

10.1 Gli induttori di resistenza nelle piante

Bugiani Riccardo (Servizio Fitosanitario Regione Emilia-Romagna)

Le piante hanno sviluppato nel corso della loro evoluzione i più svariati meccanismi di difesa contro funghi, batteri, virus, insetti ed anche animali erbivori. Le sostanze chimiche riconosciute dalla pianta e che ne inducono le reazioni di difesa vengono chiamate induttori e promuovono nella pianta meccanismi di difesa in grado di proteggerla dagli attacchi di microrganismi patogeni, senza peraltro produrre reazioni di ipersensibilità. Inoltre, gli induttori, sono altresì in grado di agire anche in assenza dell'agente patogeno.

La capacità delle piante di proteggersi dall'azione di agenti fitopatogeni può essere di tipo passivo (resistenza passiva) o attivo (resistenza indotta o acquisita).

□ **Resistenza passiva:**

Le piante possono essere dotate di barriere fisiche costitutive che sono presenti, quindi, anche in assenza del patogeno. Ad esempio la spessa cera che ricopre le foglie di alcune specie vegetali è in grado di limitare alcuni agenti fitopatogeni i quali per penetrare all'interno dell'organo vegetale devono sfruttare la presenza di microlesioni o pori. Inoltre le cellule vegetali sono circondate da pectine e cellulosa, sostanze già di per se difficilmente aggredibili.

□ **Resistenza indotta localizzata:**

La protezione esterna talvolta non è sufficiente e la pianta mette in atto meccanismi di difesa ogni qualvolta si trovi in presenza di microrganismi fitopatogeni. I meccanismi di induzione di resistenza possono essere svariati. Alcuni esempi:

- Un'infezione localizzata talvolta è in grado di portare ad una resistenza nei confronti di successive infezioni da parte di svariati microrganismi.

- In alcune specie vegetali, le cellule che si trovano nelle immediate vicinanze dal punto interessato dall'infezione tendono ad autodistruggersi, limitando così in tal modo l'espansione del parassita all'interno della pianta. Si tratta di una "reazione di ipersensibilità" che, rallentando il processo patogenetico del microrganismo, permette alla pianta di dare avvio ad altre reazioni di difesa. Tra queste, ad esempio, la produzione di **fitolessine** o **particolari proteine** (PRP - Pathogenesis related proteins) che sono sostanze antimicrobiche in grado di inibire lo sviluppo del patogeno all'interno della pianta una volta iniziato il processo patogenetico. In taluni casi può essere prodotta *lignina* che, inspessendo la parete cellulare, incrementa la resistenza di tipo passivo.

- Un altro meccanismo di risposta alla penetrazione di un agente patogeno è la sintesi e l'invio alle cellule poste nelle immediate vicinanze, di sostanze in grado di segnalare il pericolo imminente. In questo caso si parla di "resistenza acquisita di tipo locale".

□ **Resistenza Sistemica Acquisita (SAR)**

Quando il segnale, di tipo biochimico, viene inoltre inviato all'intera pianta fino alle radici, rendendola in grado di prepararsi a futuri ulteriori attacchi di parla invece di SAR o resistenza sistemica acquisita (Systemic Acquired Resistance). Questo tipo di resistenza (dimostrata a partire dai primi anni '90) si esprime nei confronti di un ampio spettro di organismi patogeni e differisce nella sua azione in funzione proprio dell'agente patogeno induttore. Il tempo necessario alla pianta per mettere in atto meccanismi di resistenza sistemica dipendono sia dalla specie vegetale che dal microrganismo induttore. Alcune reazioni possono essere scatenate in appena pochi secondi, per altre occorre almeno qualche ora prima che si mettano in moto, per altre ancora addirittura settimane. L'infezione di *Pseudomonas syringae* sempre su cetriolo induce meccanismi di resistenza dopo appena 7 ore, mentre su tabacco avviene dopo 2-3 settimane. Alcune reazioni poi cessano non appena l'agente patogeno viene eliminato mentre al contrario altre permangono nella pianta per diverse settimane. Un altro caso di resistenza sistemica è stata ottenuta attraverso la colonizzazione della rizosfera di piante di pomodoro da parte di rizobatteri, (come noto microrganismi promotori della crescita vegetale) o di *Trichoderma* spp., applicati al suolo. Tale applicazione conferiva resistenza sia a livello dello stelo che delle foglie nei confronti di svariati agenti patogeni.

Tra molecole chimiche che giocano un ruolo fondamentale nel meccanismo di segnalazione delle cellule vegetali vi sono:

- **acido salicilico**, che attiva la sintesi di determinate proteine e partecipa alla distruzione cellulare e all'induzione della SAR
- **acido jasmonico**, che contribuisce all'attivazione delle proteine di difesa.
- **etilene**, che si propaga attraverso la pianta e partecipa anch'esso alla formazione della resistenza sistemica

Perché il meccanismo di difesa si metta in moto deve però avvenire il riconoscimento da parte della pianta dell'agente patogeno. Le piante sono in grado di attivare una risposta altamente coordinata di resistenza ogni

qualvolta vi è da parte di questa il riconoscimento della presenza di un potenziale agente patogeno o di un suo metabolita. In assenza di questo evento la pianta non sarebbe in grado di difendersi. Il meccanismo di resistenza viene attivato non appena l'agente patogeno riesce a penetrare nei primi spazi intercellulari dei tessuti vegetali e viene identificato chimicamente.

Il processo infettivo ha successo e la malattia si sviluppa sulla pianta a seguito del fallimento di questo riconoscimento o dall'abilità del patogeno di impedirla o di superare in qualche maniera la risposta di resistenza della pianta. I meccanismi che conferiscono una qualche resistenza alla malattia differiscono nel dettaglio tra le diverse specie vegetali e tra le diverse specie fitopatogene, anche se ci sono talvolta ampie similitudini fra di esse. Perciò la resistenza è dovuta ad una combinazione di barriere chimiche e fisiche che appaiono sia preformate o altrimenti indotte solo in seguito ad una infezione.

INDUTTORI DI RESISTENZA SINTETICI IN COMMERCIO AUTORIZZATI COME PRODOTTI FITOSANITARI



Registrazione	Sostanza attiva	Formulati commerciali
Attivatore delle autodifese delle piante	acibenzolar - S-metile	BION
Fitoregolatore	proexadione-Ca	REGALIS
Fungicida	fosetil -Al	34 formulati (da solo) 39 formulati (miscela con vari fungicidi di sintesi)
	<i>Trichoderma</i> spp.	8 formulati

L'unico prodotto fitosanitario registrato specificatamente come attivatore delle autodifese della pianta è a base di acibenzolar - S-methyl (Bion).

Caratteristiche della sostanza attiva acibenzolar-S-metilel

ORGANISMI BERSAGLIO	
<i>spettro d'azione</i>	Dotato di un vasto spettro d'azione. risulta attivo per uno svariato numero di avversità batteriche come <i>Pseudomonas avellanae</i> su nocciolo, <i>Xanthomonas arboricola</i> pv <i>pruni</i> su pesco, <i>Pseudomonas tomato</i> e <i>Xanthomonas vesicatoria</i> su pomodoro, <i>Erwinia amylovora</i> sulle pomacee.
COME AGISCE	
<i>modalità di azione</i>	La pianta trattata con tale sostanza attiva reagisce producendo metaboliti antimicrobici e aumentando la lignificazione delle pareti cellulari. Non ha effetto diretto sul patogeno.
<i>comportamento sulla pianta</i>	Viene assorbito rapidamente dalla pianta e traslocato sia in senso acropeto che basipeto.

Formulati in commercio (aggiornamento a ottobre 2013)

Sostanza attiva	Formulato	Ditta distributrice	Intervallo di sicurezza (giorni)	Pericolo per la SALUTE		Pericolo per l'AMBIENTE	
				Simbolo e indicazioni e di pericolo	Fraresi di rischio	Simbolo e indicazione di pericolo	Fraresi di rischio
acibenzolar-S-metile	Bion 50 WG	Syngenta	7 pesco e melo 3 pomodoro 14 pero 28 nocciolo	 Xi	R36 R37 R38	 N	R51 R53

Xi	Irritante
N	Prodotto fitosanitario pericoloso per l'ambiente
R36	Irritante per gli occhi
R37	Irritante per le vie respiratorie
R38	Irritante per la pelle
R51	Tossico per gli organismi acquatici
R53	Può provocare a lungo termine effetti negativi per l'ambiente acquatico

IMPIEGHI AUTORIZZATI	pomodoro, pesco, nocciolo, pero e melo
-----------------------------	--

Modalità di applicazione

- per dar modo al prodotto di indurre la naturale resistenza delle piante, Bion deve essere applicato in forma preventiva
- l'intervento va effettuato quando la pianta ha sviluppato sufficientemente la parte aerea, in modo tale da assorbito efficacemente
- normalmente sono previsti da 4 a 6 interventi a distanza di:
 - 3-4 settimane su nocciolo
 - 7-10 giorni su pomodoro
 - 7-14 giorni su pesco
 - 5-14 giorni su melo
 - 7 giorni dalla prefioritura e 2-4 settimane dall'accrescimento del frutto su pero

INDUTTORI NATURALI IN FASE DI SPERIMENTAZIONE

Vi sono vari tipi di composti che se somministrati alle piante esternamente scatenano nella pianta meccanismi bio-chimici in grado di conferire a questa una sorta di maggiore tolleranza, se non propriamente resistenze a determinati agenti fitopatogeni. Vi sono per esempio delle sostanze induttrici abiotiche, altre invece derivate da sintesi chimica, altri costituiti da composti di origine fungina, batterica o, altri ancora, di origine vegetale. Alcuni sono stati già testati commercialmente, ma per molti altri si è ancora nella fase di sperimentazione in laboratorio o in ambiente parzialmente controllato.

Ormai sono noti numerosi composti in grado di indurre resistenza a diverse agenti fitopatogeni, quando questi vengono somministrati alle piante. La natura chimica di queste sostanze è quanto mai varia, ma per lo più queste sono in genere oligosaccaridi, lipidi o proteine.

Induttori di origine abiotica

Fra le sostanze di origine abiotica che possiedono la proprietà di indurre un effetto SAR nelle piante possiamo includere vari fosfati, già impiegati in agricoltura biologica e risultati attivi nei confronti dell'antracnosi e oidio del cetriolo e peronospora della lattuga; **l'acido acetil salicilico (AS)** che purtroppo non può essere impiegato in pratica in quanto altamente fitotossico; **l'acido 2,6 dichloroisonicotino (INA, CGA 41396)** attivo nei confronti di diverse avversità batteriche e fungine su cetriolo, tabacco, riso, girasole e barbabietola.

Infine, **l'acido B-aminobutirrico (BABA)**, acido amminico non proteico presente nelle piante in tracce, ma che si può ottenere anche per sintesi. Scoperto casualmente, è risultato da subito promettente in laboratorio e semicampo, testato sull'oidio del cetriolo, peronospora della vite, patata, pomodoro, tabacco, melone, girasole e lattuga, botrite del pomodoro, *Alternaria* su broccoli e contro i nematodi cisticoli del grano del genere *Meoliodogyne* e *Heterodera*. La modalità d'azione del BABA, di cui solo l'enantiomero R risulta attivo, è ancora sconosciuta e variabile in funzione del parassita e della pianta ospite considerati. Applicato alla vite è in grado di proteggere la pianta dalla peronospora per un periodo di tempo variante da 8 a 11 giorni senza avere un azione tossica diretta sul fungo. La sostanza si diffonde in maniera sistemica nella pianta accumulandosi preferibilmente nei giovani organi senza essere degradata.

□ **Induttori di origine biotica**

Metaboliti fungini, batterici e animali

Fra i composti metabolici di origine fungina hanno dimostrato di avere un effetto SAR

- **l'acido arachidonico** (nei confronti di *P.infestans* su patata);
- alcuni **derivati dei lieviti**
- **filtrati culturali di *Penicillium***;
- alcuni **lipopolisaccaridi** (LPS) ottenuti da ceppi di *Pseudomonas fluorescens*
- **chitosani**, costituenti principali della chitina. Polimero del N-acetil-glucosammina, viene estratto dai carapaci di crostacei di origine americana e stimola la reazione di difesa delle piante inducendo la produzione di fitoalessine. Si è dimostrato attivo in laboratorio nei confronti della fusariosi su pomodoro, di *Pythium* su cetriolo e di *Phytophthora cactorum* su fragola
- **proteina harpin**, estratta dal batterio *Erwinia amylovora*: oltre a stimolare le reazioni di difesa della pianta nei confronti di batteri sia attraverso la via metabolica dell'acido salicilico, che attraverso quella dell'acido jasmonico, agisce anche come biostimolante della crescita vegetale. Tale induttore è registrato in USA con il nome commerciale di Messenger[®]

Metaboliti vegetali

Sono numerose le molecole di origine biologica che si stanno sperimentando: da proteine, a lipidi, fino ai polisaccaridi. Fra i metaboliti vegetali hanno effetto SAR

- **acido salicilico**
- **acido linoleico**, attivo su patata nei confronti di *Phytophthora infestans*
- **acido galatturonico**
- **acido m-idrossibenzoico** su cetriolo per l'antracnosi
- **jasmonati** (compresi l'acido jasmonico e il metil jasmonato) attivi sull'oidio dell'avena, peronospora della patata e pomodoro
- **laminarine**, estratti selezionati di alghe: queste sembrano avere una attività interessante nei confronti di *Botrytis cinerea* e *Plasmopara viticola* sulla vite, di *P. herpotrichoides*, *Septoria tritici*, *Septoria nodorum*, *Erysiphe graminis*, *Fusarium roseum* e *Puccinia recondita* su grano e *Phytophthora infestans* su patata e *Venturia inaequalis* melo
- **estratti di edera** (*Hedera helix*) applicati a piante di melo e *Cotoneaster*, sembra abbiano una certa attività SAR nei confronti di *Erwinia amylovora* agente del colpo di fuoco batterico delle pomacee
- **oligosaccarine**, piccolo gruppo di oligosaccaridi che causano effetti ormonali sulle piante. Esse risultano efficaci a concentrazioni da nanomolari a micromolari conferendole in questo modo lo status di fitoregolatori. Gli effetti che alcuni di questi carboidrati producono includono l'allungamento dello stelo, la stimolazione della produzione di etilene, l'azione inibente dell'auxina, e infine la stimolazione di varie azioni difensive che la pianta può mettere in atto. La maggior parte delle oligosaccarine conosciute sono state prodotte in vitro dalla frammentazione catalizzata acida o enzimatica dei polisaccaridi presenti nelle pareti cellulari. Tuttavia le oligosaccarine possono derivare anche da, pectine, glicoproteine, xiloglucano, o essere secrete da batteri del genere *Rhizobium*.. Le oligosaccarine vengono considerate delle molecole generiche di riconoscimento indipendenti dal genotipo della pianta e dall'agente infettivo. A livello cellulare il riconoscimento di un induttore porta alla modificazione della permeabilità della parete cellulare, alla produzione di radicali ossidanti, alla sintesi di fitoalessine e di altre molecole ad attività antimicrobica, alla produzione di acido salicilico e jasmonico e all'attivazione di geni della resistenza.