



ISPEL
ISTITUTO SUPERIORE PER LA PREVENZIONE E LA
SICUREZZA DEL LAVORO
Dipartimento Tecnologie di Sicurezza



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI FIRENZE



DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
AGRARIA E FORESTALE

LE ATTREZZATURE IMPIEGATE NELLE OPERAZIONI DI
DISINFESTAZIONE
I CRITERI DI SCELTA; IL LORO CORRETTO IMPIEGO E LA
NECESSARIA MANUTENZIONE

I.S.P.E.S.L. - Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro
Dipartimento Tecnologie di Sicurezza - VIII Unità Funzionale
Via Fontana Candida, 1 - 00040 Monte Porzio Catone ROMA
tel: 06 94181563 - *fax:* 06 94181544 - *email:* v.laurendi@mpc.ispesl.it
rif. Vincenzo Laurendi

DI AF - dipartimento di ingegneria agraria e forestale - Università degli Studi di Firenze
P.le delle Cascine 15 - 50144 Firenze
tel: 055 3288320 - *fax:* 055 331794 - *email:* mvieri@unifi.it
rif. Marco Vieri

- A) LE TECNOLOGIE UTILIZZATE NELLA DISINFESTAZIONE
- B) FATTORI DI EFFICIENZA NELLA LOTTA ANTIPARASSITARIA
- C) **CRITERI DI IRRORAZIONE DEI PRODOTTI LIQUIDI ANTIPARASSITARI**

1. INTRODUZIONE

- 1.1. LA DIFESA È UNA NECESSITÀ
- 1.2. LA NUOVA OTTICA DELLA GESTIONE INTEGRATA
- 1.3. IL NUOVO APPROCCIO ALL'USO DEI PRODOTTI CHIMICI

2. I PRODOTTI FITOSANITARI - MODALITÀ DI AZIONE E SPECIFICHE DI APPLICAZIONE

- 2.1. DEFINIZIONI E MODALITÀ DI AZIONE
- 2.2. CARATTERISTICHE DEL DEPOSITO
- 2.3. LA DIMENSIONE DELLE PARTICELLE
- 2.4. IL VOLUME
- 2.5. LA DOSE AD ETTARO

3. L'IRRORAZIONE

- 3.1. LE TECNOLOGIE DI IRRORAZIONE
- 3.2. LA POLVERIZZAZIONE
- 3.3. IL TRASPORTO DELLE GOCCE E LA PENETRAZIONE NELLA MASSA VEGETALE

4. IL PROBLEMA DELLE PERDITE E DELLA DERIVA

- 4.1. LA GESTIONE DEL RISCHIO CHIMICO
- 4.2. IL FENOMENO DERIVA
- 4.3. I FATTORI CHE INFLUENZANO IL FENOMENO DI DERIVA
 - 4.3.1. TIPO DI COMPOSTO
 - 4.3.2. LE CONDIZIONI METEOROLOGICHE
 - 4.3.3. EFFETTO DELL'EVAPORAZIONE SULLE GOCCE
 - 4.3.4. EFFETTO DELLA GRAVITÀ
 - 4.3.5. METODI DI CONTROLLO DELLA DERIVA

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

A) LE TECNOLOGIE UTILIZZATE NELLA DISINFESTAZIONE

Le tecnologie impiegate nella Disinfestazione sono molteplici anche perché comprendono apparecchiature utilizzate nelle indispensabili fasi complementari di "creazione e mantenimento di un ambiente in cui sia possibile un efficace ed efficiente controllo dei patogeni.

Non può esistere infatti l'operazione di disinfestazione senza la rimozione delle cause che proteggono, mantengono e permettono lo sviluppo dei patogeni. Pulizia, Riordino degli ambienti (siano essi interni come esterni), e Sanificazione sono le operazioni complementari ed indispensabili.

Possiamo fare un sommario elenco delle principali tipologie di macchine:

- ✓ TECNOLOGIE DI SANIFICAZIONE
 - SPAZZATRICI
 - SPAZZOLE AD ASSE VERTICALE
 - SPAZZOLE AD ASSE ORIZZONTALE
 - DISPOSITIVI DI RECUPERO DEL MATERIALE
 - MECCANICI
 - PNEUMATICI
 - IDROPULITRICI
 - A CALDO
 - A FREDDO
 - ACCESSORI SPECIALI PER SCROSTARE, PER STASARE, ECC.
 - LEMBI
- ✓ TECNOLOGIE DI PULIZIA DELLE AREE VERDI
 - TRINCIATUTTO
 - SEMOVENTI, PORTATI DA TRATTORE, DA ESCAVATORE, ECC.
 - POTASIEPI
 - SOFFIATORI
 - ASPIRATORI
- ✓ DISPOSITIVI PER APPLICARE PRODOTTI ANTIPARASSITARI
 - GRANULARI
 - DOSATORI
 - PORTATI DALL'OPERATORE, PORTATI O TRAINATI DA MOTRICE
 - SPARGITORI
 - A SPAGLIO O DI PRECISIONE
 - **DISPENSER**
 - LIBERI
 - DI SICUREZZA
 - A TRAPPOLA
 - LIQUIDI
 - ASPERGITORI DOSATORI
 - IRRORATRICI
 - NEBULIZZATORI
 - A FREDDO
 - A CALDO
 - PRODUZIONE DI AEROSOL
 - INIETTORI (INIEZIONE FLOEMATICA)
 - GAS
 - EROGATORI
 - INIETTORI
 - GEL
 - SIRINGHE

A queste tecnologie si aggiungono quelle necessarie per la protezione dell'operatore [DPI] delle persone ed animali che possono frequentare i locali o le aree trattate, dell'ambiente.

Molto importanti a tal proposito risultano le procedure, i locali e le tecnologie per la bonifica delle attrezzature impiegate. Nel caso delle irroratrici vi sono tecnologie specifiche per la corretta preparazione delle miscele come le vasche di premiscelazione e soprattutto di **DISPOSITIVI DI DOSAGGIO E MISCELAZIONE AUTOMATICA** delle sostanze attive con cui si evita la contaminazione di gran parte dell'impianto ed è possibile effettuare trattamenti diversificati durante la stessa "uscita".

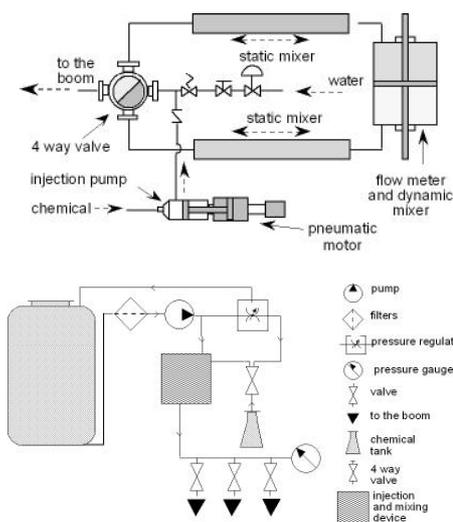


Figura 1 - il dosatore multiplo ad alta pressione progettato e realizzato dal DIAF ¹

✓ ¹ Cappelli A., Vieri M.(1988). Studi su nuove tecnologie di miscelazione e dosaggio dei fitofarmaci. Atti Giornate Fitopatologiche. Lecce 16 maggio 1988. Vol.2, pg.391-398.
 ✓ Spugnoli P., Vieri M. (1990). Risultati di prove preliminari su un dispositivo di dosaggio automatico dei fitofarmaci da applicare alle irroratrici..Riv.Ing. Agr. (1990), 1, 53-59.
 ✓ Vieri M. (1993).Dossier "Automatismi e controlli nelle irroratrici agricole".m&ma (51), 3, 45-66.

Una attenzione particolare meritano le tecnologie di irrorazione cui è dedicata gran parte del presente lavoro.

LE TIPOLOGIE DI IRRORATRICI

La classificazione delle macchine

Le macchine che vengono impiegate nella distribuzione degli antiparassitari sono molteplici e diversificate nel principio di funzionamento. Uno dei sistemi di classificazione più appropriati è sicuramente quello che le suddivide in base alla modalità di frantumazione della miscela (polverizzazione) e di trasporto delle goccioline. Gli apparati irroranti si distinguono in:

- *Apparati eiettori a un solo fluido:* agiscono solo sulla miscela antiparassitaria e a loro volta si dividono in:
 - irroratrici classiche, caratterizzate da polverizzazione meccanica per pressione;
 - irroratrici rotative, caratterizzate da polverizzazione meccanica per reazione centrifuga;
 - irroratrici speciali;
 - umettatrici;
 - barre a sgocciolamento.
- *Apparati eiettori a due fluidi* uno costituito dalla miscela di antiparassitari, l'altro dall'aria che ha generalmente lo scopo di trasportare la miscela verso il bersaglio. Rientrano in questo gruppo irroratrici che comunemente vengono chiamate atomizzatori e che, con maggiore precisione, si possono classificare come segue:
 - irroratrici a aeroconvezione (dette anche atomizzatori), caratterizzate da polverizzazione meccanica per pressione e trasporto della miscela con corrente d'aria;
 - irroratrici pneumatiche (dette anche nebulizzatori) caratterizzati

- da polverizzazione e trasporto della miscela a mezzo della corrente d'aria;
- irroratrici ad aeroconvezione rotative, caratterizzate da polverizzazione meccanica per forza centrifuga e trasporto a mezzo della corrente d'aria
- nebulizzatori o generatori di aerosol.

- **Le irroratrici classiche - barre irroratrici - lance - pompe**

Nelle irroratrici classiche la miscela antiparassitaria viene spinta mediante pompa, a pressioni anche notevoli e quindi a elevata velocità. attraverso uno o più ugelli, con piastrine di varia conformazione e di sezione calibrata, e viene rotta in goccioline di diametri molto variabili, dotate dell'energia cinetica (velocità e inerzia) necessaria per raggiungere il bersaglio. La variabilità dei diametri delle gocce è funzione della pressione, della conformazione e della sezione della piastrina, della viscosità e tensione superficiale della miscela erogata. La maggior parte delle popolazioni di gocce presenta diametri che oscillano tra i 300 e i 600µm, la restante frazione comprende gocce più piccole e più grosse.

Il «deposito» del prodotto antiparassitario sul terreno o sul bersaglio risulta grossolano, eterogeneo (diametro medio 350µm circa).

Le traiettorie sono rettilinee e la gittata è in funzione della massa, per cui la frazione di gocce piccole percorrerà brevi distanze per inerzia propria e, molto spesso, non raggiungerà il bersaglio, o andrà persa per deriva, mentre quella delle più grandi, che è anche quella che arriva più lontano, molto spesso determina perdite per caduta, scorrimento, sgocciolamento.

Queste irroratrici hanno elevati consumi di acqua con conseguenti forti perdite di miscela con scarsa penetrazione; sono sconsigliabili per i trattamenti fungicidi e

insetticidi in bersagli complessi come la vegetazione anche per gli elevati costi di esercizio. Nei confronti degli atomizzatori risultano più semplici, leggere, meno costose e richiedono inoltre minori potenze.

Si prestano meglio nei trattamenti di copertura dove, allo stato attuale, sono le più diffuse nei trattamenti fungicidi, insetticidi e diserbanti.

- **Le irroratrici per trattamenti in volume (atomizzatori e nebulizzatori)**

Come noto, le prime irroratrici per colture arboree differivano da quelle per colture erbacee in pratica solo per la posizione verticale della barra; la scarsa gittata e l'insufficiente penetrazione nella vegetazione hanno ben presto spinto all'adozione del getto portato, in cui una corrente d'aria provvede al trasporto delle gocce nella vegetazione. L'impiego dell'aria quale vettore del getto è ormai ampiamente consolidato, sia che la polverizzazione sia meccanica per pressione oppure pneumatica, e le ricerche in materia di irrorazione in frutticoltura non lo mettono certo in discussione. E' necessario invece intensificare la ricerca sull'ottimizzazione delle caratteristiche fluidodinamiche dell'aria, ossia portata, velocità e direzione dei flussi.

- **Irroratrici a polverizzazione meccanica (atomizzatori)**

Attualmente la maggior parte delle irroratrici presente nelle aziende è costituita da macchine ad aeroconvezione, comunemente note come atomizzatori. In queste macchine, come noto, il liquido viene polverizzato meccanicamente per pressione, mentre l'aria mossa dal ventilatore, normalmente di tipo assiale, ha solo la funzione di trasportare le gocce.

La massa d'aria ha una velocità media di 20-50 m/s, con portate che possono

variare tra i 10.000 e gli 80.000 m³/ora, in funzione delle caratteristiche costruttive del ventilatore: numero, dimensione, superficie, inclinazione delle pale, numero dei giri, forma e dimensioni delle sezioni di passaggio dell'aria. La dinamica dell'aria nei ventilatori assiali è tale da imprimere alle gocce una traiettoria a spirale, obbligando all'adozione di raddrizzatori per rendere la distribuzione simmetrica sui due lati; tali accessori tuttavia non sono presenti nella maggior parte degli atomizzatori in circolazione e neppure in quelli più economici di nuova costruzione.

Alla luce della progressiva affermazione del basso volume, queste attrezzature, così come sono state pensate vent'anni fa, non sono più correttamente utilizzabili.

Nonostante l'introduzione di ugelli e sistemi di regolazione che consentono a queste macchine di operare a medio-basso volume (fino a 200 l/ha), rimane comunque il grave inconveniente della mancanza di direzionalità delle gocce verso la coltura. In altre parole la conformazione del sistema di ventilazione che impone getti irroranti dal basso verso l'alto per poter colpire anche la sommità della vegetazione, comporta gravi perdite di prodotto per deriva.

Si può stimare che soltanto il 50% raggiunga la coltura, mentre il resto va appunto perso costituendo non solo un danno economico per il viticoltore, ma anche un pericoloso inquinamento ambientale che pregiudica la sua stessa salute.

Anche la modalità di penetrazione del flusso aria-gocce nella vegetazione presenta notevoli margini di miglioramento, se è vero che spesso è necessario sovradosare il trattamento per garantire una copertura sufficiente nelle parti più interne del fogliame.

L'aria infatti ha il compito, oltre che di aumentare la gittata, di migliorare la

copertura e la penetrazione all'interno della vegetazione; tuttavia raramente si trova il giusto rapporto tra portata d'aria, molto spesso sovrabbondante, e caratteristiche geometriche della vegetazione, dipendenti da sesto di impianto, forma di allevamento e stadio vegetativo.

Per questi motivi è il rapporto aria-vegetazione il parametro su cui concentrare l'attenzione: l'aria dovrebbe avere una portata e una velocità tali da penetrare nella chioma senza oltrepassarla e consentire il deposito della «giusta» quantità di fitofarmaco su entrambi i lati della foglia.

Una quantità d'aria eccessiva «sfonda» la parete vegetale, dispone le foglie parallelamente alla direzione del flusso impedendo l'adesione delle gocce e agita violentemente gli strati più vicini provocando a volte anche danni meccanici. Di contro, se l'aria è insufficiente le gocce non riescono a penetrare negli strati più interni.

Sebbene queste considerazioni sembrino del tutto ovvie, le possibilità di regolazione del flusso d'aria negli atomizzatori tradizionali sono molto limitate: in genere il ventilatore presenta un cambio a due velocità e spesso pale a inclinazione regolabile. Tuttavia quest'ultima caratteristica risulta poco o affatto utile: il disegno delle pale prevede angoli di attacco e profili ottimizzati per funzionare in condizioni fluidodinamiche ben precise e la variazione di inclinazione si risolve di solito in una riduzione dell'efficienza aerodinamica della pala.

- **Atomizzatori a polverizzazione centrifuga**

Questo tipo di atomizzatori è di introduzione sul mercato piuttosto recente, benché la polverizzazione centrifuga sia adottata da molti anni nelle irroratrici aerotrasportate impiegate

nelle grandi distese americane e africane. I polverizzatori sono costituiti in genere da elementi a forma di cono con bordi finemente scanalati e dentellati rotanti a velocità comprese, a seconda della necessità, tra 5.000 e 15.000-18.000 giri/min.

Il liquido arriva a bassissima pressione sulla superficie del cono, scivola verso la periferia e viene poi proiettato all'esterno; l'azione combinata della forza centrifuga e della corrente d'aria origina goccioline molto omogenee di dimensioni medie o fini, a seconda della velocità di rotazione.

Il movimento degli ugelli rotativi, inseriti in numero di 5-6 per lato nella sezione di deflusso dell'aria, deriva solo in qualche caso da motorini

elettrici; più frequentemente è l'aria mossa dal ventilatore a investire apposite palette presenti sui coni, mettendoli in rotazione ad alta velocità.

La finezza della polverizzazione dipende essenzialmente dalla velocità di rotazione degli ugelli e dalla portata di liquido, che viene regolata a mezzo di apposite piastrine calibrate (dosatori):

ovviamente più elevata è la velocità di rotazione e più bassa la portata, più spinta sarà la polverizzazione, per cui si tratta di macchine che si prestano solo ad operare a volumi molto bassi (100-150 litri/ha).

Questi dispositivi vengono anche chiamati «a goccia controllata» (*cda -controlled droplet application*) per la uniformità e la possibilità di modificare il diametro delle gocce.

Lo svantaggio di questo tipo di erogatori è costituito dalla loro maggiore complessità e quindi dalla maggiore manutenzione che richiedono; il costo poi è piuttosto elevato.

- **Irroratrici a polverizzazione pneumatica**

Nelle irroratrici pneumatiche o

nebulizzatori l'aria assume la funzione, oltre che di vettore per le gocce, anche di fornire l'energia che serve per la polverizzazione, necessitando quindi di grande velocità che i ventilatori assiali non possono fornire. Queste attrezzature adottano quindi ventilatori centrifughi radiali, in grado di mettere in movimento l'aria a elevata velocità.

Il liquido arriva a bassissima pressione (0,5-1,7 bar) ai diffusori (che sostituiscono gli ugelli), mediante una pompa, di solito centrifuga, o in certi casi per aspirazione dal serbatoio operata dal ventilatore attraverso un tubo di Venturi.

La portata dell'aria è inferiore a quella degli atomizzatori, e può arrivare a 15.000-20.000 m³/ora; la velocità invece è molto superiore rispetto all'aeroconvezione e varia da 80 a 100-150 m/s, in funzione della velocità di rotazione delle giranti, della forma delle stesse (diametro, numero delle pale, loro profilo nella chiocciola, pale dritte o rovesce), nonché della forma e sezione degli erogatori o diffusori. La polverizzazione è fine e piuttosto omogenea, ed è legata alla differenza tra la velocità dell'aria e dell'acqua, al rapporto tra le loro masse, nonché alla forza del loro contatto. Al variare di tali rapporti aria-acqua varia il grado di omogeneità e di finezza delle gocce. Nelle condizioni d'impiego normale la velocità e la massa d'aria sono costanti, e quindi ad ogni variazione della portata del liquido corrisponderà una variazione opposta della omogeneità e della finezza di polverizzazione. La polverizzazione pneumatica, pur nella variabilità dovuta a quanto detto, permette di ottenere gocce di dimensioni più fini (diametro 80 -100 µm) e omogenee, adattandosi perfettamente al basso volume (100-150 litri/ha).

Tuttavia le irroratrici a polverizzazione pneumatica, proprio per la finezza della

polverizzazione da esse prodotta, sono accusate di impatto ambientale da diverse fonti, secondo le quali l'utilizzo di tali attrezzature in condizioni particolari, quali i trattamenti in montagna con cannoni a lunga gittata (qualche decina di metri) provoca il lancio in atmosfera di molte gocce di piccolo diametro, fortemente concentrate e facilmente trasportabili dal vento a distanze notevoli.

Per operare correttamente con questo tipo di macchine è ancora più importante trovare il giusto rapporto tra aria e vegetazione da trattare.

A tale proposito la polverizzazione pneumatica presenta un notevole vantaggio:

con semplici sostituzioni od orientamenti delle testate erogatrici, è possibile intervenire su colture, sedi e forme di allevamento variabili in altezza e larghezza; proprio questo aspetto costituisce uno degli orientamenti innovativi in materia di irroratrici per colture arboree: la possibilità di adattare la geometria della macchina alla coltura è alla base del concetto di «irroratrice a getto mirato».

Tra gli svantaggi si ricordano: la maggior rumorosità; la maggiore attenzione richiesta agli operatori; la difficoltà, a causa della contenuta massa d'aria, a intervenire validamente sulle masse vegetali con chiome molto espanse, oggi però in via di eliminazione; infine la maggior potenza richiesta.

• **Irroratrici con carica elettrostatica**

Nell'intento di contenere i volumi distribuiti, di migliorare la copertura e, soprattutto, di ridurre le perdite per gocciolamento e per deriva sono state studiate e realizzate attrezzature elettrostatiche. Si tratta di fornire alle gocce una carica elettrica positiva per facilitare, per attrazione, il loro attacco alla vegetazione con carica di segno

opposto.

La possibilità di applicare la carica elettrostatica è limitata solo a goccioline molto piccole (in quanto la carica acquisibile è inversamente proporzionale alla massa) la polverizzazione meccanica ed è quindi necessario usare spruzzi fini e finissimi.

Agli ugelli o ai diffusori sono installati elettrodi isolati dal resto dell'attrezzatura. L'alta tensione a basso amperaggio, prodotta da generatori fino a 10 kV, genera un campo elettrico dove le goccioline si caricano.

Il loro trasporto avviene con le modalità proprie del tipo di attrezzatura su cui è applicata.

La polverizzazione assistita dalla carica elettrostatica è tuttora oggetto di studio; gli autori sono discordi, in quanto taluni sostengono che la carica acquisita dalle goccioline si perde dopo pochi centimetri, o che le gocce tendono a fissarsi al primo supporto negativo che trovano, ossia, ad esempio, il primo strato di foglie, impedendo così la penetrazione nella vegetazione folta. Tuttavia è anche vero che molte ricerche concordano nel riconoscere all'irrorazione con carica elettrostatica una buona efficacia in termini di quantità di deposito nella vegetazione.

- ✓ Vieri M. (2003). La distribuzione dei fitofarmaci: i criteri. Cap. 6. Volume "Forme di allevamento della vite e modalità di distribuzione dei fitofarmaci. Bayer Crop Science, Milano 2003. Distribuzione Informatore Agrario.
- ✓ Vieri M. (1993). Dossier "Automatismi e controlli nelle irroratrici agricole". *m&ma* (51), 3, 45-66.
- ✓ Vieri M. (1992). Le macchine irroratrici. *Disinfestazione*(8), 6, pg. 39-44.
- ✓ Vieri M. (1992). Migliorare l'efficienza degli interventi antiparassitari nella disinfestazione e disinfestazione. *Disinfestazione* (9), 1, pg. 27-32.
- ✓ Vieri M. (1992). Macchine irroratrici: principi di funzionamento e tipologie di attrezzature. *Disinfestazione* (9), 2, pg. 39-42.
- ✓ Vieri M. (1992). Macchine irroratrici: funzioni operative, tarature e controlli. *Disinfestazione* Ottobre 1992, pg.26-29.
- ✓ Vieri M. (1993). Il corretto impiego delle barre irroratrici. *Disinfestazione* Gennaio-febbraio 1993, pg.14-17.
- ✓ Vieri M. (1995) Corretto impiego delle irroratrici agricole. manuale di base schede generali. Schede tecniche di controllo e regolazione. il Servizio di controllo in Toscana. ARSIA Regione Toscana.
- ✓ ISMA. Macchine per la Difesa delle Colture. ISMA - MIPA [www. http://web.tiscali.it/macchineoperatrici/mainpage.htm](http://web.tiscali.it/macchineoperatrici/mainpage.htm)

irroratrice a spalla



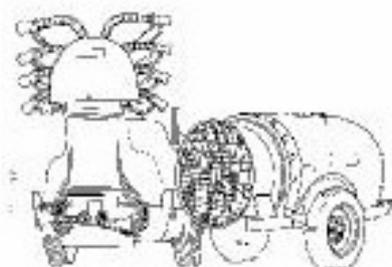
lancia alimentata da pompa volumetrica e serbatoio



barra irroratrice



**irroratrice ad
aeroconvezione
(atomizzatore)**



irroratrice pneumatica



irrorazione con mezzo aereo



B) FATTORI DI EFFICIENZA NELLA LOTTA ANTIPARASSITARIA

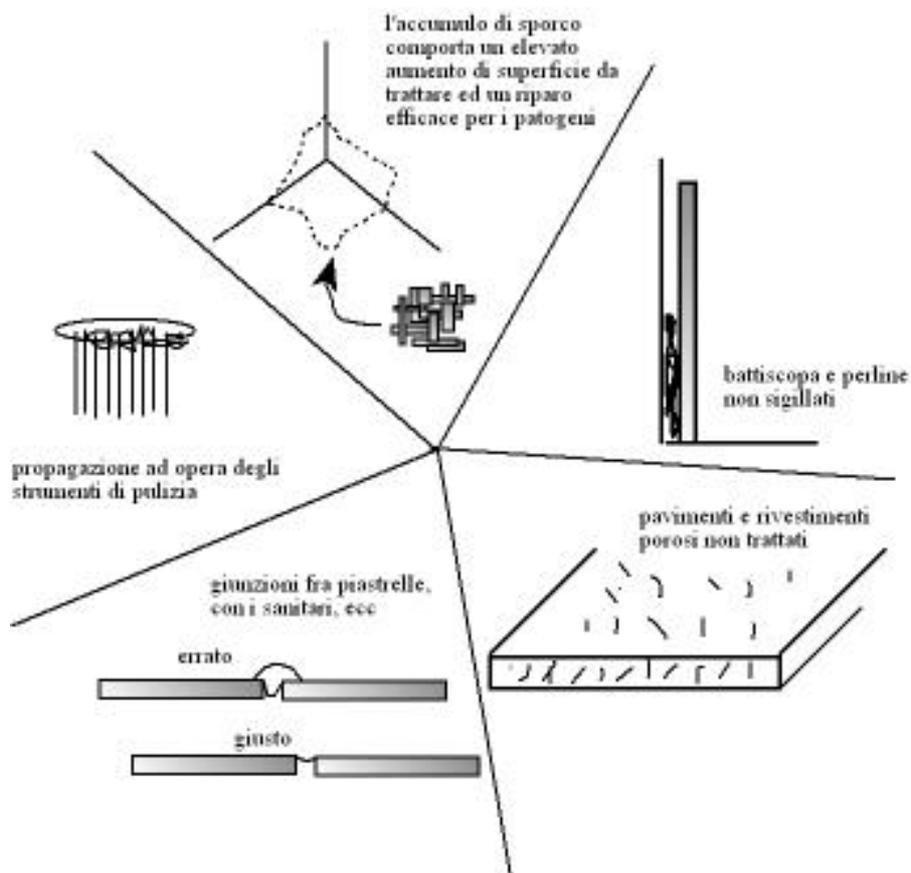
Qualsiasi intervento di lotta antiparassitaria non può avere efficacia ne tanto meno efficienza se non si rimuovono le cause di innesco e proliferazione dell'infestazione.

Inoltre il trattamento di zone, aree o locali sporchi o non riordinati comporta il trattamento di superfici migliaia di volte superiore a quella di base; l'insetto che si annida in un angolo coperto di sporco o foglie e protetto da numerosi strati che impediscono la penetrazione dell'antiparassitario. Il trattamento di tutto questo materiale la cui isuperficie di sviluppo è comprensibilmente

superiore a quella delle superfici dell'angolo, richiede enormi quantitativi di prodotto che deve penetrare all'interno, essere adsorbito da tutte le superfici del materiale estraneo e che sicuramente si disperde per percolazione fuori dall'area del trattamento.

Pulire e riordinare è la prima operazione; determinare procedure e modalità operative che non diffondono nuovamente il patogeno è quella immediatamente successiva. Dopo queste operazioni si può pensare al trattamento che può essere di: lavaggio, infiltrazione, bagnatura, irrorazione, diffusione, saturazione.

Figura 2 - Alcune cause di inefficienza dei trattamenti di disinfestazione



C) CRITERI DI IRRORAZIONE DEI PRODOTTI LIQUIDI ANTIPARASSITARI

Introduzione

1.1 La difesa è una necessità

Le pratiche di difesa dai parassiti e dalle infestanti nel controllo dei parassiti rivestono una importanza fondamentale e primaria. Si potrebbe ragionevolmente affermare che molte attività e produzioni non potrebbero essere attuate senza il ricorso alle tecniche e tecnologie di difesa.

Secondo calcoli recenti, i danni subiti dalla sola agricoltura nel suo insieme vengono attribuiti principalmente all'attività di fitofagi, insetti in primo luogo, ma anche acari, molluschi, uccelli e roditori per il 15%; di crittogame per il 12% e di malerbe per il 10%. A livello mondiale le perdite di prodotto agricolo sono state stimate in circa un terzo della produzione totale ed il 25% anche nei Paesi dove le tecnologie sono già evolute (Savi 1996).

La difesa dai parassiti in genere è fra i maggiori se non "il maggiore" fattore determinante nelle attività produttive; è sicuramente quello che richiede il maggior livello di controllo e di tempestività; infatti in molti casi l'impegno in manodopera, macchine e prodotti fitosanitari e medico-chirurgici per questa operazione rappresenta la voce più elevata nell'insieme dei costi di produzione.

1.2 La nuova ottica della gestione integrata

Se appare ovvio che la "sanità" di una produzione o di un ambiente dipende in gran parte dalla "gestione integrata" di tutti i fattori che concorrono nella sua specifica caratterizzazione, è d'altronde evidente come l'uso di sostanze chimiche

rimanga ancora oggi il mezzo più importante per ottenere e conservare tali produzioni. Lo strumento chimico ha prodotto ad esempio la rivoluzione agricola del XX secolo con notevolissimi benefici, anche se in certi casi con effetti collaterali dannosi per la salute dell'uomo, degli animali e per la salvaguardia ambientale. La facilità di impiego di tali prodotti, il costo inizialmente limitato e la mancanza di una adeguata formazione degli operatori ne hanno spesso indotto un uso massivo quanto improprio e pericoloso; solamente negli ultimi anni le tecniche agricole hanno compiuto grandi passi nella responsabile consapevolezza della potenzialità dello strumento chimico impiegato.

Una sempre più diffusa professionalità di alto livello ha sicuramente contribuito ad impostare le scelte operative secondo un'ottica di ecocompatibilità, che in questo caso si identifica nel termine "lotta integrata", ovvero lotta eseguita ponendo attenzione a tutti i fattori tecnico agronomici che contribuiscono alla limitazione dei parassiti, prevenendo e predisponendo un microambiente a loro sfavorevole e attuando la lotta solo oltre i limiti di danno economico reale e con mezzi e metodi tali da assicurare un trattamento preciso, sicuro ed efficace.

Così, in una ottica di *gestione integrata del controllo sanitario*, anche le tecnologie di cui si avvalgono gli interventi di difesa non si sono solo limitate alle irroratrici ma si sono sviluppate anche nella valorizzazione di tutte quelle macchine e dispositivi che nelle diverse fasi gestionali contribuiscono a creare condizioni di sanità negli ambienti e nei prodotti, o che

in modi diversi, aumentano i tempi disponibili per gli interventi. Le innovazioni tecnologiche dell'ultimo decennio costituiscono in tal senso un fattore primario nella evoluzione di tecniche di controllo sempre più conformi alle esigenze di efficienza di impiego delle risorse produttive. Le nuove tecnologie in misura sempre più incisiva stanno inducendo una notevole innovazione delle tecniche gestionali una nuova imprenditorialità e professionalità. La tendenza verso la riduzione delle dosi di prodotti da impiegare per la difesa dai parassiti e la contemporanea ricerca per assicurare comunque l'efficacia dei trattamenti ha determinato importanti modifiche e nuove acquisizioni strumentali nei mezzi meccanici per la distribuzione di sostanze antiparassitarie; tali mezzi devono sempre più consentire una distribuzione "precisa e sicura".

1.3 Il nuovo approccio all'uso dei prodotti chimici

Ed è in questo contesto che emerge la assoluta necessità di specifiche conoscenze tecniche che consentano di ridurre le dosi impiegate mantenendo d'altronde inalterata la efficacia della protezione antiparassitaria. Ciò significa non tanto ridurre la dose unitaria sulle parti da proteggere, bensì riuscire a ridurre al minimo le perdite e dispersioni² che si hanno nei trattamenti in ambiente aperto e su bersagli così complessi come la vegetazione.

Nei trattamenti alle piante le perdite non raggiungono i livelli indicati da Brown nel 1956 il quale affermava che nei

² Si definiscono le dispersioni gli eccessivi accumuli di prodotto sulle parti da trattare e gli eccessivi dosaggi mentre per perdite si intende la parte di prodotto distribuito che non viene applicato sul bersaglio o che da questo si distacca.

trattamenti insetticidi solo 1 molecola su 3000 colpisce l'insetto; d'altronde diversi autori (Matthews, 1979) hanno messo in evidenza come solamente una piccola frazione (secondo alcuni pari a solo il 3%) del prodotto fitoiatrico distribuito raggiunge il bersaglio ed è biologicamente utilizzata.

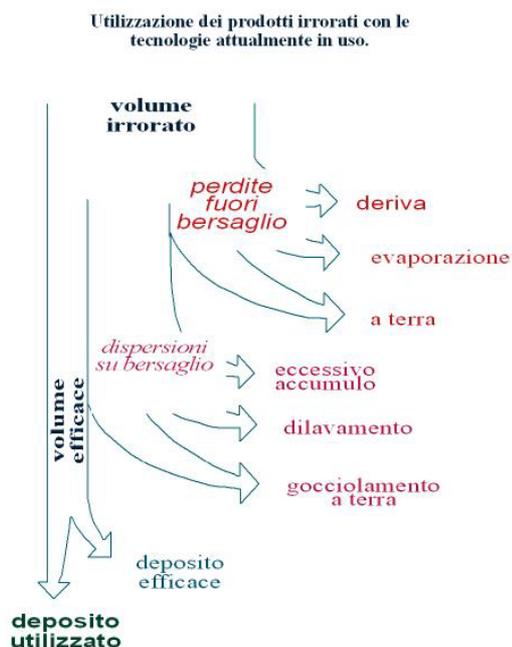


Figura 3 - ripartizione dell'impiego dei prodotti irrorati

Perdite e dispersioni sono sicuramente ancora molto elevate ed il prodotto irrorato viene così ripartito:

- una parte viene applicata sul «bersaglio» in maniera corretta;
- una parte viene sovrapposta alla precedente e risulta inutile o addirittura dannosa per le piante;
- una parte viene persa a terra;
- una parte viene persa per deriva (trasporto delle gocce fuori bersaglio) o per evaporazione prima di arrivare sul bersaglio.

Per tanto se consideriamo che le dosi consigliate sono stabilite aggiungendo al quantitativo necessario le dispersioni

dovute a cattiva distribuzione sul bersaglio, più le perdite fuori bersaglio,

DOSE UTILE + DOSE PERDUTA o

DISPERSA = DOSE TOTALE

si può affermare che ad una riduzione delle dosi perse e disperse può corrispondere una riduzione della dose totale impiegata. Considerando la riduzione delle perdite fuori bersaglio, stimate mediamente sul 50%, e la migliore distribuzione nel bersaglio ottenibile adottando "bassi volumi" piuttosto che quelli "alti", la «dose» di formulato può essere ridotta fino ad un 20-25% (Cesari, 1998)

Tutto ciò avendo ben presente che una riduzione della dose, ovvero del quantitativo ad ettaro di formulato, richiede una perfetta qualità applicativa ed una distribuzione regolare. Ridurre i dosaggi significa infatti aumentare notevolmente la precisione del trattamento evitando quelle cause che di inefficacia che molto spesso vengono compensate con sovradosaggi. E' necessario pertanto evitare zone non trattate, variazioni nella deposizione, variazioni nella concentrazione e tenere in grande considerazione il momento ottimale di attacco del parassita.

PRINCIPALI CAUSE DI INEFFICIENZA DEI PRODOTTI ANTIPARASSITARI IRRORATI.



Figura 4 - cause di inefficacia di un trattamento

La qualità della applicazione dei prodotti sanitari è quindi strettamente legata al

controllo della distribuzione ed alla conseguente riduzione delle perdite di prodotto. Un corretto impiego delle macchine consente di ridurre molto le dispersioni del prodotto, concentrandolo sulle parti da trattare, con un conseguente aumento della efficacia e una riduzione della quota parte che viene persa per accumuli, gocciolamento, deriva ed evaporazione. E' quindi opportuno adottare tecnologie appropriate alla complessità della operazione e soprattutto è necessario formare negli operatori una approfondita conoscenza delle risorse impiegate.

La difesa dal parassita rappresenta infatti il punto di incontro tra diversi aspetti che riguardano

- l'avversità,
- l'ospite,
- il principio attivo impiegato
- le condizioni ambientali
- il sistema di distribuzione;

così nella ottimizzazione delle tecniche di difesa questi aspetti devono essere analizzati nelle loro reciproche interazioni al fine di individuare le più appropriate tecniche e tecnologie ed ottenere il migliore sfruttamento della dose applicata.

Un enorme sviluppo hanno avuto recentemente i sistemi in grado di adattare l'erogazione alla geometria ed alle caratteristiche del bersaglio, così da eliminare perdite a terra e soprattutto migliorare sia la penetrazione nella vegetazione, sia la copertura della stessa; ed anche sistemi automatici in grado di utilizzare sensori di rilievo, computer di analisi ed attuatori capaci di adattare la taratura della macchina alle diverse condizioni di impiego.

Purtroppo la situazione generale è ben diversa. Il costo dei trattamenti è molto elevato in relazione ai risultati ottenibili. Ad esempio in agricoltura e in viticoltura in particolare, può arrivare fino al 10 % della produzione lorda vendibile. Inoltre

errori anche in uno solo degli interventi antiparassitari che si effettuano durante l'anno, possono immediatamente causare perdite di produzione del 20-30 % (Gubiani et al., 1997) e con ripercussioni anche sulla fertilità dei suoli e quindi sulla produttività futura.

Il controllo sulla precisione di trattamento è dunque un obiettivo economico e di mercato nella misura in cui si richiedono produzioni a bassi costi, sane e di qualità, con assenza di residui e comunque nel rispetto dei limiti previsti dalle normative vigenti per la salute dei consumatori. Condizione essenziale per l'impresa che vuole rimanere competitiva in un mercato ed in un sistema di incentivi, influenzato dalle norme internazionali e da sempre più accorte norme di impiego delle risorse produttive, risulta quindi l'ottenimento di prodotti di qualità, con il minimo dispendio di energie e nel rispetto della salute e dell'ambiente. Responsabilità e professionalità costituiscono il binomio che identifica il nuovo approccio alle pratiche di difesa chimica in agricoltura:

- un uso responsabile di tali prodotti, nella piena coscienza delle elevate potenzialità del mezzo che stiamo utilizzando;
- una elevata professionalità che consenta di garantire la massima efficacia in relazione all'obiettivo della difesa;
- la massima efficienza delle risorse che vengono impiegate;
- il massimo livello di sicurezza in termini di salute e di ecocompatibilità.

I punti essenziali che caratterizzano questa nuova professionalità possono essere così riassunti:

- meticolosa attenzione alla prevenzione, alla tempestività ed ai corretti tempi di intervento
- perfetta conoscenza delle modalità di azione del formulato sanitario;

- consapevolezza delle tecnologie adottabili e perfetta conoscenza delle proprie attrezzature e delle relative modalità di regolazione e di applicazione attuabili.

Su questo ultimo punto si può affermare con certezza che le ragioni del successo o dell'insuccesso di un certo intervento antiparassitario vadano in buona parte ricercate nell'efficienza dell'attrezzatura impiegata (De Zanche et al., 1991); troppo spesso gran parte delle irroratrici impiegate per effettuare i trattamenti non risultano appropriate rispetto alle potenzialità dei prodotti chimici oggi impiegabili, con la conseguenza di scarsa copertura antiparassitaria e con svalutazione della stessa efficacia delle dosi impiegate. Ciò che si traduce in un eccessivo dispendio energetico (e quindi economico) per la bassa efficienza delle risorse impiegate.

2 I Prodotti Fitosanitari e Medico Chirurgici - modalità di azione e specifiche di applicazione dei prodotti liquidi

2.1 Definizioni e modalità di azione

I preparati chimici impiegati nella difesa dai parassiti vengono classificati dalla attuale normativa (DL 194/95) in due categorie: se utilizzati come antiparassitari o diserbanti o sulle derrate alimentari prendono la denominazione di "Prodotti Fitosanitari" (PF), viceversa se usati nell'ambiente (aperto o indoor), sugli animali o sull'uomo, vengono registrati come "Presidi Medico Chirurgici" (PMC).

Parlare di "Prodotti Sanitari", significa, come in parte già accennato, prendere in considerazione il loro meccanismo di azione, confrontarlo con la fisiologia della pianta e dei parassiti, con il microclima colturale e le condizioni del terreno, per

identificarne i corretti parametri di azione e di applicazione.

| Classificazione attuale | | Indicazioni di pericolo | Vecchia classificazione |
|-------------------------|---------------|--|-------------------------|
| ☠ | molto tossico | T+ | I Classe |
| | tossico | T | |
| ✘ | nocivo | Xn | II classe |
| ✘ | irritante | Xi | |
| - | | Attenzione Manipolare con prudenza | III Classe |
| - | - | - | IV classe |

Figura 5 - Classificazione PF

In altre parole significa prendere in considerazione le loro caratteristiche biologiche (efficacia), il corretto quantitativo di "sostanza attiva" (definizione del DL 194/95 - *sostituisce quella di principio attivo*), la concentrazione più efficace e le ottimali condizioni di deposizione; oltre a ciò è importante conoscere lo spettro di azione delle *sostanze attive*, la loro persistenza, il momento ottimale di applicazione, le loro caratteristiche tossicologiche, il loro potenziale impatto ambientale.

Per quanto riguarda poi il "formulato commerciale", ovvero la "sostanza attiva" più i *coformulanti o coadiuvanti* (adesivanti, tensioattivi, antideriva...) sarà necessario conoscere le specifiche modalità di irrorazione richieste e le condizioni di maggior efficacia per il trattamento (ad esempio il volume ottimale di "miscela antiparassitaria", le dimensioni ottimali delle gocce e la loro densità di distribuzione sul bersaglio), nonché l'attrezzatura e gli allestimenti componentistici più idonei (il tipo di spruzzo, le caratteristiche del getto vettore aria, le modalità di spostamento in campo dell'erogatore) così da assicurare ad ogni fase dell'intervento la massima efficienza.

Il risultato di questo processo preliminare sarà la individuazione delle più appropriate scelte operative e tecnologiche che si dovranno adottare in relazione al tipo di deposito che si vuole ottenere sul bersaglio (ad esempio: terreno, coltura, chioma) e per ogni tipo di intervento (fungicida, insetticida, acaricida, erbicida, preventivo o curativo).

Le *sostanze attive* hanno inoltre altre suddivisioni; ad esempio quelle presenti nei prodotti fitosanitari si dividono in *Esofarmaci* ed *Endofarmaci*, considerando il luogo della loro azione rispetto alla pianta.

Gli *esofarmaci* vengono applicati all'esterno della pianta e agiscono in tale sede in quanto non sono capaci di attraversare la cuticola e di penetrare nei tessuti. Potranno pertanto controllare il patogeno solo prima che questo sia penetrato all'interno della pianta; esercitano quindi una azione essenzialmente preventiva ed il trattamento dovrà essere effettuato nei momenti ottimali e tempestivamente essendo per molti patogeni la penetrazione assai rapida. Risulta altresì evidente che la vegetazione protetta sarà solo quella che ha direttamente ricevuto il trattamento. Gli *esofarmaci* quindi potranno esercitare un'azione curativa, cioè agire ad infezione già in atto, solo contro i patogeni ectofiti, cioè quelli che hanno sviluppo esterno alla pianta.

Gli *endofarmaci*, invece, pur applicati anche essi all'esterno della pianta penetrano nei tessuti ed hanno quindi una azione propriamente curativa essendo in grado di raggiungere e bloccare il patogeno già insediatosi in essi anche da alcuni giorni. Più in dettaglio gli *endofarmaci* si distinguono a seconda del tipo di traslocabilità in:

- *citotropici*, se possono compiere percorsi inter o intracellulari limitati alla zona circostante il luogo di penetrazione
- *translaminari*, (ciclotropici ad azione spinta), se sono capaci di traslocare dall'una all'altra pagina fogliare
- *sistemici*, se, dopo essere stati assorbiti dalle foglie o dalle radici, vengono trasferiti in ogni organo della pianta mediante la circolazione della linfa.

Naturalmente l'assente potere di penetrazione che caratterizza gli esofarmaci, oppure il diverso grado di mobilità tipico degli specifici endofarmaci, hanno una rilevante influenza sul tipo di utilizzo che può essere fatto dei vari prodotti fitosanitari nella difesa antiparassitaria. Se gli esofarmaci, come abbiamo avuto modo di dire in precedenza, sono prodotti tipicamente preventivi e da impiegare tempestivamente, gli endofarmaci hanno determinato un notevole progresso degli interventi fitoiatrici rendendo possibile la difesa di piante già infette e svincolando in parte l'operatore dall'esigenza di tempestività (D'Ambra, Rui, 1986). Un altro vantaggio degli endofarmaci è rappresentato dal fatto che la loro penetrazione è generalmente rapida per cui si evitano perdite di prodotto per dilavamento, anche se piove a non molta distanza dal trattamento. E' altresì evidente che i prodotti sistemici a differenza degli altri esercitano la loro azione non solo sulla parte di vegetazione trattata bensì anche su parti della pianta non direttamente trattate o non ancora presenti all'atto dell'intervento.

2.2 Caratteristiche del deposito

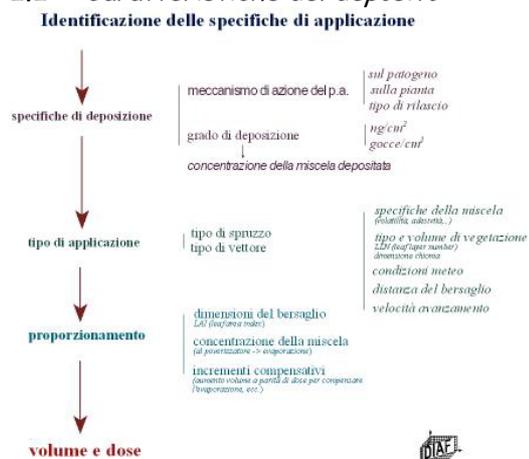


Figura 6 - identificazione delle specifiche di irrorazione

Nella procedura di valutazione (illustrata in figura 6) è evidente come, definite le specifiche di deposizione, si debba cercare di adottare le soluzioni tecnologiche più appropriate (tipi di applicazione) e le scelte tecniche che meglio rispondono alle caratteristiche strutturali (architettura) della vegetazione ed alle condizioni ambientali (proporzionamento). Purtroppo la fase di determinazione delle specifiche di deposizione viene spesso tralasciata mentre è indispensabile per avere un riferimento oggettivo e motivato per le condizioni di trattamento che verrà attuato.

Il deposito rappresenta la dose unitaria (*espressa in milligrammi/cm²*) che interagisce con la coltura e con i patogeni e che può anche influire sulla quantità di residui che si possono ritrovare nei prodotti.

Fra gli elementi determinanti nella efficacia del deposito i più importanti riguardano:

- la *concentrazione*
- la *densità di copertura*
- la *dimensione delle gocce*
- l'*uniformità di copertura*.

Il deposito è sicuramente legato ad un parametro noto, la *dose letale (DL)*, ed

indica il quantitativo di prodotto chimico necessario per abbattere una certa percentuale di individui; si distinguono una dose efficace (DL50 - 50% dei patogeni abbattuti) ed una dose selettiva DL90) ed il dosaggio *omologato* per ciascuna sostanza attiva registrata risulta un compromesso fra i due valori.

Meno nota è la concentrazione letale (CL). Alcuni prodotti chimici infatti possono non essere letali in dosi diluite con conseguenti fenomeni di resistenza genetica che devono assolutamente essere evitati. Certi prodotti di contatto ed alcuni *citotropici*, hanno la loro maggiore efficacia a concentrazioni elevate (ciò che, secondo le attuali regole pratiche, si traduce in impiego di bassi volumi); quindi per tali prodotti il rispetto di un livello di minima concentrazione è assolutamente necessario, altri viceversa, ad esempio molti sistemici, hanno meccanismi di assorbimento opposti per cui al contrario non si possono assolutamente superare certe concentrazioni.

Molte ricerche sono rivolte a chiarire le correlazioni esistenti fra dose, concentrazione, dimensioni delle gocce e densità di copertura. Se dal punto di vista fisico la dose unitaria è uguale al prodotto di: volume delle gocce (ovvero dimensioni), loro numero nell'unità di superficie (densità), concentrazione (esprimibile ad esempio in mg/l); è pur vero che vi sono differenti risposte fitoiatriche al variare di tali fattori.

$$Dose \text{ unitaria} = \pi \cdot \text{diametro}_{\text{goccia}}^3 \times n^{\circ} \text{ gocce} \times \text{concentrazione}$$

Si parla anche di *Soglia di Copertura Minima (SCM)* considerata come rapporto fra due parametri: *Indice di Copertura Minima (ICM90)* e *Concentrazione Letale (CL90)* presupponendo di mantenere inalterato il volume di miscela ad ettaro a

prescindere dallo sviluppo della vegetazione (Cesari, 1998).

Nella determinazione della "dose" è possibile inoltre effettuare aggiustamenti legati ad esigenze di ordine economico. Il quantitativo di residuo sulla coltura ha infatti una efficacia crescente fino ad un certo valore oltre il quale non si hanno sensibili variazioni. Per alcuni prodotti sono riportate nelle schede tecniche le cosiddette "curve di efficacia"; questa informazione, unitamente ad una adeguata precisione operativa, consente di ottenere notevoli risparmi di prodotto con la ulteriore conseguenza di una minore dispersione chimica. (fig.7)

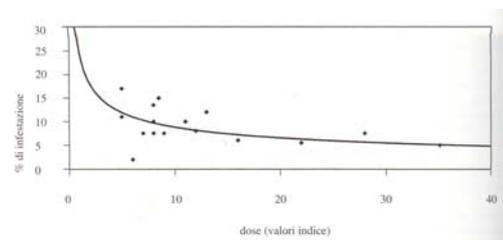


Figura 7 - Curve di efficienza delle sostanze attive [valori indice]

Per quanto riguarda la *densità di copertura* risulta ovvio che questa sarà tanto migliore quanto maggiore è il numero di impatti senza riscontrare sovrapposizioni e fenomeni di "ruscellamento", ovvero scivolamento delle gocce lungo la superficie del bersaglio; ad esempio per un prodotto che agisce per contatto è opportuno applicare, per ottenere una buona efficacia sanitaria, gocce aventi una gamma dimensionale compresa fra 100 e 350 micron e con una densità di almeno 100 impatti per cm² (Falchieri, 1993). Nell'applicazione di insetticidi che hanno una azione unicamente per ingestione, pur risultando importante la densità e l'uniformità di applicazione, è più determinante la concentrazione della miscela che dovrebbe risultare ,

compatibilmente con il volume applicato e quindi con la dose, il più possibile elevata (Pellizzari et al., 1989).

E' quindi necessario sfruttare appieno le caratteristiche della polverizzazione: la migliore copertura si ottiene sicuramente con gocce piccole e conseguentemente con bassi volumi. Ancora oggi in molti casi il volume utilizzato è eccessivo anche se questa tendenza si sta contraendo con positivi risvolti sia tecnici che economici. Oltre ai problemi derivanti dalle notevoli dispersioni a terra le ricerche hanno evidenziato come la corretta copertura non si ottenga con la produzione di una pellicola protettiva continua, ma con la deposizione omogenea di piccole gocce è con una copertura generalmente pari a di circa il 15-20% della superficie (ca. 100 gocce/cm² di 200 µm).

Per quanto riguarda l'*uniformità di copertura* è evidente come questa sia di notevole importanza soprattutto nei prodotti di contatto, ma risulta essenziale nel caso di bersagli vegetali anche con citotropici e sistemici, in quei casi in cui la traslocabilità sia molto bassa. In tali situazioni la necessità di una ottima copertura impone scelte operative precise come il trattamento su tutti i lati della vegetazione o addirittura la defogliazione per esporre la fascia colpita.

In ogni caso dovrà essere cura di chi usa i PF e i PMC, leggere attentamente quanto riportato sulla "*etichetta*" e sulle schede tecniche che molte case forniscono in merito ai campi di applicazione, ai dosaggi ed ai più appropriati metodi di applicazione.

Vi sono infatti casi specifici come la lotta ad alcuni insetti in cui se l'adozione di bassi volumi ha un effetto immediato più evidente, l'alto volume presenta però più persistenza; altro esempio è l'uso del

bacillus turingensis che presenta una migliore efficacia ad alti volumi.

Una ultima considerazione deve essere fatta poi in merito ai coformulanti, o coadiuvanti, quali i disperdenti e sospensivanti in grado di condizionare la diffusione e la sua sospensibilità nel tempo; gli antievaporanti in grado di condizionare l'evaporazione delle gocce e quindi agire direttamente sulla deriva, gli attivanti in grado di facilitare la penetrazione e la diffusione del preparato all'interno dei tessuti. La modalità di azione del preparato può compensare anche la disformità di copertura. Ad esempio la farina di argille (bentonite) produce una elevata capacità di adesione e imbibizione che migliora la persistenza dei vari preparati (Brunelli, 1995).

2.3 La dimensione delle particelle

La dimensione delle gocce influisce sulle caratteristiche dimensionali, quantitative e qualitative del deposito; molte esperienze indicano come gocce grossolane, sinonimo di alti volumi, determinino mediamente una minore efficacia sanitaria e come si abbia un aumento del 100% passando da gocce di 500 a quelle di 200 µm e un ulteriore aumento del 18-20% con gocce di 100 µm; su bersagli vegetali per volumi di chioma unitari [VCU] di 1000 mc oltre i 150 l/vcu. (*volume* medio-alto) si hanno elevate perdite per ruscellamento e percolazione a terra e con 300 l/vcu circa il 50% della miscela viene dispersa (Raisgl et Al., 1991).

Operare con bassi *volumi*, sinonimo di gocce piccole, comporta, d'altronde, uno stretto controllo delle perdite per deriva ed evaporazione. In pratica ciò significa non produrre gocce più fini di 100-150 µm e quindi adottare *volumi* inferiori ai 20 l/vcu solamente con impiego di polverizzatori a goccia controllata. In

pratica sui vigneti italiani il più basso volume efficace ottenibile con punte di spruzzo (ugelli), è di circa 20-30 l/vcu. In tale situazione il risparmio sul costo operativo supera il 50% rispetto ad una irrorazione fatta con 300 l/vcu.

A questo si aggiunge la maggiore tempestività ed una migliore scelta del tempo di intervento. Inoltre apparecchi ben tarati hanno meno perdite per deriva anche a 20 l/vcu rispetto a quelli mal tarati con 300 l/vcu (Lind, 1989).

Un getto nebulizzato contiene un gran numero di goccioline, gran parte delle quali è di diametro inferiore a 0,5 mm di diametro ovvero 500 micron (μm). Le dimensioni delle gocce sono molto importanti per una distribuzione efficiente di fitofarmaci che massimizzi la penetrazione nel bersaglio e minimizzi la contaminazione dell'ambiente. I getti nebulizzati sono generalmente classificati secondo le dimensioni delle gocce, come riportato nella Tabella 1, e vengono correlati tradizionalmente al volume distribuito.

| Tipo di particella | Diametro (VDM μm) |
|--------------------|-------------------------------|
| Gocce di pioggia | > 4000 |
| Spray grossolani | > 400 |
| Spray fini | 100÷400 |
| Nebbie | 50÷100 |
| Aerosol | 0,1÷50 |
| Fumi pesanti | 0,1÷50 |
| Fumi leggeri | 0,001÷0,1 |
| Vapori | < 0,001 |
| Polveri fini | < 40 |
| Polveri medie | 40÷170 |
| Polveri grossolane | > 170 |

Tabella 1 - classificazione dimensionale delle particelle liquide e polverulente

Dal volume di miscela liquida si ottengono un numero variabile di gocce in relazione al grado di polverizzazione ovvero alle dimensioni delle gocce (figura 8).

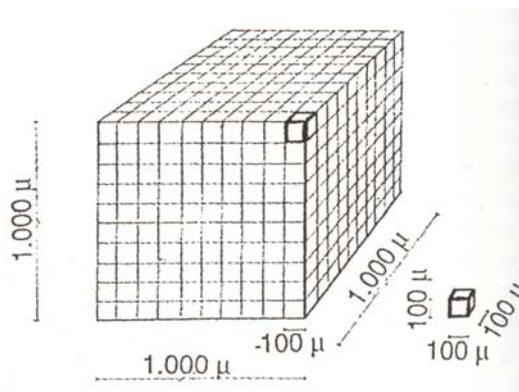


Figura 8 - La polverizzazione della vena liquida comporta ad esempio che da un volume contenuto in 1 mm³ (lato di 1000 μm) si ottengano 1000 gocce contenute in un cubo di lato 100 μm

Il parametro più usato per valutare la dimensione delle gocce è il Diametro Mediano Volumetrico (VMD), misurato in micron. Si determina dividendo un campione rappresentativo di gocce di un getto in due parti contenenti lo stesso volume di liquido in maniera tale che in una parte siano presenti gocce di diametro inferiore al VMD, mentre nell'altra, gocce di diametro maggiore. Un numero anche limitato di gocce di grandi dimensioni può rappresentare una larga porzione del getto e può quindi aumentare il valore di VMD; da solo pertanto non fornisce nessuna indicazione sulla gamma dimensionale delle particelle. A tale scopo si ricorre ad un altro parametro denominato Diametro Mediano Numerico (NMD) che si ottiene dividendo le gocce in due parti contenenti lo stesso numero di particelle senza riferimento al loro volume, enfatizzando così le gocce di piccole dimensioni. Poiché le misure di VMD e NMD sono influenzate rispettivamente dalle gocce più grandi e più piccole, il loro rapporto è preso come indice della gamma dimensionale delle particelle: tanto più il rapporto è vicino a 1 tanto più uniforme è lo spettro dimensionale dimensione delle gocce nello spruzzo prodotto dal polverizzatore; si

considera omogeneo se tale rapporto è inferiore a 2 e discreto con un valore compreso fra 2 e 6 (figura 9).

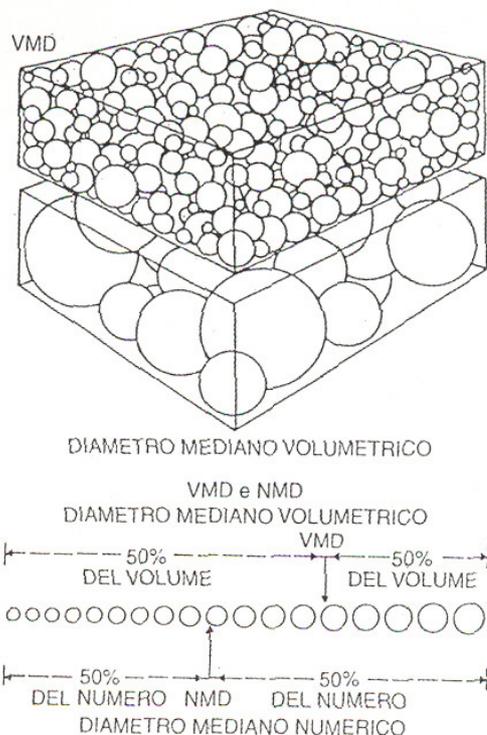


Figura 9 - Esempificazione del Diametro Mediano Volumetrico (VMD) e del Diametro Mediano Numerico (NMD)

Oltre al rapporto VMD/NMD sono impiegati anche altri parametri quali:

- CV - coefficiente di variabilità che deve essere inferiore al 50% ed è considerato discreto fra il 50 ed il 100%
- D10 - diametro tale che il 10% del volume cumulato del liquido irrorato è formato da gocce più piccole di tale valore
- D90 - diametro tale che il 90% del volume cumulato del liquido irrorato è formato da gocce più piccole di tale valore
- SPAN - indice di omogeneità dato dalla differenza D90-D10
- Relative SPAN - indice di omogeneità adottato nella comparazione degli spruzzi ed uguale al rapporto SPAN/VMD

Molti sono i metodi di misura delle gocce e fondamentalmente si dividono:

- metodi di analisi dimensionale della goccia sospesa che a loro volta adottano:
 - analisi dell'immagine
 - analisi dell'interferenza di un segnale (laser)
- metodi di analisi dimensionale dell'impronta della goccia su un supporto captante.

Le cartine idrosensibili sono sicuramente il metodo più conosciuto dagli operatori agricoli, sono facili da utilizzare e forniscono una discreta base di comparazione di verifica dell'applicazione. Dalla semplice comparazione visiva della cartina che ha catturato lo spruzzo e di cartine di riferimento è possibile dare una valutazione veloce e semplice della distribuzione nelle diverse zone della vegetazione dove queste sono state poste. È importante ricordare che sulla cartina si rilevano gli impatti e di conseguenza il disco corrispondente alla goccia è ampliato dalla diffusione del liquido sul supporto; i diametri delle impronte (considerando queste di norma circolari) sono superiori alle dimensioni reali delle gocce "libere" di circa 2 volte.

L'identificazione delle dimensioni delle gocce per mezzo dei diversi sistemi di misura non è semplice ed i ricercatori a livello mondiale hanno adottato una classificazione degli spruzzi (spray classification) identificati in termini qualitativi e non tanto numerici.

In pratica i rilievi fatti con i diversi metodi di misura vengono rapportati agli spruzzi prodotti da polverizzatori (ugelli) campione con i quali si adottano soluzioni liquide e pressioni di esercizio definite come norma. Nella Tabella (3) sono riportati i dati di comparazione.

Tabella 2 - Classificazione degli spray e +codici dei polverizzatori di comparazione

| Tipo di Spray | VMD μm | Ugello Campione | Pressione di esercizio (bar) |
|---------------|-------------|-----------------|------------------------------|
| MOLTO FINE | <100 | BCPC 110-01 | 4.5 |
| FINE | 100-200 | BCPC 110-02 | 3.5 |
| MEDIO | 200-300 | BCPC 110-04 | 2.5 |
| GROSSOLANO | 300-400 | BCPC 110-08 | 2.0 |

I sistemi di polverizzazione (ugelli) e soprattutto il loro stato di manutenzione e di usura, assumono così importanza fondamentale nella formazione degli spruzzi. La figura (11) riporta le caratteristiche degli spray ottenibili dai tre sistemi di polverizzazione: idraulica, pneumatica, rotativa.

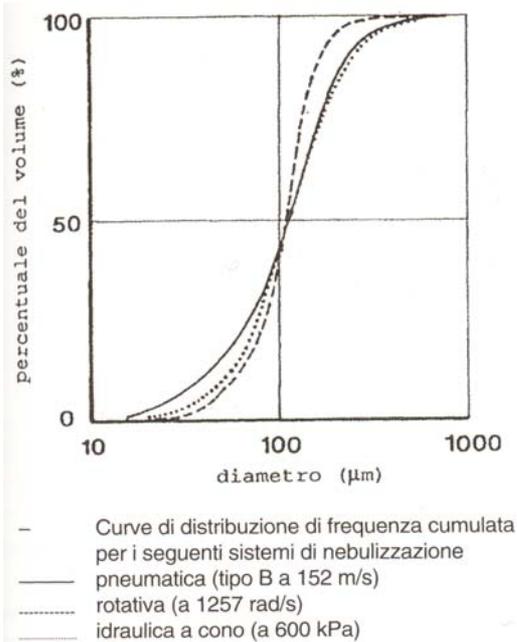


Figura 10 - Curve di distribuzione della gamma dimensionale delle gocce in tre differenti sistemi di polverizzazione (Ade, 1993)

Il numero di gocce che si genera da un dato volume di liquido è inversamente proporzionale al cubo del diametro; possiamo quindi calcolare il numero medio (n) di gocce che cadono sull'unità di

superficie di un piano con la seguente espressione:

$$n = \frac{60}{\pi} \left(\frac{100}{d} \right)^3 Q$$

dove.
 d = Diametro delle gocce [μm]
 Q = Litri per ettaro distribuiti [l/ha]

Le differenze fondamentali fra gocce grossolane e gocce fini sono rappresentate in figura (11).

grado di polverizzazione

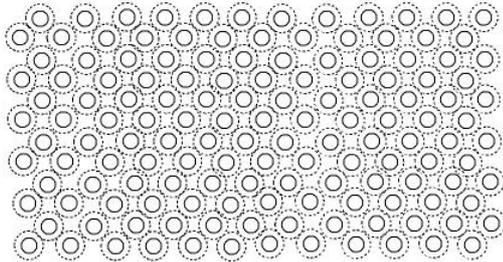


Figura 11 - comparazione di gocce con dimensioni diverse

Dal volume di una goccia di 500 μm si ottengono 125 gocce di 100 μm. Anche considerando il diametro della goccia uguale a quello della sua impronta la superficie coperta passa da 0.2 mm² a 1 mm². Se però consideriamo lo schiacciamento delle gocce e la più ampia superficie efficace di azione derivante dai fenomeni di volatilità della sostanza chimica e quindi di diffusione e saturazione degli strati periferici (il cosiddetto *alone di Fleming* il cui spessore viene stimato intorno a 100 μm), la superficie dominata passa da 0,4 mm² a circa 9 mm², ovvero aumenta di circa 23

volte. Questo è uno dei principali motivi di favore verso l'adozione delle gocce piccole, sinonimo di bassi volumi. L'esempio illustrato ci pone d'altronde un'altra osservazione importante. Il rapporto superficie volume di una goccia di 500 μm è uguale a 12, mentre per le gocce di 100 μm è uguale a 60 ovvero 5 volte maggiore. Di conseguenza l'inerzia cinetica e termica risultano estremamente inferiori per le piccole gocce, ciò che le rende estremamente più vulnerabili rispetto alla evaporazione ed al trascinarsi fuori bersaglio anche con piccolissime correnti di aria

I principali fattori che influiscono sul movimento e sul comportamento delle gocce sono: la gravità, la resistenza aerodinamica, l'evaporazione. In particolare la resistenza aerodinamica, tanto maggiore quanto maggiore è il rapporto superficie/volume determina la sensibilità alle brezze, ai movimenti convettivi dell'aria, nonché al vento apparente ed alle turbolenze derivanti dall'avanzamento del mezzo.

È molto importante anche valutare il comportamento delle gocce in relazione al tipo di applicazione ed alle condizioni ambientali. Generalmente le gocce grosse (superiori a 500 μm) per la tensione superficiale e la maggiore massa hanno una adesione minore e provocano notevoli perdite per eccessivo accumulo, per disformità di deposito e per forte ruscellamento sulle foglie e gocciolamento a terra; vi è anche un ulteriore fenomeno dannoso denominato "effetto valanga", ovvero la goccia che scivola lungo la foglia trascina via tutte quelle che incontra asportando il deposito e riducendo notevolmente la protezione sanitaria. Inoltre la loro inerzia e la bassa resistenza aerodinamica non permettono le necessarie variazioni di direzione per entrare all'interno delle camere vegetali. Le gocce piccole al contrario hanno una diffusione migliore e, trasportate dal

getto vettore aria, penetrano negli interstizi vegetali e producono una copertura con maggiore uniformità con minore gocciolamento. Necessitano però di un flusso di aria che le spinge sul bersaglio o nella coltura, sono molto sensibili al vento e l'elevata temperatura, come già accennato, può provocare la loro evaporazione rendendole piccolissime o addirittura essiccando la particella di sostanza attiva in soluzione. Le gocce molto piccole (inferiori a 100 μm di diametro) sono quindi assolutamente da evitare in ambiente esterno per l'elevato rischio di perdite per deriva ed evaporazione.

Comportamento delle gocce su una superficie

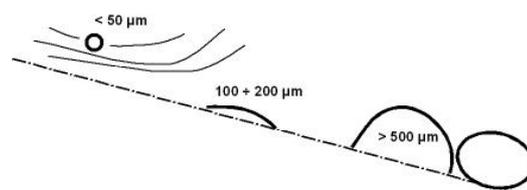


Figura 12 - Comportamento delle gocce su una superficie

Da quanto finora esposto appare evidente come non si possa dare una risposta univoca ai parametri di irrorazione.

2.4 Il volume

Nella irrorazione si usa spesso il termine *volume* volendo intendere in tal modo il quantitativo di miscela antiparassitaria (formulato + coadiuvanti + acqua) che si distribuisce su una superficie unitaria (normalmente 1 ettaro). Nella trattazione delle macchine irroratrici e dei problemi ad esse collegati il termine volume indica anche altri parametri: volume di aria prodotto da un ventilatore, volume di vegetazione, ecc.. La regola ormai normalizzata è quella che il termine *volume* senza nessuna ulteriore specifica sia riferito al quantitativo di miscela applicata.

L'acqua è il primo veicolo che, oltre a disperdere, ha anche il compito di distribuire il più uniformemente possibile una piccola quantità di formulato su una grande superficie.

I termini volume alto, medio, basso, molto basso ed ultra basso, abbreviati generalmente secondo la terminologia inglese in HV, MV, LV, VLV e ULV, indicano la quantità di miscela distribuita per ettaro di superficie e hanno assunto significati differenti se riferiti a colture erbacee di pieno campo o a colture arboree.

| Classificazione dei getti nebulizzati | Colture erbacee di pieno campo (l/ha) | Colture arboree (l/ha) |
|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| Volume alto (HV) | >600 | >1000 |
| Volume medio (MV) | 200-600 | 500-1000 |
| Volume basso (LV) | 50-200 | 200-500 |
| Volume molto basso (VLV) | 5-50 | 50-200 |
| Volume ultra basso (ULV) | <5 | <50 |

Tabella 3: Classificazione dei getti nebulizzati in funzione del volume (l/ha) distribuito su differenti colture [Matthews, 1986].

La scelta del "volume di miscela da irrorare" è condizionata quindi dalle caratteristiche specifiche di deposizione per ogni tipo di formulato antiparassitario, dal tipo di applicazione che si intende adottare, dalle caratteristiche dimensionali del bersaglio e dalle condizioni meteorologiche nelle quali si opera. E' altresì importante considerare che il costo dei trattamenti ha uno stretto grado di proporzionalità con i volumi irrorati per i maggiori tempi

operativi dovuti a preparazione della miscela, riempimenti e trasporto. Negli anni '70 il problema è stato risolto aumentando il grado di polverizzazione e la concentrazione al fine di ridurre il volume e conseguentemente il numero di riempimenti.

Una delle domande più comuni degli agricoltori riguarda proprio la identificazione del volume in relazione al proprio impianto. Infatti risulta facile determinare il volume necessario per "coprire" una superficie come nel caso dei diserbi; il problema diventa molto complesso se si deve applicare lo spray sulle superfici fogliari di una parete complessa. Ammettendo di conoscere la quantità di superficie fogliare presente nell'impianto e stimando le perdite di prodotto si potrebbe arrivare a definire matematicamente il volume secondo la seguente relazione

dove:

$$V = \frac{n \cdot \pi \cdot d^3 \cdot LAI}{\rho \cdot 5 \cdot 10^9}$$

V = volume ad ettaro (l/ha)

n = n° di gocce unitario (n/cm²)

d = diametro delle gocce VMD (µm)

LAI = indice di superficie fogliare

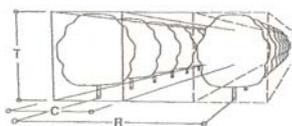
ρ = (recovery) percentuale di prodotto che viene effettivamente applicata sul bersaglio.

Superando metodi complessi quanto attualmente difficili da applicare che prevedono la determinazione delle gocce per unità di superficie, il loro diametro, la valutazione della superficie fogliare da trattare e le perdite di prodotto, alcuni ricercatori hanno cercato di razionalizzare il problema adottando il presupposto che ogni filare è assimilabile ad una parete fogliare e che il quantitativo di miscela antiparassitaria richiesta è funzione del volume di vegetazione di tale parete e quindi hanno

adottato l'indice TRV - Tree Row Volume (Sutton e Unrath, 1984; Schweiz Zeitschrift, 1995). Il proporzionamento di dose, volume con la vegetazione presente è stato definito su base sperimentale fra l'altro anche da Virginia Cooperative Extension Service, 1989 Spray Guide.

input:

altezza degli alberi [T] = (m)
 larghezza della chioma [C] = (m)
 larghezza interfila [R] = (m)



formula:

volume della vegetazione [Vv] = (mc/ha);

$$Vv = \frac{T \times C \times 10000}{R}$$

indice di volume [i]

(litri per 1000 mc di vegetazione)

| | |
|-------------|-----|
| molto alto | 120 |
| alto | 100 |
| medio | 70 |
| basso | 50 |
| molto basso | 30 |
| ultrabasso | 10 |

formula:

Volume di miscela teorico [Vt] = (l/ha)

$$Vt = \frac{i \times Vv}{1000}$$

Figura 13 - metodo semplificato di calcolo del "volume"

In pratica si prende come unità di riferimento il volume vegetale semplificando ed uniformando al massimo il problema fra le varie colture e sistemi di allevamento. Sulla base di determinati volumi indice riferiti all'unità di volume vegetale e stimando il volume di vegetazione in campo, viene così determinato il volume di miscela antiparassitaria. Il metodo risulta estremamente comprensibile, utile ed applicabile a qualsiasi volume vegetale.

Il metodo risulta inoltre molto più rispondente alle colture arboree ed al vigneto in quanto prende in considerazione sia i diversi sistemi di allevamento, sia il diverso sviluppo della vegetazione nelle varie fasi fenologiche.

Proviamo a fare un esempio.

Poniamo di avere un dosaggio in etichetta pari a 100ml (o cc) per ettolitro (100 litri=1 quintale) e di voler effettuare un trattamento a basso volume. Nel periodo di piena vegetazione (fine giugno-agosto), cui si riferiscono sempre i dati in etichetta, la convenzione indica un volume di 1000 litri per ettaro (10 quintali a ettaro) e quindi 1000ml di formulato commerciale. In un impianto con sesto 3 x 1,5, una altezza della chioma di 1,5 m ed una larghezza della vegetazione di 0,8 m, il volume vegetale ad ettaro è di: R=3, T=1,8, C=0,8 -> 4.000 mc/ha. Adottando un volume basso l'indice di riferimento è 50 litri ogni 1000 m³ di vegetazione che in questo caso corrispondono a: 50 x 4,0 = 200 litri per ettaro nel quale misceleremo i 1000 ml di dose.

Questo metodo può essere utile per determinare la dose ed il volume da impiegare nei primi trattamenti. Poniamo il caso di dover utilizzare lo stesso tipo di formulato quando la vegetazione è allo stadio iniziale con una sezione vegetale di 0,5 x 0,5 m; facendo un trattamento mirato i parametri da considerare sono: R=3, T=0,5, C=0,5 -> 830 m³/ha. Adottando lo stesso indice di riferimento, 50 litri ogni 1000 m³ di vegetazione, di dovrebbero distribuire 42 litri per ettaro con una dose di (1000 x 42/200) 210 ml e rappresentano la dose proporzionale alla vegetazione presente. La distribuzione di 42 litri per ettaro con una dose pari a circa il 20% della dose di piena vegetazione risulta sicuramente improbabile, ma ciò è d'altronde dovuto alle enormi dispersioni che si hanno nei primi trattamenti. Di fatto molti viticoltori compensano la minor presenza di vegetazione riducendo alla metà o ad un terzo il volume e la dose per ettaro: in pratica mantengono le stesse regolazioni dei trattamenti fatti negli ultimi trattamenti della stagione precedente al più chiudendo l'ugello inferiore e quello superiore ed effettuando un passaggio ogni tre filari (pratica da evitare assolutamente). Appare evidente la quantità di prodotto che viene così inutilmente disperso nei primi trattamenti e la conseguente necessità di ottimizzare le operazioni per ridurre lo spreco economico ed i danni ambientali.

Fino a qualche anno fa il volume utilizzato era sicuramente esagerato, con conseguenti riflessi negativi; negli ultimi anni è in atto una giusta e sensibile riduzione, non solo in frutticoltura e viticoltura, ma anche sulle colture erbacee, con positivi risvolti sia tecnici sia economici e ambientali: diminuire il volume totale dell'applicazione comporta una riduzione di acqua impiegata e dei

tempi di riempimento, nonché il tempo richiesto per la distribuzione. I vantaggi sono quindi notevoli come illustrato in tabella 4; tutto ciò tenendo sempre presente il limite imposto dai problemi di deriva ed evaporazione tipici delle gocce fini.

TECNICHE

- Carezza d'acqua
- Lontananza dei punti di rifornimento
- Viabilità spesso difficile
- Ingombro del materiale (attrezzature più piccole, più leggere, più manovrabili)
- Durata del trattamento (minori rifornimenti, riduzione dei tempi morti)
- Qualità del trattamento (minore sgocciolamento, più prodotto sulla vegetazione, migliore copertura ed efficacia).

AGRONOMICI

- Attrezzature più leggere
- Minore costipamento

DI ORDINE UMANO

- Carezza di mano d'opera
- Miglioramento delle condizioni di lavoro (minore esposizione degli operatori)

ECOLOGICO-AMBIENTALI

- Possibile riduzione fino ad un 20% del formulato impiegato
- Riduzione dei fenomeni indesiderati (sgocciolamento, deriva, ecc.)

ECONOMICI

- Riduzione dei prezzi di acquisto delle attrezzature
- Riduzione dei tempi di lavoro fino al 40-50% e oltre
- Riduzione dell'energia umana e meccanica (operatore, carburanti, lubrificanti)
- Riduzione complessiva dei costi della difesa fino al 50%

Tabella 4 - Vantaggi dell'impiego del basso volume nella irrorazione (Savi)

2.5 La dose ad ettaro

Nelle operazioni di disinfestazione che impiegano l'irrorazione gli unici ricevimenti sono quelli relativi alla analoga operazione in agricoltura e quindi risulta importante approfondire alcuni concetti fondamentali per poi trasferirli nello specifico campo della disinfestazione.

Un problema pratico riguarda il calcolo dei dosaggi sulla base delle informazioni contenute in etichetta. Ad oggi le *etichette* definiscono le dosi ad ettaro nel caso di prodotti fitosanitari formulati in polvere e la concentrazione o la dose ad ettolitro nel caso di insetticidi e di fungicidi. In quest'ultimo caso per ricavare la dose ad ettaro è necessario correlare tale parametro con un "volume unitario di riferimento della miscela antiparassitaria". Questo dato è

riportato nell'etichetta che rappresenta il documento ufficiale cui riferirsi per individuare le modalità di applicazione. Qualora l'etichetta non riporti il volume di riferimento e le possibili variazioni di volume e di concentrazione si può rifarsi ad una vecchia regola: nel caso delle colture arboree si può riferirsi ad un cosiddetto "volume normale" di 10 hl/ha per il vigneto e 15 hl/ha per i frutteti; quindi, sulla base di questa regola e in mancanza di ulteriori precisazioni sull'etichetta, la «dose» riferita ad ettolitro deve essere moltiplicata per 10 nel vigneto e per 15 nel frutteto.

E' ovvio che tale volume di riferimento è definito per le condizioni di massima vegetazione ed è pratica comune, come già accennato, ridurre volume e dose proporzionalmente allo sviluppo fogliare nei primi trattamenti.

L'adozione di volumi inferiori a quelli di riferimento deve comunque assicurare l'applicazione del corretto dosaggio quindi, calcolato il dosaggio ad ettaro, questo è ripartito nel quantitativo di acqua che si vuole adottare.

Esempio:

dose di etichetta: 200 g/hl
 volume di riferimento 10 hl/ha
 dose ad ettaro $200 \times 10 = 2000$ g/ha
 volume realmente impiegato 3 hl/ha
 dose da miscelare $2000 / 3 = 667$ g/hl

E' ovvio che nella riduzione da 10 a 3 hl/ha vi è stato un corrispondente aumento di concentrazione (da 200 a 667 g/hl); ed è infatti comune il riferimento al valore di aumento di concentrazione. Nell'esempio riportato si parlerà di volume concentrato ($667/200=$) 3.3 volte. Quindi secondo tale regola ormai diffusa al volume adottato corrisponde una maggiorazione della dose ad ettolitro secondo la tabella 5

Tabella 5 - Aumento del dosaggio ad ettolitro al variare del volume distribuito

| Volume (l/ha) | Corrispondenti a hl/ha | Coefficiente moltiplicativo |
|---------------|------------------------|-----------------------------|
| 1000 | 10 | 1 |
| 800 | 8 | 1,25 |
| 500 | 5 | 2 |
| 300 | 3 | 3,3 |
| 200 | 2 | 5 |
| 100 | 1 | 10 |

3 L'irrorazione

Irrorare significa applicare il prodotto fitosanitario, sotto forma di una miscela omogenea di sostanza attiva, coadiuvanti ed acqua, in piccole gocce da distribuire uniformemente sul bersaglio. l'irrorazione ha quindi sostituito la vecchia tecnica di bagnatura e di lavaggio della pianta e delle superfici da proteggere.

E' necessario quindi individuare con precisione i vari elementi caratterizzanti l'irrorazione e quali siano oggi le nuove tendenze ed i possibili accorgimenti adottabili per migliorarne l'efficacia.

3.1 Le tecnologie di irrorazione

Uno dei concetti fondamentali che si stanno affermando soprattutto nelle macchine irroratrici agricole, è la identificazione della operatrice come complesso funzionale multiplo, allestito e tarato in maniera specifica in relazione al tipo di coltura, al tipo di trattamento ed alle condizioni operative.

La tipologia di macchina più idonea sarà diversa se si devono fare trattamenti di copertura (come i diserbi o il trattamento a pareti, piazzali ecc); interventi «in volume» come la disinfestazione di un magazzino o di una serra; trattamenti "misti", ovvero la copertura di superfici fogliari o di parti all'interno di un volume vegetale come l'irrorazione al vigneto. Nel

primo caso di adotteranno attrezzature capaci di applicare il prodotto con una elevata precisione nella uniformità, nella sovrapposizione dei getti e nel controllo della deriva; nel secondo caso di dovranno adottare mezzi in grado di produrre finissime particelle e di diffonderle uniformemente nell'ambiente; il terzo caso, quello più diffuso e il più difficile da realizzare e da controllare, comprende i trattamenti a piante che presentano masse vegetali espanse e che presentano inoltre l'inconveniente di dover essere attuate in ambiente esterno e quindi sottoposto all'azione degli agenti ambientali (temperatura e vento).

Nella figura (14) sono illustrate schematicamente le principali funzioni prodotte da una irroratrice e la tipologia di trattamento attuabile

FUNZIONI RELATIVE ALLA IRRORAZIONE

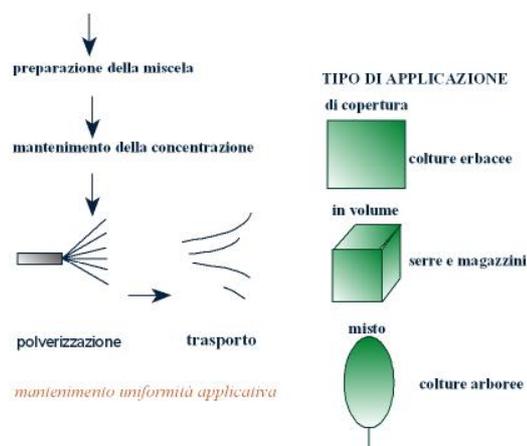


Figura 14 - Funzioni relative alla irrorazione e tipologie di applicazione

Ad ogni funzione corrisponde una o più parti funzionali della macchina irroratrice e dalla efficienza e corretta regolazione di tali componenti dipende la qualità operativa nel suo complesso.

Nella tabella (6) sono riportate le relazioni fra funzioni, fattori che determinano la qualità operativa ed i componenti specifici di controllo.

Tabella 6 - Relazione fra funzioni, fattori che determinano la qualità operativa ed i componenti specifici di controllo.

| Funzione | Fattori determinanti | Componenti di controllo |
|---|---|---|
| Preparazione dalla miscela | Immissione di acqua priva di residui solidi | Filtri in aspirazione |
| | Disgregazione dei grumi o coaguli soprattutto nei prodotti polverulenti | Vasche di premiscelazione Filtri prima del serbatoio |
| Mantenimento concentrazione | Omogeneità della miscela (soluzione, emulsione, sospensione) | Efficiente sistema di agitazione |
| Polverizzazione | Assenza di particelle solide di dimensione superiore al foro del polverizzatore | Efficiente sistema di filtraggio: Filtri in aspirazione e in pressione dotati di sistemi per ispezione e pulizia anche a serbatoio pieno |
| | Corretta pressione di esercizio | Manometro, regolatore di pressione efficienti ed impianto senza cadute di pressione |
| | Assenza di variazioni di pressione | Compensatore idropneumatico |
| | Qualità della polverizzazione | Qualità del polverizzatore |
| | | Resistenza all'usura Buona capacità di "scarico" delle incrostazioni |
| Trasporto | <i>Getto proiettato</i> | Corretta sovrapposizione dei getti e mantenimento della distanza dal bersaglio |
| Getto portato Aeroconvezione | Energia per arrivare al bersaglio e penetrare nella vegetazione | Adeguate portata del ventilatore |
| | Energia per scalzare gli strati fogliari esterni (! viticoltura) | Turbolenza, pressione ed orientamento del getto |
| | Uniforme distribuzione nella massa vegetale Assenza di perdite in aria (deriva) ed a terra | Corretta disposizione dei polverizzatori e dei diffusori |
| Controllo longitudinale (nella direzione di avanzamento) | Uniforme applicazione lungo il filare | Mantenimento di una velocità costante |
| | | Sistemi di variazione proporzionale (vs.velocità) della portata o della concentrazione |
| | Riduzione delle perdite dovute ai "buchi" - assenza di vegetazione | Sensori di riconoscimento e interruzione della erogazione |

Le vecchie classificazioni delle irroratrici facevano riferimento al volume basandosi sulla capacità di produrre gocce grandi o piccole; oggi questo limite è superato con le nuove tecnologie e la classificazione deve tenere in considerazione soprattutto i diversi gruppi funzionali: il tipo di polverizzatori, il grado di polverizzazione, la presenza o meno di un getto di aria per il trasporto delle gocce nella massa vegetale, le caratteristiche dei gruppi di controllo della irrorazione.

Le moderne irroratrici, nebulizzatori, atomizzatori e barre, costituiscono l'esempio più evidente di innovazione tecnologica proprio in termini di capacità di adottare allestimenti di componenti funzionali diversificati in relazione all'obiettivo di una sempre maggiore precisione applicativa. Una evoluzione così rapida, con una differenziazione così ampia e qualificata nelle configurazioni impiantistiche e nella scelta dei materiali, non trova paragone in nessun altro settore della produzione di macchine agricole.

Volendo fare una analisi sintetica delle più importanti innovazioni raggiunte si possono mettere in evidenza:

- gli allestimenti ed i materiali per una più precisa polverizzazione e deposizione;
- gli accessori e gli automatismi per una maggiore sicurezza nelle fasi accessorie;
- i sistemi di controllo della irrorazione in tempo reale e con variabilità spaziale.

3.2 La polverizzazione

La qualità della irrorazione dipende prioritariamente dalla corretta polverizzazione ovvero dalla omogeneità dello spruzzo e dalla stabilità dell'erogatore; per quanto riguarda lo spruzzo si dovrà ricercare uniformità delle dimensioni delle gocce e del quantitativo totale distribuito sull'intero

bersaglio. La stabilità dell'erogatore è legata al comportamento della "barra" (orizzontale come verticale) e del motore: è necessario infatti mantenere la corretta distanza dal bersaglio, limitare le oscillazioni e mantenere una velocità costante e comunque sempre mantenendo la proporzionalità con la portata agli ugelli. La figura (15) illustra con chiarezza i fattori che influenzano la precisione delle barre irroratrici.



Figura 15 - Fattori di influenza sulla polverizzazione

Sicuramente il *mantenimento della qualità dello spruzzo* è un fattore fondamentale: per tanto è molto importante sostituire gli ugelli quando hanno raggiunto un livello di usura tale da far aumentare la portata del 10 % rispetto al nuovo.

L'usura degli ugelli comporta non tanto un aumento della portata unitaria, ma fondamentalmente un notevole peggioramento della qualità dello spruzzo in quanto la gamma dimensionale delle gocce tende ad ampliarsi diventando estremamente disomogenea e producendo gocce più grosse e conformazione irregolare della geometria dello spruzzo.

Un ulteriore problema non sempre considerato è dato dalle cristallizzazioni che si formano e si depositano sulle piastrine di polverizzazione e in particolare sulla luce di uscita del liquido; tali incrostazioni provocano deviazioni e notevoli disformità nello spruzzo. I

migliori materiali in tal senso sono quelli ceramici e sintetici che hanno un grado di scabrosità molto basso, tale da "scaricare" con facilità le incrostazioni.

Una corretta polverizzazione non è inoltre possibile senza la dotazione di un *efficiente sistema di agitazione e di adeguati filtri* che hanno la funzione di bloccare quelle particelle che possono otturare o comunque modificare la luce di uscita dei polverizzatori. I filtri hanno una importanza fondamentale nel corretto funzionamento dei polverizzatori, come di tutti i componenti dell'impianto idraulico, in quanto ne garantiscono la longevità, in particolare per le piastrine calibrate riducendo i fenomeni di abrasione ed evitando occlusioni.

Tutti i filtri ai diversi stadi (ingresso al serbatoio, in aspirazione, in mandata) devono possibilmente essere ispezionabili anche a serbatoio pieno o autopulenti, devono avere una notevole superficie filtrante e maglie sempre più fini lungo l'impianto. La dimensione dell'ultimo filtro deve avere fori di luce inferiore al calibro degli ugelli.

La *pressione di esercizio* è di fondamentale importanza poiché ogni polverizzatore è progettato per lavorare in un determinato gamma di pressione al di fuori della quale la qualità dello spruzzo decade rapidamente. Ad un aumento di pressione (per uno stesso ugello) corrisponde un aumento della portata ed una diminuzione della gamma dimensionale delle gocce.

La pressione può essere variata per regolare la portata del liquido in uscita, ma le variazioni che si possono adottare sono generalmente non superiori al 30-50% rispetto alla portata/pressione ottimali. Oltre tali limiti è necessario

adottare polverizzatori caratterizzati da portate diverse.

Molto importante è anche il *controllo delle pulsazioni di pressione* dovute alle fasi alterne di spinta e di ritorno delle pompe volumetriche che possono provocare variazioni nella erogazione e nel diametro delle gocce.

3.3 *Il trasporto delle gocce e la penetrazione nella massa vegetale*

L'altro aspetto legato alla corretta deposizione del prodotto riguarda il trasporto e la penetrazione del prodotto nella massa vegetale ed è sicuramente la fase più delicata e più difficile da controllare.

Quando non si utilizza il getto vettore aria ovvero il ventilatore e si adottano barre irroratrici verticali è bene tenere presente che la penetrazione nella vegetazione è molto scarsa. In molte aziende agricole ancora vengono utilizzate barre verticali anche nei trattamenti in piena vegetazione adottando pressioni molto elevate, anche superiori a 50 bar, con ugelli di elevata portata; in tal caso l'efficacia della penetrazione è data dalla notevole energia del getto di acqua così come se si impiegasse una lancia idropulitrice. Questa tecnica è assolutamente da eradicare e da contrastare per i seguenti motivi:

- si devono adottare volumi molto alti
- si hanno molte perdite a terra con ruscellamento sulle superfici e conseguente asportazione di deposito
- si hanno notevoli perdite anche per deriva per la cospicua formazione di piccole goccioline in seguito alla elevata pressione di esercizio.

E' anche vero che nei primi trattamenti, nelle prime fasi vegetative, l'impiego delle barre, naturalmente con il trattamento su tutte le facce del bersaglio può rappresentare la soluzione ottimale

soprattutto in termini di riduzione delle perdite.

Il trattamento a bersagli complessi e a piante nelle fasi vegetative di piena vegetazione richiede sicuramente un getto vettore aria per il trasporto delle gocce. E' infatti una applicazione del tipo misto in quanto vi è la necessità di applicare la miscela antiparassitaria in modo omogeneo su tutte le superfici dell'intero volume vegetale e soprattutto nelle zone più interne e nella pagina inferiore delle foglie. Il problema è certamente delicato perché si deve creare un flusso, nel quale le goccioline vengono trasportate in sospensione, che deve coprire la distanza tra il diffusore e la vegetazione e che deve anche attraversare tutta la vegetazione e diffondersi all'interno di questa. Le gocce dovranno quindi essere piccole, per poter essere trasportate dall'aria fino alle camere vegetali più interne, ed hanno come sappiamo lo svantaggio di essere soggette ad un ulteriore

diminuzione di dimensioni, causato dal vento o da temperature elevate, ciò che comporta un asciugamento della molecola chimica in soluzione, che oltre a non aderire più alle foglie, si diffonde con estrema facilità nell'atmosfera con conseguenze prevedibili. Se relativamente semplice risulta l'applicazione su forme di allevamento ampie e continue o su alberi di grande volume che si richiudono sull'interfilare, ben più difficile è la distribuzione su forme a spalliera nelle quali è molto complicato contenere la miscela antiparassitaria a livello della vegetazione ed evitare perdite oltre il bersaglio.

I fattori che intervengono nella penetrazione e deposizione dell'antiparassitario nella massa vegetale sono molteplici e dipendono dall'architettura del bersaglio e della pianta della pianta, dalle caratteristiche del ventilatore e dei diffusori, dalle condizioni atmosferiche.

Tabella 7 - Correlazione dei fattori interagenti nella penetrazione e deposizione dell'antiparassitario nella massa vegetale

| <i>Fattori</i> | <i>Elementi da considerare</i> | <i>Parametri determinanti</i> |
|----------------------------------|---|------------------------------------|
| Architettura della pianta | Volume di contenimento della vegetazione | Portata di aria |
| | Caratteristiche dimensionali e fisiche delle foglie | Pressione del getto e orientamento |
| | Densità fogliare | |
| | Strati fogliari da penetrare | |
| Irroratrice | Ventilatore | Portata di aria |
| | Diffusori (convogliatori) | Pressione del getto |
| | | Geometria |
| | | Orientamento longitudinale |
| | | Orientamento trasversale |
| Turbolenza | | |
| Velocità di avanzamento | Contrazione del getto vettore | |
| Condizioni ambientali | Temperatura | Evaporazione gocce |
| | | Convezione termica |
| | Vento | Deviazione dei getti |

L'aeroconvezione è una funzione spesso non tenuta nella dovuta considerazione. Il getto vettore deve trasportare le gocce nella chioma, cercando di penetrare tutto lo spessore della chioma senza per altro disperderle oltre questa. Molto spesso la quantità di aria prodotta dai ventilatori è insufficiente soprattutto quando le velocità di avanzamento sono elevate.

L'aria generata dal ventilatore, miscelata alle goccioline sostituisce l'aria presente all'interno della vegetazione; la quantità di volume interessato da questo fenomeno è data dalla sezione trasversale di trattamento per la velocità di avanzamento del mezzo. Lazlo Treflan (1982) è stato il primo a definire tale fenomeno. La figura 16 illustra il trattamento ad un frutteto con volumi vegetali ampi che si richiudono sul filare, effettuata con atomizzatore convenzionale con diffusore circolare. Il volume di aria necessario è dato dall'area del semicerchio con centro sull'asse del ventilatore, per la velocità del mezzo.

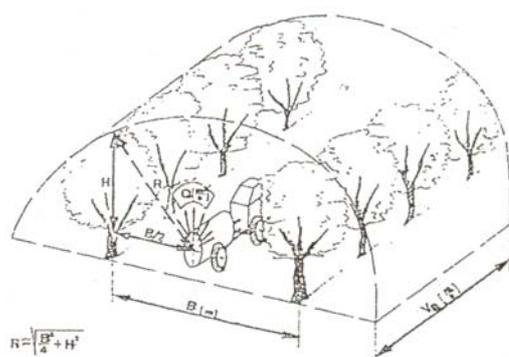


Figura 16 - Schema teorico del ricambio di aria in volume

E' importante evidenziare come il volume di aria "mosso" è superiore a quello prodotto all'uscita dai diffusori. Infatti un getto libero (così definito quando esce da un condotto) si allarga con un angolo di circa 30° richiamando e miscelandosi all'aria periferica e

convertendo la propria energia con una riduzione della velocità e un aumento della massa in movimento.

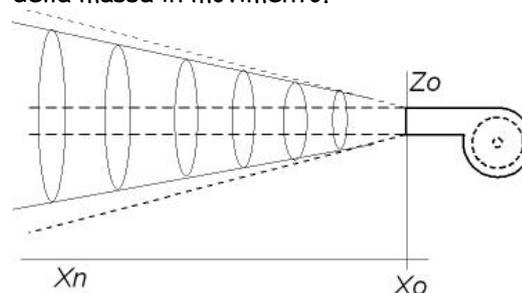


Figura 17 - Schema del getto libero

Nel caso di vegetazione a spalliera in genere (come le siepi), la sezione di trattamento non deve essere semicircolare, il getto infatti deve essere orientato solamente sulla vegetazione da proteggere.

Vi sono infatti molti studi e molte osservazioni che impongono tale scelta:

- il getto di aria deve essere solamente dove si vuole applicare il prodotto poiché, anche se il polverizzatore ha una diversa posizione o orientamento, le turbolenze tendono sempre a trascinare le gocce. Quindi è necessario orientare i diffusori o porre dei deflettori di getto così da non avere movimento di aria sotto la fascia vegetale e nell'interfilare;
- il getto di aria dovrebbe essere introdotto nella vegetazione in senso orizzontale piuttosto che radiale e vicino alla chioma, ciò che comporta tra l'altro un incremento della deposizione del 20% (Lindt 1989)
- è dimostrato (Baraldi, Ade;1986) che l'avvicinamento del getto (ovvero dei diffusori) alla pianta-obiettivo comporta una migliore distribuzione delle gocce, un aumento del 20% nella quantità depositata ed una riduzione di potenza al ventilatore del 60%.

In merito alle caratteristiche dei ventilatori (portata e pressione/velocità) vi sono alcune considerazioni da fare. Sicuramente la portata di aria è riconosciuta come un fattore estremamente favorevole poiché dal punto di vista energetico una grande quantità di aria conserva maggiormente la propria energia rispetto ad un getto anche molto più veloce ma con bassa portata (Randall, 1971).

La nostra esperienza sul vigneto, soprattutto su forme di allevamento con abbondante vegetazione, porta ad affermare d'altronde come per "sfondare" i primi strati fogliari sia necessario avere una sensibile pressione del getto (velocità dell'aria non inferiore a 15 m/s) e che tale getto non sia perpendicolare alla parete. La vite infatti ha foglie ampie e flessibili che di sovrappongono e che possono costituire una barriera continua; è necessario pertanto "scalzare le foglie e separarle e per inserire il getto nelle camere vegetali interne.

Una verifica pratica molto interessante si può fare effettuando una prova "in bianco", con sola acqua e nelle condizioni di trattamento: le foglie più esterne del volume vegetale che si intende trattare devono ondeggiare leggermente ciò che corrisponde con buona approssimazione ad una velocità di 2 m/s, considerata la velocità limite per la sedimentazione (caduta a terra) delle goccioline fini (100µm).

- Se le foglie sono ferme il getto non è sufficiente, quindi si deve aumentare la velocità del ventilatore o ridurre la velocità di avanzamento.
- Se le foglie sono tese a bandiera il getto è eccessivo e deve essere ridotta la velocità del ventilatore; l'aumento della velocità di avanzamento è però poco probabile poiché si opera quasi sempre alla massima velocità possibile.

Una ulteriore prova sicuramente da promuovere nei controlli pratici che vengono fatti in azienda è l'uso delle cartine idrosensibili per controllare la

qualità e l'uniformità del trattamento nella vegetazione.

4 Il problema delle perdite e della deriva

4.1 La gestione del rischio chimico

L'irrorazione alla vegetazione di piante in ambiente esterno risulta ancora più complessa per il fatto di dover operare in ambiente libero e molto spesso in condizioni avverse per la presenza di vento e di alte temperature. Ciò comporta l'insorgenza di una notevole serie di rischi, dovuti alla probabile dispersione dei prodotti chimici, che devono essere gestiti con corrette modalità operative e con gli accorgimenti tecnologici più appropriati. Non tenere nella corretta considerazione questa gestione del rischio ha come conseguenza il risultato che solo una minima parte di miscela antiparassitaria che viene distribuita attraverso l'irroratrice raggiunge il bersaglio pianta mentre un'altra quota, che può variare a seconda dello sviluppo vegetale, delle condizioni ambientali, e di altri fattori si disperde sotto varie forme costituendo una grave forma di inquinamento.

La figura 29 evidenzia le principali cause di perdita di antiparassitario che si possono avere in fase operativa.



Figura 17 - Perdite operative

- *Dispersioni nell'atmosfera e sui terreni per deriva ed evaporazione*

A tale fenomeno sono soggette soprattutto gocce di diametro inferiore ai 100 μm . La deriva è rappresentata dallo spostamento delle gocce causato da movimenti di aria, dalla loro massa, dalla resistenza e dalla aerodinamica. Quando le gocce sono piccole (elevato rapporto superficie volume) anche spostamenti minimi di aria influenzano il loro movimento, brezze leggere con velocità di 6-7 km/h (2m/s) generano su una goccia di 100 μm uno spostamento che può variare dai 15 ai 50 metri. Il fenomeno è esaltato dalla diminuzione delle dimensioni delle gocce conseguenza della evaporazione in presenza di temperature elevate.

- *Percolazione nel terreno e perdite a terra*

Tali dispersioni sono causate oltre che da eccessivi volumi di irrorazione anche da perdite per gocciolamento. Quando i volumi sono eccessivi accade che il prodotto tende a dilavare la foglia e quindi percolare nel terreno, quindi molta attenzione va posta alla scelta del volume adeguato. Per ciò che concerne il gocciolamento dovuto a mancata tenuta dell'impianto questo deve essere assolutamente evitato controllando periodicamente l'irroratrice e adottando i dispositivi antigoccia.

- *Disformità "trasversali"*

Sono dovute a non corretta regolazione dei convogliatori, oppure a cattivo funzionamento o posizionamento dei pulverizzatori. E' questo uno dei più complessi problemi nella taratura degli atomizzatori.

E' necessario comunque assicurare almeno la simmetria del trattamento ed una proporzionalità con lo spessore della vegetazione nei diversi settori verticali. E' importante anche ridurre le oscillazioni assiali dei gruppi di irrorazione adottando ad esempio assali

con carreggiata larga e pneumatici a bassa pressione.

- *Disformità longitudinali*

Causate essenzialmente da non proporzionalità tra velocità di avanzamento e portata degli ugelli.

Sono ormai disponibili dispositivi in grado di controllare la portata degli ugelli al variare della velocità della motrice. In ogni caso rimangono sempre dei problemi perché la maggior parte delle trattatrici non possiede tali dispositivi ed addirittura a volte sono anche sprovviste del contagiri con cui controllare la costanza del regime motore e conseguentemente dell'avanzamento. Rimangono d'altronde le variazioni dovute al diverso slittamento del motrice in salita ed in discesa.

- *Perdite per mancato bersaglio*

In questo caso la miscela antiparassitaria che viene distribuita non arriva sulle piante e ciò per vari motivi:

- errato orientamento dei pulverizzatori e del vettore aria sia sotto la chioma sia in alto
- presenza di buchi nella vegetazione.

Nel primo caso sarà sufficiente orientare correttamente i diffusori e apporre semplici deflettori; per quanto riguarda il secondo caso il problema è più complesso e richiede dispositivi di interruzione automatica della irrorazione nei diversi settori, che sono ancora ad uno stadio di sperimentazione.

E' sicuramente da eliminare, inoltre, la pessima abitudine di effettuare le voltate senza interrompere l'erogazione.

- *Eccessiva dose distribuita*

Accade spesso che gli agricoltori utilizzino quantità di principio attivo per ettaro non corrette e l'errore nella

maggioranza dei casi è per eccesso. Questa "compensazione di dose" viene adottata soprattutto nella adozione di alti volumi e con macchine obsolete e mal tarabili; le conseguenze negative si riflettono fra l'altro sul costo del trattamento che tende a lievitare e sull'ambiente che risulta più inquinato a causa delle maggiori perdite.

- *Errata concentrazione*

Può essere suddivisa in due parti:

- quella che si verifica all'origine in fase di preparazione della miscela
- l'altra dovuta alla sedimentazione dei prodotti nel serbatoio della irroratrice se questa non risulta dotata di un efficiente sistema di agitazione.

4.2 *Il Fenomeno Deriva*

La perdita di prodotto chimico può essere distinta in due frazioni, la prima delle quali, denominata da alcuni autori *endoderiva*, è rappresentata dalla quantità di prodotto che si disperde nel suolo, mentre la seconda, chiamata *esoderiva*, è costituita dalla quantità di prodotto che si disperde al di fuori dell'area trattata.

L'*endoderiva* si verifica quando si tratta l'intera area di una coltura di pieno campo; parte del getto, infatti, finisce direttamente sul suolo nello spazio interfila.

L'*esoderiva* si verifica quando particelle dalle dimensioni modeste e in sospensione dopo la nebulizzazione non raggiungono in modo diretto e con sufficiente velocità la loro superficie bersaglio, ma proseguono le loro traiettorie trasportate dalle correnti d'aria. Quantitativamente per *esoderiva* si intende la differenza tra la quantità distribuita e la quantità effettivamente depositata all'interno dell'area trattata. Oltre che dalla presenza di goccioline tale deriva è caratterizzata dalla

frazione che passa dallo stato liquido allo stato gassoso e da quella che, combinandosi con particelle di polvere in atmosfera, passa allo stato solido in forma di cristalli o particelle amorfe (Matthews, 1979). La quota di prodotto che evapora e/o cristallizza dipende soprattutto dal tipo di principio attivo presente nel getto ed è quindi di difficile quantificazione. Generalmente, nelle adiacenze della zona trattata, la frazione dominante nella deriva si trova in fase liquida, mentre si può riscontrare solo una piccola parte di particelle solide. Il materiale in sospensione può salire direttamente in strati atmosferici più alti, sospinto da correnti ascensionali, oppure può venire trasportato in linea orizzontale dal vento e coprire distanze rilevanti. E' generalmente quest'ultima frazione ad essere determinante per un diretto inquinamento dell'ambiente, in quanto può depositarsi sulle colture vicine o raggiungere in sospensione acque ed abitazioni.

Deriva ed Evaporazione rappresentano attualmente i problemi più gravi nella irrorazione antiparassitaria con bassi volumi e richiedono attenzioni molto particolari.

I soggetti più a rischio sono gli stessi operatori. E' noto che gocce inferiori a 10 μm entrano facilmente nei polmoni e quelle di 0,5÷0,1 μm vengono rapidamente assorbite dall'organismo. Il pericolo é evidente soprattutto se si pensa che le gocce di diametro inferiore a 100 μm (giudicabili positivamente ai fini del trattamento) evaporano in brevissimo tempo riducendosi facilmente alle dimensioni citate.

Le goccioline che hanno diametri estremamente ridotti (comunque al di sotto degli 80-100 μm) hanno notevoli problemi di evaporazione per il minor

rapporto volume/superficie, oltre che per la minor massa ed inerzia termica.

Logica conclusione sarebbe quindi quella di incrementare il volume di irrorazione proporzionalmente all'incremento della superficie fogliare ed usare ugelli capaci di produrre gocce di dimensioni maggiori.

4.3 I fattori che influenzano il fenomeno di deriva

I fattori che concorrono a causare il fenomeno di deriva e che ne determinano l'intensità sono molti e strettamente correlati tra loro; i principali sono:

- il tipo di composto impiegato (formulato+coadiuvanti+acqua)
- le condizioni meteorologiche predominanti
- le dimensioni delle particelle
- la tipologia della zona da trattare
- il tipo di attrezzatura utilizzata
- la manutenzione e la corretta taratura della macchina irroratrice.
- il comportamento dell'operatore

Nella figura 18 sono illustrate le relazioni fra i diversi fattori e di seguito vengono analizzati alcuni aspetti ancora non approfonditi.



Figura 18 - Fattori interagenti nella deriva e nella evaporazione delle gocce irrorate.

4.3.1 Tipo di composto

Le caratteristiche principali di una miscela antiparassitaria che influenzano il

fenomeno di deriva sono la *Stabilità* e la *Volatilità*. La prima è la capacità di un prodotto di mantenere inalterate nel tempo le sue caratteristiche; è da notare che composti sufficientemente stabili durante lo stoccaggio possono divenire instabili quando vengono dispersi sotto forma di goccioline o di vapore. Ha influenza sulla stabilità di un composto anche la maggiore o minore resistenza di quest'ultimo ai processi di ossidazione o di idrolisi che possono verificarsi in presenza di ossigeno, vapore d'acqua e radiazioni ultraviolette, nonché la velocità con cui ha luogo la degradazione metabolica.

La volatilità di un composto indica la sua tendenza a passare dallo stato liquido a quello gassoso, ovvero la facilità con cui evapora; essa diviene un fattore critico in relazione al passaggio in atmosfera di quantità più o meno rilevanti di principio attivo anche in fasi successive a quelle del trattamento, quando la miscela distribuita già si trova sulla superficie fogliare o sul terreno. Da questo punto di vista i fitofarmaci si possono indicativamente catalogare in tre classi di volatilità a seconda della loro pressione di vapore, come è riportato nella Tabella (11).

| Prodotto | Pressione di vapore |
|----------------------|-------------------------------|
| Volatile | $p > 10^{-3}$ mm Hg |
| Scarsamente Volatile | $10^{-3} > p > 10^{-7}$ mm Hg |
| Non Volatile | $p < 10^{-7}$ mm Hg |

Tabella 11 - Classificazione della volatilità dei fitofarmaci.

I fitofarmaci possono evaporare dalle goccioline del getto, al momento dell'irrorazione, dalle piante, tanto più

quanto maggiore è la superficie fogliare, e dal terreno. E' evidente che tanto maggiori sono i volumi di liquido ed i dosaggi utilizzati e tanto più consistenti saranno le quantità di principio attivo che vengono liberate in aria. I parametri che influiscono sull'evaporazione di un composto, oltre alla pressione di vapore citata in precedenza, sono il suo coefficiente di diffusione, la temperatura di superficie e la quota di ricambio d'aria a livello della superficie interessata. Per i prodotti che vengono somministrati in soluzione acquosa, una forma particolare di dispersione del principio attivo è dovuta all'evaporazione dell'acqua che funge da vettore e trasporta con sé parte del prodotto distribuito.

4.3.2 Le condizioni meteorologiche

La quantità di getto nebulizzato che durante un trattamento raggiunge il bersaglio è influenzata in maniera significativa dalle condizioni climatiche locali; ne consegue quindi, che per capire l'influenza dei fattori meteorologici sul movimento delle gocce è necessario esaminare i parametri climatici relativi alla porzione di atmosfera immediatamente al di sopra del terreno. I principali fattori che influenzano la deriva sono: la temperatura, la velocità e la direzione del vento e l'umidità relativa.

Sulla temperatura dell'aria un ruolo determinante è assunto dalla pressione atmosferica che diminuisce al crescere della quota sul livello del terreno, cosicché, se una massa d'aria si innalza senza acquisire o perdere calore, essa si espande e si raffredda. Generalmente si considera una diminuzione di temperatura di circa 1° C ogni 100 m. di altitudine in aria secca come *Gradiente Termico Adiabatico*. Se la temperatura diminuisce più rapidamente allora si parla di *gradiente termico super adiabatico*. In queste condizioni, una massa d'aria vicina

al suolo riscaldata dai raggi del sole comincerà ad innalzarsi e continuerà a farlo fintanto che conserverà una temperatura maggiore e quindi una densità minore dell'aria circostante. Questi movimenti convettivi di aria portano ad avere un'atmosfera instabile e condizioni di turbolenza anche in giornate apparentemente molto calme.

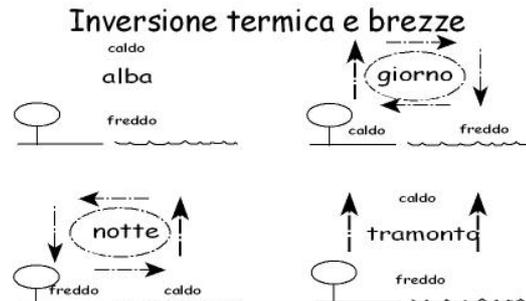


Figura 19 - Schema dei movimenti di turbolenza.

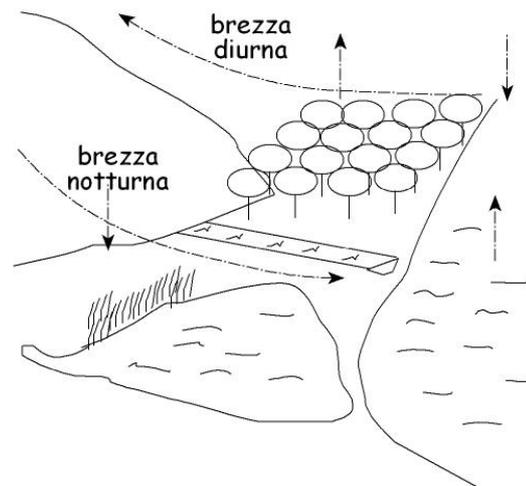


Figura 20 - Andamento delle brezze in zone costiere

Una diminuzione di temperatura inferiore a quella tipica del gradiente termico adiabatico inibisce i movimenti d'aria verso l'alto e rende l'atmosfera assai più stabile. Quando il suolo perde calore per irraggiamento e si raffredda più rapidamente dell'aria soprastante, la temperatura atmosferica aumenta con la quota e si instaurano quindi condizioni di *inversione termica*. Tale fenomeno si verifica tipicamente nelle ore serali, con

cielo limpido dopo calde giornate di sole e può persistere fino a dopo l'alba terminando quando il sole riscalda di nuovo il terreno. Durante le condizioni di inversione termica si ha generalmente presenza di nebbia o di foschia mattutina, la velocità del vento è bassa ed il flusso d'aria assume un andamento uniforme e laminare.

Anche le irregolarità del terreno possono influenzare la stabilità dell'atmosfera, causando mescolamenti di masse d'aria per frizione con conseguente sviluppo di turbolenze. Queste possono generare improvvise folate di vento dalla direzione assai variabile, seguite da momenti di calma. Questo mescolamento di aria può annullare un'inversione termica o spostarla ad una quota più elevata reinstaurando condizioni di instabilità. Anche la presenza stessa di vegetazione, causando resistenza al flusso d'aria è uno dei fattori che influenzano l'attrito superficiale.

4.3.3 Effetto dell'evaporazione sulle gocce

La superficie esterna delle particelle formanti un getto nebulizzato è tanto maggiore quanto minori sono le dimensioni delle gocce. Essa è importante perché determina la quantità di composti volatili che evaporano dal getto; a contatto con l'aria, infatti, l'acqua comincia ad evaporare con una velocità condizionata dalla temperatura dell'aria

stessa, dell'umidità relativa e della superficie esterna delle gocce.

Amsden ha calcolato analiticamente il tempo di vita di una goccia d'acqua soggetta ad evaporazione:

$$t = \frac{d^2}{80\Delta T}$$

dove:

t = Tempo di vita di una goccia [s]

d = Diametro della goccia [μm]

ΔT = Differenza di temperatura tra termometri a bulbo asciutto e bagnato

Le dimensioni di piccole goccioline di un getto a base di acqua si riducono rapidamente, fino ad avere particelle nel campo dimensionale dell'aerosol formate da materiale non volatile; questo fenomeno può avvenire anche in condizioni climatiche temperate di 20° C con l'80% di umidità relativa.

La distanza di caduta teorica che una goccia d'acqua percorre quando è soggetta alla forza di gravità prima che tutta l'acqua sia evaporata è data dalla seguente espressione:

$$d_c = \frac{1,5 \times 10^{-3} d^4}{80\Delta T}$$

dove:

d_c = Distanza di caduta [m]

La Tabella 12 indica i valori del tempo di vita e della distanza di caduta per diverse condizioni climatiche

| Dimensioni iniziali delle gocce (μm) | Temperatura 20°C ΔT 2,2°C Umidità relativa 80% | | Temperatura 30°C ΔT 7,7°C Umidità relativa 50% | |
|---|--|------------------------|--|------------------------|
| | Tempo di vita delle gocce (s) | Distanza di caduta (m) | Tempo di vita delle gocce (s) | Distanza di caduta (m) |
| 50 | 14 | 0,5 | 4 | 0,15 |
| 100 | 57 | 8,5 | 16 | 2,4 |
| 200 | 227 | 136,4 | 65 | 39 |

Tabella 12: Tempi di vita e distanze di caduta in aria ferma per differenti valori di temperatura e umidità relativa.

4.3.4 Effetto della gravità

Una goccia dispersa in aria immobile accelera verso il basso sotto l'effetto del campo gravitazionale finché la sua forza peso non è bilanciata dalla forza d'attrito aerodinamico; a questo punto la sua caduta prosegue con una velocità costante detta *velocità terminale*. Questo valore viene normalmente raggiunto in meno di 25 mm da gocce di diametro inferiore a 100 μm, mentre sono necessari 70 cm per gocce di 500 μm.

La velocità terminale di una goccia è data dalla legge di Stokes:

$$V_t = \frac{g d^2 \rho_g}{18 \eta}$$

dove:

V_t = Velocità terminale della goccia [m/sec]

d = Diametro della goccia [m]

ρ_g = Densità della goccia [Kg/m³]

g = Accelerazione di gravità [m/sec²]

η Viscosità dell'aria [Nsec/m = 10 P (Poise)]

| Diametro delle sfere (μm) | Velocità terminale (m/s) | Tempo di caduta da 3 metri |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1 | 0,00003 | 28,1 ore |
| 10 | 0,003 | 16,9 min |
| 20 | 0,012 | 4,2 min |
| 50 | 0,075 | 40,5 s |
| 100 | 0,279 | 10,9 s |
| 200 | 0,721 | 4,2 s |
| 500 | 2,139 | 1,65 s |

Tabella 13: Velocità terminale e tempi di caduta di sfere in aria immobile

Il fattore più importante che influisce sulla velocità terminale delle gocce è comunque la loro dimensione. La Tabella 13 indica i valori di velocità terminale di sfere di dimensioni diverse; tali valori possono essere considerati validi anche per gocce di liquido in questo

intervallo dimensionale. E' da notare che gocce più grandi tendono ad essere deformate dalle forze aerodinamiche in maniera tale da ridurre il diametro effettivo; in questo caso la loro velocità terminale è inferiore a quella calcolata per sfere di pari diametro.

A causa della loro bassa velocità terminale, le gocce di diametro inferiore a 30 μm impiegano diversi minuti a cadere nell'aria immobile. La Tabella 13 indica il tempo di caduta di sfere lasciate andare da un'altezza di 3 m. Si può vedere come le gocce di piccole dimensioni siano esposte per un lungo periodo all'influenza dei movimenti dell'aria. In condizioni di brezza leggera, come può essere ad esempio un vento di 1,3 m/s parallelo al terreno, una goccia di 1 μm di diametro, dispersa ad un'altezza di 3 m sul bersaglio può percorrere teoricamente una distanza di circa 150 km prima di depositarsi; se consideriamo invece una goccia di 200 μm di diametro, essa può percorrere appena 6 m, ammesso che le sue dimensioni restino costanti.

Considerando che il movimento di una particella da una certa altezza (H) è funzione della velocità del vento (U) e della velocità terminale di caduta, la distanza (S) che questa percorre orizzontalmente è data da:

$$S = \frac{HU}{V_t}$$

4.3.5 Metodi e procedure di controllo della deriva

Gli attuali metodi di ricerca hanno permesso di validare praticamente le esperienze di Jhonstone con rilievi in campo.

L'obiettivo è quello di individuare e definire i parametri che influenzano il fenomeno di deriva al fine di individuare le regole di comportamento e di

taratura della irroratrice; alcune procedure computerizzate permettono già di correlare i parametri già descritti in avvisando l'operatore in caso di elevato rischio di evaporazione e deriva rispetto alla gamma di gocce che si sta impiegando ovvero rispetto al tipo di ugello adottato (Vieri et al. 1998). L'operatore in tale caso può adottare un ugello che produca gocce di gamma superiore sempre che le condizioni atmosferiche lo consentano.

La correlazione fra tipo di ugello, ovvero gamma dimensionale dello spruzzo, e deriva è alla base della classificazione degli spray già definita nella tabella (3) ed i ricercatori stanno lavorando per la definizione di un Indice di Deriva Potenziale (DIX) tipico dell'ugello, cui dovrebbero riferirsi le registrazioni dei PF sia per il tipo di trattamento sia per le condizioni di impiego.

Da quanto esposto si può comprendere sia la delicatezza dei fenomeni in gioco, sia la necessità di adottare assolutamente una corretta pratica operativa e disporre di una macchina in perfette condizioni di taratura. E' sicuramente consigliabile l'adozione di strumentazione in grado di rilevare le condizioni atmosferiche e suggerire all'operatore la taratura più opportuna da adottare fino alle condizioni limite oltre le quali il trattamento non deve essere protratto.

Vi sono comunque anche semplici regole alle quali comunque far riferimento come quelle riportate in tabella 14. Sempre al di sopra di tutte le regole rimane comunque la corretta manutenzione e taratura della macchina irroratrice.

| velocità del vento km/h m/s | descrizione | segni visibili | comportamento operativo |
|-------------------------------------|-----------------|--|--|
| < 2 < 0,5 | calma | il fumo sale verticalmente  | evitare di irrorare in giornate calde e soleggiate |
| 2 + 3,2 0,5 + 0,9 | aria leggera | la direzione del fumo indica la provenienza del vento  | evitare di irrorare in giornate calde e soleggiate |
| 3,2 + 6,5 0,9 + 1,8 | brezza leggera | le foglie ondeggiano e il vento è percepito dalla faccia  | condizioni ideali |
| 6,5 + 9,6 1,8 + 2,7 | brezza moderata | foglie e ramoscelli sono in movimento costante  | evitare di irrorare sostanze molto pericolose |
| 9,6 + 14,5 2,7 + 4 | vento moderato | i rami si muovono, si alza la polvere ed i fogli si disperdono  | evitare l'irrorazione |

Figura 21 - Indicatori naturali per la valutazione delle condizioni di irrorazione.

5 Riferimenti bibliografici

1. Ade G., Rondelli V: (1993). **Analisi delle prestazioni dei diffusori pneumatici per irrorazione.** Atti 5° Convegno Nazionale A.I.G.R. "Il ruolo dell'ingegneria per l'agricoltura del 2000", 11 giugno 1993. Vol.4, 47-51.
2. Balsari P., M.Tamagnone (1998) - *The necessity to determine the correct amount of air to use in airblast sprayer* - atti convegno AgEng Oslo 98, paper n° 98-A-075.
3. Balsari P: (1998). **Attrezzature innovative per la distribuzione dei fitofarmaci alla vite.** Vignevisi 5/98 52-59

4. Betta, A.- Lorenzin, M. **Valutazione della dispersione ambientale di antiparassitari derivante dai trattamenti di difesa delle colture agricole. Quantificazione del rischio per la popolazione generale.**; Ricerca autonoma finalizzata della Provincia Autonoma di Trento.
5. Cesari, A.- Davi, R. -Castagnoli, F.- Flori, P. (1986) **Applicazioni fitoiatriche a "basso volume" con sistemi di distribuzione di tipo elettrostatico**; Atti Giornate Fitopatologiche 1986, 2, pp. 525-534.
6. De Zande Jan (1998). **Outdoor Wind Tunnel and Field Measurements of Spray Drift.** Paper presented at ISO-TC23-SC6/BCPC. Silsoe, 19/10/98.
7. EPPO **Guidelines for reduced volume pesticide application** 2nd edition; European and mediterranean plant protection organization.
8. Goehlich H., H.Ganzelmeier, G.Baecker (1996) - **Air-assisted sprayers for application in vine, orchard and similar crops** - Bulletin OEPP/EPPO - n°26, 53-58.
9. Gubiani R., G.Pergher, N.Zucchiatti (1997) - **Irroratrici efficienti nel vigneto** - Informatore Agrario n°15,79-86.
10. Herbst A., Helck C. (1998) . **A New Method for Determining Drift Potenzial from Field Sprayers.** AgEng98, Oslo 22-24 august 1998, paper 98-A-011.
11. Irla E. (1986) - **Essais comparatifs de pulverisateurs (cultures fruiteres), 1985.** - Rapports FAT n° 293 May 1986.
12. Lind K., (1988) - **Neu Sprüngeräte-Prüfstation aus der Steiermark.** Obstbau - 13, 370-372..
13. Lind K., (1993) - **Prüfstände für Pflanzenschutzgeräteprüfung.** Besseres Obst - 38 (7), 5-7.
14. Matthews, G. A. (1979) **Pesticide application methods**; Longman group limited:1979.
15. Pellizzari g., Dalla Montà L., Duso C. (1989). **Fondamento di Entomologia Agraria.** Liviana Ed.
16. Moltò E., F.Fabaldo, P.Ramos, A. Gutierrez (1998) - **An automatic system for reduction of pesticide inputs in young citrus plantings** - atti convegno EurAgEng Oslo 98, paper n° 98-A-018.
17. Kaul P., K.Schmidt, H.Koch (1996) - **Distribution quality of orchard sprayers** - Bulletin OEPP/EPPO -n°26, 69-77.
18. Kuemmel K., H.Goelich, O.Westphal (1991) - **Development of practice-oriented control test methods for orchard spray machines by a vertical stand.** - BCPC Monograph n° 46, 27 - 33.
19. Pergher G., R.Gubiani (1995) - **The effect of spray application rate and airflow rate on foliar deposition in a hedgerow vineyard** - agric. Engng Res. - n°61, 205-216.
20. Raisgl U., Felber H. (1991). **Comparison of different mistblower and volume rates for orchard spraying.** BCPC Mono n°46 Air Assisted Spraying in Corpo Protection. 135.
21. Randall J.M., (1971). **The Relationship Between Air Volume and Pressure on Spray Distribution in Fruit Trees.** J.Agric.Engng.Res. 16,(1), 1-31.
22. Savi D. (1996) - **Attrezzature per la difesa delle piante: guida alla scelta e al corretto impiego** - ed. l'informatore agrario.
23. Spugnoli P., Vieri M. (1992) - **Dispositivi di controllo della deposizione nelle irroratrici agricole.** - Informatore Fitopatologico (42), 27-32.
24. Siegfried e Hollinger, 1995. Eidg, Forschungsanstal Waden-swil. Urs Raisgl. Field Application Support Ciba. Basilea. Schweiz Zeitschrift Ostb-Weinbau, 6, 144-147.Vieri M. (1996) - **Controlli e tarature nelle macchine per trattamenti** - m&ma n°9, 33-42.
25. Sutton e Unrath, 1984. **Evaluation of th Tree Row Volume with Density Adjustment in Relation to Spray Deposit in Apple Orchard .** Plant Disease, Vol.68, 6, 480-484. -
26. Treflan L. (1985). **Possibilità di valutare la distribuzione dei prodotti antiparassitari in frutticoltura.** M&Ma 5, 17-25
27. Vieri M. A.Parenti, (1994) - **Calibration of orchard sprayers control apparatus** - atti convegno AgEng 94, report n°94-D-157.
28. Vieri M. (1993) - **Automatismi e controlli nelle irroratrici agricole** - m&ma (dossier) - n°3, 45-49.
29. Walklate P.J., K.L.Weiner, (1994) - **Engeneering models of air assistance orchars sprayers, Symposium on engeeneering as a tool reduce pesticide consumption and operator hazards.** - atti convegno di orticoltura Ulvik, Norvegia 10-12 agosto, n°372, 75 - 82.
30. Vieri M. (1998) - **Tecnologie innovative per una gestione integrata delle colture** - Terra e vita n° ,46-53.
31. Vieri M. (1996) - **Controlli e tarature nelle macchine per i trattamenti.**- m&ma 9, 33-42.
32. Vieri M. (1997) - **Distribuzione mirata per le colture arboree.** - m&ma 3, 16-18.
33. Vieri M. (1997) - **Macchine ad alto indice innovativo per una agricoltura avanzata.** - Mondo macchina 1, 12-15.
34. Vieri m. Venturi A., Michelucci S.,(1998) **A software Procedure to Control Spray and Airblast set-up of Orchard and Pest Control Sprayers.** AgEng98, Oslo 22-24 august 1998, paper 98-A-011
35. Zoli M., Vieri M. (1994) - **Forme di allevamento e taratura dell'irroratrice.**- Vignevini 9, 32-35