

PROTEZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI DA RUSCELLAMENTO E DERIVA: EFFICACIA DELLE FASCE TAMPONE E DI ALTRE MISURE DI MITIGAZIONE

ZANIN G.¹, OTTO S.², MASIN R.¹, FERRERO A.³, MILAN M.³, VIDOTTO F.³

1. Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Università di Padova
2. Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale, CNR
3. Dipartimento di Agronomia, Selvicoltura e Gestione del territorio, Università di Torino
E-mail: giuseppe.zanin@unipd.it

Riassunto

La protezione dei corsi d'acqua o di altre aree sensibili da agrofarmaci si può realizzare sfruttando particolari aree di rispetto non trattate. Sono possibili vari tipi di aree di rispetto, dotate di capacità di mitigazione variabile nei confronti del ruscellamento o della deriva. Sulla base di risultati della ricerca italiana e internazionale è possibile dare indicazioni sull'efficacia di mitigazione delle aree di rispetto e di altre misure agrotecniche. Tali indicazioni potranno essere eventualmente utilizzate per le necessità normative conseguenti all'entrata in vigore della *Thematic Strategy on a Sustainable Use of Pesticides*.

Parole chiave

Aree di rispetto; Agrofarmaci; Ruscellamento; Deriva.

Summary

Protection of superficial water systems from pesticide runoff and drift: efficacy of buffer zones and other mitigation measures

Watercourses or other sensitive areas can be protected from pesticides by the use of untreated buffer zones. These can be of different types, with varying mitigating capacities of runoff or drift. On the basis of the results from international and Italian research, information can be provided on the mitigating efficiency of buffer zones and other agro-technical measures. This information may also be of use to meet the legal requirements after the 'Thematic Strategy on a Sustainable Use of Pesticides' comes into force.

Keywords

Buffer zones; Pesticide; Runoff; Drift.

Introduzione

La *Thematic Strategy on a Sustainable Use of Pesticides (TSSUP)* introduce la necessità di mettere in atto misure di mitigazione per proteggere le acque superficiali e gli organismi non bersaglio, per i quali il rischio è funzione della tossicità dell'agrofamaco impiegato e dell'esposizione, cioè delle concentrazioni prevedibili nei diversi comparti ambientali (*Predicted Environmental Concentration - PEC*), ma anche della struttura del biotopo agricolo: siepi ed aree di rispetto possono proteggere i corsi d'acqua e l'artropodofauna utile, che può trovare rifugio durante i trattamenti e poi ricolonizzare successivamente i campi coltivati (Otto *et al.*, 2009). Del resto l'opinione pubblica è sempre più attenta non solo alla qualità del prodotto agricolo ma anche alle caratteristiche del processo produttivo, affinché sia salvaguardata la qualità delle acque profonde e superficiali e protetti gli organismi non bersaglio.

La necessità di mettere in atto misure di mitigazione deve in sostanza essere vista dal mondo agricolo non come un ulteriore aggravio gestionale ma come un'opportunità per riorganizzare il territorio agricolo e per sfruttare a fini ambientali una serie di strutture ecologiche già presenti ma purtroppo considerate alla stregua di "tare" senza alcun valore, quali capezzagne inerbite, siepi, aree a vegetazione naturale o semi-naturale, ecc. Queste strutture se opportunamente gestite possono svolgere invece un'importante funzione di mitigazione e di salvaguardia della biodiversità.

Si ritiene opportuno, a questo riguardo, effettuare alcune precisazioni terminologiche.. In letteratura, soprattutto in quella americana, esistono vari termini (*no spray zone, buffer zone, buffer strips, vegetative buffer strips, conservation buffer strips, ecc.*) per indicare un'area di terreno non trattata interposta tra il campo trattato con determinato agrofamaco e un corso d'acqua o una qualsiasi area da proteggere.

Per la finalità specifica del presente lavoro si è ritenuto di utilizzare unicamente il termine di **aree di rispetto**, sufficientemente generale da includere tutte le tipologie di aree capaci di mitigare la deriva ed il ruscellamento superficiale.

Sono possibili molti tipi di aree di rispetto, classificabili utilizzando 4 chiavi dicotomiche: coltivata (sì/no), vegetata (sì/no), durata (permanente/temporanea), origine (artificiale/spontanea). Escludendo i casi impossibili e senza valore, la condizione necessaria e sufficiente perché un'area sia di rispetto è che essa sia **non trattata**. Un'area di rispetto è tale perché mette **sempre** "spazio" tra la sorgente inquinante (la barra, l'atomizzatore, il terreno

trattato) e l'oggetto da proteggere (es. il corpo idrico); se in tale spazio si introduce **anche** una “barriera” si incrementa la capacità mitigatrice (Figura 1).

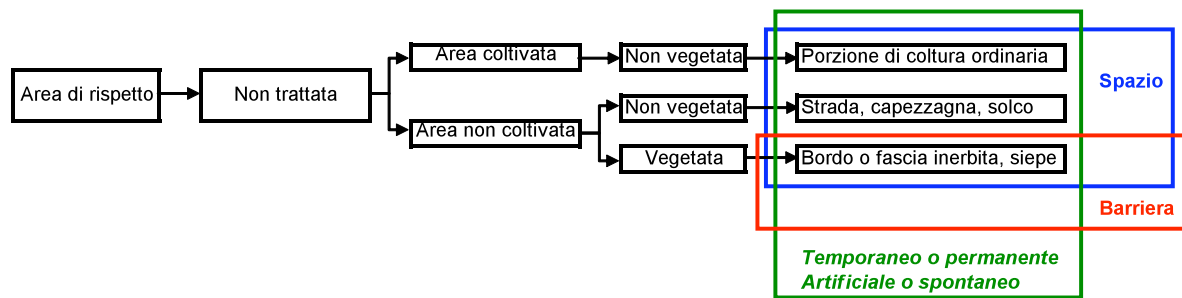


Figura 1. Tipi di aree di rispetto in relazione a localizzazione, struttura, durata e origine, con alcuni esempi.

Un'area di rispetto è quindi “*una porzione di biotopo agricolo che separa fisicamente l'area trattata da un corpo idrico o da un'area sensibile da proteggere*”. Essa svolge più funzioni, con efficacia differenziata in relazione alla loro tipologia e localizzazione all'interno del biotopo agricolo.

Se l'area di rispetto è ricavata all'**interno dell'area coltivata** l'efficacia antideriva è antiruscellamento è buona, probabilmente migliore con coltura sviluppata.

Se invece l'area di rispetto è ricavata in un'**area non coltivata non vegetata** essa può ancora svolgere appieno la funzione antideriva ed anche quella antiruscellamento, seppure in misura minore perché il terreno è di solito compattato e con ormaie, condizioni che riducono l'infiltrazione e favoriscono lo scorrimento canalizzato dell'acqua di ruscellamento. E' importante che quest'area di rispetto, ma la regola è del tutto generale, sia correttamente posizionata in relazione alla direzione di scorrimento delle acque.

Se infine l'area di rispetto è costituita da **area non coltivata ma vegetata (fascia tampone vegetata)** allora la funzione antideriva permane buona ma aumenta molto l'efficacia antiruscellamento: grazie alla presenza della vegetazione, in particolare se è densa e permanente, essa è in grado di rimuovere sedimenti, sostanza organica e altri contaminanti dall'acqua di ruscellamento. Il termine “**tampone**” introduce il concetto di mitigazione attiva operata dall'azione combinata delle comunità batteriche dei suoli e della vegetazione. La vegetazione agisce sia direttamente (assorbimento dei contaminanti e rallentamento del flusso) sia indirettamente grazie ad alcune modifiche indotte al terreno (aumento della porosità e della sostanza organica) che favoriscono l'infiltrazione e l'adsorbimento dei contaminanti ai colloidali. Il termine **fascia** lascia intendere che si tratta solitamente, almeno nei terreni di pianura, di bande lunghe e strette al bordo del campo coltivato; tuttavia non sempre

è così; per questo motivo in Francia si preferisce parlare di “**area tampone**” (CORPEN, 2007). La vegetazione può essere spontanea o artificiale, erbacea o erbacea+arbustiva, in quest’ultimo caso si parla anche di **fasce tampone boscate** che sono molto efficaci anche contro la deriva. Particolarmente interessante è la **fascia tampone riparia**, dove il termine riparia sottolinea che la fascia è permanente e occupa un’area generalmente a disposizione del corpo idrico, non sottratta o solo parzialmente all’esercizio agricolo.

Il presente lavoro ha il duplice obiettivo di illustrare le diverse misure di mitigazione della contaminazione da agrofarmaci via ruscellamento superficiale e via deriva applicabili nell’ambito delle colture erbacee nonché di fornire indicazioni sull’efficacia di tali misure sulla base dei risultati della ricerca italiana ed internazionale. Tali indicazioni potranno essere eventualmente utilizzate per le necessità normative conseguenti all’entrata in vigore della *Thematic Strategy on a Sustainable Use of Pesticides*.

Misure di mitigazione del ruscellamento superficiale nei terreni di pianura

Le misure per mitigare le conseguenze ambientali del trasporto per ruscellamento superficiale degli agrofarmaci sono numerose e possono essere classificate in dirette ed indirette. Le prime si devono attuare a livello di ecotono, cioè nell’interfaccia tra il campo coltivato e il corpo idrico o la zona da proteggere, e quelle indirette all’interno del campo coltivato (Figura 2).

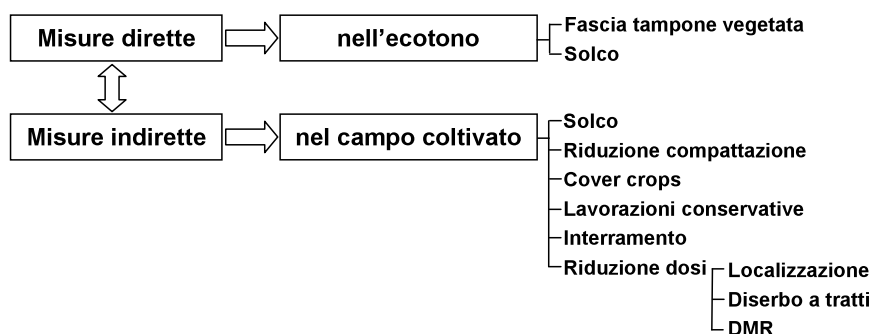


Figura 2. Misure dirette e indirette di mitigazione del ruscellamento superficiale.

Efficacia delle misure di mitigazione a livello di ecotono: risultati della ricerca internazionale

Le fasce tampone sono misure efficaci per contrastare la contaminazione delle acque superficiali via ruscellamento (Melcher e Skagen, 2005; Reichenberger *et al.*, 2007).

Un'importante sintesi dei dati disponibili a livello mondiale è presentata in FOOTPRINT (www.eu-footprint.org): 277 dati di singole combinazioni (agrofarmaco × larghezza della buffer) sono stati considerati in grafici a *box and whiskers*, raggruppati anche in funzione del K_{oc} dell'agrofarmaco. La larghezza della fascia considerata in questo *dataset* varia da 2 a 21 metri.

Considerando tutti gli agrofarmaci esaminati, la percentuale di riduzione mediana varia dal 65% circa con una fascia di 2 metri, al 95% con fascia di 21 metri. Il 25% dei valori sperimentali tuttavia si trova tra il 50% ed il 10% di riduzione.

Le differenze tra agrofarmaci con K_{oc} maggiore o minore di 1000 l/kg si osservano a partire da fasce di larghezza superiore a 6 metri: con fasce ampie l'effetto di mitigazione nei riguardi di agrofarmaci con $K_{oc} > 1000$ l/kg è più marcato di quasi il 15-20%; con agrofarmaci molto adsorbiti si riduce inoltre l'incidenza dei casi con un'efficacia inferiore al 40%.

In un'altra rassegna, Garratt e Kennedy (2006) evidenziano come il valore mediano e medio della riduzione delle concentrazioni nei casi peggiori sia del 65 e 62,4% rispettivamente, mentre il valore mediano e medio per le riduzioni nei casi più favorevoli è risultato rispettivamente pari a 83,3% e 81,4%.

Molti dei dati utilizzati nelle due precedenti sintesi provengono anche da Paesi non europei con condizioni climatiche, pedologiche ed agronomiche molto differenti. Per questo motivo il gruppo FOCUS (2007) ha costruito un *dataset* con i soli dati provenienti dall'Europa (Tabella 1).

Tabella 1. Sintesi dei dati europei sull'efficacia della rimozione degli agrofarmaci dalla fase acquosa e dai sedimenti dell'acqua di ruscellamento in presenza di fasce tampone di diversa larghezza (FOCUS, 2007).

Larghezza fascia (m)	Fase acquosa				Sedimenti			
	n.	Min.	Max.	Media	n.	Min.	Max.	Media
1	4	44,00	75,50	61,50	2	48,50	76,50	62,50
2	2	28,57	33,33	30,95				
4	4	46,00	69,00	61,38	2	64,00	89,50	76,75
5	8	9,95	97,73	62,07	18	11,34	97,73	65,82
6	13	44,00	100,00	84,28	9	72,00	100,00	91,82
7	10	35,00	100,00	77,00	7	-27,00	100,00	64,53
10	23	1,89	99,99	77,21	10	85,62	99,17	95,12
12	13	60,00	100,00	91,71	9	94,00	100,00	98,87
15	13	33,00	100,00	88,25	6	43,00	100,00	88,88
18	7	97,00	100,00	99,15	3	99,90	100,00	99,97
20	10	14,12	98,34	86,06	8	93,21	100,00	97,16
Media				74,51				79,31
Minimo		1,89				-27,00		
Massimo			100,00				100,00	

Dalla Tabella 1 si può osservare che l'azione di mitigazione delle fasce tampone è leggermente superiore per gli agrofarmaci trasportati in via preferenziale dai sedimenti.

In Germania si usano valori di riferimento (*benchmark*) che sostanzialmente rispecchiano il modello EXPOSIT (Winkler, 2001), che contiene un'equazione empirica per calcolare l'efficacia di riduzione (RE) in presenza di *buffer strips* di diversa larghezza (FOCUS, 2007).

$$RE (\%) = 100 - 10^{(-0,083 * \text{larghezza buffer} + 2,00)} \quad (1)$$

Reichemberger *et al.* (2006, 2007) a proposito di EXPOSIT così si esprimono: “*The reduction efficiencies proposed in EXPOSIT seem defensible for modelling purposes with respect to edge of field grassed buffer strips*”.

Il modello SWAT (*The Soil and Water Assessment Tool*) (Arnold *et al.*, 1998) propone un'altra equazione per stimare l'efficienza di abbattimento ($trap_{ef}$) di sedimenti, nutrienti e agrofarmaci della fascia tampone:

$$trap_{ef} = 0,367 (\text{larghezza buffer})^{0,2967} \quad (2)$$

Un confronto tra i livelli selezionati di efficacia delle fasce tampone e la soluzione delle due equazioni è riportati in Tabella 2.

Tabella 2. Confronto dei livelli di efficacia delle fasce tampone calcolati con i modelli EXPOSIT (eq. 1) e SWAT (eq. 2).

Larghezza Buffer (m)	Efficacia di riduzione (%)		
	Benchmark (Germania)	Modello EXPOSIT (eq. 1)	Modello SWAT (eq. 2)
0	0	0	0
3	-	43,6	50,8
5	50,0	61,5	59,2
6	-	68,2	62,5
10	90,0	85,2	72,7
20	97,5	97,8	89,2

Efficacia delle misure di mitigazione a livello di ecotono: risultati della ricerca italiana

I risultati ottenuti presso l'Università di Padova, su terreni in piano con una pendenza attorno all'1%, e di Torino, su terreno sciolto sistemato a spianata, con una pendenza dello 0,5% rientrano pienamente nei *range* sopra presentati, come è evidenziato nelle Tabelle 3 e 4.

Tabella 3. Risultati della sperimentazione di Padova.

Erbicida	Ampiezza fascia (m)	Riduzione %			Anno
		Volume runoff	Concentrazione	Massa ¹	
Metolacoloro	6	68	45	86	2000
	6	10	47	93	2001
Terbutilazina	6	68	88	92	2000
Isoproturon	6	91	96	98	2001
Terbutilazina	3	80	36	74	2002-03
	6	87	98	99	2002-03
	6	72	57	81	2002-03
Metolacoloro	3	80	65	81	2002-03
	6	87	96	99	2002-03
	6	72	45	84	2002-03
Medie	3	80	51	78	2002-03
	6	69	72	92	2002-03

1: in g/ha. Da Vianello et al. (2005) e da Otto et al. (2008).

Tabella 4. Risultati della sperimentazione di Torino.

Erbicida	Riduzione ¹	Tipo fascia	Tipo di area di rispetto (vedi Fig. 1)
Metolacoloro	> 99	6 m, mais non diserbato	Porzione di coltura
Metolacoloro	> 99	6 m, <i>Festuca arundinacea</i> seminata in contemporanea con mais	Area non coltivata vegetata
Terbutilazina	97-99	6 m, mais non diserbato	Porzione di coltura
Terbutilazina	98-99	6 m, <i>Festuca arundinacea</i> seminata in contemporanea con mais	Area non coltivata vegetata
Desetil-terbutilazina	94	6 m, mais non diserbato	Porzione di coltura
Desetil-terbutilazina	93	6 m, <i>Festuca arundinacea</i> seminata in contemporanea con mais	Area non coltivata vegetata

1: rispetto alla concentrazione ($\mu\text{g/L}$) dell'acqua conferita al corpo idrico dalla tesi senza fascia tampone. Da Milan et al. (2008).

Sulla base delle diverse esperienze europee e italiane si possono quindi definire le possibili riduzioni percentuali di contaminazione dei corpi idrici derivanti dall'utilizzo di fasce tampone per appezzamenti di pianura. In Tabella 5 è riportato, oltre al *benchmark* usato in Germania, il confronto tra l'efficacia di riduzione con fasce di diversa ampiezza ottenuta con l'equazione 1 e 2, e la nostra proposta, vicina alla media delle riduzioni (in %) di riferimento. E' una proposta molto cautelativa, infatti, come evidente dalla Tabella 3, la riduzione della massa di erbicida (in g/ha) è di norma molto superiore rispetto alla riduzione della concentrazione (in %).

Tabella 5. Riduzioni percentuali di contaminazione in funzione dell'ampiezza della fascia tampone.

Larghezza fascia (m)	Riduzione (%)			Proposta
	Benchmark (Germania)	Soluzione eq. (1)	Soluzione eq. (2)	
0	0	0	0	0
3	40	43,6	51	45
5	50	61,5	59	55
6	-	68,2	62,5	65
10	90	85,2	73	85
15	95	94,3	82	90
20	97,5	97,8	89	98

Merita osservare che le percentuali di abbattimento della contaminazione si riferiscono a fasce tampone vegetate permanenti, in buono stato di manutenzione. I corpi idrici in sostanza dovranno essere protetti da fasce tampone di diversa dimensione in funzione della tossicità degli erbicidi verso gli organismi non bersaglio.

L'inserimento nel territorio di fasce tampone vegetate si configura come un intervento di gestione del territorio, organizzato e sostenuto anche finanziariamente da Enti, in particolare quelli territoriali. In questa logica l'elemento da tenere in considerazione è principalmente rappresentato dal corso d'acqua per il quale è necessario prevedere la presenza di una area di rispetto permanente, indipendentemente dal tipo di agrofarmaco impiegabile. Vale la pena infine di ricordare che la sperimentazione eseguita in Italia sui terreni di pianura ha evidenziato una perdita di erbicidi molto bassa e dell'ordine di pochi g/ha (il *range* di valori nei terreni senza fascia è compreso tra 0,69 e 25 g/ha, con valore mediano di 3,27 g/ha, per prodotti usati alle dosi di 1000-2100 g/ha). Le perdite più elevate si sono realizzate quando è piovuto con intensità nei giorni immediatamente seguenti la distribuzione dell'erbicida e il terreno era già umido. Se questo non si realizza le perdite per ruscellamento superficiale, sono praticamente nulle, come nel caso del 2008 (Cardinali *et al.*, 2008). Il *German Federal Office for Environmental Protection* (UBA) stima che l' 1-2% delle quantità di agrofarmaci utilizzati in agricoltura entri nei corpi idrici via ruscellamento superficiale (Berenzen *et al.*, 2005). Vianello *et al.* (2005) e Otto *et al.* (2007) evidenziano mediamente una perdita inferiore allo 0,5 % con un picco massimo di 1,4%, quindi livelli leggermente inferiori a quelli individuati dall'UBA, tuttavia ciò è comprensibile se si pensa che derivano da terreni in piano.

Un'altra misura diretta per la mitigazione del ruscellamento superficiale è il **lagunaggio**, che consente all'acqua di sostare per un certo periodo (almeno un giorno) e ridurre il proprio carico di contaminanti grazie alla deposizione e all'attività della vegetazione presente, in particolare delle macrofite (Schulz e Peall, 2001; Rogers e Stringfellow, 2009). Questo aspetto è ancora poco studiato in Italia e può assumere notevole interesse soprattutto nei terreni declivi .

Efficacia delle misure di mitigazione a livello di campo coltivato

Le misure indirette per limitare la contaminazione delle acque superficiali da agrofarmaci a seguito del ruscellamento sono principalmente rappresentate da interventi e pratiche colturali quali i solchi di isolamento, le lavorazioni conservative, la riduzione delle dosi degli agrofarmaci e la semina di colture di copertura.

Solco (S)

Si tratta di un solco interposto tra il bordo del campo coltivato e il corpo idrico da proteggere aperto parallelamente a quest'ultimo. La corretta localizzazione del solco è decisiva per la sua funzionalità e in ogni caso deve essere ortogonale al flusso di ruscellamento. Deve essere aperto prima o subito dopo il trattamento, avere una profondità di almeno 40 cm ed essere mantenuto in efficienza almeno per un periodo doppio del tempo di dimezzamento medio dell'agrofarmaco. Se viene abbinato alla fascia tampone deve essere posto tra il campo e la fascia stessa in modo che l'acqua di ruscellamento investa la fascia con flusso laminare, lento e verosimilmente meno concentrato.

La realizzazione del solco non costituisce solitamente un grosso problema operativo e può garantire una mitigazione discreta degli eventi di ruscellamenti più consistenti e molto buona di quelli di minore intensità. Negli studi realizzati presso l'università di Padova si è potuto osservare che per eventi non particolarmente importanti basta a volte un piccolo avvallamento per ridurre fortemente il ruscellamento nel corpo idrico. In tali condizioni si può ipotizzare un'efficacia nell'abbattimento del ruscellamento pari a circa il 20%

Lavorazioni conservative (LC)

Comprendono un complesso di tecniche di coltivazione che permettono di mantenere la superficie del terreno coperta con almeno il 30% dai residui della coltura precedente.

Queste pratiche non sono ancora molto diffuse in Italia, in particolare nelle colture primaverili-estive. Sono più usate nei cereali autunno-vernini e nella soia di secondo raccolto.

Secondo FOCUS, 2007 (Volume 2, p. 72) le lavorazioni conservative permettono di contenere il ruscellamento con valori compresi tra lo 0 e il 50% per gli agrofarmaci poco adsorbiti ai colloidi (basso K_{OC}) e tra il 40 e il 75% per quelli fortemente adsorbiti. Nelle condizioni ambientali del nostro paese si ritiene di poter considerare un valore medio di riduzione del ruscellamento del 30%.

Interramento (INT)

Si attua con l'incorporamento degli agrofarmaci nel suolo mediante una fresatura leggera o con un intervento irriguo per aspersione di 5-10 mm.

Si tratta di una tecnica usata più facilmente applicata nel settore orticolo, anche se non molto gradita agli agricoltori per la maggiore onerosità rispetto alle altre applicazioni.

Secondo FOCUS (2007) l'interramento consentirebbe di ridurre tra il 25 e il 50% la quantità degli agrofarmaci ruscellati nel caso dei prodotti poco adsorbiti ai colloidi e tra il 35 e il 70% nel caso invece di quelli fortemente adsorbiti. Tenendo conto che l'interramento distribuisce il prodotto in una strato di circa 10 cm di profondità, e che il ruscellamento interagisce con i primi 2-3 cm di terreno, si può ritenere che questa tecnica possa ridurre la contaminazione anche del 70%.

In relazioni a queste considerazioni l'interramento può verosimilmente contribuire alla riduzione della quantità di prodotto ruscellato di circa il 40%.

Riduzione della dose (RID)

Consiste nella applicazione di una dose unitaria di impiego inferiore a quella indicata sull'etichetta e si riferisce ai prodotti ad azione erbicida. Sulla base del rapporto SANCO si può ritenere che la percentuale di abbattimento della quantità di prodotto ruscellato sia pari alla percentuale di riduzione della dose. Uno dei modi per ottenere una riduzione importante della dose di impiego di un erbicida è la **localizzazione** lungo la fila nei trattamenti di pre-emergenza, che comporta una riduzione della dose dal 50% al 70%, a seconda della distanza tra le file della coltura. Questa tecnica richiede un'integrazione efficace tra il mezzo chimico e quello meccanico, quale la sarchiatura tra le file, e non è applicabile nelle colture ad interfila ravvicinata (meno di 40 cm). A prescindere dalla localizzazione, la riduzione delle dosi si può ottenere anche nei trattamenti di post-emergenza, in particolare con la tecnica delle “**Dosi Molto Ridotte-DMR**” (Zanin e Catizone, 2003).

Il successo di questa pratica è fondamentalmente legato al rispetto delle seguenti condizioni:

- 1) esecuzione di uno scrupoloso monitoraggio della flora infestante;
- 2) tempestività di intervento su malerbe nei primi stadi di sviluppo (cotiledonare o di 2-3 foglie vere);
- 3) Utilizzazione di miscele di più prodotti con azione complementare o sinergica.

In prospettiva, è possibile dare un contributo alla riduzione delle dosi di impiego anche mediante l'applicazione del **diserbo a tratti**, secondo i principi dell'agricoltura di precisione

La pratica della riduzione della dose di impiego è valida ed applicabile dove esiste una buona conoscenza delle caratteristiche dell'infestazione (tipo di malerbe, dinamica delle emergenze, ecc.) ed una buona organizzazione aziendale.

In sintesi con questa tecnica è possibile ottenere una riduzione variabile tra il 40% (come nella soia, con un'interfila di 45-50 cm) e il 70% (come nel mais, seminato con un interfila di 75 cm).

Colture di copertura (COL)

Limitatamente alla protezione dei corpi idrici, le colture di copertura possono essere definite come delle colture erbacee che vengono seminate all'interno della coltura da reddito e che convivono con essa per un periodo più o meno lungo prima di essere eliminate, chimicamente o meccanicamente. La loro funzione è quella di rallentare lo scorrimento superficiale dell'acqua favorendo l'infiltrazione e l'adsorbimento ai colloidi grazie ai residui colturali presenti alla superficie del terreno ed alla maggiore porosità del terreno creata dagli apparati radicali. In questa logica la coltura da reddito di solito viene seminata su sodo.

Si tratta di una pratica tecnicamente complessa e costosa che nei terreni di pianura viene adottata quasi esclusivamente nei frutteti e vigneti. In quest'ultimo caso l'azione di abbattimento è legata alla larghezza della fascia seminata come già osservato nel caso delle aree di rispetto. Nelle colture erbacee di pianura non si ritiene ragionevole proporla come misura di mitigazione, salvo casi specifici.

Efficacia della mitigazione della contaminazione via ruscellamento superficiale mediante la combinazione di più misure

La mitigazione risulta molto efficace quando si combinano insieme più misure di mitigazione; tale strategia grande presenta il vantaggio di ridurre fortemente gli eventi di ruscellamento di minore importanza e di attenuare quelli più rilevanti. Nella Tabella 6 sono indicate le misure ritenute più facilmente integrabili nella normale pratica agronomica. Risulta chiara

l'importanza della sinergia, ottenibile anche con fasce strette (3-6 m), le uniche adatte al contesto italiano.

Tabella 6. Ipotesi di mitigazione in presenza di fasce tampone di diversa larghezza e di misure di mitigazione aggiuntive.

Larghezza (m)	Mitigazione % ¹			
	Inserimento fascia tampone	Inserimento solco	Riduzione dose ²	Mitigazione complessiva
0	0	20	25	45
3	45	20	25	90
5	55	20	25	100
6	65	20	25	100
10	90	20	25	100
15	95	20	25	100
20	98	20	25	100

1: rispetto al testimone senza alcuna misura di mitigazione, 2: valore cautelativo, da considerare anche se la riduzione della dose in campo è percentualmente superiore.

Resta infine da sottolineare che la fascia tampone, eventualmente con il solco, è l'ultima linea di difesa contro la contaminazione via ruscellamento; perché la sua efficacia risulti massima deve essere ben costruita, ben posizionata, ben mantenuta e ben abbinata alle "buone pratiche agricole" di gestione del terreno e dell'erbicida all'interno del campo. Nel primo caso si tratta di evitare la compattazione, di utilizzare le pratiche di *conservation tillage* quando possibile, di migliorare la porosità e la struttura del terreno e di prevenire la formazione della crosta. La gestione dell'erbicida si basa invece sulla riduzione delle dosi applicate (localizzazione, diserbo a tratti, DMR), sulla selezione dei principi attivi in funzione delle condizioni pedoclimatiche e sulla scelta preferenziale dei trattamenti di post-emergenza quando possibile e vantaggioso. E' importante ricordare che la presenza di una fascia tampone non esime l'agricoltore dal mettere in atto il Sistema Integrato di Gestione delle Malerbe (*Integrated Weed Management System-IWMS*) (Shaw, 1982), unica strategia che consente di razionalizzare e soprattutto contenere stabilmente nel tempo l'uso del mezzo chimico.

Misure di mitigazione del ruscellamento superficiale nei terreni in pendio

Il fenomeno del ruscellamento si manifesta con particolare frequenza nei terreni collinari o più in generale caratterizzati da forte pendenza. Il controllo dei fenomeni erosivi e di ruscellamento nei terreni in pendio rappresenta una pratica nella quale l'Italia vanta una lunga tradizione. Le peculiari caratteristiche orografiche di buona parte del territorio italiano hanno infatti determinato lo sviluppo e l'adozione di numerose sistemazioni idraulico agrarie.

Secondo Giardini (2002) è necessario ricorrere alle sistemazioni tipiche dei terreni in pendio quando la pendenza supera il 5%; al di sotto di tale pendenza si può infatti fare riferimento alle sistemazioni dei terreni di piano. Le sistemazioni dei terreni in pendio rappresentano già di per sé delle significative misure di mitigazione, grazie alla disposizione sapiente di fossi, collettori, strade, siepi, terrazze, bande intra-appezzamento ai bordi delle vie di circolazione.

La più antica e ancora diffusa sistemazione per i terreni in pendio in Italia è quella a “rittochino”. Ecco come la presenta Giardini, 2002: “...il pendio è suddiviso in unità colturali da scoline parallele, distanti 15-30 metri l’una dall’altra, ed aventi un andamento rettilineo, il più possibile vicino alla linea di massima pendenza. Le scoline sono spesso fiancheggiate da filari di vite. La lunghezza degli appezzamenti è molto variabile: da poche decine di metri per pendenze del 20-30% a 100-150 metri per pendenze del 5-10%; in media è di 60-80 metri. Anche le arature sono eseguite a rittochino, solo dall’alto verso il basso e con ritorno a vuoto allorché la pendenza è troppo elevata. L’acqua scende a valle sia attraverso le scoline che lungo i solchi di aratura; la massa fluida è quindi finemente frazionata in tanti rivoli per cui la velocità e (quindi l’azione erosiva) risulta frenata. Con pendenze elevate è tuttavia necessario interrompere la discesa dell’acqua con capofossi a girapoggio non troppo distanziati”.

Tale sistemazione ha una sua logica sia per contrastare l’erosione sia per facilitare il lavoro delle macchine. Agli effetti della mitigazione, in presenza a valle di un corso d’acqua da proteggere diventa sostanziale far sì che l’acqua delle scoline non venga subito immessa nel sistema idrico principale ma rimanga bloccata per un certo numero di ore. In questo contesto l’inerbimento dei canali sarebbe molto utile.

Altre sistemazioni che vantano ancora una discreta diffusione sono quella a “cavalcapoggio” e quella a “girapoggio”. La prima, ancora adottata nel Monferrato, nel Pesarese e nell’Appennino Tosco-Emiliano, adatta a pendenze anche del 30%, è caratterizzata da unità colturali di forma regolare delimitate da scoline parallele realizzate a cavalcapoggio. Ciascun filare è solitamente delimitato a valle da un muretto a secco e presenta un distanza da quello successivo variabile tra gli 8 ed i 16 m. La sistemazione a “girapoggio” idonea per pendici regolari, prevede: “...unità colturali delimitate da scoline il cui andamento si discosta leggermente (1-2%) da quello delle curve di livello. In tal modo, se le condizioni lo permettono, la scolina scende a elica attorno al rilievo delimitando fasce di terreno la cui larghezza varia in funzione della pendenza del pendio (in genere 4-5m)” (Giardini, 2002).

Tra i numerosi fattori che governano il ruscellamento e l’erosione, la pendenza del terreno rappresenta nelle zone declivi il fattore preponderante. Campanini *et al.* (1992) attraverso

un'analisi dei dati riportati in bibliografia relativamente alla presenza di agrofarmaci nelle acque di ruscellamento, evidenziano come la pendenza sia uno dei fattori maggiormente in grado di influenzare le perdite di agrofarmaci per ruscellamento (ed erosione). Esiste di fatto una relazione diretta tra pendenza del suolo e quantità di erbicida riscontrata nelle acque di ruscellamento (Figura 3).

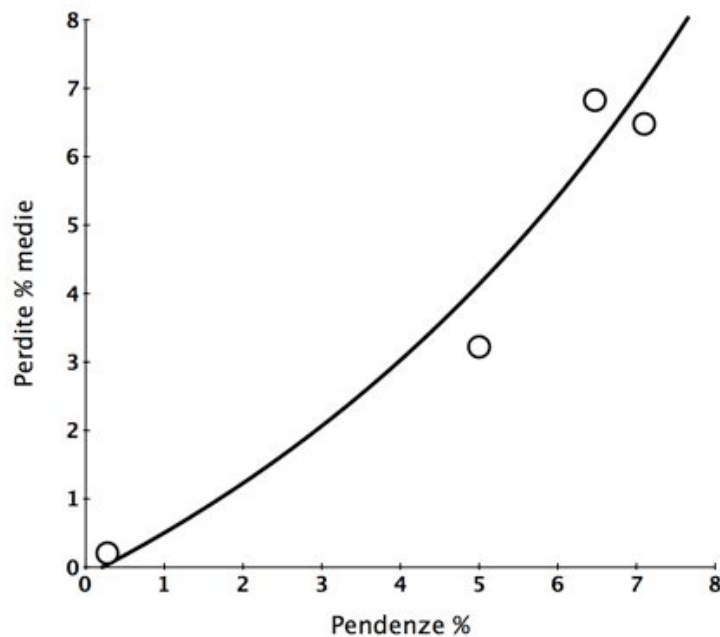


Figura 3. Perdite percentuali medie di atrazina a diverse pendenze (da Campanini et al., 1992).

Nelle linee guida proposte dalla Iowa State University è indicata la larghezza minima delle aree di rispetto in funzione della pendenza del terreno (Iowa State University, 1997; Tabella 7); in questo contesto dette aree sono da considerarsi delle vere e proprie fasce tampone.

Tabella 7. Ampiezza della fascia tampone in condizioni di pendenza del terreno (Iowa State University, 1997).

Pendenza del terreno (%)	Larghezza minima (m)
0-10	4,5
10-20	6,1
20-30	7,6

Le larghezze sopra indicate sono quelle minime previste, e dovranno certamente essere adeguate a seconda delle specifiche condizioni colturali e di campo.

Del resto il ruolo della pendenza è complesso e appare spesso contraddittorio; si tenga infatti presente che:

1. la velocità di scorrimento superficiale, che aumenta con la pendenza, agisce negativamente sulla cinetica di adsorbimento;
2. più la velocità è grande più lo spessore della lama di ruscellamento è limitato e ciò migliora il contatto acqua-substrato;
3. la pendenza riduce la comparsa del ruscellamento per saturazione favorendo lo scorrimento sottosuperficiale e ciò migliora il contatto dell'acqua col substrato.

La definizione della larghezza della fascia tampone può avvenire anche in funzione del rapporto tra superficie della fascia di rispetto e superficie afferente la fascia stessa. Tale approccio, proposto da Bren (1998) in Australia, può tuttavia non trovare una valida applicazione in altre aree geografiche, dalle diverse e peculiari caratteristiche orografiche. Appaiono quindi più vicine alla realtà italiana le indicazioni, generali ed empiriche, proposte in Francia dal CORPEN (Tabella 8).

Tabella 8. Ampiezza della fascia tampone in terreni collinari (CORPEN, 2007).

Elementi da considerare	Ampiezza fascia (m)
Lunghezza pendio <100m	10
Lunghezza pendio >100m	20
Runoff concentrato in un angolo del campo	10-20

Alcune sperimentazioni condotte in Italia hanno indagato l'efficacia di alcune misure di mitigazione, come le colture di copertura e le lavorazioni conservative, nei confronti del fenomeno del ruscellamento nei terreni in pendio. In particolare il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali dell'Università di Bologna, ha approfondito gli aspetti legati alla perdita di agrofarmaci e sedimenti dai terreni in pendio (Vicari e Catizone, 2007; Tabella 9). La presenza di una copertura vegetale ha ridotto fortemente le perdite di suolo ed ha limitato in maniera importante il fenomeno del ruscellamento. Tuttavia l'efficacia delle tecniche di lavorazione conservativa nella riduzione dei fenomeni erosivi e di ruscellamento presenta una notevole variabilità a secondo del parametro di riduzione che si considera. Infatti, se tali modalità di gestione del suolo contrastano efficacemente i fenomeni erosivi e quindi il trasporto di sedimenti ed elementi nutritivi, non sempre presentano un'analogia efficacia nei confronti delle molecole di agrofarmaci.

Tabella 9. Mitigazione tramite l'inserimento delle cover crops ed il tipo di lavorazione delle perdite di erbicidi (da Vicari e Catizone, 2007).

Pendenza del terreno / Anni di sperimentazione	Misura di mitigazione	Risultati
15% 1991-1994	Cover crop di orzo nel mais vs Assenza di cover crop	Riduzione del 70% acqua ruscellata e del 99% del sedimento. Riduzione perdita erbicidi compresa tra 98-99% per la quota in soluzione e tra il 95-98% per quella nel sedimento. Gli erbicidi studiati erano metolacoloro, atrazina, terbutilazina.
15% 1995-1998	Minima lavorazione (ML) vs Lavorazione convenzionale (LC)	La riduzione per le perdite di sedimento è stata del 98% nel grano e del 23% nel mais e per l'acqua rispettivamente del 60 e del 24%. Le riduzione delle perdite di erbicidi sono risultate comprese, nell'anno più piovoso e quindi indicativo (1996), tra il 20 ed il 33%. Solo la DIA, metabolita dell'atrazina, ha avuto perdite superiori nelle parcelle in ML.

La tecnica dell'inerbimento dell'interfila ha trovato negli ultimi anni il favore degli agricoltori, spesso anche di quelli originariamente diffidenti nei confronti di questa pratica innovativa. La presenza di un cotico erboso tra i filari dei frutteti o dei vigneti assolve contemporaneamente a molteplici funzioni. Tra queste, fondamentali sono la creazione di un habitat per l'entomofauna utile e l'apporto periodico di sostanza organica al suolo a seguito degli sfalci. Funzione altrettanto importante è quella di rappresentare un ostacolo fisico ai fenomeni erosivi e di ruscellamento, con ovvi riflessi positivi in termini di quantità di sedimenti, nutrienti ed agrofarmaci allontanati. Una sperimentazione pluriennale condotta negli anni novanta nelle Marche mostra come in corrispondenza di eventi piovosi anche intensi, la copertura del suolo garantita dall'inerbimento offra un maggior ostacolo ai fenomeni erosivi, rispetto ad un suolo coltivato a girasole (Balestra *et al.*, 1996). Anche il ricorso alle colture di copertura rientra nelle strategie di controllo del ruscellamento e dell'erosione. Questa pratica diviene importante soprattutto in quei periodi dell'anno nei quali il suolo non è occupato dalla coltura ed è quindi maggiormente esposto ai fenomeni di ruscellamento ed erosione. Nel caso di agrofarmaci ad elevata persistenza od anche di elementi nutritivi quali azoto e fosforo, nel periodo autunno-vernino possono essere allontanate grandi quantità di prodotto. Da qui deriva che le azioni di mitigazione hanno una

validità tutt'altro che stagionale, ma al contrario sono determinanti durante tutto l'arco dell'anno.

Una soluzione alternativa adottabile su piccola scala è quella utilizzata in Francia nella zona dello Champagne. Viene utilizzata la rete viaria che innerva le colline vitate come sistema di convogliamento delle acque di ruscellamento entro bacini di lagunaggio. All'interno di questi bacini le acque subiscono un periodo di breve decantazione prima di confluire nei corpi idrici superficiali. Tale sistema permette un discreto abbattimento del carico inquinante delle acque nell'arco di 10-15 ore, attraverso la sedimentazione e grazie alla presenza di macrofite specifiche. Questo sistema di mitigazione rientra nell'ambito del processo noto come "bio-attenuazione".

Localizzazione delle fasce

Nel caso particolare dei terreni in pendio i fenomeni di ruscellamento ed erosione devono essere affrontati parallelamente e pertanto le soluzioni proposte devono essere valide per entrambi. Non è infatti possibile immaginare strategie di intervento distinte, ma interventi mirati ad evitare o limitare in contemporanea i due fenomeni. La realizzazione di barriere vegetate trasversali ai flussi di ruscellamento rappresenta una tecnica efficace per contrastare il ruscellamento. Le barriere vegetate tuttavia non hanno sempre una larghezza tale da consentire un significativo abbattimento del carico inquinante. Occorre quindi ipotizzare, laddove anche le condizioni orografiche e di frazionamento aziendale lo consentono, la messa in opera di misure che integrino le barriere vegetate e le fasce tampone. In sostanza le barriere vegetate sono un valido strumento solo se inserite in un contesto di buone pratiche agricole finalizzate, da un lato, alla salvaguardia della qualità delle acque superficiali e dall'altro alla riduzione della perdita di suolo dalle zone collinari. Nei terreni di piano, il ruscellamento avviene generalmente per mezzo di una lama d'acqua che si sposta uniformemente lungo il profilo del suolo. In ambienti declivi però, i flussi di ruscellamento tendono spesso a concentrarsi in rivoli più o meno intensi, e ad interessare quindi una superficie limitata. Il concentramento dei flussi di ruscellamento può rendere, in certe condizioni, inutile la presenza delle fasce di rispetto (CORPEN, 2007). Inoltre in caso di precipitazioni intense i flussi di ruscellamento possono causare profonde incisioni del suolo determinando la comparsa di fenomeni erosivi. In queste condizioni fasce di rispetto ripariali boscate o inerbite prossime al corso d'acqua possono non espletare appieno la loro funzione ed essere meno efficaci delle fasce tampone poste ai margini del campo (Reichenberger, 2007).

In presenza di flussi di ruscellamento concentrati appare quindi ottimale realizzare un sistema che associ fasce di rispetto di modesta larghezza lungo il corpo idrico a fasce di maggiore ampiezza lungo i versanti in modo da intercettare e redistribuire i flussi concentrati (Figura 4). In sostanza, nei terreni in pendio ai cui piedi si trovano dei corpi idrici da proteggere non si dovrebbe parlare di fascia tampone unica, ma di un “sistema di fasce vegetate di versante” per rallentare ed intercettare a vari livelli il flusso di runoff.

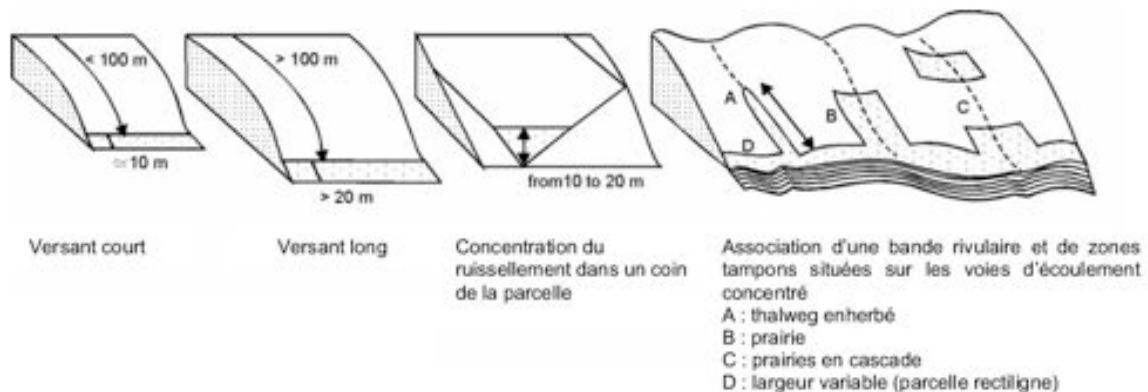


Figura 4. Dimensionamento delle zone tampone inerbite (da CORPEN, 2007).

Merita ricordare che le fasce di rispetto non dovrebbero essere considerate come capezzagne o aree di manovra per le macchine aziendali, soprattutto nel caso di aree declivi. L'inerbimento delle strade di accesso ai coltivi nelle zone collinari, evita che grandi quantità di suolo e di agrofarmaci raggiungano il fondo dei pendii e così i corsi d'acqua. Tuttavia il continuativo transito dei mezzi agricoli comporta la formazione di zone di compattamento che ostacolano la crescita della vegetazione e divengono canali preferenziali di scorrimento delle acque. In proposito è possibile interrompere questi flussi realizzando taglia-acqua (piccoli avvallamenti trasversali alla direzione della strada) che convogliano le acque ai lati della stessa, redistribuendo il flusso verso zone a maggiore capacità assorbente. Nei terreni in pendio il problema del ruscellamento e dell'erosione deve essere affrontato in maniera più articolata rispetto alle condizioni dei terreni di piano. Diventa cioè essenziale un approccio ancora più integrato al problema, che permetta di adottare un insieme di misure di contrasto in grado di garantire un efficace abbattimento dei rischi di inquinamento dei corpi idrici e di perdita di suolo. Tali misure non dovranno perciò riguardare il singolo appezzamento, ma l'intero sistema collinare nel quale esso è inserito.

Misure di mitigazione della deriva

Per *deriva* si intende il trasporto atmosferico dell'agrofarmaco lontano dal bersaglio. Con la deriva si incorre nel rischio che una porzione dell'agrofarmaco vada a depositarsi su una superficie di terreno, su vegetazione diversa da quella trattata o su corpi idrici. Correntemente, parlando di *deriva* ci si riferisce esclusivamente allo spostamento fisico di una parte delle gocce che compongono il getto irrorato, le quali vengono trasportate come particelle sospese dalla massa d'aria in movimento presente intorno al getto stesso. La deriva non comprende quindi il trasporto dell'agrofarmaco attraverso l'atmosfera in forma gassosa, definito generalmente come *volatilizzazione*, né l'allontanamento ad opera del vento di particelle di suolo contenenti il prodotto stesso. La deriva, nota nella terminologia anglosassone con il termine *drift*, viene a volte riferita nella letteratura non tanto al solo fenomeno del trasporto appena descritto, quanto piuttosto alla deposizione delle gocce trasportate al di fuori dei bersagli voluti. In molti casi, inoltre, il termine *drift* viene utilizzato per definire il trasporto dell'agrofarmaco sia in forma di gocce di miscela distribuita, sia in forma di gas. In tal caso si distinguono comunque in genere una *particle drift* (*application drift, droplet drift, spray drift, primary drift*) ed una *vapor drift* (*dry deposition, evaporation, secondary drift*), che si riferiscono rispettivamente ai due fenomeni (Asman *et al.*, 2003; Wolf, 2000; Wolf e Cessna, 2004; Carlsen *et al.*, 2006a, 2006b; ISO, 2005). La mancanza di una definitiva convergenza sulla terminologia da adottare è anche in parte dovuta al fatto che le due modalità di trasporto possono verificarsi contemporaneamente. Durante l'irrorazione, infatti, una parte dell'agrofarmaco può passare nella fase gassosa a seguito della evaporazione delle gocce. Per indicare in modo univoco la deriva dovuta allo spostamento delle gocce durante e subito dopo l'irrorazione si propone di utilizzare il termine *deriva primaria*, per distinguerla dalla *deriva secondaria*, che definisce il trasporto dell'agrofarmaco a seguito del processo di volatilizzazione.

Rispetto alle perdite per ruscellamento o per lisciviazione, il rischio di contaminazione delle acque superficiali a causa della deriva risulta generalmente molto più basso, soprattutto nel caso di trattamenti effettuati su colture erbacee nei quali il getto viene diretto verso il basso (Huber *et al.*, 2000). Tuttavia, a livello europeo, ed in particolare nei paesi del centro-nord, l'attenzione nei confronti della deriva da parte degli organi competenti in materia di impiego di agrofarmaci ha avuto uno sviluppo più consistente, probabilmente per la maggiore "visibilità" del fenomeno, che può determinare, rispetto al

ruscellamento e alla lisciviazione, una esposizione per i corpi idrici più intensa, anche se di più breve durata (Reichenberger *et al.*, 2006).

In questo lavoro si fa riferimento ai trattamenti effettuati sul terreno o sulla vegetazione, in genere di limitato sviluppo in altezza, con irroratori a barra.

Molti fattori possono influenzare la deriva, anche se il più importante è rappresentato dalle dimensioni iniziali delle gocce. Quelle più piccole cadono a terra lentamente e sono più soggette al trasporto laterale a seguito del movimento dell'aria. Durante l'irrorazione, la miscela contenente l'agrofarmaco viene spruzzata verso la superficie del terreno sotto forma di gocce di forma pressoché sferica di dimensioni variabili e comprese per lo più fra qualche decina e alcune centinaia di micrometri. Le gocce con un diametro inferiore ai 100 μm sono pressoché invisibili singolarmente se non ad elevate concentrazioni, sotto forma di nebbia, sono più influenzate dalla turbolenza dell'aria che dall'azione della gravità e sono pertanto maggiormente soggette a fenomeni di deriva (Hobson *et al.*, 1993).

Al momento della fuoriuscita dall'ugello il getto irrorante ha generalmente una velocità di oltre 65 km/h e le gocce, se non caricate elettrostaticamente, sono soggette a forze che possono influenzarne la velocità e il movimento, ed in particolare alla forza di resistenza dell'aria e a quella di gravità. Queste due forze agiscono in modo opposto tendendo la prima a ridurre la velocità iniziale delle gocce e quella di gravità a favorirne la caduta al suolo. La goccia raggiunge una velocità di caduta teoricamente stabile (velocità di sedimentazione) ad una distanza dall'ugello direttamente proporzionale alla dimensione della goccia stessa. Gocce con diametro di 100 μm , ad esempio, raggiungono la velocità di sedimentazione già a 20 cm dall'ugello. In Tabella 10 si riportano la velocità di sedimentazione, il tempo di transito e la distanza di impatto della goccia dall'ugello, per un ugello posto a 50 cm dal suolo e in presenza di un vento di 5 m/s.

Tabella 10. Relazione tra dimensione della goccia e potenziale di deriva (da Asman et al., 2003, modificata).

Diametro gocce [μm]	Velocità di sedimentazione [m/s]	Tempo di caduta (fra uscita goccia e impatto al suolo - ugello a 50 cm dal suolo)* [s]	Distanza di impatto al suolo ** [m]
10	0.0030	166.67	231.5
20	0.012	41.67	57.9
50	0.072	6.94	9.6
100	0.25	2.00	2.8
200	0.70	0.71	1.0
500	2.0	0.25	0.3

)*: si ipotizza che la velocità di sedimentazione venga raggiunta già all'uscita dall'ugello. *)*: si ipotizza che le gocce abbiano la stessa velocità di spostamento laterale data dal vento.

Rispetto alle condizioni reali, i valori teorici calcolati per le diverse classi dimensionali delle gocce possono discostarsi di molto a causa di numerosi fattori. Tra i più importanti vi sono, oltre al vento, l'umidità atmosferica, che condiziona la velocità di evaporazione delle gocce e quindi, indirettamente, le dimensioni delle stesse ed il loro tempo di caduta, la turbolenza dell'aria, la stabilità dell'atmosfera. La distanza dall'ugello alla quale la goccia raggiunge la velocità di sedimentazione, nelle condizioni reali è normalmente maggiore rispetto ai valori teorici poiché durante l'irrorazione, la massa di gocce in movimento determina la formazione di una corrente d'aria che si sposta parallelamente alla massa stessa e nella stessa direzione. La formazione di questa corrente d'aria parallela al getto determina, tuttavia, una depressione. Nel caso di trattamenti diretti verso il suolo con barra irroratrice, tale depressione è compensata, nel fronte di avanzamento, dall'aria incontrata durante l'avanzamento stesso. Nel fronte opposto all'avanzamento, la depressione determina il richiamo di aria dalle zone adiacenti, con formazione di turbolenza, che può causare una alterazione significativa della traiettoria di caduta delle gocce, in particolare di quelle di più piccole dimensioni, che possono essere addirittura trasportate ad una quota superiore a quella dall'ugello (Figura 5).

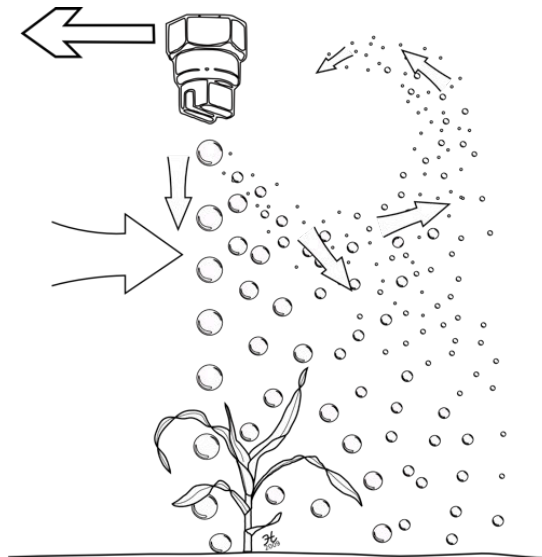


Figura 5. Movimento delle gocce rispetto alla direzione di avanzamento dell'ugello (da Asman *et al.*, 2003, modificata).

Paradossalmente, condizioni di aria estremamente calma possono favorire la deriva, in quanto si associano spesso a fenomeni di inversione termica. La presenza di un gradiente di temperatura dell'aria crescente dal livello del suolo verso l'alto induce la nuvola formata dalle gocce più piccole e portata alla quota cui si trova la barra irroratrice o più in alto dai fenomeni di turbolenza appena descritti a rimanere sospesa a lungo nell'aria, e spostarsi così sottovento per lunghe distanze anche in presenza di venti molto deboli (Wolf, 2000; Klein e Ogg, 2007).

Le misure di mitigazione della deriva possono essere di diverso tipo a seconda che siano finalizzate a ridurre la formazione della deriva o che siano volte ad impedirne gli effetti. Se si scompone il fenomeno della deriva primaria nei suoi elementi principali, è possibile distinguere fondamentalmente tre ambiti di intervento per ridurla:

1. Produzione delle gocce: caratteristiche del getto irrorato e aspetti fluidodinamici e aerodinamici connessi (in particolare dimensioni delle gocce e loro velocità);
2. Trasporto delle gocce: caratteristiche degli elementi climatici nell'atmosfera presente fra punto di irrorazione e bersaglio (es. temperatura, umidità relativa dell'aria, presenza di vento, turbolenze, inversione termica);
3. Intercettazione della deriva: rientrano in questo ambito le pratiche finalizzate a minimizzare l'entità del deposito di gocce alla deriva nell'atmosfera su superfici non bersaglio (es. colture adiacenti, acque di superficie, ecc.).

Produzione delle gocce

Gli interventi possibili devono essere finalizzati alla riduzione della popolazione di gocce componenti il getto irrorato aventi un diametro ridotto, ed in particolare di quelle con diametro inferiore a 100 μm . Ulteriori interventi possono avere come obiettivo quello di ottenere la produzione di gocce con una maggiore velocità iniziale (ovvero all'uscita dell'ugello), oppure di modificare le condizioni aerodinamiche nel volume corrispondente al getto irrorato e nel suo intorno. La riduzione della frazione di gocce di piccole dimensioni può essere ottenuta in parte regolando opportunamente la pressione di esercizio. All'aumento della pressione corrisponde, infatti, una riduzione della dimensione delle gocce e normalmente la relazione tra il volume distribuito e la pressione non è di tipo lineare: ad esempio il raddoppio del volume richiede un aumento della pressione di quattro volte.

Diverse tipologie di ugelli sono state sviluppate per ridurre il rischio di deriva, tra le più diffuse si ricordano i *low drift* (dotati di pre-camera), quelli a specchio a bassa pressione (es. *Turbo TeeeJet*) e quelli ad iniezione di aria. Per tutte le tipologie l'obiettivo principale è quello di produrre un getto con una frazione di gocce di piccole dimensioni più contenuta rispetto ad un ugello convenzionale, rispetto al quale è possibile ottenere una riduzione della deriva dell'ordine del 40% (*low drift*), del 30% (a specchio a bassa pressione) e fino a oltre l'80% (iniezione d'aria) (Balsari, 2008).

Modificando le caratteristiche aerodinamiche nell'intorno del getto si possono ottenere maggiori velocità delle gocce verso il suolo, riducendo così il loro tempo di permanenza in atmosfera, e limitare la formazione di turbolenze che mantengono le gocce più piccole in sospensione nell'atmosfera stessa. In questo senso, diverse sono le soluzioni proposte, tra cui l'impiego di barre con manica d'aria, in grado di ridurre la deriva del 70-80% (Balsari, 2008) e l'utilizzo di barre in cui gli ugelli hanno un angolo diverso da 90° rispetto al suolo. E' da notare che l'utilizzo di ugelli di fine barra con getto asimmetrico crea delle condizioni aerodinamiche sfavorevoli alla formazione di deriva lungo la direzione parallela alla barra.

Ulteriori interventi in questo ambito possono prevedere, ad esempio, l'impiego di ugelli schermati, secondo il principio di isolare in uno spazio limitato il sistema ugello-atmosfera-bersaglio. Questa tecnica consente di abbattere la deriva quasi a zero ma è applicabile efficacemente solo in alcune condizioni, come ad esempio nel diserbo localizzato.

Un aspetto rilevante da considerare e per il quale è crescente l'interesse da parte della ricerca è relativo alla miscela fitoiatrica. Mentre le caratteristiche chemiodinamiche dei principi attivi impiegati risultano scarsamente correlate con le dimensioni delle gocce, una notevole influenza è invece data dalle caratteristiche del formulato distribuito. Additivi diversi possono

avere un effetto differente sulle dimensioni delle gocce e l'interazione col tipo di ugello può risultare anche piuttosto complessa (Chapple *et al.*, 1993). In esperienze condotte in Italia, Meriggi *et al.* (2007) hanno osservato una significativa riduzione della deriva, in particolare alla distanza di 3 e 5 metri dal punto di irrorazione, impiegando un additivo a base di lecitina di soia (Gondor).

Trasporto delle gocce

Per quanto riguarda il trasporto delle gocce, assumono un'importanza fondamentale sia la distanza fra punto di irrorazione e bersaglio (in pratica, l'altezza della barra), sia tutte le variabili climatiche in grado di condizionare la longevità delle gocce e la loro permanenza in sospensione nell'atmosfera. Con la riduzione dell'altezza della barra aumenta la probabilità che le gocce giungano all'obiettivo (suolo o pianta) prima che la loro perdita di velocità sia tale da determinare la comparsa di deriva. L'abbassamento della barra richiede necessariamente l'uso di ugelli ad ampio angolo di spruzzo. In queste condizioni è però essenziale mantenere il più possibile costante la distanza dal bersaglio durante l'avanzamento per assicurare una copertura di distribuzione uniforme. Questo accorgimento consente riduzioni della deriva anche considerevoli. Prove condotte dal DEIAFA dell'Università di Torino indicano, ad esempio, una riduzione della deriva del 45% a seguito di una relativamente modesta riduzione dell'altezza della barra (da 80 a 60 cm; Balsari, 2008).

Tra le variabili climatiche il vento è certamente il fattore più critico per quanto riguarda il rischio di deriva in quanto maggiore è la sua velocità e maggiore è l'allontanamento delle gocce dal bersaglio. Nelle normali condizioni operative è sempre opportuno trattare con velocità del vento inferiore a 5 m/s (cioè 18 km/h). L'applicazione alla barra di dispositivi deflettori consente di limitare gli effetti di deriva legati all'azione del vento. In relazione al rischio di esposizione di aree sensibili (colture su cui il prodotto distribuito può risultare dannoso, corsi d'acqua, ecc.) particolare importanza assume anche la direzione del vento che non deve favorire il trasporto delle gocce irrorate verso l'area sensibile.

Il movimento dell'aria in senso verticale, è comunemente trascurato o considerato di importanza limitata nella formazione della deriva. Questo fenomeno è normalmente più accentuato in assenza di vento, quando la temperatura dell'aria vicino al suolo è più bassa di quella negli strati superiori (inversione termica).

L'umidità bassa e la temperatura elevata favoriscono l'evaporazione riducendo la dimensione delle gocce ed aumentando la deriva potenziale. In tal senso, come regola generale, è opportuno trattare quando l'umidità dell'aria è superiore al 70% (Klein e Ogg, 2007).

Intercettazione della deriva

In presenza di deriva, gli unici accorgimenti a disposizione per evitare che una parte delle gocce vada a depositarsi fuori dal bersaglio, come una coltura adiacente all'area trattata, un corso d'acqua o altra zona da proteggere, consistono nel far sì che le gocce si depositino (ovvero vengano *intercettate*) su di una superficie interposta tra il terreno trattato e la zona da proteggere. I metodi a disposizione sono sostanzialmente riconducibili all'impiego di **aree di rispetto**, dotate o meno di barriere (vedi Figura 1). Per la descrizione delle varie tipologie di aree di rispetto si rimanda alla parte iniziale del presente lavoro. L'efficacia delle aree di rispetto nei confronti della deriva è legata alla progressiva riduzione del deposito di gocce che si verifica all'aumentare della distanza dall'area trattata. In generale, nel caso di trattamenti con barre irroratrici, la percentuale della dose applicata rilevata con captatori orizzontali posti a livello del suolo segue un andamento descrivibile con una potenza della distanza. Rautmann *et al.* (2001, citato da Carlsen *et al.*, 2006), analizzando i risultati di circa 120 sperimentazioni su colture erbacee e in frutteti, propongo la seguente equazione:

$$y = 2.775x^{-0.9787} \quad r^2 = 0.9873 \quad (3)$$

dove y è il deposito a terra di agrofarmaco in % della dose distribuita e x è la distanza in metri dall'area trattata. Si noti l'analogia con l'equazione proposta dal modello SWAT (eq. 2). Sebbene in questa equazione siano inclusi anche i risultati di prove condotte su frutteti, dove presumibilmente sono stati impiegati atomizzatori, i valori che si ottengono sono molto simili a quelli proposti da Ganzelmeier *et al.* (1995) per le colture erbacee. Questa formula calcola una forte riduzione della deposizione di agrofarmaco già nei primi metri dall'area trattata e oltre i 3 metri la quantità che si deposita è inferiore all'1% della dose distribuita (Figura 6).

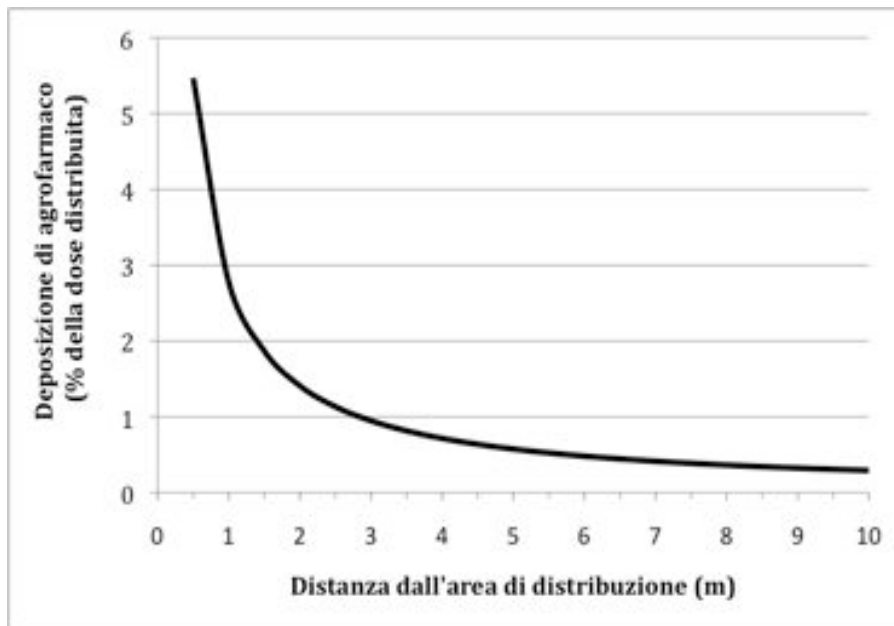


Figura 6. Relazione fra distanza dall'area trattata e deposizione di agrofarmaco (ottenuta utilizzando la formula proposta da Rautmann *et al.*, 2001).

La presenza di barriere a sviluppo verticale all'interno delle aree di rispetto rappresentate da vegetazione arbustiva e arborea costituisce un ulteriore efficace sistema di intercettazione della deriva. In questo caso, il livello di abbattimento della deriva può raggiungere anche il 90% (Van de Zande *et al.*, 2000). Una caratteristica particolarmente importante della barriera vegetata è rappresentata dalla sua porosità ottica, che condiziona la capacità "filtrante" della barriera nei confronti della deriva. Valori ottimali di porosità si collocano tra il 40 e il 50%. Una barriera eccessivamente fitta (poco porosa), qualora investita da vento in direzione perpendicolare alla stessa, può deviare il flusso d'aria verso l'alto e determinare la formazione di turbolenze a valle, limitando così l'efficacia nel contenimento della deriva. In letteratura viene indicata una maggiore efficacia di barriere formate da più file di alberi, anche se studi recenti di Lazzaro *et al.* (2008) indicherebbero che l'efficacia sia da porre in relazione soprattutto alla porosità ottica totale della barriera.

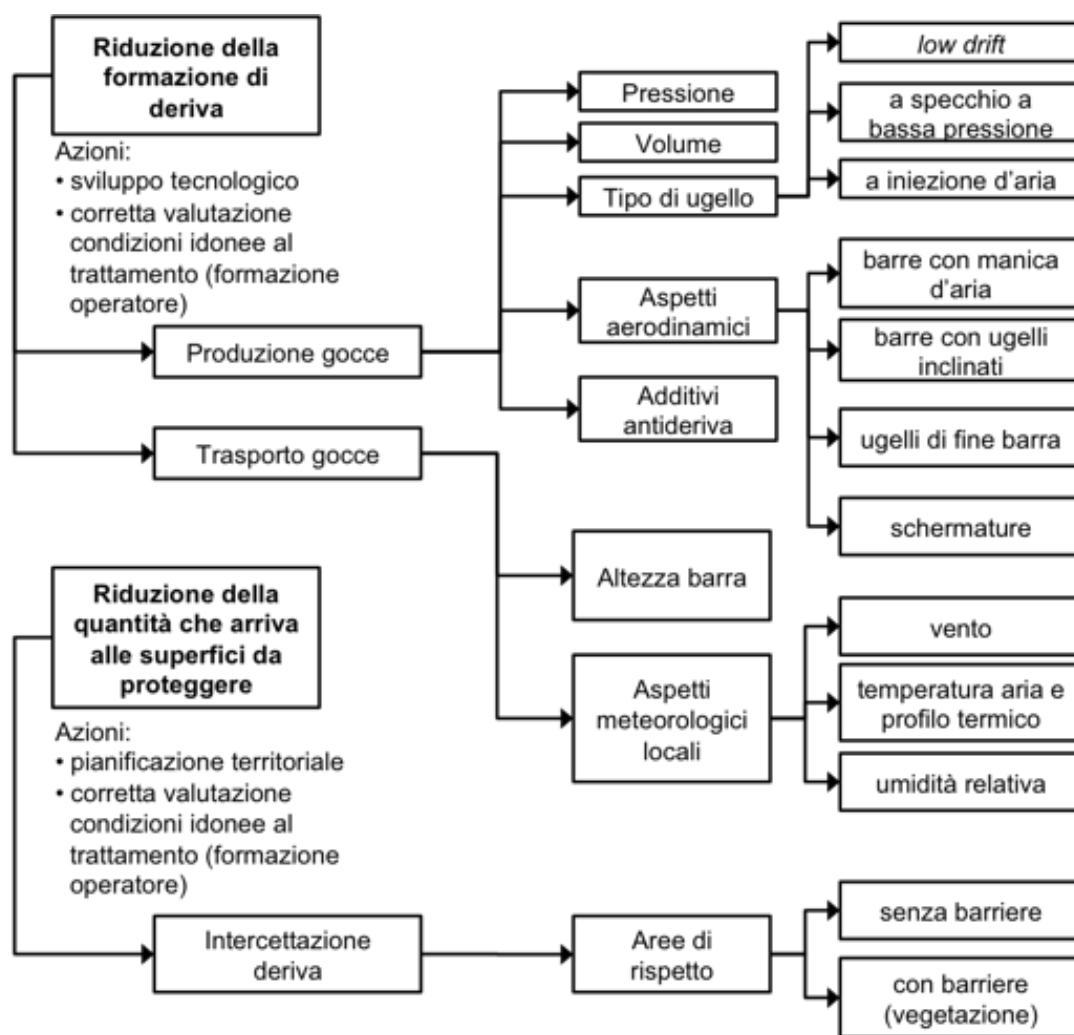


Figura 7. Schema relativo ai possibili interventi per la riduzione della formazione della deriva e del contatto con le superfici da proteggere.

Integrazione fra metodi di mitigazione della deriva

Analogamente a quanto osservato a proposito del ruscellamento, la gestione della deriva può risultare particolarmente efficace quando diversi approcci, metodologie e tecniche di contenimento del fenomeno vengono combinati in un sistema integrato. Poiché alcuni dei metodi descritti possono avere un effetto parzialmente additivo, è possibile ipotizzare di intervenire soprattutto sui metodi relativamente meno costosi. In questo senso, ad esempio, è ragionevole puntare sulla riduzione della formazione della deriva, investendo sugli aspetti tecnologici dei sistemi di distribuzione, al fine di poter ridurre le dimensioni delle aree di rispetto.

In questo senso, ad esempio, il LERAP inglese (Local Environmental Risk Assessment for Pesticides) propone la possibilità di definire aree di rispetto di dimensioni diverse a seconda

della tipologia di ugello impiegata e dell'importanza del corso d'acqua adiacente al campo che si intende proteggere (DEFRA, 2001). Il LERAP classifica gli ugelli in tipologie standard (livello di deriva >0.75) e low drift (in tre categorie, con livelli di deriva da 0.75 a <0.25) e i corsi d'acqua in tre classi di larghezza da <3 m a >6 m. A seconda delle possibili combinazioni, e anche considerando la dose di impiego, l'area di rispetto può variare da 1 m a 5 m (Tabella 11). Ricorrendo quindi ad una *drift reducing technique* (Reichenberger *et al.*, 2006) quale l'uso di ugelli antideriva, la fascia di rispetto può essere contenuta entro 1-2 m di larghezza.

Tabella 11. Larghezze minime dell'area di rispetto (in metri) proposte dal LERAP in funzione delle dimensioni del corso d'acqua, del tipo di ugello e della dose di impiego rispetto alla dose indicata in etichetta (da Matthews, 2006).

Larghezza del corso d'acqua	Dose piena			Mezza dose				
	ugello standard	low drift ☆	low drift ☆☆	low drift ☆☆☆	ugello standard	low drift ☆	low drift ☆☆	low drift ☆☆☆
< 3 m	5	4	2	1	2	1	1	1
3-6 m	3	2	1	1	1	1	1	1
> 6 m	2	1	1	1	1	1	1	1

ugello standard: ugello 11003 a 3 bar, altezza barra 50 cm; low drift ☆: livello deriva tra 0.75 e 0.5; low drift ☆☆: livello deriva tra 0.5 e 0.25; low drift ☆☆☆: livello deriva inferiore a 0.25.

In Italia, risultati significativi si riferiscono agli studi realizzati in Piemonte (Balsari e Marucco, 2009). In questi lavori, è stato individuato un criterio che ha consentito di classificare 27 diverse configurazioni della barra in 10 diverse categorie di rischio in funzione della deriva. Come riferimento si è adottata la configurazione ritenuta più ampiamente utilizzata nella pratica corrente (barra portata da 10 m equipaggiata con ugelli a fessura convenzionali e impiegata ad un'altezza di lavoro di 80 cm). Sulla base delle corrispondenti curve della deriva reale, ottenute applicando la metodologia ISO 22866 (ISO, 2005) con velocità del vento dell'ordine di 5 m/s, a ciascuna categoria è quindi stata attribuita una larghezza della fascia di rispetto, ipotizzando diversi limiti di accettabilità per il deposito di deriva a terra (rispettivamente 5%, 3% oppure 1% del volume distribuito). Con limiti di accettabilità dell'1% ed impiegando barre in grado di ridurre la deriva potenziale di circa il 75% rispetto alla barra ordinaria di riferimento, è possibile ottenere riduzioni dell'ordine del 65% della larghezza dell'area di rispetto.

Bibliografia

- Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Ewilliams JR (1998). Large area hydrologic modelling and assessment part I: Model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34 (1): 73-89.
- Asman W, Jørgensen A, Jensen PK (2003). Dry deposition and spray drift of pesticides to nearby water bodies. *Pesticide research* 66: 171.
- Balsari P (2008). L'importanza della deriva del prodotto fitosanitario e le misure per prevenirla previste dalla direttiva sull'uso sostenibile degli agrofarmaci. Presentazione svolta all'incontro *La classificazione delle macchine irroratrici in funzione della deriva generata*. Roma, Italy, 2 Ottobre 2008.
- Balsari P, Marucco P (2009). Il ruolo delle macchine irroratrici nel contenimento della deriva. In: *Atti del XVII convegno S.I.R.F.I. "Protezione dei corpi idrici superficiali dall'inquinamento da agrofarmaci"*. Bologna, Italy, 19 Maggio 2009, pp 87-103.
- Balestra L, Roggero PP, Rastelli R, Rossi N (1996). Presence of herbicides in drainage water from agricultural fields treated with different agronomic inputs. *Proceeding of the X Symposium on pesticide chemistry*. Piacenza, Italy, 30 September-2 October 1996. pp 465-472.
- Berenzen N, Lentzen-Godding A, Probst M, Schulz H, Schulz R, Liess M (2005). A comparison of predicted and measured levels of runoff-related pesticide concentrations in small lowland streams on a landscape level. *Chemosphere* 58: 683-691.
- Bren LJ (1998). The geometry of a constant buffer-loading design method for humid watersheds. *Forest ecology and management* 110: 113-125.
- Campanini L, Rossi Pisa P, Catizone P (1992). La presenza di erbicidi nelle acque di ruscellamento superficiale e nel terreno eroso da zone declivi. In: *Atti del convegno "Controllo delle piante infestanti"*. Bologna, Italy, 21-22 gennaio 1992. pp 189-214.
- Cardinali A, Loddo D, Marotta E, Otto S, Zanin G (2008). Monitoring of three maize herbicides in water runoff using liquid chromatography-mass spectrometry. *Proceedings Book "Chemicals and their residues in food and water. New scenarios of the modern sustainable agricultural production"*. Piacenza, Italy, 13-14 November. Annual Conference of the Mediterranean Group of Pesticide Residue, pp 61-62.
- Carlsen SCK, Spliid NH, Svensmark B (2006a). Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 1. Secondary drift (evaporation). *Chemosphere* 64: 787-794.
- Carlsen SCK, Spliid NH, Svensmark B (2006b). Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 2. Primary drift (droplet drift). *Chemosphere* 64: 778-786.
- Chapple AC, Downer RA, Hall FR (1993). Effects of spray adjuvants on swath patterns and droplet spectra for a flat-fan hydraulic nozzle. *Crop Protection* 12: 579-590.
- CORPEN (2007). Les fonctions environnementales des zones tampons. Iere Edition. www.developpement-durable.gouv.fr.
- DEFRA (2001). Local Environment Risk Assessment for Pesticides (LERAP). Horizontal boom sprayers. A step by step guide to reducing aquatic buffer zones in the arable sector. UK.
- FOCUS (2007). Landscape and mitigation factors in aquatic risk assessment. Detailed Technical Reviews Report of the FOCUS Working Group on Landscape and Mitigation Factors in Ecological Risk Assessment, EC Document Reference SANCO/10422/2005v2.0., vol 2, 436 pp.

- Ganzelmeier H, Rautmann D, Spangenberg R, Streloke M, Hermann M, Wenzelburger HJ, Walter HF (1995). Studies on the spray drift of plant protection products. Results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany. Herausgegeben von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H305. ISBN: 3-8263-3039-2.
- Garratt J, Kennedy A (2006). Use of models to assess the reduction in contamination of water body by agricultural pesticides through the implementation of policy instruments: a case study of the Voluntary Initiative in the UK. *Pest Management Science* 62: 1138-1149.
- Giardini L (2002). *Agronomia generale, ambientale e aziendale*. Patron, Bologna. 744 pp.
- Hobson PA, Miller PCH, Walklate PJ, Tuck CR, Western NM (1993). Spray drift from hydraulic spray nozzles: the use of a computer simulation model to examine factors influencing drift. *Journal of Agricultural Engineering Research* 54: 293-305.
- Huber A, Bach M, Frede HG (2000). Pollution of surface waters with pesticides in Germany: modeling non-point source inputs. *Agriculture Ecosystems & Environment* 80: 191-204.
- ISO (2005). Equipment for crop protection – Methods for field measurement of spray drift. International Standard 22866, 22 pp.
- Klein RN, Ogg CL (2007). Spray drift of pesticides. *NebGuide, University of Nebraska, Linconl. Documento G1773*.
- Lazzaro L, Otto S, Zanin G (2008). Role of hedgerows in intercepting spray drift: Evaluation and modelling of the effects. *Agriculture Ecosystems and Environment* 123: 317-327.
- Matthews GA (2006). *Pesticides: health, safety, and the environment*. 235 pp. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Melcher CP, Skagen SK (2005). Grass buffers for playas in agricultural landscapes: A literature synthesis. U.S Geological Survey, Biological Resources Discipline, Open-File Report 2005-1220, 35 pp.
- Meriggi P, Wohlhauser R, Anderau V, Marchetti C (2007). Studio sulla deriva da trattamenti in post-emergenza del mais. Effetti di alcune misure di mitigazione (velocità di avanzamento combinato al tipo di ugelli, manica d'aria e additivo a base di lecitina di soia) nel contenimento del fenomeno della deriva. Anno 2007. www.gemmagrofarmaci.org
- Milan M, Vidotto F, Tesio F, Negre M, Ferrero A (2008). Buffer strip effect on terbuthylazine runoff in light level soil. *International Weed Science Conference, Vancouver, 23-27 June 2008*.
- Otto S, Vianello M, Infantino A, Zanin G, Di Guardo A (2007). Effect of a full-grown vegetative filter strip on herbicide runoff: Maintaining of filter capacity over time. *Chemosphere* 71: 74-82.
- Otto S, Lazzaro L, Finizio A, Zanin G (2009). Estimating effects of pesticide drift on nontarget arthropods in field hedgerows. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28: 853-863.
- Rautmann D, Streloke M, Winkler R (2001). New basic drift values in the authorization procedure for plant protection products. In: Forster R, Streloke M, editors. *Workshop on Risk Assessment and Risk Mitigation Measures in the Context of Authorization of Plant Protection (WORMM): 27-29 September 1999*. Berlin, Parey. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft., vol. 383, pp 133-141.

- Reichenberger S, Bach M, Skitschak A, Frede HG (2006). State of the art review on mitigation strategies and their effectiveness. Report DL#7 of the FP6 EU-funded FOOTPRINRT project (www.eu-footprint.org), 76 pp.
- Reichenberger S, Bach M, Skitschak A, Frede HG (2007). Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground-and surface water and their effectiveness; a review. *Science of the Total Environment* 384: 1-35.
- Rogers MR, Stringfellow WT (2009). Partitioning of chlorpyrifos to soil and plants in vegetated agricultural drainage ditches. *Chemosphere* 75: 109-114.
- Schulz R, Peall S (2001). Effectiveness of a constructed wetland for retention of non point-source pesticide pollution in the Lourens River catchment, South Africa. *Environ. Sci. Technol.* 35: 422-426.
- Shaw W (1982). Integrated weed management systems. *Weed Science* 30 (suppl.2): 1-12.
- Smith M (1999). Vegetative filter strip for improved water quality. Iowa State University, University Extension, pp 2-4.
- USDA, 2000. Conservation buffers to reduce pesticide losses. United States Department of Agriculture- Natural Conservation Services (USDA-NRCS), pp 1-21.
- Van de Zande JC, Michielsen JMGP, Stallinga H, De Jong A (2000). The effect of windbreak height and air assistance on exposure of surface water via spray drift. In: *Proceedings of the British Crop Protection Conference-Pests and Diseases 2000*, Brighton, UK, pp 91-96.
- Vianello M, Vischetti C, Scarponi L, Zanin G (2005). Herbicide losses in runoff events from a field with a low slope: role of a vegetative filter strip. *Chemosphere* 61: 717-725.
- Vicari A, Catizone P (2007). Studi di lungo periodo sull'inquinamento diffuso da diserbanti. In: *Atti del XVI convegno S.I.R.F.I. "Uso sostenibile degli agrofarmaci: la nuova direttiva comunitaria, problematiche applicative e ruolo della ricerca"*. Bologna, Italy, 5 Aprile 2007, pp 145-157.
- Winkler R (2001). Konzept zur Bewertung des Eintrags von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächen- und Grundwasser unter besonderer Berücksichtigung des Oberflächenabflusses (Dokumentation zum Modell EXPOSIT). Umweltbundesamt, Berlin, Germany, 27 September 2001.
- Wolf R (2000). Strategies to reduce spray drift. *Kansas State University*. Documento MF-2444.
- Wolf TM, Cessna AJ (2004). Protecting aquatic and riparian areas from pesticide drift. In: *Proceedings of International conference on pesticide application for drift management*. Waikoloa, Hawaii, 27-29 ottobre 2004, pp 59-71.
- Zanin G, Catizone P (2003). La Malerbologia. In Giornata di studio: "Evoluzione dei mezzi di difesa fitosanitaria". Estratto da " *I Georgofili - Quaderni - 2003*, pp 195-269.