

BENZOBICYCLON (AVANZA®): UN NUOVO ERBICIDA PER IL CONTROLLO DELLE INFESTANTI DELLA RISAIA

S. ALEGI¹, M. TABACCHI², S. FOGLIATTO³, F. VIDOTTO³

¹ Gowan Italia SpA – Via Morgagni, 68, Faenza (RA)

² Agri2000 soc. coop, Via Marabini 14/A, 40013 Castel Maggiore (BO)

³ Università di Torino - Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA)

ULF Agronomia - Largo Paolo Braccini, 2 10095 Grugliasco (TO)

salegi@gowanitalia.it

RIASSUNTO

Avanza® è il nuovo erbicida a base di benzobicyclon, un inibitore dell'enzima HPPD efficace contro numerose infestanti della risaia, comprese quelle divenute resistenti alla maggior parte degli erbicidi oggi più comunemente impiegati in risaia (ALS e ACCasi inibitori). L'efficacia di questo erbicida è stata valutata nel 2013 e 2014 con studi realizzati in serra e in campo in applicazioni di pre-semina, pre-emergenza e post-emergenza precoce. Gli studi condotti in serra hanno evidenziato una buona efficacia del prodotto nei confronti di differenti popolazioni di *Echinochloa crus-galli* e *Cyperus difformis*, comprese quelle resistenti agli ALS e ACCasi inibitori. Le applicazioni di campo eseguite su risaia sommersa hanno mostrato un elevato controllo di *Heteranthera reniformis*, *Schoenoplectus mucronatus* e *Cyperus difformis*, con una attività di contenimento anche nei confronti di *Leptochloa fascicularis* e di *Echinochloa crus-galli*.

Parole chiave: HPPD, *Cyperus difformis*, *Heteranthera reniformis*, pre-emergenza, resistenza

SUMMARY

BENZOBICYCLON (AVANZA®): A NOVEL HERBICIDE FOR WEED CONTROL IN PADDY RICE

Avanza® is a novel herbicide based on benzobicyclon, an HPPD inhibitor effective against several weeds of paddy rice, including those which have become resistant to the most common herbicides sprayed in paddy rice (ALS and ACCase inhibitors). The efficacy of this herbicide was evaluated in 2013 and 2014 with studies carried out both in greenhouse and field applications in pre-sowing, pre-emergence and early-post emergence. The studies conducted in greenhouse showed good efficacy against different populations of *Echinochloa crus-galli* and *Cyperus difformis*, including those resistant to ALS and ACCase inhibitors. The field applications run always on flooded paddy showed a high control of *Heteranthera reniformis*, *Schoenoplectus mucronatus* and *Cyperus difformis* with a partial activity against *Leptochloa fascicularis* and *Echinochloa crus-galli*.

Keywords: HPPD, *Cyperus difformis*, *Heteranthera reniformis*, pre-emergence, resistance

INTRODUZIONE

Il successo produttivo delle colture risicole passa innanzitutto da un buon controllo delle erbe infestanti. Per le caratteristiche particolari di coltivazione, il diserbo del riso presenta alcune problematiche di difficile gestione, vista anche la scarsa disponibilità di erbicidi autorizzati e l'ampio sviluppo di popolazioni infestanti resistenti agli erbicidi tradizionali. È quindi grande il bisogno di soluzioni innovative che offrano nuovi meccanismi d'azione, garantendo selettività ed efficacia.

Benzobicyclon (3-(2-chloro-4-mesylbenzoyl)-2-fenylthiobicyclo[3.2.1]oct-2-en-4-one)) è una nuova sostanza attiva erbicida scoperta e sviluppata da SDS Biotech, che in questi anni ne sta

mettendo a punto l'autorizzazione europea, in collaborazione con il Gruppo Gowan, mediante un formulato contenente 400 g/L di benzobicyclon denominato Avanza[®], atteso in commercio nei prossimi anni. Attualmente l'erbicida, in varie formulazioni e miscele, è registrato in Giappone, Sud Corea e Taiwan mentre il processo autorizzativo della sostanza attiva è attualmente in corso in Europa e USA, dove verrà commercializzato dalle piattaforme locali del Gruppo Gowan. Dopo che negli anni '80 era stata rilevata l'attività erbicida dei composti benzoil-cicloesano-di-oni, ulteriori studi evidenziarono anche una buona selettività per il riso, in particolare dei derivati "BOD" (bi-cicloottano-di-oni). L'ottimizzazione della struttura e delle caratteristiche fisico-chimiche, assieme al profilo di sicurezza ed efficacia, hanno infine portato al termine degli anni '90 l'azienda agrofarmaceutica SDS Biotech a selezionare come molecola ideale benzobicyclon, che è stato poi lanciato sul mercato in Giappone nel 2001. Benzobicyclon appartiene appunto alla famiglia chimica degli acetofenoni biciclo-ottani (vedi figura 1 e tabella 1) e presenta un ottimo profilo tossicologico ed ambientale (Komatsubara K., *et al.* 2009) (vedi tabella 2).

Figura 1. Formula di struttura

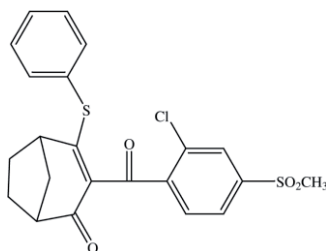


Tabella 1. Caratteristiche fisico-chimiche

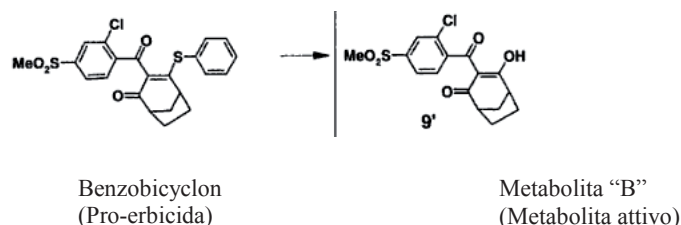
Nome comune	Benzobicyclon
CAS RN	156963-66-5
Formula chimica	C ₂₂ H ₁₉ ClO ₄ S ₂
PIN (Preferred Identification Name)	rac-(1R,5R)-3-[2-chloro-4-(methanesulfonyl)benzoyl]-4-(phenylsulfanyl)bicyclo[3.2.1]oct-3-en-2-one
Nome IUPAC:	3-(2-chloro-4-mesylbenzoyl)-2-phenylthiobicyclo[3.2.1]oct-2-en-4-one
Nome CAS:	3-[2-chloro-4-(methylsulfonyl)benzoyl]-4-(phenylthio)bicyclo[3.2.1]oct-3-en-2-one
Massa molecolare	446,96 g/mol
Punto di fusione	187,3°C
Pressione di vapore	0,056 mPa (25°C)
Solubilità in acqua	0,052 mg/L (20°C)
Kow (logP)	3,1 (20°C)

Tabella 2. Caratteristiche eco-tossicologiche

DL ₅₀ acuta orale	>5.000 mg/kg (ratto)
DL ₅₀ acuta dermale	>2.000 mg/kg (ratto)
CL ₅₀ inalazione (4 ore)	>2,72 mg/L (ratto)
Irritazione 4 ore CL ₅₀	Non irritante (occhi e pelle)
Mutagenicità	Negativa
Tossicità sugli uccelli	DL ₅₀ >2.250 mg/kg (Quaglia)
Tossicità sui pesci	CL ₅₀ (48 ore) >10 ppm (Carpa)
Tossicità su Daphnia	CL ₅₀ (3 ore) >1 ppm

Per il suo meccanismo d'azione, benzobicyclon è classificato dal HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) nel gruppo F2, e parallelamente dal WSSA (Weed Science Society of America) nel gruppo 27, come erbicida che agisce per inibizione dell'enzima 4-idrossifenilpiruvato diossigenasi (4-HPPD). In realtà benzobicyclon rappresenta il “pro-erbicida” che viene trasformato nella risaia, in presenza di acqua, nella forma idrolizzata, attiva come inibitore del HPPD (figura 2).

Figura 2. Idrolisi di benzobicyclon nel metabolita attivo



L'enzima 4-HPPD catalizza la conversione metabolica dell'aminoacido tirosina a plastoquinone, un co-fattore dell'enzima fitoene-desaturasi, fondamentale per la biosintesi dei pigmenti carotenoidi. Un tale meccanismo d'azione, inedito per gli impieghi su riso, porta quindi al blocco della sintesi dei carotenoidi che si manifesta con sbiancamento e clorosi dei tessuti vegetali per mancanza di clorofilla e conseguente deficit fotosintetico.

Benzobicyclon rappresenta, pertanto, una soluzione ideale nella gestione delle resistenze, perché efficace anche contro le popolazioni infestanti divenute resistenti agli erbicidi tradizionalmente impiegati su riso (con un meccanismo d'azione sugli enzimi ALS e ACCasi) come pubblicato ormai da diversi studi (Komatsubara *et al.*, 2009). Studi internazionali hanno inoltre evidenziato la capacità di benzobicyclon di controllare biotipi di ciperacee resistenti a solfoniluree (Sekino *et al.* 2008, Jae Won *et al.*, 2013; Scott. *et al.*, 2014). Pertanto, questo erbicida può rappresentare una nuova opzione per i produttori di riso, ma soprattutto perché efficace contro le erbe infestanti resistenti in particolare del genere *Heteranthra* spp. e della famiglia delle *Cyperaceae* (compresi i biotipi resistenti agli erbicidi ALS inibitori). Peraltro, è noto come i biotipi di *Echinochloa* spp. e *Cyperaceae* resistenti agli erbicidi ALS inibitori siano causa di gravi rischi per la produzione di riso in molte aree del pianeta (Riar *et al.*, 2012; Bagavathiannan *et al.*, 2012; GIRE 2015; Campagna *et al.*, 2015). La forma idrolizzata, attiva come inibitore del HPPD, viene dunque prodotta in presenza di acqua e quindi benzobicyclon va applicato in risaia sommersa preferibilmente quando l'acqua è presente stabilmente. L'altezza dell'acqua nella risaia (tra 5 e 10 cm) ha una certa influenza sull'efficacia del prodotto come dimostrano studi condotti in serra su *Cyperus esculentus* (McKnight *et al.*, 2015) e su *Echinochloa* spp. in pieno campo, dove si evince che alla dose di 250 g s. a./ha e con acqua profonda circa 10 cm l'efficacia è stata migliore rispetto ad applicazioni effettuate alla stessa dose con acqua a 5 cm (Davis *et al.*, 2013). Pertanto, al momento dell'applicazione di benzobicyclon è preferibile che la profondità dell'acqua sia tra 5 e 10 cm e comunque non inferiore a 5 cm. Anche la durata della sommersione della risaia influenza l'attività erbicida di benzobicyclon, in quanto la forma idrolizzata viene rilasciata gradualmente: risultati di studi condotti dall'azienda SDS Biotech suggeriscono di mantenere la sommersione per almeno 5 giorni. L'attività erbicida di benzobicyclon è velocizzata quando la temperatura dell'acqua è sopra i 25°C mentre può essere rallentata in situazioni in cui la temperatura scende sotto i

15°C, anche se non sono state rilevate differenze statisticamente significative nell'efficacia finale in studi specifici condotti in Giappone su *S. juncoides* con temperature di 15 e 25° C (Sekino *et al.*, 2008).

A differenza di altri erbicidi inibitori dell'enzima HPPD, benzobicyclon applicato su riso seminato o trapiantato mostra una perfetta selettività colturale (anche quando applicato al momento della semina) sia alla dose standard (200-300 g s. a./ha) che alla dose doppia (510-600 g s. a./ha) salvaguardando le potenzialità produttive (Sekino *et al.* 2008; Jae-Eun Song *et al.*, 2011; Jae Won *et al.*, 2013). Non è stato, altresì, rilevato alcun effetto sulle colture in successione (studi Gowan non pubblicati).

Benzobicyclon viene assorbito da radici, germogli e giovani fusti delle malerbe, causando lo sbiancamento dei cotiledoni e delle prime foglie vere, con successivo arresto dello sviluppo; quando applicato in post-emergenza il primo sintomo (sbiancamento) appare dopo circa una settimana sulle nuove foglie sviluppate ed è seguito da successiva necrosi e morte (Komatsubara *et al.*, 2009, Song *et al.*, 2011). Benzobicyclon viene fortemente adsorbito ai colloidi del suolo (Log K_{ow}: 3,1 a 20°C), rimanendo localizzato nei primi 1-2 cm e con una scarsa mobilità, anche quando l'acqua viene rimossa dalla risaia (Sekino *et al.*, 2008).

Generalmente l'efficacia degli erbicidi è influenzata dai vari fattori del suolo (contenuto di sostanza organica, tessitura del suolo, pH, umidità, ecc.), in quanto direttamente coinvolti nel processo di adsorbimento della sostanza attiva con le particelle del suolo. Studi condotti in Giappone evidenziano, invece, che 5 differenti tipi di suolo (da sabbioso a fortemente argilloso) non influenzano in modo rilevante la capacità erbicida di benzobicyclon (applicato in pre-emergenza alla dose di 200-300 g s.a./ha), così anche la profondità di emergenza dell'infestante oggetto dello studio (*Scirpus juncoides*) entro i primi 3 cm (Sekino *et al.* 2008).

Infine, diversi studi internazionali hanno già dimostrato l'efficacia di benzobicyclon nel controllo delle infestanti del riso; impiegato in pre-emergenza o post-emergenza precoce in risaia sommersa, manifesta alla dose di 200-300 g s. a./ha un ampio spettro d'azione nei confronti delle infestanti annuali e perenni nei primi stadi di sviluppo (Komatsubara *et al.*, 2009), con particolare rilevanza su diverse specie della famiglia Cyperaceae (*Scirpus juncoides*, *Bolboschoenus maritimus*, *Cyperus difformis*, *Cyperus esculentus*, *Schoenoplectus mucronatus* ecc.) (Sekino *et al.* 2008, Komatsubara *et al.*, 2009, Jae-Eun Song *et al.*, 2011, McKnight *et al.* 2015) e del genere *Heteranthera*, particolarmente suscettibile anche a dosi di benzobicyclon inferiori a 200 g s. a./ha (McKnight *et al.* 2015). Inoltre, benzobicyclon è risultato efficace anche nei confronti di *Monochoria vaginalis*, *Aeschynomene indica* e alcune graminacee quali *Leersia* spp., *Leptochloa* spp., *Echinochloa* spp. Su quest'ultima specie benzobicyclon esercita un discreto condizionamento se applicato entro lo stadio di prima foglia alla dose di 250 g s. a./ha (Sekino *et al.* 2008), mentre il controllo risulta elevato a dosi più alte (McKnight *et al.* 2015). L'efficacia residuale è prolungata nel tempo, anche fino a 2 mesi, come evidenziano studi internazionali condotti su *Scirpus juncoides* (Sekino *et al.* 2008).

Il presente lavoro riporta i risultati delle prove condotte in Italia nel biennio 2013 e 2014 con studi realizzati in serra e in campo in applicazioni di pre-semina e post-emergenza precoce.

MATERIALI E METODI

Studi condotti in serra

L'obiettivo dello studio è stato quello di valutare l'efficacia di Avanza (benzobicyclon, 400 g/L SC) in serra, nei confronti di popolazioni di *Echinochloa crus-galli* e di *Cyperus difformis*, alcune delle quali avevano già manifestato resistenza nei confronti dei principali meccanismi

di azione degli erbicidi più utilizzati in risaia (inibitori dell'enzima ALS e ACCasi). Negli studi è stata esaminata la sensibilità ad Avanza di tre popolazioni di *E. crus-galli*:

- !“sens”: popolazione sensibile sia agli erbicidi inibitori dell'ALS sia a quelli dell'ACCasi,
- !“res1”: popolazione resistente agli inibitori dell'ALS,
- !“res2”: popolazione resistente all'erbicida cialofop-butile (inibitore dell'ACCasi).

Per *C. difformis* sono state utilizzate nello studio due popolazioni, una sensibile ed una resistente agli inibitori dell'ALS. Lo studio è stato condotto in vaso in serra, nel periodo giugno-dicembre 2013. Per entrambe le specie l'efficacia della molecola erbicida è stata valutata sia con trattamenti effettuati in pre-emergenza delle infestanti, sia con trattamenti in post-emergenza. Le dosi utilizzate per entrambe le specie, sono state: 200, 300 e 600 g s. a./ha. Inoltre, per entrambe le specie, benzobicyclon è stato posto a confronto con erbicidi già autorizzati. Nel caso di *E. crus-galli*, i prodotti di confronto sono stati azimsulfuron (inibitore dell'ALS), alla dose di 40 g s. a./ha e profoxidim (inibitore dell'ACCasi) alla dose di 400 g s. a./ha. Nel caso di *C. difformis* il prodotto di confronto è stato azimsulfuron, alla stessa dose utilizzata per *E. crus-galli*. Tutti i trattamenti sono stati eseguiti in acqua con una cabina di irrorazione posta in serra e calibrata al fine di mantenere un volume standard di distribuzione stabilito pari a 300 L/ha. Nei trattamenti di post-emergenza, le malerbe sono state trattate allo stadio di 2-3 foglie. Dopo 21 giorni da ogni trattamento, è stata determinata la percentuale di efficacia attraverso una stima visiva su scala lineare 0-100 (0% nessun controllo, 100% controllo completo) e il peso fresco. Il peso fresco delle piante trattate è poi stato rapportato a quello delle piante controllo che non avevano subito il trattamento (peso relativo). Le differenze in termini di peso relativo tra le dosi di erbicida e tra le popolazioni oggetto dello studio, sono state individuate attraverso l'analisi della varianza e il test post-hoc REGWF ($\alpha \leq 0,05$).

Studi condotti in campo

Lo scopo delle attività sperimentali condotte nel 2013 e 2014 è stato quello di valutare:

- !l'efficacia di benzobicyclon in risaia nei confronti di alcune importanti infestanti annuali graminacee e ciperacee e di altre infestanti secondarie;
- !la selettività nei confronti delle principali varietà di riso coltivate in Italia ed in Europa.

Le prove sono state eseguite utilizzando uno schema a blocchi randomizzati con 3-4 ripetizioni e parcelle elementari di 25-30 m², separate tra loro grazie ad argini longitudinali e a barriere plastiche trasversali, e dotate quindi di carico e scarico indipendente dell'acqua per le operazioni di sommersione ed asciutta. Tutti i trattamenti sono stati eseguiti impiegando una barra di larghezza pari a 6,5 m ed una pompa ECHO 150-SI a motore, in grado di distribuire i prodotti con un volume standard pari a 300 L/ha ed una pressione di esercizio di circa 2 bar. L'analisi statistica delle prove è stata effettuata utilizzando il software ARM. I risultati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi della varianza (Anova) con un livello di significatività pari al 5% e le medie relative ai trattamenti sono state confrontate impiegando il test SNK (Student-Newman-Keuls).

!

Prove 2013

Nel 2013 sono state condotte 2 prove di efficacia e 1 prova di selettività varietale con l'impiego del formulato Avanza (benzobicyclon, 400 g/L SC).

In entrambe le prove di efficacia, condotte a Zeme (PV) e Balzola (AL), Avanza è stato applicato sempre su suolo sommerso da uno strato di 5-8 cm di acqua, alle dosi di 0,5 e 0,75 L/ha (pari a 200 e 300 g s. a./ha), in tre timing differenti (A, B e C corrispondenti a 0, 9 e 17 giorni dopo la semina manuale della varietà Selenio a Zeme e 3, 12 e 21 giorni dopo la semina

della varietà Creso a Balzola). Oltre alle tesi con benzobicyclon, il protocollo ha previsto un testimone non trattato, una tesi di riferimento con un trattamento a base di Ronstar FL (oxadiazon 380 g/L FL) impiegato alla dose di 1 L/ha al timing A e una con Viper (penoxsulam 19,97 g/L OD) applicato alla dose di 2 L/ha su terreno umido al timing C. Le infestanti rilevate nelle 2 prove sono state *Cyperus difformis* (CYPDI, con biotipi ALS resistenti), *Heteranthera reniformis* (HETRE), *Schoenoplectus mucronatus* (SCPMU, con biotipi ALS resistenti), *Ammannia coccinea* (AMMCO), *Echinochloa* spp. (ECHSS) e *Leptochloa fascicularis* (LEFFA). I rilievi di fitotossicità (scala 0-100 in percentuale) sono stati eseguiti 7 giorni dopo i timings A e B, 7, 14 e 28 giorni dopo il timing C, mentre l'efficacia è stata rilevata 7 giorni dopo il timing A e 14, 28 e 70 giorni dopo il timing B, confrontando ogni parcella trattata con il testimone non trattato ed esprimendo i valori come percentuale di controllo (0% = nessun controllo, 100% = controllo completo).

La prova di selettività varietale ha previsto una semina manuale in acqua di 7 differenti varietà o ibridi di riso eseguita il 18 maggio 2013 a Zeme (PV) in un terreno con infestazione di malerbe estremamente ridotta. Varietà e ibridi utilizzati sono stati: Centauro (riso tondo), Baldo (riso lungo A da risotto), Dardo (riso Lungo A da parboiled), Gladio (riso lungo B convenzionale), CL XL 745 (riso ibrido Clearfield lungo B), Sirio CL (riso lungo B Clearfield®) e Gleva (riso medio coltivato in Spagna per la paella). Le tesi a confronto erano testimone non trattato, Avanza® applicato 9 giorni dopo la semina (timing A) alla dose di 0,75 e 1,5 L/ha (pari a 300 e 600 g s. a./ha) su risaia sommersa e Viper (penoxsulam 19,97 g/L OD) applicato 18 giorni dopo la semina (timing B) alla dose di 2 L/ha su terreno sgrondato. I rilievi di fitotossicità (scala 0-100 in percentuale) sono stati eseguiti 7 giorni dopo il timing A e 7, 14, 28 e 42 giorni dopo il timing B, mentre l'efficacia è stata rilevata 7, 28 e 42 giorni dopo il timing B, confrontando ogni parcella trattata con il testimone non trattato ed esprimendo i valori come percentuale di controllo (0% = nessun controllo, 100% = controllo completo). Sono stati determinati anche la lunghezza del ciclo semina-fioritura, la produzione di risone secco, i parametri di resa alla lavorazione e la germinabilità del seme.

Prove 2014

Nel 2014 sono state condotte 3 prove di efficacia, 2 nel sistema di coltivazione convenzionale e 1 nel sistema di coltivazione Clearfield, con l'impiego del formulato Avanza (benzobicyclon, 400 g/L SC).

In entrambe le prove eseguite nel sistema convenzionale e condotte a Zeme (PV) e Villanova Monferrato (AL), Avanza è stato applicato sempre su suolo sommerso da uno strato di 5-8 cm di acqua, in due timings differenti (A e B corrispondenti a 3 giorni prima e 4 giorni dopo la semina manuale della varietà Centauro a Zeme e 4 giorni prima e 7 giorni dopo la semina della varietà Selenio a Villanova Monferrato) alle dosi di 0,5 e 0,75 L/ha (pari a 200 e 300 g s. a./ha). Oltre a queste tesi, il protocollo ha previsto un testimone non trattato, 2 tesi con Avanza applicato 0,5 e 0,75 L/ha al timing A e 1 tesi con Ronstar FL (oxadiazon, 380 g/L, FL) ad 1 L/ha al timing A; queste ultime 3 tesi sono state seguite da Viper (penoxsulam 19,97 g/L OD) applicato su terreno umido a 2 L/ha al timing C (riso allo stadio 13 BBCH). I rilievi di fitotossicità (scala 0-100 in percentuale) sono stati eseguiti 7 giorni dopo i timings A e B e 7, 14 e 28 giorni dopo il timing C, mentre l'efficacia è stata rilevata 7 giorni dopo i timings A e B e 14, 28 e 70 giorni dopo il timing C, confrontando ogni parcella trattata con il testimone non trattato ed esprimendo i valori come percentuale di controllo (0% = nessun controllo, 100% = controllo completo).

La prova condotta nel sistema Clearfield a Zeme (PV) (varietà Sole CL) ha messo a confronto Avanza applicato 4 giorni prima della semina (timing A) e 7 giorni dopo la semina

(timing B) alle dosi di 0,5 e 0,75 L/ha (pari a 200 e 300 g s. a./ha) su risaia sommersa, e Ronstar FL (oxadiazon, 380 g/L, FL) applicato al timing A su risaia sommersa (tabella 6). In tutte le tesi sono poi stati effettuati due trattamenti ai timings C (riso allo stadio BBCH 13-14) e D (BBCH 23-24) con la miscela Beyond (imazamox 40 g/L SL) a 0,875 L/ha + Dash HC (0,5% v/v) su terreno sgrondato. I rilievi di fitotossicità (scala 0-100 in percentuale) sono stati eseguiti 7 giorni dopo i timings A e B e 7, 14 e 28 giorni dopo il timing D, mentre l'efficacia è stata rilevata 7 giorni dopo i timings A e B e 14, 28 e 70 giorni dopo il timing D, confrontando ogni parcella trattata con il testimone non trattato ed esprimendo i valori come percentuale di controllo (0% = nessun controllo, 100% = controllo completo). Le infestanti rilevate nelle tre prove sono state *Cyperus difformis* (CYPDI, con biotipi ALS resistenti), *Heteranthera reniformis* (HETRE), *Ammannia coccinea* (AMMCO) ed *Echinochloa* spp. (ECHSS).

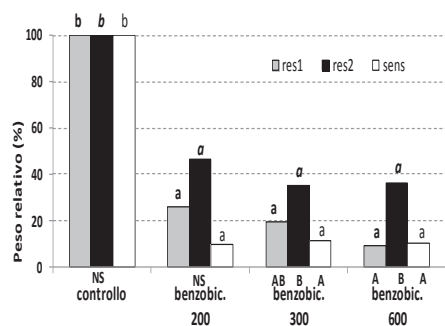
RISULTATI

Studi condotti in serra

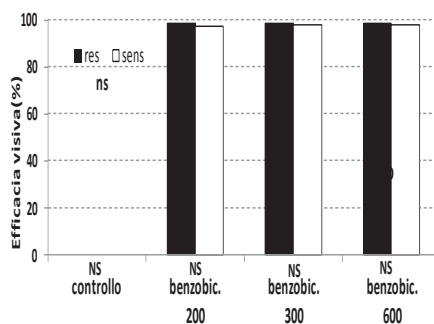
Si riportano di seguito i risultati degli studi condotti in serra, sia con il trattamento di pre-emergenza che di post-emergenza.

Avanza utilizzato nel trattamento di pre-emergenza ha fatto rilevare, con le tre dosi testate, una significativa riduzione del peso fresco delle popolazioni di *E. crus-galli* oggetto di studio (figura 3A). Tuttavia, all'aumentare della dose di erbicida, il peso fresco delle popolazioni non ha manifestato una diminuzione significativa. Le popolazioni "res 1" e "sens" hanno presentato una risposta analoga al trattamento erbicida, mentre "res 2" è stata la popolazione meno controllata. Il trattamento di pre-emergenza eseguito su *C. difformis* ha fatto rilevare un'elevata efficacia, con la completa devitalizzazione dell'infestante, tanto che al momento del rilievo non è stato possibile misurarne il peso. Per tale ragione è stata stimata l'efficacia visiva del trattamento (figura 3B).

Figura 3. Prove di serra. Efficacia nei confronti di *E. crus-galli* (A) e *C. difformis* (B) nel trattamento di pre-emergenza



A. Peso relativo, rispetto al testimone, delle diverse popolazioni di *E. crus-galli* in seguito al trattamento con benzobicyclon alle diverse dosi (200, 300 e 600 g s. a./ha)



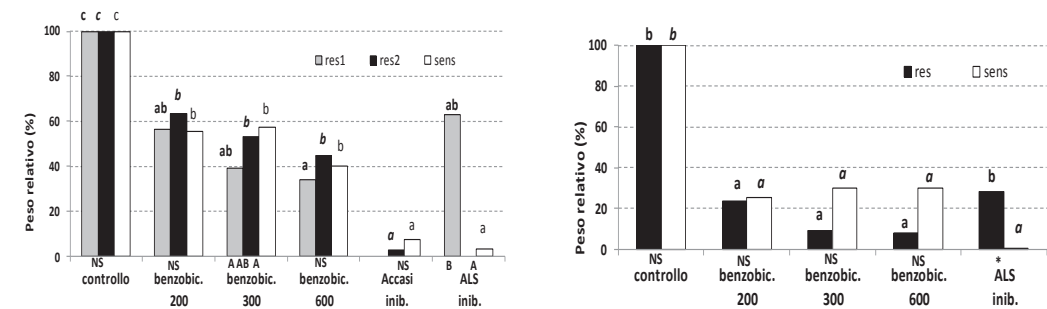
B. Efficacia visiva del trattamento in pre-emergenza con benzobicyclon su *C. difformis* alle diverse dosi (200, 300 e 600 g s. a./ha)

A lettere uguali corrispondono differenze significative secondo il test REGWF ($\alpha \leq 0,05$); le lettere minuscole si riferiscono al confronto tra dosi all'interno di ciascuna popolazione resistente e sensibile, mentre le lettere maiuscole al confronto tra le popolazioni per ciascuna dose

Il trattamento eseguito con Avanza in post-emergenza ha fatto rilevare un'efficacia nei confronti di *E. crus-galli* compresa tra circa il 35 e il 65%; alla dose più bassa di benzobicyclon (200 g s. a./ha), è stata osservata un'inibizione, in termini di peso, di circa il 45% in tutte le popolazioni (figura 4A). In analogia con quanto già osservato per il trattamento in pre-emergenza, l'utilizzo di dosi crescenti di erbicida non ha comportato una perdita crescente di peso relativo. Il trattamento con l'erbicida inibitore dell'ACCasi ha fatto rilevare un'efficacia elevata su tutte le popolazioni, in quanto la popolazione "res 2" era resistente soltanto al cialafop-butile ma non al profoxidim. La popolazione "res 1" ha fatto registrare una ridotta efficacia nel caso del trattamento con l'erbicida inibitore dell'ALS.

Il trattamento eseguito in post-emergenza su *C. difformis* ha fatto rilevare un'efficacia elevata, in termini di peso relativo, e pressoché sempre superiore al 70% (figura 4B). L'aumento di dose di benzobicyclon non ha comportato un'ulteriore riduzione di peso relativo.

Figura 4. Prove di serra. Efficacia nei confronti di *E. crus-galli* (A) e *C. difformis* (B) nel trattamento di post-emergenza



A. Peso relativo, rispetto al testimone, delle diverse popolazioni di *E. crus-galli* in seguito al trattamento con benzobicyclon alle diverse dosi (200, 300 e 600 g p.a./ha) e ad un ALS e ACCasi inibitore

B. Peso relativo, rispetto al testimone, del trattamento con benzobicyclon alle diverse dosi e di un ALS inibitore su *C. difformis* alle diverse dosi

A lettere uguali corrispondono differenze significative secondo il test REGWF ($\alpha \leq 0,05$); le lettere minuscole si riferiscono al confronto tra dosi all'interno di ciascuna popolazione resistente e sensibile, mentre le lettere maiuscole al confronto tra le popolazioni per ciascuna dose

Studi condotti in campo

Si riportano di seguito i risultati degli studi condotti in pieno campo. In tutte le tabelle dei risultati, a lettere diverse corrispondono valori significativamente diversi (test SNK, $\alpha \leq 0,05$).

!
!
!
!
!
!
!
!

Prove 2013

Tabella 3. Fitotossicità ed efficacia dei prodotti saggianti nella prova a Balzola (AL)

N	Tesi	Dose L/ha	Timing	14 DA-C* Fito %	28 DA-C CYPDI %	28 DA-C HETRE %	28 DA-C SCPMU %	28 DA-C ECHSS %	28 DA-C AMMCO %	28 DA-C LEFFA %
1	Testimone n. t.	-	-	0	0 c	0 c	0 f	0 e	0 b	0 e
2	Avanza	0,5	A	0	88,3 a	78,3 b	76,7 cd	6,7 cd	0 b	73,3 c
3	Avanza	0,75	A	0	99,3 a	100 a	96,0 ab	16,7 c	0 b	96,7 a
4	Avanza	0,5	B	0	94,3 a	92,7 a	78,3 bc	3,3 cd	3,3 b	73,3 c
5	Avanza	0,75	B	0	98,0 a	94,3 a	96,0 ab	36,7 b	0 b	90,0 ab
6	Avanza	0,5	C	0	95,0 a	86,7 a	65,0 d	6,7 d	0 b	33,3 d
7	Avanza	0,75	C	0	90,0 a	85,0 a	76,7 cd	6,7 cd	0 b	88,3 ab
8	Ronstar FL	1	A	0	63,3 b	66,7 b	45,0 e	36,7 b	75,0 a	0 e
9	Viper	2	C	0	53,3 b	85,0 a	63,3 d	85,0 a	60,0 a	0 e

* DA-C: giorni dopo il timing C

Tabella 4. Fitotossicità ed efficacia dei prodotti saggianti nella prova a Zeme (PV)

N	Tesi	Dose L/ha	Timing	14 DA-C* Fito %	28 DA-C CYPDI %	28 DA-C HETRE %	28 DA-C ECHSS %	28 DA-C AMMCO %
1	Testimone n. t.	-	-	0	0 e	0 d	0 f	0 b
2	Avanza	0,5	A	0	97,0 a	95,0 a	43,3 cd	0 b
3	Avanza	0,75	A	0	97,0 a	93,3 ab	38,3 de	0 b
4	Avanza	0,5	B	0	88,3 ab	88,3 ab	28,3 de	0 b
5	Avanza	0,75	B	0	96,7 a	91,7 ab	55,0 bc	0 b
6	Avanza	0,5	C	0	61,7 c	66,7 c	3,3 f	0 b
7	Avanza	0,75	C	0	92,7 ab	91,7 ab	16,7 ef	0 b
8	Ronstar FL	1	A	0	75,0 bc	75,0 bc	33,3 de	75,0 a
9	Viper	2	C	0	43,3 d	76,7 d	81,7 a	63,3 a

* DA-C: giorni dopo il timing C

Tabella 5. Fitotossicità, ciclo semina-floritura e parametri produttivi rilevati nella prova di selettività varietale a Zeme (PV)

TESI - MEDIE		Dose L/ha	Timing	14 DA-B* Fito %	28 DA-B Fito %	SEM-FIO giorni	PROD kg/ha	RESA LAV %
1	Testimone n.t.	-	-	0	0	87 a	7354 a	60,3 a
2	Avanza	0,75	A	0	0	87 a	7265 a	60,6 a
3	Avanza	1,5	A	0	0	87 a	7328 a	60,5 a
4	Viper	2	B	1,4	0	87 a	7312 a	60,7 a
VARIETÀ- MEDIE								
1	CENTAURO			0	0	87 d	7741 a	61,5 a
2	BALDO			0	0	90 c	6765 b	59,7 ab
3	DARDO			0	0	81 f	7709 a	62,7 a
4	GLADIO			0,8	0	83 e	7704 a	63,3 a
5	XL745			0,4	0	96 a	7085 ab	56,7 b
6	SIRIO CL			1,3	0	80 f	7729 a	63,2 a
7	GLEVA			0	0	92 b	6468 b	56,7 b

* DA-B: giorni dopo il timing B

Prove 2014

Tabella 6. Fitotossicità ed efficacia dei prodotti saggianti nella prova a Zeme (PV)

N	Tesi	Dose L/ha	Timing	7 DA-B* Fito %	14 DA-C** Fito %	28 DA-C CYPDI %	28 DA-C HETRE %	28 DA-C ECHSS %	28 DA-C AMMCO %
1	Testimone n. t.	-	-	0	0	0 c	0 d	0 d	0 e
2	Avanza	0,5	A	0	0	83,3 b	65,0 cd	43,3 c	3,3 e
3	Avanza	0,75	A	0	0	97,7 a	95,0 ab	65,0 b	25,0 bc
4	Avanza	0,5	B	0	0	90,0 ab	70,0 c	55,0 bc	10,0 de
5	Avanza	0,75	B	0	0	91,7 ab	85,0 b	66,7 b	16,7 cd
6	Avanza Viper	0,5 2	A C	0	0	100 a	96,7 a	97,7 a	99,3 a
7	Avanza Viper	0,75 2	A C	0	0	100 a	99,3 a	98,3 a	100 a
8	Ronstar FL Viper	1 2	A C	0	0	100 a	98,3 a	98,3 a	100 a

* DA-B: giorni dopo il timing B; ** DA-C: giorni dopo il timing C

Tabella 7. Fitotossicità ed efficacia rilevate nella prova a Villanova Monferrato (AL)

N	Tesi	Dose	Timing	7 DA-B* FITO %	14 DA-C** FITO %	28 DA-C CYPDI %	28 DA-C HETRE %	28 DA-C ECHSS %	28 DA-C AMMCO %
1	Testimone n.t.	-	-	0	0	0 b	0 b	0 d	0 e
2	Avanza	0,5	A	0	0	96,0 a	97,0 a	53,3 bc	1,7 d
3	Avanza	0,75	A	0	0	98,3 a	97,7 a	65,0 b	6,7 d
4	Avanza	0,5	B	0	0	96,7 a	91,0 a	40,0 c	1,7 d
5	Avanza	0,75	B	0	0	100 a	100 a	60,0 b	20,0 c
6	Avanza Viper	0,5 2	A C	0	0	100 a	100 a	98,3 a	85,0 b
7	Avanza Viper	0,75 2	A C	0	0	100 a	100 a	100 a	88,3 b
8	Ronstar FL Viper	1 2	A C	0	0	100 a	100 a	100 a	100 a

* DA-B: giorni dopo il timing B; ** DA-C: giorni dopo il timing C

Tabella 8. Fitotossicità ed efficacia rilevate nella prova a Zeme (PV) – Sistema Clearfield

N	Tesi	Dose L/ha	Tim	7 DA-B* Fito %	14 DA-C** Fito %	28 DA-C CYPDI %	28 DA-C HETRE %	28 DA-C ECHSS %	28 DA-C AMMCO %
1	Testimone n. t.	-	-	0	0	0 b	0 b	0 b	0 b
2	Ronstar FL Beyond+Dash HC	1 L/ha 0,875 + 0,5% v/v	A C-D	0	0	97,7 a	100 a	99,3 a	100 a
3	Avanza Beyond+Dash HC	0,5 L/ha 0,875 + 0,5% v/v	A C-D	0	0	97,7 a	100 a	99,3 a	97,7 a
4	Avanza Beyond+Dash HC	0,75 L/ha 0,875 + 0,5% v/v	A C-D	0	0	100 a	100 a	100 a	97,7 a
5	Avanza Beyond+Dash HC	0,5 L/ha 0,875 + 0,5% v/v	B C-D	0	0	98,3 a	100 a	99,3 a	96,0 a
6	Avanza Beyond+Dash HC	0,75 L/ha 0,875 + 0,5% v/v	B C-D	0	0	98,3 a	100 a	100 a	96,0 a

* DA-B: giorni dopo il timing B; ** DA-C: giorni dopo il timing C

Nelle prove condotte nel biennio 2013 e 2014 (tabelle 3-8) Avanza ha sempre mostrato una selettività molto elevata nei confronti delle diverse varietà di riso, in qualsiasi timing di applicazione ed a tutti i dosaggi utilizzati (200, 300 e 600 g s. a./ha). Per quanto riguarda l'efficacia, le infestanti più sensibili sono risultate CYPDI e HETRE in entrambi gli anni di prova e SCPMU nel 2013, quando applicato a 200 o 300 g s. a./ha nei timings di applicazione più precoci (in particolare non oltre i 12 giorni dopo la semina) con valori finali di controllo sempre uguali o superiori allo standard di riferimento Ronstar FL. Tali risultati sono emersi sia nelle prove con varietà convenzionali, sia nella prova condotta a Zeme nel 2013 utilizzando la strategia Clearfield (varietà resistente e applicazione ripetuta di imazamox in post-emergenza). AMMCO è risultata essere una infestante molto poco sensibile all'applicazione di Avanza a qualsiasi dosaggio e timing di applicazione. Molto interessante è risultata nel 2013 l'attività nei confronti di LEFFA nella prova di Balzola (AL), soprattutto al dosaggio di 300 g s. a./ha, con valori finali di controllo pari a circa il 90%, mentre al dosaggio di 200 g s. a./ha l'efficacia è risultata del 70%, nel caso di applicazione eseguita entro 10 giorni dalla semina. Per quanto riguarda i giavoni, Avanza ha mostrato un'efficacia parziale, soprattutto quando applicato nei timing precoci di applicazione (timing A e B) e con risultati migliori a 300 g s. a./ha rispetto a 200 g s. a./ha. I valori di efficacia in caso di applicazioni precoci di Avanza senza applicazioni successive con Viper o Beyond non hanno mai superato il 65%, mostrando nel 2013 valori simili allo standard Ronstar FL.

CONCLUSIONI

Avanza, con il suo inedito meccanismo d'azione, rappresenta una soluzione di interesse per il diserbo del riso, anche nei confronti di alcune problematiche ormai di difficile gestione.

Le prove svolte hanno sottolineato innanzitutto un'ottima selettività per la coltura a tutti i dosaggi utilizzati (200, 300 e 600 g s. a./ha), aspetto fondamentale per la salvaguardia delle produzioni finali. Per quanto riguarda l'efficacia, Avanza, applicato sempre su suolo sommerso da uno strato di 5-8 cm di acqua e nei timings di applicazione più precoci (0-4 giorni dalla semina) alla dose di 200 o 300 g s. a./ha dimostra un'eccellente e costante controllo delle infestanti *Heteranthera reniformis*, *Cyperus difformis* e *Schoenoplectus mucronatus*, comprese le popolazioni resistenti agli erbicidi ALS e ACCasi inibitori, oltre a un discreto contenimento di *Leptochloa fascicularis* e di *Echinochloa crus-galli* quando applicato alla dose di 300 g s. a./ha sempre in trattamenti precoci. Avanza si presenta come uno strumento di grande flessibilità grazie all'elevata selettività, all'efficacia verso le popolazioni delle infestanti target resistenti agli erbicidi ALS e ACCasi inibitori, alla possibilità di essere impiegato a ridosso o al momento della semina e in diverse condizioni pedologiche. Per questo, si presta ad essere inserito nelle applicazioni precoci (pre-emergenza della coltura) in diversi programmi di controllo delle infestanti della risaia. L'utilizzo ormai decennale in Giappone ne testimonia la grande affidabilità e costanza di risultato: Avanza potrebbe quindi diventare una soluzione di riferimento per il diserbo del riso anche negli areali italiani ad alta specializzazione.

LAVORI CITATI

- B.M. Davis, R.C. Scott., C.A. Sandoski, L.T. Barber, and J.K. Norsworthy, 2013. Weed Control Demonstration of Five Rates of Benzobicyclon Applied at Two Maintained Flood Depths to Rice Weeds, *University of Arkansas, AAES Research Series* 617.
- Bagavathiannan, M.V., J.K. Norsworthy, D. Riar, Z.T. Hill, B.W. Schrage, C.J. Meyer, and H.D. Bell. 2014. Growth characterization of an ALS-inhibitor resistant yellow nutsedge population from eastern Arkansas. *Proc. Southern Weed Sci. Soc.*, 67, 30.

- Bagavathiannan, M.V., J.K. Norsworthy, K.L. Smith, D.S. Riar, and P. Neve. 2012. Quinclorac resistance in barnyardgrass is conferred by a single, completely dominant nuclear gene, In: R.J. Norman, J.-F. Meullenet, and K.A.K. Moldenhauer (eds.). B.R. Wells Rice Research Studies 2012. *University of Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series* 600,149-154. Fayetteville.
- Benjamin M. McKnight, Eric P. Webster, Eric A. Bergeron, Samer Y. Rustom, Jr., 2015. The potential for benzobicyclon for control of Common rice weeds, *Brazilian congress of irrigated rice* (IX CBAI), 2015.
- Campagna G., Geminiani E., 2015. Gestire la resistenza agli erbicidi nel diserbo del riso, *L'Informatore Agrario* 2,60-62.
- GIRE®. Gruppo Italiano di lavoro sulla Resistenza agli Erbicidi, 2015. *Banca dati sulla resistenza agli erbicidi in Italia*, Disponibile in rete: www.resistenzaerbicidi.it (visitato il: 20 ottobre 2015).
- Heap, I. 2014. *International Survey of Herbicide Resistant Weeds*, www.weedscience.org Accesso: 10 Febbraio 2014.
- Jae-Eun Song, Mae-Sol Park, Jong-Hee Jeong, Eun-Hee Park and Chang-Kuk Jeong, 2011. Herbicidal Efficacy Affected by Different Formulation of Benzobicyclon-Mixtures Herbicides in Paddy Rice Field, *Korean Society of Weed Science* 201, 31(4), 384-393.
- Komatsubara K., Sekino K., Yamada Y., Koyanagi H., Nakahara S., 2009. Discovery and development of a new herbicide, benzobicyclon, *Journal of Pesticide Science* 34(2), 113–114.
- Ok Jae Won, Jong Hee Jeong, Jae Eun Song, Su Hyuk Park, Ki Seon Hwang, Sung Min Han, Jong Yeong Pyon 2013. Effects of formulation types and application timing of benzobicyclon-mixture on weed control and phytotoxicity of rice, *CNU Journal of Agricultural Science CNU Journal of Agricultural Science* Vol. 40, No. 4, pp. 311-316, December 2013.
- Riar, D.S., J.K. Norsworthy, M.T. Bararpour, M.J. Wilson, R.C. Scott, and V. Srivastava. 2012. *Acetolactate synthase-inhibiting herbicide resistance in two barnyardgrass (Echinochloa crus-galli) biotypes of Arkansas*, In: R.J. Norman, J.-F. Meullenet, and K.A.K. Moldenhauer (eds.). B.R. Wells Rice Research Studies 2012. University of Arkansas Agricultural Experiment Station Research Series 600,181-186. Fayetteville.
- Robert Scott, Jason Norsworthy, Muthukumar Bagavathiannan, 2014. Identification and Control of Problematic Sedges in Arkansas Rice, *Research Associate University of Arkansas Division of Agriculture*
- Sekino K., Koyanagi H., Ikuta E., Yamada Y., 2008. Herbicidal activity of a new paddy bleaching herbicide, benzobicyclon, *Journal of Pesticide Science* 33(4), 364–370.