Prado e Franco, 2004). La resistenza può persistere per diversi anni, anche in assenza dell'erbicida che ne ha determinato la selezione, mantenendosi nei semi che costituiscono la banca semi del terreno. Il concetto di resistenza va distinto da quello di tolleranza, che rappresenta l'intrinseca e naturale capacità di una specie di sopravvivere e riprodursi dopo un certo trattamento erbicida. La tolleranza presuppone che non sia stato alcun fenomeno di selezione o alcun intervento di manipolazione genetica.

Gli erbicidi vengono classificati a livello internazionale sulla base del loro meccanismo di azione legato al tipo di alterazione fisiologica (biochimica o biofisica), attraverso il quale l'erbicida provoca la sua azione fitotossica sulla pianta su cui viene applicato. La selezione di popolazioni di malerbe resistenti è causata dall'impiego ripetuto di erbicidi caratterizzati da un medesimo meccanismo d'azione, unitamente ad altre cause quali, ad esempio, la mancanza di rotazioni. A questo proposito occorre ricordare che non è sufficiente solo cambiare prodotto, poiché erbicidi appartenenti a famiglie chimiche diverse possono disporre di uno stesso meccanismo d'azione e quindi presentare lo stesso rischio di induzione della resistenza (es. -FOP e -DIM, entrambi inibitori dell'enzima

ACCasi). L'organismo internazionale che si occupa dello studio e della gestione della resistenza agli erbicidi, HRAC (Herbicide Resistance Action Committee), ha proposto una classificazione degli erbicidi attribuendo una lettera diversa ad ogni meccanismo d'azione. Questa lettera in Italia e in alcuni altri paesi viene riportata sull'etichetta dell'erbicida, in modo da permettere all'agricoltore di evitare di utilizzare ripetutamente erbicidi con lo stesso meccanismo d'azione (con la stessa lettera) (HRAC, 2016).

Alcuni meccanismi di azione degli erbicidi presentano un maggior rischio di induzione di fenomeni di resistenza nelle malerbe. Tra questi si ricordano gli inibitori dell'enzima acetolattato sintetasi (ALS), gli inibitori dell'enzima acetilcoenzima A carbossilasi (ACCasi), le auxine sintetiche e le glicine (Heap, 2014). Molti degli erbicidi più comunemente utilizzati in risaia appartengono a famiglie chimiche dotate di questi meccanismi di azione, quali ad esempio gli imidazolinoni e le triazolopirimidine tra gli inibitori dell'ALS, gli arilossifenossipropionati (-FOP) e i cicloesenoni (-DIM) tra gli inibitori dell'enzima ACCasi e il glifosate tra le glicine (GIRE, 2016).

I principali meccanismi che conferiscono resistenza alle specie infestanti possono essere così raggruppati:

- mutazioni nel gene che codifica per il sito bersaglio dell'erbicida, normalmente un enzima, che causano resistenze cosiddette di tipo *target-site*. Questo meccanismo è il più conosciuto e si presenta per insensibilità, alterazione o sovrapproduzione del sito di azione. Resistenze agli inibitori dell'ALS, dell'ACCasi, alle dinitroaniline e alle triazine sono spesso causate da questo tipo di meccanismo di resistenza (Heap, 2014);
- aumento della capacità di detossificazione dell'erbicida. In questo caso la resistenza è dovuta ad esclusione oppure a riduzione della concentrazione dell'erbicida al sito di azione (*non target site resistance* o *exclusionary resistance*). Alcuni composti enzimatici presenti nelle piante sono in grado di detossificare molecole diserbanti, quali ad esempio glutatione-s-transferasi e citocromo P-450 (Tharayil-Santhakumar, 2004);
- diminuzione dell'assorbimento e della traslocazione dell'erbicida. Può avvenire a causa di modificazioni nell'assorbimento e/o nella traslocazione dell'erbicida, per cambiamenti morfologici del vegetale come inspessimento dei tessuti e riduzione dell'area fogliare, che impediscono il movimento della molecola verso il sito d'azione permettendo alla pianta di sopravvivere (Tharayil-Santhakumar, 2004; Heap, 2014);
- compartimentazione dell'erbicida nelle pareti cellulari o nei vacuoli. È il meccanismo di resistenza meno conosciuto che impedisce, o comunque rallenta, il trasferimento dell'erbicida al sito d'azione. Il meccanismo si esplicherebbe mediante una minore capacità dell'erbicida di entrare nella cellula grazie al dirottamento nel vacuolo, da dove non riuscirebbe più ad uscire, oppure alla modificazione di un *carrier* di membrana (Lucchin *et al.*, 2001);
- amplificazione dei geni che regolano la produzione dell'enzima bersaglio. La sovrapproduzione dell'enzima bersaglio fa sì che siano necessarie concentrazioni maggiori di erbicida per inibire l'attività dell'enzima stesso e causare la morte della pianta (Heap, 2014).

Le piante possono manifestare diverse tipologie di resistenza: la resistenza semplice, incrociata o multipla. La resistenza semplice è definita come la capacità di sfuggire

ad uno o più erbicidi appartenenti alla stessa famiglia chimica, si ha resistenza incrociata (*cross-resistance*) quando un singolo meccanismo di resistenza conferisce resistenza ad erbicidi appartenenti ad altre classi chimiche, aventi il medesimo meccanismo d'azione (Heap, 2014). La resistenza incrociata negativa (*negative cross-resistance*) è il fenomeno per il quale una malerba resistente ad un dato erbicida si dimostra più sensibile nei confronti di altri principi attivi. La resistenza multipla, infine, si verifica quando un individuo presenta contemporaneamente due o più meccanismi di resistenza (ad esempio mutamento del sito d'azione e incremento della degradazione dell'erbicida) (HRAC, 2016).

La resistenza nelle infestanti del riso

Numerose infestanti hanno manifestato, nel tempo, la capacità di resistere agli erbicidi più comunemente utilizzati nelle risaie italiane (Tab. 1). Le prime segnalazioni di questo fenomeno, in Italia, hanno riguardato popolazioni di *Alisma plantago-aquatica* e *Schoenoplectus mucronatus* divenute resistenti, nelle risaie piemontesi e lombarde, ad erbicidi inibitori dell'ALS, quali solfoniluree e triazolopirimidine (GIRE, 2016). A partire dal 2001 sono stati inoltre registrati fenomeni di scarsa efficacia delle solfoniluree nel contenimento di *Cyperus difformis*. In quest'ultima specie, in particolare, si è manifestata la più rapida insorgenza di popolazioni resistenti agli ALS inibitori (Follis *et al.*, 2011). Successivamente, sono stati osservati casi di ridotta efficacia anche su diverse piante del genere *Echinochloa* (giavoni), a seguito dell'applicazione di giavonicidi specifici (Ferrero *et al.*, 2010). Le infestanti del genere *Echinochloa* (*E. crus-galli*, *E. phyllopogon*, *E. colonum*) hanno fatto registrare nel corso degli ultimi anni un notevole aumento della comparsa di fenomeni di resistenza, in diverse colture come mais, soia, pomodoro e bietola ma soprattutto nel riso. Studi condotti da Sattin *et al.* (1999) hanno dimostrato come alcuni biotipi resistenti di *Echinochloa*, sono in grado di esprimere meccanismi di resistenza multipla a inibitori dell'ALS (es. penoxsulam,

imazamox, azimsulfuron) ed agli inibitori dell'ACCasi (es. cialofop-butile e profoxydim). Recentemente, a seguito dell'utilizzo di varietà di riso resistenti agli imidazolinoni (Clearfield), sono comparse anche alcune popolazioni di riso crodo (*Oryza sativa*) resistenti a questa classe di erbicidi (Campagna e Geminiani, 2015).

La gestione delle resistenze in risaia

Le problematiche legate alla gestione della resistenza sono state prese in considerazione anche dalla recente normativa sui prodotti fitosanitari quali la direttiva (CE) 128/2009, riguardante l'uso sostenibile degli agrofarmaci, e il regolamento 1107/09/CE sull'autorizzazione dei prodotti fitosanitari. Tali normative pongono limitazioni all'adozione di interventi in grado di indurre lo sviluppo di fenomeni di resistenza e tendono a favorire l'applicazione di strategie anti resistenza al fine di garantire l'efficacia dei trattamenti (Galassi e Mazzini, 2011).

A questo scopo è stata attribuita notevole importanza non solo alle tecniche di prevenzione del fenomeno, ma anche agli interventi di monitoraggio dell'efficacia dei trattamenti, in modo da rilevare la presenza di resistenze sin dalla loro comparsa, evitando la diffusione del fenomeno (Kudsk, 2002).

Il corretto utilizzo degli erbicidi è la prima misura da adottare per la prevenzione dell'insorgenza della resistenza. Per evitare l'uso ripetuto ed esclusivo di gruppi di erbicidi con lo stesso meccanismo d'azione è inoltre fondamentale essere a conoscenza della classificazione HRAC dei principi attivi in relazione al meccanismo d'azione per poter praticare una corretta rotazione degli erbicidi (GIRE, 2016). L'alternanza e la miscelazione dei diserbanti con diverso meccanismo d'azione consentono di prevenire o ritardare l'insorgenza delle resistenze, a patto che i principi attivi vengano usati ai dosaggi indicati in etichetta. A questo riguardo va anche considerata la necessità di effettuare i trattamenti allo stadio ottimale delle malerbe, tenendo presente che un trattamento tardivo rischierebbe di fornire il medesimo effetto di un trattamento a dosi inadeguate.

Tabella 1 - Specie infestanti interessate dal fenomeno della resistenza nelle risaie italiane (da GIRE, 2016).

Table 1 - Resistant weed species in Italian rice fields.

Specie infestante	Tipo di resistenza	Regioni interessate
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L (Cucchiaio)	Resistenti agli erbicidi inibitori dell'ALS (gruppo B), con resistenza incrociata alle solfoniluree e alle triazolo pirimidine. Primo caso accertato nel 1994.	Piemonte Lombardia
<i>Cyperus difformis</i> L (Zigolo delle risaie)	Resistenti agli erbicidi inibitori dell'ALS (gruppo B), con resistenza incrociata alle solfoniluree e alle triazolo pirimidine. Primo caso accertato nel 1999.	Piemonte Lombardia Veneto Emilia Romagna Sardegna
<i>Echinochloa</i> spp. (Giavone)	Popolazioni resistenti al propanile (gruppo C2) Primo caso accertato nel 2000.	Piemonte, Lombardia, Toscana, Sardegna
	Popolazioni resistenti agli erbicidi inibitori dell'ALS (gruppo B).	Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna, Toscana, Sardegna
	Popolazioni resistenti agli ACCasi (gruppo A). Primo caso accertato nel 2011.	Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna, Toscana, Sardegna
	Popolazioni con resistenza multipla agli erbicidi inibitori dell'ALS (gruppo B) e agli erbicidi inibitori dell'ACCasi (gruppo A). Primo caso accertato nel 2009	Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna, Toscana, Sardegna
<i>Oryza sativa</i> (Riso crodo)	Popolazioni resistenti all'erbicida imazamox (inibitore dell'ALS). Primo caso accertato nel 2010.	Piemonte Lombardia
<i>Schoenoplectus mucronatus</i> (Lancia)	Popolazioni resistenti agli enzimi inibitori dell'ALS (gruppo B).	Piemonte Lombardia Veneto
	Popolazioni con resistenza incrociata verso tutte le famiglie chimiche degli inibitori dell'ALS. Primo caso accertato nel 1995.	

Nel caso di mancato contenimento è necessario evitare di ritrattare con lo stesso prodotto, aumentandone la dose, ed è indispensabile intervenire con prodotti caratterizzati da diverso meccanismo d'azione (Campagna e Geminiani, 2015). Risulta inoltre opportuno valutare la possibilità di ricorrere alla falsa semina, utilizzando diserbanti non selettivi, come il glifosate, in pre-semina. Dove possibile, va anche considerata l'opportunità di alternare la semina in acqua con quella interrata, allo scopo di indurre lo sviluppo di malerbe differenti negli anni e di permettere l'impiego di erbicidi con diverso meccanismo di azione, quali ad esempio pendimetalin e clomazone nel caso della semina interrata (Campagna e Geminiani, 2015).

Per una corretta gestione delle resistenze è inoltre necessario annotare nel quaderno di campagna, per ciascun appezzamento, gli erbicidi e le dosi utilizzate, le date in cui viene effettuato il trattamento e i risultati ottenuti.

Nella gestione delle resistenze possono svolgere un ruolo molto importante anche alcune tecniche operative e pratiche colturali, soprattutto per la loro azione integrativa legata all'uso dei mezzi chimici. A titolo esemplificativo, va richiamata l'importanza della pulizia accurata delle attrezzature agricole, della raccolta degli appezzamenti con presenza di infestanti resistenti, in successione a quella di tutti gli altri appezzamenti, e dell'individuazione precoce dei focolai di infestanti "sospette resistenti" (Kudsk, 2002). Merita, a questo riguardo, anche richiamare l'importanza della rotazione colturale, una pratica che, ove applicabile, consente di variare significativamente l'epoca di semina, le tecniche colturali, la tipologia di infestazione e il tipo di erbicidi utilizzati, sfavorendo la specializzazione delle infestanti e migliorando la competitività della coltura (Lucchin *et al.*, 2001; Follis *et al.*, 2011).

In presenza di malerbe resistenti, le tecniche colturali di "minimum tillage" o "no tillage" praticate nell'agricoltura conservativa per ridurre i costi energetici e l'impatto ambientale, devono essere adottate con molta cautela, in quanto tendono a far concentrare i semi delle infestanti sulla superficie del suolo, favorendone lo sviluppo (Lucchin *et al.*, 2001).

Conclusioni

La gestione delle malerbe costituisce uno degli aspetti più critici della risicoltura. Le particolari condizioni ambientali e colturali in cui si attua la coltivazione del riso, principalmente legate alla presenza dell'acqua per gran parte del ciclo colturale e la diffusa monosuccessione colturale hanno favorito lo sviluppo di una infestazione molto specializzata e competitiva nei confronti della coltura. Le difficoltà sono inoltre accentuate da una limitata disponibilità di erbicidi in grado di contenere lo sviluppo di una vegetazione infestante così complessa. In queste condizioni, il ricorso ripetuto agli stessi principi attivi erbicidi nel tempo e sullo stesso terreno ha portato rapidamente all'insorgenza e alla diffusione di fenomeni di resistenza in malerbe annuali molto diffuse e pericolose per la coltura, quali i giavoni, il *Cyperus difformis* e il riso crodo (Ferrero *et al.*, 2002). La prevenzione e la gestione delle resistenze ai diserbanti si basa principalmente sull'adozione di misure di lotta integrata, finalizzate a ridurre la pressione di selezione esercitata sulle infestanti dagli erbicidi e basate sulla combinazione di ragionate pratiche agronomiche e mezzi chimici (Follis *et al.*, 2011). Tra le pratiche agronomiche merita, in particolare, ricordare

la diversificazione dei sistemi colturali, l'adozione di colture di copertura e della falsa semina, l'aumento delle lavorazioni, l'eliminazione precoce delle piante sospette resistenti e l'adozione di tutte le strategie anti resistenza disponibili (Heap, 2014).

Lavoro presentato ai 32^{mi} Incontri Fitoiatrici (Torino, 22 marzo 2017).

Riassunto

La gestione delle piante infestanti rappresenta uno degli aspetti più critici nella coltivazione del riso. Recentemente, le problematiche nel contenimento delle infestanti sono diventate progressivamente più complesse per ragioni di carattere normativo ed agronomico. L'adozione di regolamenti registrativi sempre più restrittivi ha portato all'introduzione di prodotti fitosanitari con un profilo tossicologico e ambientale più sicuro, caratterizzati, però, da un sempre più specifico meccanismo d'azione, in grado di favorire la comparsa di popolazioni resistenti.

Il fenomeno della resistenza ai diserbanti in campo risicolo ha avuto negli ultimi anni un crescente sviluppo e ha assunto nell'ultimo decennio una dimensione allarmante a livello mondiale, creando una forte preoccupazione sia presso le società produttrici di agrofarmaci, per la perdita di efficacia dei loro formulati, sia presso gli utilizzatori di questi prodotti per la difficoltà a contenere le avversità da combattere e per i maggiori costi derivanti da queste problematiche. Numerose specie infestanti presenti nelle risaie italiane, *Alisma plantago-aquatica*, *Cyperus difformis*, *Echinochloa* spp., *Oryza sativa* e *Schoenoplectus mucronatus*, hanno manifestato resistenza agli erbicidi più comunemente utilizzati, in particolare agli inibitori dell'enzima ALS e agli inibitori dell'enzima ACCasi. Numerose sono le pratiche che possono essere messe in atto per prevenire e contenere il problema delle resistenze nelle malerbe. In tal senso, particolarmente significative appaiono le strategie basate sulla adozione integrata di pratiche di gestione con mezzi agronomici, colturali e chimici, quali l'alternanza della semina in acqua con quella in asciutta, la rotazione colturale, l'adozione della falsa semina, l'impiego di erbicidi in pre-semina, la rotazione e la miscela di erbicidi con diverso meccanismo di azione.

Parole chiave: malerbe; erbicidi; meccanismo di azione.

Summary

Weeds resistance in rice cultivations: spreading and management practices

Weed management is one of the most critical aspects in rice cultivation. Recently, weed control problems have become more and more complex both for regulatory and agronomic reasons. The adoption of more restrictive regulations led to the introduction of pesticides with improved eco-toxicological and environmental profiles but characterized by a more specific mode of action, that resulted in the appearance of weed resistant populations. A growing spreading of this phenomenon over the last years has occurred in rice weeds worldwide, causing problems both to pesticide industries, for the reduced efficacy of their products, and to the farmers that have more difficulties in controlling rice weeds with higher costs. Numerous rice weeds, namely *Alisma plantago-aquatica*, *Cyperus difformis*, *Echinochloa* spp., *Oryza sativa* and

Schoenoplectus mucronatus, have become resistant to the most used herbicides, such as ALS and ACCase inhibitors. Several practices can be adopted to prevent and limit the occurrence and spreading of herbicide resistance. In this sense, particularly important are all the strategies that include the adoption of integrated management practices based on agronomic, cultural and chemical means, such as alternation of drill and water seeding, crop rotation, adoption of the stale seedbed, use of pre-seeding herbicides, rotation and mixtures of herbicides with different mode of action.

Keywords: weeds; herbicides; mode of action.

Lavori citati

Campagna G., Fabbri M. (2016) - Come diserbare il riso limitando le resistenze. *L'informatore Agrario*, 71 (15), 65-70.
Campagna G., Geminiani E. (2015) - Gestire la resistenza agli erbicidi nel diserbo del riso. *L'informatore Agrario*, 70 (2), 60-62.
Campagna G., Rapparini G. (2008) - Erbe infestanti delle colture agrarie: riconoscimento, biologia e lotta. Edizioni *L'Informatore Agrario*, Bologna, 480 pp.
De Prado R. A., Franco A. R. (2004) - Cross resistance and herbicide metabolism in grass weeds in Europe: biochemical and physiological aspects. *Weed Science*, 52 (3), 441-447.
Ferrero A., Tabacchi M., Vidotto F. (2002) - Italian rice field weeds and their control. In: *Proceedings 2nd Temperate Rice Conference* (Hill J. E., Hardy B. coord.), Sacramento, USA, June 13-17, 1999, 535-544.
Ferrero A., Tesio F., Follis F., Vidotto F., Crivellari A., Saglia A.A. (2010) - Studio delle infestanti resistenti agli erbicidi nell'areale cerealicolo piemontese: caratterizzazione, diffusione e proposte per la loro gestione. *Quaderni della Regione Piemonte-Agricoltura*, 72 (supplemento), 175-176.
Follis F., Tesio F., Saglia A.A., Vidotto F., Ferrero A. (2011)

- La resistenza agli erbicidi ALS inibitori in risaia. *Terra e Vita*, 10, 24-27.

Galassi T., Mazzini F. (2011) - Il quadro normativo. In: *La gestione integrata delle malerbe: un vincolo o un'opportunità per una produzione economicamente e ambientalmente sostenibile?* Atti convegno SIRFI, Bologna, Italia, Maggio 26, 2011, 1-18.

Gruppo Italiano di lavoro sulla Resistenza agli Erbicidi. GIRE (2017) - Banca dati sulla resistenza agli erbicidi in Italia - www.resistenzaerbicidi.it

Heap I. (2014) - Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science*, 70, 1306-1315.

Herbicide Resistant Action Committee. HRAC (2016) - www.hracglobal.com

Lucchin M., Zanin G., Parrini P. (2001) - Resistenza delle malerbe agli erbicidi. In: *Malerbologia* (Catizone P. e Zanin G. coord.), Pàtron editore, Bologna, Italia, 487-521.

Kudsk P. (2002) - Optimasing herbicide performance. In: *Weed management Handbook* (Naylor R. E. L. coord.). Blackwell Science, Oxford, UK, 323-344.

Norsworthy J. K., Ward S. M., Shaw D. R., Llewellyn R. S., Nichols R. L., Webster T. M., Bradley K. W., Frisvold G., Powles S. B., Burgos N. R., Witt W. W., Barret M. (2012) - Reducing the risk of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Science*, 60, 31-62.

Rapparini G., Campagna G., Geminiani E. (2011) - Diserbo del riso: attenzione alle resistenze. *L'informatore Agrario*, 66 (13), 58.

Sattin M., Zanin G., Tabacchi M. (1999) - Resistance to ALS inhibitors in weeds of rice in north-western Italy. In: *Brighton Crop Protection Conference Proceedings* Brighton, UK, November 15, 199, 783-790.

Tharayil-Santhakumar N. (2004) - Mechanism of herbicide resistance in weeds. *Plant and Soil Sciences*. University of Massachusetts, 1-38.