

15.5.2 RESISTENZA AD INSETTICIDI E ACARICIDI

Alda Butturini (Servizio Fitosanitario Regione Emilia-Romagna) e Stefano Cassanelli (Università di Modena e Reggio Emilia)

La resistenza di una popolazione di insetti ad un prodotto fitosanitario si manifesta con la sopravvivenza al trattamento di una parte più o meno consistente di individui. Questo si verifica perché il prodotto utilizzato sopprime gli individui sensibili all'azione tossica di quella sostanza attiva ma non quelli che portano i geni della resistenza. Rari individui resistenti infatti sono presenti in natura e trasmettono alla prole la capacità di sopravvivere al trattamento. L'applicazione continua e ripetuta di una sostanza tossica ha l'effetto di selezionare nel tempo gli individui resistenti, che continuano così a moltiplicarsi indisturbati fino a diventare predominanti. Lo sviluppo della resistenza è quindi la conseguenza di una selezione che avviene nell'arco di più generazioni del fitofago.

La velocità di sviluppo della resistenza dipende da diversi fattori, tra i quali i più importanti sono il numero di generazioni per anno, la disponibilità e la migrazione dall'esterno di individui suscettibili, la disponibilità di aree rifugio, la persistenza e la specificità del prodotto che esercita selezione, la tempistica ed il numero di applicazioni. Il numero di geni che controllano il carattere di resistenza così come alcune delle sue caratteristiche genetiche (grado di dominanza) condizionano ugualmente la velocità di selezione di individui insensibili agli agrofarmaci.

I meccanismi di resistenza più comuni sono legati a: la *modificazione del sito bersaglio* sul quale l'insetticida esplica la sua azione (resistenza target specifica). Per questa tipologia di resistenza esiste un elevato rischio che possa manifestarsi nei confronti di tutte le sostanze attive che appartengono allo stesso gruppo (resistenza incrociata) e quindi condividono la stessa modalità di azione (MoA). Il concetto di resistenza incrociata tra gli insetticidi o gli acaricidi chimicamente simili è alla base della classificazione IRAC che raggruppa le sostanze attive in base alla loro modalità di azione (Tab. 1.).

Il *l'aumento del metabolismo enzimatico* che si traduce nella capacità degli insetti di detossificare le sostanze insetticide. I principali sistemi enzimatici coinvolti sono la monossigenasi (MFO), la glutatione-S-transferasi (GST) e le esterasi (EST). Tale meccanismo di resistenza è piuttosto importante e diffuso (es. resistenza di carpocapsa ai regolatori della crescita). È importante sapere che la resistenza metabolica non è collegata alla classificazione basata sulla specifica modalità di azione (MoA) e può quindi interessare più di un gruppo MoA.

La **resistenza** si definisce "**pratica**" quando un prodotto fallisce l'obiettivo di controllare ad un livello soddisfacente la specie dannosa bersaglio del trattamento. Tale situazione si verifica come conseguenza dell'abuso o dell'impiego scorretto di insetticidi o acaricidi e di strategie di difesa non diversificate che portano ad utilizzare in prevalenza sempre le stesse sostanze attive. Il rischio di selezione di popolazioni resistenti è comunque correlato anche alle caratteristiche intrinseche delle specie considerate (polifagia, velocità di sviluppo e numero di generazioni annuali) e al loro ruolo chiave per le colture, che può implicare ripetuti interventi di difesa. In generale gli insetti e gli acari in coltura protetta sviluppano più velocemente resistenza a causa delle favorevoli condizioni di sviluppo e della scarsa immigrazione di individui sensibili.

La comparsa dei primi casi di resistenza è stata osservata a partire dagli anni '50 parallelamente allo sviluppo dell'industria fitochimica e al conseguente ampliamento della gamma dei prodotti disponibili sul mercato. Attualmente sono già 540 le specie di insetti resistenti a uno o più insetticidi e 310 le sostanze attive per i quali almeno una specie è risultata resistente (Arthropod Pesticide Resistance Database; <http://www.pesticideresistance.com/index.php>).

Mentre nel passato la maggiore disponibilità di sostanze attive, portava automaticamente a sostituire un prodotto fitosanitario non più efficace con un altro di nuova generazione, attualmente è strategico sia per l'azienda agricola che per le Società di agro farmaci, conservare più a lungo nel tempo l'efficacia di quelli disponibili.

Quando la resistenza è conclamata, il danno dalla ridotta efficacia del trattamento grava sull'azienda agricola sia per il mancato reddito che per le successive difficoltà di contenere popolazioni sempre più elevate. È pertanto fondamentale comprendere che è più facile prevenire la resistenza che recuperare la suscettibilità alle sostanze attive.

CLASSIFICAZIONE DI INSETTICIDI E ACARICIDI SULLA BASE DEL SITO DI AZIONE

La classificazione degli insetticidi sviluppata da IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) in accordo con tossicologi e biochimici delle industrie di fitofarmaci ed esperti del mondo accademico, raggruppa le sostanze attive sulla base del comune sito di azione (target) ovvero del tipo di organo o di processo su cui agiscono i

prodotti. L'elenco completo delle sostanze attive e la classificazione sulla base della loro modalità di azione (MoA) è consultabile sul sito di IRAC (www.irac-online.org/).

La finalità della classificazione è quella di fornire ad agricoltori e tecnici consulenti del settore, una guida per la scelta degli insetticidi ed acaricidi da impiegare in una efficace e sostenibile strategia di gestione della resistenza. Il consiglio principale è quello di evitare l'uso ripetuto ed esclusivo di insetticidi appartenenti allo stesso sottogruppo chimico, alternando, quindi, i prodotti appartenenti ai diversi gruppi. E' importante però sottolineare che i meccanismi di resistenza metabolica non sono collegati alla suddetta classificazione e possono quindi conferire resistenza incrociata tra gruppi diversi. Inoltre diversi meccanismi di resistenza indipendenti, rivolti a contrastare uno o più MoA, possono essere selezionati simultaneamente all'interno della medesima popolazione o addirittura all'interno di uno stesso individuo (resistenza multipla).

In ogni caso l'uso intelligente di alternanze, sequenze o rotazioni dei composti appartenenti a differenze classi MoA (es: 1A, 1B, 3A ecc.), sono indicate da IRAC come l'unica tecnica valida per minimizzare la selezione di individui resistenti.

Nella tabella 1 si riporta la classificazione IRAC delle principali sostanze attive disponibili in Italia.

Tab. 1. Meccanismi di azione e siti di azione primari delle sostanze attive disponibili per la difesa da insetti e acari (Classificazione IRAC modificata)

Meccanismo d'azione	SITO D'AZIONE PRIMARIO	Codice di classificazione SOTTOGRUPPO CHIMICO	SOSTANZE ATTIVE
<i>Neurotossico</i>	Inibitori dell'acetilcolinesterasi (AChE)	1 A Carbammati	pirimicarb, formetanato, metomil
		1 B Organofosforici	clorpirifos, clorpirifos-metile, dimetoato, fosmet
<i>Neurotossico</i>	Modulatori del canale del sodio	3A Piretroidi Piretrine	acrinatrina, ciflutrin, beta-cflutrin, cipermetrina, alfacipermetrina, beta-cipermetrina, zetacipermetrina, deltametrina, esfenvalerate, etofenprox, lambdacialotrina, tauflualinate, teflutrin, piretrine (piretro),
<i>Neurotossico</i>	Acetilcolina mimetici, agonisti del recettore nicotinico dell'acetilcolina (nAChR)	4A Neonicotinoidi	acetamiprid, clotianidin, imidacloprid, thiacloprid, thiametoxam
<i>Neurotossico</i>	Attivatori allosterici del recettore nicotinico dell'acetilcolina (nAChR)	5 Spinosine	spinosad
<i>Neurotossico</i> <i>Paralisi muscolare</i>	Attivatori del canale del cloro	6 Avermectine, Milbemicine	abamectin, emamectina benzoato, milbemectina;
<i>Regolatore della crescita</i>	Analogo dell'ormone giovanile	7C iriproxifen	piriproxifen
<i>Neurotossico</i>	Inibitore dell'alimentazione specifico per omotteri (inibizione pompa salivare)	9B Pimetrozine	pimetrozine
		9C Flonicamid	flonicamid
<i>Regolatore della crescita</i>	Inibitore della crescita degli acari	10A Clofentezine Exitiazox	clofentezine, exitiazox
		10B Etoxazole	etoxazolo
<i>Citolisi endotelio intestinale</i>	Interferente microbico delle membrane dell'intestino medio	11A <i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>tenebrionis</i>
<i>Regolatore</i>	Inibitori della biosintesi della chitina tipo 0	15 Benzoiluree	diflubenzuron, lufenuron, novaluron teflubenzuron, triflumuron

<i>della crescita</i>			
<i>Regolatore della crescita</i>	Inibitori della biosintesi della chitina tipo 1	16 Buprofezin	buprofezin
<i>Regolatore della crescita</i>	Interferente della mutaDitteri	17 Ciromazinc	ciromazina
<i>Regolatore della crescita</i>	Analoghi dell'ormone della muta ecdisone	18 Diacilidrazine	metossifenozone, tebufenozone
<i>Inibizione respirazione e fosforilazione mitocondriale</i>	Inibitori del complesso I mitocondriale	21A METI acaricidi e insetticidi	fenazaquin, fenpiroximate, pirimidifen, piridaben, tebufenpirad
<i>Neurotossico</i>	Blocco dei canali del sodio	22A Indoxacarb	indoxacarb
		22B Metaflumizone	metaflumizone
<i>Inibizione sintesi lipidica, regolatori di crescita</i>	Inibitore dell' acetyl CoA carboxylasi	23 Derivati degli acidi tetronico e tetramico	spirodiclofen, spiromesifen, spirotetramat
<i>Neurotossico Paralisi muscolare</i>	Modulatore agonista dei recettori rianodinici	28 Diamidi	clorantraniliprololo
	MoA non conosciuto Composti con sito di azione non- conosciuto o incerto	Azadiractina	azadiractina
		Bifenazate	bifenazate

PRINCIPALI CASI DI RESISTENZA AD INSETTICIDI E ACARICIDI IN ITALIA

Tab. 2. Insetticidi - casi di resistenza. (Fonte: Mazzoni et al. - Convegno AIPP "La resistenza ai prodotti fitosanitari: una sfida per la moderna protezione integrata delle colture", Roma 2012, www.aipp.it)

Gruppo MoA	INSETTI/ACARI	COLTURA	ANNO	RESISTENZA	
				confermata	presunta
1A CARBAMMATI pirimicarb	Minatrice del melo (<i>L. malifoliella</i>)	melo			*
	Afide del melone e cotone (<i>A. gossypii</i>)	patata patata	fine '80		*
	Afide verde del pesco (<i>M. persicae</i>)	pesco	Primi '90	*	
1B ORGANOFOSFORICI	Psilla del pero (<i>C. pyri</i>)	pero	1975		*
	Minatrice del melo (<i>L. malifoliella</i>)	melo	'70		*
	Tignoletta della vite (<i>L. botrana</i>)	vite	primi '90		*
	Carpocapsa (<i>C. pomonella</i>)	melo/pero	1999	*	
	Afide verde del pesco (<i>M. persicae</i>)	pesco	primi '90	*	
	Aleurodidi (<i>B. tabaci, T.vaporariorum</i>)	ortive	?	ridotta efficacia diffusa	
	Dorifora della patata (<i>L. decemlineata</i>)	patata	?		*
3A PIRETROIDI	Tripidi (<i>T. tabaci, F.occidentalis</i>)	ortive	fine '90		*

	Dorifora della patata (<i>L. decemlineata</i>)	patata	2001		*
	Nottua del cotone (<i>H. armigera</i>)	ortive	2002		*
	Afide verde del pesco (<i>M. persicae</i>)	pesco	2003	*	
	Aleurodidi (<i>B. tabaci, T. vaporariorum</i>)	ortive/ ornamentali	?	ridotta efficacia diffusa	
4 A NEONICOTINOIDI	Afide verde del pesco (<i>M. persicae</i>)	pesco	2010 2011	*	
10 A acaricidi (regolatori della crescita)	Ragnetto rosso (<i>Panonicus ulmi</i>)	fruttiferi vite	2000	*	
15 benziluree 18 MAC (regolatori della crescita)	Minatrice del melo (<i>L. malifoliella</i>)	melo	1990	*	
	Carpocapsa (<i>C. pomonella</i>)	melo/pero	1999	*	
	Dorifora della patata (<i>L. decemlineata</i>)	patata	2001		*
	Tignola orientale del pesco (<i>C. molesta</i>)	pesco	2007	*	
	Tignoletta della vite (<i>L. botrana</i>)	vite	2008	*	
21 METI acaricidi	Ragnetto rosso comune (<i>Tetranychus urticae</i>)	ortive ornamentali	1998	*	
22 Indoxacarb	Tignoletta della vite (<i>L. botrana</i>)	vite	2008	*	
Virus della granulosi	Carpocapsa (<i>C. pomonella</i>)	melo/pero	2006	*	

RACCOMANDAZIONI GENERALI PER PREVENIRE E LIMITARE I DANNI CAUSATI DALLA RESISTENZA DEI FITOFAGI AGLI INSETTICIDI

Nel caso di resistenza in atto è necessario saper distinguere con prontezza la presenza dei primi sintomi in modo da adottare tempestivamente misure di contrasto definite per ciascuna specifica problematica.

Nella pratica corrente è invece opportuno seguire le indicazioni generali riportate per prevenire o rallentare la progressione della resistenza, in accordo con le raccomandazioni IRAC.

RESISTENZA IN ATTO - COSA FARE

☐ Quando sussiste un fondato sospetto di essere in presenza di una popolazione di insetti resistenti?

- Se si osserva una perdita di efficacia progressiva ed ingiustificata del prodotto utilizzato (cioè non dovuta a problemi di distribuzione, condizioni climatiche che possono limitare l'efficacia del trattamento, errori nella tempistica dei trattamenti che nelle stagioni precedenti assicurava un efficace controllo).
- Se vi sono segnalazioni di perdita d'efficacia in altre aziende del proprio areale che hanno adottato analoghe strategie di difesa (tipologia di prodotto, numero e cadenza dei trattamenti).

Per valutare l'insorgenza di resistenza nelle aziende agricole in Emilia-Romagna è stato attivato un piano di monitoraggio per le specie ritenute a maggior rischio (Carpocapsa, Tignoletta della vite, Afidi, Psilla del pero) con la finalità di consigliare idonee e specifiche strategie anti-resistenza

☐ Cosa fare nel caso si sospetti la presenza di resistenza

- Contattare i Servizi di assistenza tecnica di area per indicazioni e consigli sulle misure specifiche da adottare
- Sostituire l'insetticida che risulta inefficace con una sostanza attiva appartenente ad un gruppo con differente modalità d'azione (se disponibile) e per la quale, a livello locale, non è conosciuta resistenza incrociata.

- Le miscele possono offrire una soluzione a breve termine dei problemi di resistenza, ma è necessario essere sicuri che ciascun componente di una miscela appartenga a classi con modalità d'azione differenti, e sia usata a dose piena.

Cosa non fare nel caso si sospetti la presenza di resistenza

- Ripetere il trattamento con lo stesso insetticida o con altro insetticida con la stessa MoA.
- Aumentare la dose oltre quella indicata in etichetta ed il numero di applicazioni.

PREVENZIONE – AZIONI CONSIGLIATE

Ridurre la pressione di selezione esercitata dalle sostanze attive sulle popolazioni di insetti/acari considerando tutte le alternative disponibili:

- alternare o sostituire i prodotti chimici normalmente impiegati con prodotti fitosanitari biologici (es. *Bacillus thuringiensis*, virus ecc.) o applicando tecniche alternative (es: confusione, cattura di massa ecc.) e diversificare le classi chimiche
- eseguire pratiche colturali che possono essere utili a limitare le infestazioni (es. impiegare varietà resistenti o tolleranti, creare aree non trattate che fungono da siti rifugio per gli insetti utili, eseguire la rotazione delle colture, concimazioni equilibrate ecc.)
- preservare l'azione degli insetti utili scegliendo dove possibile, insetticidi e altri mezzi di difesa selettivi

Utilizzare correttamente i prodotti fitosanitari:

- monitorare il livello di efficacia dei prodotti impiegati effettuando attenti controlli sulla vegetazione ed alla raccolta
- utilizzare le soglie d'intervento stabilite localmente e rispettare gli intervalli tra i trattamenti
- utilizzare i prodotti alle dosi consigliate. I dosaggi ridotti (sub-letali) selezionano velocemente popolazioni con medi livelli di tolleranza, mentre le dosi troppo alte possono imporre pressioni di selezione eccessive
- assicurare una copertura ottimale della vegetazione impiegando volumi d'acqua consigliati, pressione e temperature ottimali
- utilizzare mezzi di distribuzione dei fitofarmaci appropriati e controllati
- se il prodotto utilizzato è ad azione larvicida, colpire se possibile le larve più giovani poiché sono usualmente più suscettibili
- seguire le raccomandazioni riportate in etichetta o il consiglio dell'esperto locale per l'alternanza o la sequenza di differenti classi di insetticidi con differenti modalità di azione (strategia anti-resistenza)
- se sono necessarie applicazioni multiple nell'arco di un anno o di una stagione, alternare i prodotti di differenti classi MoA per ridurre al minimo l'insorgere del fenomeno in ciascuno dei gruppi MoA

Tab. 3. PREVENZIONE DELLA RESISTENZA AD INSETTICIDI E ACARICIDI: Limitazioni del numero di interventi con sostanze attive dello stesso gruppo (Disciplinari di produzione integrata)

FRUTTICOLE e PICCOLI FRUTTI	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
actinidia	-	-	-	1	-	-	-	-
agrumi	1	4	1	1	4	1	-	-
albicocco	1	-	1		-	-	1	-
ciliegio	1	1	-	1	-	-	-	-
fragola	1	0	1 + 2	-	-	1 + 1	-	-
kaki	-	-	-	2	-	-	-	-
melo	1 + 1	4	1	1	3	1	3	2
olivo	1	-	-	-	-	-	-	-
pero	1	4	-	-	3	1	3	2
pesco	1 + 1	3	1	2	4	1	3	2
susino	1 + 1	3	-	2	2	1	-	1
vite da vino	1	2	-	2	2	1	3	-
vite da tavola	1	3	3	-	2	1	3	-
mandorlo	1	-	-	-	-	-	-	-
nocciolo	-	-	3	-	-	-	-	-
noce	2	-	-	-	-	-	-	-

lampone	-	-	1	-	-	-	-
mirtillo	-	-	-	1	-	-	-
uva spina	-	-	1	-	-	-	-

ORTICOLE VARIE e A BULBO	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
asparago	-	-	1	-	-	-	-	-
carciofo	1	-	2	-	-	-	-	-
carota	-	-	2	-	-	-	-	-
finocchio	-	-	1	-	-	-	-	-
mais dolce	-	-	2	-	-	-	-	-
ravanello	-	-	2	-	-	-	-	-
cipolla	-	-	2	1	-	-	-	-
porro	-	-	2	-	-	-	-	-

CUCURBITACEE	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
cetriolo	1	-	2	-	-	2	3	2
cocomero	1	-	1	-	2	3	2	2
melone	1	-	1	-	2	3	2	2
zucca	1	-	2	-	-	2	3	2
zucchino	1	-	1	-	-	-	3	2

SOLANACEE	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
melanzana	1	-	1 + 1	1	-	1	4	-
patata	1	-	2	-	-	-	4	-
peperone	1	-	1	-	-	2	4	-
pomodoro cp	1	-	2	2	-	2	4	2
pomodoro p.c.	1	solo sud	2	-	-	2	4	2

c.p. = coltura protetta
p.c. = pieno campo

CAVOLI	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
cavoli a testa	1		2/ciclo				3	
cavoli a cappuccio	1		2/ciclo				3	
cavoli ad infiorescenza	1		2 - 3/ciclo				3	
cavoli rapa	1		2 - 3/ciclo	2			3	

ORTICOLE A FOGLIA	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
basilico	1			1/ciclo				
bietola da costa				2/ciclo				
erbe fresche				2/cicli				
lattuga	1/ciclo		2/ciclo	1/ciclo			3	
prezzemolo	1			1/ciclo	-	-	-	-
rucola	1/ciclo		2/taglio	1/ciclo	-	-	-	-
sedano			2/ciclo					-

spinacio			3 - 4/ciclo				3	-
----------	--	--	-------------	--	--	--	---	---

INSALATE	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
cicoria	3		2/ciclo					
iIndivia Riccia	3	-	2/ciclo		-	-	-	-
indivia scarola	3		2/ciclo	1/ciclo			3	
radicchio	3		2/ciclo	1/ciclo			3	

LEGUMINOSE	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
fagiolino	1		3			1		
fagiolo	1		2					
fava	1			1				
pisello			2					

COLTURE PROTETTE IV GAMMA	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
bietola a foglie c.p.				1/taglio				
cicorino c.p.	1/ciclo		2/taglio	2/taglio			3	
dolcetta	1/ciclo		2/taglio	1/taglio			3	
foglie e steli di brassica	1/ciclo		2/taglio				3	
lattughino	1/ciclo		2/taglio 3/ciclo	1/taglio			3	
rucola c.p.	1/ciclo		2/taglio	1/taglio				
spinacino			2/taglio	1/taglio			3	

ERBACEE	Neonicotinoidi 4A	Esteri fosforici 1B	Piretroidi 3A	Etofenprox 3A	Regolatori di crescita 15 e 18	Acaricidi vari	Indoxacarb 22A	Flonicamid 9C
barbabietola			3					
frumento			1					
mais			1				2	
soia						1		