

**SOCIETÀ ITALIANA PER LA RICERCA SULLA FLORA INFESTANTE
S.I.R.F.I.**

atti

**Infestanti emergenti e riduzione di
disponibilità di erbicidi**

a cura di

FRANCESCO VIDOTTO, FERNANDO DE PALO e ALDO FERRERO

BARI, 16 OTTOBRE 2018

Convegno organizzato in collaborazione con le “Giornate Fitopatologiche” e con l’Associazione Regionale Pugliese dei Tecnici e Ricercatori in Agricoltura (ARPTRA)

POSSIBILI ALTERNATIVE AL GLIFOSATE NELLE COLTURE ERBACEE

FERRERO A., FOGLIATTO S., VIDOTTO F.

*DISAFA, Università di Torino
E-mail: aldo.ferrero@unito.it*

Riassunto

La valutazione delle possibili alternative all'utilizzo del glifosate nel periodo intercolturale prevede necessariamente l'esame di una gestione delle malerbe di tipo integrato, dove i mezzi non chimici assumono un ruolo fondamentale a causa della ridotta disponibilità di erbicidi alternativi (diquat, dicamba, ciclossidim e propaquizafop), che presentano, però, un più ridotto spettro d'azione e più limitati campi di applicazione. In queste condizioni, le possibili alternative sono soprattutto rappresentate dalle colture di copertura e da ripetuti interventi di sfalcio, di erpicatura e sarchiatura, che presentano, in generale, maggiori costi e appaiono molto più condizionati dalla natura del suolo e dell'andamento climatico. Nei sistemi conservativi, le alternative a questo erbicida sono limitate agli sfalci e all'applicazione di formulati contenenti diquat e dei graminicidi ciclossidim e propaquizafop, questi ultimi, autorizzati, però, soltanto nella coltura del riso. Anche nella falsa semina, le alternative al glifosate sono rappresentate dagli interventi meccanici e dall'applicazione dei graminicidi autorizzati in pre-semina del riso. La mancata disponibilità di prodotti contenenti glifosate renderebbe, in generale, più complessa ed economicamente più onerosa la gestione della vegetazione spontanea, non solo nei sistemi agricoli conservativi, ma anche in quelli convenzionali, in particolare in quelli più specializzati.

Parole chiave

Agricoltura conservativa; Falsa semina; Mezzi meccanici; Sfalci; Erpicatura.

Summary

The assessment of the possible alternative options to glyphosate for fallow management of weeds necessarily involves the evaluation of an integrated management approach, where the non-chemical tools play a fundamental role, due to a reduced availability of alternative herbicides (Diquat, Dicamba, Cycloxydim and Propaquizafop), which, however, show a lower spectrum of activity and more restricted area of applications. Under these conditions, the possible alternatives are mainly represented by cover crops and repeated interventions of cutting and harrowing, which, generally show higher costs and are more affected by the soil and climate conditions. In the conservation agriculture the alternatives are limited to the cuttings and the application of herbicides based on Diquat, Cycloxydim and Propaquizafop, the last two authorised only in rice. Even in the stale seed bed, the possible alternatives to glyphosate are represented by the graminicides specifically applicable in rice. The non-availability of glyphosate-based herbicides would make weed management more complex and expensive, not only in conservation agricultural systems, but even in the conventional ones, in particular in those that are more specialized.

Keywords

Conservative agriculture; False seeding; Mechanical means; Cutting; Harrowing.

Introduzione

Caratteristiche del glifosate

Il glifosate è la sostanza attiva più utilizzata al mondo nella gestione delle malerbe, sia nelle colture agrarie, sia in ambito extra-agricolo. Il suo largo utilizzo è dovuto all'elevata efficacia della molecola, al suo basso costo e al suo profilo tossicologico storicamente considerato sicuro. Tali ragioni, unitamente alla costituzione di colture geneticamente modificate per resistere al glifosate, hanno ulteriormente aumentato i campi di impiego della molecola che, attualmente, da sola costituisce circa il 25% del mercato mondiale degli erbicidi (Glyphosate Task Force, 2013).

La molecola viene assorbita dalle parti verdi delle piante erbacee ed arboree ed agendo sistemicamente è traslocata in tutte le parti della pianta, compresi gli organi sotterranei. L'erbicida esplica la sua azione inibendo l'enzima EPSPS-sintasi che presiede alla sintesi degli aminoacidi aromatici fenilalanina, tirosina e triptofano, fondamentali per lo sviluppo delle piante (PAN Europe, 2018). L'efficacia della molecola è favorita dal suo facile assorbimento e dalla sua elevata capacità di traslocare nei diversi organi della pianta. Per queste loro caratteristiche, i prodotti a base di glifosate agiscono come erbicidi ad azione totale (Duke e Powles, 2008). Già a partire da alcune ore dopo il trattamento con glifosate, i residui presenti sul o nel terreno non dispongono più di attività biocida.

Nel nostro paese i prodotti a base di glifosate sono autorizzati per la gestione della vegetazione spontanea che si sviluppa nelle colture arboree da frutto o erbacee prima o dopo la loro semina, evitando però il contatto con le colture già emerse, nelle aree industriali, in alcune aree urbane e nelle aree rurali non destinate alle colture agrarie.

Lo spettro di azione del glifosate è piuttosto ampio e comprende diverse specie di malerbe annuali, biennali e perenni. L'efficacia del glifosate è tuttavia dipendente dalla dose di impiego, che a sua volta è influenzata dalla sensibilità delle malerbe e dal tipo di attrezzatura impiegata (Campagna e Geminiani, 2014). La maggior parte dei formulati commerciali, aventi una concentrazione di 360 g/L di sostanza attiva (s.a.), riporta in etichetta dosi di impiego variabili da 1 a 3 L/ha, nel caso di specie annuali ai primi stadi di sviluppo, a 5-10 L/ha, nel caso di malerbe perenni di più difficile controllo quali, ad esempio, sorghetta, tarassaco e convulvolo. In Tabella 1 sono riportate le dosi di glifosate (formulato commerciale) necessarie per controllare efficacemente alcune specie di infestanti con trattamenti effettuati su piante mature nel periodo intercolturale.

Tabella 1. Dosi di glifosate (formulato commerciale con concentrazione di 360 g/L di s.a.) necessarie al controllo di differenti malerbe che possono svilupparsi nel periodo interculturale.

Specie infestante	Dose di formulato (L/ha)	Specie infestante	Dose di formulato (L/ha)
<i>Abutilon theophrasti</i>	1,5	<i>Phragmites australis</i>	8
<i>Agropyron repens</i>	4	<i>Poa annua</i>	3
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	6	<i>Polygonum aviculare</i>	6
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1,5	<i>Polygonum convolvulus</i>	10
<i>Amaranthus retroflexus</i>	1,5	<i>Polygonum persicaria</i>	3
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	5	<i>Portulaca oleracea</i>	3
<i>Anagallis arvensis</i>	1,5	<i>Raphanus raphanistrum</i>	3
<i>Artemisia</i> spp.	8	<i>Rumex</i> spp.	6
<i>Avena fatua</i>	3	<i>Senecio vulgaris</i>	1,5
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	2	<i>Setaria</i> spp.	2
<i>Chenopodium album</i>	1,5	<i>Sinapis arvensis</i>	1,5
<i>Cirsium arvense</i>	5	<i>Solanum nigrum</i>	3
<i>Convolvulus arvensis</i>	10	<i>Sonchus arvensis</i>	5
<i>Conyza canadensis</i> *	3	<i>Sorghum halepense</i>	5
<i>Cynodon dactylon</i>	9	<i>Stellaria media</i>	1,5
<i>Cyperus</i> spp.	6	<i>Taraxacum officinale</i>	6
<i>Echinochloa crus-galli</i>	2	<i>Trifolium</i> spp.	5
<i>Galinsoga parviflora</i>	2	<i>Tussilago farfara</i>	5
<i>Geranium</i> spp.	4	<i>Typha latifolia</i>	8
<i>Hordeum murinum</i>	1,5	<i>Urtica dioica</i>	8
<i>Lamium purpureum</i>	2	<i>Veronica persica</i>	3
<i>Matricaria chamomilla</i>	2	<i>Xanthium strumarium</i>	3
<i>Mercurialis annua</i>	3		

*presenza di popolazioni resistenti

Aspetti normativi e principali criticità ambientali e agronomiche

Secondo i criteri adottati per classificazione di tutti i prodotti fitosanitari, i formulati commerciali a base di glifosate attualmente registrati in Italia non appartengono alle categorie di pericolo più gravi e molti di essi, non riportando in etichetta alcuna indicazione di pericolo, non presentano alcun pittogramma previsto dal Regolamento (CE) n. 1272/2008. Altri formulati riportano come unica indicazione di pericolo, riferita alla salute umana, la frase “provoca grave irritazione oculare”. Per un numero consistente di formulati è indicata, come unica frase relativa al pericolo di contaminazione ambientale, la frase “può essere nocivo per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata” e riportano in etichetta il relativo pittogramma. I formulati commerciali a base di glifosate contengono la molecola sotto forma di acido puro formulato come sale sodico, potassico o isopropilamminico per renderla più solubile e differiscono per l’aggiunta di diverse sostanze inerti, coadiuvanti o coformulanti (Campagna e Geminiani, 2014). L’aggiunta di diversi coformulanti comporta quindi una differente classificazione del prodotto commerciale come irritante o nocivo per l’ambiente

acquatico, anche se i formulati più moderni non contengono sostanze ritenute dannose per l'uomo e per l'ambiente (Campagna e Geminiani, 2014). Anche i consigli di prudenza riscontrabili nelle etichette dei formulati contenenti glifosate, indicano la bassa pericolosità del prodotto; infatti, le frasi più spesso riportate in etichetta sono quelle che suggeriscono di “tenere il prodotto fuori dalla portata dei bambini”, “non disperdere nell'ambiente” e solo alcuni formulati riportano le frasi “indossare guanti/indumenti protettivi e proteggere gli occhi e il viso”, “lavare accuratamente le mani dopo l'uso” o “evitare di respirare gli aerosol”.

I profili tossicologico ed eco-tossicologico del glifosate, ritenuti per decenni particolarmente favorevoli, sono da alcuni anni al centro di un acceso dibattito che ha come principale argomento la valutazione della potenziale cancerogenicità della molecola. Attualmente questo aspetto rappresenta la principale criticità che potrebbe portare ad un mancato rinnovo dell'autorizzazione all'utilizzo della molecola. Seguendo il normale iter previsto dalle normative europee (Dir. 91/414 CEE e Reg (CE) 1107/2009), nel 2012 è stato avviato, da parte dei paesi membri e dell'EFSA (Autorità europea per la sicurezza alimentare), il processo di revisione periodica del glifosate. Alla conclusione del processo di valutazione della molecola (2015), l'EFSA ha concluso come improbabile il rischio che il glifosate sia cancerogeno per l'uomo (European Food Safety Authority, 2015). Tuttavia, nello stesso anno, l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) ha classificato lo stesso prodotto come “potenzialmente cancerogeno per l'uomo”, inserendolo nel gruppo 2A (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, 2017). La divergenza di pareri tra EFSA e IARC ha portato la Commissione europea a chiedere all'ECHA (Agenzia Europea sui Prodotti Chimici). Successivamente, la FAO e l'OMS hanno concluso che il rischio di cancerogenicità connesso con l'esposizione al glifosate attraverso la dieta sia da ritenere improbabile. Nel giugno 2017 l'ECHA ha comunicato il suo parere alla Commissione europea sostenendo che il prodotto non dovesse essere classificato come sostanza mutagena. Nel dicembre 2017, dopo votazione favorevole a maggioranza qualificata da parte degli Stati Membri chiamati a dibattere alla luce dei pareri delle diverse agenzie, la Commissione Europea ha approvato il rinnovo del glifosate per ulteriori 5 anni (European Commission, 2018).

Il rinnovo dell'autorizzazione per il glifosate è stato preceduto da un acceso dibattito politico e pubblico, che prosegue tutt'oggi, tanto che un milione di cittadini europei facenti parte di un numero significativo di Stati Membri, così come stabilito dal regolamento UE 211/2011, hanno avviato nel gennaio 2017 un'iniziativa per chiedere alla commissione europea di proporre agli Stati Membri di vietare gli erbicidi a base di glifosate (European Commission, 2017).

La dibattuta cancerogenicità del glifosate non è tuttavia l'unica caratteristica sfavorevole della molecola. Il glifosate e soprattutto l'AMPA, il suo metabolita, sono state definite dall'ultimo rapporto

ISPRA sulla presenza di pesticidi nelle acque, come le sostanze più frequentemente rilevate nelle acque superficiali e per le quali è stato riscontrato un maggior numero di superamenti dei limiti previsti dalla legge. Infatti, nel 2016 il glifosato è stato rilevato in circa il 47% dei 458 punti di campionamento delle acque superficiali, mentre l'AMPA è risultato presente in circa il 68% dei punti monitorati (ISPRA, 2018).

Un'altra problematica connessa all'utilizzo del glifosato è la comparsa di diverse specie di malerbe resistenti all'erbicida. La prima specie divenuta resistente al glifosato è stata *Lolium rigidum* rinvenuta nei meleti dell'Australia nel 1996, lo stesso anno in cui negli Stati Uniti è stata introdotta la coltivazione della soia resistente al glifosato. Sebbene a livello mondiale la maggior parte delle malerbe resistenti al glifosato sia stata rinvenuta proprio nelle colture geneticamente modificate, anche in altri sistemi colturali sono stati riportati casi di resistenza a questo erbicida. Attualmente, a livello mondiale, 38 specie di malerbe hanno sviluppato resistenza al glifosato e sono state rinvenute in 37 nazioni e in 34 differenti colture e in 6 sistemi non agricoli (Heap e Duke, 2018). In Italia, due specie hanno sviluppato resistenza al glifosato: popolazioni di *Conyza canadensis* e *Lolium rigidum* resistenti sono state rinvenute in frutteti, in particolare in suoli non lavorati (GIRE, 2018).

Conseguenze della revoca della registrazione dei prodotti a base di glifosato

Il dibattito sulla cancerogenicità del glifosato, unita al rischio di contaminazione ambientale e all'espandersi dei fenomeni di resistenza, potrebbero portare al bando della molecola o comunque ad una limitazione del suo utilizzo. Tale decisione avrebbe importanti ripercussioni negative sull'economia agricola e sulla sostenibilità economica del controllo della vegetazione spontanea nelle aree non-agricole. Le maggiori ricadute riguarderebbero la gestione della vegetazione infestante nelle colture arboree da frutto, nei vigneti e negli oliveti, oltreché nell'agricoltura conservativa, che attualmente interessano, nel loro insieme, una superficie complessiva di circa 2,5 milioni di ettari (Gonzalez-Sanchez et al., 2017; ISTAT, 2018). Si stima che i prodotti a base di glifosato vengano utilizzati con una o più applicazioni per stagione colturale, su almeno il 30% di questa superficie.

In questo contesto, appare necessario fare ricorso a soluzioni alternative al glifosato nella gestione della vegetazione spontanea. Attualmente, non è disponibile sul mercato un prodotto analogo che sostituisca il glifosato in tutti i suoi campi di impiego, occorre quindi fare ricorso a più prodotti o a differenti tecniche agronomiche per ottenere una simile efficacia nel controllo delle malerbe.

Il glifosato è utilizzato nella gestione delle malerbe nei periodi di assenza delle colture erbacee, in particolare nella gestione delle stoppie durante il periodo di intercoltura, per la devitalizzazione delle malerbe nella tecnica della falsa semina e prima della semina su suoli non lavorati. Una particolare modalità di impiego del glifosato è l'applicazione del prodotto sulle malerbe con l'uso di attrezzature

selettive (barre lambenti umettanti o a goccia), sfruttando il differente sviluppo in altezza fra infestante e coltura, come nel caso del controllo del riso crodo nel riso (Tamagnone e Ghigo, 2006). Di seguito verranno esaminate le possibili soluzioni alternative all'utilizzo del glifosate nei periodi di assenza delle colture erbacee.

Alternative al glifosate nella gestione delle malerbe nel periodo intercolturale

Le tecniche di controllo delle malerbe alternative all'utilizzo del glifosate nel periodo intercolturale possono variare in base alla modalità di preparazione del letto di semina della coltura successiva (aratura o non lavorazione).

Il controllo delle malerbe che si sviluppano sulle stoppie, nei casi in cui si scelga di eseguire l'aratura prima della semina, ha l'obiettivo di contenere la disseminazione delle specie annuali, per ridurre al minimo gli apporti alla banca semi del suolo, e la propagazione delle specie perennanti al fine di ridurre le infestazioni nelle colture successive. Nel periodo intercolturale, le malerbe che si osservano con maggiore frequenza sono, tra le perenni, diverse specie appartenenti al genere *Equisetum*, *Convolvulus arvensis*, *Cynodon dactylon*, *Sorghum halepense*; tra le annuali si riscontrano *Ambrosia artemisiifolia*, *Abutilon theophrasti*, *Xanthium strumarium*, *Conyza canadensis* e alcune graminacee, come *Setaria* spp. *Digitaria sanguinalis* e *Echinochloa crus-galli* (Figura 1) (Campagna e Rapparini, 2011).



Figura 1. Abbondante infestazione di *Ambrosia artemisiifolia* e *Sorghum halepense* in stoppie di frumento.

Tali malerbe vengono attualmente controllate con dei trattamenti a base di glifosate, con dosi variabili da 1,5 a 3 L/ha di formulato commerciale, ad una concentrazione di 360 g/L di s.a., nel caso di

graminacee e dicotiledoni fino alle 4 foglie vere, mentre dosi comprese tra i 3 e i 4,5 L/ha vengono impiegate nel caso di infestanti dicotiledoni più sviluppate (Coprob, 2017).

Attualmente, l'unico erbicida alternativo al glifosate, registrato per i trattamenti sulle stoppie, risulta essere il dicamba. Questa molecola è un derivato dell'acido benzoico, ad azione auxinica, autorizzato per l'applicazione su terreni agricoli senza coltura, oltre che per il diserbo selettivo di alcune colture agrarie. Il prodotto, a prevalente assorbimento fogliare, agisce in modo sistemico su un ampio numero di infestanti dicotiledoni annuali e poliennali ma non sulle graminacee ed è perciò dotato di un più limitato spettro d'azione rispetto al glifosate (Tabella 2). Tuttavia, il punto di forza di questo erbicida, rispetto al glifosate, è principalmente rappresentato dall'elevata azione nei confronti di malerbe poliennali quali *Convolvulus arvensis*, *Cirsium arvense* e *Phytolacca americana*. Il periodo che occorre lasciare intercorrere tra il trattamento con erbicidi a base di dicamba e la semina della coltura è di 20 giorni, mentre nel caso del glifosate è di soli 2 giorni.

Non potendo disporre di molti erbicidi per il trattamento sulle stoppie, al fine di contenere gli apporti alla banca semi e la diffusione delle specie perennanti, è necessario controllare nel miglior modo possibile le malerbe all'interno della coltura con i numerosi erbicidi disponibili. Tra le tecniche agronomiche alternative per il controllo delle malerbe nel periodo intercolturale, la falsa semina, che verrà esaminata nel paragrafo successivo, le lavorazioni, gli sfalci, le rotazioni e le colture di copertura (*cover crop*) assumono particolare rilevanza (Tabella 3). Le lavorazioni eseguite nel periodo intercolturale, a seconda della tipologia (erpicatura, fresatura) e della frequenza di esecuzione, possono stimolare la germinazione di alcuni semi di malerbe, a causa dell'esposizione dei semi alla luce e a temperature più elevate, o devitalizzare le malerbe già emerse attraverso l'azione di sradicamento e interrimento (Campagna e Rapparini, 2011; Pannacci et al., 2017).

L'efficacia degli interventi meccanici sul controllo delle malerbe dipende da numerosi fattori, tra i quali:

- *il ciclo delle malerbe*: le annuali e le biennali sono più efficacemente controllate dai trattamenti meccanici rispetto alle specie perennanti. Le graminacee sono di più difficile controllo a causa della loro capacità di accestimento.
- *lo stadio di sviluppo delle malerbe*: le lavorazioni eseguite sulle malerbe che si trovano ad uno stadio precoce di sviluppo sono maggiormente efficaci rispetto a quelle eseguite su piante ad uno stadio fenologico più avanzato.
- *la tipologia di suolo*: le lavorazioni eseguite su suoli leggeri e sabbiosi presentano una maggiore efficacia in quanto le malerbe sono più facilmente estirpate. Nel caso di suoli poco strutturati sono maggiormente indicate le lavorazioni superficiali. Nei terreni argillosi, il grado di umidità del suolo condiziona la possibilità di esecuzione della lavorazione. Nei suoli

limosi è necessario evitare di utilizzare organi di lavorazione rotanti per ridurre il rischio di formazione di crosta sulla superficie del suolo.

- *le precipitazioni*: le lavorazioni seguite da un periodo con abbondanti precipitazioni sono in genere meno efficaci in quanto le malerbe estirpate non vanno incontro a disseccamento e possono emettere ricacci; inoltre, le piogge favoriscono le germinazioni (AFPP-Columa vigne, 2018).

Al fine di devitalizzare le malerbe emerse, possono essere utilizzate diverse tipologie di attrezzature. Gli erpici a denti flessibili sono generalmente più indicati nei terreni sciolti, mentre quelli a denti rigidi nei terreni più compatti. Gli erpici a dischi consentono di ottenere un maggiore controllo della vegetazione rispetto a quelli dotati di denti flessibili, quando si è in presenza di un elevato grado di copertura delle infestanti (Manzone e Balsari, 2008). Alcuni studi hanno dimostrato un'efficacia variabile delle lavorazioni su differenti specie di malerbe; ad esempio, le lavorazioni superficiali sembrano abbastanza efficaci nel controllare diverse specie di *Rumex*, mentre gli organi lavoranti a denti ricurvi permettono di estirpare i rizomi di *Cynodon dactylon* e portarli sulla superficie del suolo, favorendone il disseccamento se il clima è caldo e secco. Queste tecniche non risultano invece efficaci nel controllare *Cirsium arvense* o il convolvolo (Reboud et al., 2017) (Figura 2).



Figura 2. Gli interventi meccanici possono avere una scarsa efficacia nei confronti delle specie perennanti (nella foto: *Fallopia convolvulus* su stoppia sottoposta a erpicatura).

Tabella 2. Dosi di impiego riportate nell'etichetta di un formulato commerciale contenente dicamba (contenente 243,8 g/L di s.a.) per un'azione efficace nei confronti delle malerbe, in assenza di coltura.

Specie	Dose L f.c./ha	Stadio infestante
<i>Abutilon theophrasti</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Amaranthus retroflexus</i>	0,8	2-6 foglie
<i>Calystegia sepium</i>	0,8	20-30 cm di altezza

<i>Chenopodium album</i>	0,8	2-6 foglie
<i>Chrysanthemum segetum</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Cirsium arvense</i>	0,8	15-20 cm di altezza
<i>Convolvulus arvensis</i>	1,2	20-30 cm di altezza
<i>Datura stramonium</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Fumaria officinalis</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Matricaria chamomilla</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Phytolacca decandra</i>	0,8	2-6 foglie
<i>Polygonum aviculare</i>	0,8	2-6 foglie
<i>Polygonum convolvulus</i>	0,8	2-6 foglie
<i>Polygonum persicaria</i>	0,8	2-6 foglie
<i>Raphanus raphanistrum</i>	1,2	Stadio rosetta
<i>Rumex spp</i>	1,2	Stadio rosetta
<i>Sicyos angulatus</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Sinapis arvensis</i>	1,2	Stadio rosetta
<i>Taraxacum officinale</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Urtica urens</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Veronica spp.</i>	1,2	2-6 foglie
<i>Xanthium spp.</i>	1,2	2-6 foglie

L'esecuzione di sfalci o lavorazioni frequenti delle malerbe che si sviluppano nel periodo intercolturale può contribuire sia a evitare la disseminazione, sia a limitare la capacità rigenerativa del sistema radicale delle specie perenni. Studi precedenti hanno dimostrato come il periodo migliore per l'esecuzione degli sfalci occorra quando le malerbe sono maggiormente sensibili alla rimozione della parte aerea, che per alcune specie perennanti si verifica nel momento in cui la pianta ha 6-8 foglie completamente sviluppate e che corrisponde alla fase in cui la biomassa radicale è minima, così come la sua capacità rigenerativa (Graglia et al., 2006). Altri studi suggeriscono di intervenire sulle specie perennanti allo stadio in cui l'energia prodotta dalla fotosintesi viene compensata dalla quantità di riserve radicali utilizzate per la crescita della pianta; tale momento viene definito punto di compensazione (Favrelière et al., 2016; Nkurunziza, 2010). A partire dal punto di compensazione, le malerbe si accrescono grazie all'energia prodotta dalla fotosintesi ed emettono nuovamente gli organi vegetativi, accrescendo la loro capacità rigenerativa e diventando maggiormente competitive (Figura 3).

Tabella 3: Utilizzi del glifosate e possibili alternative chimiche ed agronomiche (modificato da Falchier et al., 2018).

Malerbe da controllare	Trattamento con glifosate		Alternative chimiche	Tecniche agronomiche	
	Epoca trattamento	Efficacia			
graminacee annuali	primavera	buona	colture oleo-proteaginose: graminicidi	falsa semina lavorazioni	rotazioni <i>cover crop</i>
graminacee perenni (gramigna, <i>Agrostis...</i>)	su stoppie o in primavera	buona con 1000 g/ha di s.a.	dicamba su stoppie diquat per semina su sodo mais: sulfoniluree colture oleo-proteaginose: graminicidi	lavorazioni	<i>cover crop</i>
dicotiledoni annuali	primavera preparazione letto semina	buona/media	dicotiledonicidi sulle colture	falsa semina lavorazioni	rotazioni <i>cover crop</i>
	<i>Rumex</i>	su stoppie o in primavera	media cereali vernini: metsulfuron-metile e fluroxipir mais: dicamba/prosulfuron dicamba su stoppie	lavorazioni sfalci	<i>cover crop</i>
dicotiledoni perenni	<i>Cirsium arvense</i>	su stoppie	media cereali vernini: metsulfuron-metile/clopiralid mais: dicamba/clopiralid dicamba su stoppie	introduzione colture perenni (es. prati con almeno 2 sfalci per esaurire risorse dei rizomi), lavorazioni	<i>cover crop</i>
	<i>Convolvulus arvensis</i>	su stoppie	bassa cereali vernini: fluroxipir/2,4 D mais: dicamba/ fluroxipir dicamba su stoppie	lavorazioni	<i>cover crop</i>

Il punto di compensazione può variare sensibilmente a seconda delle specie; infatti, per *Cirsium arvense* si verifica allo stadio di 6-8 foglie, mentre per *Sonchus olearaceus* occorre a 4-7 foglie (Favrelière et al., 2016). Tuttavia, per alcune specie, gli sfalci tardivi si sono dimostrati in grado di ridurre la biomassa radicale che supera l'inverno, in modo più consistente rispetto agli sfalci eseguiti ad uno stadio più giovanile della malerba (Graglia et al., 2006). Il periodo che intercorre tra gli interventi meccanici che hanno lo scopo di esaurire le risorse radicali delle perennanti dovrebbe essere sufficientemente lungo da consentire alle infestanti di produrre nuovi germogli, ma abbastanza breve da impedire la ricostituzione delle riserve; tale periodo è generalmente variabile da 2 a 4 settimane (Favrelière et al., 2016). Infatti, in tale periodo, a seguito di interventi che riducono la parte aerea, come gli sfalci, le malerbe sono indotte ad utilizzare le risorse degli organi di moltiplicazione sotterranea per produrre nuovi germogli. Il numero degli interventi necessari all'esaurimento delle

risorse delle perennanti dipende dal livello di infestazione. La realizzazione di un solo intervento meccanico dovrebbe essere evitata, in quanto non porterebbe all'esaurimento delle riserve sotterranee ma contribuirebbe soltanto alla diffusione di tali malerbe attraverso la frammentazione degli organi di moltiplicazione (Boström e Fogelfors, 1999; Favrelière et al., 2016). Soltanto un numero frequente di interventi potrebbe esaltare gli effetti positivi che la frammentazione degli organi di moltiplicazione delle perennanti comporta come, la l'induzione della formazione di nuovi germogli che attingono risorse dalle riserve. Di conseguenza, maggiore è il numero di frammenti formati, maggiore è il numero di germogli prodotti e maggiore è l'esaurimento delle riserve. Studi precedenti hanno evidenziato come la frammentazione delle radici consenta di esaurire le riserve più rapidamente della distruzione delle parti aeree (Favrelière et al., 2016). Il controllo delle malerbe perennanti può essere attuato sia attraverso l'esaurimento delle risorse degli organi di moltiplicazione sotterranea, sia attraverso l'esecuzione di lavorazioni, ad esempio erpicature, in grado di portare in superficie tali organi per poi favorirne il disseccamento. Tale strategia può limitare notevolmente il numero degli interventi, ma deve essere eseguita solo in caso di clima secco e con assenza di precipitazioni nei giorni successivi all'intervento ed è efficace su specie che presentano un apparato radicale superficiale, facilmente raggiungibile dagli organi lavoranti, come quello ad esempio di diverse specie di *Rumex* e *Elytrigia repens* (Favrelière et al., 2016). Al contrario, le lavorazioni che mirano ad esaurire le risorse degli organi sotterranei sono più indicate per le specie dotate di un apparato radicale troppo profondo per essere estratto, quale quello di *Cirsium arvense* e *Sonchus oleraceus* (Nkurunziza, 2010).

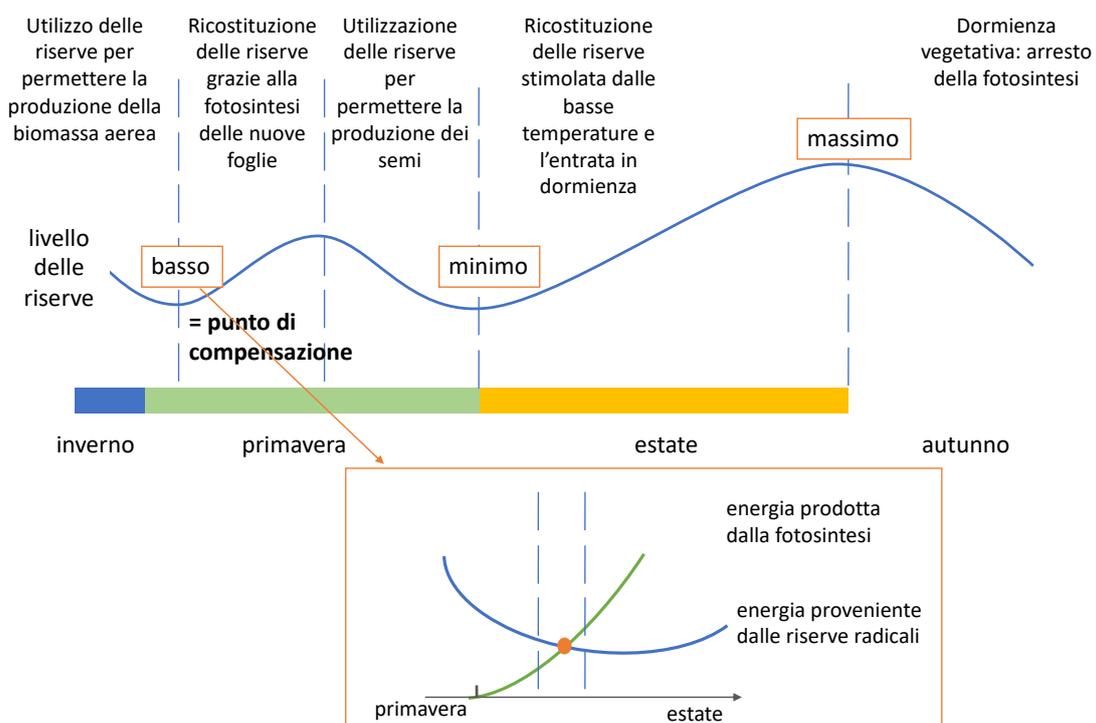


Figura 3. Evoluzione delle riserve radicali delle specie perennanti nel corso dell'anno (modificato da Favrelière et al., 2016).

Un'altra strategia che può contribuire notevolmente al controllo delle malerbe sia nelle colture, sia durante il periodo intercolturale, è la rotazione delle colture, che contribuisce ad evitare la specializzazione di alcune tipologie di malerbe. L'introduzione di prati nella rotazione, utilizzando ad esempio specie come l'erba medica, che prevedono frequenti sfalci, possono portare all'esaurimento delle risorse di alcune perennanti, quali *C. arvense* (Reboud et al., 2017). L'alternanza di colture con diverso ciclo, autunno-vernine e primaverili-estive, può contribuire a ridurre il periodo di assenza della coltura, limitando le difficoltà di gestione delle malerbe.

Un'ulteriore alternativa ai trattamenti con il glifosate nel periodo intercolturale è rappresentata dall'introduzione delle colture di copertura intercalari, inserite tra due colture principali da reddito, che permettono di fornire una serie di vantaggi agronomici e ambientali (Tabaglio, 2011). Le specie utilizzate per ottenere una copertura erbacea permanente sono in grado di esercitare un'azione competitiva nei confronti della vegetazione spontanea, per effetto del loro rapido sviluppo ed elevata aggressività, limitando la disponibilità di luce e di altre risorse ambientali limitate. Le specie più adatte a questo scopo, quindi, sono quelle dotate di rapida crescita e con elevata aggressività, come per esempio, segale, loiessa, veccia vellutata, trifoglio incarnato, e alcune brassicacee, tra cui senape, colza e ravizzone (Yenish et al., 1996). Alcuni studi hanno dimostrato come la loiessa, il trifoglio sotterraneo e quello incarnato, siano in grado di sopprimere le malerbe piuttosto efficacemente e in modo simile, mentre la veccia vellutata ha mostrato una minore capacità di ricoprimento (Yenish et al., 1996). Simili risultati sono stati ottenuti nell'ambito di una sperimentazione condotta dal Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari dell'Università di Torino, con l'utilizzo di colture di copertura in risaia e con diverse tecniche di devitalizzazione (rullatura e trinciatura) (Calvo, 2018). In tale studio, la loiessa ha prodotto un'elevata biomassa e ha permesso un buon controllo delle malerbe, mentre la veccia vellutata è risultata piuttosto sensibile alle gelate, facendo rilevare un modesto sviluppo della biomassa, che ha lasciato uno spazio maggiore alla crescita delle malerbe (Figura 4; Figura 5).

La scelta di colture di copertura a semina tardo-estiva o autunnale, cosiddette gelive perché sensibili alle gelate invernali, assume particolare rilevanza nel caso si applichino le tecniche di agricoltura conservativa in quanto tali specie non necessitano di interventi chimici o meccanici per la loro terminazione, ma sono sufficienti le basse temperature invernali per devitalizzarle (Bartolini, 2017a). Tra le *cover crop* gelive di più recente introduzione, il rafano americano appare promettente in quanto la radice fittonante permette una buona aerazione e migliora la struttura del terreno; inoltre, le gelate invernali ne permettono una completa devitalizzazione, in quanto i fittoni a fine inverno appaiono molli e marcescenti, mentre la biomassa aerea è completamente disseccata (Bartolini, 2017b).

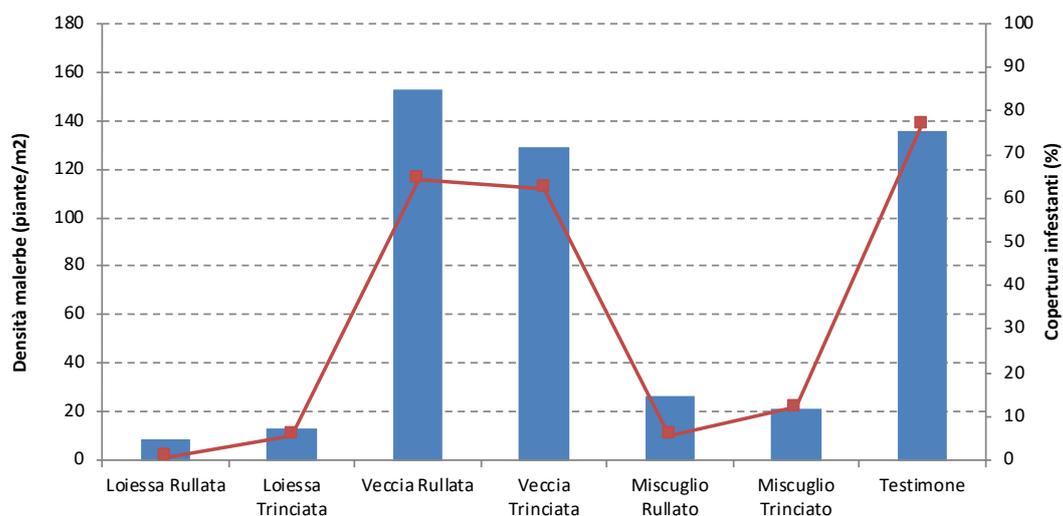


Figura 4. Efficacia dell'utilizzo di cover crop e della tecnica della pacciamatura verde in risaia.



Figura 5. Cover crop di veccia vellutata utilizzata nel periodo intercolturale del riso.

Il trifoglio incarnato e il trifoglio alessandrino, la veccia comune e villosa e il favino sono anch'esse *cover crop* considerate gelive e che, essendo leguminose, sono in grado di arricchire il terreno di azoto grazie all'azione dei batteri azotofissatori; inoltre, la loro biomassa è dotata di un basso rapporto C/N che ne favorisce una elevata e rapida degradabilità nel terreno (Bartolini, 2017a).

L'azione delle *cover crop* non è, generalmente, limitata al solo controllo delle infestanti, poiché molte delle piante utilizzate sono dotate della capacità di contenere l'erosione, migliorare la struttura e la fertilità del terreno, mettere a disposizione elementi nutritivi ed aumentare il contenuto di sostanza organica nel suolo. Alcune specie si comportano come *catch crop*, permettendo di evitare la lisciviazione dell'azoto (graminacee), altre sono in grado di fissare l'azoto atmosferico con cessione di parte dell'elemento alle colture (leguminose), altre, ancora, di contrastare lo sviluppo di parassiti (crucifere nematocide) e di migliorare la biodiversità (Tabaglio, 2011).

Le colture di copertura da sovescio vengono terminate con un'aratura e il loro scopo principale è quello di migliorare la fertilizzazione. Le *cover crop* possono però essere anche utilizzate nella tecnica della pacciamatura verde, in cui le colture vengono trinciate o rullate, in modo da lasciare sul terreno un compatto strato organico pacciamante che ostacola l'emergenza delle malerbe. Tale tecnica trova spazio in particolare nell'agricoltura biologica o nel caso si scelga la non lavorazione per la preparazione del letto di semina (Hartwig e Ammon, 2002).

Alternative al glifosate nei sistemi conservativi e nella semina su sodo

La gestione della vegetazione presente al momento della semina, costituita da specie infestanti o da rinascite della coltura precedente, rappresenta un aspetto fondamentale per il successo dei sistemi gestionali conservativi, basati sull'applicazione della semina diretta.

Questi sistemi, fortemente sostenuti dagli indirizzi della politica agricola europea, nazionale e regionale per la loro rilevante valenza ambientale (minori emissioni di gas serra, riduzione della lisciviazione dei nutrienti e prodotti fitosanitari, contenimento dei fenomeni erosivi, ecc.) ed agronomica (aumento del contenuto di sostanza organica e incremento della biodiversità nel terreno), richiedono, nel caso della semina diretta, l'adozione di interventi in grado di assicurare la completa devitalizzazione della vegetazione presente sul terreno.

Nei sistemi agricoli convenzionali, si ricorre, a questo scopo, quasi esclusivamente ad applicazioni di formulati contenenti glifosate.

Le alternative all'impiego di questi prodotti si basano, nella maggior parte dei sistemi colturali, sull'applicazione di pratiche agronomiche e tecniche colturali, risultando disponibile solo un numero molto limitato di diserbanti autorizzati per questa specifica utilizzazione. In tali condizioni risulta fondamentale ricorrere a strategie e sistemi operativi basati sulla combinazione di pratiche in grado di mantenere basso il livello di infestazione della vegetazione spontanea, permettendo di contenerne lo sviluppo all'interno delle colture mediante il ricorso ai diversi strumenti disponibili, sia chimici, sia non chimici (Chikowo et al., 2009; Lechenet, 2017).

Le diverse linee di intervento proponibili si basano su un approccio strategico integrato ed assumono una caratterizzazione e una specificità variabili in relazione alle colture inserite nel sistema colturale e alla tipologia prevalente di vegetazione presente nei periodi intercolturali.

Le tecniche utilizzabili sono nel complesso le stesse previste per gli interventi intercolturali, tenendo presente che in questa situazione viene meno la possibilità di ricorrere alle lavorazioni del terreno per la preparazione del letto di semina.

In generale, come chiaramente riportato nelle “Linee guida per l’applicazione e diffusione dell’Agricoltura conservativa” nel nostro paese, definite nell’ambito del progetto HelpSoil, l’aggressività e la competitività delle malerbe, la maggior diversificazione colturale prevista con l’adozione dei sistemi conservativi e l’adozione di tecniche di gestione intercolturali idonee e colture dotate di buona capacità competitiva consentirebbe di limitare la diffusione della vegetazione spontanea, soprattutto di quella di più difficile gestione all’interno delle colture (Brenna e Tabaglio, 2017).

In queste condizioni è fondamentale il ruolo assunto dalla rotazione ed in particolare quello esercitato dalle foraggere, sia poliennali inserite nell’avvicendamento, sia annuali, utilizzate nel periodo intercolturale.

Le foraggere, soprattutto poliennali, quali ad es. l’erba medica o i trifogli (bianco o violetto) consentono, da un lato, di limitare l’accrescimento della vegetazione spontanea con la fittezza della loro vegetazione e, dall’altro, a seguito degli sfalci ripetuti, di esaurire le sostanze di riserva delle specie perennanti. L’azione delle foraggere annuali è correlata alla durata del periodo di copertura e delle tecniche di gestione. I migliori effetti sono, in genere, ottenuti effettuando la trasemina nei cereali autunno-vernini, che abbinano l’azione di contrasto allo sviluppo della vegetazione spontanea, tipica delle colture di copertura, a quella degli interventi di sfalcio.

Nei sistemi conservativi con semina su sodo in cui non è previsto l’inserimento di colture foraggere poliennali, il contenimento della vegetazione spontanea nei periodi intercolturali può anche essere ottenuto ricorrendo alle varie pratiche adottabili nei sistemi colturali convenzionali, con la sola eccezione legata alla mancata possibilità di intervenire con le lavorazioni del terreno.

In queste condizioni, come anche nel caso dell’inserimento delle colture foraggere, con la semina diretta, il principale aspetto critico è rappresentato dalla terminazione della coltura, non essendo prevista la sua devitalizzazione a mezzo della lavorazione del terreno.

A seconda delle situazioni operative e colturali, per la gestione della vegetazione spontanea nei periodi intercolturali dei sistemi sodivi sono essenzialmente applicabili le seguenti opzioni operative:

- interventi di sfalcio
- utilizzazione di colture di copertura gelive
- utilizzazione di colture di copertura con devitalizzazione meccanica
- diserbo chimico.

L'obiettivo principale di queste pratiche è essenzialmente quello di eliminare il maggior numero di piante spontanee possibile nel periodo intercolturale, ponendo le condizioni per una buona gestione delle stesse anche all'interno della coltura con interventi chimici o meccanici.

Sfalcio

Gli interventi di sfalcio, già in precedenza esaminati per i sistemi colturali convenzionali, mirano a devitalizzare le specie poliennali mediante l'esaurimento delle sostanze di riserva, oltre ad interrompere la crescita di quelle annuali.

Colture di copertura gelive

Le colture gelive, come già osservato in precedenza, sono prevalentemente rappresentate da crucifere, quali senape e rafano, che, seminate nel mese di settembre, sono in grado di sviluppare un'abbondante biomassa, prima di venire devitalizzate dai rigori invernali. Sono disponibili varietà di rafano in grado di sviluppare un fittone di grandi dimensioni che a partire dal mese di febbraio, si disgrega facilmente lasciando il terreno ben smosso e idoneo alla semina.

Colture di copertura con devitalizzazione meccanica

La terminazione delle colture di copertura con interventi meccanici richiede la disponibilità di idonee attrezzature in grado di devitalizzarle, anche in presenza di un'abbondante vegetazione. L'operazione di terminazione con queste tecniche è rapida e relativamente di basso costo, ma il suo successo è condizionato da una serie di fattori. È indispensabile intervenire su piante ben sviluppate e di altezza elevata, allo scopo di aumentare l'area di contatto della vegetazione con gli organi meccanici determinando una lacerazione dei tessuti, con la conseguenza di esporre le piante agli effetti della perdita di acqua, delle basse o alte temperature e a quelle dei patogeni. Va, inoltre, considerato che le piante risultano più sensibili a questa modalità di distruzione quando si trovano nello stadio di fine fioritura, quando, cioè, le riserve dei vegetali vengono destinate in gran parte agli organi riproduttivi. In queste condizioni tende ad essere favorita anche la diffusione degli insetti pronubi.

L'azione di terminazione è più rapida ed incisiva se è accompagnata da basse temperature e, in particolare, dalle gelate che favoriscono lo sbriciolamento dei tessuti e un loro leggero interrimento nel suolo. Va posta in queste condizioni molta attenzione ad evitare di utilizzare trattori eccessivamente pesanti per non compromettere le caratteristiche strutturali del terreno.

Molto importanti sono anche le caratteristiche del rullo. Un semplice rullo liscio, o meglio un rullo tipo crosskill o a barre manifesta una sufficiente efficacia, solo a condizione di operare in condizioni di terreno gelato e in presenza di una vegetazione della copertura sufficientemente sviluppata. Meno le condizioni climatiche, lo stadio e il tipo di vegetazione sono propizie e più il rullo dovrà presentare specifiche caratteristiche. Un rullo di diametro elevato permette di limitare la velocità di rotazione, esercitando una maggiore azione di compressione sulla biomassa. Un ruolo importante è anche esercitato dalla inclinazione delle lame inserite sulla superficie del rullo; maggiore è l'angolo d'attacco e più elevata è l'aggressività del rullo. La scelta di questo parametro è legata oltretutto al volume della biomassa, anche al grado di legnosità dei tessuti.

La disposizione delle lame in senso trasversale a quello di avanzamento tende a limitare l'uniformità e la continuità della pressione sulla vegetazione, con sobbalzi e rischi di instabilità dell'attrezzatura. I migliori risultati si ottengono, in genere, ricorrendo a rulli tipo "crimper", caratterizzati dalla presenza sulla superficie del rullo di elementi in rilievo di foggia elicoidale (Figura 6).



Figura 6. Rullo crimper, dotato di lame elicoidali. L'attrezzo nell'immagine è progettato per essere portato anteriormente dalla trattrice.

Un aspetto importante è anche quello legato alle caratteristiche delle piante che costituiscono la coltura di copertura, soprattutto nel caso di interventi di terminazione effettuati al di fuori dei periodi

freddi, prima di una semina autunnale o tardo primaverile. Le specie con uno stelo elevato sono più facilmente distrutte di quelle che tendono ad avere un portamento strisciante o a rosetta. Altrettanto importanti sono la specie e lo stadio fenologico delle colture di copertura. La rullatura ha in genere un'elevata efficacia devitalizzante su una copertura di favino o di trifoglio incarnato, mentre esercita un'azione incompleta nei riguardi dell'erba medica o del trifoglio violetto. Una pianta di rafano ancora verde viene facilmente distrutta, a differenza di una in piena fioritura, che dispone di uno stelo già lignificato. Caratteristico, a questo riguardo, è il comportamento dei cereali e delle graminacee; queste vengono, in genere, stimolate ad accestire e sono rinvigorite dalla rullatura, quando sono ancora in fase di pre-levata, mentre vengono fortemente danneggiate quando si trovano nello stadio di spigatura. Va altresì ricordato che l'intervento meccanico deve, come già osservato, consentire di lacerare i tessuti e non di tagliarli, per evitare che le piante diano luogo a nuovi ricacci, come avviene in molte foraggere, quando sono sottoposte ad uno sfalcio o ad un pascolamento.

Diserbo chimico

Attualmente, il quadro dei diserbanti autorizzati per la gestione della vegetazione spontanea nel periodo intercolturale o prima della semina è limitato soltanto a formulati contenenti diquat, dicamba, ciclossidim e propaquizafop. In generale, ciascuno di questi erbicidi presenta uno spettro d'azione significativamente più ridotto rispetto a quella dei prodotti a base di glifosate e nel caso di ciclossidim e propaquizafop dispone anche di un più limitato campo applicativo.

Diquat è un erbicida dipiridilico, non residuale, ad assorbimento fogliare, ad esclusiva attività di contatto e non attivo sulle parti lignificate. È specificamente autorizzato per la devitalizzazione della vegetazione per la semina su terreno sodo oltreché per il diserbo dei medicaei. L'efficacia di questo prodotto è da considerarsi pressoché completa nei confronti delle infestanti annuali con l'esclusione di alcune specie, quali *Avena* spp., *Poa annua*, *Lolium* spp. e *Xanthium* spp., mentre quella nei confronti delle specie perennanti si limita al disseccamento della parte aerea (Tabella 4). Il prodotto si disattiva rapidamente appena giunge a contatto con il terreno, consentendo la semina a breve distanza di tempo dal trattamento.

Tabella 4. Dosi di impiego riportate nell'etichetta di un formulato commerciale contenente diquat (contenente 200 g/L di s.a.) per un'azione efficace nei confronti delle malerbe, in assenza di coltura (fonte: AFPP, 2006).

Specie	Dose L f.c. ha ⁻¹	Specie	Dose L f.c. ha ⁻¹
<i>Agropyron repens</i>	4,0-5,0	<i>Lolium</i> spp.	insufficiente
<i>Agrostis stolonifera</i>	4,0	<i>Lamium</i> spp.	3,3-4,0
<i>Amaranthus retroflexus</i>	3,3	<i>Malva sylvestris</i>	3,3-4,0

<i>Anagallis arvensis</i>	3,3	<i>Matricaria</i> spp.	3,3-4,0
<i>Avena</i> spp.	insufficiente	<i>Papaver rhoeas</i>	4,0
<i>Bromus sterilis</i>	4,0	<i>Plantago</i> spp.	5,0
<i>Calistegia sepium</i>	4,0	<i>Poa annua</i>	insufficiente
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	3,3	<i>Poa trivialis</i>	4,0
<i>Chenopodium album</i>	3,3	<i>Polygonum</i> spp.	3,3-4,0
<i>Cirsium arvense</i>	4,0-5,0	<i>Senecio vulgaris</i>	3,3
<i>Conyza canadensis</i>	4,0	<i>Setaria viridis</i>	4,0
<i>Convolvulus arvensis</i>	4,0	<i>Sinapis arvensis</i>	3,3
<i>Cynodon dactylon</i>	4,0-5,0	<i>Solanum nigrum</i>	3,3
<i>Digitaria sanguinalis</i>	3,3	<i>Sonchus oleraceus</i>	3,3
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	3,3	<i>Sorghum halepense</i>	5,0
<i>Echinochloa crus-galli</i>	4,0-5,0	<i>Stellaria media</i>	3,3
<i>Epilobium hirsutum</i>	4,0-5,0	<i>Veronica persica</i>	3,3
<i>Equisetum arvense</i>	4,0-5,0	<i>Veronica hederifolia</i>	3,3
<i>Fumaria officinalis</i>	5,0	<i>Xanthium spinosum</i>	insufficiente
<i>Galium aparine</i>	3,3-4,0	<i>Xanthium strumarium</i>	insufficiente

Gli erbicidi contenenti dicamba, già in precedenza esaminati per i sistemi colturali convenzionali, sono registrati per i trattamenti sulle stoppie e sono quindi applicabili anche nel periodo precedente la semina su sodo.

I formulati contenenti ciclossidim e propaquizafop, due sostanze attive appartenenti, rispettivamente, alla famiglia chimica degli arilossifenossipropionati e dei cicloesenoni, sono autorizzati specificamente per l'applicazione in pre-semina del riso, per la lotta contro il riso crodo (*Oryza sativa*) e i giavoni (*Echinochloa* spp.). Come tutti i composti appartenenti a queste famiglie chimiche, i due prodotti sono caratterizzati da un'esclusiva azione nei confronti delle graminacee e possono venire impiegati in modo selettivo su molte colture dicotiledoni.

Entrambi gli erbicidi sono caratterizzati da azione sistemica e possono, di fatto, trovare applicazione per la gestione delle infestanti, sia in abbinamento con la tecnica della falsa semina, sia con la semina diretta del riso su terreno sodo. Per l'impiego di formulati contenenti queste sostanze è opportuno tener conto che devono trascorrere almeno 48 ore prima che si realizzi il loro completo assorbimento. Questo ampio arco temporale, legato alla variabilità delle condizioni climatiche, del tipo di infestanti presenti e del loro stato di vigore, deve essere tenuta in attenta considerazione nel caso intervengano piogge o si debba procedere a operazioni di sommersione (per la semina del riso) o di sfalcio oppure ad interventi meccanici per eliminare la parte aerea della vegetazione infestante (Romagnoli et al., 2006). L'assorbimento di questi prodotti può essere sensibilmente migliorato con l'aggiunta di specifici coadiuvanti.

Lo spettro d'azione di entrambi i diserbanti nei confronti delle graminacee non è molto dissimile da quello dei prodotti a base di glifosate, anche se il grado di efficacia risulta alquanto variabile a seconda

della specie considerata. In generale, le infestanti poliennali sono meno sensibili e richiedono le dosi di etichetta più elevate (Tabella 5).

Rispetto ai prodotti a base di glifosate, i diserbanti precedentemente esaminati oltre a presentare, nel complesso, un'efficacia erbicida meno completa, sono, in generale, caratterizzati anche da un profilo sanitario ed ambientale meno favorevole.

Facendo riferimento alle sole "Indicazioni di pericolo" riportate sulle etichette dei formulati commerciali che contengono tali sostanze, si può osservare che molti prodotti a base di glifosate presentano in generale il quadro più favorevole, sia dal punto di vista del rischio tossicologico sia di quello ambientale (Tabella 6).

Tabella 5. Dosi di impiego riportate nell'etichetta di formulati commerciali contenenti ciclossidim (contenente 100 g/L di s.a.) e propaquizafop (contenente 100 g/L di s.a.) per un'azione efficace nei confronti delle malerbe, in assenza di coltura.

Specie	Dose formulato (L ha ⁻¹)	
	Ciclossidim ¹	Propaquizafop ²
<i>Agropyron repens</i>	5,0	1,5-2,0
<i>Alopecurus myosuroides</i>	1,5-2,5	1,5-2,0
<i>Avena</i> spp.	1,5-2,5	0,8-1,2
<i>Bromus sterilis</i>	1,5-2,5	0,8-1,2
<i>Cynodon dactylon</i>	5,0	1,5-2,0
<i>Digitaria sanguinalis</i>	1,5-2,5	1,5-2,0
<i>Echinochloa crus-galli</i>	2,0-2,5	0,8-1,2
<i>Festuca</i> spp.	5,0	-
<i>Hordeum vulgare</i>	1,5-2,5	0,8-1,2
<i>Leptochloa fascicularis</i>	1,5-2,5	-
<i>Lolium multiflorum</i>	2,0-2,5	0,8-1,2
<i>Oryza sativa</i> (riso crodo)	4,0	1,5-2,0
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	1,5-2,5	0,8-1,2
<i>Panicum miliaceum</i>	1,5-2,5	0,8-1,2
<i>Phalaris</i> spp.	1,5-2,5	0,8-1,2
<i>Poa</i> spp.	1,5-2,5	1,5-2,0
<i>Setaria</i> spp.	1,5-2,5	0,8-1,2
<i>Sorghum halepense</i>	5,0	0,8-1,2
<i>Triticum</i> spp.	1,5-2,5	0,8-1,2

Tabella 6. Principali caratteristiche sanitarie ed ambientali di alcuni erbicidi autorizzati nell'intercoltura (fonte: etichette ministeriali).

Erbicida	Formulato commerciale	Indicazioni di pericolo	Pittogrammi
Glifosate	Roundup	Nessuno	Nessuno
	Platinum		

Diquat	Reglone W	<ul style="list-style-type: none"> - Può essere corrosivo per i metalli - Nocivo se ingerito - Tossico se inalato - Può irritare le vie respiratorie - Provoca danni agli organi in caso di esposizione prolungata o ripetuta - Molto tossico per gli organismi acquatici, con effetti di lunga durata 	
Dicamba	Mondak 21S	<ul style="list-style-type: none"> - Provoca grave irritazione oculare - Nocivo per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata 	<p>Attenzione</p>
Ciclossidim	Stratos Ultra	<ul style="list-style-type: none"> - Provoca grave irritazione oculare - Provoca irritazione cutanea - Può essere mortale in caso di ingestione e di penetrazione nelle vie respiratorie - Può provocare sonnolenza o vertigini - Sospettato di nuocere al feto - Tossico per gli organismi acquatici di lunga durata 	<p>Pericolo</p>
Propaquizafop	Agil	<ul style="list-style-type: none"> - Può essere letale in caso di ingestione penetrazione nelle vie respiratorie - Provoca grave irritazione oculare - Nocivo se inalato - Tossico per gli organismi acquatici con effetti di lunga durata 	<p>Pericolo</p>

Alternative al glifosate nella falsa semina

La falsa semina si basa sulla preparazione anticipata del letto di semina, con lo scopo di creare le condizioni favorevoli alla germinazione delle malerbe, e sulla loro successiva eliminazione, prima della semina della coltura. Si tratta di un intervento in grado di favorire il flusso germinativo dei semi dotati di scarsa dormienza e capaci di emergere contemporaneamente alla specie da coltivare (Rasmussen, 2004). Il risultato di questa pratica è strettamente correlato al numero di semi posizionati nello strato in cui può avvenire la germinazione (in media fino a 5-10 cm), al contenuto idrico del suolo, alla tipologia di malerbe e alle caratteristiche del suolo (Boyd et al., 2006). Per stimolare l'emergenza delle malerbe è consigliabile ricorrere a lavorazioni superficiali e ad interventi irrigui, nel caso di assenza di precipitazioni. In generale, la tecnica della falsa semina è efficace in particolare sulle infestanti annuali con semi poco dormienti; infatti, le lavorazioni hanno lo scopo di portare i semi in superficie, esponendoli a condizioni più favorevoli all'interruzione della dormienza e alla germinazione (Pelce, 2013). Il periodo di dormienza è specifico per ogni malerba: ad esempio, il bromo sterile ha semi non dormienti e può quindi essere facilmente controllato con la falsa semina. Altre specie, come *Alopecurus myosuroides* o *Lolium* spp., sono dotate di un certo grado di dormienza e l'efficacia della tecnica può pertanto essere variabile (Pelce, 2013). La falsa semina risulta scarsamente efficace sulle specie perennanti come convolvolo, *Rumex* spp. e *Cirsium arvense* (Pinel et al., 2018).

In seguito all'emergenza delle malerbe, trascorso un periodo di 2-4 settimane, è necessario devitalizzare la vegetazione. La devitalizzazione delle malerbe può essere realizzata con diverse modalità operative, sia con diserbanti totali non residuali, come il glifosate, sia con mezzi meccanici o fisici (erpiculture o pirodiserbo). Ipotizzando l'impossibilità di utilizzare il glifosate per devitalizzare le malerbe emerse, l'impiego di erbicidi alternativi autorizzati è limitata alla sola coltura del riso. Infatti, per tale coltura sono registrati alcuni erbicidi da applicare in pre-semina con le infestanti emerse, quali il ciclossidim e il propaquizafop. Considerando la scarsa disponibilità di erbicidi alternativi, è quindi necessario fare ricorso alle lavorazioni per l'eliminazione delle malerbe emerse. La devitalizzazione delle malerbe con mezzi meccanici può essere effettuata con fresature, erpicature o estirpature. I risultati di una sperimentazione condotta in Toscana nel 2015 hanno fatto rilevare una più elevata efficacia, in termini di riduzione della banca semi, quando le malerbe erano devitalizzate con passaggi ripetuti di frese o erpici rotativi, rispetto alla lavorazione eseguita con un estirpatore; la riduzione della banca semi superficiale con tali lavorazioni è stata pari a circa 1/3 rispetto alla banca semi iniziale (Benvenuti et al., 2016). Le fresature e le erpicature hanno indotto una maggiore frantumazione delle zolle rispetto alle estirpature, migliorando l'arieggiamento del suolo e favorendo quindi una maggiore germinazione delle malerbe. L'estirpatura ha però permesso un miglior controllo

delle malerbe perennanti, quali *Convolvulus arvensis* e *Cirsium arvense* (Benvenuti et al., 2016). L'erpicoltura fornisce in genere risultati inferiori a quelli ottenuti con gli altri mezzi di lotta nella devitalizzazione delle malerbe; tuttavia, se realizzata superficialmente, essa determina un rimescolamento del terreno, con un trasporto in superficie di semi vitali e la creazione di condizioni favorevoli alla loro germinazione (esposizione alla luce, arieggiamento, ecc.) (Pannacci et al., 2017). Per migliorare l'efficacia della tecnica, possono essere realizzate false semine ripetute: il numero di cicli di falsa semina è dipendente dal tempo a disposizione tra la lavorazione e la semina, dalle condizioni meteorologiche e dalle rotazioni praticate. Nel caso di false semine ripetute è necessario eseguire le lavorazioni in modo superficiale e ad una profondità costante, in modo da diminuire la consistenza della banca semi ed evitare di portare in superficie altri semi dagli strati più profondi (Pelce, 2013).

La tecnica della falsa semina può essere combinata con altri interventi per il controllo delle malerbe nelle stoppie, per l'interramento delle paglie e per la preparazione del letto di semina (Tabella 7). La scelta della tipologia di organi lavoranti può quindi permettere di eseguire la falsa semina combinata ad altre operazioni. L'utilizzo di organi lavoranti rotativi e di erpici a dischi indipendenti permette di ottenere una buona efficacia nella falsa semina, ma anche di devitalizzare i ricacci, di interrare le stoppie e di eseguire la preparazione del letto di semina. Gli organi lavoranti a denti rigidi risultano i meno adatti all'esecuzione delle diverse operazioni, in quanto risultano solo efficaci nel devitalizzare le malerbe emerse (Pinel et al., 2018) (Tabella 7).

Tabella 7. Efficacia delle operazioni di falsa semina, devitalizzazione dei ricacci interrimento delle paglie e preparazione del letto di semina di diversi organi lavoranti (modificato da Pinel et al., 2018).

Operazioni	Organi lavoranti a denti			Organi lavoranti animati da presa di potenza		Organi lavoranti a dischi	
	rigidi+ dischi rotanti	rigidi	flessibili	ad asse orizzontale (rotovator)	ad asse verticale (erpice rotante)	a dischi standard	a dischi indipendenti
Falsa semina	+	-	+	+++	+++	+	+++
Devitalizzazione ricacci	+++	++	+++	++	++	++	++
Interramento delle paglie	++	-	-	++	+	++	+++
Preparazione del letto di semina	++	-	++	+++	+++	+	+++

+: *efficacia scarsa*; ++: *efficacia media*, +++: *efficacia buona*.

Una tecnica di devitalizzazione delle malerbe emerse, attuabile soprattutto nelle colture intensive, è il pirodiserbo. Le attrezzature per il pirodiserbo sono costituite da bruciatori alimentati a seguito della decompressione del GPL contenuto in bombole in fase liquida. L'efficacia di tale metodo di lotta è da attribuirsi alla distruzione delle membrane cellulari e alla coagulazione delle proteine, che avviene a temperature superiori ai 50 – 70°C all'interno delle cellule vegetali (Aldo Ferrero e Casini, 2001). L'efficacia della tecnica dipende dallo stadio di sviluppo delle malerbe e dalla loro morfologia (Ulloa et al., 2012, 2010b, 2010a). Generalmente, le specie dicotiledoni ai primi stadi di sviluppo sono più sensibili rispetto alle specie monocotiledoni adulte. Nelle dicotiledoni, infatti, i meristemi non sono protetti sotto la superficie del suolo come nelle monocotiledoni, e sono quindi esposti all'azione del fuoco (Pannacci et al., 2017). Un altro fattore che può condizionare l'efficacia del trattamento è l'ora del giorno in cui questo eseguito: trattamenti effettuati nel pomeriggio sono più efficaci rispetto a quelli effettuati nella mattina, in quanto la vegetazione presenta un inferiore contenuto idrico (Ulloa et al., 2012). Attualmente, l'utilizzo del pirodiserbo è economicamente conveniente solo nelle colture intensive a causa degli elevati costi del carburante, dell'attrezzatura e della manodopera necessaria, nonostante la tecnica abbia dimostrato una buona efficacia nelle applicazioni su mais, girasole, in frutticoltura e in orticoltura (Ferrero e Vidotto, 1998; Pannacci et al., 2017).

Alternative al glifosate negli impieghi in presenza della coltura

Gli attuali impieghi del glifosate nelle colture erbacee in presenza della coltura riguardano varie tipologie di intervento. Oltre ad applicazioni localizzate su infestazioni a macchia (spesso realizzate con attrezzature manuali), il glifosate può essere impiegato su numerose colture erbacee utilizzando opportune attrezzature selettive: umettanti, lambenti, a gocciolamento o schermate. Una applicazione degna di nota è quella relativa all'uso di barre lambenti in interventi di soccorso per evitare la disseminazione di infestanti di taglia superiore a quella della coltura (es. riso crodo nel riso). Un'altra applicazione è il diserbo con attrezzature schermate nell'interfila delle colture a file distanziate. Formulati a base di glifosate sono inoltre utilizzabili in numerose colture erbacee per il controllo delle infestanti emerse dopo la semina e prima dell'emergenza della coltura.

Possibili erbicidi alternativi utilizzabili in questi ambiti di impiego possono essere rappresentati da erbicidi selettivi per le colture interessate e dal diquat. Quest'ultimo deve essere utilizzato con le stesse modalità di applicazione previste per il glifosate (attrezzature selettive), in quanto erbicida ad azione totale.

Tutti gli interventi meccanici (es. sarchiature, rincalzature, strigliature, sfalcio nell'interfila, ecc.) e fisici (es. pirodiserbo) utilizzabili con la coltura in atto possono rappresentare una alternativa all'uso

del glifosate in questo campo di impiego. Nel caso delle barre lambenti, queste possono essere sostituite da attrezzature dotate di organi di taglio o di trinciatura di varia tipologia.

Considerazioni economiche e applicabilità delle alternative al glifosate

Il costo delle tecniche alternative all'uso del glifosate nell'intercoltura può variare a seconda della lunghezza del periodo intercolturale che è funzione della rotazione colturale adottata. Il periodo intercolturale più breve si ha quando si adotta una monosuccessione tra due cereali vernini o una rotazione tra un cereale vernino e il colza; in questo caso, il periodo intercolturale va dalla metà di giugno fino al momento che precede la preparazione del letto di semina, a circa fine settembre. Nell'intercoltura estiva è possibile eseguire un trattamento con il glifosate, nel mese di agosto, con lo scopo di impedire la disseminazione delle malerbe annuali e di controllare le specie perennanti, come ad esempio la sorghetta. In alternativa al trattamento con il glifosate potrebbero essere eseguiti 3 sfalci o lo stesso numero di lavorazioni, ad esempio erpicature o discature. Un eventuale trattamento con dicamba potrebbe essere eseguito sulla vegetazione che si sviluppa sulle stoppie, per il controllo di infestanti specifiche (es. convolvolo), mentre un trattamento con diquat potrebbe essere eseguito alla fine del periodo intercolturale per completare l'azione degli interventi meccanici (Figura 7).

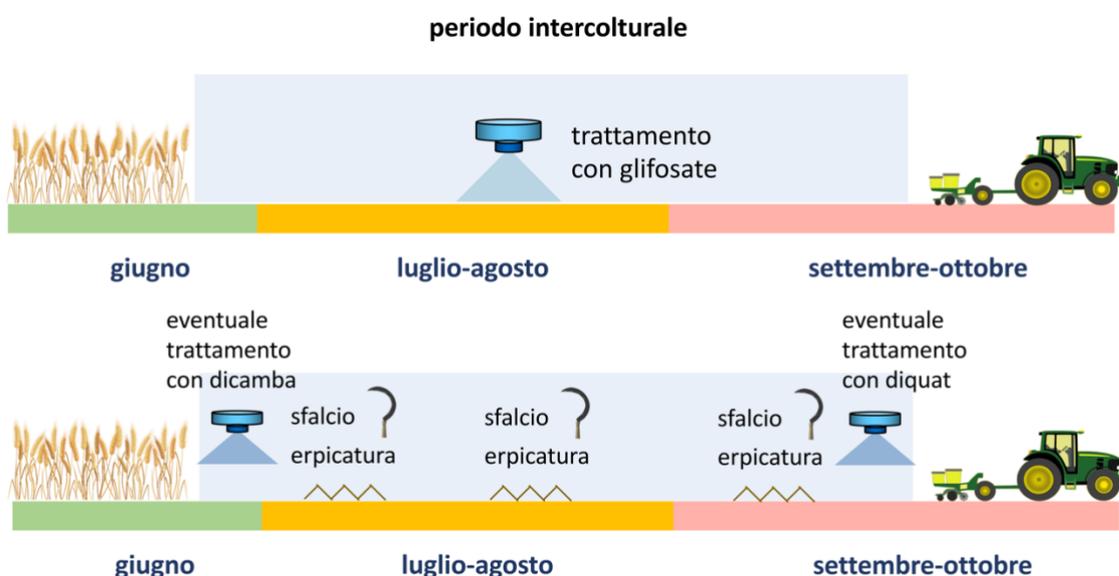


Figura 7. Interventi di erpicatura o sfalci eseguiti come alternativa al trattamento con glifosate nel periodo intercolturale estivo tra due cereali vernini o tra un cereale vernino e il colza. I trattamenti con dicamba e diquat possono essere effettuati a completamento dell'azione degli interventi meccanici.

Il costo del trattamento con il glifosate, con il dicamba o il diquat è stato stimato considerando il costo di esecuzione del trattamento, sommato al costo del formulato commerciale impiegato ad ettaro. Per quanto riguarda l'esecuzione del trattamento si è fatto riferimento alle Tariffe agromeccaniche per l'anno 2018 rese disponibili dell'Unione Nazionale Contoterzisti Agromeccanici Industriali, che è stimato a circa 63 €/ha (Tabella 8). Il costo degli erbicidi è invece stato stimato mediando il prezzo di diversi formulati commerciali, contenenti la molecola considerata, applicato dai rivenditori di prodotti fitosanitari, moltiplicato per la dose ad ettaro utilizzata. Il costo del trattamento con il glifosate, ipotizzando di applicare una dose di 4 L/ha (di un formulato a 360 g/L di s.a.) sulle malerbe cresciute sulle stoppie, è stimato a circa 90 €/ha (Tabella 8). Il costo del trattamento alternativo con diquat o dicamba, risulterebbe leggermente più elevato rispetto a quello con il glifosate: 119 e 107 €/ha, rispettivamente, a causa del maggiore costo del prodotto. Tali trattamenti non sarebbero però in grado di controllare completamente la vegetazione a causa del loro limitato spettro di azione (dicamba) o dell'assenza di sistemicità (diquat). Nello scenario ipotizzato, i trattamenti con dicamba e diquat potrebbero eventualmente essere eseguiti in aggiunta a 3 interventi di erpicatura o di sfalcio. Nel caso dello sfalcio, il costo di esecuzione della singola operazione è stimato, sulla base delle tariffe agromeccaniche, a 49 €/ha; l'esecuzione di 3 interventi avrebbe quindi un costo totale di 147 €/ha (Tabella 9). Il costo di esecuzione della singola operazione di erpicatura è di 89 €/ha, che porta a un costo di 267 €/ha, considerando 3 interventi.

In generale, l'esecuzione di 3 sfalci o 3 erpicature avrebbe un costo più elevato rispetto al singolo trattamento con glifosate, rispettivamente del 61% e del 193%; inoltre, l'eventuale scelta di eseguire un trattamento con dicamba o diquat, aumenterebbe ulteriormente i costi.

Tabella 8. Stima del costo di un trattamento con glifosate, diquat o dicamba.

costo trattamento		glifosate	diquat	dicamba
esecuzione trattamento ¹	€/ha	63	63	63
costo prodotto ²	€/ha	24	56	44
totale costo trattamento	€/ha	87	119	107

¹(Unione Nazionale Contoterzisti Agromeccanici Industriali, 2018)

²dose di impiego (glifosate 4 L/ha, diquat 4 L/ha, dicamba 1,2 L/ha) e prezzo del prodotto al rivenditore (glifosate 6 €/L, diquat 14€/L, dicamba 37 €/L)

Tabella 9. Stima del costo dell'esecuzione di 3 sfalci o 3 erpicature nel periodo intercolturale.

costo 3 sfalci		
esecuzione sfalcio ¹	€/ha	49
numero sfalci	n	2-3
totale	€/ha	98-147

costo 3 erpicature		
esecuzione erpicatura ¹	€/ha	89
numero erpicature	n	2-3
totale	€/ha	178-267

¹(Unione Nazionale Contoterzisti Agromeccanici Industriali, 2018).

Considerando un periodo intercolturale più lungo, come nel caso della rotazione tra un cereale vernino e una coltura estiva, le alternative al trattamento estivo con il glifosate potrebbero essere rappresentate, anche in questo caso, da 2-3 sfalci o 2-3 lavorazioni eseguite in particolare per controllare delle specie perennanti prima dell'inverno (Figura 8). Un'ulteriore possibilità è rappresentata dall'inserimento di una coltura di copertura seminata successivamente alla raccolta del cereale vernino e terminata in primavera prima della semina del mais.

Il costo dell'introduzione di una coltura di copertura comprende il costo dell'intervento di semina della coltura, circa 62 €/ha, da sommare a quello della semente, stimato in circa 100 €/ha. A questi si deve aggiungere il costo per la terminazione della *cover crop* (es. attraverso uno sfalcio/trinciatura, al costo di 49 €/ha). La coltura di copertura potrebbe anche essere rappresentata da un erbaio per produzione di foraggio, per il quale si deve prevedere il costo di 2-3 sfalci complessivi (Tabella 10). In questo caso parte dei costi possono essere coperti dal valore della biomassa raccolta. Va inoltre osservato che con le colture di copertura, come già evidenziato in precedenza, non è sempre possibile ottenere un completo contenimento della vegetazione spontanea.

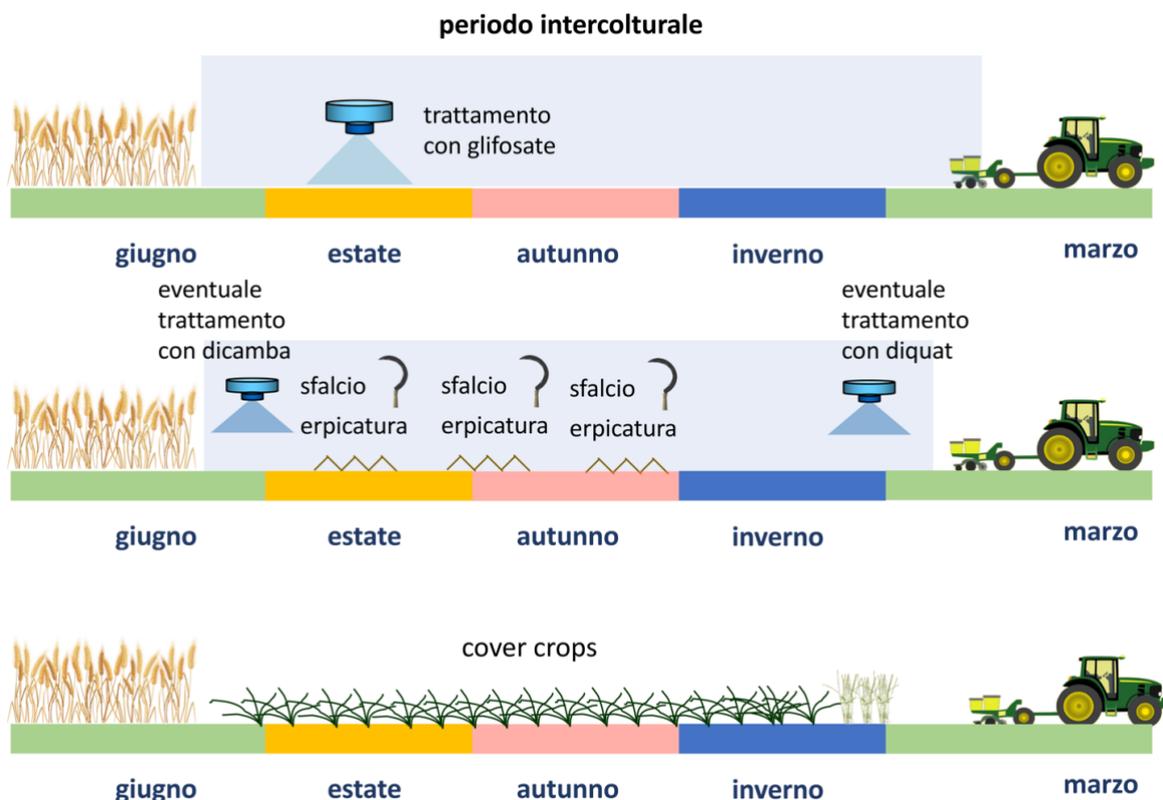


Figura 8. Interventi di erpicatura o sfalci eseguiti come alternativa al trattamento con glifosate o semina di colture di copertura nel periodo intercolturale tra un cereale vernino e la semina di una coltura estiva. I trattamenti con dicamba e diquat possono essere effettuati a completamento dell'azione degli interventi meccanici.

Tabella 10. Stima del costo della coltivazione di una cover crop nel periodo intercolturale.

costo introduzione cover crop		
semina cover crop ¹	€/ha	62
costo semente ²	€/ha	100
costo sfalci (1-3)	€/ha	49-147
totale (con 1-3 sfalci)	€/ha	211-309

¹(Unione Nazionale Contoterzisti Agromeccanici Industriali, 2018)

²dose media di semente (4 kg/ha) e prezzo medio al rivenditore (25 €/kg) nel caso di semina di loiessa o di un miscuglio di crucifere

Interessanti sono i risultati di uno studio realizzato nel 2017 dall'INRA per conto del Ministero dell'Agricoltura francese per analizzare l'impatto organizzativo ed economico della mancata disponibilità del glifosate su un complesso di 996 aziende distribuite in gruppi omogenei per indirizzo produttivo ed organizzazione aziendale (indirizzo zootecnico o non; accesso all'irrigazione o non,

presenza o non di colture industriali, monocultura di mais, presenza di prati avvicendati, ecc.) (Reboud et al., 2017).

In mancanza del diserbante si rileva un aumento del numero di lavorazioni nell'80% dei casi in cui si adottano sistemi conservativi e nel 30% di quelli convenzionali. Le variazioni più significative si registrano soprattutto nelle aziende zootecniche con semina su sodo, in cui la gestione della vegetazione nel periodo intercolturale richiede fino a 4 interventi meccanici in assenza di glifosate contro 1 solo previsto nel caso di utilizzo del diserbante. In generale, tale aumento non determina un corrispondente incremento nel carico di macchine agricole nei diversi contesti produttivi, ma rallenta i tempi necessari per la realizzazione delle diverse operazioni di preparazione del letto di semina. In queste condizioni l'abbandono del diserbante ha un'influenza sfavorevole sull'organizzazione del lavoro delle grandi aziende molto specializzate (Reboud et al., 2017).

Conclusioni

L'applicabilità delle alternative all'impiego del glifosate nella gestione delle malerbe per la preparazione dei letti semina, nel periodo intercolturale e in sistemi conservativi è di difficile valutazione. Oltre al semplice esame analitico delle possibili alternative, occorre considerare il fatto che, al momento, non sono disponibili strumenti con livelli di efficacia e praticità applicativa totalmente sovrapponibili a quelle del glifosate (Tabella 11).

L'analisi delle tecniche alternative deve, pertanto, necessariamente collocarsi in un quadro globale di gestione integrata delle malerbe, dove i mezzi non chimici assumono un ruolo fondamentale. In effetti sotto il solo profilo economico ed agronomico, il glifosate presenta vantaggi tali da renderlo, di fatto, non facilmente sostituibile.

Per tratteggiare un quadro generale dei più significativi punti di forza e di debolezza delle tecniche alternative, si richiamano in modo sintetico i principali aspetti che le differenziano rispetto all'uso del glifosate e che ne condizionano il ruolo ed il possibile impatto agronomico, economico ed ambientale nella gestione della vegetazione spontanea nell'intercoltura e nei sistemi conservativi:

- **spettro d'azione:** attualmente è disponibile un numero molto ridotto di erbicidi alternativi (diquat, dicamba, ciclossidim e propaquizafop), caratterizzati da uno spettro d'azione più ristretto e dalla possibilità di essere impiegati in settori più limitati rispetto al glifosate.
- **infestanti "difficili":** nel caso di specie dotate di organi di moltiplicazione vegetativa le possibili alternative meccaniche (sfalci, sarchiature, erpicature, ecc.) richiedono il ricorso a più interventi e la loro efficacia è fortemente condizionata dalla natura del suolo e dell'andamento climatico. Tra gli erbicidi impiegabili in sostituzione del glifosate, è possibile

ricorrere soltanto a formulati contenenti dicamba, esclusivamente efficaci nei confronti di specie a foglia larga, o a base di diquat, erbicida ad azione disseccante autorizzato per applicazioni in assenza di aratura.

Tabella 11. Analisi del livello di applicabilità e grado di efficacia delle principali strumenti alternativi al glifosate per la gestione delle infestanti nell'intercoltura e nella semina su sodo.

	Efficacia						
	Dicotiledoni annuali	Graminacee annuali	Dicotiledoni poliennali	Graminacee poliennali	Devitalizzazione cover crop dicotiledone	Devitalizzazione cover crop graminacea	
Glifosate	Elevata	Elevata	Elevata	Elevata	Elevata	Elevata	Elevata
Altri erbicidi	Buona	Buona	Buona	Buona (1)	Discreta	Discreta (1)	Insufficiente
Cover crop	Buona	Buona	Appena sufficiente	Appena sufficiente			
Rotazione	Discreta	Discreta	Discreta	Discreta	Discreta		
Aratura	Buona	Elevata	Buona	Buona	Elevata	Elevata	
Erpicatura	Buona	Elevata	Buona	Insufficiente	Buona	Insufficiente	
Falsa semina	Elevata	Buona	Buona	Insufficiente	Buona (1)	Insufficiente	
Rullatura e gelo	Buona	Discreta			Discreta	Appena sufficiente (2)	Discreta (2)
Sfalcio	Elevata	Discreta	Buona	Buona	Insufficiente	Buona	Insufficiente

Applicabilità Elevata Buona Discreta

Efficacia Elevata Buona Discreta Appena sufficiente Insufficiente

(1) solo nel caso del riso

(2) variabilità legata ai giorni di gelo

- **sistemi conservativi**: le possibili alternative più efficaci sono basate sullo sfalcio e sul ricorso a *cover crop*, il cui ciclo può essere terminato dalle basse temperature (*cover crop* gelive) o attraverso un intervento meccanico. Tra gli erbicidi alternativi al glifosate si possono impiegare formulati contenenti diquat e i graminicidi ciclossidim e propaquizafop, autorizzati soltanto nella coltura del riso.
- **falsa semina**: le alternative chimiche al glifosate sono possibili per la sola coltura del riso e si limitano al controllo delle graminacee. L'eliminazione delle infestanti tramite mezzi

meccanici necessita di più interventi per ottenere elevati valori di efficacia e possono stimolare nuove emergenze.

- **caratteristiche sanitarie e ambientali:** gli erbicidi impiegabili come alternativa al glifosate nei contesti discussi in questo lavoro presentano, nel complesso, caratteristiche sanitarie ed ambientali intrinseche tendenzialmente più sfavorevoli rispetto a quelle del glifosate, come evidenziato dalle indicazioni di pericolo e dai pittogrammi riportati in etichetta.

I numerosi aspetti favorevoli legati all'applicazione dei prodotti contenenti glifosate si traducono in evidenti vantaggi economici, rispetto ai diversi mezzi alternativi attualmente disponibili.

L'analisi di alcuni possibili scenari di gestione del periodo intercolturale che non prevedono l'uso di glifosate ha evidenziato costi generalmente superiori, oltre alla necessità di effettuare un maggior numero di interventi e quindi di richiedere maggiori tempi complessivi di esecuzione. Anche l'impiego di altri erbicidi utilizzabili evidenzia un importante svantaggio economico, dovuto sia ai loro maggiori costi unitari, sia soprattutto ai costi legati alla necessità di ricorrere ad altri interventi integrativi, per raggiungere un analogo livello di efficacia.

Nella valutazione delle possibili alternative è necessario anche porre l'attenzione su alcuni aspetti critici del glifosate, e in particolare sui rischi di contaminazione delle acque, soprattutto superficiali, e sull'induzione di fenomeni di resistenza nelle malerbe.

La mancata disponibilità di prodotti contenenti glifosate renderebbe, in generale, più complessa ed economicamente più onerosa la gestione delle malerbe nei sistemi colturali erbacei. L'assenza di erbicidi alternativi altrettanto efficaci e versatili, comporterebbe la necessità di affidarsi, quasi esclusivamente, a strumenti agronomici e meccanici di non sempre possibile applicazione nei programmi di gestione conservativa e con importanti vincoli sull'organizzazione dei sistemi colturali più specializzati.

Bibliografia

- AFPP. (2006). Diquat. Disponibile all'indirizzo internet: <http://www.afpp.net/columa/fichesherbicides2006/reglone.pdf>
- AFPP-Columa vigne. (2018). Les techniques d'entretien mécanique des sols viticoles.
- Bartolini R (2017a). Come scegliere le migliori cover crops, piante che aumentano la fertilità del suolo – Il Nuovo Agricoltore. Disponibile all'indirizzo internet: <http://www.ilnuovoagricoltore.it/come-scegliere-le-migliori-cover-crops-piante-che-aumentano-la-fertilita-del-suolo/>
- Bartolini R (2017b). Cover crops: “Tillage Radish”, il rafano americano che lavora il terreno al posto dell'aratro. Disponibile all'indirizzo internet: <http://www.ilnuovoagricoltore.it/cover-crops-tillage-radish-il-rafano-americano-che-lavora-il-terreno-al-posto-dellaratro/>
- Benvenuti S, Mercati S, Selvi M, Cardinali G, Fulceri S, Mercati V (2016). Efficacia agronomica di false semine mirate alla sostenibilità malerbologica in sistemi colturali di tipo biologico. In *ATTI Giornate Fitopatologiche*, Chianciano Terme, Vol. 1, pp. 611–620.
- Boström U, Fogelfors H (1999). Type and time of autumn tillage with and without herbicides at reduced rates in southern Sweden 2. Weed flora and diversity. *Soil & Tillage Research*, 50: 11.
- Boyd NS, Brennan E B, Fennimore S A (2006). Stale Seedbed Techniques for Organic Vegetable Production. *Weed Technology*, 20: 1052–1057.
- Brenna S, Tabaglio V (2017). Linee guida per l'applicazione e diffusione dell'Agricoltura conservativa. Progetto Life Helpsoil. Disponibile all'indirizzo internet: http://www.lifehelpsoil.eu/wp-content/uploads/downloads/2017/06/HelpSoil_LineeGuida_low-1.pdf
- Calvo G. (2018). *Efficacia della pacciamatura verde nella gestione delle infestanti in risicoltura biologica* (Tesi magistrale). Università degli Studi di Torino.
- Campagna G, Geminiani E (2014). Come ottimizzare l'efficacia del glifosate sulle malerbe. *L'Informatore Agrario*, 14: 50–54.
- Campagna G, Rapparini G (2011). L'importanza del diserbo nel periodo intercolturale. *L'Informatore Agrario*, 28: 5.
- Chikowo R, Faloya V, Petit S, Munier-Jolain N M (2009). Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132: 237–242.
- Coprob (2017). Affinamento del terreno e diserbo pre-semina. Bollettino n. 1. Disponibile all'indirizzo internet: http://www.coprob.com/wp-content/uploads/2016/12/coprob_Bollettino_1_PRESEMINA.pdf
- Duke S O, Powles S B (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, 64: 319–325.
- European Commission (2017). Comunicazione della Commissione sull'iniziativa dei cittadini europei «Vietare il glifosato e proteggere le persone e l'ambiente dai pesticidi tossici». European Commission. Disponibile all'indirizzo internet: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/3/2017/IT/C-2017-8414-F1-IT-MAIN-PART-1.PDF>
- European Commission (2018). Glyphosate. Disponibile all'indirizzo internet: https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/glyphosate_en
- European Food Safety Authority (2015). *La valutazione del rischio spiegata dall'EFSA: il glifosato*. Parma: EFSA. Disponibile all'indirizzo internet: <http://bookshop.europa.eu/uri?target=EUB:NOTICE:TM0415780:IT:HTML>

- Falchier M, Le Roux L, Moquet M, Méry Y, Neveux S (2018). Glyphosate usages et alternatives. Chambres d'agriculture de Bretagne. Disponibile all'indirizzo internet: https://operaconnaissances.chambres-agriculture.fr/doc_num.php?explnum_id=102017
- Favrelière É, Ronceux A, Bétencourt E (2016). Biologie et moyens de gestion des adventices vivaces sans herbicides: fiches thématiques. Estrées Mons: Agro-transfert ressources et territoires. Disponibile all'indirizzo internet: <http://www.agro-transfert-rt.org/projets/agri-bio/>
- Ferrero A, Vidotto F (1998). Mezzi alternative al diserbo chimico nelle colture orticole. Atti del XI convegno SIRFI "Il controllo della flora infestante nelle colture orticole", Bari, pp 71-104.
- Ferrero A, Casini P (2001). Mezzi fisici. In *Malerbologia* Bologna (Italy): Pàtron Editore. pp 287–296.
- GIRE (2018). Banca dati sulla resistenza agli erbicidi in Italia. Disponibile all'indirizzo internet: <http://gire.mlib.cnr.it/>
- Glyphosate Task Force (2013). Agronomic & other benefits of glyphosate for the EU. Disponibile all'indirizzo internet: https://www.glyphosate.eu/system/files/sidebar-files/agronomic_benefits_of_glyphosate_for_european_agriculture.pdf
- Gonzalez-Sanchez E, García M, Kassam A, Holgado Cabrera A, Triviño-Tarradas P, Carbonell R, Basch G (2017). *Conservation Agriculture: Making Climate Change Mitigation and Adaptation Real in Europe*.
- Graglia E, Melander B, Jensen R K (2006). Mechanical and cultural strategies to control *Cirsium arvense* in organic arable cropping systems. *Weed Research*, 46: 304–312.
- Hartwig N L, Ammon H U (2002). Cover crops and living mulches. *Weed Science*, 50: 688–699.
- Heap I, Duke S O (2018). Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest Management Science*, 74.
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans (2017). *Some organophosphate insecticides and herbicides. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans* (Vol. 112). Lyon, France: IARC. Disponibile all'indirizzo internet: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK436774/>
- ISPRA (2018). *Rapporto nazionale pesticidi nelle acque* (No. 282/2018) (pp. 1–95). Roma: ISPRA. Disponibile all'indirizzo internet: http://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/rapporti/Rapporto_282_2018.pdf
- ISTAT (2018). Data warehouse. STAT - Agricoltura, Coltivazioni: Superficie e produzione. Disponibile all'indirizzo internet: http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCSP_COLTIVAZ#
- Lechenet M (2017). *Peut-on concilier un faible usage de pesticides, une bonne performance économique et environnementale?* Université de Bourgogne Franche-Comté. Disponibile all'indirizzo internet: <http://prodinra.inra.fr/record/403698>
- Manzone M, Balsari P (2008). Valutazione delle prestazioni di alcune macchine per il controllo delle infestanti negli impianti per la produzione di biomassa legnosa. *ATTI Giornate Fitopatologiche*, Cervia, Vol. 2, pp 81–88.
- Nkurunziza L (2010). *Phenology and source-sink dynamics of carbohydrates in relation to management of perennial weeds: Cirsium arvense (L.) Scop. and Tussilago farfara L.* (PhD thesis). University of Copenhagen. Disponibile all'indirizzo internet: <http://orgprints.org/18240/1/18240.pdf>
- PAN Europe (2018). Alternatives methods in weed management to the use of glyphosate and other herbicides. Pesticide Action Network Europe. Disponibile all'indirizzo internet: <https://www.greens-efa.eu/files/doc/docs/ef14a7e5fc8eb8191b3e742610d28cf2.pdf>

- Pannacci E, Lattanzi B, Tei F (2017). Non-chemical weed management strategies in minor crops: A review. *Crop Protection*, 96: 44–58.
- Pelce L (2013). Le faux semis permet de réduire le stock semencier d'adventices. Disponible all'indirizzo internet: <http://arvalisinstitutduvegetal.fr:443/le-faux-semis-permet-de-reduire-le-stock-semencier-d-adventices-@/view-13945-arvarticle.html>
- Pinel G, Trayssac J, Roche N, Flas O, Rigal P (2018). La technique du faux semis. *Fiche technique «Ecophyto»*, 3: 1-2.
- Rasmussen I A (2004). The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. *Weed Research*, 44: 12–20.
- Reboud X, Blanck M, Aubertot J, Jeuffroy M H, Munier-Jolain N, Thiollet-Scholtus (2017). *Usages et alternatives au glyphosate dans l'agriculture française*. (No. TR507024), pp. 85.
- Romagnoli S, Vandini G, Geminiani E, Bucchi R, Rapparini G (2006). Verifica dei tempi di assorbimento dei graminicidi “fop” e “dim” impiegati su colture a foglia larga. *ATTI Giornate Fitopatologiche*, Riccione, pagg. 443–452.
- Tabaglio V (2011). Le Cover Crop per l'AgricolturaBLU. *Terra E Vita*, 52: 10–12.
- Tamagnone M, Ghigo D (2006). Analisi della funzionalità di una barra irroratrice umettante per il diserbo in risaia. *ATTI Giornate Fitopatologiche*, Riccione, Vol. 1, pp. 487–492.
- Ulloa S M, Datta A, Bruening C, Gogos G, Arkebauer T J, Knezevic S Z (2012). Weed control and crop tolerance to propane flaming as influenced by the time of day. *Crop Protection*, 31: 1–7.
- Ulloa S M, Datta A, Knezevic S Z (2010a). Growth Stage-Influenced Differential Response of Foxtail and Pigweed Species to Broadcast Flaming. *Weed Technology*, 24: 319–325.
- Ulloa S M, Datta A, Knezevic S Z (2010b). Tolerance of selected weed species to broadcast flaming at different growth stages. *Crop Protection*, 29: 1381–1388.
- Unione Nazionale Contoterzisti Agromeccanici Industriali (2018). Tariffe agromeccaniche. Disponibile all'indirizzo internet: <http://www.contoterzisti.it/tariffari.php>
- Yenish J P, Worsham A D, York A C (1996). Cover Crops for Herbicide Replacement in No-tillage Corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 10: 815–821.