attive; il fenomeno è da imputarsi a migliore penetrabilità, oppure alla formazione di metaboliti intermedi con effetto esaltante le singole sostanze attive.

La miscela, inoltre, presenta altri effetti che non considerano le sostanze attive, ma l'azione globale che l'insieme esplica; infatti si possono presentare fenomeni di:

- minore solubilità o sospensività in acqua;
- fitotossicità intesa come la capacità del prodotto ottenuto di provocare un danno alla pianta sulla quale è stato distribuito.

Allo scopo di evitare l'insorgere di questi fenomeni sono state approntate delle **tabelle** di **compatibilità**, peraltro mai complete per la continua e veloce evoluzione della fitoiatria, in cui i prodotti più comuni vengono messi a confronto valutandone la miscibilità. Queste tabelle, tuttavia, devono essere considerate con molta attenzione in quanto la miscibilità non è sempre un fattore costante ma varia in funzione delle condizioni ambientali, del tipo di prodotto, delle dosi e della coltivazione da trattare;

- la **ridistribuzione** definisce la capacità di un agrofarmaco di *spostarsi* e ridistribuirsi per volatilizzazione o per risolubilizzazione oppure per semplice trasporto passivo operato da agenti atmosferici (pioggia); questa capacità intrinseca diviene importante quando la sostanza attiva si estende a coprire anche le zone di vegetazione scoperte, determinando la riduzione dei trattamenti;
- il **citotropismo** e la **sistemicità** esprimono la capacità di un agrofarmaco di superare le barriere cellulari ed entrare nella pianta comportandosi cioè da **endoterapico**; questa caratteristica, tipica di alcuni prodotti fitosanitari, è molto importante in considerazione della presenza di molti parassiti endofiti o endofagi; appartengono a questa categoria di parassiti la maggioranza dei microrganismi e degli stadi preimmaginali degli insetti fitofagi che allo stadio adulto conducono vita esterna. In queste condizioni diviene assolutamente indispensabile l'azione di questi prodotti fitosanitari che agiscono nel luogo in cui vive il parassita, comportandosi da endoterapici.

Questi prodotti vengono raggruppati in tre grandi categorie:

1. **citotropici**, sono composti che pur venendo assorbiti dai tessuti vegetali, non sono mobili e si localizzano nei punti in cui sono e al limite nelle zone limitrofe;
2. **translaminari**, sono composti dotati d mobilità cellulare; essi vengono assorb slocati da cellula a cellula, sia in senso sia trasversale (passano indifferenteme la pagina fogliare inferiore a quella sup viceversa e per questo definiti anche lo mici);
3. **sistemici**, sono prodotti estremament li; essi vengono assorbiti ed entrano ne linfatico raggiungendo anche le par pianta che non sono state oggetto del mento. Tuttavia non è possibile parlare sistemicità totale; infatti è ben difficile prodotto raggiunga effettivamente tutte ti della pianta (da un ramo all'altro) e sposti dall'alto al basso (sistemicità disc te). Normalmente la sistemicità è di ti matico (acropeta, verso l'alto); solo rar gli agrofarmaci entrano nel flusso floe L'uso di prodotti sistemici pone tutta serie di problemi che impongono un' valutazione nei trattamenti:
   - la sistemicità varia in funzione dell' interessato (è migliore nelle radici ch organi erbacei aerei);
   - la sistemicità è migliore nelle piante n licamente efficienti, mentre è bassa in sottoposte a stress, idrici o calorici, ir to si riduce l'attività metabolica di a mento e traslocazione;
   - gli organi aerei non sempre riescono a mare e a concentrare una sufficiente qu di agrofarmaco; ad esempio i frutti, nei me fasi dello sviluppo, per la diminui vità traspiratoria, non riescono a conce ottimali quantità di sostanza attiva;
   - l'uso dei prodotti sistemici, per la loro ficità di azione e per il sito di azione mamente specifico, può determinar selezione di ceppi resistenti; questo si v specialmente negli ultimi fungicidi sis per i quali si dovranno adottare spec precauzioni.

Nonostante le caratteristiche elencate pc essere intese come aspetti negativi, la scope prodotti sistemici ha notevolmente influito voluzione della fitoiatria; infatti essi sono s zialmente selettivi, presentano alte caratteri curative, sfuggono alle azioni dilavanti degli ti atmosferici, presentano una buona ridis zione interna anche su organi non diretta trattati (apici) ed infine si prestano molto alle distribuzioni con bassi volumi.

Tossicità degli agrofarmaci

Le sostanze attive presenti nei prodotti fitosanitari sono sostanze potenzialmente tossiche per l'uomo; le intossicazioni possono essere provocate essenzialmente in due modi:

1. **contaminazione accidentale** che si verifica quando durante la preparazione e la distribuzione degli agrofarmaci non si adottano le precauzioni necessarie;
2. **contaminazione alimentare** che si verifica per l'ingestione di derrate alimentari che contengono residui tossici.

In considerazione di quanto sopra possiamo distinguere tre vie di intossicazione:

- **per inalazione** che si verifica quando l'assorbimento avviene per inspirazione mentre si preparano e si distribuiscono le miscele o le poltiglie, senza l'uso delle apposite maschere di protezione o quando queste sono in cattivo stato di manutenzione (filtro sporco e/o inattivo); il prodotto inalato può essere sotto forma polverulenta o gassosa;
- **per contatto o dermale** che si verifica quando l'assorbimento avviene per contatto tra l'epidermide e il prodotto; anche in questo caso è importante adottare le previste protezioni sia per evitare l'insorgenza di fenomeni cutanei localizzati, sia intossicazioni sistemiche;
- **per ingestione** che si verifica quando si ingeriscono alimenti contenenti residui di agrofarmaci; in questo caso le precauzioni riguardano non solamente il momento del trattamento ma anche quelli precedenti e successivi la raccolta, per evitare che un prodotto venga messo in commercio senza che sia trascorso il previsto periodo di tutela o di carenza.

Tossicità acuta e tossicità cronica

La tossicità di un agrofarmaco può essere riferita agli effetti di una sola somministrazione oppure a più somministrazioni; nel primo caso si parla di tossicità acuta, nel secondo di tossicità cronica.
La **tossicità acuta** di un prodotto fitosanitario esprime la velenosità di una determinata sostanza che si manifesta entro breve tempo dal momento in cui essa è stata ingerita, inalata o assorbita attraverso la pelle. La tossicità acuta si valuta conoscendo la DL_{50} della sostanza tossica (sia orale sia dermale) o la CL_{50} (se si tratta di un prodotto tossico per inalazione). La DL_{50} indica la dose letale al 50%, cioè la quantità di sostanza attiva che somministrata solitamente in una volta sola, generalmente per via orale (ma anche per via dermale o inalatoria) a delle cavie di laboratorio ne determina immediatamente la morte al 50%. La DL_{50} esprime pertanto la tossicità acuta di un prodotto e si misura in mg per kg di peso vivo. Ad esempio se un agrofarmaco ha una $DL_{50} = 10$, significa che 10 mg (0,01 g) di quel dato prodotto sono in grado di uccidere il 50% di una popolazione di cavie del peso di 1 kg; lo stesso prodotto, riferito ad un uomo di 60 kg, risulta mortale con una dose pari a 10 mg × 60 kg = 600 mg = 0,6 g. Questo calcolo si riferisce ad un agrofarmaco considerato in purezza. Nell'esecuzione pratica dei trattamenti la tossicità reale risulta molto inferiore in considerazione delle diluizioni cui viene sottoposto il prodotto e precisamente:

- **diluizione in acqua** per la distribuzione: la distribuzione di un prodotto fitosanitario si avvale di un veicolo, che normalmente è l'acqua, pertanto il prodotto viene ulteriormente diluito;
- **diluizione in atmosfera** che provoca un'ulteriore diluizione per l'enorme volume di atmosfera irrorato.

La **tossicità cronica** di un prodotto fitosanitario esprime la tossicità di un determinato prodotto somministrato in dosi relativamente basse ma continue, determinando accumulo nell'organismo che manifesta l'intossicazione cronica dopo un certo periodo di tempo dall'esposizione alla sostanza.
La quantità tossica di questo accumulo viene definita dalla **soglia** di tossicità cronica che è la quantità massima di prodotto, espressa in **ppm** (parti per milione), che può essere somministrata, per un lungo periodo di tempo (anche per tutta la durata della vita), senza determinare alcuna variazione biologica negli organismi cavia. Questo tipo di tossicità è subdola, in quanto difficilmente misurabile e con effetti di accumulo che si manifestano nel tempo con danneggiamenti, a livello fisiologico e cito-istologico, spesso irreversibili.
Il controllo della tossicità cronica viene fatto, accuratamente, in laboratorio sia verificandola in vitro (su colture cellulari) sia in vivo (su cavie); a queste ultime vengono somministrate, per un certo periodo di tempo (a volte per tutta la vita) dosi note di un determinato agrofarmaco.
Successivamente, questi individui vengono sottoposti a prove di laboratorio al fine di evidenziare eventuali effetti mutageni, teratogeni o cancerogeni dovuti alla somministrazione del prodotto in esame. Le cavie vengono controllate ogni giorno e, quando muoiono, viene eseguita un'autopsia,

organo per organo, al fine di costituire una banca dati.
La valutazione di questi eventuali effetti è portata in scala umana, per via indiretta, traendo dalle modificazioni avvenute sulle cavie le indicazioni sulle possibili modificazioni sull'uomo. L'estensione di queste conclusioni all'uomo è attendibile e, conseguentemente, ogni prodotto che manifesta gli effetti citati non dovrebbe essere messo in commercio.
Gli effetti della tossicità cronica interessano diverse categorie di persone, ma principalmente ne subiscono le conseguenze gli operatori del settore che possono intossicarsi assumendo sub-dosi di prodotto, durante le fasi della preparazione delle miscele o durante il trattamento; anche il consumatore finale di derrate alimentari può, inconsciamente, assumere sub-dosi per eventuali residui presenti nelle derrate stesse.
In ogni caso queste piccole dosi vengono accumulate nell'organismo e possono provocare danni generalmente in un tempo medio-lungo.
I residui di agrofarmaci che direttamente o indirettamente possono contaminare l'uomo sono dovuti essenzialmente a due cause. Una di tipo **funzionale** che consiste nell'effetto residuale dei trattamenti fitosanitari sulle coltivazioni, e l'altra di tipo **accidentale** in cui queste contaminazioni, seppur tutte dipendenti dai trattamenti sulle coltivazioni, si verificano accidentalmente e riguardano:

- l'effetto deriva di un trattamento su una coltivazione vicina, non espressamente trattata, e prossima alla raccolta;
- la contaminazione accidentale delle falde acquifere o di corsi d'acqua;
- l'assorbimento dell'agrofarmaco da parte del terreno, e la successiva contaminazione delle coltivazioni seguenti.

Tempi di carenza (intervalli di sicurezza), limiti di tolleranza e tempi di rientro

La distribuzione di un prodotto fitosanitario ha lo scopo fondamentale di proteggere una coltivazione da attacchi di agenti di malattia o di danno; in questa logica una delle caratteristiche più importanti che deve possedere un agrofarmaco è la sua vita media, cioè la sua persistenza e disponibilità.
L'esigenza della protezione, per un periodo di tempo utile, è in contrasto con la necessità di eliminare la tossicità degli agrofarmaci dalle derrate alimentari e dall'ambiente in genere.
Occorre pertanto trovare un compromesso che consenta la protezione e nel contempo preservi il consumatore e l'ambiente da un eccessivo accumulo di prodotti fitosanitari. Gli agrofarmaci subiscono, naturalmente, un degrado ad opera dell'ambiente in genere: dal momento del trattamento iniziano azioni di denaturazione della sostanza attiva, che vengono effettuate sia dagli elementi climatici (pioggia, luce e temperatura) sia da azioni dirette di metabolizzazione, intra o extratessutale, di alcuni vegetali, i quali trasformano la sostanza attiva in sostanze non più tossiche. Il periodo di vita di un prodotto fitosanitario è caratteristica intrinseca dello stesso, dipende fondamentalmente dalla **stabilità chimica** della sua molecola. In virtù di questo decadimento, dopo un certo periodo di tempo, la presenza sui vegetali di questi residui o dei loro metaboliti deve essere molto bassa, o comunque tale da non provocare danni all'uomo.
Questo intervallo di tempo, chiamato **periodo di carenza** o **tempo di sicurezza**, viene stabilito per legge, ed è caratteristico per ogni prodotto fitosanitario e per ogni specie coltivata e obbli-

Tab. 4.6 Classificazione degli agrofarmaci ai sensi del D.P.R. n° 223/1988 e ridefinita dal D.L. n° 194/1995.

	DL_{50} per via orale mg/kg		DL_{50} per via dermale mg/kg		CL_{50} per via inalatoria mg/l
Formulati	solidi	liquidi	solidi	liquidi	gassosi
prodotti molto tossici (T+) prodotti tossici (T)	≤ 5 > 5-50	≤ 25 > 25-200	≤ 10 > 10-100	≤ 25 > 25-400	≤ 0,5 > 0,5-2
Prodotti nocivi (Xn)	> 50-500	> 200-2000	> 100-1000	> 400-4000	> 2-20
Prodotti irritanti (Xi) Prodotti fuori classificazione	Vengono inseriti in questi gruppi gli agrofarmaci la cui DL_{50} è superiore ai limiti superiori dei prodotti Nocivi di cui peraltro il D.P.R. non menziona la classificazione; tuttavia il D.P.R. all'art. 13, per quanto non espressamente contemplato, rimanda alla vecchia legislazione.				

Il D.L. n° 194/95 abolisce le classi tossicologiche e distingue gli agrofarmaci in prodotti: Molto tossici, Tossici, Nocivi, Irritanti e altri prodotti fuori classificazione.

gatoriamente deve essere indicato sulla confezione commerciale. Esso esprime il numero di giorni che devono trascorrere tra l'ultimo trattamento e la raccolta del prodotto ed il suo eventuale consumo. Dopo tale periodo i residui tossici presenti, espressi in ppm (mg/kg) devono rimanere dentro valori chiamati **limiti di tolleranza**; questi esprimono il limite massimo residuo delle sostanze attive (LMR) che può essere presente sulla coltivazione, trascorso il periodo di sicurezza, quindi al consumo. Questi limiti di tolleranza vengono definiti per legge e sono valutati attraverso test di tossicità cronica su animali di laboratorio, individuando su questi la concentrazione più elevata di agrofarmaco che non determina alcun effetto negativo, né in breve periodo né in lungo periodo, sia a livello cellulare e tessutale sia a livello fisiologico; tale dose è chiamata **No Observed Effect Level** (NOEL). Il valore più basso della NOEL, ottenuto sulle cavie più sensibili, viene utilizzato per calcolare la quantità di agrofarmaci che può essere giornalmente ingerita senza che essa possa provocare alcun danno; questa quantità viene indicata come **DGA** (dose giornaliera accettabile) o come **ADI** (*Acceptable Daily Intake*). Il valore dell'ADI per l'uomo viene ottenuto dividendo il NOEL più basso ottenuto su cavie per un coefficiente di sicurezza considerato generalmente pari a 100 (se il NOEL su cavia risulta pari a 25 mg/kg la ADI per l'uomo diventa 25 : 100 = 0,25 mg/kg/giorno). Dalla ADI per l'uomo si può arrivare al limite di tolleranza grazie a parametri convenzionalmente prestabiliti, come il peso medio dell'uomo (60 kg) e la quantità di vegetali quotidianamente consumati (ad esempio 400 grammi per la frutta ed i legumi). Prendendo come riferimento l'esempio sopradescritto il limite di tolleranza su frutta di un prodotto con la ADI pari a 0,25 mg/kg/giorno diventa pari a 37,5 mg/kg (o ppm) come risulta dai seguenti calcoli: $0,25 \times 60 = 15$ mg/giorno per l'uomo; $15 \times 1000/400 = 37,5$ mg su ogni kg di alimento considerato. La nuova legislazione ha inoltre introdotto un nuovo importante parametro definito: **tempo di rientro.** In pratica esso è il tempo che deve intercorrere dal momento del trattamento al momento in cui l'operatore può rientrare con sicurezza nell'area trattata senza equipaggiamenti protettivi. Attualmente è in corso il progetto di armonizzazione dei limiti massimi di residui ammissibili fra i Paesi appartenenti all'Unione Europea.
Al termine dell'anno 2004 sono stati armonizzati i limiti di circa il 30% delle sostanze attive già iscritte all'Annex I; la conclusione del processo è attesa per il 2008.

RECEPIMENTO DIRETTIVA CEE		
Classificazione attuale	Simbolo	Classificazione italiana
Molto Tossico (T+) Tossico (T)	classe I	I classe
Nocivo (Xn)	classe II	II classe
Irritante (Xi)	classe III e IV	III e IV classe
Non classificato	NESSUN SIMBOLO	III e IV classe

Fig. 4.22 Simbologia dell'attuale classificazione dei prodotti fitosanitari.

Classificazione dei prodotti fitosanitari

Dal punto di vista tossicologico, gli agrofarmaci vengono classificati in base alla tossicità acuta, assumendo come parametro la DL_{50} o la CL_{50}, ma considerando anche altri parametri come la tossicità cronica, la concentrazione della sostanza attiva e dei diversi coadiuvanti e le differenti tipologie di formulazione (es. i granuli dispersibili piuttosto che emulsione in acqua). Così ad esempio i prodotti aventi una DL_{50} orale elevata vengono inseriti a seconda del formulato, in classe tossicologica, T, T+ oppure X_n per aspetti legati alla tossicità cronica. La vecchia legislazione in vigore fino a qualche anno fa (D.P.R. n° 1255 del 3/8/1968) prevedeva la suddivisione degli agrofarmaci in quattro classi tossicologiche in funzione della DL_{50}, per via orale, della sostanza attiva. Questa classificazione semplicistica era già stata rivista e modificata dal D.P.R. n° 223 del 24/5/1988, ma è stata definitivamente ridefinita dal decreto legislativo n° 194 del 17/3/1995, dove praticamente scompaiono le classi tossicologiche codificate dalle precedenti legislazioni. Le suddette classi vengono, con il D.L. 194 del 17/03/1995, in pratica sostituite dalle indicazioni: prodotti Molto tossici (T+) e Tossici (T) (corrispondenti alla ex 1ª classe), e prodotti Nocivi (Xn) (corrispondenti alla ex 2ª classe); in pratica le suddette diciture (prodotti

Molto tossici, Tossici e Nocivi) rappresentano ciò che il D.M. 223/1988 considerava prodotti di 1ª e 2ª classe.
Tutti gli altri prodotti corrispondenti alla ex 3ª e 4ª classe delle norme previgenti sono considerati irritanti fuori classificazione o non classificabili fra i preparati pericolosi.
Il Decreto 223/1988 aveva comunque recepito una specifica direttiva CEE, e oltre ad ampliare e codificare il concetto di prodotto fitosanitario (dal suddetto decreto definito ancora antiparassitario), già accennato nelle generalità, aveva introdotto nuove norme comportamentali ed una nuova suddivisione delle classi tossicologiche degli agrofarmaci stessi in base a nuovi parametri, i cui valori sono riportati in tabella. In particolare si assisteva già (a differenza del D.P.R. 1255 del 1968) ad un'ulteriore suddivisione della precedente 1ª classe in due sottogruppi: prodotti Molto tossici e prodotti Tossici. Inoltre i valori della DL_{50} venivano ulteriormente distinti in base alle vie di intossicazione (orale, dermale, inalatoria) ed al tipo di formulato (solido, liquido o gassoso). Infine occorre sottolineare che con il suddetto decreto la DL_{50} non è più determinata solo in base alla sostanza attiva, ma sul preparato commerciale (tipologia e concentrazione), per cui è possibile che una stessa sostanza attiva, con formulati commerciali diversi, sia inserita in più classi tossicologiche. Tutto ciò ha comportato, rispetto alla passata classificazione (1255/68), un "salto di classe", per cui sostanze attive che prima erano di 3ª o 4ª classe ora (223/88) possono trovarsi in 1ª o 2ª classe (o meglio considerati come prodotti Molto tossici, Tossici, Nocivi oppure Irritanti con la 194/95). La Legge n° 194 del 1995 ha comunque praticamente confermato i parametri di classificazione (DL_{50} e CL_{50}) della 223/1988, con la suddetta legge n° 194/95 vengono però abolite le classi tossicologiche e sostituite dai parametri della classificazione comunitaria che distingue i prodotti in: Molto tossici, Tossici, Nocivi, Irritanti e altri prodotti fitosanitari non classificabili come tali. Con l'entrata in vigore del D.P.R. 290/01 gli acquirenti e gli utilizzatori di prodotti fitosanitari sono tenuti ad annotare gli interventi eseguiti su apposito documento denominato **Registro dei trattamenti** o comunemente definito **Quaderno di campagna**. La registrazione dei trattamenti deve essere eseguita entro 30 giorni in cui bisogna annotare:

- i dati anagrafici dell'azienda;
- la denominazione della coltura trattata (estensione, semina, trapianto, inizio fioritura, raccolta);
- la data del trattamento, prodotto e quantità impiegata, avversità.

Con la circolare applicativa del 30/10/02 sono stati precisati alcuni aspetti tra cui la possibilità delle organizzazioni professionali di fornire assistenza nella compilazione del registro che deve rimanere in azienda per il possibile impiego del registro come documento ufficiale nel caso di controlli da parte delle autorità competenti. Sono esentati dalla compilazione del registro i soggetti che utilizzano i prodotti esclusivamente in orti e giardini familiari il cui raccolto è destinato al consumo proprio. Rientrano invece tra coloro che devono compilare il registro le amministrazioni pubbliche che commissionano o eseguono direttamente trattamenti fitosanitari.
I valori ed i parametri delle nuove classi tossicologiche sono riportati in tabella (Tab. 4.6). Circa il riconoscimento dei preparati i simboli di identificazione delle prime due classi sono rimasti praticamente gli stessi:

- nell'ex 1ª classe compare il teschio con tibie incrociate su fondo arancione con le rispettive diciture Tossico (T) o Molto tossico (T+), a seconda del sottogruppo.
- nell'ex 2ª classe compare la croce di S. Andrea su fondo arancione con la dicitura Nocivo (Xn).

Gli altri preparati fuori classificazione possono o non avere simboli di identificazione, o presentare, a differenza del passato, il simbolo Croce di S. Andrea su fondo arancione con la dicitura Irritante (Xi) se la sostanza attiva, o qualche coadiuvante, presentano rischi in questo senso.
I preparati corrispondenti alla ex 1ª e 2ª classe (Molto tossici, Tossici e Nocivi) possono essere acquistati ed utilizzati solo da persone in possesso di un particolare certificato abilitante detto Patentino dei prodotti fitosanitari o Autorizzazione dell'acquisto dei prodotti fitosanitari Molto Tossici, Tossici e Nocivi. Questo certificato viene rilasciato dagli Enti competenti in materia (ad esempio il Servizio provinciale per l'agricoltura, l'alimentazione e la forestazione) dopo che si è sostenuto, con esito positivo, un esame ed un colloquio che certificano la conoscenza dei prodotti fitosanitari, della loro pericolosità e di tutte le norme e precauzioni per il loro uso. I possessori di titoli di studio inerenti il settore agrario (periti agrari, agrotecnici e laureati in scienze agrarie e forestali) non devono sostenere l'esame, ma solo fare richiesta del Patentino, allegando il titolo di studio. Il Patentino dei prodotti fitosanitari ha una durata legale di cinque anni e deve essere rinnovato, alla scadenza; il rinnovo prevede la frequenza del corso di aggiornamento nonché l'esame di abilitazione per l'aggiornamento sui nuovi prodotti e

Fig. 4.23 Corretta preparazione di una miscela e relative attrezzature di protezione dell'operatore.

sulle nuove tecniche. Il Patentino è un documento ufficiale ed il possessore che acquista i suddetti agrofarmaci diviene responsabile della loro utilizzazione e dei danni eventualmente provocati. Per quanto concerne gli altri prodotti fuori classificazione, pur con le limitazioni previste dalla nuova legislazione, vengono spesso considerati poco pericolosi e perciò possono essere acquistati e utilizzati più liberamente in virtù del fatto che per essi il Patentino non è necessario. Tuttavia, ciò non significa che questi siano assolutamente innocui; occorre infatti ricordare che anch'essi, seppur con DL_{50} più elevate, possono provocare intossicazioni, anche gravi, ed inoltre non va dimenticata la tossicità cronica, che è altrettanto pericolosa. A questo proposito, negli ultimi anni, alcuni di questi prodotti, per la loro sospetta tossicità cronica, sono stati ritirati dal commercio (ad esempio il Captafol), o elevati di classe tossicologica (es. i Benzimidazoli). In ogni caso i prodotti fitosanitari, siano essi di 1ª classe (Molto tossici o Tossici) o fuori classificazione, devono essere utilizzati con grande prudenza, adottando tutte le precauzioni atte ad evitare intossicazioni, sia funzionali sia accidentali.

4.1.14 Norme pratiche relative all'acquisto, alla conservazione e all'uso degli agrofarmaci

Si è ritenuto necessario elencare alcune norme di carattere comportamentale per meglio chiarire quali devono essere le precauzioni da adottarsi nella pratica fitoiatrica.
L'uso dei prodotti fitosanitari è generalmente circoscritto a poche categorie di utenti (agricoltori, contoterzisti, addetti ai parchi e giardini), di norma dotate di patentini ed in ogni caso con una certa esperienza nel loro uso; tuttavia molto spesso ogni possessore di un piccolo giardino si improvvisa utente di prodotti fitosanitari e, per la sua inesperienza, può divenire fonte di pericolo per sé e per gli altri. Questa elencazione vuole essere solo un promemoria, ragionato, di quanto si deve fare e non fare nell'uso dei prodotti fitosanitari.

Acquisto

L'acquisto di prodotti fitosanitari deve avvenire presso punti vendita autorizzati che siano in grado di fornire tutte le informazioni necessarie, in modo corretto e specialmente per i prodotti nuovi, per evitare eventuali danni alle coltivazioni, all'ambiente o all'operatore stesso.
Come già accennato in precedenza la legislazione pone limiti all'acquisto degli agrofarmaci. Attualmente per acquistare un prodotto fitosanitario Molto tossico, Tossico, e Nocivo occorre esibire il patentino valido; l'acquisto di questi prodotti viene registrato dal venditore, in un apposito registro di carico/scarico, e fa assumere all'acquirente ogni responsabilità derivante dall'uso dello stesso. Anche l'acquisto di prodotti fitosanitari fuori classificazione viene regolamentato dal D.P.R. 290/01, infatti gli agricoltori registrano il loro uso sul Quaderno di campagna.
È molto importante che le confezioni siano perfettamente integre (è vietata la vendita di prodotti sfusi). Qualora il titolare del Patentino sia impossibilitato a recarsi ad acquistare il prodotto, può delegare un incaricato con un ordine scritto vistato da enti preposti o pubblici ufficiali.

Trasporto

Il trasporto dei prodotti fitosanitari, specialmente quelli più pericolosi, deve sottostare a particolari cautele. Devono essere utilizzati veicoli adeguati, possibilmente chiusi ma con possibilità di aerazione e attrezzati con adeguati **D.P.I. (Dispositivi di Protezione Individuale)**; devono essere evitate dispersioni accidentali del carico. In caso di incidente che comporti la fuoriuscita di materiale fitosanitario si deve avvertire l'autorità sanitaria di zona che provvederà al recupero ed al disinquinamento, con gli opportuni mezzi.

Conservazione

In azienda i prodotti fitosanitari devono essere conservati, fino al momento dell'uso, in appositi magazzini, chiusi a chiave e con accesso ai soli addetti; questi locali devono essere bene aerati e non umidi. L'aerazione è indispensabile sia per eliminare i vapori che eventualmente scaturiscono

dalle confezioni non perfettamente chiuse, sia per impedire il ristagno di umidità che favorisce il danneggiamento delle polveri igroscopiche.
In caso di mancanza di un locale apposito è necessario fornirsi di un armadio di metallo, che possa essere chiuso a chiave e con l'indicazione veleni e l'immagine di un teschio; l'armadio deve essere posto in luogo non soggetto a rischio di allagamento, lontano da magazzini di foraggi o alimenti in genere e non accessibile ai bambini. Un'ulteriore soluzione consiste nell'approntare un apposito recinto, munito di porta e serratura, all'interno del magazzino ove però non sarà più possibile conservare alimenti o mangimi (valgono i medesimi cartelli di segnalazione).

Preparazione delle miscele

Il momento della preparazione delle miscele è quello che presenta i maggiori rischi di intossicazione e pertanto occorre mettere in atto tutte le possibili precauzioni.
La prima è quella di non fumare, mangiare o bere durante le operazioni di preparazione e distribuzione dei prodotti fitosanitari; in modo particolare il fumo, mescolandosi con i vapori o le polveri, può formare composti ancor più tossici e velenosi. Ogni operazione deve essere fatta con indumenti adatti, e precisamente:

- una maschera con filtro a carbone attivo; il filtro deve essere sostituito a periodi regolari, mai usare una maschera che non sia in perfette condizioni di manutenzione;
- un paio di occhiali, possibilmente con i paraocchi e un copricapo; attualmente sono in commercio appositi caschi protettivi con filtro incorporato, i più sofisticati hanno anche un piccolo condizionatore interno;
- una tuta che garantisca una perfetta protezione, e che sia leggera ed impermeabile;
- un paio di guanti in gomma per proteggere le mani dal contatto con i prodotti; mai mescolare o distribuire i prodotti a mani nude.

La preparazione della miscela è preceduta dalle operazioni di pesatura dell'agrofarmaco per stabilire l'esatta concentrazione di distribuzione; la bilancia deve essere sufficientemente precisa e utilizzata solo per questo uso. È necessario leggere attentamente le istruzioni e attenersi rigorosamente alle dosi consigliate dalle stesse e, se possibile, chiedere ulteriori informazioni ai tecnici per evitare danni a se stessi, all'ambiente e alla coltivazione da trattare.
La preparazione della miscela deve seguire la sottoindicata sequenza: qualora l'irroratrice non sia dotata di premiscelatore, dapprima stemperare la dose in poca acqua (specialmente se si tratta di polveri bagnabili), successivamente versare il tutto nella botte con circa metà dell'acqua necessaria ed infine portare a volume la botte, con il quantitativo di acqua precedentemente calcolato. È buona norma non riempire troppo la botte, per evitare travasi durante il trasferimento al luogo della distribuzione.
In questa fase è importante determinare il quantitativo esatto di acqua necessario per il trattamento: una quantità eccedente il fabbisogno, oltre a provocare un danno economico per il più elevato costo della materia prima (consumo di agrofarmaco) e della manodopera necessaria alla distribuzione, crea problemi di smaltimento delle eccedenze. Queste non devono essere sparse nell'ambiente (fiumi, fossi o altri luoghi) per il loro effetto inquinante e neppure è possibile trattare nuovamente la coltivazione, fino all'esaurimento, per la fitotossicità che l'aumento di concentrazione della sostanza attiva può determinare. Qualora vi sia un avanzo di miscela fitoiatrica a fine applicazione, questa dovrà essere stoccata in attesa di essere conferita come rifiuto pericoloso per il successivo smaltimento.
L'esatta concentrazione di sostanza attiva e la sua omogenea distribuzione sulla superfice del vegetale sono due parametri di grande rilevanza tecnica per la perfetta riuscita dell'intervento fitoiatrico; pertanto è buona norma, prima di effettuare il trattamento, controllare le macchine irroratrici, specialmente il loro apparato di distribuzione che deve essere perfettamente funzionante. Nel caso si individuino ugelli otturati sarà necessario provvedere al loro smontaggio e pulizia mediante aria compressa.

Distribuzione dei prodotti fitosanitari

La buona riuscita del trattamento fitoiatrico non è da valutarsi solamente in termini di abbattimento del parassita ma, in senso lato, deve tener conto anche di altri fattori che riguardano l'ambiente circostante; infatti un trattamento fitoiatrico che ha eliminato il parassita ma che nel contempo ha creato danni all'ambiente, alle coltivazioni vicine, ad insetti utili o all'uomo è da ritenersi completamente e colpevolmente dannoso.
Prima di effettuare il trattamento occorre valutare la scelta del momento dell'intervento che deve tener conto delle caratteristiche tecniche del formulato utilizzato, della biologia del patogeno da controllare, delle condizioni climatico-ambientali, dello stadio fenologico della pianta da trattare e delle coltivazioni vicine.
Inoltre non si deve effettuare alcun trattamento nelle giornate ventose per evitare il pericolo di derive che portino l'agrofarmaco sulle coltivazioni vicine o

verso centri abitati; bisogna evitare di trattare (se non si è costretti) nelle giornate con minaccia di pioggia, per non dover rifare il trattamento. È necessario rispettare le distanze dai corpi idrici secondo quanto prescritto in alcune delle più recenti etichette (es. utilizzare ad almeno 20 metri di distanza da qualsiasi corpo idrico). Nel caso di trattamenti in prossimità di abitazioni occorre avvertire per tempo i residenti in modo che abbiano il tempo di adottare le precauzioni dovute (chiudere porte e finestre, coprire gli orti con teli impermeabili, ecc.). Inoltre bisogna evitare di trattare con insetticidi ed acaricidi, ma spesso anche con anticrittogamici, durante la fioritura dei vegetali considerati, per non danneggiare gli insetti pronubi; prima del trattamento sfalciare le erbe in fioritura dell'interfila ed allontanarle, sempre per proteggere i pronubi da eventuali residui.
Inoltre è consigliabile segnalare, con opportuni cartelli, le coltivazioni che sono state oggetto di trattamenti, specialmente se si tratta di agrofarmaci tossici e molto tossici. Terminato il trattamento si devono lavare accuratamente le macchine e gli attrezzi utilizzati; togliere e lavare la tuta (se lavabile), la maschera o il casco (smontando i filtri che andranno puliti separatamente) e riporre il tutto in un luogo sicuro fino al prossimo trattamento. Infine lavarsi con abbondante acqua e sapone.
Queste operazioni, che hanno lo scopo di preservare la salute dell'operatore ed evitare danni ambientali, devono essere effettuate ogni volta che si attua un trattamento e non importa quale sia il prodotto utilizzato.
Al fine di mantenere l'irroratrice nelle condizioni ottimali di funzionamento, è consigliabile eseguire, periodicamente, la taratura e il collaudo delle macchine impiegate per la distribuzione.

Raccolta e smaltimento dei contenitori vuoti

Al termine del periodo dei trattamenti fitoiatrici occorre eliminare sia gli involucri vuoti sia, eventualmente, anche piccole quantità di formulati che non si ritiene di poter utilizzare in futuro; questi devono essere tenuti separati dai normali rifiuti solidi e devono essere consegnati a centri autorizzati per la loro raccolta ed il loro smaltimento. Si ricorda che molti centri di raccolta, in accordo con gli enti ufficiali competenti e responsabili, hanno predisposto dei criteri generali per la raccolta e lo smaltimento dei contenitori vuoti dei prodotti fitosanitari cui gli operatori devono scrupolosamente attenersi, in particolare:

- i contenitori devono essere bonificati, cioè lavati più volte al fine di eliminare i residui dell'agrofarmaco (sono previste ammende per gli inadempienti);
- gli stessi contenitori vanno posti in appositi sacchetti di raccolta (sacchi verdi) distribuiti dagli enti stessi e sui quali verranno riportate le generalità dell'operatore che usufruisce del servizio;
- i sacchetti chiusi vanno portati ai centri di raccolta (stazioni ecologiche); le date, i luoghi e gli orari di raccolta vengono tempestivamente stabiliti dai suddetti enti responsabili.

4.1.15 Danni e riflessi negativi dovuti all'uso dei prodotti fitosanitari

Allo stato attuale delle conoscenze e della tecnica agricola, la difesa mediante mezzi chimici sembra essere una pratica indispensabile per la gran parte delle colture industriali e, presumibilmente, lo sarà ancora per un periodo significativamente lungo. In questa prospettiva è indispensabile la conoscenza e la consapevolezza che l'uso dei prodotti fitosanitari provoca comunque un danno, specialmente se il loro impiego è lasciato all'empirismo ed all'improvvisazione (uso non corretto, dosi eccessive, ecc.).
Occorre inoltre puntualizzare che la pericolosità di un prodotto fitosanitario può essere dovuta non solo alle caratteristiche intrinseche della sostanza attiva, ma anche alle impurezze presenti nei formulati commerciali che possono contribuire ad aumentare la tossicità del prodotto stesso. Effetti tossici, inoltre, possono essere causati anche dai composti derivati dalla trasformazione e dalla degradazione parziale del prodotto fitosanitario (metaboliti).
Diviene determinante, dunque, la competenza e la professionalità degli utenti che devono essere consapevoli delle precauzioni da adottare per ridurre i rischi, sia a carico dell'operatore stesso e del consumatore, sia a carico della biocenosi in generale oltre che delle colture (fitotossicità).

Danni a carico dell'operatore agricolo

I danni a carico di coloro i quali effettuano i trattamenti, oltre che degli addetti alla produzione, sono causati da intossicazione acuta e da intossicazione cronica e talora si sono rilevati mortali.
L'intossicazione acuta è quella che si può verificare contingentemente alla preparazione o alla distribuzione del prodotto in modo improprio. In caso di incidente è necessario rivolgersi immediatamente alle strutture mediche, con la confezione del prodotto usato, sulla quale sono riportate le *avvertenze per il medico*.

L'intossicazione cronica, dovuta a ripetute esposizioni nel tempo agli agrofarmaci ed ai conseguenti fenomeni di accumulo, è subdola in quanto più difficilmente valutabile. Essa si può manifestare con alterazioni a livello fisiologico di varia entità e può essere responsabile di effetti cancerogeni, mutageni e teratogeni.

Effetti mutageni. Sono dovuti all'insorgenza di alterazioni (**mutazioni**) del patrimonio genetico (variazione della sequenza delle basi azotate nella catena del DNA, variazioni del numero di cromosomi, alterazioni della struttura dei cromosomi stessi).
Le mutazioni del patrimonio genetico se riguardano le cellule somatiche non vengono trasmesse alle successive generazioni, mentre vengono ereditate se colpiscono le cellule germinali.

Effetti teratogeni. Riguardano l'alterazione del normale processo di formazione dell'embrione e del feto; si manifestano con malformazioni di diversa entità e talora comportano la morte dell'embrione stesso. Certe sostanze possono inoltre alterare i processi di produzione dei gameti e di fecondazione.

Effetti cancerogeni. È stato dimostrato che i composti chimici introdotti nell'ambiente possono essere tra i principali fattori che inducono la formazione di tumori maligni; per quanto riguarda gli agrofarmaci il fenomeno è stato confermato per alcune molecole, attualmente revocate, mentre per altre, oggi in commercio, non si hanno ancora dati definitivi. In genere il periodo di tempo tra l'esposizione ad un determinato composto cancerogeno e il manifestarsi del tumore (tempo di latenza) è piuttosto lungo (diversi anni); spesso il tumore scaturisce dall'azione di più fattori concomitanti. Per tali motivi l'indagine diretta sull'uomo è particolarmente ardua e quindi è indispensabile il ricorso all'indagine sperimentale su animali in laboratorio.
È stato verificato che le sostanze agenti di tumore maligno sugli animali possono indurre, normalmente, l'insorgenza di tumori anche sull'uomo; pertanto se i risultati sperimentali dimostrano l'azione cancerogena di certi agrofarmaci nei confronti degli animali, queste sostanze devono essere ritenute cancerogene anche per l'uomo. Il loro impiego, in via cautelativa, dovrebbe essere quindi vietato.

Danni a carico del consumatore

L'intossicazione da parte del consumatore si verifica, di solito, in seguito all'ingestione di prodotti vegetali contaminati dagli agrofarmaci, ma può manifestarsi anche in seguito al consumo di prodotti di origine animale.
La contaminazione delle derrate alimentari può essere diretta o indiretta. La **contaminazione diretta** si verifica in seguito a trattamenti fitosanitari diretti alle colture in campo o impiegati per la disinfestazione delle derrate alimentari o per la conservazione dei prodotti ortofrutticoli.
In questo caso il danno per il consumatore deriva dalla presenza di eventuali residui di sostanza attiva nelle derrate alimentari. I residui provocano danni solo se la loro concentrazione supera il limite di tolleranza; questo rischio pertanto è dovuto al mancato rispetto dei periodi di carenza o comunque ad un uso improprio degli agrofarmaci. Per evitare i danni in tale senso occorre, da un lato, che gli addetti al settore agricolo operino correttamente, e dall'altro, un efficiente controllo dei residui nelle derrate alimentari da parte delle strutture istituzionali. La **contaminazione indiretta** si verifica in seguito alla contaminazione accidentale delle derrate; ciò può succedere, ad esempio, a causa dell'assorbimento da parte delle colture di acqua da falde inquinate da prodotti fitosanitari oppure per contaminazione delle acque di irrigazione. Possibili rischi per il consumatore possono insorgere, a lungo termine, anche in seguito al consumo di alimenti di origine animale contaminati quali carne, latte e derivati (burro, formaggio, ecc.). L'uomo, infatti, essendo al livello più alto della catena alimentare può assumere con gli alimenti le sostanze che via via si sono concentrate negli organismi posti ai diversi livelli della catena stessa (*fenomeno* della *bioamplificazione*).
Particolarmente famoso, a questo proposito, è il DDT (Diclorodifeniltricloroetano) che, come altri clororganici attualmente vietati in Italia e nella gran parte dei Paesi del mondo, è un prodotto ad elevata persistenza nell'ambiente, liposolubile e soggetto ad accumularsi nei tessuti grassi e a concentrarsi quindi lungo le catene alimentari.
Studi effettuati già a partire dagli anni '50 (1950) rivelarono la presenza sempre più diffusa di DDT nei tessuti grassi dell'uomo (compresi quelli del fegato e del sistema nervoso centrale) in diversi campioni di popolazione, non esposta direttamente, ma che incorporava l'agrofarmaco prevalentemente con gli alimenti; esso infatti veniva assunto soprattutto dal latte e dai suoi derivati (burro, formaggio, ecc.), e cioè da alimenti ricchi in grassi.
In Italia, per scongiurare possibili effetti tossici a lungo termine da parte del DDT, nel 1967 venne drasticamente limitato l'impiego del suddetto prodotto, per vietarne completamente l'uso nel 1977. Attualmente però il DDT viene ancora prodotto in alcuni Paesi europei e sudamericani per

essere esportato soprattutto in alcuni Paesi del Terzo Mondo, dove non ne è ancora stato vietato completamente l'uso. Fonti ONU segnalano infatti l'attuale impiego del DDT nel Sud-America, in Africa ed in Asia per combattere gli insetti del cotone e/o, per disinfestare le aree acquitrinose dalle zanzare, vettori di malaria.

Fitotossicità

Il danno in questo caso si riscontra sulla specie vegetale trattata che, a seguito di un trattamento fitosanitario, manifesta una sofferenza biologica. La **fitotossicità** è, nella maggioranza dei casi, dovuta ad errore umano: dosi eccessive, miscele di prodotti tra loro non compatibili, trattamento in condizioni atmosferiche non adatte (ad esempio temperature troppo elevate per lo zolfo), trattamenti effettuati in fasi fenologiche inopportune, cattivo funzionamento delle attrezzature, ecc. Occorre tenere presente inoltre che un prodotto può essere innocuo per alcune specie vegetali ed essere fitotossico per altre; in certi casi si prospetta anche una fitotossicità varietale, per cui, nell'ambito della specie, alcune varietà sono sensibili ad un determinato prodotto ed altre non manifestano nessuna fitotossicità (es. il fungicida Iprodione, utilizzato per combattere la Maculatura bruna del pero, risulta fitotossico sulla cultivar Decana del Comizio). Anche per questi motivi occorre impiegare il prodotto solo sulle colture per le quali è stato registrato; queste indicazioni sono riportate sull'etichetta del formulato commerciale.
La fitotossicità assume un particolare aspetto nel settore paesaggistico e vivaistico ornamentale, in quanto non esiste una bibliografia fitoiatrica specifica; in questo particolare settore la fitoiatria è molto "giovane", con poche esperienze e senza una specifica sperimentazione che stabilisca i limiti e l'uso dei prodotti fitosanitari. Di norma gli agrofarmaci usati provengono tutti dal settore agricolo ed in teoria dovrebbero essere usati con cautela sulle piante ornamentali per le quali, molto spesso, non si conoscono le specifiche reazioni di fitotossicità. Per non creare danni ad esemplari o a coltivazioni vivaistiche, una precauzione necessaria è la prova preliminare di reazione fitotossica da farsi su parte della pianta o della coltivazione. Se non si manifestano sintomi negativi si può, successivamente, passare all'applicazione su tutta la vegetazione.
La contaminazione delle acque di falda o delle acque di irrigazione da parte dei prodotti fitosanitari può indurre fenomeni di fitotossicità anche alle colture non direttamente trattate. L'inquinamento delle falde acquifere, insieme ai fenomeni di deriva degli agrofarmaci, può essere responsabile non solo di danni alle coltivazioni, ma anche alla vegetazione spontanea.
Ulteriori conseguenze negative, con effetti fitotossici, possono insorgere con l'impiego di diserbanti nei riguardi delle colture seguenti sia per l'accumulo di sostanze tossiche nel terreno sia in seguito a trattamenti scorretti o intempestivi.

Danni a carico della biocenosi

Il danno ambientale causato dai prodotti fitosanitari si ripercuote innanzitutto sulle varie componenti dell'agroecosistema e, in seguito al movimento degli agrofarmaci nella biosfera, può interessare anche i diversi comparti ambientali esterni all'agroecosistema stesso influendo sulle varie comunità delle popolazioni animali, vegetali e microbiche che vi abitano.
Gli effetti dannosi sulla biocenosi possono essere schematicamente raggruppati in diretti o indiretti.
Gli **effetti diretti** derivano dall'azione tossica dei prodotti fitosanitari sugli organismi colpiti o su quelli che assumono direttamente l'agrofarmaco: ad esempio alcuni insetticidi possono essere letali per diversi organismi della pedofauna; alcuni fungicidi hanno attività biocida anche sui microrganismi del suolo non patogeni.
Gli **effetti indiretti** derivano da fenomeni di accumulo. Il prodotto fitosanitario viene assunto con gli alimenti e si accumula progressivamente lungo le catene alimentari provocando danni agli organismi dei livelli trofici superiori, uomo compreso. L'assunzione dei prodotti fitosanitari da parte degli organismi avviene prevalentemente attraverso la catena alimentare, essendo gli alimenti la fonte più significativa. A parte qualche eccezione (per esempio i pesci possono accumulare certi agrofarmaci direttamente dall'acqua) le molecole che non vengono degradate, o che comunque persistono per tempi lunghi nell'ecosistema, possono essere assorbite dalle piante o da altri organismi situati alla base delle piramidi alimentari e quindi essere trasferite ai livelli trofici superiori, concentrandosi via via sempre più, provocando pertanto danni agli organismi situati ai livelli più alti delle catene stesse (**bioaccumulo**). Occorre ricordare che l'acqua costituisce uno dei principali alimenti che può veicolare gli inquinanti lungo le catene trofiche.

Impatto dei prodotti fitosanitari sulla fauna selvatica

La valutazione dei danni provocati alla biocenosi dei diversi comparti ambientali non è sempre agevole anche perché, al di là di eclatanti casi di intossicazione acuta, il danno spesso si manifesta

dopo lungo tempo (intossicazione cronica), ma evidentemente non se ne può sottovalutare l'importanza.
La fauna selvatica può essere soggetta a danno sia per esposizione diretta (es. trattamenti che colpiscono direttamente gli animali, come lepri e fagiani, che frequentano i campi coltivati e che vivono al suolo) oppure in seguito all'ingestione di cibo contaminato (es. trattamenti contro i roditori in occasione delle semine dei cereali che possono determinare intossicazioni agli uccelli rapaci che se ne nutrono). I casi registrati nel nostro Paese sono però limitati.
Anche gli organismi degli ambienti acquatici possono essere esposti a possibili rischi; la presenza di insetticidi clororganici nel pesce azzurro dei nostri mari conferma che l'inquinamento interessa non solo le acque dolci, ma anche quelle marine.
Diversi invertebrati di acqua dolce dimostrano di essere molto sensibili agli agrofarmaci (Plecotteri, Ostracodi, Cladoceri, ecc.). Molti incorporano e accumulano i loro residui concentrandoli diverse migliaia di volte rispetto alla concentrazione degli stessi nell'acqua. Gli effetti tossici in seguito al bioaccumulo possono essere quindi notevoli, soprattutto per i pesci situati ai livelli più alti delle catene alimentari dell'ambiente acquatico. Famoso a questo proposito è stato il caso del DDT, impiegato per disinfestare le acque dalle zanzare, che in certe situazioni ha finito per accumularsi nei tessuti dei detritivori e quindi nei pesci e, in misura ancora maggiore, negli uccelli predatori dei pesci, situati all'apice della catena alimentare.

Impatto degli agrofarmaci sugli entomofagi

L'entità dei possibili danni causati dall'introduzione di molecole chimiche estranee all'ambiente sull'equilibrio della biocenosi può essere rilevata anche solo valutando strettamente gli effetti nell'ambito dell'agroecosistema stesso. L'agroecosistema non ha però precisi confini, e quindi gli eventuali danni si possono ripercuotere anche sulle popolazioni di ambienti limitrofi; le popolazioni animali inoltre si possono spostare alla ricerca di cibo da un ambiente all'altro.
I prodotti fitosanitari ed in particolare gli insetticidi, soprattutto se ad ampio spettro d'azione e se impiegati in modo indiscriminato, esercitano una forte pressione che tende a ridurre la presenza degli organismi utili al controllo biologico dei fitofagi (uccelli ed altri vertebrati insettivori, insetti ed altri Artropodi entomofagi). La scomparsa degli entomofagi è spesso causa dell'aumento dei fitofagi stessi.
Negli interventi di difesa occorre pertanto valutarne l'effettiva necessità, limitando gli interventi chimici, scegliendo possibilmente prodotti selettivi ed intervenendo nei momenti più propizi al fine di non danneggiare gli entomofagi, oltre che i pronubi.

Impatto degli agrofarmaci sulla pedofauna e sui microrganismi del terreno

L'impiego ripetuto di prodotti fitosanitari, specialmente se applicati direttamente al suolo, può influire negativamente sulla biocenosi di questo comparto, soprattutto se le molecole non vengono prontamente degradate, ma permangono per lungo tempo inalterate nel terreno.
Le conseguenze della contaminazione del suolo da parte dei prodotti fitosanitari, dal punto di vista agronomico, possono manifestarsi con una diminuzione della fertilità del suolo stesso. Ciò può essere imputabile all'influenza negativa sulla pedofauna (Acari, Collemboli ed altri Artropodi, lombrichi, ecc.) e sui microrganismi del suolo, con conseguente rallentamento o riduzione della degradazione della sostanza organica. Anche l'attività azoto-fissatrice può essere in parte inibita, come è stato dimostrato per alcuni agrofarmaci nei confronti di certe specie di *Rhizobium*.
L'applicazione continua di certi prodotti, come i fumiganti al suolo, può determinare inoltre il *vuoto biologico* per l'eliminazione quasi totale dei microrganismi presenti, compresi quelli antagonisti che normalmente tengono a freno quelli patogeni. Effetti analoghi possono essere causati dall'impiego di alcuni fungicidi a largo spettro come i Benzimidazoli; in particolare è stata evidenziata la loro azione inibitrice verso alcune specie di *Penicillium* e di *Trichoderma* antagoniste di alcuni funghi patogeni. L'impiego dei diserbanti a dosi normali non sembra determinare effetti negativi permanenti sulla biocenosi del suolo, sono stati però segnalati alcuni casi di alterazione delle popolazioni microbiche.
I dati in letteratura comunque sono diversi e talora anche non concordanti. Da quanto emerge, fino ad ora, l'influenza degli agrofarmaci sui microrganismi del suolo e sul complesso della pedofauna non è generalizzabile, ma dipende da vari fattori tra cui principalmente il tipo di sostanza attiva, la sua concentrazione nel suolo e soprattutto dipende dal tempo in cui l'agrofarmaco permane biologicamente attivo.

4.1.16 Agrofarmaci nel sistema suolo-acqua-atmosfera

Il terreno, in particolare quello agrario, è un sistema molto complesso in cui l'equilibrio tra le varie componenti è molto precario a causa dei continui interventi dell'uomo. Solo una minima percentuale della dose del prodotto fitosanitario applicato negli interventi di difesa raggiunge l'organismo agente di danno o di malattia (circa il 5%). Una buona percentuale rimane nelle piante trattate, della restante parte una quota, per effetto deriva, migra nell'ambiente circostante la zona interessata al trattamento e una quota finisce nel terreno in seguito al dilavamento degli organi vegetali trattati e con i residui della coltura.
Molti agrofarmaci del resto sono applicati direttamente al suolo stesso: insetticidi geodisinfestanti, fungicidi contro i funghi fitopatogeni che vivono nel terreno (ad esempio molti Oomiceti) e diserbanti.
Dal terreno gli agrofarmaci possono essere mobilizzati con i flussi idrici e arrivare ai corpi d'acqua superficiali e profondi, fuoriuscendo spesso dall'agroecositema stesso.
L'inquinamento delle acque da parte degli agrofarmaci è salito alla ribalta, con grande risonanza, negli ultimi anni, soprattutto in seguito

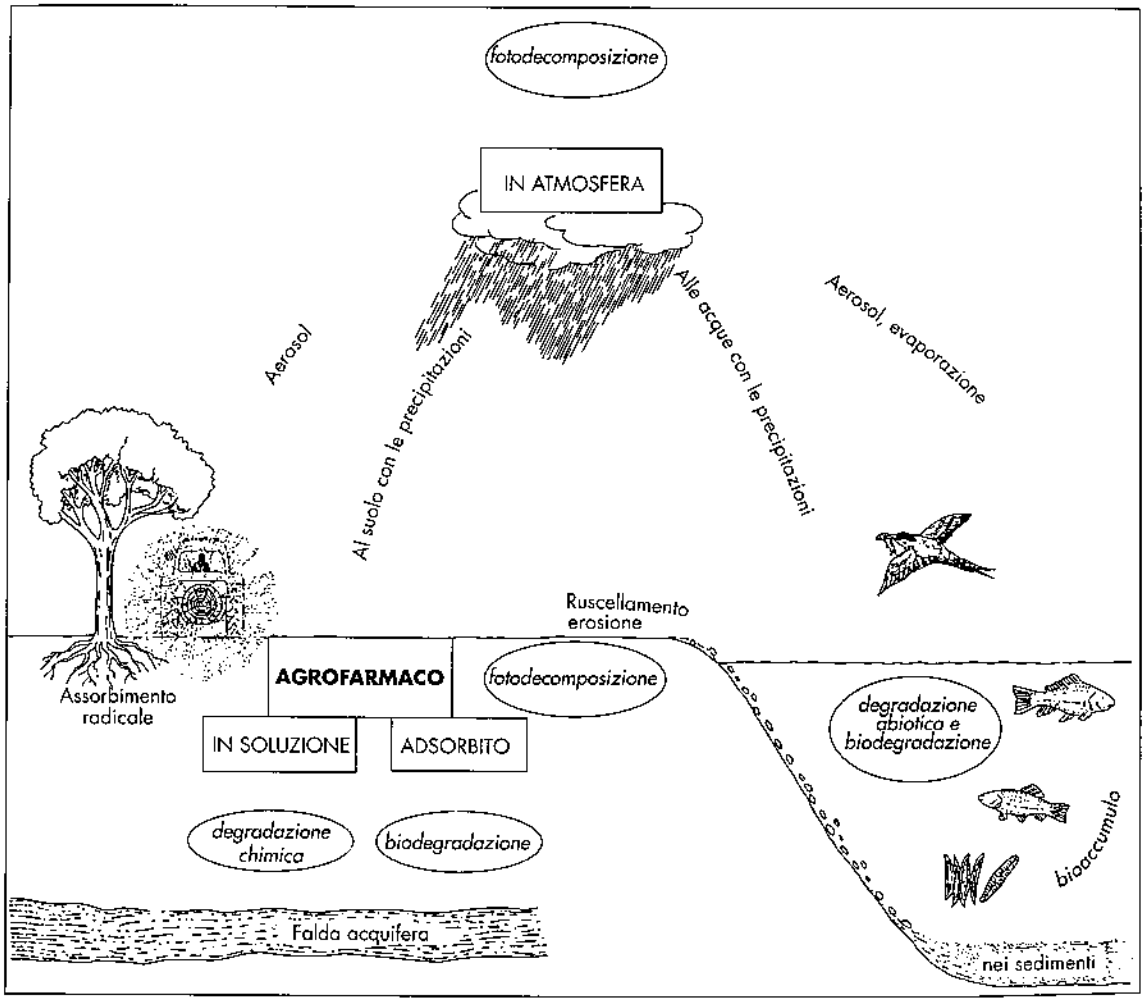


Fig. 4.24 *Movimento degli agrofarmaci nell'ecosistema e principali vie di degradazione. Gli agrofarmaci vengono applicati, per lo più in forma liquida o solida, alla vegetazione o direttamente al terreno. Essi quindi vengono in parte assorbiti dalle piante e possono essere asportati con la coltura, in parte dilavati e finire al terreno, e in parte ritornare al terreno con i residui colturali. Una certa quota di prodotto finisce in atmosfera sotto forma di aerosol e, in seguito alla volatilizzazione, in forma gassosa e può ritornare al suolo (e alle acque) con le precipitazioni. Nel terreno gli agrofarmaci possono venire adsorbiti dalle particelle terrose o rimanere in soluzione. La frazione disciolta può essere trasportata alle acque: per percolazione ai corpi idrici sotterranei, per ruscellamento a quelli superficiali; anche la frazione adsorbita può finire alle acque superficiali tramite l'erosione. Nel contempo gli agrofarmaci possono essere degradati per via chimica, biologica e fotochimica.*

all'impiego di certi diserbanti come l'Atrazina che si sono resi responsabili dell'inquinamento dei corpi idrici superficiali e sotterranei; il fenomeno desta una crescente preoccupazione, in quanto non se ne conosce bene l'entità, dato che le acque di falda costituiscono una sorgente preziosa di acqua potabile. In generale le cause dell'inquinamento delle acque da agrofarmaci sono da ricercarsi sia nel massiccio e spesso improprio uso di prodotti fitosanitari che dal terreno finiscono alle acque, sia nello scarico diretto (quasi sempre doloso o colposo) nei corsi d'acqua (lavaggio delle botti e scarico delle eccedenze) o in punti localizzati (con conseguente percolazione nelle falde acquifere sottostanti).
Si ricorda che oltre all'inquinamento da parte degli agrofarmaci impiegati nella difesa delle colture in campo, esiste il problema dello smaltimento delle sospensioni impiegate nei trattamenti post-raccolta (si calcola che per ogni 1000 q di mele trattate vengano eliminati 30-40 hl di acqua inquinata da fungicidi). Le acque inoltre possono essere contaminate direttamente con le disinfestazioni contro le zanzare (in vari paesi è ancora impiegato il DDT proprio a questo scopo).
Il diserbo, specialmente se di fossi o di comprensori a monocolture continue (risaie, mais), diviene pratica a rischio, perché la forte concentrazione dello stesso prodotto ne favorisce la lisciviazione nelle falde sotterranee e il trasporto verso i corpi idrici superficiali. La *contaminazione delle acque* da diserbanti è un inquinamento diffuso che interessa ampi territori e che, a lungo termine, può compromettere la qualità delle acque in modo pressoché permanente.
L'acqua risulta il principale veicolo delle sostanze inquinanti:

- i flussi idrici diretti verso gli strati profondi del suolo (percolazione) sono infatti responsabili della lisciviazione dei composti in soluzione che può comportare l'inquinamento delle acque di falda, compromettendone anche la potabilità;
- il ruscellamento in superficie può invece convogliare le sostanze disciolte nell'acqua ai corpi idrici superficiali e, causando l'erosione del suolo, anche quelle adsorbite dalle particelle di terreno; gran parte dei prodotti fitosanitari rinvenuti nelle acque di superficie sono in forma adsorbita dalle particelle di terreno; ciò è indice della loro provenienza dal dilavamento dei terreni agrari; è stato rilevato inoltre come la loro concentrazione tenda ad aumentare nei periodi in cui sono più numerosi i trattamenti e nei periodi di piovosità più intensa.

L'impatto sull'ambiente è influenzato quindi dalla mobilità stessa dei prodotti fitosanitari, oltre che da altri fattori (periodo di tempo in cui l'agrofarmaco rimane inalterato e quindi biologicamente attivo, concentrazione nel terreno, tossicità intrinseca, ecc.).
La *mobilità degli agrofarmaci* nel sistema suolo-acqua è legata sia alla struttura delle loro molecole ed al tipo di formulazione commerciale, sia alle caratteristiche chimico-fisiche del suolo stesso, nonché ai fattori climatici (piovosità, temperatura).
Particolarmente significativa a questo proposito è l'influenza del potere adsorbente del terreno: il contenuto in sostanza organica, più che la frazione argillosa tuttavia importante, sembra essere il principale fattore che condiziona l'entità dell'adsorbimento delle molecole degli agrofarmaci.
Le molecole con carattere cationico sono quelle maggiormente adsorbite, mentre quelle a carattere anionico non sono adsorbite o lo sono solo debolmente.
Le sostanze fortemente adsorbite hanno una mobilità estremamente ridotta, per cui difficilmente vengono dilavate. La Deltametrina (insetticida Piretroide), per esempio, viene adsorbita tenacemente dalla frazione colloidale nel suolo; essa si localizza infatti negli strati più superficiali del terreno e in particolare tra i 2,5 a 5 cm di profondità a seconda del contenuto in sostanza organica e della tessitura del suolo. Così i Benzimidazoli sono prodotti poco mobili che si fissano nei primi 10 cm circa del suolo.
Per contro le sostanze che non vengono adsorbite saranno più facilmente soggette ad essere dilavate: esse possono lisciviare negli strati profondi e finire ad inquinare le falde acquifere; in certi casi (piovosità intensa, ecc.) possono giungere per ruscellamento ai corpi idrici superficiali.
Un'eccessiva concentrazione di prodotti fitosanitari nel suolo è sempre negativa non solo perché potrebbe influire inibendo l'attività della pedofauna e dei microrganismi del terreno, ma anche perché può determinare un aumento della mobilità degli agrofarmaci stessi. Il terreno infatti, oltre ad un certo limite, non può adsorbire queste molecole che finiscono così per essere dilavate.
Una certa quota di agrofarmaco può essere dispersa in atmosfera durante il trattamento (le gocce di minime dimensioni rimangono sospese in aria) e certi prodotti possono volatilizzare in seguito, passando dalla forma liquida o solida a quella gassosa.
Normalmente l'inquinamento dell'aria da parte di prodotti fitosanitari non raggiunge valori di pericolosità per l'ambiente se non per l'operatore agricolo, soprattutto nei casi di impiego scorretto. Possono manifestarsi eventualmente danni per fitossicità su piante sensibili, in seguito ai fenomeni di deriva.
Gli agrofarmaci in forma gassosa o di aerosol pre-

senti in atmosfera possono essere degradati più o meno completamente per azione dei raggi ultravioletti (**fotodegradazione**) oppure ricadere con le precipitazioni al suolo e alle acque.

Degradazione dei prodotti fitosanitari nel suolo

La degradazione degli agrofarmaci è un fenomeno che può avvenire, anche se in misura diversa, nei vari comparti ambientali: atmosfera, acqua e suolo. Il suolo è però la sede in cui più comunemente avvengono i processi di demolizione.
Il suolo è un sistema in grado di degradare o comunque trasformare molte (ma non tutte) delle sostanze di sintesi che vi pervengono ed è quindi capace di autodetossificarsi. La degradazione dei prodotti fitosanitari è un processo molto complesso e in parte ancora poco noto; essa è condizionata sia dalla composizione chimica delle molecole degli agrofarmaci, sia dalle caratteristiche chimico-fisiche del suolo e da quelle climatiche (è più veloce a temperature elevate), nonché dalla componente biologica del suolo stesso.
La degradazione di un agrofarmaco può avvenire attraverso la degradazione abiotica e la degradazione biologica (biodegradazione).

Degradazione abiotica. Consiste in una serie di trasformazioni di natura chimico-fisica (reazioni di idrolisi, ossidazione, riduzione, ecc.) che comportano la degradazione parziale o totale del composto di partenza; nell'atmosfera, le molecole dei prodotti fitosanitari possono subire una serie di reazioni catalizzate dalla luce ultravioletta; la fotodegradazione può interessare inoltre anche gli agrofarmaci in forma liquida e solida che si trovano negli strati più superficiali del suolo, in cui penetra la luce e, in una certa misura, anche quelli che pervengono alle acque.

Degradazione biologica (biodegradazione). Consiste nella trasformazione parziale o totale (fino alla mineralizzazione) dei prodotti fitosanitari da parte dei microrganismi del suolo, principalmente batteri e funghi, che possono attaccare le molecole di sintesi per i propri fabbisogni metabolici e per trarne energia.
La maggior parte dei microrganismi responsabili dei processi di degradazione ha un metabolismo aerobio; pertanto la demolizione delle molecole degli agrofarmaci si svolge più facilmente nei terreni sciolti, con una buona circolazione dell'aria, ed avviene soprattutto negli strati più superficiali del terreno, dove i microrganismi sono più attivi.
I due meccanismi di degradazione possono essere tra loro connessi: un determinato prodotto fitosanitario può subire, per esempio, una prima parziale demolizione per via chimica e/o fotochimica e successivamente essere degradato totalmente per azione biologica. In particolare, quando il prodotto fitosanitario è adsorbito dalla frazione colloidale del suolo, viene degradato principalmente per via chimica; quando invece è disciolto nella fase liquida, prevale la degradazione biologica.
Nella degradazione dei prodotti fitosanitari, comunque, sembra essere preminente la demolizione per via biologica; non tutte le molecole di sintesi però vengono attaccate dai microrganismi ed inoltre la demolizione delle molecole degli agrofarmaci può comportare esiti diversi.

Il processo di **biodegradazione**, anche se in maniera molto schematica e semplificata, può essere così riassunto:

- *sostanze non attaccate* e quindi non degradate; queste molecole, dette recalcitranti, persistono nell'ambiente e attraverso la catena alimentare si accumulano negli organismi;
- *sostanze solo parzialmente degradate*; questo fenomeno (cometabolismo), può comportare:
  - liberazione di metaboliti stabili (cioè di composti che non vengono ulteriormente degradati) non tossici o comunque meno tossici di quelli iniziali;
  - liberazione di metaboliti stabili tossici o più tossici dei composti da cui hanno preso origine (es. il Naftolo derivato dal Carbaril e il DDE derivato dal DDT);
- *sostanze completamente degradate* (mineralizzate) fino ad acqua e anidride carbonica (es. l'Acido 2,4 Diclorofenossiacetico tra i diserbanti, e il Mancozeb tra i fungicidi).

Più la composizione delle sostanze di sintesi si avvicina a quella delle molecole organiche naturali, maggiore è in genere la possibilità di biodegradazione.
L'intensità del processo di biodegradazione dipende dalla consistenza della popolazione microbica del suolo stesso; qualsiasi fattore che condizioni negativamente lo sviluppo dei microrganismi del suolo (temperatura, umidità, pH, ossigeno, lavorazioni profonde, ecc.) si ripercuoterà negativamente anche sull'entità della degradazione stessa. Secondo alcune ipotesi anche l'impiego di agrofarmaci, attivi sui microrganismi coinvolti nella degradazione dei prodotti di sintesi, potrebbe innescare un meccanismo vizioso, riducendo la potenziale capacità di autodetossificazione del suolo stesso, oltre che i normali processi di degradazione della sostanza organica del terreno.

Vi sono però pareri contrastanti a tale proposito poiché studi effettuati su alcuni diserbanti hanno rivelato risultati opposti. È stato dimostrato, infatti, che l'impiego ripetuto di certi diserbanti (diversi Tiocarbammati; 2,4 D e MCPA, ecc.) sulla stessa area può aumentare la velocità di degradazione da parte dei microrganismi del suolo. Questo fenomeno, che prende il nome di **biodegradazione accelerata**, da un lato potrebbe comportare risvolti negativi per il diserbo in quanto le sostanze attive perderebbero più o meno completamente la loro efficacia rapidamente; dall'altro, potrebbe avere una notevole importanza dal punto di vista ambientale nella detossificazione di ambienti particolarmente inquinati.
Infine occorre segnalare l'azione detossificante esercitata dalle piante sul terreno. Le piante infatti possono assorbire i prodotti fitosanitari disciolti nella soluzione circolante del suolo e traslocarli per via sistemica, sottraendoli così alla possibilità di dilavamento. Nei tessuti vegetali le molecole possono essere metabolizzate, cioè degradate e incorporate in strutture proteiche, pectiche o ligniniche, ecc. In questo caso le molecole degli agrofarmaci vengono eliminate dall'ecosistema. Le molecole che invece non vengono degradate sono accumulate e quindi neutralizzate nei vacuoli delle loro cellule.

Persistenza e tempo di semi-vita dei prodotti fitosanitari

La velocità della degradazione di un agrofarmaco e la mobilità sono fattori che ne condizionano la persistenza nell'ambiente.
La persistenza, in senso agronomico, è il periodo di tempo in cui l'agrofarmaco, impiegato in dosi normali, mantiene un'adeguata attività di controllo dei parassiti; il tempo di persistenza è variabile: è molto lungo (anche diversi anni) per gli insetticidi clororganici, mentre è estremamente ridotto per gli insetticidi Piretroidi (alcuni giorni). Nella scelta di un prodotto fitosanitario sarebbe opportuno tenere conto anche del tempo di persistenza, in modo che il prodotto non rimanga nell'ambiente per tempi non strettamente necessari, sia per evitare problemi di fitotossicità sia per evitare fenomeni di bioaccumulo.
Lunghi periodi di persistenza possono inoltre facilitare l'insorgenza di ceppi resistenti di organismi patogeni, creando quindi ulteriori problemi nella difesa, in quanto il fenomeno della resistenza obbliga al ricorso a dosi sempre più elevate e a nuove molecole.
Per valutare il destino di un prodotto fitosanitario nell'ambiente, e non solo ai fini agronomici, si ricorre al concetto di *tempo di semi-vita* o *tempo di mezza-vita*, cioè il periodo di tempo impiegato perché la concentrazione di un agrofarmaco nel suolo si riduca della metà.
Per esempio è stato valutato che occorrono da 2 a 6 anni per dimezzare la quantità di DDT applicato al suolo. Buona parte dei prodotti fitosanitari più recenti ha per fortuna un tempo di semi-vita più limitato: per la maggioranza degli insetticidi Fosforganici, per esempio, (come anche per diversi diserbanti) è inferiore a 3-6 mesi.
Analogamente alla persistenza, il periodo di semivita di un agrofarmaco dipende dalla velocità di degradazione che, come già sottolineato, è in funzione non solo della sua composizione, ma anche delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche del suolo; per esempio, il Procimidone (fungicida antibotritico), che subisce nel terreno una degradazione biologica, ha un tempo di semivita che può variare da 20-40 a 80-90 giorni a seconda della presenza di microrganismi, della natura del terreno e delle condizioni climatiche. Il tempo di semi-vita dei Benzimidazoli (impiegati per il controllo di molti funghi fitopatogeni) può variare soprattutto in relazione del pH del suolo: da 26 mesi a pH 5,5 a 3 mesi a pH 7,7.

Micotossine

Le micotossine sono sostanze tossiche prodotte, principalmente, da cinque generi di funghi parassiti dei vegetali; possono provocare serie intossicazioni, sia all'uomo sia agli animali superiori che ingeriscono alimenti contaminati dalle stesse.
L'effetto biologico e tossicologico delle micotossine è vario, possono provocare sia intossicazioni acute, con effetto neurotossico, epatotossico, immunotossico, citotossico ed emorragico, sia intossicazioni di tipo cronico; non sono infine da trascurare alcuni effetti mutageni, di teratogenesi e di cancerogenesi.
La presenza di micotossine negli alimenti di origine vegetale può derivare sia da un attacco diretto dei funghi tossigeni in campo, oppure per successivi "ammuffimenti" verificatisi durante le fasi di trasporto, stoccaggio e conservazione dei vegetali stessi. Quasi tutti i vegetali possono essere oggetto di sviluppo dei funghi che producono micotossine.
È necessario, inoltre, ricordare che le micotossine prodotte (anche in campo) si accumulano e sopportano abbastanza bene i processi di trasformazione e conservazione degli alimenti stessi, determinando il passaggio di tali sostanze negli alimenti trasformati o finiti (anche nei mangimi). In certi casi alcune micotossine presenti nei mangimi

degli animali passano, in modo diretto o sottoforma di loro metaboliti sempre tossici, nel latte o nelle carni degli animali, costituendo un rischio anche per la salute umana, in considerazione della loro buona resistenza alle alte temperature (anche la cottura) ed alla maggior parte dei trattamenti di conservazione a cui vengono sottoposti i prodotti (carni, latte e derivati, uova, ecc.).
Le micotossine, come già detto, sono prodotte da alcuni funghi fitopatogeni che attaccano le colture in campo o che sono responsabili di infestazioni post-raccolta durante la conservazione. I principali funghi tossigeni possono ascriversi a cinque generi: *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Claviceps* e *Alternaria;* vi sono anche altri gruppi fungini potenzialmente tossigeni (*Mucor*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Sclerotinie*, *Rhizopus*, *Epicoccum*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Botrytis*, *Byssochlamys*, *Gibberella*, ecc.) i cui effetti tossicologici, acuti e cronici, sono molto meno importanti e frequenti di quelli dei generi principali.

Principali micotossine

Aflatossine. Sono prodotte esclusivamente da alcuni ceppi di *Aspergillus* (*Aspergillus flavus*), alcuni dei quali attaccano i vegetali in campo, altri sono saprofiti a livello del terreno o sui vegetali raccolti. Le aflatossine possono essere presenti nei vegetali destinati all'alimentazione del bestiame o in alcuni semi (cereali, in particolare il mais) destinati alla produzione di mangimi, con possibile contaminazione del latte. Le aflatossine, inoltre, possono contaminare direttamente gli alimenti destinati all'uomo, specie se conservati male, in magazzini poco controllati o nei quali si instaurano condizioni favorevoli ai miceti tossigeni (frutta secca, cereali, legumi, ecc.); in particolare un'incidenza più elevata si riscontra negli areali tropicali o subtropicali.

Fig. 4.25 Penicillium *su mela.*

Sterigmatocistina. Tossina prodotta da alcuni funghi del genere *Aspergillus* (*Aspergillus flavus*, *Aspergillus versicolor*, ecc.), può contaminare alcuni cereali, oltre che alimenti come i formaggi, in modo diretto nella filiera produttiva.

Zearalenoni. Si tratta di micotossine prodotte dai funghi *Fusarium* e *Gibberella* che contaminano, sia in campo sia in magazzino, soprattutto i cereali (mais, frumento, sorgo, ecc.).

Deossinivalenolo. È una tossina prodotta da *Fusarium graminearum* e *Fusarium culmorum* in grado di provocare gravi intossicazioni alimentari nei mammiferi. È stata riscontrata soprattutto su cereali quali frumenti e orzo.

Tricoteceni. Si tratta di un grande gruppo di micotossine prodotte da funghi appartenenti soprattutto al genere *Fusarium* e da altri miceti fra cui il *Trichoderma*, il *Trichothecium*, il *Cephalosporium* ed altri. Le derrate alimentari più a rischio per la contaminazione da parte di queste sostanze sono sicuramente i cereali, soprattutto quelli destinati alla trasformazione in mangimi per animali (anche negli insilati di mais). In alcuni Paesi sono state trovate queste micotossine nelle farine o in altri prodotti destinati all'alimentazione umana, per probabile infestazione da *Fusarium* su frumento in campo.

Ergoline (derivati dell'acido lisergico e clavine). Si tratta di un gruppo di micotossine prodotte soprattutto da funghi del genere *Claviceps*, in particolare *Claviceps purpurea* parassita delle spighe di alcuni cereali, soprattutto nei Paesi Nord Europei. Sono le micotossine forse più note, isolate alla metà del 1800 dagli sclerozi della *Claviceps purpurea* e responsabili di una sintomatologia definita ergotismo. Queste micotossine possono contaminare cereali e farine destinati sia all'alimentazione del bestiame sia a quella umana.

Ocratossine. Si tratta di micotossine prodotte da alcune specie fungine dei generi *Aspergillus* e *Penicillium*; le ocratossine sono state ritrovate soprattutto in alcuni cereali, in alcuni semi oleaginosi e nella frutta secca.

Patulina. È una micotossina prodotta da funghi del genere *Penicillium* (*Penicillium patulum* o *expansum* e *Penicillium griseofulvum*) e *Aspergillus*; gli alimenti che possono essere contaminati dalle Patuline sono soprattutto i frutti delle Pomacee e di fragole in post-raccolta. Queste

micotossine possono trovarsi anche nei prodotti ottenuti dalla trasformazione della frutta contaminata (confetture e succhi).

Citroviridine. Sono micotossine prodotte dal *Penicillium citreoviridae* che infesta di solito il riso.

Micotossine di Alternaria. Esse si sviluppano su frutta, legumi, cereali, patata ed alcuni prodotti di piante ortive infestati soprattutto da *Alternaria tenuis*.

Fumonisine. Sono micotossine prodotte da *Fusarium moniliforme* infestante soprattutto i cereali.

4.2 Macchine per la distribuzione degli agrofarmaci

Il progresso che l'agricoltura ha compiuto negli ultimi cinquant'anni ha avuto diverse spinte evolutive, tra queste la meccanizzazione; specialmente dagli anni Settanta in avanti, essa ha determinato innovazioni tecniche che possono definirsi rivoluzionarie: l'introduzione della servo-meccanica, l'informatizzazione dei controlli tecnico-meccanici, la scoperta e l'uso di nuovi materiali, l'applicazione di tecniche sofisticate, anche nella progettazione e costruzione delle macchine destinate all'agricoltura.
Questo progresso non poteva eludere un settore così esigente in tecnologia, come il settore fitoiatrico; la fitoiatria, da sempre, ha avuto particolare attenzione alla distribuzione degli agrofarmaci e alla meccanizzazione della stessa, in considerazione del fatto che il successo di un trattamento difensivo non dipende solamente dalla sostanza attiva usata ma anche da altri elementi.
Tra questi rivestono particolare importanza:

- la razionalizzazione degli interventi in cui rientrano le metodologie di lotta (lotta guidata ed integrata) e le loro basi scientifiche ed applicative;
- l'assistenza tecnica e la professionalità degli operatori che costituiscono comunque, ed in qualsiasi settore, la garanzia di successo di ogni iniziativa;
- le attrezzature meccaniche di distribuzione che costituiscono, nel loro insieme, il presupposto meccanico del successo del trattamento fitoiatrico.

L'evoluzione storica delle attrezzature per la distribuzione degli agrofarmaci ha seguito l'evoluzione degli stessi e la loro importanza nella gestione aziendale del lavoro.
La trasformazione del rapporto superficie aziendale/manodopera ha certamente influito nella ricerca di mezzi più idonei alla razionalizzazione dei trattamenti e del lavoro. Si è passati da strumenti distributivi individuali (pompa a spalla manuale, peraltro tuttora in uso; pompe a carriola, manuali o con motore ausiliario) a strumenti distributivi per grandi superfici come i moderni atomizzatori, dotati di sofisticate attrezzature di distribuzione, controllo e protezione degli operatori.
Le macchine che servono per la distribuzione degli agrofarmaci devono essere:

- **funzionali**, garantire cioè la tempestività del trattamento in ogni situazione pedo-climatica;
- **affidabili**, l'affidabilità assomma in sé più aspetti e tra questi ricordiamo:
  - perfetta ed omogenea distribuzione del prodotto (intesa anche come capacità direzionale dello stesso, per evitare effetti deriva e di dispersione eccessiva nell'ambiente);
  - sicurezza per l'operatore con la presenza di dispositivi atti ad impedire la fuoriuscita dei prodotti e ad evitare il contatto tra operatore e prodotto distribuito, ad esempio i premiscelatori, dispositivi in grado di aspirare direttamente i liquidi o le polveri che costituiscono il formulato riducendo i rischi legati alla fase di preparazione;
  - resistenza dei materiali e facilità delle manutenzioni e delle pulizie, ossia i materiali devono essere resistenti all'usura chimico-fisica; devono essere presenti filtri autopulenti e comunque facilmente smontabili e pulibili; gli organi agitatori devono essere adeguati; la progettazione e l'uso devono essere semplici e flessibili alle esigenze aziendali;
  - presenza di strumentazioni di controllo dei parametri della distribuzione dei prodotti, ossia nelle macchine più moderne e sofisticate sono montati piccoli elaboratori elettronici in grado di fornire, in tempo reale, elementi integrati per regolare la velocità di avanzamento, la quantità distribuita per unità di superficie (l/ha) ed altri;
- **economiche**, ossia il costo dei trattamenti con prodotti fitosanitari non è formato solamente dal costo delle materie prime ma anche da altri fattori che sono insiti nel mezzo utilizzato; infatti il costo di acquisto e di manutenzione delle macchine, l'ammortamento e l'impiego di manodopera sono altrettante voci che incidono sull'economicità dei trattamenti.

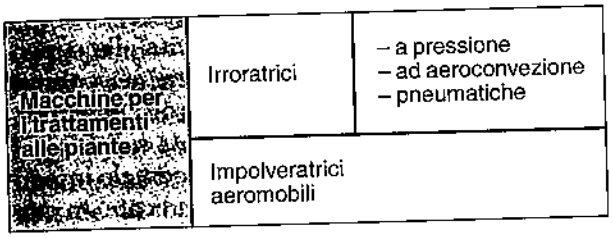
Classificazione delle macchine per la distribuzione dei prodotti fitosanitari

La grande varietà delle applicazioni fitoiatriche consiglia di suddividere le macchine per i trattamenti fitoiatrici nei settori di riferimento del trattamento stesso:

- macchine per i trattamenti alle piante;
- macchine per i trattamenti al terreno;
- macchine per la concia dei semi.

Macchine per i trattamenti alle piante

Fanno parte di questa categoria tutte le attrezzature che erogano prodotti fitosanitari alle piante, erbacee o arboree, coltivate o ornamentali.
Per maggiore chiarezza espositiva si propone il seguente schema:



Le **irroratrici** sono macchine che distribuiscono una miscela liquida, in cui l'acqua funge nel contempo da diluente e veicolante. In funzione delle differenti combinazioni fra polverizzazione e veicolazione dello spray, distinguiamo i seguenti tipi di irroratrici:

- **a pressione**, tipologia di macchina in cui la polverizzazione avviene meccanicamente mediante il passaggio della vena liquida in pressione attraverso il foro degli ugelli con formazione di gocce con diametro variabile in funzione della pressione di esercizio e del diametro del foro (200-600 µm); il movimento delle gocce verso la vegetazione avviene mediante energia cinetica; queste macchine sono caratterizzate da un costo contenuto ma sono considerate obsolete date le elevate pressioni di esercizio richieste per la polverizzazione e le elevate perdite di miscela fitoiatrica;
- **ad aeroconvezione,** anche in questa tipologia di macchina la polverizzazione avviene meccanicamente mediante il passaggio della vena liquida in pressione attraverso il foro degli ugelli; in questo caso il movimento delle gocce verso la vegetazione avviene grazie alla corrente d'aria generata da una apposita ventola generalmente assiale.
  I costi sono superiori alla precedente tipologia ma questa combinazione assicura una migliore traslocazione dello spray verso il bersaglio vegetale;
- **pneumatiche**, tipologia di irroratrice in cui sia la polverizzazione sia il trasporto delle gocce avviene tramite una corrente d'aria ad elevata velocità prodotta da un ventilatore centrifugo. Le gocce così generate hanno diametri variabili dai 50 ai 100 µm garantendo pertanto un'efficace copertura con volumi di liquido notevolmente inferiori.

Nell'ambito della fase di polverizzazione vanno inoltre menzionati due ulteriori sistemi:

- *polverizzazione centrifuga* che avviene mediante particolari ugelli rotativi che polverizzano la vena liquida indirizzandola, mediante forza centrifuga, verso il bordo esterno dell'apparato a sua volta caratterizzato da una fine scanalatura; la popolazione di gocce che ne deriva è caratterizzata da una notevole uniformità, nonostante questi ugelli siano raramente impiegati dato il loro costo elevato;
- *polverizzazione termica* in cui la frammentazione della miscela è ottenuta mediante un flusso di aria calda generata da un piccolo motore a reazione; il risultato è un finissimo aerosol; questo metodo di polverizzazione viene adottato in attrezzature portatili impiegate in trattamenti in ambiente protetto.

Le **impolveratrici** sono macchine impiegate per la distribuzione di formulati polverulenti. Un tipico esempio è rappresentato dalle *solforatrici*, attrezzature appositamente realizzate per l'impiego di zolfo in polvere nella difesa antioidica in viticoltura. Per quanto riguarda la distribuzione degli agrofarmaci con **aeromobili** (mezzi aerei), questa tecnica non è molto sviluppata per le seguenti motivazioni:

- per la limitazione imposta dalla legge che vieta l'uso di prodotti non appositamente formulati;
- per le oggettive difficoltà che il mezzo incontra nella distribuzione in zone non omogeneamente coltivate e molto frazionate;
- per la complessità dell'organizzazione a terra;
- per un maggior rispetto ambientale poiché la diffusione in atmosfera comporta rischi ecologici connessi ad un maggior impatto ambientale.

Il vettore può essere un aereo o un elicottero, opportunamente dotati di diffusori idonei alla distribuzione con questo mezzo. Normalmente i diffusori hanno pompe azionate da motori autonomi o da eliche in controvento.

Macchine per i trattamenti al terreno

Fanno parte di questa categoria tutte le attrezzature che erogano prodotti fitosanitari al terreno. Per maggiore chiarezza espositiva si propone il seguente schema:

Macchine per i trattamenti al terreno	fumigatori	– a iniezione – a distribuzione continua
	microdosatori	

I **fumigatori** sono attrezzature che distribuiscono prodotti liquidi che, al contatto del terreno, gassificano; normalmente la distribuzione avviene per iniezione o per distribuzione continua.
I **microdosatori** sono distributori di sostanze geodisinfestanti che hanno lo scopo di sterilizzare il terreno in pieno campo; la microgranulazione è un'operazione che può essere fatta anche durante la semina, specialmente se di precisione, per difendere il seme da attacchi di fitofagi presenti nel terreno.

Macchine per la concia del seme

Sono attrezzature che servono a miscelare il seme, prima della semina, con un agrofarmaco allo scopo di proteggerlo durante il periodo della germinazione.
La concia del seme può essere fatta direttamente dalla ditta sementiera che ha selezionato e preparato il seme, oppure in azienda, dall'agricoltore stesso.
Quest'ultimo modo, ormai abbandonato, di operare consiste nel miscelare il seme e il prodotto fitosanitario nella tramoggia della seminatrice; non è molto consigliabile per la pericolosità dell'operazione che deve essere eseguita con guanti e con maschera protettiva. Inoltre l'esito dell'operazione non sempre dà buoni risultati per la disomogenea miscelazione. La concia del seme fatta dalla ditta sementiera garantisce una migliore esecuzione e una maggiore sicurezza.

Tecniche di intervento

Il successo della **difesa fitosanitaria** dipende in grande misura dal rapporto tra prodotto fitosanitario e sistema di distribuzione; in modo particolare la scelta del momento, la quantità di sostanza attiva e la sua concentrazione sono elementi determinanti.
La scelta del momento è legata, come più volte detto, al ciclo biologico del patogeno/parassita e al ciclo fenologico della pianta; ciò costituisce il fondamento per eseguire ogni tipo di lotta.
La quantità di sostanza attiva riferita alla superficie trattata (l/ha) è predeterminata, per coltivazione e per patogeno, durante le prove di formulazione degli agrofarmaci ed indicata sulle confezioni degli stessi; è quindi di fondamentale importanza seguire attentamente le dosi indicate. In particolare si consiglia di fare riferimento alla dose di prodotto per ettaro di superficie indipendentemente dalla quantità di acqua distribuita. La concentrazione della miscela da distribuire è legata al quantitativo di acqua in cui viene miscelato l'agrofarmaco che, come già detto, deve essere sempre la stessa quantità per ettaro; la pratica prevede diverse modalità applicative che vanno dal volume normale, volume medio, basso volume fino all'ultrabasso volume (ULV).

Fig. 4.26 Atomizzatore ad aeroconvezione operante a volumi normali o a volumi ridotti.

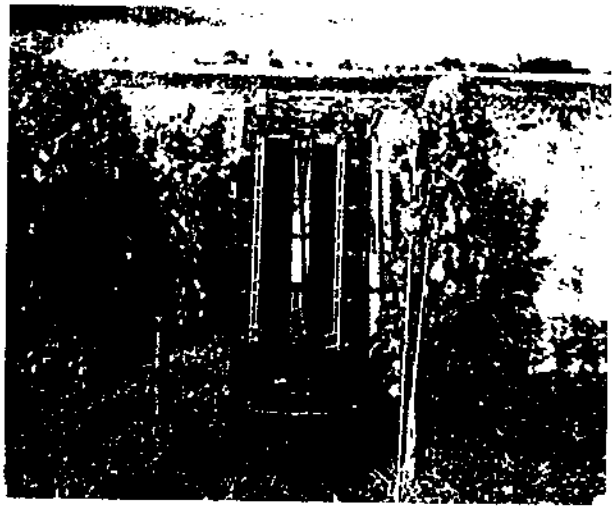


Fig. 4.27 Atomizzatore centrifugo operante in verticale a volumi ridotti.

Le diverse modalità suddette differiscono principalmente per due parametri: la *quantità* di *acqua* distribuita per ettaro e il *grado* di *micronizzazione* delle goccioline (vedi differenti tipologie di polverizzazione).
Questi valori, non standardizzabili, dipendono dalle diverse condizioni operative, riassumibili nelle seguenti variabili:

- **tipo di organizzazione aziendale** (macchine e manodopera presenti in azienda, superficie aziendale, sistemazione idraulico agraria, modalità di lotta applicate, ecc.);
- **tipo di coltivazione** (specie coltivata, forma di allevamento, fase fenologica);
- **tipo di trattamento** (a seconda del tipo di bersaglio acari, insetti, funghi, infestanti, ecc. e del suo stadio biologico).

In ogni caso i volumi impiegati della miscela antiparassitaria variano dai 300/800 l/ha, per le colture erbacee, fino ai 1500 l/ha, per le arboree, impiegando i **volumi normali**; mentre per i **bassi** ed **ultrabassi volumi** si può passare dai 100/400 fino ai 5/20 l/ha. Il passaggio da volumi normali ai bassi e ultrabassi volumi comporta una maggiore micronizzazione delle goccioline, al fine di ottenere una maggiore superficie coprente in funzione di una minore quantità di liquido diffuso. Infatti, ad esempio, la superficie coperta da una gocciolina di 300 micron di diametro è nettamente inferiore alla superficie coperta da un pari volume micronizzato con diametri a 30 micron.
La scelta dei bassi volumi di liquido da diffondere ha come fondamento più importante la riduzione dei costi di esecuzione (minor tempo di distribuzione, minori quantità di acqua e minore quantità di agrofarmaco che viene perduta per gocciolamento) e una migliore copertura.
Gli svantaggi invece sono legati all'elevato grado di micronizzazione (comporta facilità di evaporazione, rischio di deriva, disomogeneità di copertura e possibilità di inalazione) e all'elevata concentrazione (rischio di intossicazione, intasamento degli ugelli e necessità di formulati adeguati). Inoltre i bassi volumi e soprattutto gli ULV non garantiscono completo successo per i trattamenti dove il tipo di prodotto e il tipo di bersaglio esigono una completa bagnatura degli organi vegetali (prodotti di contatto su alcuni fitofagi come il ragnetto e le cocciniglie).
Occorre inoltre segnalare che l'uso scorretto dei bassi volumi può determinare problemi relativi all'efficacia del trattamento, ad esempio sbagliando la concentrazione attiva del prodotto. Infatti chi è abituato ai volumi normali e utilizza la dose di agrofarmaco per hl di acqua (per determinare la concentrazione da distribuire), passando ai bassi volumi e considerando sempre la dose/hl e non la dose di prodotto/ha (ettaro), come si dovrebbe fare, rischia di trattare con una concentrazione di prodotto fitosanitario più bassa del dovuto, spesso sotto il limite di efficacia. Occorre quindi sottolineare nuovamente che con i bassi volumi diminuisce la quantità di acqua per ettaro, ma la quantità di prodotto per ettaro di superficie deve rimanere sempre la stessa.

Accorgimenti per la riduzione dell'impatto ambientale

Recentemente è stato svolto molto lavoro al fine di ottenere applicazioni sempre più eco-compatibili cercando di limitare le perdite di miscela che per deriva si attestano su valori del 10-15% sul volume totale, fino ad arrivare al 60% per gocciolamento a terra.
Per **deriva** si intende il movimento dell'agrofarmaco nell'atmosfera dall'area trattata verso qualsivoglia sito non bersaglio, nel momento in cui viene operata la distribuzione (ISO CD 12057).
Al fine di limitare questo fenomeno sono sempre più diffusi gli ugelli *low drift*, caratterizzati da un'apposita pre-camera in grado di limitare la deriva, e gli ugelli ad iniezione d'aria in grado di includere in ciascuna goccia una bollicina di aria che ne aumenta il volume incrementandone la resistenza all'avanzamento e, infine, gli ugelli di fine barra caratterizzati da un diagramma di distribuzione asimmetrico.
Altri sistemi sono particolari *sensori* di vegetazione in grado di variare in tempo reale i parametri di distribuzione, o apposite *schermature* scavallanti con relativo sistema di ricircolo.
Per la riduzione delle perdite a terra sono ormai diffusi gli *ugelli antigocciolamento* in grado di interrompere immediatamente l'erogazione della miscela nel momento in cui termina l'applicazione.
In termini legislativi è al vaglio la definizione delle **buffer zone** o zone di rispetto di bordo campo dove non eseguire il trattamento. Tale accorgimento è già in atto in alcuni paesi europei (Germania, Olanda, Svezia).
Tutti questi espedienti non possono comunque prescindere da un'adeguata manutenzione periodica dell'attrezzatura e dalla relativa taratura in grado di assicurare le migliori condizioni di applicazione degli agrofarmaci.

Principali agrofarmaci o prodotti fitosanitari

Gli agrofarmaci vengono divisi in categorie a seconda del bersaglio cui sono rivolti, riportando, per ciascuna categoria, le principali caratteristiche distintive; ogni agrofarmaco (sostanza attiva) è corredato di una serie di informazioni che ne focalizzano l'impiego, i limiti tecnici e i limiti tossicologici.

Fungicidi o anticrittogamici

Appartengono a questa categoria di prodotti tutte le sostanze attive la cui azione è diretta contro i patogeni fungini.
La definizione di fungicidi (che uccidono il fungo) non è etimologicamente corretta, in quanto nella categoria vengono comprese anche alcune sostanze attive la cui azione, nei confronti del fungo, è solamente di bloccarne l'attività biologica (ad esempio la riproduzione); per questi il termine più corretto sarebbe *fungistatici*.
Per convenzione ogni sostanza attiva che svolge la sua attività contro i funghi viene chiamata **fungicida** o **anticrittogamico**.
Le caratteristiche intrinseche dei fungicidi consentono di raggrupparli in diversi modi; in questa sede vengono proposti solamente alcuni di essi, considerati tra i più significativi.
Le modalità di azione dei fungicidi, nei confronti del patogeno, possono essere:

- **azione preventiva** quando la sostanza attiva agisce prima che il fungo si sia *ancorato* nei tessuti del vegetale;
- **azione curativa** quando la sostanza attiva agisce nei confronti di un fungo che ha già invaso il vegetale; l'azione può essere devitalizzante o staticizzante;
- **azione eradicante o antisporulante** quando la sostanza attiva agisce tardivamente, quando cioè il fungo ha già colpito i tessuti vegetali, ha compiuto un ciclo riproduttivo, ed "evade" da essi, con spore o altri elementi di fruttificazione, per attuare una reinfezione. L'azione è rivolta agli organi di propagazione (es. spore) impedendone la formazione o devitalizzandoli.

La capacità di penetrare o meno nei tessuti vegetali divide i fungicidi in due grandi categorie:

1. **esofarmaci** (chiamati anche di copertura) che sono le sostanze attive *non in grado di penetrare* nei tessuti vegetali e, pertanto, esplicano la loro azione all'esterno dei tessuti stessi. L'azione nei confronti del patogeno è sempre di tipo preventivo; sono molto soggetti all'azione dilavante e degradante degli agenti atmosferici;
2. **endofarmaci** che sono sostanze attive in grado di entrare all'interno dei tessuti vegetali e, pertanto, esplicano la loro azione all'interno degli organi vegetali.

A seconda del tipo di penetrazione gli endofarmaci vengono ulteriormente divisi in:

- **citotropici** quando entrano nei tessuti ma sono poco mobili (non vengono traslocati dal sistema linfatico);
- **translaminari** quando sono in grado di raggiungere la lamina opposta a quella interessata dal trattamento (non sono traslocati dal sistema linfatico);
- **locosistemici** quando vengono assorbiti e godono di una certa mobilità laterale e orizzontale, con penetrazione profonda nei tessuti vegetali (non vengono traslocati dal sistema linfatico);
- **sistemici** quando vengono assorbiti e traslocati con il flusso linfatico.

Alcuni fungicidi vengono infine definiti **mesostemici**, in quanto vengono assorbiti dagli strati cerosi del vegetale e si ridistribuiscono in fase di vapore fissandosi nuovamente ai tessuti contigui dove si muovono in senso translaminare.
L'azione del fungicida può essere:

- **specifica** se rivolta ad un solo patogeno;
- **a largo spettro di azione** se attiva nei confronti di più patogeni.

Infine, nell'ambito della cellula fungina, il fungicida può avere diversi **siti di azione** dove esercitare la sua tossicità; oppure un **monosito** ossia un determinato metabolismo dove esercitare la sua azione tossica; in questo caso occorre tenere presente il rischio della comparsa di *ceppi resistenti*; è stato dimostrato che maggiore è la selettività e la specificità di un fungicida, maggiore è la possibilità della comparsa di ceppi resistenti (ad esempio gli ultimi fungicidi sistemici presentano questo rischio).
Per le caratteristiche delle singole sostanze attive si rimanda alle schede tecniche dei fungicidi nell'allegato prontuario degli agrofarmaci.

Insetticidi

Appartengono a questa categoria di prodotti tutte le sostanze attive la cui azione è diretta contro gli insetti; questa azione può essere prevalente o collaterale, infatti esistono sostanze

attive la cui azione è rivolta ad altri patogeni o parassiti ma che esplicano anche un'attività collaterale insetticida.
La classificazione degli insetticidi è strettamente legata alla modalità di penetrazione nel corpo dell'insetto fitofago. Sulla base di questo criterio distinguiamo tre diverse modalità di azione:

- **per ingestione** quando la sostanza attiva viene assunta con il vegetale contaminato di cui l'insetto si nutre; a volte l'assunzione può avvenire per ingestione di esche alimentari (molto appetite) intrise di insetticida. Questo tipo di penetrazione è strettamente legato all'apparato boccale e alle modalità trofiche degli insetti bersaglio;
- **per contatto** quando la sostanza attiva viene assunta attraverso il tegumento; l'assunzione può avvenire:
  - direttamente durante il trattamento; l'insetto viene "bagnato" dalla sospensione diffusa;
  - dopo il trattamento; questa modalità è dovuta alla persistenza del prodotto insetticida sul vegetale che determina il contatto al passaggio dell'insetto;
- **per inalazione** quando la sostanza attiva, di natura gassosa, viene assunta attraverso gli stigmi e raggiunge il sistema respiratorio interno provocando l'intossicazione e la morte dell'insetto. A questa categoria vengono aggregati anche prodotti che agiscono provocando asfissia per la chiusura degli stigmi (ad esempio gli oli minerali).

Molte sostanze attive, specialmente i nuovi insetticidi organici, agiscono penetrando nell'insetto attraverso più vie, senza particolari specificità.
Spesso l'attività di un insetticida è legata anche alla sua capacità o meno di penetrare nei tessuti vegetali, raggiungendo l'insetto bersaglio in modo più specifico; pertanto possiamo avere insetticidi:

- **di contatto** o **copertura** quando non entrano nei tessuti vegetali;
- **citotropici** quando entrano nei tessuti vegetali senza una particolare mobilità;
- **translaminari** quando entrano nei tessuti vegetali e passano da lamina a lamina;
- **sistemici** quando penetrano e vengono traslocati col flusso linfatico; questi insetticidi sono particolarmente importanti per gli insetti con apparato boccale pungente-succhiante che si nutrono di linfa.

Le modalità ed i meccanismi di azione degli insetticidi consentono una ulteriore suddivisione, e precisamente:

- **azione fisica** quando provocano asfissia per occlusione degli stigmi (oli minerali), disidratazione;
- **azione chimica** quando l'azione si svolge specialmente a livello del sistema nervoso; ad esempio il meccanismo di azione di alcuni insetticidi organici (fosforganici, carbammati) avviene a livello delle sinapsi nervose. Il metabolismo nervoso degli insetti prevede che il passaggio dello stimolo da un neurone all'altro avvenga mediante un mediatore chimico: l'*acetilcolina*; questa se si accumula è tossica. Normalmente l'insetto provvede alla sua eliminazione mediante un enzima (colinesterasi) che entra in azione al cessare dello stimolo nervoso; gli insetticidi citati svolgono azione anticolinesterasi favorendo l'accumulo di acetilcolina che determina la morte dell'insetto. L'azione di queste sostanze è tossica anche per gli organismi superiori, uomo compreso, per lo stesso motivo.

Per le caratteristiche delle sostanze attive si rimanda alle schede tecniche degli insetticidi nell'allegato prontuario degli agrofarmaci.

Acaricidi

Appartengono a questa categoria di prodotti tutte le sostanze attive la cui azione è diretta contro gli acari.
La classificazione degli acaricidi tiene conto principalmente dello stadio biologico dell'acaro fitofago bersaglio; infatti questi prodotti possono svolgere un'azione specifica su un solo stadio del fitofago oppure agire su alcuni o tutti gli stadi del suo ciclo biologico.
In considerazione di questo gli acaricidi vengono divisi in:

- **acaricidi ovicidi** (sostanze attive sulle uova);
- **acaricidi neanicidi** (sostanze attive sugli stadi giovanili);
- **acaricidi adulticidi** (sostanze attive sull'acaro adulto).

Di norma il ciclo biologico degli acari prevede un elevato numero di generazioni, nell'arco dell'annata agraria, e con la presenza di più stadi (uovo, stadi giovanili, adulto) contemporaneamente, pertanto spesso si rende necessario miscelare più sostanze attive allo scopo di "coprire" tutti gli stadi presenti al momento dell'intervento.

La maggior parte degli acaricidi agisce per **contatto**, di conseguenza è importante "bagnare" molto bene ed uniformemente i vegetali trattati. Il meccanismo di azione degli acaricidi si esplica sulle barriere di protezione esterne.
L'uso degli acaricidi, specialmente quelli poco selettivi, ha determinato una notevole riduzione delle popolazioni di acari fitoseidi, predatori dei fitofagi, ed un aumento degli acari fitofagi, più resistenti e con una capacità riproduttiva notevolmente più elevata. Queste considerazioni devono indurre ad una maggior cautela nell'uso indiscriminato di questi prodotti e valutare, con maggiore attenzione, l'opportunità dei trattamenti in considerazione delle popolazioni di acari utili presenti sui vegetali e utilizzando prodotti selettivi. In ogni caso è opportuno rifarsi sempre ai principi di lotta integrata.
Per le caratteristiche delle singole sostanze attive si rimanda alle schede tecniche degli acaricidi nell'allegato prontuario degli agrofarmaci.

Nematocidi

Appartengono a questa categoria di prodotti tutte le sostanze attive la cui azione, principale o collaterale, è diretta contro i nematodi fitoparassiti, siano essi endoparassiti o ectoparassiti. La maggior parte dei nematodi fitoparassiti vive nel terreno per cui l'applicazione e l'azione dei nematocidi avvengono prevalentemente a livello del terreno. L'azione collaterale nei confronti dei nematodi, dimostrata da altri prodotti (insetticidi e fumiganti ad azione geodisinfestante totale), viene discussa nei rispettivi capitoli.
Per le caratteristiche delle singole sostanze attive si rimanda alle schede tecniche dei nematocidi nell'allegato prontuario degli agrofarmaci.

Fumiganti

Appartengono a questa categoria quei composti, preparati in diversi stati fisici, che al momento dell'applicazione producono dei gas che, di norma, agiscono per asfissia nei confronti di molte categorie di fitofagi e fitoparassiti (insetti, acari, nematodi e funghi) che svolgono il loro ciclo biologico, in parte o tutto, nel terreno.
I fumiganti devono essere utilizzati da personale specializzato, in possesso di un'autorizzazione rilasciata dalla questura o prefettura territorialmente competente inerente all'uso dei gas tossici.
L'utilizzo di questi prodotti trova la sua applicazione:

- **negli ambienti chiusi** (magazzini, stive, silos);
- **nei terreni di ambienti controllati** come serre e tunnel, nei quali spesso si ricorre anche alla pacciamatura, per accentuare l'effetto dei fumiganti;
- **in pieno campo** con fumigazioni operate con mezzi in distribuzione continua; in questi casi è opportuno eseguire la fumigazione solo quando le condizioni stagionali lo consentono (primavera o autunno) in quanto i fumiganti hanno cardinali termici molto ristretti (15/20 °C) e un fabbisogno di umidità nel terreno che non ne ostacoli la gassificazione.

In ogni caso le fumigazioni devono essere sufficientemente distanziate dalle semine.
Per le caratteristiche delle singole sostanze attive si rimanda alle schede tecniche dei fumiganti nell'allegato prontuario degli agrofarmaci.

4.3 Resistenza dei parassiti agli agrofarmaci

Nel campo del controllo degli organismi dannosi all'agricoltura ed all'uomo il concetto di resistenza assume un valore positivo o negativo a seconda del contesto operativo in cui viene considerato.
Se viene inteso come una resistenza che alcune piante dimostrano all'attacco dei parassiti è decisamente positivo; anzi, una delle linee di ricerca dei genetisti che cercano di migliorare le qualità delle piante coltivate è appunto quella di ricercare e/o trasferire resistenze ai parassiti.
Se viene inteso come una resistenza che alcuni parassiti dimostrano nei confronti degli agrofarmaci, per cui il trattamento di difesa delle piante è vanificato dalla resistenza del parassita al prodotto fitosanitario, il significato è decisamente negativo.
Quest'ultimo aspetto, negli ultimi tempi, ha assunto dimensioni preoccupanti ed è divenuto argomento di ricerca scientifica e sperimentazione in campo; inoltre, desta particolare preoccupazione per le ditte produttrici di prodotti fitosanitari perché tende, anche in tempi brevi, a vanificare il loro lavoro. L'interesse è talmente grande e gli scenari futuri talmente preoccupanti, per i risvolti negativi che si intravedono, che le maggiori organizzazioni internazionali, tra cui anche la FAO, hanno istituito gruppi di lavoro che oltre a studiare il fenomeno della resistenza e le sue conseguenze ambientali ed economiche si sono preoccupati di definirne il concetto, l'origine e le varie tipologie in relazione ai diversi parassiti.

Per affrontare globalmente la problematica sono state create organizzazioni internazionali composte da ricercatori di multinazionali agrofarmaceutiche con il compito di studiare i fenomeni di resistenza: il **FRAC** (Comitato di azione sulla resistenza ai fungicidi), l'IRAC (Comitato d'azione sulla resistenza agli insetticidi e l'HRAC (Comitato d'azione sulla resistenza ai diserbanti). Questi gruppi tecnici forniscono linee guida per la gestione delle resistenze, per prolungare l'efficacia della sostanza attiva e limitare le perdite dei raccolti agricoli.

Il termine resistenza viene usato quando in una popolazione di un parassita (fungo, insetto, malerba, ecc.) compaiono e si diffondono individui non sensibili, o poco sensibili, in grado di svilupparsi e riprodursi anche in presenza di concentrazioni elevate di una determinata molecola, di norma attiva contro quel parassita. Si evidenzia, cioè, il mancato effetto di controllo del prodotto fitosanitario sul parassita.

Questa resistenza è ereditabile ed è il frutto di una mutazione genetica.
Il termine resistenza individua, quindi, modificazioni del genoma, stabili ed ereditabili, che determinano minore sensibilità o insensibilità di un parassita ad un agrofarmaco.
Nell'ambito delle popolazioni di parassiti si possono verificare dei fenomeni simili alla resistenza, ma non persistenti, che vengono definiti **tolleranza**. In questi casi il fenomeno è limitato nel tempo, non è ereditabile e scompare quando viene a mancare la pressione selettiva della molecola che ha indotto il fenomeno della tolleranza.

4.3.1 Formazione della resistenza

I meccanismi di formazione della resistenza sono molteplici ma possono essere raggruppati in tre categorie:

1. riduzione dell'assorbimento della sostanza attiva;
2. detossificazione della sostanza attiva;
3. modificazione del sito di azione della sostanza attiva.

La resistenza dovuta alla riduzione dell'assorbimento dipende dalla ridotta capacità di penetrazione del prodotto nei tessuti del parassita.
La resistenza dovuta alla detossificazione della sostanza attiva è un meccanismo di *resistenza metabolica* e dipende dalla formazione di sistemi enzimatici che modificano la struttura chimica della molecola, rendendola non più tossica; questa resistenza metabolica può essere dovuta ad una maggiore attività di sistemi enzimatici già presenti nel parassita, oppure può essere dovuta alla sintesi di nuovi enzimi.
La resistenza dovuta alla modificazione del sito d'azione dipende da un cambiamento strutturale o fisiologico del luogo in cui avviene l'azione della sostanza attiva che rende meno sensibile la specie al prodotto.

Pressione selettiva (quale amplificatore della resistenza)

Qualunque sia l'origine della resistenza ad una sostanza attiva, il continuo uso della stessa nell'ambiente determina una selezione degli individui che sono resistenti e la scomparsa di quelli non resistenti.
In pratica si modifica la composizione genetica della popolazione di quel parassita che diviene, in tempi brevi, totalmente resistente, senza nessuna possibilità di ritorno; si esercita, infatti, una selezione chimica degli individui che procreano. Quelli **resistenti** riescono a trasmettere il loro patrimonio genetico, con il gene della resistenza, e costituiranno la popolazione futura; quelli **non resistenti** soccombono e quindi non trasmettono il loro patrimonio genetico che si perde in poche generazioni.
Questo fenomeno viene identificato come **pressione selettiva** e rappresenta il maggior amplificatore della resistenza.

Diversi tipi di resistenza

Nella realtà, il già complesso quadro del fenomeno resistenza viene ulteriormente complicato dal fatto che, spesso, nello stesso soggetto:

- coesistono più meccanismi di resistenza nei confronti di due o più sostanze attive molto diverse tra loro; in questo caso si parla di **resistenza doppia** o **multipla**. Questa è stata riscontrata, ad esempio, in ceppi di *Botrytis cinerea* resistenti sia ai benzimidazoli sia ai dicarbossimidi;
- lo stesso meccanismo determina resistenza ad una sostanza attiva ed a quelle che hanno azione simile; in questi casi si parla di **resistenza incrociata**. Questa è stata riscontrata, ad esempio, in ceppi di *Botrytis cinerea* che oltre ad essere resistenti a Benomyl sono resistenti anche a Carbendazim (entrambi appartenenti allo stesso gruppo chimico e con analoga modalità d'azione).

Resistenza agli insetticidi

La resistenza agli insetticidi è stata riscontrata fin dall'inizio del 1900, negli Stati Uniti, quando trattamenti con polisolfuri di calcio non avevano effetto sulla Cocciniglia di S. Josè; più tardi i fenomeni di resistenza si ebbero anche per il DDT (1947). Oggi si pensa che tra gli Artropodi siano più di 500 le specie che manifestano resistenza. Tra gli ordini di insetti che manifestano maggiori prerogative di resistenza agli insetticidi troviamo i Ditteri, i Lepidotteri, i Coleotteri ed i Rincoti.
Questi ordini, a ben vedere, sono anche quelli che comprendono il maggior numero di insetti fitofagi o parassiti degli animali e dell'uomo, a conferma che la pressione selettiva esercitata nei loro confronti dalla lotta chimica ha sviluppato in più casi il fenomeno della resistenza.
I meccanismi della resistenza negli insetti si possono ricondurre a quelli generali già descritti; tuttavia alcune specificità meritano un maggior approfondimento.

Diversi tipi di resistenza

I diversi tipi di resistenza (secondo Georghiuo, 1972) agli insetticidi sono classificabili in tre categorie:

1. resistenza biochimica;
2. resistenza fisiologica;
3. resistenza comportamentale.

La **resistenza biochimica** si può ricondurre a due categorie fondamentali di meccanismi:

- acquisizione della capacità di degradare una molecola attiva (detossificazione); in questo caso si formano sistemi enzimatici (ossidasi, esterasi, transferasi) in grado di denaturare le molecole rendendole innocue. Le ossidasi, ad esempio, sono responsabili della detossificazione del DDT e di alcuni insetticidi organofosforati; le esterasi sono responsabili, ad esempio, della detossificazione di fosforganici, piretroidi, carbammati e juvenoidi;
- riduzione della sensibilità del bersaglio alla sostanza attiva; in questo caso si può avere ridotta sensibilità della acetilcolinesterasi (resistenza nei confronti di fosforganici e carbammati come Carbaryl), oppure una minore sensibilità del sistema nervoso (*Knock-down resistance*) che conferisce, ad esempio, resistenza incrociata al DDT ed ai piretroidi.

La **resistenza fisiologica** è in funzione della ridotta penetrazione, attraverso la cuticola, dell'insetticida; è stata riscontrata, ad esempio, in popolazioni di Mosca domestica divenute resistenti al DDT ed al Dieldrin. Questo tipo di resistenza è spesso in associazione con meccanismi di tipo metabolico. L'associazione è particolarmente importante per gli insetticidi poco persistenti; questi prodotti, assorbiti con lentezza, consentono al sistema metabolico una migliore detossificazione.
La **resistenza comportamentale** è legata al comportamento manifestato dagli insetti in presenza dell'insetticida; può essere:

- *stimolo-dipendente* quando la presenza dell'insetticida provoca, in alcuni individui, un senso di irritabilità o di repellenza che li fa allontanare, preservandoli dall'azione abbattente dell'insetticida stesso. In questi casi la sempre maggiore presenza di individui che "scappano" nella popolazione fa insorgere una resistenza a quell'insetticida;
- *stimolo-indipendente* quando il comportamento di popolazioni di insetti della stessa specie che frequentano con maggiore intensità una parte del loro habitat, rispetto ad altre, preservano alcuni ceppi, che non vengono a contatto con l'insetticida, rispetto ad altri il cui comportamento li mette più a contatto con l'insetticida.

L'esempio più noto è quello di *Anopheles gambiae* che ha evidenziato due popolazioni (*Exophilus* e *Endophilus*): la prima vive con maggiore frequenza in ambienti esterni alle abitazioni, la seconda ne predilige l'interno; i trattamenti su larga scala in ambienti esterni hanno privilegiato le popolazioni di *Endophilus* che sono sopravvissute. In questo caso la predisposizione a frequentare con maggiore frequenza una parte dell'habitat piuttosto che l'altra, più esposta ai trattamenti, fa sì che la popolazione divenga dominante, creando la resistenza all'agrofarmaco.
Quest'ultimo tipo di resistenza è di grande importanza per progettare le metodologie di controllo dei fitofagi che, oltre a tener conto dell'impatto ambientale, devono anche considerare la possibilità che si formino delle resistenze.

Metodologie di difesa e insorgenza della resistenza

Tra le cause che determinano l'insorgere della resistenza, nelle popolazioni di insetti, quelle che sono controllabili e modificabili dall'uomo si riducono alle modalità di difesa; in particolare alla lotta chimica che è sempre stata la più importante forma di controllo degli insetti dannosi.
La lotta chimica, praticata da decenni nell'agroecosistema, è la causa principale della pres-

sione selettiva chimica che ha modificato il genoma delle popolazioni, accelerando la selezione di individui resistenti.
Ogni trattamento chimico, a seconda delle interazioni tra la sostanza attiva utilizzata e le modalità di applicazione (dosaggio, dimensione delle goccioline, entità della popolazione controllata) provoca una diversa influenza sulla comparsa della resistenza.
Per quanto riguarda la sostanza attiva si ritiene di particolare importanza:

- la **persistenza**, ossia più il prodotto è persistente nell'ambiente più a lungo esercita la pressione selettiva sulle popolazioni e maggiore è la possibilità di insorgenza di resistenze;
- l'**effetto knock-down** (effetto rapido ed abbattente dell'insetticida) maggiore è questo effetto, minore sembra il rischio di insorgenza di resistenza.

Per quanto riguarda le modalità operazionali, con particolare riferimento ai dosaggi ed alle dimensioni delle goccioline, si ritiene che:

- l'aumento indiscriminato dei dosaggi provochi una sovrasaturazione ambientale che amplifica gli effetti della pressione selettiva e toglie ogni possibilità di mantenimento, anche come patrimonio genetico recessivo, del gene della sensibilità;
- la dimensione delle goccioline deve consentire che esse contengano una quantità di sostanza attiva non superiore alla dose di letale, per evitare, anche in questo caso, di avere sovradosaggio ambientale.

Le strategie previste per ridurre l'influenza delle operazioni sulla comparsa della resistenza sono di tre tipi:

- moderazione dei trattamenti, con l'obiettivo di mantenere più bassa possibile la frequenza dei geni della resistenza, evitando trattamenti a tappeto e introducendo "soglie economiche di intervento" più alte possibili. Ciò può essere perseguito introducendo varietà resistenti o tolleranti ma anche accrescendo le conoscenze dell'etologia dell'insetto;
- saturazione dei meccanismi resistenza dell'insetto, impiegando prodotti sinergizzanti l'effetto dell'insetticida;
- attacco multiplo; si basa sull'impiego di diverse sostanze attive, distribuite con metodologie e momenti diversi, con l'uso di miscele di sostanze attive, o rotazione delle stesse o la loro combinazione con la confusione sessuale, in modo da evitare che si formi pressione selettiva. Inoltre l'uso di agrofarmaci a basso impatto sugli organismi utili (predatori, parassitoidi) è fondamentale.

Resistenza ai fungicidi

La resistenza ai fungicidi è stata segnalata molto più recentemente, rispetto a quella segnalata per gli insetticidi.
Infatti, a parte il caso datato 1953 (Taylor segnalava resistenza di alcuni ceppi di *Physalospora obtusa* al rame), i casi più significativi sono stati segnalati nel decennio 1960-1970, quando sono stati prodotti ed usati fungicidi ad azione specifica.
La spiegazione è da ricercarsi nel fatto che i fungicidi precedenti agivano con diverse modalità d'azione contemporaneamente ed in più siti cellulari, impedendo al fungo di mutare contemporaneamente più geni che collaborassero insieme e nello stesso senso; in pratica non vi era pressione selettiva. La scoperta di fungicidi sistemici, con azione specifica e spesso univoca, ha creato le condizioni affinché si formasse resistenza, per la pressione selettiva che il fungicida poteva esercitare. Attualmente sono molte le specie di funghi che manifestano resistenza; dopo le grandi aspettative che i moderni anticrittogamici avevano promesso, con risultati eccezionali alle prime applicazioni, ora si deve ripensare la lotta contro le crittogame, tenendo in debito conto gli effetti del fenomeno della resistenza.
A questo proposito si possono dividere i fungicidi, a seconda del rischio di insorgenza della resistenza, in tre categorie (adattata da Brent e Hollomon 98 - Monografia n° 2 FRAC):

- **basso rischio di resistenza**: zolfo, rame, ditiocarbammati, ftalimmidi, Tolilfluanide, Clortalonil, Quinoxifen;
- **medio rischio di resistenza**: idrocarburi aromatici, dodina, inibitori biosintesi steroli, Anilinopirimidine, Cymoxanil, Dimetomorf, Strobilurine, Fenilpirroli e QoI;
- **alto rischio di resistenza**: benzimidazoli, fenilammidi, dicarbossimidi.

Livello di resistenza e resistenza che causa problemi pratici

Il livello di resistenza di un patogeno al fungicida si misura con la ED_{50} (Dose Efficace 50) che valuta le concentrazioni di fungicida in grado di inibire il 50% dello sviluppo del micelio o della germinazione dei conidi. Facendo il rapporto tra ED_{50} del ceppo resistente e la ED_{50} del ceppo sensibile si stabilisce il livello di resistenza.
Le prove di resistenza fatte sui patogeni hanno evidenziato che, a volte, la resistenza manifestata in

laboratorio non si ripete in campo, determinando quindi un diverso comportamento del patogeno stesso; in questa sede ci occuperemo solo della resistenza che determina problemi pratici.
La resistenza che determina problemi pratici si evidenzia quando si verificano cali vistosi dell'efficacia del fungicida in campo; affinché si possa parlare di resistenza che determina problemi pratici occorre:

- valutare una significativa riduzione dell'effetto del fungicida nella pratica, quando si è in presenza di un inoculo naturale e di un corretto sistema di trattamenti;
- verificare e dimostrare che la ridotta efficacia sia veramente dovuta alla presenza di ceppi fungini resistenti.

Diversi tipi di resistenza

La resistenza nei patogeni fungini, pur rientrando nelle modalità di resistenza generali di cui si è già detto, si manifesta con diverse specifiche modalità, in particolare:

- parete cellulare con diversa permeabilità tra ceppo sensibile e ceppo resistente; ad esempio alcuni ceppi di *Piricularia oryzae* che manifestano resistenza alla Blasticidina S;
- detossificazione delle sostanze attive; ad esempio alcuni ceppi di *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum* sono resistenti al PCNB;
- impossibilità di trasformare il prodotto assorbito nel prodotto tossico; ad esempio ceppi di *Cladosporium cucumerinum* non trasformano il 6-Azauracile in 6-Azauridina 5P che è la sostanza tossica;
- minore sensibilità del sito d'azione al fungicida; ad esempio la resistenza di ceppi di *Aspergillus nidulans* al Carbendazim per la presenza di fusi mitotici meno sensibili;
- formazione di metabolismi alternativi a quelli bloccati dal fungicida; ad esempio la resistenza di *Ustilago maydis* alla Antimicina A.

Metodologie di difesa e insorgenza della resistenza

Le strategie previste per ridurre l'influenza delle operazioni di difesa sulla comparsa della resistenza ai fungicidi, con particolare riferimento a quelli ad alto rischio di insorgenza, sono essenzialmente le seguenti:

- limitare l'uso dei fungicidi ad alto rischio nei momenti di maggiore pericolo di infezione e nei momenti critici;
- non utilizzare fungicidi ad alto rischio nei vivai;
- utilizzarli in trattamenti di tipo preventivo, non eradicante o curativo;
- fare trattamenti con dosi adeguate, nelle fasi fenologiche opportune e con sistemi di distribuzione perfettamente funzionanti. Ogni parte della pianta deve essere irrorata con la dose letale per il patogeno e tutti i patogeni devono essere raggiunti;
- fare trattamenti con miscele o in alternanza con sostanze attive che agiscono in modo diverso; ad esempio usare miscele con sostanze attive ad alto rischio con prodotti tradizionali;
- non utilizzare per molto tempo lo stesso tipo di prodotto o la stessa miscela.

La maggior parte dei nuovi fungicidi è a rischio resistenza, la normativa che regolamenta la registrazione di nuovi composti prevede la valutazione di tale rischio. Oggi il mercato offre un'ampia possibilità di scelta di prodotti che deve essere oculata il più possibile.
Molte potenzialità dei nuovi fungicidi non sono volutamente sfruttate per evitare il rischio di selezionare popolazioni resistenti.

Resistenza ai diserbanti

Fenomeni di resistenza agli erbicidi sono stati segnalati per la prima volta negli Stati Uniti (tra il 1950 e il 1960) a carico di 2,4D divenuto poco efficace nei confronti di *Daucus carota* e *Cirsium arvense*; quest'ultimo manifestò anche resistenza nei confronti di Aminotriazolo. Inoltre *Avena fatua* evidenziò resistenza nei confronti di Diallate e Triallate.
Negli anni '70 (1970) in Inghilterra vennero segnalate resistenze ad Atrazina e Simazina da parte di *Senecio vulgaris*; in Italia le prime segnalazioni vennero nel 1978 quando furono segnalate resistenze all'Atrazina da parte di *Solanum nigrum* e *Amaranthus* spp. Successive segnalazioni a livello italiano risalgono al 1992 per quanto riguarda *Avena sterilis ludoviciana* nei confronti di Clodinafop, Diclofop-metile e Tralcoxydim; dal 1994 al 2000 numerosi sono stati i problemi nella coltura del riso ove *Cyperus difformis* e *Scirpus mucronatus* si sono rivelati resistenti nei confronti di Bensulfuron e Cinosulfuron, e *Echinochloa crus-galli* a Propanile. Altre segnalazioni si hanno nella coltura del frumento ove *Lolium multiflorum*, *Phalaris paradoxa* e *Papaver rhoeas* hanno mostrato resistenza a Clodinafop e Tribenuron.
Il fenomeno della resistenza agli erbicidi ha livelli di intensità minori rispetto a quello registrato negli insetti e nei funghi che hanno ritmi di riprodu-

zione, e quindi di possibilità di mutazione, molto più veloci di quelli delle malerbe; tuttavia il fenomeno non è da sottovalutare visto il numero sempre crescente di biotipi resistenti selezionati dalla pressione selettiva esercitata dagli erbicidi, specialmente quelli molto persistenti.

Diversi tipi di resistenza

Anche la resistenza agli erbicidi si evolve mediante la selezione delle erbe che dimostrano minore sensibilità rispetto ad un diserbante; si tratta di una vera e propria selezione massale di biotipi insensibili che possono essere considerati delle nuove infestanti.
Si distinguono diverse categorie di resistenza:

- inattività dell'erbicida dovuta a naturale insensibilità alla sostanza attiva; è il caso delle piante del genere *Setaria* nei confronti di 2,4D;
- comparsa di individui resistenti, in una popolazione normalmente sensibile, anche in presenza di dosi elevate: è la vera resistenza;
- comparsa di individui sempre meno sensibili; in questo caso si ritiene che la selezione, con il passare degli anni, abbia fatto proliferare soggetti sempre più attivi nella capacità di degradazione della sostanza attiva; in questi casi si deve parlare di tolleranza.

Nei confronti delle specie che manifestano resistenza ad un erbicida non resta che cercare nuove sostanze attive da utilizzare e, per evitare l'insorgenza di fenomeni di pressione selettiva, occorre attivare tecniche di diserbo impostate secondo le moderne teorie della soglia d'intervento e del diserbo integrato.

Conclusioni

La resistenza degli agenti di malattie e dei fitofagi alle sostanze attive biocide impiegate per il loro controllo è sicuramente uno dei problemi principali della difesa fitosanitaria, non solo di rilevanza scientifica ma anche fitoiatrica. L'aumento di questo fenomeno, che ha caratterizzato soprattutto la fitoiatria degli anni Sessanta e Settanta, si traduce inevitabilmente non solo in un'indesiderata lievitazione dei costi economici e sociali, ma anche nell'aumento dei rischi tossicologici ed ecologici della difesa fitosanitaria stessa.
Ricordiamo che il fenomeno, in continua espansione, è passato agli inizi del secolo scorso da pochi casi conosciuti a parecchie centinaia nel volgere di un ventennio (Crovetti, 1989). Questo è sicuramente il frutto dell'uso euforico e poco controllato dei prodotti di sintesi che negli anni Sessanta si andavano diffondendo in agricoltura. Solo recentemente il diffondersi delle tecniche dell'IPM (*Integrated Pest Management*) e una maggiore coscienza ambientale hanno fatto sì che lo sviluppo esponenziale di questi fenomeni rallentasse.
Sostanzialmente, come già ampiamente descritto, la resistenza si realizza a livello genetico quando:

- si ha una mutazione del gene strutturale che codifica la sintesi dell'enzima detossificante di un certo agrofarmaco;
- l'attività dello stesso gene, operata dalla sostanza tossica introdotta, che agendo a livello del gene regolatore, provoca l'inibizione della produzione del corrispondente repressore;
- si ha un'amplificazione genetica indotta (Terriere, 1983).

Inoltre la resistenza è di tipo *fisiologico* quando vi è una variazione nella penetrazione del biocida attraverso la cuticola. Questa è stata segnalata da Sawicki e Farnham (1967-68) in *Musca domestica* ed è stato definito **Pen**.
Infine vi è una resistenza comportamentale dovuta all'uso dei biocidi.
Infatti quando si usa un prodotto fitosanitario, soprattutto di sintesi, bisogna valutare con attenzione le componenti *intrinseche* – legate essenzialmente alle caratteristiche chimico-fisiche della sostanza attiva impiegata – ed *estrinseche*, che sono invece dipendenti dal nostro modo d'agire, quali modalità e tempi di distribuzione, dosaggi, fasi fenologiche e livelli di pullulamento delle popolazioni dei fitofagi, o dalla pressione del patogeno nell'ambiente. Molto importante è la presenza di fattori di contenimento, biotico ed abiotico, e quindi le caratteristiche dell'ecosistema in cui si opera.
Facendo riferimento alle componenti intrinseche vale la pena fare alcune riflessioni sulla natura chimico-fisica delle sostanze attive. Infatti non bisogna dimenticare i problemi legati all'insorgenza di resistenza incrociata e multipla per cui, per trattamenti contro malattie o fitofagi ormai insensibili verso un determinato prodotto, è da sconsigliarsi l'impiego successivo e reiterato di agrofarmaci ad azione tossicologica analoga: ad esempio è quanto avvenuto nell'uso di insetticidi ad azione neurotossica o fungicidi inibitori dell'ergosterolo (IBS). Pertanto uno dei rimedi consigliati è la rotazione nella scelta delle sostanze attive, diversificazione che si scontra nella pratica quando vi è una limitatezza delle scelte offerte dal mercato.
Venendo a valutare le componenti estrinseche dobbiamo considerare con attenzione sia il do-

saggio del prodotto fitosanitario sia la qualità della sua distribuzione.
Infatti nella pratica è estremamente facile riscontrare aumenti dei dosaggi per aumentare l'efficacia dei trattamenti; questo modo di operare è estremamente negativo e pericoloso, in quanto molto più facilmente porterà alla selezione di individui resistenti, quindi alla perdita, all'interno di una popolazione, dei geni sensibili al biocida. Questo fenomeno nella pratica è strettamente connesso alla bontà della distribuzione. È evidente che un'imperfetta miscelazione, come pure un'irrorazione non uniforme, possono portare ad aree coperte da *over* dosaggio in contrapposizione con altre invece dove si hanno dosi subletali, con conseguenze in ogni caso negative. A seguito di quanto testè accennato, negli ultimi anni si stanno svolgendo molte ricerche che, partite dalla corretta copertura della vegetazione al fine di aumentare l'efficacia dei trattamenti, ora stanno focalizzandosi sulla grandezza ideale della goccia con un contenuto di prodotto ideale e non con un overdosaggio, in quanto questo andrebbe ad esercitare una selezione positiva sugli agenti di malattie e di danno alle piante con maggior resistenza. Ecco perché oggi si studiano distribuzioni dove il raggiungimento della dose letale si ottiene con l'aumento di contatti attraverso gocce relativamente piccole con una giusta concentrazione di agrofarmaco. Ciò permette di ridurre i rischi di overdosaggi e nel contempo di aumentare e uniformare le superfici (vegetazione/fitofago) interessate dalle soluzioni irrorate. Un contributo positivo al problema della resistenza ci viene dalla diffusione nelle campagne dei principi dell'IPM o difesa integrata, tra questi il concetto di soglia economica. Infatti la *lotta tradizionale* con i suoi interventi a calendario aveva un'influenza positiva sulla insorgenza della resistenza, favorendo la rapida formazione di genotipi resistenti, soprattutto, ad esempio, quando si interviene alla semplice presenza di individui. Contrariamente i rischi in tal senso diminuiscono quando si trattano popolazioni ampie.
In conclusione, da quanto in sintesi riportato emerge che il fenomeno della resistenza non è legato solo al tipo di prodotto chimico impiegato ma è bensì un fenomeno complesso che vede, tra l'altro, anche fenomeni di adattamento delle specie fitofaghe o patogene.
In questa ottica il chiarimento dei meccanismi attraverso i quali la resistenza si manifesta nonché del suo determinismo, divengono presupposti di base per l'impostazione di metodologie di controllo integrato non solo rispettose della salute umana ed ambientale, ma anche in grado di limitare l'insorgere di questo complesso e dannoso fenomeno.

4.4 Lotta guidata

Il concetto di lotta guidata nasce e si sviluppa come primo momento di un'evoluzione culturale che fonda i suoi presupposti non più nel concepire la difesa fitosanitaria come distruzione degli agenti dannosi, ma come controllo degli stessi.
La **lotta guidata** non ripudia totalmente l'uso dei prodotti chimici di sintesi, ma ne teorizza l'impiego con il minore impatto ambientale possibile. Avvalendosi delle più sofisticate tecniche di riconoscimento biologico (perfetta conoscenza dei cicli biologici dei parassiti e delle piante coltivate) e di monitoraggio delle popolazioni fitofaghe presenti nell'ambiente agrario, la lotta guidata, è in grado di riportare la popolazione del parassita entro limiti accettabili (controllo), agendo solo quando vi è l'effettiva necessità di tale intervento; possiamo quindi affermare che il motto della lotta guidata è "l'intervento giusto al momento giusto". La lotta guidata interviene solo in caso di effettiva necessità e soprattutto nel momento in cui il parassita è più vulnerabile e, conseguentemente, più controllabile, contenendo le quantità di agrofarmaci chimici di sintesi.

4.4.1 Soglia di intervento

Il concetto di soglia di intervento è fondamentalmente un principio economico trasportato in fitoiatria: il costo di un intervento fitoiatrico, sia in termini di esborso di denaro sia di danno ambientale, è spesso molto più alto dell'effettivo vantaggio che si può trarre dalla distruzione di un parassita per mancato valore di prodotto.
Pertanto l'intervento va fatto solo nel momento appena precedente alla soglia di danno, quindi quando il danno provocato dal parassita non supera ancora il costo del trattamento stesso (**soglia economica di intervento**).
La **soglia di danno**, infatti, è da intendersi come quel momento in cui il calo di produzione dovuto al parassita eguaglia il costo dell'intervento.
L'interpretazione del concetto di soglia di intervento ci consente di ammettere una certa presenza di fitofagi e fitopatogeni nell'ambiente agrario, purché questa non diventi economicamente dannosa. Osservando il concetto di soglia economica di intervento, dal punto di vista ecologico, si nota un avvicinamento dell'agroecosistema all'ecosistema generale, più complesso, ricco di forme di vita ed in grado di una certa autoregolazione.

La determinazione delle soglie di intervento è il presupposto più importante della lotta guidata che basa la sua applicazione su interventi mirati e selettivi.
La soglia di intervento viene determinata, a seconda delle diverse situazioni, in funzione della reale consistenza del parassita, dello stadio biologico del parassita, delle popolazioni di antagonisti e del loro stadio biologico e del momento fenologico della pianta.

Reale consistenza del parassita

La consistenza della popolazione dell'organismo dannoso si determina con le seguenti modalità:

- se **il parassita è un insetto** si possono adottare metodologie di monitoraggio, mediante l'uso di trappole a feromoni sessuali che consentono di stabilire delle *curve di volo* aziendali, da confrontare con quelle standard, ed eseguire il trattamento solo quando vi è sovrapposizione delle curve; queste non sono altro che l'evoluzione dinamica, nel tempo, delle densità di popolazione dei fitofagi.
  Normalmente vengono catturati maschi adulti che spesso non sono i diretti responsabili del danno ma che, tuttavia, indicano il possibile sviluppo futuro della popolazione.
  L'attuazione della tecnica del monitoraggio prevede la cattura dei maschi in trappole con supporti collati che consentono il controllo dinamico della popolazione (curva di volo).
  Non per tutti gli Artropodi è disponibile un feromone da utilizzare per il censimento della popolazione; in questo caso il monitoraggio viene eseguito:
  - mediante censimento degli adulti con trappole cromotropiche a supporti collati, a diverso colore, in funzione del fitofago da monitorare (ad es. per l'Oplocampa del pero sono bianche, per la Mosca delle ciliegie sono gialle e per i Tripidi sono blu). Per alcuni insetti possono essere attivate delle trappole alimentari (Mosca della frutta e Mosca dell'olivo);
  - mediante campionamenti diretti in campo sulla consistenza della popolazione del fitofago. Il monitoraggio viene eseguito mediante conteggi diretti del fitofago sia allo stadio adulto, sia per le forme giovanili, che delle uova. Normalmente i progetti di lotta integrata hanno standardizzato questi campionamenti, per alcuni fitofagi, indicando le modalità degli stessi e le soglie (viene indicato il numero di foglie e/o di rametti da leggere con i relativi stadi da considerare nelle diverse fasi fenologiche del vegetale in esame);
  - mediante verifica del danno sugli organi vegetali; in questo caso la verifica della popolazione è indiretta e la determinazione della soglia è di tipo presuntivo.
- se **il parassita è una crittogama** ci si avvale delle conoscenze epidemiologiche delle diverse eziologie considerando i parametri climatici e meteorologici e utilizzando attrezzature come i captaspore che effettuano una vera e propria azione di monitoraggio ambientale.

Stadio biologico del parassita

Consente di stabilire quale agrofarmaco, o altro intervento (biotecnologico o biologico), è più idoneo per eseguire il trattamento, in considerazione della selettività della lotta guidata.

Popolazioni di antagonisti e loro stadio biologico

La loro presenza e consistenza possono essere in grado di controllare, autonomamente, la popolazione del fitofago.
Spesso, in presenza di trattamenti indiscriminati, queste importanti componenti ambientali possono subire danni anche irreversibili (distruzione della popolazione) che innescano una spirale di crescita del fitofago o di altri parassiti che improvvisamente passano da una situazione di indifferenza ad una di danno potenziale, per mancanza di controllori naturali.

Momento fenologico della pianta

Consiglia sia nella scelta del prodotto fitosanitario, che non deve essere fitotossico, sia nella fattibilità dell'intervento senza creare danno più grave alla pianta (trattamenti in fioritura) e all'ambiente (insetti pronubi).
Tutte queste variabili sono determinanti per la scelta del momento, per stabilire l'opportunità dello stesso e per l'individuazione del mezzo di lotta più opportuno.

4.5 Lotta integrata

La **lotta integrata** è un sistema di controllo degli organismi dannosi basato sulla razionale applicazione di misure biologiche, biotecnologiche, chimiche, colturali o di selezione vegetale con le quali limitare al minimo indispensabile l'impiego di prodotti fitosanitari contenenti sostanze chi-

miche, per mantenere i parassiti a livelli inferiori a quelli che provocano danni o perdite economicamente inaccettabili (D.P.R. 290/01). Si tratta quindi di un metodo di razionalizzazione dell'uso delle risorse fitoiatriche, siano esse di natura chimica, biologica, fisica, agronomica o biotecnologica; essa tende ad ottimizzare l'uso di tutte le risorse per salvaguardare le produzioni agricole nel rispetto del sistema ecologico.
In questo senso i prodotti chimici compatibili con i principi fondamentali della lotta integrata devono:

- possedere caratteristiche di buona selettività, senza causare azioni di disturbo contro gli organismi utili (pronubi, parassitoidi, predatori, ecc.);
- essere facilmente denaturati dall'azione chimica e biochimica del terreno e fisica dell'atmosfera;
- essere usati razionalmente, preferendo periodi di distribuzione sfasati rispetto alla presenza dei nemici naturali (es. trattamenti invernali).

La lotta integrata quindi coinvolge le competenze di più discipline (chimica, biologia, genetica, agronomia, fitopatologia, economia, statistica, medicina, elettronica, climatologia) con un unico obiettivo: la protezione delle piante dalle avversità salvaguardando gli interessi economici e la salute pubblica nel rispetto dell'ambiente.
La complessità applicativa di un sistema così interdisciplinare ne esclude l'attuazione da parte dei singoli ed evidenzia la necessità che gli interventi siano di natura almeno comprensoriale; inoltre, essendo una lotta con una forte componente di azione preventiva, è fondamentale che l'applicazione sia sostenuta da un'azione di assistenza tecnica molto capillare.

Fig. 4.28 Esempio di trappola cromotropica.

4.5.1 Lotta integrata e modelli previsionali

La difesa delle piante oggi si avvale di un insieme di mezzi di intervento che, se utilizzati a seconda delle reali necessità e nell'ottica di un'azione rivolta sì alla protezione delle piante ma anche dell'ambiente, costituiscono un sistema di controllo genericamente indicato come lotta integrata.
Il concetto informativo di base consiste nella razionalizzazione dell'uso delle risorse fitoiatriche, siano esse di natura chimica, fisica, agronomica, biologica e biotecnologica; in altre parole consiste nell'ottimizzazione di queste risorse per salvaguardare la produzione e l'ambiente.
L'applicazione pratica della lotta integrata ha evidenziato però dei limiti applicativi dovuti alla complessità degli interventi, che devono tenere conto, in tempo reale, di molte variabili contemporaneamente. I limiti sono, essenzialmente, un eccessivo numero di campionamenti in campo e l'incertezza della determinazione del momento più idoneo per l'intervento. Per superare questi limiti sono state studiate, sperimentate ed ora messe in opera, nuove metodologie di lavoro denominate **modelli previsionali**.
I modelli previsionali dovrebbero superare queste difficoltà evitando di fare numerosi e a volte impossibili campionamenti diretti, in quanto il ciclo dell'insetto viene ricavato da una simulazione al calcolatore fatta sulla base di giuste previsioni. Lo scopo fondamentale dei modelli previsionali è di eseguire campionamenti in modo più mirato, riducendone il numero, e di trasformare delle stime soggettive in misure ripetibili che, pur presentando un certo margine di incertezza, siano più precise delle stime eseguite soggettivamente dai tecnici.
I modelli previsionali sono **modelli fenologici** semplici, cioè modelli che hanno il compito di prevedere le fasi fenologiche ed il momento dello sviluppo del fitofago, determinando la % dei diversi stadi nei diversi momenti dell'anno; essi servono per stabilire il momento più idoneo per il trattamento di difesa. Non essendo però modelli demografici non sono in grado di determinare la densità delle popolazioni. Tali modelli sono ormai stati validati, quindi resi applicabili per numerosi Lepidotteri: Carpocapsa, *Pandemis*, *Archips*, *Lobesia*, Eulia, *Cydia funebrana*.

Basi teoriche per la costruzione di un modello previsionale per gli insetti

Gli insetti sono organismi **pecilotermi**, ossia che hanno una temperatura corporea non costante, ma in funzione di quella ambientale. Lo sviluppo dell'insetto è quindi in funzione delle condizioni ambientali; in particolare in un clima temperato è in funzione della temperatura; in un clima arido è in funzione, principalmente, dell'umidità.
Nel nostro ambiente la maggior parte degli insetti arresta lo sviluppo a temperature inferiori a 10 °C; a temperature superiori lo sviluppo procede rapidamente per poi rallentare verso i 30 °C. A temperature di 35 °C, se mantenute per un certo tempo, si provoca la morte della maggior parte degli insetti. La risposta dell'insetto alla temperatura varia da specie a specie e, nell'ambito della stessa specie, varia da stadio a stadio (uovo, larva, pupa, adulto).
Per trarre delle osservazioni di carattere generale ci avvarremo di un esempio specifico; l'esempio proposto si basa sui programmi di produzione integrata nella Regione Emilia-Romagna contro i Lepidotteri Tortricidi.
Le basi teoriche che vengono esposte si riferiscono solo ai modelli dei programmi citati.
Se consideriamo delle larve nate lo stesso giorno e mantenute a temperature costanti notiamo che esse non raggiungeranno la maturità contemporaneamente, per la presenza dei seguenti fattori diversificanti: variabilità genetica individuale, differenze di microclima e differente disponibilità di cibo. Oltre a questi vi sono anche fattori come il fotoperiodo e l'umidità che possono influire sul tempo di sviluppo, tuttavia nei nostri climi sono poco significativi. Nella costruzione del modello previsionale la prima fase operativa è quella di individuare la relazione che intercorre tra la temperatura e la velocità di sviluppo; questo rapporto è diverso per ogni specie e stadio.
Per stabilire questo rapporto viene allevato lo stadio che ci interessa, in laboratorio, ad almeno 5 temperature costanti diverse, con gruppi in allevamento di almeno 50 esemplari. In questo modo si rileva il tasso di sviluppo a ciascuna temperatura, adattando ai punti sperimentali così ottenuti la Funzione di Logan, che esprime la relazione tra la temperatura e la velocità di sviluppo.
Un modello così strutturato (modello fenologico) permette di conoscere, in base alle temperature rilevate in campo, il verificarsi medio di un dato evento fenologico (deposizione delle uova, schiusura delle uova, incrisalidamento delle larve, ecc.). Il modello ipotizzato è in grado di prevedere il verificarsi *medio* di un certo evento fenologico che, tuttavia, non è sufficiente per completare il modello; infatti occorre anche conoscere la distribuzione nel tempo dell'evento fenologico oggetto dell'esame. A questo scopo si considerano altri elementi quali la fecondità media delle femmine ed il tasso di invecchiamento degli adulti. I modelli vengono costruiti attraverso alcune fasi sperimentali che prevedono:

- l'**allevamento artificiale** del fitofago a non meno di cinque temperature diverse in attrezzati laboratori, per verificare le velocità di sviluppo alle diverse temperature ed umidità, cercando di porre l'insetto nelle stesse condizioni trofiche ed ambientali di campo. I diversi stadi del fitofago (uova, larve, crisalidi e adulti) vengono allevati in celle climatizzate a temperature costanti, comprese tra i 13 °C e i 33 °C, con umidità del 70% ed un fotoperiodo pari a 17 ore luce e 7 ore buio. Il materiale di partenza deve essere raccolto in campo, per evitare influenze negative dovute a continui allevamenti in laboratorio.
  Le larve vengono alimentate su dieta naturale per escludere l'influenza della dieta artificiale sulla velocità di sviluppo.
  Agli adulti (farfalle) viene somministrata una soluzione di acqua e miele, per simulare l'alimento di cui si nutrono in natura.
  Per valutare la variabilità di sviluppo gli individui vengono allevati singolarmente;
- **raccolta** ed **elaborazione dei dati ottenuti** da inserire nel calcolatore che attraverso un programma standard elabora i parametri. I modelli di simulazione così costruiti sono in grado di prevedere in base alla temperatura ambientale il verificarsi di determinati eventi fenologici e la loro distribuzione nel tempo.
  Ad esempio se si vuole conoscere come si evolve la popolazione del fitofago basta rilevare la temperatura minima e massima giornaliera; dal modello si ottengono le curve di ovideposizione, di sgusciamento delle larve, di incrisalidamento e di sfarfallamento.
  Queste curve esprimono valori % e non assoluti. Il modello fenologico indica qual è il momento migliore per intervenire, mentre per sapere se la popolazione presente è superiore alla soglia si devono utilizzare le trappole sessuali;
- **confronto dei parametri simulati con quelli ottenuti** appositamente da rilevamenti diretti in campo, con campionamenti o trappole; prima di distribuire il modello su vasta scala è necessario convalidarlo in campo, cioè vedere se veramente vi è corrispondenza tra i valori del modello e quelli che si verificano in campo.