

Sommario

SOMMARIO	1
RIASSUNTO	5
SUMMARY	7
PREMESSA ED OBIETTIVI	9
CAPITOLO 1	11
TECNOLOGIA DELLE MACCHINE PER LA DISTRIBUZIONE DEI FITOFARMACI	11
IMPOLVERATRICI	12
UMETTATRICI	13
BARRE A GOCCIOLAMENTO.....	14
MACCHINE IRRORATRICI	14
COMPONENTI MECCANICI COMUNI DELLE IRRORATRICI	16
<i>Telaio portante</i>	16
<i>Serbatoio principale</i>	17
<i>Serbatoi e componenti supplementari</i>	19
<i>Pompe</i>	20
<i>Circuito idraulico</i>	22
<i>Sistema di filtrazione</i>	22
<i>Compensatore di pressione idropneumatico</i>	22
<i>Manometro</i>	23
<i>Regolatore di pressione</i>	24
<i>Dispositivi di regolazione ausiliari</i>	24
<i>Sistemi automatici di regolazione della dose</i>	25
<i>Ugelli</i>	28
<i>Ugelli a polverizzazione meccanica</i>	28
<i>Ugelli centrifughi (o rotativi)</i>	33
<i>Ugelli a pressione d'aria</i>	34
<i>Dispositivi antigoccia</i>	35
<i>Ventilatori</i>	37
<i>Convogliatori del getto d'aria</i>	39
BARRE IRRORATRICI	41
IRRORATRICI AD AEROCONVEZIONE (ATOMIZZATORI)	43
IRRORATRICI PNEUMATICHE (NEBULIZZATORI)	44
IRRORATRICI MISTE	45
TECNOLOGIE PER LA DISTRIBUZIONE DEI FITOFARMACI IN COLTURA PROTETTA.....	46
<i>Impianti fissi automatizzati</i>	46
<i>Generatore di aerosol (fogger)</i>	48
<i>Irroratrici a polverizzazione centrifuga (CDA – Controlled Droplet Application)</i>	51
<i>Irroratrici spalleggiate</i>	52
<i>Irroratrici spalleggiate a polverizzazione pneumatica</i>	52
<i>Barre verticali trainate (Trolley)</i>	53
<i>Veicoli semoventi</i>	55
<i>Robots</i>	55

CAPITOLO 2	57
AGROFARMACI E DERIVA	57
<i>L'impiego degli agrofarmaci in Italia</i>	<i>57</i>
<i>Evoluzione normativa sui prodotti fitosanitari.....</i>	<i>58</i>
<i>I prodotti fitosanitari.....</i>	<i>58</i>
<i>Aspetti quantitativi legati alla distribuzione dei fitofarmaci.....</i>	<i>61</i>
<i>Compatibilità fra prodotti fitosanitari.....</i>	<i>61</i>
<i>Classificazione tossicologica dei prodotti fitosanitari</i>	<i>62</i>
<i>Tempo di rientro.....</i>	<i>63</i>
LA "STRATEGIA TEMATICA SULL'USO SOSTENIBILE DEI PESTICIDI"	63
<i>Controllo funzionale delle macchine irroratrici</i>	<i>65</i>
LA RIDUZIONE DELLA CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE DA AGROFARMACI ATTRAVERSO LE BUONE PRATICHE AGRICOLE.....	65
IL FENOMENO DELLA DERIVA NELLA DISTRIBUZIONE DEGLI AGROFARMACI ALLE COLTURE: TECNICHE DI DISTRIBUZIONE A BASSO IMPATTO	69
<i>Il ruolo del tipo di formulato nella generazione della deriva</i>	<i>70</i>
<i>Le condizioni meteorologiche.....</i>	<i>71</i>
<i>Dimensioni delle gocce e potenziale di deriva.....</i>	<i>72</i>
<i>Il volume d'irrorazione</i>	<i>74</i>
<i>Manutenzione e corretta "taratura" della macchina irroratrice</i>	<i>78</i>
TECNOLOGIE INNOVATIVE PER IL CONTENIMENTO DELLA DERIVA	80
<i>Irroratrici a carica elettrostatica</i>	<i>80</i>
<i>L'agricoltura di precisione e la sensoristica nel contenimento della deriva.....</i>	<i>82</i>
<i>Irroratrici a tunnel.....</i>	<i>84</i>
CAPITOLO 3	89
SPERIMENTAZIONE DI UN PROTOTIPO DI IRRORATRICE A TUNNEL NELL'AMBITO DELLA RESTRIZIONE D'IMPIEGO DEL RAME IN VITICOLTURA	89
<i>Descrizione del sito della sperimentazione</i>	<i>89</i>
MATERIALI E METODI	90
<i>Caratteristiche e funzionalità del prototipo.....</i>	<i>90</i>
<i>Valutazione delle perdite a terra e per deriva.....</i>	<i>93</i>
<i>Analisi spettrofotometrica dei dati sperimentali</i>	<i>95</i>
<i>Valutazione dell'efficacia biologica.....</i>	<i>97</i>
RISULTATI	99
<i>Efficienza di distribuzione e contenimento delle dispersioni.....</i>	<i>99</i>
<i>Efficacia biologica</i>	<i>104</i>
CONCLUSIONI	106
CAPITOLO 4	109
MACCHINE E LORO REGOLAZIONE PER UNA DIFESA SOSTENIBILE DELLE COLTURE PROTETTE.....	109
<i>La sicurezza dell'operatore.....</i>	<i>109</i>
<i>Rischi per la salute dell'operatore.....</i>	<i>109</i>
<i>Dispositivi di Protezione Individuale.....</i>	<i>112</i>
LE CARATTERISTICHE DEL COMPARTO DELLA SERRICOLTURA IN VENETO: SINTESI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE SULLE ATTUALI MODALITÀ DI DISTRIBUZIONE DEI PRODOTTI FITOSANITARI	114
<i>Obiettivi dell'indagine</i>	<i>116</i>
SPERIMENTAZIONE CONDOTTA NEL SECONDO ANNO.....	122
<i>Descrizione del sito della sperimentazione</i>	<i>122</i>
MATERIALI E METODI	123

RISULTATI OTTENUTI	126
CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI	131
CAPITOLO 5.....	133
VALUTAZIONE DELL'INDICE DI DERIVA POTENZIALE (DIX) DI UGELLI A VENTAGLIO IN GALLERIA DEL VENTO	133
DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI DERIVA POTENZIALE (DIX, DRIFT POTENTIAL INDEX)	133
MATERIALI E METODI	135
<i>Analisi quantitativa mediante fluorimetria</i>	135
<i>La galleria del vento JKI</i>	137
<i>Determinazione dei depositi fogliari</i>	143
RISULTATI OTTENUTI	143
CONCLUSIONI	150
APPENDICE A	151
ANALISI STRUMENTALE: LA SPETTROSCOPIA DI ASSORBIMENTO	151
<i>Analisi quantitativa</i>	151
APPENDICE B	157
IL TUNNEL DEL VENTO	157
<i>Gallerie a ciclo aperto</i>	157
<i>Gallerie a ciclo chiuso</i>	158
<i>Componenti</i>	159
BIBLIOGRAFIA CITATA E CONSULTATA	163

Riassunto

Il presente lavoro di tesi di dottorato ha avuto come obiettivo lo studio ed il confronto delle tecnologie disponibili per il miglioramento dell'efficienza d'impiego dei fitofarmaci, con particolare riferimento al contenimento della deriva, alla salvaguardia ambientale e della salute. L'approccio adottato è stato quello di affrontare alcuni casi di studio che hanno riguardato l'impiego di un prototipo d'irroratrice a tunnel (o a recupero di prodotto) per la difesa della vite, la valutazione del potenziale di deriva di diverse tipologie di ugelli a ventaglio in galleria del vento e lo studio delle tecniche di distribuzione dei fitofarmaci alle colture orticole protette.

Con riferimento alle tecnologie disponibili per la riduzione della deriva nei trattamenti alla vite sono state valutate le prestazioni di un prototipo di irroratrice a tunnel di nuova concezione dal punto di vista del sistema di contenimento delle dispersioni. Oltre all'aspetto dell'efficienza di distribuzione e della riduzione degli sprechi è stata valutata, in collaborazione con il Servizio Fitosanitario Veneto, l'efficacia biologica dei trattamenti sulla Peronospora della vite [Plasmopara viticola (Berl et Curt) Berl. et De Toni]. Le prove sperimentali hanno evidenziato le buone prestazioni della macchina rispetto ai vari aspetti presi in esame, permettendo nel contempo di ridurre la dose di rame applicata senza compromettere l'efficacia fitoiatrica.

Il secondo caso di studio ha riguardato le tecniche di distribuzione dei prodotti fitosanitari in coltura protetta. Preliminarmente è stata condotta un'indagine conoscitiva presso aziende orticole venete nelle zone in cui è maggiormente diffusa la serra. È stato quindi possibile individuare le tipologie di macchine maggiormente diffuse ed adottate per i trattamenti a tale metodo di coltivazione, e le specie orticole più coltivate. La lancia a mano, nelle varianti "lunga" e "corta" (pistola), è risultata essere l'attrezzatura più utilizzata con oltre il 55% di impieghi rispetto al totale dei dispositivi rilevati. Su tale base è stata condotta, presso il Centro Sperimentale Ortofrutticolo "Po di Tramontana" una valutazione comparativa su pomodoro fra le suddette tipologie e, all'interno della stessa, tra parametri funzionali (pressioni di esercizio, direzione dei getti) per individuare le soluzioni d'impiego più idonee onde ridurre gli effetti tossici sugli operatori ed ottimizzare i depositi sulla vegetazione minimizzando nel contempo le perdite di sostanze attive.

Durante il periodo di formazione all'estero si è avuta l'opportunità di condurre misurazioni volte alla determinazione del potenziale di deriva di varie tipologie di ugelli a ventaglio, inclusi alcuni comunemente adottati nella nostra Regione per i trattamenti su colture erbacee in pieno campo ed in coltura protetta (tradizionali e a doppia fessura) ed altri

anti-deriva (ad inclusione d'aria e a specchio). Successivamente si sono condotti dei test presso il laboratorio di Meccanica agraria del Dipartimento Te.S.A.F. volti alla valutazione dei depositi e della qualità di distribuzione su piante di lattuga da cespo e bieta da foglia. Dai risultati delle due serie di test è stato possibile ottenere un quadro contenente le soluzioni tecniche più idonee per ridurre gli effetti negativi sulla deriva, con buoni risultati in termini di qualità della distribuzione.

Summary

This Ph.D. thesis had as a task the study and the comparison of the available technologies to increase pesticide application efficiency, dealing particularly with drift mitigation, environmental preservation and human health care. The way adopted to do that was to inspect some study cases dealing with the use of a recycling sprayer prototype for vineyard spray, the study of spray application techniques on greenhouse crops and the evaluation of spray drift potential of several nozzles in a wind tunnel.

With regard on drift mitigation technologies available for vineyard spray, performances of a tunnel sprayer prototype were evaluated. That was characterized by an innovative drift restraint system. Besides distribution efficiency and reduction of losses, biological efficacy against downy mildew [*Plasmopara viticola* (Berl et Curt) Berl. et De Toni] was evaluated in co-operation with the Regional Observatory of Plant Disease of Veneto. Experimental tests showed good performances of the prototype on the different examined aspects, showing a proper reduction of applied dose of copper without affect biological effectiveness.

The second study case dealt with pesticide application techniques on greenhouse crops. Preliminary a survey was accomplished in Veneto on horticultural farms in which greenhouse cultivation is widespread. Thus it was possible to outlook the most widespread and adopted application equipments for this cultivation technique, and the most cultivated crops. Spray lance and gun resulted the most used distribution equipments with more than 55% on the amount of retrieved sprayers. Considering that, a comparative evaluation was carried out on tomato (c/o Experimental Station "Po di Tramontana") using those equipments and different functional parameters (operative pressure, nozzle type) with the aim to identify proper solutions to reduce operator contamination and optimize deposits, minimizing at the same time active substance losses.

During the study period abroad, it was possible to perform some drift measurements to evaluate the Drift Potential Index (DIX) of several types of nozzles, including some normally used in our Region for pesticide application on field and greenhouse crops (flat fan and double flat fan nozzles) and some anti-drift (air induction and deflecting nozzles). In a second step some trials were performed in the Laboratory of Agricultural Mechanics of Department Te.S.A.F. to evaluate the deposit quality distribution on lettuce and leaf beet plants. From the results of the two series of trials, it was possible to identify better technical solutions to propose and properly adopt to reduce environmental hazards and obtain good results on distribution quality.

Premessa ed obiettivi

Nel corso degli ultimi decenni i problemi di inquinamento e di deterioramento delle risorse naturali sono andati progressivamente aggravandosi. Ciò ha prodotto una intensificazione delle iniziative di politica ambientale, sia a livello nazionale che internazionale, in quanto sono ormai evidenti da un lato la crisi del rapporto tra sviluppo e limitatezza delle risorse e dall'altro la necessità di perseguire il cosiddetto sviluppo sostenibile, ossia uno sviluppo in grado di garantire una certa qualità della vita ed il rispetto delle generazioni future.

Questa crescente attenzione verso le tematiche della salvaguardia ambientale, legata agli aspetti della sicurezza degli operatori e di coloro che fruiscono dei prodotti e dei servizi dell'attività agricola, induce a riflettere su cosa fin ora è stato fatto e cosa ancora sia possibile fare per ridurre i rischi legati alla distribuzione di prodotti fitosanitari per gli addetti al settore agricolo, e per contenere il più possibile la contaminazione dell'agro-ecosistema nelle sue parti costitutive (suolo, fauna, flora, ecc.) e ad esso connesse (atmosfera, risorse idriche).

Sembra evidente che allo stato attuale la difesa delle colture dai parassiti, animali o vegetali che siano, non possa escludere totalmente i mezzi chimici, sia per ragioni tecniche legate all'efficacia dei trattamenti, che per ragioni economiche connesse alla sostenibilità dei processi produttivi di alcune colture. Infatti la difesa dai parassiti è fra i maggiori, se non il maggior fattore determinante nelle attività produttive agricole; è sicuramente quello che richiede il più alto livello di controllo e di tempestività: in molti casi l'impiego in manodopera, macchine e prodotti fitosanitari per questa operazione rappresenta la voce più elevata nell'insieme dei costi di produzione.

D'altro canto la buona riuscita del trattamento fitoiatrico non è da valutarsi solo in termini di abbattimento del parassita ma, in senso lato, deve tener conto anche di altri fattori che riguardano l'ambiente circostante; infatti un trattamento fitoiatrico che ha eliminato il parassita ma che, nel contempo, ha creato danni all'ambiente, alle coltivazioni vicine, ad insetti utili o all'uomo, è da ritenersi completamente e colpevolmente dannoso (Ferrari et al., 1999).

I numerosi provvedimenti adottati a livello europeo, che tendono a regolamentare l'impiego di principi attivi di sintesi, ponendo dei limiti restrittivi per alcune sostanze di dimostrata nocività, perseguono l'obiettivo di conciliare efficacia del trattamento e sicurezza per l'uomo e l'ambiente. Tuttavia gli effetti di tali provvedimenti possono comportare conseguenze inattese. Come emerge da un recente studio pubblicato dall'EuroCARE

(European Centre for Agricultural, Regional and Environmental Policy Research) (2008), che prende in considerazione tra gli altri i risultati dell'Istituto di Ricerca italiano Nomisma, la nuova normativa comunitaria in fase di discussione presso l'Europarlamento di Bruxelles, che ridurrà drasticamente la possibilità di utilizzo di alcuni agrofarmaci da parte degli agricoltori europei, potrebbe portare a un calo di produzione in Europa per tutte le principali colture (frumento, patate, cereali e uva da vino). Ciò comporterebbe quindi la riduzione dei raccolti e il relativo aumento dei prezzi, e metterebbe in pericolo il ruolo dell'UE come esportatrice di colture chiave a vantaggio di altri paesi.

In questo contesto il ruolo delle tecnologie meccaniche applicate alla difesa delle piante assume un'importanza strategica nel definire quel *trait d'union* tra efficacia fitoiatrica e sicurezza d'impiego. È stato ampiamente dimostrato infatti che le soluzioni tecniche impiegabili nella distribuzione hanno permesso di ridurre progressivamente nel tempo la quantità di sostanze chimiche di sintesi immesse nell'ecosistema agricolo, aumentando nel contempo l'efficacia dei trattamenti. Un esempio su tutti è rappresentato dall'applicazione di principi fitoiatrici su colture arboree mediante l'impiego di irroratrici a tunnel che permettono di ridurre notevolmente il fenomeno della deriva.

Il presente lavoro di tesi di dottorato ha avuto come obiettivo lo studio ed il confronto delle tecnologie disponibili per il miglioramento dell'efficienza d'impiego dei fitofarmaci, con particolare riferimento al contenimento della deriva, alla salvaguardia ambientale e della salute. L'approccio adottato è stato quello di affrontare alcuni casi di studio che hanno riguardato l'impiego di un prototipo d'irroratrice a recupero di prodotto per la difesa della vite, la valutazione del potenziale di deriva di diverse tipologie di ugelli a ventaglio in galleria del vento e lo studio delle tecniche di distribuzione dei fitofarmaci alle colture orticole protette. Attraverso una valutazione comparativa fra le attrezzature ordinariamente utilizzate nei diversi contesti esaminati, ci si è proposto di individuare delle soluzioni tecniche migliorative rispetto a quelle più comunemente adottate, in grado fornire vantaggi apprezzabili sotto il profilo dell'efficienza e della qualità di distribuzione e conseguenti riflessi positivi sulla sostenibilità ambientale dei trattamenti.

I margini di miglioramento vengono comunque ampliati continuamente dalla ricerca e dagli sviluppi tecnologici che da essa derivano. Pertanto è verosimile pensare che dalla tecnologia potranno derivare nel prossimo futuro strumenti sempre più efficienti, che permetteranno di ridurre ulteriormente l'impatto ambientale dell'attività produttiva nel settore primario.

Capitolo 1

TECNOLOGIA DELLE MACCHINE PER LA DISTRIBUZIONE DEI FITOFARMACI

Tra le macchine per la difesa antiparassitaria, le irroratrici rappresentano attualmente la tipologia più diffusa (fig. 1.1). Queste attuano la distribuzione del fitofarmaco, previa diluizione in un idoneo volume d'acqua, suddividendo la miscela fitoiatrica così ottenuta in piccole gocce che coprono in maniera uniforme il bersaglio da trattare. Come si noterà leggendo oltre, alla loro descrizione si è rivolta particolare impegno essendo l'oggetto del presente studio.

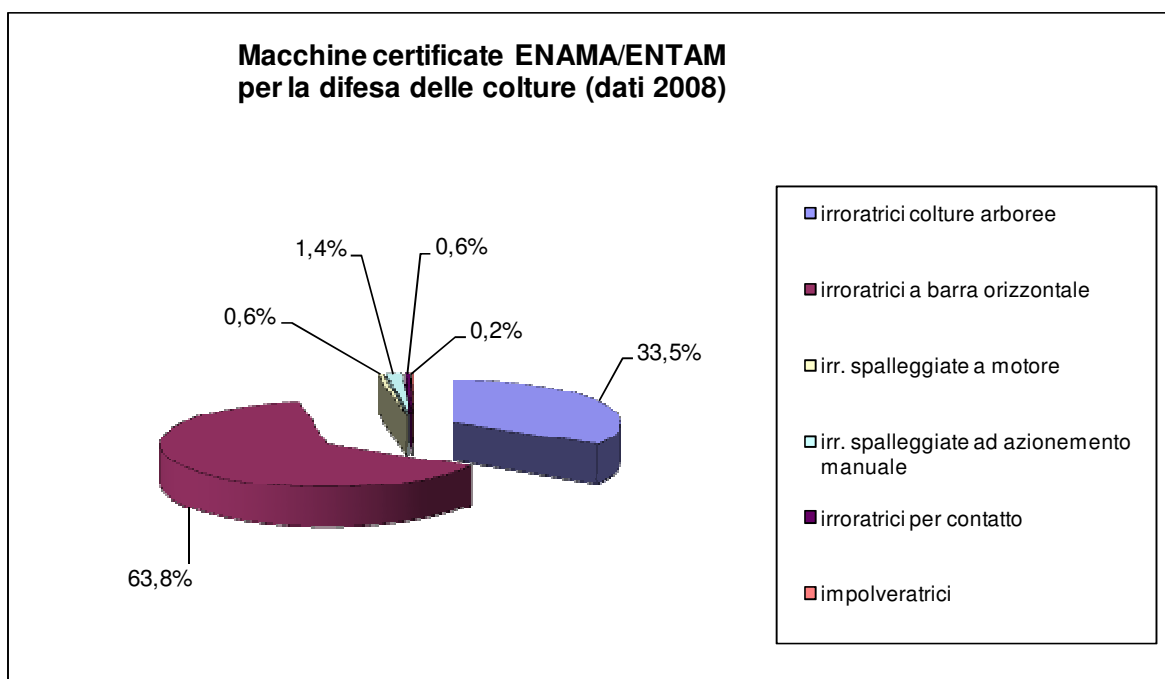


Fig. 1.1 – Dati sulle certificazioni¹ ENAMA indicativi della ripartizione per tipologia delle attrezzature per la difesa delle colture

¹ Le macchine agricole, così come tutte le tipologie di macchine immesse sul mercato europeo, devono ottemperare ai requisiti di sicurezza previsti dalla Direttiva Macchine (2006/42/CE). Tale direttiva prevede che i produttori di macchine certifichino il rispetto dei requisiti minimi di sicurezza e salute per gli utilizzatori. A fronte di ciò sulla macchina viene apposto il marchio CE. L'Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola (ENAMA) mette a disposizione dei costruttori di macchine agricole uno strumento di garanzia e tutela per l'utilizzatore di poter scegliere un mezzo meccanico idoneo alle proprie esigenze aziendali consultando e confrontando i risultati del rilievo delle prestazioni. La certificazione ENAMA può essere richiesta volontariamente dal costruttore e conferisce alla macchina un valore aggiunto supplementare. Essa prevede che la macchina venga sottoposta a specifiche prove e che risponda ai requisiti previsti dalle norme nazionali ed internazionali (ISO, EN, ecc.) sulle caratteristiche tecniche, la funzionalità, la sicurezza, ecc. Al superamento di dette prove viene apposto sulla macchina un marchio di certificazione dell'ente e i risultati vengono pubblicati in un documento ufficiale scaricabili da internet completo di una descrizione dettagliata delle caratteristiche costruttive, prestazioni e di sicurezza. La validità del certificato è di cinque anni salvo

Una seconda tipologia di macchine per la difesa delle colture è rappresentata dalle impolveratrici, macchine progettate per la distribuzione di principi attivi polverulenti. Tale tipologia è poco diffusa nel nostro paese e viene impiegata prevalentemente per la difesa della vite. Un'ulteriore categoria è rappresentata dalle umettatrici, dette anche irroratrici per contatto, anch'esse poco diffuse così come le barre a gocciolamento, utilizzate per il diserbo. Queste macchine esulano dagli obiettivi del presente studio, pertanto ci si limiterà ad una mera trattazione schematica, per la quale si rimanda ai sottoparagrafi dedicati, mentre si farà chiaro riferimento alle macchine irroratrici vere e proprie altrimenti dette polverizzatori.

Impolveratrici

Le impolveratrici sono macchine progettate per la distribuzione di presidi per la difesa delle colture in forma polverulenta (fig. 2.1). La loro diffusione è sostanzialmente legata all'impiego dello zolfo formulato come polvere secca per la difesa della vite contro l'oidio [*Uncinula necatrix* (Schw.) Burr.]. Possono essere di tipo portato o trainato e sono costituite da un telaio portante in acciaio (con o senza ruote) su cui alloggiavano una tramoggia per le polveri, un ventilatore centrifugo e degli organi di adduzione e distribuzione. Le polveri possono essere caricate elettricamente od umidificate da appositi dispositivi per aumentarne l'adesività sui vegetali. Alle macchine tradizionali, con sistema di distribuzione di tipo meccanico (per caduta), da qualche anno si sono affiancate impolveratrici con sistemi di regolazione della dose a coclee (estrazione forzata della polvere) o per azione di una corrente d'aria (sistema pneumatico) che hanno permesso di migliorare l'efficienza di distribuzione in termini quantitativi e qualitativi oltre all'efficacia biologica (Balsari et al., 2000; Balsari e Marucco, 2001).

modifica delle norme di riferimento. Le prove si svolgono presso centri prova autorizzati dall'Ente e secondo precisi protocolli di prova. Grazie agli accordi fra ENAMA ed ENTAM (European Network for Testing of Agricultural Machines) la certificazione viene riconosciuta anche in numerosi paesi europei aderenti al network.



Fig. 2.1 – Impolveratrice pneumatica di tipo trainato

Umettrici

Le umettatrici o irroratrici per contatto sono macchine caratterizzate da un sistema di distribuzione per contatto (fig. 3.1). La selettività della distribuzione si ottiene per differenza di altezza fra la coltura e l'infestante, la quale deve essere più alta della coltura stessa.

Il sistema di erogazione del liquido è costituito da un filo di materiale assorbente chiuso ad anello che si muove, mediante un apposito sistema di carrucole di rinvio, nella parte inferiore della barra. Durante il suo movimento il filo viene fatto passare all'interno di un serbatoio contenente la soluzione erbicida; in questo modo il filo si impregna del liquido da distribuire. La distribuzione dell'erbicida sulla pianta infestante avviene grazie al contatto di quest'ultima con il filo. Il movimento del filo avviene grazie ad un motore elettrico.



Fig. 3.1 – Umettatrice trainata con ruote in ferro per l'utilizzo in risaia

Barre a gocciolamento

Le barre a gocciolamento sono apparentemente molto simili alle barre irroratrici propriamente dette ma, a differenza di queste, presentano una pompa a bassissima pressione ed una barra nella quale sono posizionate delle tubazioni rigide in materiale plastico sulle quali sono praticati dei forellini distanziati fra loro di 20-25 mm. A pressioni di 0,5-1 bar viene erogato il liquido che esce dai forellini sotto forma di getti sottili. Il peculiare vantaggio di questo tipo di barre è l'assoluta assenza di deriva anche in condizioni di sensibile ventosità, fatto che le rende idonee all'impiego per il diserbo in vigneti e frutteti senza correre il rischio di danneggiare le colture.

Macchine irroratrici

Uno dei concetti che sembra si stiano affermando, soprattutto nelle macchine irroratrici, è l'identificazione dell'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 (Demaldè, 2008). La tipologia di macchina più idonea sarà diversa a seconda che si debbano attuare trattamenti di copertura (come un diserbo), interventi "in volume" come la disinfezione di un magazzino o di una serra, oppure trattamenti che

prevedano la penetrazione della miscela all'interno di un volume vegetale come l'irrorazione di un vigneto.

Data la molteplicità degli schemi costruttivi e dei principi di funzionamento delle irroratrici si rende necessario ricorrere a dei sistemi di classificazione per chiarire maggiormente le loro caratteristiche e modalità d'impiego. Uno dei più utilizzati è quello che le suddivide in base alla modalità di polverizzazione della miscela (frantumazione della vena liquida) e del trasporto delle gocce sulla vegetazione.

Irroratrici a getto proiettato

Le irroratrici classiche sfruttano l'energia generata da una pompa che mette in pressione la miscela antiparassitaria, per imprimere alle goccioline che si generano passando attraverso un ugello idraulico, l'energia necessaria a raggiungere il bersaglio da trattare. Le tradizionali barre per i trattamenti alle colture erbacee ed il diserbo costituiscono un classico esempio di irroratrice a getto proiettato. A questa tipologia vengono ricondotte anche le lance a mano che ancor oggi vengono diffusamente impiegate nei trattamenti alle colture orticole sia in serra che in pieno campo e che in passato furono largamente utilizzate per i trattamenti alle colture arboree, in particolare su vite. Inoltre, come è noto, le prime irroratrici per colture arboree differivano da quelle per colture erbacee solo per la posizione verticale della barra.

Come si diceva la frantumazione della vena fluida avviene come diretta conseguenza della pressione e della velocità d'uscita del getto. La popolazione di gocce che si genera può essere caratterizzata da diametri molto differenti (50 – 450 μm) in funzione della pressione di esercizio (alta, media, bassa), della conformazione e della sezione dell'orifizio dell'ugello, delle proprietà chimico-fisiche della miscela erogata (viscosità e tensione superficiale). La maggior parte delle popolazioni di gocce si caratterizza per diametri medi che sono attorno a 200 – 300 μm .

Questa tipologia di irroratrici presenta consumi d'acqua elevati e conseguenti forti perdite di miscela. Ciò è dovuto al fatto che la traiettoria delle gocce è rettilinea e la loro gittata è funzione della massa, per cui le gocce di dimensioni più piccole tenderanno ad originare perdite per mancanza di sufficiente inerzia da raggiungere il bersaglio (perdite a terra o per deriva), mentre le gocce più grandi, pur raggiungendo la vegetazione, potranno facilmente generare scorrimento e gocciolamento dalla vegetazione, essendo comunque dotate di scarsa capacità di penetrazione. Sono macchine sconsigliabili per trattamenti insetticidi e fungicidi, ma che comunque trovano spazio d'impiego perché semplici, leggere, poco costose e parsimoniose dal punto di vista dell'assorbimento di potenza.

A partire dagli anni 80 sono state introdotte i primi modelli di irroratrici rotative nelle quali l'apparato eiettore è comunque ad un solo fluido, ma la polverizzazione è affidata alla

forza centrifuga. A causa del loro elevato costo e della loro complessità costruttiva, con conseguente maggior richiesta di manutenzione, hanno trovato scarsa diffusione.

Irroratrici a getto portato

Sono macchine con apparato eiettore a due fluidi: uno rappresentato dalla miscela fitoiatrica, l'altro dall'aria che ha lo scopo di trasportare le gocce sulla vegetazione.

Le principali tipologie d'irroratrice che rientrano in questo gruppo sono:

- irroratrici ad aeroconvezione (comunemente dette atomizzatori), caratterizzate da polverizzazione meccanica per pressione e trasporto delle gocce in corrente d'aria;
- irroratrici pneumatiche (dette anche nebulizzatori), caratterizzate da polverizzazione e trasporto della miscela attuate dal flusso d'aria;
- irroratrici miste o a polverizzazione mista, in cui la polverizzazione è in parte affidata agli ugelli ed in parte alla corrente d'aria, che realizza anche il trasporto delle gocce sul bersaglio;
- irroratrici ad aeroconvezione centrifughe, in cui la polverizzazione è attuata da particolari dispositivi chiamati ugelli centrifughi o rotativi ed il trasporto avviene a mezzo dell'aria;
- generatori di aerosol (in inglese foggers) in cui la polverizzazione può essere di tipo misto ed il trasporto attuato da un secondo fluido eiettato.

Prima di passare a descrivere con maggiore dettaglio le caratteristiche funzionali delle macchine per i trattamenti alle colture arboree ed erbacee si rende necessaria una preliminare descrizione dei principali componenti meccanici che le caratterizzano. Inoltre, poiché l'attività sperimentale ha interessato l'ambito della distribuzione dei prodotti fitosanitari in serra, ci si soffermerà nella descrizione delle attrezzature impiegate nella difesa delle colture protette.

Componenti meccanici comuni delle irroratrici

Telaio portante

Il telaio è l'elemento atto a supportare il serbatoio, la pompa, il sistema di erogazione e gli altri accessori. Può essere dotato di ruote o meno a seconda che la macchina sia trainata/semiportata o portata. L'accoppiamento al trattore avviene rispettivamente mediante timone sterzante o attacco a tre punti.

Le principali doti richieste ad un telaio sono la robustezza alle sollecitazioni, la leggerezza e la resistenza al contatto con i prodotti chimici. Il materiale più utilizzato per la

costruzione di questo elemento è l'acciaio, ma per ottenere strutture particolarmente leggere vengono impiegate anche leghe di alluminio.

Serbatoio principale

Le caratteristiche di robustezza e resistenza a corrosione dell'acciaio inossidabile rendono questo materiale relativamente adatto anche per la realizzazione dei serbatoi della miscela antiparassitaria. La vetroresina, materiale più leggero e meno costoso, attualmente trova ancora impiego nella realizzazione di questi componenti, ma il polietilene ed il poliestere rinforzato con fibra di vetro sono i materiali più comuni poiché integrano una buona resistenza meccanica con una notevole resistenza all'attacco delle sostanze chimiche, oltre alla facilità di lavorazione e a costi contenuti (fig. 4.1).

Il serbatoio principale può avere capacità diverse a seconda che la macchina su cui è montato sia di tipo portato (da 150 a 600 l), trainato (da 600 a 3000 l) o semovente (oltre 3000 fino a 6000 l).

È intuitivo che in presenza di serbatoi con elevata capacità, l'autonomia di irrorazione è proporzionalmente maggiore ed i tempi accessori dovuti alle operazioni di riempimento e trasferimento si riducono con positive ripercussioni sui costi e sulla tempestività d'intervento.

Dal punto di vista della sicurezza ambientale ed operativa, riveste particolare importanza la conformazione interna del serbatoio che deve essere sagomato in maniera da non favorire la sedimentazione della miscela e la formazione di depositi residui dopo lo svuotamento ed il lavaggio. Deve inoltre essere possibile l'intero svuotamento in qualsiasi condizione d'impiego.

Il boccaporto di riempimento deve essere abbastanza grande ed accessibile per agevolare l'operatore soprattutto nelle fasi di preparazione della miscela, oltre a facilitare le operazioni di manutenzione. Per il riempimento esistono sistemi che consentono di attingere l'acqua direttamente da corpi idrici *in situ* come fossi, canali, bacini d'accumulo artificiali, ecc.. Questi sono comunemente rappresentati da idroiniettori o da pompe centrifughe. I primi sono dispositivi che sfruttano la depressione che si crea nel tratto a sezione conica di una condotta in cui il liquido è messo in pressione dalla pompa di aspirazione dell'irroratrice. La pompa invia il fluido attraverso un tubo collegato ad un dispositivo così realizzato:

- un primo Venturi per aumentare la velocità' del liquido (restrizione del diametro del tubo);
- un piccolo tubo connesso ad una sorgente d'acqua;
- un secondo Venturi che diminuisce la velocità del liquido (il diametro del tubo aumenta nuovamente).

Nel tratto di tubo ristretto la depressione che si realizza aspira il liquido dal tubo collegato alla sorgente. Come il fluido lascia il restringimento, la pressione aumenta ritornando al valore costante della tubazione principale.

Le seconde sono comuni pompe centrifughe autoadescanti che vengono impiegate per ridurre i tempi di riempimento su macchine dotate di serbatoio con capacità superiore a 1000 l.

La visualizzazione della quantità di liquido presente nel serbatoio è resa possibile dalla presenza di indicatori di livello che devono essere sufficientemente precisi e facilmente leggibili dal posto guida.

I più comuni sono:

- fasce trasparenti graduate, con livelli stampati direttamente sul serbatoio;
- tubi graduati trasparenti esterni, che sfruttano il principio dei vasi comunicanti per indicare la quantità di liquido presente;
- galleggianti interni, collegati ad un indicatore graduato esterno al serbatoio o collegati ad un display a led montato nella cabina del trattore.



Fig. 4.1 –Particolare dell'indicatore di livello in un serbatoio in polietilene

Altro elemento che riveste un ruolo fondamentale nel garantire una concentrazione costante del principio attivo durante tutto il trattamento, specie per polveri bagnabili, è il sistema di agitazione della miscela, che può essere:

- meccanico: realizzato mediante eliche o alberi dotati di pale, generalmente posti orizzontalmente sul fondo del serbatoio, il cui moto viene derivato dalla p.d.p. del trattore;

- idraulico: utilizza una parte della miscela messa in pressione dalla pompa che non venendo erogata, rientra nel serbatoio dal circuito di ritorno;
- idromeccanico: la movimentazione della miscela viene attuata da una turbina azionata dalla p.d.p.;
- idropneumatico: il liquido inviato nel serbatoio trascina con se anche aria tramite un iniettore;
- pneumatico: si invia aria compressa direttamente nella parte inferiore del serbatoio;
- integrato: più sistemi (fig. 5.1) si integrano per migliorare l'agitazione (es. idraulico e meccanico).

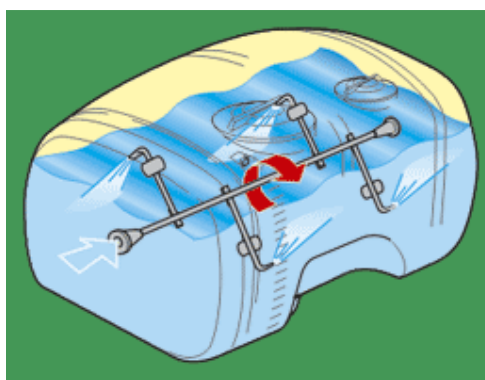


Fig. 5.1 – Sistema di agitazione di tipo integrato meccanico-idraulico (brevetto CIMA)

I sistemi meccanici, a fronte di una maggior complessità costruttiva, non influenzando sulla portata della pompa consentono un idoneo dimensionamento della stessa e permettono di ottenere una buona agitazione. Nella pratica sono poco diffusi.

Nei sistemi idraulici, al fine di ottenere un'ottimale livello di agitazione, la quantità di liquido di ritorno nel serbatoio non deve essere inferiore al 10% della sua capacità complessiva per minuto d'esercizio della pompa.

I sistemi di agitazione pneumatico ed idropneumatico presentano lo svantaggio di promuovere la formazione di abbondante schiuma nel serbatoio, fenomeno che se non viene contrastato con l'aggiunta di additivi antischiuma alla miscela, può provocare cadute di pressione durante il trattamento e conseguenti sottodosaggi di ingrediente attivo distribuito.

Serbatoi e componenti supplementari

Attualmente a corredo del serbatoio principale sono previsti dalla nuova normativa in materia di sicurezza e si stanno diffondendo, serbatoi complementari, integrati o esterni, contenenti acqua pulita. Un serbatoio ausiliario "lava mani" per le esigenze di pulizia e lavaggio dell'operatore che entrasse accidentalmente a contatto con i prodotti chimici per i

trattamenti; un secondo serbatoio (di capacità almeno pari al 10% di quello principale) per la pulizia del circuito idraulico e del serbatoio principale direttamente in campo dopo il trattamento ed eventualmente per la pulizia esterna della macchina (in tal caso sono presenti anche lance o spazzole).

Quando è presente un serbatoio di premiscelazione sono disponibili parallelamente tubi di aspirazione per polveri e liquidi e congegni di lavaggio imballaggi. Gli accessori e gli automatismi per una maggiore sicurezza durante la fase di preparazione della miscela rappresentano indubbiamente un'innovazione di notevole importanza e costituiscono un investimento che apporta benefici di carattere economico, ambientale, di sicurezza per la salute dell'operatore ed operativo. Basti pensare che i dispositivi di lavaggio degli imballaggi consentono di recuperare quell'1-3% di formulato che altrimenti rimarrebbe inutilizzato. Di conseguenza anche lo smaltimento delle confezioni di fitofarmaco presenta minori rischi dal punto di vista ambientale. L'operatore lavora in piena sicurezza e la premiscelazione avviene in modo più accurato con maggior omogeneità della miscela ed un'ottimale funzionalità dell'intero impianto.

Pompe

Nelle macchine irroratrici la pompa è l'organo deputato al trasporto della miscela dal serbatoio ai punti di erogazione ed in genere, per il suo azionamento si ricorre alla p.d.p. della trattrice e all'albero cardanico.

Nelle irroratrici le pompe utilizzate possono essere alternative o centrifughe.

Le pompe alternative a pistoni (fig. 6.1), ormai poco diffuse, sono utilizzate quando è necessario raggiungere pressioni di esercizio elevate, superiori ai 40 bar. La portata può variare da 20 a 200 l/min. gli organi a contatto con la miscela devono essere costruiti con materiali anticorrosione (bronzo, ceramica, acciaio inox, ecc.).



Fig. 6.1 – Pompa alternativa a pistoni (Bertolini Pumps)

Nelle pompe a pistone-membrana (fig. 7.1) è presente una membrana, interposta fra organi metallici in movimento e liquido, che garantisce una maggior protezione contro l'azione corrosiva dei composti chimici della miscela e prestazioni inalterate nel tempo. Il vantaggio di questa soluzione è l'assoluta impermeabilità ottenuta con l'eliminazione dello scorrimento tra parti. La velocità di rotazione è piuttosto elevata per compensare la ridotta corsa dei pistoni, imposta dal limitato grado di deformabilità della membrana, che costituisce l'organo pompante. Le più diffuse sono del tipo a tre membrane. Le pressioni massime d'esercizio possono arrivare a 40 – 50 bar, anche se, in genere, si adottano valori notevolmente più bassi, mentre le portate sono dell'ordine di 25 – 30 l/min per ciascun cilindro.



Fig. 7.1 – Pompa a tre membrane (Bertolini Pumps)

Le pompe centrifughe utilizzano l'effetto centrifugo per movimentare il liquido e aumentare la sua pressione. All'interno di una camera ermetica dotata di entrata ed uscita (coclea o voluta) gira una ruota palettata (girante), il vero cuore della pompa. La girante è l'elemento rotante della pompa che converte l'energia del motore in energia cinetica (la parte statica della pompa, cioè la voluta, converte invece l'energia cinetica in energia di pressione). La girante è a sua volta fissata all'albero-pompa, calettato direttamente all'albero di trasmissione del motore o accoppiato ad esso tramite accoppiamento rigido. Nelle macchine irroratrici vengono utilizzate pompe per basse pressioni di esercizio (2 – 12 bar) e si tratta di pompe monostadio (ad una sola girante). Dal momento che le loro caratteristiche costruttive

danno luogo a portate elevate, sono anche impiegate come pompe ausiliarie sulle macchine di maggiori dimensioni per facilitare il riempimento e l'agitazione del liquido nel serbatoio.

Circuito idraulico

Il circuito idraulico di collegamento fra i vari componenti funzionali dell'irroratrice è costituito da tubazioni flessibili resistenti alle alte pressioni, alla corrosione e all'abrasione. Normalmente i tubi sono realizzati in polipropilene e sono avvolti da una guaina di sicurezza che evita la produzione di spruzzi di miscela in caso di rottura improvvisa della tubazione e contemporaneamente la protegge dagli urti.

Sistema di filtrazione

Lungo tutto il circuito idraulico, dal serbatoio agli ugelli, è presente una serie di filtri che hanno lo scopo di trattenere corpi estranei che potrebbero ostruire o danneggiare i componenti più delicati della macchina (pompa, sistemi di regolazione della pressione, ugelli, ecc.). La presenza di un sistema di filtrazione efficiente è particolarmente rilevante nelle macchine che operano con bassi volumi e quindi con miscele fortemente concentrate. I filtri vengono disposti "a cascata" cioè con maglie dimensionalmente più piccole dal serbatoio agli ugelli dove le maglie devono avere dimensioni inferiori a quelle dell'orifizio dell'ugello per evitarne l'otturazione. Sono costituiti per lo più da una rete di nylon o di acciaio inox montata su di un telaio in materiale plastico. La collocazione avviene secondo il criterio seguente:

- riempimento: possono essere presenti filtri a cestello direttamente sul boccaporto di riempimento, con maglie di 0,5 – 1 mm, oppure filtri a cilindro sul tubo di aspirazione dell'idroiniettore o della pompa ausiliaria (0,5 mm) per filtrare l'acqua direttamente dai corsi d'acqua;
- aspirazione: per impedire l'ingresso di corpi estranei nella pompa e nel regolatore di pressione si trovano filtri a rete con maglie di 0,3 – 0,5 mm in aspirazione dal serbatoio;
- sistema di regolazione e mandata: subito dopo la pompa sono presenti dei filtri in mandata nelle sezioni di distribuzione per evitare l'intasamento dei condotti, con maglie di dimensioni comprese fra 0,1 e 0,3 mm.

Compensatore di pressione idropneumatico

Questo componente è inserito nel circuito idraulico in mandata per attutire gli sbalzi di pressione prodotti dalle pompe alternative nel passaggio dalla fase di aspirazione a quella di

compressione. Si tratta di un contenitore sferico, generalmente della capacità di un litro, al cui interno è presente una membrana elastica che divide due emisferi, dei quali il superiore contiene aria in pressione (60-80% di quella di esercizio), mentre l'inferiore è collegato con il circuito idraulico. Nella calotta superiore è presente una valvola per regolare la pressione di compensazione. Nelle macchine per colture erbacee di grandi dimensioni possono essere presenti più compensatori, uno per ogni sezione di barra.

Manometro

Generalmente vengono impiegati manometri a molla Bourdon e “in bagno di glicerina”, sostanza impiegata per ridurre le vibrazioni dell'ago, permettendo la corretta lettura dello strumento (fig. 8.1).

Il manometro deve essere inserito nel circuito idraulico, dopo il regolatore di pressione, in modo che risulti facilmente leggibile dall'operatore. Deve avere un fondo scala e degli intervalli di lettura adeguati ai livelli di pressione d'impiego. Per esempio per un'irroratrice che lavora nell'intervallo 3 – 6 bar, se la scala e l'intervallo di lettura sono troppo ampi non vi sarebbe la sensibilità sufficiente ad avere la necessaria precisione di lettura che si tradurrebbe nella distribuzione di volumi d'irrorazione inevitabilmente diversi da quelli prescelti. A tal proposito i manometri a scala differenziale, nei quali i tre quarti del quadrante sono occupati dall'intervallo di lettura che va da 0 a 10-15 bar, risultano ben leggibili e, nel contempo, adeguatamente precisi. Per garantire una corretta indicazione dei valori, inoltre, deve essere controllato frequentemente e sostituito nel caso non sia più affidabile.



Fig. 8.1 – manometro a scala differenziale

Regolatore di pressione

Il regolatore di pressione è un dispositivo posto dopo la pompa, sulla tubazione di adduzione agli ugelli, che permette di regolare e mantenere la pressione di erogazione ad un valore costante. Ciò avviene agendo sulla manopola del dispositivo che apre/chiude una valvola, interferendo così sulla portata del circuito di mandata. Avvitando la manopola si avvicina la valvola alla sua sede operando la strozzatura nella tubazione che così fa aumentare la pressione nel circuito. Anche con la chiusura di parti di barra e conseguente diminuzione della portata, la pressione nel circuito risulta costante. Generalmente sono dotati di un attacco a leva che permette di aprire completamente il circuito o di rimetterlo alla pressione precedentemente regolata con la manopola.

Dispositivi di regolazione ausiliari

Specialmente nelle barre irroratrici, che normalmente lavorano a pressioni comprese fra 2 e 5-6 bar, la pressione del circuito principale non è sufficiente a garantire il corretto funzionamento dell'agitatore idraulico che necessita di almeno 10 bar per rendere omogenea la miscelazione. Si rende necessaria quindi l'adozione di un gruppo di comando per la regolazione della pressione dei servizi ausiliari (agitatore idraulico, idroiniettore,

premiscelatore, lavacontenitori, ecc.). Esso è composto da un collettore provvisto da un certo numero di rubinetti e da una valvola manuale di regolazione della pressione, che va inserito nella linea di pressione prima del gruppo di comando cui va collegato lo scarico della valvola di regolazione per i servizi ausiliari. Questa soluzione permette di avere due regolatori, che forniscono la pressione ottimale per i servizi e per l'irrorazione.

Sistemi automatici di regolazione della dose

Durante l'esecuzione di un trattamento antiparassitario vengono a verificarsi delle condizioni che alterano una corretta ed omogenea distribuzione della miscela (variazioni di velocità per slittamenti, variazioni dei giri del motore, ecc). Per questo motivo nelle irroratrici sono presenti dei dispositivi di controllo automatico della distribuzione, in modo da regolarizzarla durante l'applicazione della miscela.

Sistema di Distribuzione a Pressione Costante (DPC)

La regolazione si basa semplicemente sull'utilizzo del regolatore di pressione per mantenere costante la pressione d'esercizio e quindi la portata di liquido erogata. La regolazione è manuale. Il sistema di regolazione a pressione costante presenta un costo relativamente basso, ma non è in grado di modificare la quantità distribuita al variare della velocità di avanzamento o del numero di giri del motore

Sistema di Distribuzione Proporzionale al regime di rotazione del Motore (DPM)

In questo sistema di regolazione la portata della pompa viene modificata al variare del numero di giri del motore mediante un regolatore di flusso. Si tratta di un sistema versatile, ad azionamento manuale o elettrico. Se per qualche motivo la velocità di avanzamento e, di conseguenza, il numero di giri variano rispetto a quelli impostati, la portata della pompa si ripartisce proporzionalmente tra barra e ritorno al serbatoio. Ne consegue che il volume d'irrorazione rimane costante anche aumentando o diminuendo la velocità di lavoro. Contrariamente, se si verificano situazioni di slittamento delle ruote, il sistema non è in grado di garantire l'uniformità di distribuzione.

Sistema di Distribuzione Proporzionale alla velocità di Avanzamento (DPA)

I sistemi di regolazione possono essere di tipo meccanico (idraulici o centrifughi) o elettronici. Questi ultimi sono ormai i più diffusi. Sulla macchina sono presenti un sensore per la determinazione della velocità di avanzamento e un flussimetro per la determinazione della portata erogata dalla barra. Tramite i dati forniti da questi sensori e quelli forniti dall'operato mediante un pannello di controllo posto in cabina, un sistema elettronico è in grado di comandare la valvola motorizzata che regola la pressione di esercizio al fine di mantenere

costante il volume di distribuzione indipendentemente dalla velocità di avanzamento e/o dal numero di sezioni di barra attive.

Sistema di regolazione con Concentrazione Proporzionale all'Avanzamento (CPA)

In questo sistema innovativo la miscelazione del prodotto antiparassitari con l'acqua avviene solo in prossimità degli organi di distribuzione, offrendo numerosi vantaggi operativi ed ambientali. L'impianto è costituito da due circuiti idraulici distinti, dei quali il primo porta unicamente acqua con sistema di distribuzione costante, mentre il secondo trasporta il prodotto antiparassitario. La pressione costante dell'acqua assicura una polverizzazione uniforme durante il trattamento. Un secondo vantaggio è costituito dalla riduzione degli sprechi di antiparassitario in quanto la diluizione dei prodotti si realizza solo nel momento dell'effettiva applicazione, riducendo così anche i volumi residui da smaltire a fine trattamento. Inoltre il rischio di contaminazione accidentale dell'operatore durante la preparazione della miscela viene evitato e, contemporaneamente, si ottimizzano i tempi aumentando la capacità di lavoro della macchina. Infine è possibile variare la concentrazione di uno o più formulati durante l'esecuzione del trattamento permettendo di ottenere risultati migliori su zone vegetative che necessitano di applicazioni più "energetiche".

Sensoristica e sistemi automatici di applicazione selettiva

Lungo i filari dei moderni frutteti è frequente la presenza di zone in cui la parete vegetale presenta delle interruzioni più o meno estese. Tali spazi rappresentano vie preferenziali per la creazione di perdite per deriva durante i trattamenti con macchine tradizionali (Duruchowski e Holownicki, 2000). I sistemi di individuazione del bersaglio permettono di riconoscere le zone dove è presente la vegetazione e regolare l'attivazione della distribuzione della miscela. In prossimità degli ugelli sono montate delle valvole ad azionamento elettrico o pneumatico che, aprendosi, provvedono ad attuare l'irrorazione. Generalmente i sensori vengono posizionati nella parte anteriore della trattrice in modo tale che vi sia un certo margine per il sistema di elaborazione dei dati per calcolare gli spazi percorsi in base alla velocità di avanzamento e regolare l'apertura o la chiusura delle valvole in relazione alla presenza di vegetazione. Per compensare l'effetto del vento è possibile intervenire per anticipare o ritardare il momento dello spruzzo.

I sistemi di applicazione selettiva maggiormente sviluppati si basano su differenti tecnologie che presentano ciascuna alcune peculiarità.

I sistemi di riconoscimento dell'immagine (Vision systems) sono stati sviluppati in particolar modo per il riconoscimento di piante infestanti (Lee et al., 1999) e per realizzare una localizzazione del trattamento unicamente nella parte di terreno interessata dalle

malerbe, evitando di compromettere l'area circostante e permettendo così inutili dispersioni di agrofarmaco. Questa tecnologia si basa sull'acquisizione di fotogrammi, attraverso un sensore in grado di catturare l'immagine e trasformarla in un segnale elettrico di tipo analogico, convertito in digitale nel chip di elaborazione e trasformato in un flusso di dati digitali atti ad essere trasferiti in vari formati su supporti di memoria. I dati vengono processati da un sistema di elaborazione mediante tecniche d'analisi che prevedono l'impiego di algoritmi specificamente sviluppati per il riconoscimento di caratteristiche morfologiche di varie specie. Tutto ciò si può dire avvenga, in sostanza, in tempo reale. Attualmente si punta su questa tecnologia per realizzare macchine in grado di svolgere autonomamente l'intero trattamento. Si tratta cioè di veri e propri robots (Lee et al., 1999; Tillet et al., 2002; Subramanian et al., 2006; Christensen et al., 2008) in grado di guidare la macchina e determinare la dose distribuita localizzando il trattamento.

I sistemi laser sono in grado di realizzare una mappatura tridimensionale degli alberi presenti sui due lati del filare. I dati relativi alla posizione delle piante e la loro dimensione vengono registrati sul computer di bordo, che provvede ad elaborarli, permettendo di regolare la dose applicata (Walklate et al., 2000). Si tratta di una tecnologia oggi ancora molto costosa e ciò limita fortemente il suo impiego.

I sistemi ad ultrasuoni (Sonar o Ultrasonic sensors) sono in grado di discriminare unicamente fra presenza o assenza di vegetazione. La loro distanza massima di lettura non supera gli 8 m circa, in modo da non raggiungere il filare contiguo. A causa dell'ampiezza del campo visivo, tali sensori non sono in grado di identificare brecce di limitate dimensioni nella parete vegetale: in funzione della distanza fra sensore e bersaglio la larghezza dell'apertura sul filare può arrivare anche a diverse decine di centimetri. Per contro questi sistemi presentano una notevole sensibilità e risultano in grado di rilevare rami con diametro maggiore di 3 – 4 cm (Balsari e Tamagnone, 1998).

I sistemi d'analisi dello spettro di riflessione (Spectral systems) sono in grado, oltre a determinare la presenza o l'assenza di vegetazione, di determinare le caratteristiche geometriche del bersaglio ed il tipo di vegetazione (fig. 9.1). I dispositivi sono dotati di sorgenti di emissione monocromatiche con specifiche lunghezze d'onda (corrispondenti ai picchi di assorbimento delle clorofille) e di rivelatori ottici. Dal rapporto fra la quantità di luce emessa e quella riflessa per le diverse lunghezze d'onda, il sistema è in grado di discriminare fra presenza ed assenza di clorofilla. Il fascio di luce emessa, essendo monocromatico, permette al sistema di riconoscere falle molto esigue nella parete vegetale. Questo tipo di sistema è stato sviluppato particolarmente per il diserbo con "micro dosi". Esso è in grado di riconoscere le plantule di infestanti rispetto al terreno nudo e di localizzare l'irrorazione solo sulle zone interessate.



Fig. 9.1 – Sensore di tipo spettrale per il diserbo localizzato nei frutteti

Ugelli

Gli ugelli hanno il compito di frantumare la miscela antiparassitaria in minute goccioline da distribuire sulla vegetazione.

Molte novità sono state presentate in questi anni per quanto riguarda gli ugelli, ma la tipologia più comune rimane quella dei dispositivi a polverizzazione meccanica per pressione.

Ugelli a polverizzazione meccanica

Gli elementi fondamentali che costituiscono un ugello sono (fig. 10.1):

- un corpo filettato, internamente di forma cilindrica o tronco-conica;
- un filtro, non sempre presente, ma consigliabile;
- una testina, o piastrina o punta di spruzzo, costituita da una o più parti di cui quella terminale è un disco con foro centrale calibrato;
- una ghiera di bloccaggio.

Le caratteristiche costruttive della testina permettono di distinguere due tipologie di ugelli. La prima è detta a corpo unico, in cui il disco con foro d'uscita del liquido è incorporato in un supporto, che viene inserito nella sede e bloccato dalla ghiera; la sezione interna del supporto è detta camera ed ha forma e caratteristiche particolari per ogni tipo di ugello. La seconda tipologia è chiamata a convogliatore-piastrina, dove la testina è costituita da un

convogliatore (o vorticatore) che può avere o meno un foro centrale, ma dotato di scanalature elicoidali o tangenziali, attraverso le quali passa il liquido che quindi esce con moto rotatorio; una piastrina con foro calibrato. Fra convogliatore e piastrina si forma una camera di turbolenza che contribuisce alla conformazione del getto.



Fig. 10.1 – Parti di un ugello a convogliatore-piastrina. Da sinistra a destra: filtro a fessura, convogliatore, piastrina, ghiera di ancoraggio al raccordo (TeeJet)

La forma del getto prodotta è caratteristica utilizzata per ricavare una classificazione dei vari tipi di ugelli idraulici.

Ugelli a ventaglio (o a fessura)

Gli ugelli a ventaglio (fig. 11.1 e 12.1) sono del tipo a corpo unico e presentano un foro d'uscita (fessura) del liquido a forma di occhiello, più o meno grande ed appiattito, con estremi a punta o rastremati.

Tipicamente gli ugelli a ventaglio sono utilizzati per le colture erbacee, ma ciò non costituisce una regola ferrea. La spaziatura sulla barra è in genere di 50 cm, ma può essere in funzione dell'angolo del getto (65°, 80°, 95°, 110°) della portata e della pressione. Le pressioni di lavoro sono dell'ordine di 1-4 bar.

L'orientamento dei getti deve essere di 4-8° inclinato rispetto al piano verticale passante per l'asse della barra e nello stesso senso per tutti gli ugelli. Ciò è necessario affinché non interferiscano l'uno con l'altro. Nel caso di volumi molto bassi getti possono essere orientati sullo stesso piano. Data la particolare forma del getto (lenticolare) e la conseguente maggior portata al centro rispetto ai lati, occorre che le impronte si sovrappongano con l'avanzamento per ottenere una buona uniformità di distribuzione. Pertanto si dovrà variare l'altezza della barra del suolo o dalla coltura in funzione dell'angolo del getto prodotto dalla spaziatura sulla barra e dalla percentuale di sovrapposizione (30% della larghezza del getto per Spraying System Co.; 50% per altri costruttori, ma con doppia sovrapposizione). Quando il foro d'uscita del liquido è un occhiello (estremi stondati), il getto prodotto non sarà più di forma lenticolare, ma realizzerà una distribuzione molto più uniforme per tutta la sua larghezza. In tal caso si avranno ugelli particolarmente indicati per applicazioni localizzate o a bande. Esistono anche ugelli di fine barra, a getto asimmetrico, che permettono di ottenere una miglior uniformità di distribuzione lungo i profili della passata in campo.

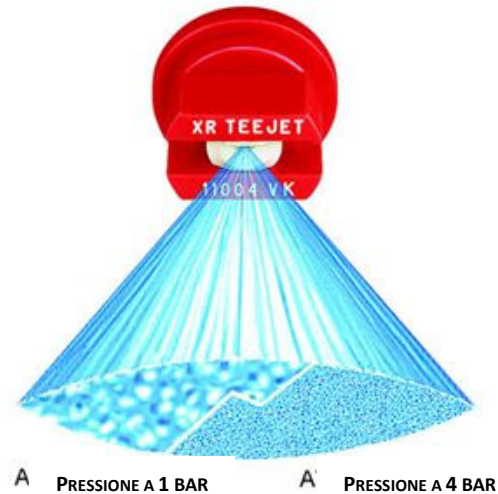


Fig. 11.1 – Ugello a fessura: effetto della pressione sulla polverizzazione (TeeJet)

Rispetto al passato anche i cosiddetti ugelli tradizionali (es.: TeeJet XR, Lechler LU, Albuz AXI, Lurmark Standard, ecc.) oggi disponibili sono progettati per produrre popolazioni di gocce il più possibile omogenee e ridurre il potenziale di deriva. Da alcuni anni sono disponibili ugelli a doppia fessura che formano due ventagli inclinati ed opposti, così da aumentare la penetrazione della miscela all'interno della coltura (citazione possibile).

Gli ugelli a pre-orifizio o a pre-camera (es.: TeeJet DG, Lechler AD, Albuz ADI, Lurmark Lo-Drift, ecc.) sono ugelli che presentano una pre-camera con funzione di dosaggio della miscela e riduzione della velocità prima della formazione del getto, creando una gamma di gocce di diametro maggiore rispetto agli ugelli tradizionali.

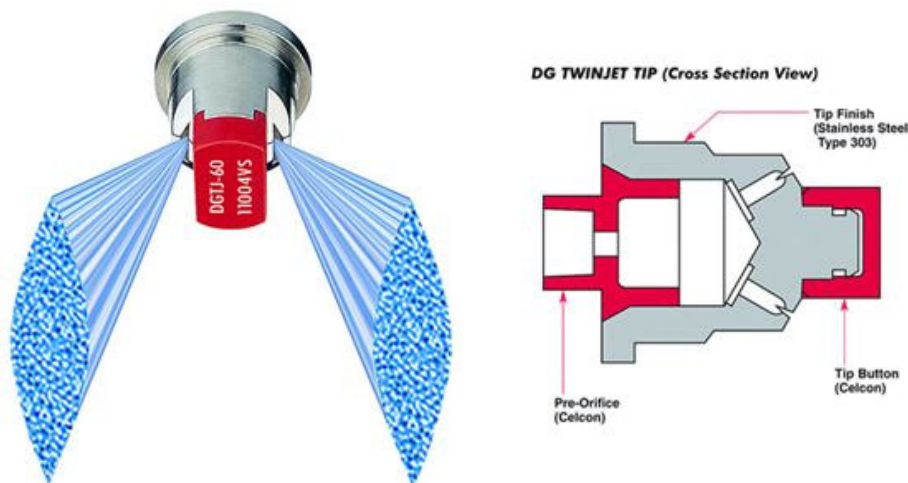


Fig. 12.1 – Ugello a doppia fessura a pre-orifizio (TeeJet)

Gli ugelli ad inclusione d'aria (es.: TeeJet AI, Lechler ID, Albus AVI, Lurmark DriftBETA, ecc.) o sistemi assimilabili (es. sistema TurboDrop) sfruttano il principio di Venturi per miscelare aria alla vena liquida prima di nebulizzarla in modo da creare gocce di diametro maggiore ma contenenti bolle d'aria al loro interno che esplodono quando impattano sul bersaglio creando gocce più minute in grado di coprire sufficientemente la superficie fogliare (fig. 13.1).

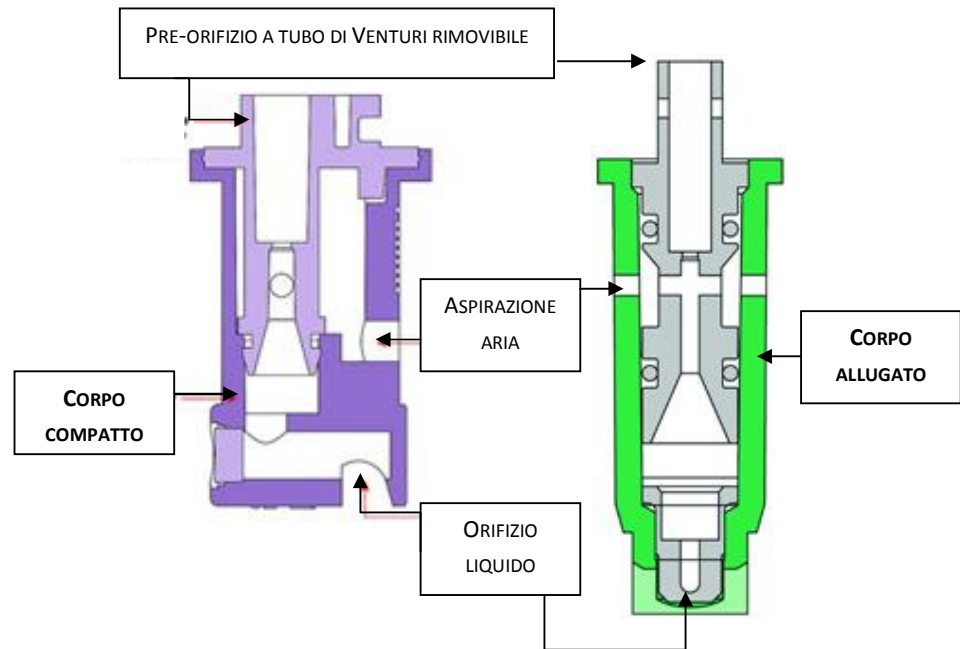


Fig. 13.1 – Ugelli ad inclusione d'aria a corpo allungato (tradizionale) e compatto di ultima generazione (TeeJet)

Ugelli a cono (o a turbolenza)

Gli ugelli a cono possono essere a corpo unico o a convogliatore-piastrina ed il cono di liquido può essere vuoto o pieno a seconda delle caratteristiche costruttive e dell'angolo d'uscita. L'impronta a terra sarà quella di una corona circolare se l'angolo d'uscita del liquido è relativamente grande e con forte turbolenza. Quest'ultima fa sì che in realtà il centro del cono non sia vuoto, ma occupato da minute goccioline fortemente soggette a deriva. Se l'angolo non è molto ampio e non si ha troppa turbolenza si avrà un'impronta circolare formata da gocce non troppo dissimili fra loro. Le parti funzionali sono generalmente realizzate in ceramica o acciaio e presentano un foro d'uscita circolare con diametro di 0,8-3 mm. L'angolo di spruzzo è solitamente compreso fra 60 e 80°. Gli ugelli a cono possono essere impiegati sia su barre irroratrici che sugli atomizzatori, ma sono più frequenti su questi ultimi. Le pressioni di esercizio variano solitamente fra i 5 e i 20 bar per trattamenti di

copertura, mentre sono contenute a 1-3 bar per alcuni modelli specificamente progettati per ridurre la deriva. Per ottenere una omogenea distribuzione trasversale è opportuno operare con una sovrapposizione dei getti del 20-25% poiché i diagrammi di erogazione presentano una depressione centrale. Da alcuni anni esistono anche per gli ugelli a cono dei modelli antideriva ad inclusione d'aria (fig. 14.1) che lavorano a pressioni di 5÷25 bar.



Fig. 14.1 – Ugelli a cono ad inclusione d'aria (Albuz)

Ugelli a specchio

Sono detti anche ugelli a getto piatto deflesso (fig. 15.1) in quanto presentano una testina con un condotto di efflusso cilindrico terminante con il foro d'uscita davanti al quale si trova una superficie inclinata contrapposta che determina la forma e l'inclinazione del getto: la miscela esce a bassa pressione dal foro circolare e colpisce la superficie speculare allargandosi in un ventaglio di goccioline. Il getto assume un angolo di ampiezza variabile dai 70 ai 160° in funzione della distanza dello "specchio" dal foro di efflusso, dalla sua inclinazione e dalla pressione d'esercizio utilizzata. La polverizzazione a bassissime pressioni (0,7-2,5 bar) determina la formazione di gocce medio grandi (400-1000 μm) con una ridottissima frazione di quelle fini. La pressione di lavoro ottimale può raggiungere i 6 bar senza tuttavia compromettere l'omogeneità delle gocce prodotte. Un ulteriore pregio di questa tipologia di spruzzatori è la loro relativamente scarsa attitudine all'otturazione. Per ottenere una distribuzione uniforme la sovrapposizione deve avvenire per un 10% della larghezza dei getti.



Fig. 15.1 – Ugelli a specchio (TeeJet)

Ugelli centrifughi (o rotativi)

Una particolare tipologia di ugelli che non sfrutta l'energia di pressione idraulica per generare le gocce è quella degli ugelli centrifughi, in cui è la forza centrifuga che polverizza il liquido. In pratica la vena fluida viene fatta scorrere a bassa pressione (1-2 bar) fino ad un disco dentellato che ruotando più o meno velocemente (2000-4000 giri/min), permette la frantumazione del liquido in goccioline di diametro uniforme, ma calibrabile (150-500 μm) in funzione della velocità periferica del disco (fig. 16.1). Ciò consente una ridotta sensibilità alla deriva. Data la grande omogeneità dimensionale di questo tipo di ugelli si parla anche di Applicazione a Goccia Controllata (Controlled Droplet Application, CDA). Costruttivamente più complessi dei comuni ugelli idraulici e notevolmente più costosi, sono poco diffusi nelle macchine per i trattamenti in campo aperto attualmente in commercio, mentre risultano impiegati principalmente su attrezzature per la difesa in coltura protetta. Grazie al controllo della dimensione delle gocce e alla loro elevata uniformità è possibile operare efficacemente anche con volumi fino a 15 l/ha.



Fig. 16.1 – Ugello centrifugo

Ugelli a pressione d'aria

Nelle irroratrici con ugelli a pressione d'aria è presente un compressore che fornisce aria agli ugelli che si mescola con il liquido prima che fuoriesca, ottenendo popolazioni di gocce molto omogenee (da 100 a 400 μm) e rendendo possibile la distribuzione di bassi volumi (da 35 a 125 l/ha). L'aria può arrivare, attraverso opportune tubazioni, a qualche bar di pressione (fig. 17.1).

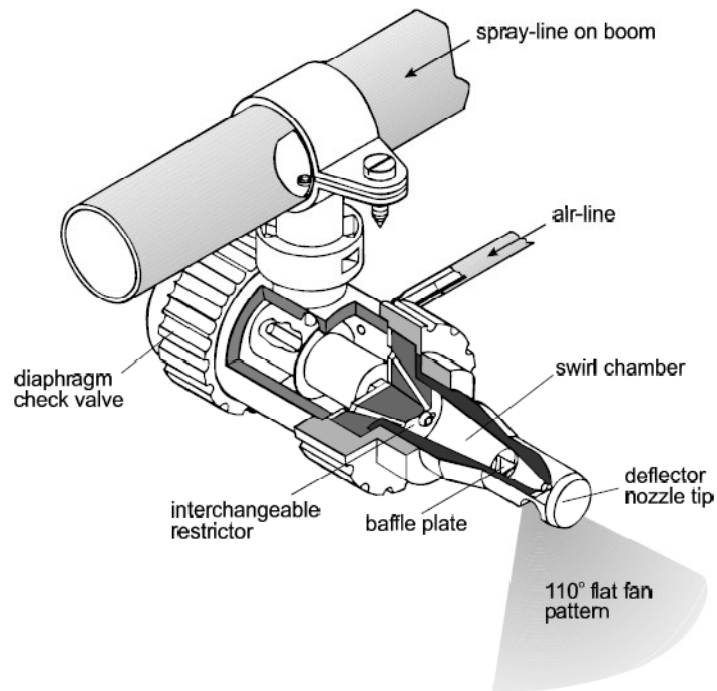


Fig. 17.1 – Ugello a specchio a pressione d'aria (Cleanacres "Airtec")

Materiali di costruzione degli ugelli

I tipici materiali di costruzione sono ottone, acciaio, plastica, allumina sintetizzata e ceramica. Spesso il corpo dell'ugello è realizzato in polimero plastico e la punta di spruzzo è del materiale desiderato. Il corpo viene variamente colorato per codificare l'ugello e renderne facilmente identificabile la portata. L'importanza che riveste il materiale della punta è fondamentale, poiché gli spigoli vivi della fessura sono soggetti ad un progressivo deterioramento causato dal flusso di liquido che li attraversa: l'ugello si usura tanto più rapidamente quanto maggiore è la sensibilità all'abrasione e alla corrosione del materiale, quanto più le pressioni d'esercizio sono elevate e, nel caso delle polveri bagnabili, quanto maggiori sono le concentrazioni. L'azione meccanica e chimica di usura provoca la deformazione del getto ed una conseguente alterazione dell'uniformità di distribuzione, oltre ad un progressivo aumento delle portate erogate. Dunque il livello di usura dipende anche dalle caratteristiche del materiale dell'ugello. Nella tabella sottostante sono indicati, in via approssimativa, i gradi di resistenza all'usura di alcuni materiali impiegati nella costruzione di ugelli (tabella 1.1). Mentre intasamenti, parziali o totali, o rotture provocano vistosi effetti visivi sull'aspetto e/o la forma del getto, l'usura progressiva si presenta più insidiosa. Il momento più opportuno per la sostituzione delle punte di spruzzo usurate è quando si verificano incrementi di portata superiori al 10%.

Tab. 1.1 – Rapporto approssimativo di resistenza all'abrasione di materiali tipici per ugelli idraulici (Biasi, 2005)

Materiale	Valore relativo
Alluminio	1
Ottone	1
Polipropilene + fibra di vetro	1 – 2
Acciaio inox (AISI 303 e 316)	4 – 6
Acciaio inox temprato	10 – 15
Allumina sintetica (ossido di alluminio)	60 – 70
Ceramiche	90 – 100

Dispositivi antigoccia

Nel momento in cui viene interrotta l'erogazione della miscela, chiudendo l'alimentazione del circuito idraulico, si rende necessaria l'adozione di dispositivi atti ad evitare la fuoriuscita dagli ugelli del contenuto delle tubazioni. Tali dispositivi, denominati

antigoccia, evitano il verificarsi di un inutile spreco di prodotto, inquinamento ambientale e possibili danni alle colture.

Le tipologie dei dispositivi antigoccia possono essere:

- per aspirazione: all'arresto dell'alimentazione alla barra, il liquido viene reinviato al serbatoio attraverso un tubo Venturi comunicante con il circuito di distribuzione realizzando la depressione necessaria ad evitare il gocciolamento;
- meccanica: il canale di rifornimento dell'ugello viene chiuso mediante l'azione, su di una membrana o una sferetta, di una molla tarata azionata dalla caduta di pressione (sotto 0,4 – 0,5 bar) conseguente all'arresto dell'erogazione. Questi antigoccia possono essere a valvola, a sfera o a membrana (fig. 18.1). Questi ultimi sono i più longevi poiché il mancato contatto della molla con la miscela, ne garantisce il prolungato e corretto funzionamento nel tempo;
- pneumatica: il principio di funzionamento è simile a quello del sistema a membrana. Il canale di rifornimento dell'ugello viene chiuso per l'azione dell'aria (anziché di una molla tarata) in pressione su di una membrana. L'aria viene portata ad una pressione leggermente inferiore a quella di polverizzazione.



Fig. 18.1 – Gruppo porta ugelli con, a monte, antigoccia a membrana

Ventilatori

Nelle attrezzature a due fluidi sono presenti dei ventilatori che oltre a creare una corrente d'aria per il trasporto delle gocce possono assolvere al compito di realizzare la frantumazione del liquido in gocce. I ventilatori presenti nelle macchine irroratrici possono essere del tipo a flusso assiale, radiale (centrifugo) o tangenziale.

Ventilatori assiali

Sono quelli più diffusi ed utilizzati nelle attrezzature ad aeroconvezione ed aeroassistite.

Il rotore è palettato e forma un'elica generalmente a passo variabile (in cui è possibile variare l'inclinazione delle pale). Le prestazioni del ventilatore dipendono dal numero di pale, dalla loro geometria e inclinazione rispetto alla direzione di rotazione, oltre a regime, forma e dimensioni delle sezioni di passaggio dell'aria (Zucchiatti et al., 1998; Friso e Baldoiu, 2001). Lo spazio tra l'estremità della pala e il bordo del diffusore è importante per l'efficienza. La portata e la velocità dell'aria sono regolabili agendo sia sul numero di giri che sull'inclinazione delle pale. I ventilatori assiali si caratterizzano per portate d'aria anche molto elevate (20.000 – 80.000 m³/h e più) e creano una corrente lineare che trasporta il prodotto sulla coltura con ridotte turbolenze. La velocità dell'aria all'uscita del ventilatore varia fra i 30 ed i 60 m/s, mentre il regime di rotazione è di 1.500 – 2.600 giri/ min. La potenza assorbita è di 11 – 30 kW. Il rapporto fra portata d'aria e portata del liquido varia fra 200 e 500.

L'aria viene aspirata assialmente attraverso una sezione circolare e distribuita ad opera di un apposito deflettore su una sezione ad arco di 240°, ricavata tra lo stesso deflettore ed il convogliatore (fig. 19.1) . Questo ha una forma studiata per facilitare il deflusso all'esterno dell'aria riducendo gli attriti e le inevitabili perdite di velocità e di portata.

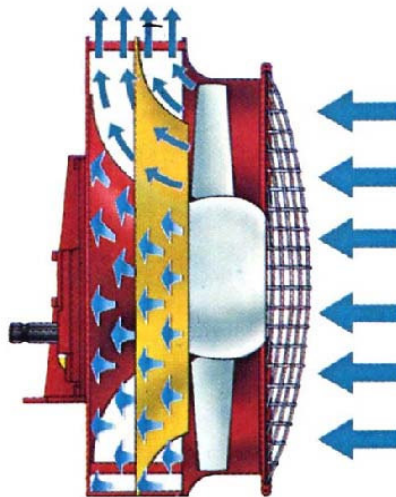


Fig.19.1 – Schema di funzionamento di un ventilatore assiale

Ventilatori centrifughi

I ventilatori centrifughi (o radiali) sono utilizzati in particolare nelle attrezzature a polverizzazione pneumatica per l'elevata velocità del getto d'aria prodotto (fig. 20.1). Sono costituiti da un rotore cilindrico in cui una base è collegata con il sistema di trasmissione del moto, mentre l'altra costituisce il punto di aspirazione. In un ventilatore centrifugo, la rotazione della girante genera un flusso d'aria con direzione radiale. L'aria entra dal centro di rotazione e viene convogliata nell'involucro di contenimento, con sezione sempre più grande fino all'uscita (ricorda le volute di un nicchio), dove viene incanalata. Le portate d'aria sono più modeste rispetto a quelle dei ventilatori assiali (1'000 – 50'000 m³/h) e le velocità dell'aria in uscita raggiungono i 100 – 150 m/s e più. Le velocità del rotore variano da 1.500 a 4.000 giri/min e la potenza assorbita si attesta sui 25 – 30 kW. Il rapporto di portata fra i due fluidi varia fra 1000 e 2000.



Fig. 20.1 – Ventilatore centrifugo: particolare in sezione della girante (Unigreen)

Ventilatori tangenziali

Un particolare tipo di ventilatore sviluppato specificamente per la frutticoltura è quello a flusso tangenziale (fig. 21.1). È costituito da un rotore cilindrico munito, lungo le generatrici, di palette ricurve in avanti simili a quelle dei ventilatori centrifughi, con ingresso dell'aria lungo un lato ed uscita dall'altro deviata di 90°. In questo caso il rotore è disposto con l'asse di rotazione verticale e la sua velocità di rotazione raggiunge giri più bassi e la velocità dell'aria in uscita è intorno ai 20 m/s. L'efficienza è minore rispetto agli altri

ventilatori, la pressione dell'aria è bassa, ma la corrente prodotta è molto regolare a tutte le altezze. La lunghezza del rotore è limitata dalla necessità di supportare lo stesso solo agli estremi, per cui una lunghezza eccessiva ne determina oscillazioni dovute all'inevitabile non perfetto bilanciamento. Questo tipo di ventilatore può essere azionato da motori idraulici ed essere posizionato in modo da affacciarsi al filare da trattare investendolo con un flusso d'aria uniforme lungo tutto il profilo, quindi le macchine così equipaggiate sono particolarmente adatte a colture a spalliera bassa e non molto spesse. Il loro principio di funzionamento tende ad eliminare la dispersione verso l'alto, considerata fonte primaria delle perdite per deriva (Van Ee, 1998).



Fig. 21.1 – Ventilatore a flusso tangenziale

Convogliatori del getto d'aria

Questi dispositivi sono deputati ad indirizzare la corrente d'aria e la miscela polverizzata verso la vegetazione. Talvolta l'attrezzatura viene denominata in base al tipo di convogliatore adottato. Esistono molte forme e strutture di convogliamento della corrente d'aria che a seconda dei casi meglio si adattano alle caratteristiche della coltura o della forma di allevamento adottata.

Convogliatori a ventaglio

Il loro nome deriva dalla particolare forma della loro parte terminale, che grazie alla possibilità di essere orientata, permette di direzionare ed avvicinare il getto d'aria alla

vegetazione (fig. 22.1). Vengono normalmente impiegati su colture allevate a parete (orizzontale o verticale).

La corrente d'aria generata del ventilatore può essere incanalata in una tubazione che termina con il ventaglio, o essere immessa direttamente nel convogliatore. Nel primo caso i ventilatori hanno dimensioni più contenute, ma sono presenti in numero maggiore e posizionati più vicino alla vegetazione, mentre nel secondo caso presentano sezioni di uscita più grandi e sono indicati per trattare ampie superfici vegetative.

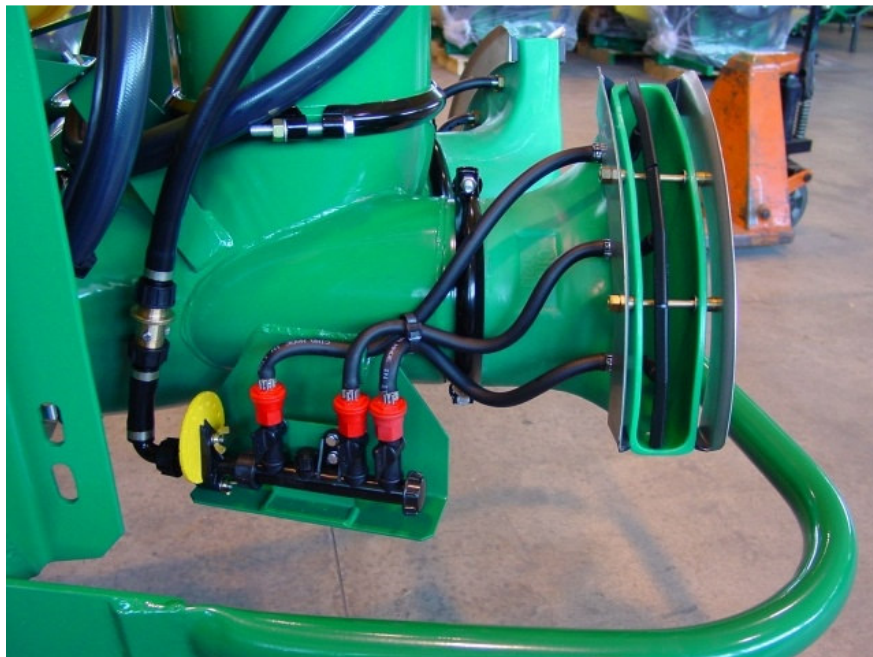


Fig. 22.1 – Convogliatore a ventaglio (Cima)

Manichette

Si tratta di convogliatori tubolari anche di piccolo diametro e di sezione costante o variabile. Questo tipo di convogliatori è tipico delle attrezzature a polverizzazione pneumatica, dove è presente, in prossimità dell'uscita del getto, una camera di polverizzazione il cui profilo forma un "tubo Venturi"; nel punto di massima strozzatura, viene posto l'erogatore del liquido. Questo tipo di attrezzatura è particolarmente indicato per forme di allevamento a spalliera, dove, con l'impiego di telai scavallanti, le manichette operano su diversi lati dei filari.

Cannoni

Si presentano come tubi con una bocca di lancio di grande diametro. Vengono impiegati sia su colture arboree ad alto fusto (per la lunga gittata), sia su colture erbacee in pieno campo e in serra, orientando il getto radente alle piante. Su alcuni modelli di irroratrici

a cannone sono presenti dispositivi idraulici di orientamento della bocca di espulsione del getto d'aria che ne permette il direzionamento oltre che in senso verticale, anche orizzontalmente con angoli di rotazione superiori ai 300°. Per le loro caratteristiche si prestano a dar luogo ad accentuati fenomeni di deriva, per cui se ne è prevista l'esclusione dalla lista di attrezzature certificabili dall'ENAMA.

Diffusori

L'aria prodotta dal ventilatore viene spesso convogliata con pannelli che hanno il compito di regolarizzare l'uscita del flusso e di indirizzarlo sulle parti di vegetazione da trattare. La forma e la disposizione dei pannelli diffusori variano molto nelle diverse realizzazioni commerciali. Ciò è dovuto all'intento di adattarli a specifiche colture, caratteristiche di particolari zone produttive.

Per favorire il deposito su particolari zone della vegetazione, si ricorre all'impiego di piccoli deflettori che hanno il compito di modificare leggermente la distribuzione e meglio orientare la direzione dei getti sul bersaglio. Quando si devono raggiungere particolari altezze, per cui sono necessari diffusori di grandi dimensioni, si utilizzano sistemi a polverizzazione mista, in modo da ovviare al fatto che l'aria in uscita non è provvista di sufficiente velocità. Per cui sono sempre presenti ugelli.

Barre irroratrici

Le irroratrici a barra sono impiegate per l'irrorazione di colture erbacee ed ortive di pieno campo. La barra è costituita da una struttura reticolare di profilati o elementi tubolari metallici ed ha la funzione di sostenere le tubazioni di adduzione del liquido agli ugelli.

Per motivi di omologazione ai fini del trasporto su strada, la barra è suddivisa in sezioni ripiegabili. Il ripiegamento può avvenire manualmente nelle attrezzature di dimensioni contenute oppure attraverso sistemi meccanici o idraulici. Questo componente deve presentare caratteristiche di leggerezza e stabilità, trattandosi di strutture che possono superare, nei modelli più grandi, i 40 m di larghezza. In particolare la stabilità deve essere garantita sia in senso longitudinale che trasversale, poiché le oscillazioni che inevitabilmente vengono trasmesse alla struttura durante il lavoro, determinano irregolarità di distribuzione oltre che considerevoli fenomeni di deriva. I sistemi per la riduzione delle oscillazioni vanno dai semplici ammortizzatori (per le strutture di modeste dimensioni), agli attacchi di tipo pendolare, ai sistemi di stabilizzazione a controllo elettronico (barre di medie e grandi dimensioni).

La regolazione dell'altezza della barra permette di posizionarla alla giusta altezza dal bersaglio per ottimizzare la regolarità di distribuzione. Al fine di ridurre i possibili errori dovuti

a movimenti in altezza o ad oscillazioni della barra, è preferibile operare con una doppia o tripla sovrapposizione dei getti; tale pratica è invece da valutare con cautela se si opera con ugelli a cono data la loro maggior attitudine a dare origine a gocce fini.

L'introduzione dell'assistenza dell'aria (fig. 23.1) nelle macchine a getto proiettato ha permesso di ridurre considerevolmente le quota di liquido soggetta a deriva anche quando la velocità di avanzamento supera i 10 km/h. Il sistema prevede l'implementazione di uno o due ventilatori assiali azionati idraulicamente che inviano l'aria all'interno di manichette forate a sezione decrescente verso le estremità delle semibarre in modo tale da mantenere costanti velocità e portata. L'aria esce da fessure lungo la parte inferiore delle condotte laterali creando un flusso in grado di agevolare il trasporto delle gocce verso il bersaglio contrastando l'eventuale azione negativa del vento e migliorando la penetrazione della miscela all'interno di colture con vegetazione anche particolarmente densa. La portata d'aria si aggira intorno ai 2'000 m³/ora per metro di barra, mentre la velocità d'uscita può raggiungere i 35 m/s. La regolazione del flusso d'aria, modificando il regime di rotazione del ventilatore ad azionamento idraulico, può essere fatta in relazione alla velocità di avanzamento, al volume applicato, alla densità di vegetazione e alla velocità del vento.



Fig. 23.1 – Irroratrice semovente con barra a manica d'aria

Irroratrici ad aeroconvezione (atomizzatori)

Come si è accennato in precedenza, nelle macchine ad aeroconvezione (fig. 24.1) la frantumazione della vena liquida avviene generalmente per pressione attraverso ugelli idraulici (molto raramente mediante ugelli centrifughi) ed il trasporto è realizzato dalla corrente d'aria prodotta dal ventilatore. Sono di norma utilizzati per trattamenti a medio-alto volume con quantità di miscela che vanno dai 300 l/ha fino a oltre i 1500 l/ha.

Il ventilatore è di tipo assiale e a causa della rotazione (solitamente in senso antiorario) si verifica un fenomeno caratteristico per il quale l'aria assume una traiettoria elicoidale determinando una deviazione del flusso verso il basso sul lato sinistro della macchina e verso l'alto su quello destro (vista posteriore). Se non si adottano delle soluzioni costruttive in grado di ovviare a tale intrinseca caratteristica si avrebbe un'accentuata asimmetria di distribuzione sui due lati causando perdite a terra non trascurabili in basso a destra e rischio di sottodosaggi sul lato destro. Le soluzioni che mirano a compensare l'asimmetria del getto d'aria sono rappresentate da:

- raddrizzatori a palette: a monte o a valle della girante, permettono di correggere la direzione dell'aria dalla componente elicoidale. L'efficienza del sistema dipende dal numero di pale del raddrizzatore, che dev'essere almeno doppio rispetto a quello della girante, e dalla loro forma, il cui profilo non deve risultare eccessivamente curvo per evitare svantaggiosi fenomeni di turbolenza;
- aspirazione anteriore: il ventilatore viene posto anteriormente al serbatoio che viene attraversato da un condotto a sezione decrescente verso l'uscita dell'aria; questa passando nella canalizzazione ristretta aumenta la sua velocità e tende a raddrizzarsi prima di incontrare il deflettore;
- ventilatori coassiali controrotanti: due ventilatori con pale controrotanti che scaricano il flusso nella sezione d'uscita in modo tale che le distorsioni indotte si compensino; ciò avviene solo parzialmente per la maggior sezione d'aspirazione del ventilatore posteriore rispetto a quello anteriore, con conseguente minor efficienza del sistema;
- girante con pale progettate ad hoc: l'ottimizzazione del profilo delle pale, che presentano una svergolatura molto accentuata tra l'angolo di attacco al mozzo e quello alla periferia, permette di ottenere una corrente a portata molto elevata e ad alta velocità con l'insorgenza di una componente radiale che attenua la torsione del getto.

In prossimità della sezione di efflusso dell'aria sono montate due semibarre portaugelli a forma semicircolare, alimentate separatamente, quindi con la possibilità di escludere l'erogazione su uno dei due lati. Per quanto riguarda la collocazione degli ugelli nella sezione di uscita dell'aria, può essere entro flusso o fuori flusso, ossia la barra portaugelli può essere montata all'interno del diffusore (situazione più frequente) oppure al

suo esterno, con gli ugelli che si affacciano sul bordo di uscita dell'aria; quest'ultima soluzione presenta il vantaggio di ridurre le turbolenze indotte nel flusso d'aria dovute all'ingombro dei gruppi portaugelli, che possono diventare molto rilevanti ad esempio quando si adottano barre verticali su cui sono installati gruppi molto ravvicinati.

In alcuni modelli di atomizzatore sono inoltre presenti sistemi di chiusura dell'aria su uno dei due lati, accorgimento che attenua notevolmente quei fenomeni di interferenza fra le correnti d'aria che tendono ad incrementare le perdite fuori bersaglio.



Fig. 24.1 – Atomizzatore trainato (Lochmann Plantatec)

Irroratrici pneumatiche (nebulizzatori)

Nelle irroratrici pneumatiche (fig. 25.1) sia la polverizzazione della miscela che il trasporto delle gocce sulla vegetazione vengono attuate da una corrente d'aria ad alta velocità. La velocità dell'aria viene incrementata per effetto Venturi utilizzando dispositivi dalla forma caratteristica, posti all'estremità della camera di lancio, detti tromboncini. Gli ugelli non sono presenti ed il liquido viene erogato attraverso degli adduttori dotati di rubinetto di regolazione della portata. Per aumentare la superficie di contatto fra aria e liquido, favorendo la formazione di gocce fini, vengono fatti incontrare alla vena liquida dei dispositivi di forma particolare (solitamente ad aletta aerodinamica) su cui il liquido si distribuisce per poi essere frantumato e trasportato dalla corrente in uscita dai convogliatori. Le caratteristiche della polverizzazione dipendono dall'impatto dell'aria sull'acqua e dal rapporto tra volume d'aria e quantità d'acqua erogata (generalmente $< 1:10^3$).

Relativamente ai nebulizzatori, nel condizionare il grado di polverizzazione, assume notevole importanza la velocità dell'aria all'uscita dei diffusori. Le particelle di liquido prodotte dai sistemi di frantumazione pneumatici assumono dimensioni medie di 80-100 μm fino anche a 50 μm . Ciò permette l'adozione di volumi anche molto bassi, ma accanto ai vantaggi che questi possono comportare, si deve tener conto anche dei maggiori rischi di contaminazione ambientale. Fra le soluzioni costruttive che hanno permesso di aumentare

l'efficienza di deposizione vi è l'avvicinamento dei getti alla vegetazione, cioè il cosiddetto "getto mirato". Grazie all'elevata velocità dell'aria prodotta dai ventilatori centrifughi è possibile incanalare il flusso attraverso più condotti senza troppe perdite di carico, realizzando in questo modo un'ottimale distribuzione attraverso il direccionamento dei getti, adattandoli alla forma della chioma.



Fig. 25.1 – Irroratrice pneumatica scavallante (Cima)

Irroratrici miste

Le irroratrici miste o a polverizzazione mista vengono così definite per le loro caratteristiche "ibride" fra gli atomizzatori e i nebulizzatori (fig. 26.1). In questo tipo di polverizzatori infatti sono presenti un ventilatore centrifugo, che permette di dirigere i getti sulla vegetazione in maniera "mirata" ed adeguata alla forma di allevamento, e degli ugelli idraulici per la frantumazione del liquido irrorato. Nel determinare il grado di polverizzazione delle gocce può, in parte, concorrere anche la corrente d'aria (velocità e portata relativamente elevate), ma in genere la dimensione delle gocce viene stabilita prevalentemente dalle pressioni e dalle caratteristiche degli ugelli impiegati.

Nelle tipologie a cannone la velocità dell'aria in uscita dalla bocca viene sfruttata per aumentare la gittata delle gocce e raggiungere così altezze elevate tipiche di pioppeti o arboreti da legno in genere.



Fig. 26.1 – Irroratrice di tipo misto con convogliatori a cannone (Tifone)

Tecnologie per la distribuzione dei fitofarmaci in coltura protetta

Impianti fissi automatizzati

I componenti principali degli impianti fissi automatizzati sono: una struttura per la distribuzione dei pesticidi, generalmente costituita da tubazioni flessibili, un serbatoio per contenere la miscela, un sistema di controllo automatico della pressione ed operatività dell'attrezzatura nelle campate della serra, una eventuale fonte d'aria compressa per lo svuotamento dell'impianto dalla miscela residua (Rowe et al., 2000).

La distribuzione della miscela avviene generalmente dall'alto attraverso degli ugelli, solitamente statici, inseriti su tubi sospesi. Le condotte possono essere le stesse utilizzate per l'irrigazione oppure costituire una rete autonoma. Quest'ultima soluzione è sempre più comune poiché molte aziende hanno adottato un sistema di certificazione e questo prevede l'obbligo di mantenere distinti i due circuiti di distribuzione (fig. 27.1). Nelle aziende vivaistiche e floricole al contrario è presente spesso un unico circuito ed alla regolazione dei volumi d'irrigazione ed irrorazione si provvede sostituendo gli spruzzatori.

La messa in pressione del liquido può derivare da un sistema fisso o dall'impianto di una comune irroratrice per colture erbacee o arboree collegata ad un trattore.

Il primo vantaggio di questa tipologia di attrezzatura è legato al fatto che non è richiesta la presenza dell'operatore all'interno della struttura dove si sta effettuando un trattamento, riducendo l'esposizione potenziale degli addetti. Inoltre il suo impiego permette di trattare nei momenti della giornata più favorevoli non interrompendo l'attività lavorativa

durante le ore di luce in autunno e diminuendo lo stress termico delle colture nel periodo estivo. Per gli impianti fissi automatizzati la quantità di sostanza attiva impiegata è regolabile accuratamente per ogni struttura di protezione con una ripetibilità non ottenibile attraverso altri sistemi di distribuzione (Rowe et al., 2000).

A questa tipologia d'impianto se ne affianca una seconda che prevede la presenza di una barra irroratrice sospesa sopra i bancali che può scorrere settorialmente o lungo l'intera superficie della serra (fig. 28.1). Si assiste in questo caso ad una semplificazione dell'impianto di distribuzione con la presenza di un minor numero di tubazioni e una miglior uniformità di distribuzione.



Figura 27.1 – Impianto fisso automatizzato: sono visibili le calate del sistema di distribuzione dei fitofarmaci (bianco) e dell'impianto di irrigazione (nero)



Fig. 28.1 – Barra irroratrice per l’adacquamento e l’irrorazione antiparassitaria in vivaio

Generatore di aerosol (fogger)

I generatori di aerosol sono dispositivi portatili, generalmente da un operatore o fissati su carrello che ne facilita lo spostamento all’interno di una struttura o fra diverse serre.

Ne esistono due principali tipologie: 1. termonebulizzatori (fogger a caldo) e 2. fogger a freddo.

1. La termo-nebulizzazione è il fenomeno che produce goccioline ultra-fini in una dimensione variabile fra 0,5 e 50 μm utilizzando l’energia termo-propulsiva. Le sostanze liquide vengono vaporizzate nell’apparecchio e formano aerosols per mezzo della condensazione a contatto con l’aria fredda dell’ambiente. Esistono due principali tipologie di termonebulizzatori: a pulsoreazione (a) ed elettrofogger (b).

a) Il pulsoreattore è un motore a reazione interna di disegno molto semplice, consistendo in pratica in un lungo tubo all’interno del quale l’aria entra, viene miscelata con il carburante per creare una miscela combustibile. La differenza che distingue i pulsoreattori dagli altri motori è rappresentata dal fatto che la combustione che ha luogo all’interno del motore non è un processo continuo, ma avviene sotto forma di ripetute esplosioni (impulsi) da cui deriva anche il nome stesso del motore. Nonostante i vantaggi (semplicità costruttiva, affidabilità, basso costo di produzione) i pulsoreattori non vengono più

presi in considerazione quali unità motrici (se non nel modellismo) a causa del loro alto consumo, elevata rumorosità, bassa efficienza e per via delle notevoli vibrazioni. Un loro impiego alternativo è per l'appunto quello di generatori di aerosol. Schematicamente sono costituiti da una camera di combustione in cui viene prodotto un getto di gas combusti che vengono espulsi dal tubo di lancio. Nel flusso di gas caldi viene immessa la soluzione fitoiatrica. Variando la sezione dell'orifizio è possibile variare la portata dell'erogatore.

b) Gli elettrofoggers sono apparecchiature a resistenza elettrica con potenza costante impiegate principalmente per il trattamento di derrate in magazzini o la disinfezione di ambienti confinati. Sono più performanti rispetto ai pulsoreattori essendo dotate di sistema per il controllo della temperatura, di facile regolazione e ridotta manutenzione. I principali elementi di cui sono costituiti sono: un ventilatore ad alta pressione e portata variabile, un elemento riscaldante, un tubo di vaporizzazione collegato ad una pompa per l'iniezione del prodotto, un potenziometro per la regolazione del flusso erogato dalla pompa, un termometro digitale per il riscontro della temperatura di uscita del vapore dallo scarico del tubo di lancio ed un dispositivo di sicurezza per lo spegnimento automatico in caso di surriscaldamento.

I componenti che costituiscono un fogger a polverizzazione termica ed il relativo schema di funzionamento sono descritti in fig. 29.1.

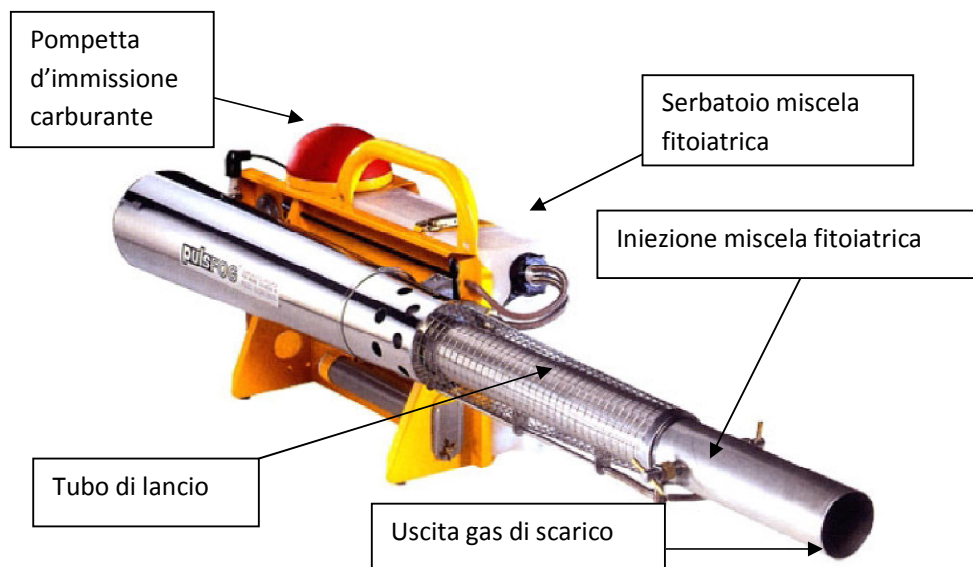


Fig. 29.1 – Fogger termico a pulso reazione: componenti funzionali (Pulsfog)

2. Si tratta di attrezzature in grado di generare aerosol per mezzo di aria compressa o di ultrasuoni (fig. 30.1). La dimensione delle gocce è caratterizzata da un diametro medio volumetrico (VMD) di circa 30 μm . Questa tipologia di generatori può trattare superfici comprese fra 1800 e 5600 m^2 a seconda che la serra sia dotata o meno di un

adeguato sistema di ventilazione che consenta alla nebbia prodotta di saturare tutto l'ambiente. Il tempo richiesto per trattare tali superfici è di circa 30 minuti erogando un volume compreso fra 50 e 150 l/ha (Balsari e Oggero, 2001).

In alcuni modelli è presente un dispositivo che ne permette la messa in funzione a distanza temporizzando la distribuzione ed operando in assenza dell'operatore.

Uno dei problemi che si possono riscontrare con l'adozione di questa tipologia di attrezzatura è legato all'impiego di preparati polverulenti e alla mancanza di un sistema di agitazione nel serbatoio della miscela fitoiatrica. L'impiego di quantità ridotte di acqua non permette una distribuzione sufficientemente omogenea, per cui la soluzione alla fine del trattamento risulta più concentrata rispetto a quella iniziale (Stamper et al., 1988), con il conseguente rischio di intasamento dell'ugello nebulizzatore. Appare evidente che, come nel caso dei fogger a caldo, si rende necessario l'impiego di impianti di ventilazione per distribuire omogeneamente l'aerosol su tutta la superficie.



Fig. 30.1 – Fogger a freddo (Pulsfog)

La tecnica della nebulizzazione presenta gli indubbi vantaggi di poter trattare larghe zone e spazi con una quantità minima di soluzione antiparassitaria, con meno lavoro operativo e con rischi contenuti per l'ambiente, oltre che nella protezione delle piante anche ad esempio nel campo della salute pubblica e nella protezione delle derrate alimentari. Un notevole vantaggio del loro impiego nella difesa delle colture è la possibilità di ottenere facilmente elevati depositi di fitofarmaco sulla pagina inferiore delle foglie, che, com'è noto, risulta la parte di pianta più esposta all'attacco della maggior parte dei parassiti. Tuttavia esistono degli aspetti, legati ai dispositivi stessi e alla gestione dell'ambiente di applicazione, che possono limitare fortemente i potenziali benefici sopra menzionati. Infatti, durante l'impiego negli impianti di protezione delle colture per evitare fughe di aerosol e la creazione di fenomeni di deriva, la struttura deve essere ermeticamente chiusa ed il materiale di copertura privo di lesioni. Per ottenere un deposito omogeneo su tutta la superficie trattata si rendono indispensabili impianti di ventilazione interni alla struttura che formino la circolazione dell'aerosol, distribuendolo anche nelle zone escluse dalla gittata del fogger. In particolare la qualità della distribuzione e il deposito riscontrabile sulla vegetazione dipendono anche dalla portata degli ugelli ed in generale aumentando la portata si ottiene un incremento nei depositi medi, ma una più scadente omogeneità di distribuzione (Wygoda e Rietz, 1996). L'alta concentrazione delle miscele fitoiatriche e la notevole quantità che per forza di cose va ad aderire al materiale di copertura comporta un più rapido scadimento delle proprietà meccaniche dei film plastici, che devono quindi essere sostituiti con una maggiore frequenza (Briassoulis et al., 2004; Vox et al., 2007).

Dal punto di vista operativo l'impiego dei generatori di aerosol risulta simile per entrambe le tipologie. I foggers di dimensioni più contenute possono essere portati direttamente dall'operatore oppure possono essere installati su dispositivi mobili per poter essere dislocati facilmente nei vari punti della serra. È consigliabile iniziare il trattamento dal lato più lontano verso l'uscita dirigendo il getto sopra la vegetazione evitando di investire direttamente le piante per non provocare ustioni nel caso dei termonebulizzatori. I trattamenti vengono eseguiti la sera con serra che rimane chiusa durante tutta la notte per permettere la completa deposizione dell'aerosol che può richiedere anche alcune ore a seconda dei parametri di temperatura e umidità ambientali, e della dimensione delle particelle in sospensione.

Irroratrici a polverizzazione centrifuga (CDA – Controlled Droplet Application)

Si tratta di dispositivi in grado di produrre goccioline di dimensioni estremamente piccole (10-100 μm) ed omogenee – da qui l'acronimo CDA – che permettono di lavorare con volumi ultra bassi (10-40 l/ha).

Vengono azionate da motori elettrici o, più raramente, a scoppio e per la loro leggerezza risultano facilmente trasportabili e maneggevoli.

Lo schema di funzionamento è relativamente semplice; da un piccolo serbatoio il liquido viene trasportato (per gravità) attraverso una tubazione fino al disco dentellato polverizzatore che ruotando velocemente spinge la miscela fitoiatrica verso il bordo esterno. La presenza di un piccolo ventilatore assiale facilita il trasporto delle gocce sulle foglie. Date le ridotte dimensioni delle gocce prodotte, la vegetazione non risulta più bagnata già dopo 5-10 minuti dall'applicazione, permettendo in alcuni casi di ridurre i tempi di rientro.

Irroratrici spalleggiate

Tali tipologie di attrezzature sono le più semplici dal punto di vista costruttivo e sono costituite da un serbatoio graduato in polietilene di capacità comprese fra 10 e 40 l, portate a spalla dall'operatore. La messa in pressione del liquido può avvenire per azione dell'operatore su di una pompa a mano oppure mediante una pompa elettrica alimentata da un accumulatore di carica. Talvolta è presente un manometro ed un limitatore di pressione (generalmente preimpostato) che regolarizza la distribuzione del prodotto. L'erogazione del liquido avviene mediante una lancia a mano con uno o più ugelli la cui apertura può essere regolata per ottenere un cono di distribuzione più o meno ampio. La lancia può essere provvista di una valvola di apertura a leva o a vite sull'impugnatura. Le pressioni d'esercizio sono comprese di norma fra 2 e 5 bar.

Queste attrezzature sono state fra le prime ad essere impiegate nell'irrorazione delle colture, in particolare le arboree. Essendo caratterizzate da lunghi tempi di lavoro, in serra vengono per lo più impiegate quando è necessario effettuare interventi di soccorso localizzati in zone circoscritte in cui il trattamento principale non ha avuto sufficiente efficacia.

Irroratrici spalleggiate a polverizzazione pneumatica

Le attrezzature a spalla possono prevedere l'applicazione del prodotto anche tramite un getto portato. In questo caso l'irroratrice è dotata di un ventilatore centrifugo azionato da un motore a scoppio. Si tratta di dispositivi che, con semplici accorgimenti costruttivi, si prestano ad essere adattati alla distribuzione di granuli o polveri (IPARC, 2007).

La corrente d'aria prodotta viene incanalata in una tubazione flessibile, che termina con un diffusore, sulla quale è presente un'impugnatura per l'operatore. In corrispondenza del tratto convergente divergente si inserisce il tubo adduttore del liquido proveniente dal serbatoio. Quest'ultimo è in materiale plastico e ad esso se ne affianca un secondo, di dimensioni più contenute, per il combustibile che alimenta il motore. La variazione del

numero di giri del motore permette di modificare proporzionalmente la portata del ventilatore, mentre la quantità di liquido erogato può essere variata agendo su un dispositivo che determina il grado di occlusione del tubo adduttore oppure, su altri modelli, sostituendo all'interno del gruppo erogatore ugelli con diversi orifizi. In alcuni modelli sono montati ugelli rotativi in sostituzione delle più comuni alette aerodinamiche per la polverizzazione del liquido (fig. 31.1).

Questa tipologia di attrezzature è progettata per produrre spray molto fini o nebbie (VMD $50 \div 100 \mu\text{m}$) e volumi d'applicazione più bassi rispetto alle comuni irroratrici spalleggiate standard ($20 \div 200 \text{ l/ha}$).



Fig. 31.1 – Irroratrici spalleggiate a polverizzazione pneumatica

Barre verticali trainate (Trolley)

Sono vere e proprie barre poste verticalmente e montate su di un telaio munito di ruote (gommate o a gola) che vengono trainate o spinte dall'operatore lungo le corsie di transito (fig. 32.1). La barra è alimentata da una normale pompa che aspira il liquido da un serbatoio inviandolo attraverso tubazioni flessibili. La velocità di avanzamento è legata all'operatore e si aggira attorno ai 2-3 km/h. Sono attrezzature che possono ridurre sia i tempi di lavoro sia i rischi per l'utilizzatore. Nuyttens et al. (2004a) hanno rilevato che con il

loro impiego su colture di peperone l'esposizione per l'operatore è stata 25 volte inferiore rispetto all'uso della pistola (lancia corta). Gli stessi autori (2004b) hanno compiuto studi sulla geometria dei getti più idonea per migliorare la distribuzione sulla vegetazione di peperone e pomodoro, giungendo alla conclusione che la distanza ottimale fra i getti a ventaglio è di 35 cm con un angolo di spruzzo di 80° ad una distanza dalla vegetazione fino a 30 cm. Recentemente è stato valutato un prototipo di questo tipo, il cui avanzamento è reso possibile da un motore elettrico, collegato alla p.d.p. del trattore, che aziona l'avvolgitubo su cui si dispone la tubazione opportunamente guidata in maniera del tutto automatica (Balsari e Oggero, 2008). Tale soluzione riduce al minimo la presenza dell'operatore in serra che deve solamente intervenire per posizionare il trolley in fondo alla corsia di transito, mentre l'applicazione del prodotto avviene con operatore all'esterno della struttura di protezione.



Fig. 32.1 – Trolley allestito per tipologie di serre “all’olandese” in cui le corsie di transito presentano le caratteristiche rotaie

Veicoli semoventi

Si tratta di attrezzature (spesso comuni barre verticali) montate su motocoltivatori o su carrelli cingolati su cui è ricavato il posto guida per l'operatore che conduce il mezzo da seduto, avanzando con l'attrezzatura alle proprie spalle. Questi veicoli vengono impiegati per la distribuzione su colture sviluppate in altezza. Sono spesso assemblati artigianalmente, ma esistono prototipi costruiti ad hoc che sono stati testati per valutarne le prestazioni in termini di sicurezza per l'operatore e qualità della distribuzione. Il loro impiego si è dimostrato vantaggioso sia in termini di aumentata produttività del lavoro sia per la limitata esposizione dell'operatore durante l'applicazione (Nuyttens et al., 2004a; Nuyttens et al., 2004b; Balsari et al., 2008; Balloni et al., 2008). Date le dimensioni contenute si adattano anche in strutture di ampiezza ridotta con corsie di transito ristrette. Va ricordato a tal proposito che a volte questi veicoli possono essere adottati anche nei trattamenti alle colture arboree in aree declivi, dove le sistemazioni dei terreni non permettono condizioni di transito agevolati, in cui l'alternativa più comune risulta l'impiego della lancia a mano.

Robots

I cosiddetti robots sono apparecchiature in grado di effettuare la distribuzione dei prodotti fitosanitari in maniera totalmente automatizzata senza che l'operatore sia presente in serra (fig. 33.1). Sono impiegate quasi esclusivamente in via sperimentale, trattandosi di macchine complesse e costose che spesso necessitano di strutture realizzate in maniera adatta ad ospitarle (ad esempio sospese sulle strutture di copertura). Gli schemi costruttivi sono tuttavia vari ed in evoluzione: alcuni modelli sono del tutto simili ai veicoli semoventi in precedenza descritti, mentre altri vengono istruiti e controllati attraverso un calcolatore elettronico, e sono in grado di riconoscere specie vegetali e malattie, ma la diagnosi sulla malattia ed il momento dell'intervento vengono decisi dall'operatore (Acaccia et al., 2003; Sammons et al., 2005). La capacità di compiere azioni autonome è resa possibile dalla presenza di microprocessori che elaborano le informazioni provenienti da appositi sensori, come ad esempio telecamere, sistemi ad ultrasuoni, o ad infrarosso (Acaccia et al., 2003; Moltó et al., 2001; Guzmán et al., 2004; Sammons et al., 2005). Talvolta si tratta di dispositivi che possono essere equipaggiati con diverse attrezzature per poter svolgere operazioni differenti a seconda delle esigenze (trattamenti, fertilizzazione, potatura, raccolta, ecc.).

Queste tecnologie, seppur molto promettenti sono poco conosciute e ancora poco diffuse, ma rappresenteranno certamente un valido ausilio per il prossimo futuro, in termini di produttività del lavoro e di riduzione dei rischi per l'operatore.

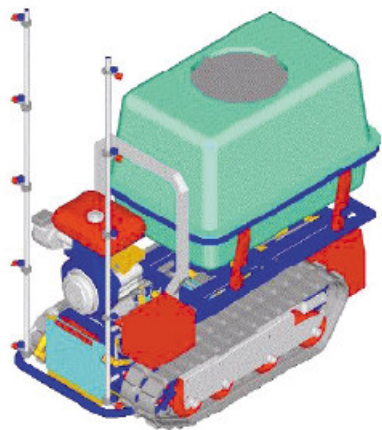


Fig. 33.1 – Robots impiegati per la distribuzione di prodotti fitosanitari in serra: schema a “veicolo” (Guzmán et al., 2004) e a trasferimento sospeso

Capitolo 2

AGROFARMACI E DERIVA

L'impiego degli agrofarmaci in Italia

L'adozione di nuove strategie di difesa delle colture, l'introduzione di prodotti con molecole innovative a basso dosaggio di impiego, la formazione e la sensibilizzazione degli imprenditori agricoli e, non ultima, la disponibilità di nuove tecnologie per l'applicazione, hanno portato a una graduale riduzione dell'uso di fitofarmaci in agricoltura, che nel 2006, ha raggiunto il 10,8% in meno rispetto al 1997 (ISTAT). Come si può notare dal grafico di fig. 1.2, nel 2007, secondo Agrofarma, sono state utilizzate 93'444 tonnellate di sostanze attive, con una contrazione dello 0,3% rispetto all'anno precedente, effetto della riduzione delle quantità impiegate di insetticidi (-5,9%) e fungicidi (-2,1%), a fronte del crescente orientamento verso produzioni sostenibili come l'agricoltura biologica e quella integrata. I dati confermano il maggiore impiego di fitofarmaci nelle regioni del Nord (54%) e il trend in aumento del valore di mercato che, nel 2007, ha fatto segnare un incremento del 4,1%.

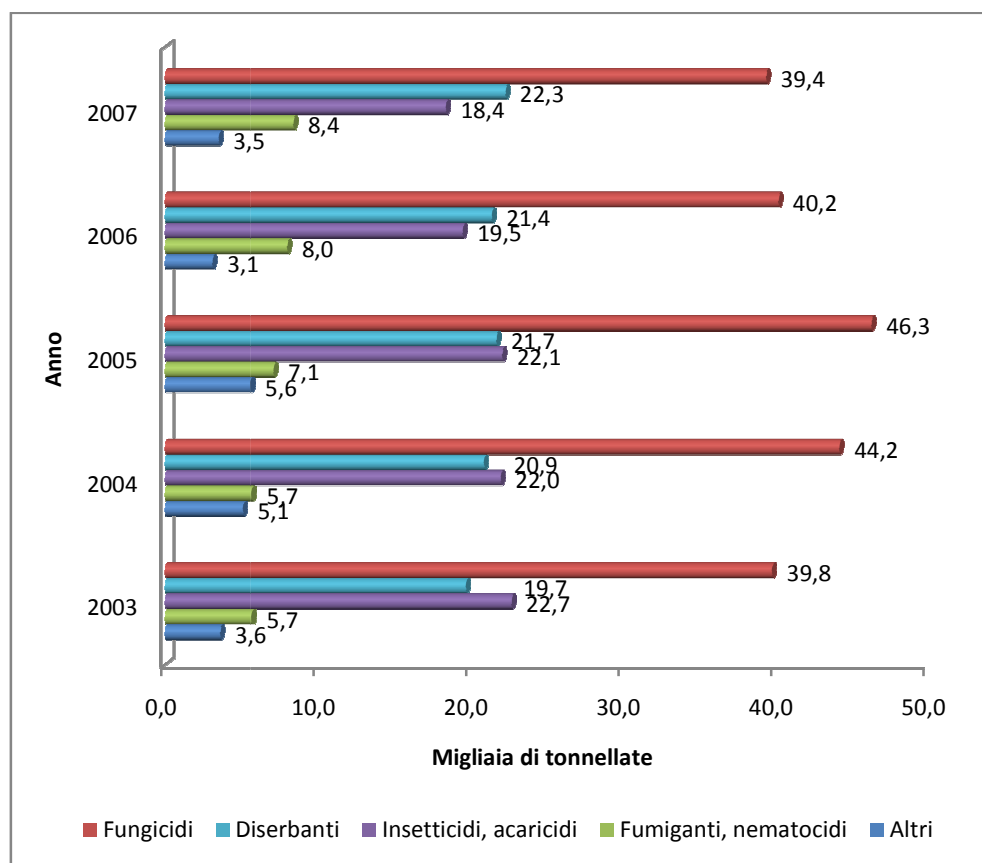


Fig. 1.2 – Quantitativi e ripartizione dei prodotti fitosanitari impiegati in Italia nel quinquennio 2003/2007 (INEA, 2008)

Evoluzione normativa sui prodotti fitosanitari

Nell'ultimo ventennio la normativa concernente i prodotti fitosanitari ha subito sostanziali cambiamenti che hanno portato ad un quadro alquanto complesso. Parallelamente alla cosiddetta "Revisione europea degli agrofarmaci" si sono affiancate nuove direttive che hanno reso ancor più complesso lo scenario cogente ("Direttiva preparati pericolosi", "Armonizzazione dei limiti di residui massimi ammessi", "Aggiornamenti ISPRA sulle conoscenze delle sostanze chimiche"). Tuttavia le finalità che il Governo europeo ha voluto perseguire con le nuove norme risultano chiare: creare un sistema di regole volto alla tutela della salute umana e al rispetto dell'ambiente pur mettendo a disposizione dei produttori idonei ed efficaci mezzi di difesa per proteggere le colture. Tutto ciò cercando di evitare che si creino barriere commerciali con i paesi importatori, dovute ad esempio alla presenza di residui non ammessi sui prodotti ortofrutticoli provenienti dall'Unione, o vantaggi competitivi per alcuni Stati membri rispetto ad altri.

Già con la direttiva 91/414/CEE (recepita dal nostro Paese con il Decreto legislativo di attuazione 17 marzo 1995, n. 194) si è assistito alla definizione degli iter di approvazione delle nuove sostanze attive e alla loro iscrizione nell'apposito elenco previsto dall'Allegato I della direttiva stessa (sostanze ecotossicologicamente idonee), alla revisione delle sostanze attive (ss.aa.) note e all'armonizzazione degli L.M.R. (Limite Massimo Residuo) tra i Paesi della Comunità Europea. In pratica un prodotto fitosanitario può essere autorizzato a livello nazionale solo se le ss.aa. in esso contenute sono iscritte in allegato I, mentre i prodotti a base delle ss.aa. che non hanno ottenuto l'inclusione nella lista vengono banditi dal mercato.

Il completamento del processo di revisione delle ss. aa. ha subito numerosi slittamenti, l'ultimo dei quali ha fissato come data conclusiva il 31 dicembre 2008, ma ci si attende un ulteriore rinvio.

I prodotti fitosanitari

Per prodotto fitosanitario si intende (Dir. 91/414/CE art.2) un formulato a base di una o più sostanze attive utile per:

- proteggere i vegetali o i prodotti vegetali da tutti gli organismi nocivi o a prevenirne gli effetti;
- eliminare le piante indesiderate;
- eliminare parti di vegetali, frenare o evitare un loro indesiderato accrescimento;
- favorire o regolare i processi vitali dei vegetali;
- conservare i prodotti vegetali.

Una classificazione dei prodotti fitosanitari può essere fatta in funzione della loro attività, cioè in base agli organismi verso cui agiscono. Si distinguono pertanto acaricidi, battericidi, diserbanti, fungicidi, fitoregolatori, insetticidi, molluschi, nematocidi, repellenti, rodenticidi e viricidi.

In base alla riallocazione che si verifica al contatto con i tessuti vegetali, essi possono essere suddivisi in prodotti:

- esofarmaci (azione per contatto): non penetrano nei tessuti vegetali ed esplicano la loro azione solo sulle superfici trattate;
- citotropici: penetrano oltre l'epidermide senza essere traslocati;
- translaminari: penetrano e raggiungono la pagina fogliare opposta;
- sistemici: penetrano nel tessuto, vengono assorbiti dai vasi e traslocati nelle diverse parti della pianta.
- mesosistemici: vengono assorbiti dalle cere e si redistribuiscono nelle diverse parti della pianta in fase di vapore;
- locosistemici: traslocano parzialmente attorno al punto di contatto.

Queste proprietà sono importanti in quanto determinano le modalità della distribuzione: impiegando un esofarmaco sarà richiesta una copertura più continua della superficie da trattare rispetto a quanto non avvenga per un endofarmaco.

La composizione di un prodotto fitosanitario può variare, ma gli ingredienti sono essenzialmente:

- sostanza attiva (s.a.): sostanza che svolge l'azione biologica dichiarata. Possono essere presenti più ss.aa. in uno stesso prodotto fitosanitario;
- solventi: permettono entrata in soluzione della s.a. In genere sono di natura organica (idrocarburi) ed evaporano dopo l'applicazione. Spesso la loro tossicità è superiore a quella della s.a.
- coadiuvanti, eccipienti: migliorano l'azione della s.a. e sono sovente determinanti per l'efficacia del fitofarmaco;
- coformulanti, inerti: servono per diluire il prodotto e renderlo più facilmente "dosabile".

I coadiuvanti favoriscono notevolmente l'applicazione del prodotto. Si distinguono in:

- disperdenti: ritardano la sedimentazione delle particelle solide;
- emulsionanti: evitano la separazione fra la parte oleosa e la parte liquida;
- bagnanti: aumentano la bagnatura degli organi vegetali trattati;
- adesivanti: aumentano l'adesività della soluzione;
- antischiuma: limitano la formazione di schiuma durante l'agitazione della miscela;
- antideriva: limitano il verificarsi del fenomeno di deriva.

Con il termine formulazione, invece, si indica la forma fisica in cui si presenta il fitofarmaco nel momento dell'utilizzazione da parte dell'operatore. Dalla formulazione possono dipendere l'efficacia del prodotto, la sicurezza per l'operatore e quella per l'ambiente (rispetto delle acque, del suolo, degli ausiliari, ecc.).

Le principali formulazioni disponibili sono:

- polveri secche e polveri solubili : non possono più essere reperite tal quali, ma si trovano commercializzate all'interno di sacchetti idrodispersibili;
- granulari (GR): il principio attivo viene fatto aderire ad inerti di origine vegetale o minerale con la dimensione dei granuli superiore a 250 µm. Non necessitano della diluizione in acqua e cedono il p.a. molto lentamente svolgendo un'azione particolarmente persistente;
- polveri bagnabili (WP): si disperdono in acqua ma sono insolubili per cui tendono a depositarsi sul fondo del serbatoio in mancanza di un'adeguata agitazione. L'elevata concentrazione della sostanza attiva e le piccolissime dimensioni delle particelle espongono l'operatore ad un rischio potenzialmente elevato;
- granuli idrodispersibili (DG, WDG): rispetto alle polveri presentano vantaggi soprattutto tossicologici e di sicurezza d'uso, venendo meno, in queste formulazioni, la caratteristica volatilità delle prime. Vengono impiegati sempre diluiti in acqua;
- liquidi solubili (LS): il p.a. è costituito da un solido o un liquido in soluzione acquosa, ma sono poco diffusi proprio per la scarsa solubilità in acqua di molte sostanze attive;
- emulsioni oleose (EC, CE): il p.a. è insolubile in acqua, ma solubile in molti solventi organici che fungono da emulsionanti. Vengono addizionati con tensioattivi allo scopo di favorirne l'emulsione (stabile) in acqua. Tra i principali svantaggi di questo tipo di formulato vi è la pericolosità di alcuni solventi organici;
- flowable o sospensione concentrata (SC): la sostanza attiva (solida) è sospesa in acqua con l'aggiunta dei vari coadiuvanti. Rispetto alle polveri bagnabili presentano maggiore facilità di preparazione della miscela, miglior adesività ed esaltazione dell'attività;
- emulsioni acquose (EA): la sostanza attiva viene emulsionata in acqua in presenza di tensioattivi, disperdenti o altri stabilizzanti in modo da formare un'emulsione stabile per almeno due anni;
- micro incapsulati (CS): la sostanza attiva è avvolta da una membrana organica (es. cellulosa o plastica) che la rilascia con gradualità. Aumenta così la persistenza e diminuiscono la tossicità orale acuta, dermale ed inalatoria, ed i rischi per l'operatore sia in fase di preparazione che di distribuzione della miscela;

- sacchetti idrodispersibili: non si tratta di una vera e propria formulazione, ma di polveri bagnabili o granuli idrodispersibili avvolti da un sottile velo plastico (PVAL) che a contatto con l'acqua si dissolve rapidamente, liberando in sospensione il prodotto.

Aspetti quantitativi legati alla distribuzione dei fitofarmaci

La disponibilità, cioè la capacità del fitofarmaco di liberare il p.a. e di farlo arrivare a contatto con l'organismo target, basa i suoi requisiti su alcuni aspetti che determinano la quantità di prodotto presente sul vegetale in un momento qualsiasi (dopo il trattamento, ovviamente). Questi aspetti quantitativi sono: la copertura, il deposito ed il residuo.

La copertura descrive il grado di dispersione del p.a. sul vegetale. Se il p.a. non "tutela" sufficientemente la superficie trattata, il parassita può penetrare nei tessuti vegetali attraverso delle zone scoperte. La copertura dipende principalmente da: dimensione delle gocce, numero di impatti e presenza di coformulanti.

Il deposito rappresenta la quota parte di prodotto che rimane sul vegetale dopo il trattamento. Gli elementi che lo determinano sono: grado di copertura, natura del formulato, natura delle superfici, carica elettrica delle molecole, coformulanti.

Il residuo viene definito come la quantità di p.a. che rimane sull'organo vegetale dopo un determinato periodo di tempo. Esso responsabile dell'azione prolungata e preventiva nei confronti dei successivi attacchi del parassita. Gli elementi che lo condizionano sono rappresentati da: mezzi di distribuzione, elementi climatici ed accrescimento della pianta. L'azione residuale del p.a. è particolarmente importante anche dal punto di vista della sicurezza alimentare in quanto è necessario che il residuo non provochi, per la troppa persistenza, accumuli che divengano dannosi per l'uomo (residui nelle derrate) e per l'ambiente.

Compatibilità fra prodotti fitosanitari

Spesso si rende necessario, per ottimizzare la tempistica aziendale, operare trattamenti con miscele estemporanee di fitofarmaci. In questi casi occorre far attenzione alla compatibilità di miscelazione fra i prodotti utilizzati. Innanzi tutto si deve verificare la compatibilità agronomica, ossia che ogni formulato espliciti la massima efficacia sia in rapporto allo stadio vegetativo da trattare, sia a quello del patogeno da contrastare. Occorre poi la piena compatibilità biologica nel senso che non vi deve essere riduzione di selettività nei confronti della coltura a causa della miscelazione. Si deve poi porre particolare attenzione alla compatibilità chimico-fisica, ossia non devono verificarsi fenomeni di degradazione reciproca fra i pp. aa. o i coformulanti e non devono manifestarsi eventi di

flocculazione e sedimentazione. Quest'ultimo aspetto è ancor più evidente nei trattamenti a basso volume in cui la miscela è notevolmente concentrata. Generalmente i formulati di tipo analogo non presentano problemi, mentre occorre maggior attenzione con formulazioni diverse (es. polveri con emulsioni). In questo caso è opportuno, in assenza di indicazioni in etichetta realizzare una prova in piccolo mescolando piccole dosi di prodotto in proporzioni uguali a quelle che verranno impiegate durante il trattamento e verificare l'omogeneità della miscela anche dopo alcuni minuti.

Classificazione tossicologica dei prodotti fitosanitari

La tossicità di un fitofarmaco può essere riferita ad un'unica somministrazione, nel qual caso si parla di tossicità acuta, o a più somministrazioni, e si parla di tossicità cronica. La tossicità acuta si esprime, per preparati solidi e liquidi, in termini di DL 50 (dose che determina la morte del 50% delle cavie trattate) e si misura in mg per kg di peso vivo; per preparati gassosi, fumiganti e aerosol si utilizza la CL 50 (Concentrazione Letale 50). La tossicità cronica esprime la tossicità di un formulato o di un principio attivo somministrato in dosi continue determinando accumulo nell'organismo.

Sulla base dei parametri di DL 50 (o CL 50) viene valutata la tossicità dei prodotti fitosanitari, che vengono così classificati:

- prodotti "molto tossici" identificati con la lettera T+ e con l'immagine del teschio e tibie incrociate su sfondo giallo arancio (appartenevano alla ex prima classe); comprendono i PF che possono provocare intossicazioni mortali per l'uomo in seguito ad assorbimento attraverso qualsiasi via;

- prodotti "tossici" identificati con la lettera T e con l'immagine del teschio e tibie incrociate su sfondo giallo arancio (appartenevano alla ex prima classe);

- prodotti "nocivi" identificati con la lettera Xn e con la croce di Sant'Andrea su fondo giallo arancio (appartenevano alla ex seconda classe); comprendono i PF che possono provocare gravi intossicazioni per l'uomo in seguito ad assorbimento per qualsiasi via.

Oltre a questi esistono prodotti fitosanitari non classificati:

- prodotti "irritanti" identificati con la lettera Xi e con la croce di Sant'Andrea su fondo giallo-arancio (appartenevano alla ex terza o quarta classe);

- prodotti non classificati come i precedenti e non identificati da simboli indicanti rischi per la salute, riportano frequentemente la dicitura "Attenzione: manipolare con prudenza" (appartenevano alla ex terza o quarta classe).

Più la DL50 e la CL50 di un fitofarmaco sono basse, più i preparati sono tossici (tab. 1.2).

Tab. 1.2 – Parametri di tossicità di una sostanza

Categoria	DL50 orale (mg/kg)	DL50 cutanea (mg/kg)	CL50 inalatoria (mg/l per 4 ore)
Molto tossica	< 25	< 50	< 0,5
Tossica	25 ÷ 200	50 ÷ 400	0,5 ÷ 2
Nociva	200 ÷ 2000	400 ÷ 2000	2 ÷ 20

Tempo di carenza

Il tempo di carenza è il periodo minimo (numero di giorni) che deve intercorrere tra la data in cui è stato eseguito il trattamento e la data di raccolta della derrata, per la sua immissione al consumo. Durante questo periodo il principio attivo ed i coadiuvanti vanno in contro ad un processo di degradazione fino ad un livello tale da non produrre effetti nocivi sull'uomo. Il tempo di carenza da rispettare non è sempre necessariamente riferito all'ultimo trattamento fatto sulla coltura, bensì al tempo di carenza più lungo tra i vari prodotti fitosanitari impiegati in prossimità della raccolta. Il tempo di carenza non dipende in alcun modo dalla classe tossicologica: un prodotto "non classificato" o "irritante" può avere un tempo di carenza maggiore rispetto ad un prodotto "molto tossico" e viceversa. Esso, inoltre, può variare da una coltura rispetto ad un'altra coltura. In caso di miscele di più fitofarmaci si deve rispettare il tempo di carenza più lungo fra quelli miscelati. In presenza di piogge o irrigazioni soprachoma verificatesi od avvenute dopo il trattamento, il tempo di carenza rimane comunque invariato. Se la coltura da trattare si trova in consociazione con altre, il tempo di carenza vale per tutte le colture interessate dal trattamento.

Tempo di rientro

Il tempo di rientro rappresenta il periodo (numero di ore) che si deve attendere, dopo il trattamento, per poter rientrare nelle aree trattate per svolgere le normali operazioni colturali (potatura, diradamento, raccolta, ecc.) senza le protezioni previste per l'esecuzione dei trattamenti (i DPI). Per molti formulati il tempo di rientro non risulta ancora indicato in etichetta, tuttavia è previsto dalla nuova normativa e dovrà essere progressivamente riportato sulle etichette dei PF; in via cautelativa si considera idoneo un tempo di rientro di almeno 48 ore.

La "Strategia tematica sull'uso sostenibile dei pesticidi"

La "Strategia tematica sull'uso sostenibile dei pesticidi" costituisce una delle sette "strategie tematiche" individuate dal Sesto programma di azione comunitario in materia di

ambiente, adottato con Decisione n. 1600/2002/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio. Gli obiettivi della strategia puntano verso la direzione già intrapresa:

- ridurre i rischi ed i pericoli per la salute umana e per l'ambiente;
- migliorare i controlli sull'uso e la distribuzione dei prodotti;
- sostituire le sostanze pericolose con alternative più sicure;
- incentivare le pratiche agricole a basso impiego di prodotti fitosanitari;
- istituire un sistema trasparente di monitoraggio e di comunicazione sui progressi compiuti.

La Direttiva Europea sull'uso sostenibile degli agrofarmaci – COM(2006) 373 – vede la propria approvazione e pubblicazione previste per l'inizio del 2009.

Fra gli strumenti adottati per raggiungere gli obiettivi previsti, vi è la Proposta di direttiva concernente le macchine per l'applicazione degli antiparassitari – COM(2008) 535 – che prevede specifici requisiti costruttivi per le nuove macchine immesse in commercio tali per cui possano essere utilizzate, regolate e sottoposte a manutenzione senza causare inutili danni all'ambiente.

La strategia individua un punto fondamentale nella fase di progettazione delle macchine irroratrici, sancendo che le loro prestazioni debbano essere valutate anche sotto il profilo della deriva. Essa riconosce altresì un ruolo essenziale al controllo funzionale periodico ed alla corretta regolazione delle macchine per la distribuzione dei fitofarmaci.

Le ispezioni periodiche delle attrezzature in uso dovranno avvenire almeno ogni 5 anni e le macchine impiegabili saranno solamente quelle che hanno superato con esito positivo l'ispezione. Tali ispezioni dovranno seguire dei criteri comuni e verranno realizzate sotto la responsabilità di organismi ufficiali designati.

È previsto che gli Stati membri istituiscano "Piani nazionali" che contengano, tra l'altro, disposizioni specifiche relative alle macchine irroratrici. Fino ad oggi in Italia le fasce di rispetto nelle colture estensive, nei frutteti o nei vigneti non sono mai state imposte obbligatoriamente, ma con l'entrata in vigore delle nuove disposizioni normative sarà necessario adottare misure appropriate in questa direzione. Il Parlamento ha respinto gli emendamenti della Commissione che proponevano di fissare a livello UE l'ampiezza di queste zone "cuscinetto" lasciando così agli Stati membri il compito di definirle. Ciò dovrà essere realizzato entro due anni dall'entrata in vigore della Direttiva.

Con l'entrata in vigore della Direttiva sarà necessario istituire anche in Italia un sistema di valutazione delle tecnologie disponibili per il contenimento della deriva simile a quelli dei Paesi nordeuropei e che si creino delle liste ufficiali con le macchine (oltre 1000 modelli presenti sul mercato italiano) ed i componenti in grado di ridurre la deriva.

Controllo funzionale delle macchine irroratrici

La vetustà del parco macchine, costituito da attrezzature tecnologicamente obsolete e talvolta contraddistinte da evidenti limiti funzionali, rappresenta uno dei punti deboli a cui porre rimedio per poter realizzare una razionale distribuzione del prodotto fitoiatrico nel rispetto dell'ambiente.

Da qui nasce l'esigenza di procedere ad una periodica verifica funzionale e regolazione delle macchine irroratrici in uso, in maniera tale da garantire una corretta e sostenibile distribuzione dei prodotti fitosanitari. Da alcuni anni è attivo nel nostro Paese un servizio di verifica funzionale e regolazione delle macchine irroratrici, ma attualmente è in essere solo in alcune Regioni e, per lo più, è limitato a quelle aziende che aderiscono alle misure agroambientali dei Piani di Sviluppo Rurale (Balsari et al., 2007; Baldoïn et al. 2007). Un Gruppo di Lavoro Nazionale è stato attivato dall'ENAMA allo scopo di uniformare, in termini di metodologie, strumentazione di prova e criteri per il mutuo riconoscimento, le attività di controllo periodico delle irroratrici impiegate per uso professionale nel nostro territorio (Balsari et al., 2007; ENAMA, 2007).

Grazie al lavoro svolto in questi ultimi anni di attività dal Gruppo di Lavoro ENAMA è stato possibile disporre di documenti di riferimento che definiscono sia gli aspetti burocratici dell'attività di controllo, sia quelli tecnici (protocolli di prova e limiti di accettabilità, requisiti delle attrezzature impiegate per i controlli, modalità di rilievo dei parametri funzionali e loro archiviazione su supporto informatico, ecc.).

Anche attraverso un'attività di controllo funzionale capillare ed uniformata sarà possibile giungere in breve tempo ad un parco macchine efficiente ed in grado di rispettare gli ulteriori requisiti di sostenibilità ambientale richiesti all'attività agricola.

La riduzione della contaminazione delle acque da agrofarmaci attraverso le buone pratiche agricole

Se si andasse semplicemente a sommare la quantità di acqua dolce disponibile su scala globale mettendola a confronto con la domanda, si scoprirebbe che attualmente la prima equivale a dieci volte la seconda; il dato, benché confortante, trae in inganno perché nasconde l'impatto prodotto dal continuo aumento della domanda (Tietenberg, 2004). Il consumo d'acqua è quadruplicato negli ultimi 50 anni, a fronte di una popolazione solo raddoppiata. Ciò significa che il consumo procapite è, a sua volta, cresciuto. Inoltre studi dell'OCSE prevedono, entro il 2020, una crescita ulteriore dei prelievi di acqua dolce del 31% rispetto ai livelli del 1995 (OECD, 2003). Da ciò deriva l'esigenza di tutelare una risorsa sempre più scarsa quale l'acqua potabile.

La legislazione comunitaria per la tutela delle acque si è occupata soprattutto dell'inquinamento provocato da sostanze nocive come i prodotti chimici e non biodegradabili. In questo senso il Parlamento Europeo ha adottato la Direttiva Europea in materia di tutela delle acque (Direttiva 2000/60/CE), stabilendo che la concentrazione massima di fitofarmaci nell'acqua potabile non deve superare gli 0,1 µg/l e che entro il 2015 le acque superficiali e sotterranee dovranno raggiungere i parametri per essere definite in "buono stato". Al contrario uno studio condotto nel 2004 dall'Istituto Francese per l'Ambiente ha evidenziato come quasi il 50% delle acque superficiali transalpine siano classificabili "mediamente di cattiva qualità". Stime attendibili riferiscono che la quantità media di principio attivo che finisce nelle acque di falda al termine del trattamento è di 7 g/ha. Numerosi studi condotti in Nord Europa hanno rivelato che fra il 50 ed il 90% dell'inquinamento delle acque dovuto ad agrofarmaci ha origine da fonti di tipo puntiforme (Seel et al., 1996; Kreuger, 1998; Mason et al., 1999; Muller et al., 2002; Maillet-Mazeray et al., 2004; Bach et al., 2005; Neal et al., 2006). Le fasi di preparazione della miscela, caricamento del serbatoio e gestione dei residui dopo il trattamento, oltre che di pulizia dell'irroratrice sono considerate le principali responsabili di questo tipo d'inquinamento.

Per sensibilizzare gli operatori agricoli riguardo questo vitale problema sono state sviluppate, nell'ambito di un progetto europeo denominato Life TOPPS (Training of Operators to prevent Pollution from Point Sources), specifiche linee guida da adottare che prendono in considerazione le varie fasi in cui c'è il rischio che si realizzino eventi di inquinamento puntiforme da agrofarmaci.

In particolare sono stati definiti sei processi che rappresentano la sequenza di operazioni necessariamente svolte nell'impiego dei prodotti per la difesa delle colture:

- trasporto;
- stoccaggio;
- fase ante distribuzione;
- distribuzione;
- fase post distribuzione;
- gestione dei reflui e dei prodotti residui.

Attualmente sono disponibili numerosi dispositivi e soluzioni tecniche atte a prevenire la contaminazione delle acque dall'inquinamento puntiforme da agrofarmaci (Balsari et al., 2007; Balsari et al., 2008; Douchin et al., 2008). Di seguito si riassumono i punti salienti delle principali buone pratiche da adottare.

Le linee guida concernenti il trasporto dei fitofarmaci dal fornitore all'azienda si riferiscono all'impiego di veicoli idonei e contenitori specifici (ad esempio furgoni con cabina separata dal vano di carico o cassettoni di sicurezza specifiche per il trasporto di prodotti fitosanitari), al controllo dell'integrità degli imballaggi, l'uso di appropriati dispositivi per il

carico e lo scarico di pallets, la disponibilità di numeri di emergenza ed istruzioni di sicurezza da impiegare in caso di eventi accidentali.

Lo stoccaggio dei PPP deve preferibilmente avvenire in un locale dedicato chiuso a chiave e chiaramente identificabile per mezzo di pittogrammi. Il pavimento di tale locale deve essere impermeabilizzato e dotato di un sistema di raccolta separata dei prodotti chimici in caso di versamento accidentale. In alternativa i contenitori dei prodotti fitosanitari devono essere posti in appositi armadi metallici in cui i formulati polverulenti vengano posizionati superiormente a quelli liquidi al fine di minimizzare i rischi legati allo spandimento. Nel locale di stoccaggio devono essere disponibili materiali inerti assorbenti per il contenimento delle perdite ed un contenitore chiaramente identificato per la raccolta dei materiali contaminati (confezioni danneggiate, materiale assorbente, ecc.).

Le fasi di preparazione della miscela e riempimento dell'irroratrice, poiché particolarmente delicate, devono essere precedute da un'attenta analisi delle aree sensibili (pozzi, stagni, fossati, ecc.) per definire le zone di rispetto ed evitare la contaminazione diretta delle acque superficiali. L'area di preparazione e carico deve essere quindi dotata di pavimentazione impermeabilizzata ed, anche in questo caso, presentare un sistema di raccolta separata dei prodotti chimici in caso di versamento accidentale ed essere il più possibile adiacente ai locali di stoccaggio dei fitofarmaci. È consigliato inoltre l'uso di un dispositivo premiscelatore che può essere indipendente dalla macchina irroratrice e disposto nell'area attrezzata, collegato con la rete idrica (fig. 2.2). Questa soluzione permette di utilizzare il medesimo premiscelatore per riempire diverse irroratrici evitando scorrette e rischiose pratiche di premiscelazione – per esempio in un secchio – e trasferimento della miscela concentrata nel serbatoio principale. Inoltre nel premiscelatore sono presenti specifici ugelli per la pulizia degli imballaggi vuoti, che permettono di trasferire l'acqua di risciacquo direttamente nel serbatoio dell'irroratrice.



Fig. 2.2 – Dispositivo premiscelatore indipendente

Durante la fase di distribuzione in campo devono essere adottati quegli accorgimenti che evitano l'insorgenza di inquinamento puntiforme quali il gocciolamento da tubazioni o ugelli – se i dispositivi antigoccia non funzionano correttamente – la dispersione di miscela durante le voltate quando non si interrompe l'irrorazione alla fine dei filari, o quando si inizia l'erogazione con irroratrice ancora ferma prima di giungere con i getti sulla vegetazione.

Un punto chiave per prevenire il rischio di inquinamento puntiforme è scongiurare alti volumi di miscela residui nel serbatoio alla fine del trattamento. Ciò può essere realizzato stabilendo con precisione il volume di liquido con cui operare sulla coltura e conseguentemente riempire il serbatoio fino al livello stabilito. Terminato il trattamento, la pulizia interna dell'irroratrice (serbatoio e circuito idraulico) è di fondamentale importanza e se la macchina è dotata di un serbatoio ausiliario, l'operazione può essere eseguita in campo diluendo la miscela residua e distribuendola sulla vegetazione. Ove possibile è opportuno eseguire anche la pulizia esterna direttamente in campo, con l'unico accorgimento, oltre a rispettare le buffer zones, di cambiare area di volta in volta. Infatti i depositi presenti sulle parti esterne della macchina, lavati con lance idropulitrici che parzializzano l'acqua impiegata, finiscono nel terreno in cui la microflora autoctona dispone già degli enzimi in grado di demolire le molecole che abitualmente vengono distribuite alle colture. In alternativa si deve disporre di un'area attrezzata nel centro aziendale, analoga a quella per le operazioni

di riempimento, per raccogliere l'acqua di lavaggio separatamente e recuperarla per il successivo smaltimento.

In fine i reflui solidi e liquidi prodotti alla fine del trattamento devono essere gestiti correttamente. I flaconi e le confezioni di fitofarmaco devono essere raccolte in contenitori dedicati per essere successivamente conferite ai centri specializzati di smaltimento, così come i residui di miscela o le acque di lavaggio dell'irroratrice. Questi ultimi possono, in alternativa, essere trattati direttamente in azienda utilizzando sistemi di biofiltrazione che consistono in una serie di cassoni contenenti substrati organici anche eterogenei (es. paglia triturrata, residui vegetali, torba, ecc.) mescolati con il terreno degli appezzamenti trattati che si basano sul principio di degradazione operata dalla microflora autoctona. Il prodotto in uscita dal sistema risulterà acqua "purificata" che può essere riutilizzata per trattamenti successivi. Un sistema alternativo, atto a favorire la degradazione microbica delle sostanze attive è il Biobed, in cui si hanno uno strato inerbato superficiale radicato su di uno strato filtrante e di degradazione (mix di torba, paglia e terreno) ed un altro di argilla racchiusi in una vasca di ampie dimensioni ed in grado di accogliere trattore ed irroratrice grazie alla presenza di una rampa che la sormonta. L'acqua in uscita può essere raccolta per la riutilizzazione o percolare nel terreno sottostante. Nel nostro paese tali sistemi sono ancora poco diffusi, ma sono in corso diverse ricerche per valutarne l'efficienza e l'adeguamento al nostro contesto agroambientale (Coppola et al., 2007; Fait et al., 2007; Sartorato, 2008).

Il fenomeno della deriva nella distribuzione degli agrofarmaci alle colture: tecniche di distribuzione a basso impatto

Si stima che durante un trattamento fitoiatrico eseguito con ordinarie tecnologie di distribuzione (atomizzatore), l'efficienza di deposizione sul bersaglio non superi il 55%. Le dispersioni di miscela assumono dimensioni variabili in funzione della natura del fattore d'inefficienza preso in esame: evaporazione (4-6%), perdite a terra (30-60%), perdite per deriva (10-15%). Queste ultime costituiscono argomento di discussione per la particolare natura del rischio cui è soggetta la salute di chi vive ed opera in ambienti in cui si ravvisa la necessità di effettuare trattamenti di difesa alle colture.

La deriva è il movimento del fitofarmaco nell'atmosfera dell'area trattata verso qualsivoglia sito non bersaglio, nel momento in cui viene operata la distribuzione (ISO 22866). In particolare si distinguono: l'endoderiva (endodrift o ground sediment) rappresentata dalla quota di miscela che ricade a terra nelle vicinanze dell'area trattata; l'esoderiva (esodrift o atmospheric drift) costituita dalla parte di miscela che si aerodisperde fuori bersaglio. Inevitabilmente quando si effettua un trattamento antiparassitario, una certa

quota di molecole chimiche (principio attivo e coadiuvanti) è soggetta a deriva, determinando varie forme d'inquinamento.

Se si definisce come efficienza di applicazione il rapporto fra il volume di liquido che si deposita sul bersaglio ed il volume totale distribuito in campo, le comuni tecniche di distribuzione che non impiegano sistemi di regolazione ed adattamento al bersaglio o alle condizioni ambientali, risultano altamente inefficienti. Gran parte di tale inefficienza è dovuta alla variabilità sia in termini dimensionali che di forma dell'oggetto del trattamento. Le irroratrici convenzionali sono generalmente progettate, valutate ed apprezzate con primaria enfasi all'uniformità di distribuzione; al contrario la distribuzione dell'organismo da colpire può presentare una notevole disformità spaziale. Tuttavia i fattori che concorrono a determinare il fenomeno della deriva e la sua intensità sono molteplici e strettamente correlati fra loro; fra i principali si riscontrano:

- il tipo di composto impiegato (formulato, coadiuvanti, acqua);
- condizioni meteorologiche (velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa);
- il volume d'irrorazione e le dimensioni delle gocce;
- la tipologia della coltura da trattare;
- il tipo di attrezzatura utilizzata;
- la manutenzione e la corretta taratura della macchina irroratrice;
- il comportamento dell'operatore.

Il ruolo del tipo di formulato nella generazione della deriva

Le caratteristiche della miscela antiparassitaria che maggiormente influenzano la deriva sono la stabilità e la volatilità. Tali proprietà saranno inevitabilmente imposte dalle caratteristiche dei componenti che costituiscono la miscela.

La stabilità è la capacità di una sostanza di mantenere inalterate nel tempo le sue caratteristiche. Spesso accade che composti relativamente stabili durante lo stoccaggio possano divenire instabili quando vengono dispersi sotto forma di goccioline o di vapore. La stabilità è condizionata anche dai processi di ossidazione o di idrolisi che si possono verificare quando la sostanza viene a contatto con molecole di ossigeno, acqua o si trova in presenza di radiazioni ionizzanti, nonché dalle dinamiche di degradazione metabolica.

La volatilità di un composto esprime 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 sostanza attiva anche in fasi successive a quelle del trattamento, quando la miscela distribuita già si trova sulla superficie

fogliare o sul terreno. Per i prodotti che sono 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.

Le proprietà della miscela hanno una grossa influenza sulla deriva e l'effetto è notevolmente condizionato dal tipo di ugello (Butler Ellis & Bradley, 2002; Herbst A., 2003), tanto che ugelli normalmente classificati come "antideriva" possono evidenziare una notevole variabilità sulla percentuale di riduzione a seconda del formulato impiegato e della sua concentrazione nella miscela (Herbst A., 2003).

Le condizioni meteorologiche

Le condizioni climatiche locali possono influenzare fortemente la quota di spray che raggiunge il bersaglio durante un trattamento. I principali fattori climatici che influenzano la deriva sono: la temperatura, la velocità e la direzione del vento, l'umidità relativa dell'aria.

Quando le goccioline hanno un diametro inferiore a 100 μm (elevato rapporto superficie/volume) il loro movimento viene influenzato anche da minimi spostamenti d'aria. Brezze leggere, caratterizzate da velocità di 6-7 km/h (2 m/s), generano su una goccia di 100 μm uno spostamento che può variare dai 15 ai 50 m. Tale fenomeno è esaltato dalla riduzione delle dimensioni delle gocce conseguente all'evaporazione in presenza di elevate temperature. La superficie delle particelle che formano un getto nebulizzato è tanto maggiore quanto minori sono le dimensioni delle gocce. Essa è importante perché a contatto con l'aria, l'acqua inizia ad evaporare con una velocità che dipende dalla temperatura, dall'umidità relativa e dalla superficie medesima. Le dimensioni delle gocce si riducono rapidamente fino a che risultano formate da materiale non volatile. A titolo di esempio in tabella 2.2 sono illustrati il tempo di vita e la distanza di caduta di gocce di diverse dimensioni a 20°C ed 80% di umidità. Come si può intuire all'aumentare della temperatura e al diminuire dell'U.R. il tempo di vita di una goccia tende a ridursi.

Tab. 2.2 – Valori del tempo di vita di una goccia e della distanza di caduta alla temperatura di 20°C ed umidità relativa dell'80%

Diametro iniziale delle gocce (μm)	Tempo di vita delle gocce (s)	Distanza di caduta (m)
50	14	0,5
100	57	8,5
200	227	136,4

Dimensioni delle gocce e potenziale di deriva

In base alle dimensioni delle gocce si possono classificare diversi gradi di polverizzazione. Una sicura ed efficace irrorazione richiede, fra le altre cose, la definizione di un appropriato grado di polverizzazione. Infatti secondo autorevoli fonti il cosiddetto spettro di polverizzazione ideale è in grado di massimizzare l'efficienza di irrorazione attraverso la deposizione della dose letale sul bersaglio e di minimizzare le perdite fuori bersaglio come la deriva (Elliot e Wilson, 1983; Hewitt et al., 1999). Sulla base di tali considerazioni a partire dalla metà del 1980 l'organismo britannico BCPC (British Crop Protection Council) prima e l'americana ASAE (American Society of Agricultural Engineers) hanno sviluppato dei protocolli per la classificazione degli ugelli idraulici in base allo spettro di gocce. Il protocollo inizialmente sviluppato dal BCPC era basato prevalentemente su ugelli a ventaglio per barre irroratrici e successivamente esteso alle varie tipologie di ugelli (a cono pieno e vuoto, a ventaglio, rotativi, ad inclusione d'aria, elettrostatici).

I diversi tipi di spruzzo vengono classificati come Very Fine (VF), Fine (F), Medium (M), Coarse (C) e Very Coarse (VC), e contraddistinti da un codice colore (fig. 3.2), a seconda che le gocce siano molto piccole, piccole, medie, grandi e molto grandi.

Per favorire l'armonizzazione della classificazione fra Europa e Stati Uniti, l'ASAE ha sviluppato il proprio protocollo sulla base dello standard di classificazione del BCPC, adottando la classe supplementare Extremely Coarse (EC).

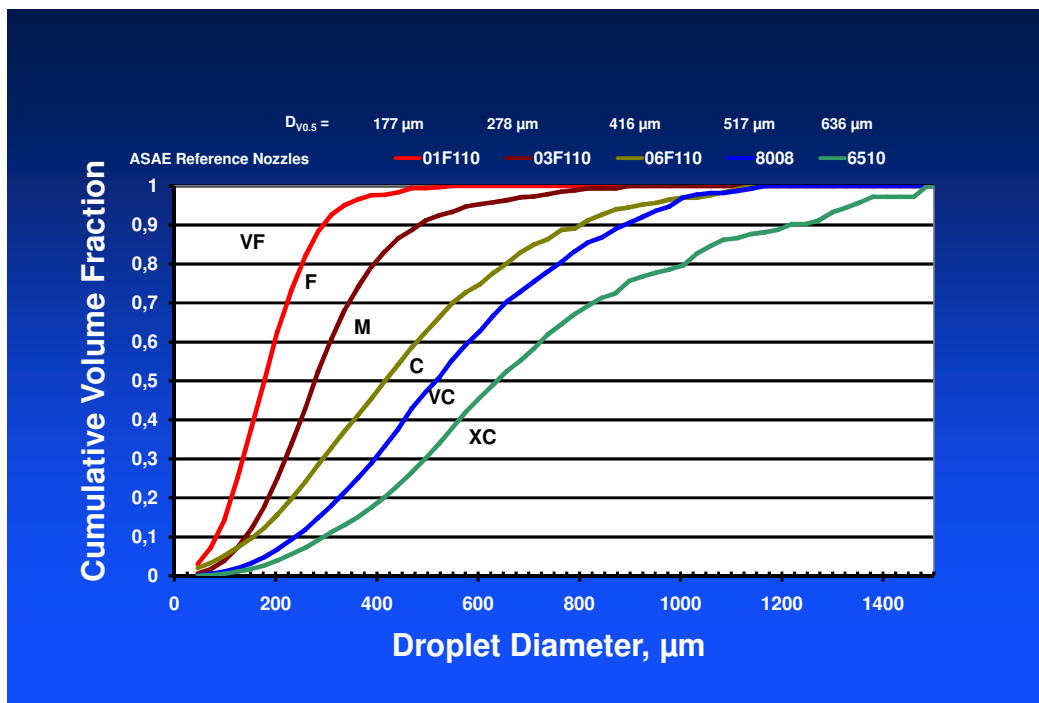


Fig. 3.2 – Curve di riferimento per la classificazione degli spruzzi secondo lo standard ASAE S572 (Kirk, 2004)

Un fattore di deriva potenziale (DPF – Drift Potential Factor) è stato adottato dall'organismo inglese per tener conto anche degli altri fattori che influenzano la deriva – come ad esempio la velocità, l'effetto del vento, la traiettoria delle gocce, ecc. – oltre alla dimensione delle gocce. Infatti alcuni ricercatori hanno osservato che la classificazione basata unicamente sullo spettro di gocce non è sufficiente per spiegare le performance in termini di contenimento della deriva di alcune tipologie di ugelli (Walklate et al., 1994). La determinazione del DPF viene calcolato sulla base dei dati ottenuti da determinazioni comparative condotte in galleria del vento che permettono di stabilire la capacità relativa di un dato ugello nel ridurre la deriva rispetto ad un ugello standard di riferimento. Per una descrizione più dettagliata della procedura analitica e dei risultati ottenibili si rimanda al capitolo X, riguardante la determinazione del DIX (Drift Potential Index), fattore analogo al DPF.

Definizione di diametro DMV, VMD ed NMD

Se si analizza la popolazione di gocce prodotta da uno spruzzatore si osserva che sono presenti gocce di dimensioni estremamente eterogenee: da diametri di qualche micron fino a qualche centinaio, ma anche superiori al millimetro (Lefebvre, 1993). Ricordando che il volume di una sfera è direttamente proporzionale al cubo del raggio, si comprende come al raddoppiare del diametro di una goccia il suo volume aumenta di otto volte. Da ciò appare evidente che la definizione del diametro medio aritmetico di un campione di gocce non risulta di alcuna utilità ai fini della caratterizzazione della popolazione.

Il parametro più usato per valutare la dimensione delle gocce è il Diametro Mediano di Volume (Volume Median Diameter, VMD), misurato in μm . Esso si determina dividendo un campione rappresentativo di gocce di un getto in due insiemi contenenti lo stesso volume di liquido in maniera tale che in un insieme siano presenti gocce di diametro minore al VMD, mentre nell'altro, gocce di diametro maggiore. Il suo valore preso singolarmente non fornisce informazioni sulla gamma dimensionale delle particelle. A tale scopo risulta utile ricorrere ad un ulteriore parametro denominato Diametro Mediano Numerico (Number Median Diameter, NMD), cioè il diametro che divide la popolazione in due parti numericamente uguali senza riferimento al loro volume. Dal rapporto fra VMD e NMD si ottiene un valore denominato coefficiente di omogeneità ($CH=VMD/NMD$) che viene adottato come indice della gamma dimensionale delle particelle: tanto più il coefficiente è vicino a 1 tanto più uniforme è lo spettro dimensionale delle gocce. Lo spruzzo prodotto da un ugello presenta un'omogeneità buona quando il valore di CH è inferiore a 2, mentre è solo sufficientemente omogeneo se CH è compreso fra 2 e 6.

Altri parametri adottati per descrivere le caratteristiche dimensionali della popolazione di gocce prodotta da un ugello sono il dv_{10} (diametro volumetrico inferiore) ed il dv_{90}

(diametro volumetrico superiore), ossia i diametri che dividono la popolazione in due frazioni che comprendono rispettivamente il 10% ed il 90% del totale.

Un ulteriore parametro utile per caratterizzare l'uniformità dimensionale di una popolazione è il coefficiente di variazione (CV). Esso viene spesso adottato per la caratterizzazione dei depositi ed è considerato buono se inferiore al 50%, discreto se compreso fra il 50 ed il 100%. Tale parametro indica in termini percentuali la dispersione di una serie di dati rispetto al valore medio ed è calcolato come rapporto percentuale fra la deviazione standard e la media.

Il volume d'irrorazione

Fra le scelte operative che si devono affrontare nell'esecuzione di un trattamento antiparassitario, una delle incognite di maggior peso che si devono definire è certamente il volume d'irrorazione. Se la dose da adottare è spesso di più semplice determinazione, perché suggerita dalle indicazioni in etichetta, la scelta dell'opportuna quantità di "veicolante", specie in frutticoltura, è un'informazione che deriva molto spesso dall'esperienza o dalla tradizione delle diverse realtà locali, più che da veri e propri dati oggettivi. Tuttavia ciò può comportare errori di sovrastima, ma anche di sottostima con conseguente scarsa efficacia dell'intervento. Il volume d'irrorazione deve essere attentamente calcolato per ottenere un'ottimale bagnatura della coltura ed evitare inutili sprechi o sottodosaggi di fitofarmaco. La situazione in cui più facilmente si riscontrano errori, dipendendo strettamente dallo sviluppo della coltura (specie, età, forma di allevamento, stadio fenologico, ecc.), è quella delle colture arboree.

In ogni caso la scelta del volume di miscela da irrorare è condizionata da numerosi fattori come le caratteristiche specifiche di deposizione per ogni tipo di formulato antiparassitario, dal tipo di applicazione che s'intende adottare, dalle caratteristiche dimensionali del bersaglio e dalle condizioni meteorologiche nelle quali si opera.

La variabile da cui si può partire per la determinazione di volume d'irrorazione e dose di fitofarmaco è, in ogni caso, la superficie fogliare della pianta. Supponendo di conoscere la superficie fogliare da trattare e di poter stimare con sufficiente accuratezza le perdite di miscela durante il trattamento, il volume d'irrorazione può essere calcolato attraverso l'espressione matematica:

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

dove:

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.

Si tratta di un metodo con scarsa utilità pratica risultando complesso essendo le variabili in gioco estremamente difficili da stimare.

Partendo dalla constatazione che la superficie fogliare di pomacee e drupacee ed il volume della chioma sono correlati, sono stati sviluppati da alcuni ricercatori dei metodi pratici per stimare il volume di miscela adeguato per trattare un frutteto in funzione dei parametri vegetativi che lo caratterizzano in vari momenti della stagione vegeto-produttiva.

Il modello Tree-Row-Volume (TRV) è un metodo per determinare la quantità di fitofarmaco necessaria per unità di superficie (convenzionalmente l'ettaro) (Unrath et al., 1986) ed è un modello tecnicamente applicabile per qualsiasi specie in cui il volume della chioma aumenti anno dopo anno o si sviluppi durante la stagione vegetativa (Satton e Unrath, 1988; Rüegg et al. 1999).

Il concetto del TRV è stato inizialmente sviluppato per i trattamenti alle pomacee e poi esteso alle drupacee. Si basa sull'assunto che ogni filare di piante di un frutteto sia una parete fogliare continua e che la quantità di miscela necessaria sia correlata con il volume di foglie di tale parete. Secondo il modello 1 l di miscela può saturare, in termini di deposito, un volume di fogliame noto e correlato con l'area fogliare. Tuttavia nell'applicare il modello la quantità di miscela impiegata dipende dalle caratteristiche del frutteto e dal tipo di risposta che si vuole ottenere. Ad esempio, sempre secondo il modello, impiegando regolatori di crescita per contenere il vigore vegetativo sarà necessario un volume maggiore rispetto ad un trattamento fungicida o insetticida. La dose ad ettaro è quindi calcolata sulla base delle indicazioni in etichetta per ettolitro ed il volume "corretto" di foglie sull'unità di superficie. Durante la crescita vegetativa il deposito rinvenuto sulla vegetazione deve restare sempre costante. Ne consegue che con il decorrere della stagione l'incremento della massa vegetativa determina l'aumento della quantità di spray e della dose di fitofarmaco da applicare.

Un sistema alternativo al TRV è il cosiddetto UCR (Unit Canopy Row), utilizzato ampiamente in Australia e Nuova Zelanda (Furness et al., 1998; Furness et al., 2000; Barani et al., 2008) su vite, pomacee, drupacee, agrumi ed altre colture arboree. Anche in questo caso il concetto di base è l'adattamento del volume di acqua al volume della chioma, ma a differenza del TRV (che esprime il volume in l/ha), il volume da irrorare viene espresso in l/100 metri lineari. Pertanto, il bersaglio viene considerato come un unico filare lungo quanto tutte le file poste consecutivamente l'una dopo l'altra. Il volume di spray da irrorare è in funzione dell'altezza della fascia vegetativa da trattare, del suo spessore e di un valore

definito canopy retention volume (volume di ritenzione della chioma), che esprime la quantità di acqua necessaria per irrorare una quantità unitaria di vegetazione (corrispondente a 1 UCR). Per UCR si intende il volume unitario della chioma riferito a 100 metri di lunghezza: 1 UCR corrisponde a 100 m³ di vegetazione. Logicamente il volume di ritenzione della chioma assume grandezze diverse in funzione delle caratteristiche delle foglie (dimensioni, tomentosità) e della densità della chioma caratteristica di ogni coltura.

Fino a qualche anno fa il volume utilizzato era sicuramente esagerato, con conseguenti riflessi negativi. Negli ultimi anni è in atto una giustificata e consistente riduzione, non solo in frutticoltura e in viticoltura, ma anche sulle colture erbacee, con positivi risvolti tecnici, economici ed ambientali: diminuire il volume totale dell'applicazione comporta una riduzione di acqua impiegata e dei tempi di riempimento, nonché del tempo richiesto per la distribuzione. In tabella 3.2 (Savi, 1996) sono illustrati i principali vantaggi dell'impiego del basso volume nell'irrorazione. Tutto ciò resta vero tenendo sempre conto del limite imposto dai problemi di deriva e di evaporazione tipici delle gocce fini.

Tab. 3.2 – Vantaggi dell'impiego del basso volume nell'irrorazione

Tecnici	Agronomici
<ul style="list-style-type: none"> • Carenza d'acqua 	<ul style="list-style-type: none"> • Attrezzature più leggere
<ul style="list-style-type: none"> • Lontananza dei punti di rifornimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Minore compattamento del terreno
<ul style="list-style-type: none"> • Viabilità spesso difficile 	
<ul style="list-style-type: none"> • Ingombro del materiale (attrezzature più piccole, più leggere, più manovrabili) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Durata del trattamento (minori rifornimenti, riduzione dei tempi morti) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Qualità del trattamento (minore sgocciolamento, più prodotto sulla vegetazione, migliore copertura ed efficacia) 	
Di ordine umano	Ecologico-ambientali
<ul style="list-style-type: none"> • Carenza di manodopera 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibile riduzione fino ad un 20% del formulato impiegato
<ul style="list-style-type: none"> • Miglioramento delle condizioni di lavoro (minore esposizione degli operatori) 	<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione dei fenomeni indesiderati (sgocciolamento, ecc.)
Economici	
<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione dei prezzi di acquisto delle attrezzature 	
<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione dei tempi di lavoro fino al 40-50% e oltre 	
<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione dell'energia umana e meccanica (operatore, combustibili, lubrificanti) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Riduzione complessiva dei costi della difesa fino al 50% 	

Condizioni operative

Le scelte operative che definiscono il corretto impiego dell'irroratrice riguardano:

- tipo di ugelli
- pressione di esercizio
- velocità di avanzamento
- volume di irrorazione
- regolazione del ventilatore

Gli ugelli rappresentano uno degli elementi su cui è possibile intervenire per attenuare la deriva. Attualmente sono disponibili sul mercato varie tipologie di ugelli antideriva che se impiegati alle corrette pressioni di esercizio, permettono di ottenere spettri dimensionalmente omogenei. A seconda del tipo di trattamento da effettuare (coprente o bagnante) e del grado di copertura da raggiungere ci si potrà orientare verso un tipo di ugello o un altro ad una gamma di pressioni adeguate. Per uno stesso ugello la pressione di esercizio è in grado di condizionare fortemente soprattutto il grado di polverizzazione ed il potenziale di deriva, mentre agisce in maniera più blanda sulla portata. Per raddoppiare la portata di un ugello è infatti necessario quadruplicare la pressione, ma ciò creerebbe goccioline radicalmente più piccole. È consigliabile quindi cambiare ugello con uno di portata maggiore se ad esempio si rende necessario modificare il volume di applicazione piuttosto che aumentare troppo la pressione d'esercizio. Dei volumi d'irrorazione si è già accennato in precedenza evidenziando come questo debba essere scelto in funzione della massa di vegetazione da trattare.

In funzione del volume di vegetazione da coprire risulta necessario proporzionare anche i parametri di portata, velocità e direzione dell'aria del ventilatore (Panneton et al., 2005b; Pergher & Petris. 2008b). L'aria ha l'importante funzione di trasportare le gocce verso la vegetazione e all'interno del fogliame. Gli accorgimenti da adottare per limitare la deriva sono quelli di usare velocità e portare d'aria sufficienti a muovere le foglie senza sfondare la parete vegetale, mentre il direzionamento deve essere tale da inviare il liquido nebulizzato intercettando la sagoma delle piante senza oltrepassarla. Un'utile accorgimento di ordine pratico per verificare le citate regolazioni è quello di utilizzare del nastro segnaletico bianco e rosso legandolo alla base, sopra la sommità della vegetazione e sul lato opposto del filare trattato. Azionando il ventilatore si potrà regolarne la velocità agendo sui giri del motore piuttosto che sull'inclinazione delle pale. In questo modo non si rischia di compromettere l'efficienza del ventilatore, cosa che si realizza inevitabilmente modificando l'inclinazione delle pale definita in fase di progetto. È bene sottolineare che con la semplice adozione del sistema di chiusura dell'aria sull'irroratrice, è possibile ridurre la deriva di un buon 20-30%.

Anche la velocità con la quale si opera può influenzare l'efficienza di applicazione (Van de Zande et al., 2005). Velocità di avanzamento maggiori di 6-8 km/h condizionano negativamente la deriva aumentando la turbolenza in prossimità dell'uscita dei getti e provocando una maggior dispersione delle gocce più piccole.

Manutenzione e corretta “taratura” della macchina irroratrice

La manutenzione e la corretta regolazione dell'irroratrice sono due dei fattori riconducibili al comportamento dell'operatore. Spesso alla manutenzione non viene riconosciuto il ruolo che invece ha: mantenere inalterata la funzionalità della macchina in modo da ottenere la massima efficienza in termini di polverizzazione, dosaggio del liquido in gocce e loro trasporto sulla vegetazione. Una corretta regolazione permette fra l'altro di distribuire la miscela senza incorrere nei rischi di sovra o sotto dosaggi.

Le perfette condizioni funzionali della macchina sono un requisito indispensabile ed imprescindibile affinché si possano ottenere soddisfacenti risultati in termini di efficacia del trattamento (Ayers & Bosley, 1991; Assirelli, 2008; Vieri, 2003). Partendo dall'assunto che la macchina sia in condizioni ottimali di funzionamento è possibile realizzare la sua regolazione per ottimizzare altresì la distribuzione in funzione delle condizioni operative (tipo di trattamento, caratteristiche del bersaglio, condizioni ambientali, ecc.).

Si potrà quindi procedere alla regolazione della macchina andando a determinare la portata degli ugelli che ci permetterà di distribuire il volume prestabilito di liquido in funzione della velocità di avanzamento, della larghezza di lavoro e del numero di ugelli che si devono aprire:

$$q = \frac{V \times l \times v}{600 \times n}$$

Dove:

q: portata di ogni ugello [l/min]

V: volume da distribuire [l/ha]

l: larghezza di lavoro (larghezza della barra per le colture erbacee; larghezza dell'interfila per le colture arboree) [m]

v: velocità di avanzamento [km/h]

n: numero di ugelli

Le tabelle dei costruttori riportano per ogni ugello oltre al codice colore, che ne permette l'agevole identificazione, la portata alle diverse pressioni di esercizio (fig. 4.2).

colour	part no mesh #	metric					imperial								
		pressure Bar	flow L/min	application rates litres per hectare at					pressure psi	flow gpa	application rates gallons per acre at				
				8km/h	10km/h	12km/h	16km/h	20km/h			5mph	6mph	8mph	10mph	12mph
ORANGE	01F110OR 60 L/ha 5 gpa (100 #)	2.0	0.327	49	39	33	24	19	30	0.073	4.3	3.6	2.7	2.2	1.8
		2.5	0.365	55	44	37	27	22	40	0.084	5.0	4.2	3.1	2.5	2.1
		3.0	0.400	60	48	40	30	24	45	0.089	5.3	4.4	3.3	2.6	2.2
		3.5	0.432	65	52	43	32	26	50	0.094	5.6	4.6	3.5	2.8	2.3
4.0	0.462	69	55	46	35	27	60	0.103	6.1	5.1	3.8	3.1	2.5		
GREEN	015F110GR 90 L/ha 7.5 gpa (100 #)	2.0	0.490	73	59	49	37	29	30	0.109	6.5	5.4	4.1	3.2	2.7
		2.5	0.548	82	66	55	41	33	40	0.126	7.5	6.2	4.7	3.7	3.1
		3.0	0.600	90	72	60	45	36	45	0.134	7.9	6.6	5.0	4.0	3.3
		3.5	0.648	97	78	65	49	39	50	0.141	8.4	7.0	5.2	4.2	3.5
4.0	0.693	104	83	69	52	41	60	0.154	9.2	7.6	5.7	4.6	3.8		
YELLOW	02F110YE 120 L/ha 10 gpa (100 #)	2.0	0.653	98	78	65	49	39	30	0.145	8.6	7.2	5.4	4.3	3.6
		2.5	0.730	110	88	73	55	44	40	0.168	10.0	8.3	6.2	5.0	4.1
		3.0	0.800	120	96	80	60	48	45	0.178	10.6	8.8	6.6	5.3	4.4
		3.5	0.864	130	104	86	65	52	50	0.188	11.2	9.3	7.0	5.6	4.6
4.0	0.924	139	111	92	69	55	60	0.206	12.2	10.2	7.6	6.1	5.1		
BLUE	03F110UB 180 L/ha 15 gpa (100 #)	2.0	0.980	147	118	98	73	59	30	0.219	13.0	10.8	8.1	6.5	5.4
		2.5	1.095	164	131	110	82	65	40	0.253	15.0	12.5	9.4	7.5	6.2
		3.0	1.200	180	144	120	90	72	45	0.268	15.9	13.3	10.0	8.0	6.6
		3.5	1.296	194	156	130	97	78	50	0.283	16.8	14.0	10.5	8.4	7.0
4.0	1.386	208	166	139	104	83	60	0.310	18.4	15.3	11.5	9.2	7.6		
RED	04F110RE 240 L/ha 20 gpa (50 #)	2.0	1.306	196	157	131	98	78	30	0.291	17.3	14.4	10.8	8.6	7.2
		2.5	1.461	219	175	146	110	87	40	0.336	20.0	16.6	12.5	10.0	8.3
		3.0	1.600	240	192	160	120	96	45	0.356	21.2	17.6	13.2	10.6	8.8
		3.5	1.728	259	207	173	130	103	50	0.376	22.3	18.6	13.9	11.2	9.3
4.0	1.848	277	222	185	139	111	60	0.412	24.4	20.4	15.3	12.2	10.2		
BROWN	05F110LB 300 L/ha 25 gpa (50 #)	2.0	1.633	245	196	163	122	98	30	0.365	21.7	18.0	13.5	10.8	9.0
		2.5	1.826	274	219	183	137	109	40	0.421	25.0	20.8	15.6	12.5	10.4
		3.0	2.000	300	240	200	150	120	45	0.447	26.5	22.1	16.6	13.3	11.0
		3.5	2.160	324	259	216	162	129	50	0.471	28.0	23.3	17.5	14.0	11.6
4.0	2.309	346	277	231	173	138	60	0.516	30.6	25.5	19.1	15.3	12.7		
GREY	06F110GY 360 L/ha 30 gpa (50 #)	2.0	1.960	294	235	196	147	117	30	0.437	26.0	21.6	16.2	13.0	10.8
		2.5	2.191	329	263	219	164	131	40	0.505	30.0	25.0	18.7	15.0	12.5
		3.0	2.400	360	288	240	180	144	45	0.536	31.8	26.5	19.9	15.9	13.2
		3.5	2.592	389	311	259	194	155	50	0.565	33.5	27.9	21.0	16.8	13.9
4.0	2.771	416	333	277	208	166	60	0.618	36.7	30.6	23.0	18.4	15.3		
WHITE	08F110WH 480 L/ha 40 gpa (50 #)	2.0	2.613	392	314	261	196	157	30	0.583	34.6	28.9	21.6	17.3	14.4
		2.5	2.921	438	351	292	219	175	40	0.673	40.0	33.3	25.0	20.0	16.6
		3.0	3.200	480	384	320	240	191	45	0.714	42.4	35.3	26.5	21.2	17.6
		3.5	3.456	518	415	346	259	207	50	0.752	44.7	37.2	27.9	22.2	18.6
4.0	3.695	554	443	370	277	221	60	0.824	49.0	40.8	30.6	24.5	20.4		
LIGHT BLUE	10F110CB 600 L/ha 50 gpa (30 #)	2.0	3.266	490	392	327	245	196	30	0.729	43.3	36.1	27.1	21.7	18.0
		2.5	3.651	548	438	365	274	219	40	0.842	50.0	41.7	31.3	25.0	20.8
		3.0	4.000	600	480	400	300	240	45	0.893	53.0	44.2	33.2	26.5	22.1
		3.5	4.320	648	518	432	324	259	50	0.941	55.9	46.6	34.9	28.0	23.3
4.0	4.619	693	554	462	346	277	60	1.031	61.3	51.0	38.3	30.6	25.5		
LIGHT GREEN	15F110LG 900 L/ha 76 gpa (30 #)	2.0	4.899	735	588	490	367	294	30	1.108	65.8	54.8	41.1	32.9	27.4
		2.5	5.477	822	657	548	411	328	40	1.279	76.0	63.3	47.5	38.0	31.6
		3.0	6.000	900	720	600	450	360	45	1.357	80.6	67.2	50.4	40.3	33.6
		3.5	6.481	972	778	648	486	389	50	1.430	84.9	70.8	53.1	42.5	35.4
4.0	6.928	1039	831	693	520	415	60	1.566	93.0	77.5	58.2	46.5	38.7		
BLACK	20F110BL 1200 L/ha 100 gpa (30 #)	2.0	6.532	980	784	653	490	392	30	1.458	86.6	72.2	54.1	43.3	36.1
		2.5	7.303	1095	876	730	548	438	40	1.684	100.0	83.4	62.5	50.0	41.7
		3.0	8.000	1200	960	800	600	480	45	1.786	106.1	88.4	66.3	53.0	44.2
		3.5	8.641	1296	1037	864	648	518	50	1.883	111.8	93.2	69.9	55.9	46.6
4.0	9.238	1386	1109	924	693	554	60	2.062	122.5	102.1	76.6	61.3	51.0		

Application rates shown on this chart are based upon tests at 3 bar and 50cm nozzle spacings. For spacings of 33cm multiply by 1.5. For spacings of 18 ins multiply by 1.1

Fig. 4.2 – Tabella contenente i valori di pressione e relativa portata di ugelli ISO (Lurmark)

Se nella tabella non dovesse essere presente la portata desiderata per una data pressione si potrà ricavare il nuovo valore di pressione a cui l'ugello fornirà la portata desiderata attraverso la formula:

$$P_1 = \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2 \times P_2$$

In cui:

P_1 : nuovo valore di pressione cercato

P_2 : valore di pressione tabellare

q_1 : portata desiderata

q_2 : portata dell'ugello ricavata dalla tabella

Nella scelta del volume di aria necessario, in funzione della velocità dell'aria e della densità di vegetazione, ci si potrà riferire alla seguente formula, ricavata da alcuni studi condotti dal Cento svizzero FAT:

$$V_a = \frac{v \times l \times h}{f} \times 1000$$

In cui:

V_a : volume d'aria necessario [m^3/h]

v: velocità di avanzamento [km/h]

l: larghezza di irrorazione [m]

h: altezza delle piante (m)

f: fattore di espansione

Nella formula il volume d'aria viene corretto per un fattore di espansione della chioma che considera il richiamo e la densità della vegetazione. Tale fattore potrà pertanto assumere i seguenti valori:

- 2, con bassa velocità dell'aria e vegetazione non densa;
- 3, con alta velocità dell'aria e vegetazione non densa, oppure bassa velocità dell'aria e vegetazione densa;
- 4, con alta velocità dell'aria e vegetazione densa.

Tecnologie innovative per il contenimento della deriva

Irroratrici a carica elettrostatica

Questa tipologia d'irroratrici presenta un apparato in grado di caricare elettricamente le gocce irrorate con una carica opposta rispetto a quella del bersaglio così da favorire un aumento dei depositi sulla vegetazione e, conseguentemente, minori dispersioni. Com'è noto ciò avviene per il principio di attrazione degli opposti – cariche di segno opposto si attraggono, mentre quelle del medesimo segno si respingono – e per il principio d'induzione – un corpo carico elettricamente induce una carica di ugual valore ma di segno opposto su di un altro corpo conduttore che gli sia vicino. Pertanto una nuvola di gocce cariche negativamente induce delle cariche positive sulla pianta.

Esistono tre tecniche per caricare elettrostaticamente il getto nebulizzato:

- Metodo per corona o per campo ionizzato: l'elettrodo è costituito da un conduttore appuntito caricato ad alta tensione (fino a 70 kV) per creare un forte campo elettrico attorno alla punta. L'intensità del campo elettrico è sufficiente per ionizzare le molecole d'aria. Se un flusso di liquido passa nelle vicinanze della punta dell'elettrodo gli ioni prodotti sono attratti dal liquido e vanno a fissarsi sulla superficie delle goccioline. Tale metodo risulta attuabile anche con liquidi che presentano conducibilità elettrica molto bassa.
- Metodo per contatto: l'alta tensione è collegata e mantenuta direttamente sull'ugello ed il trasferimento di carica avviene per conduzione. In campo agricolo viene utilizzato solo su piccole irroratrici portatili poiché la carica viene trasmessa in tutte le parti dell'impianto, per cui è necessario isolare tutto il sistema.
- Metodo per induzione: l'elettrodo carico è posto in prossimità della zona in cui si formano le goccioline. Per il fenomeno di induzione elettrostatica un liquido conduttore subisce un accumulo di carica di segno opposto rispetto all'elettrodo, con la conseguente formazione di un flusso di cariche all'interno del liquido.

La presenza di cariche elettriche sulla superficie delle goccioline induce la rottura delle gocce più grandi sotto l'azione delle forze elettrostatiche incrementando l'efficienza del processo di atomizzazione. La distribuzione spaziale delle gocce è molto più uniforme grazie al fenomeno di repulsione fra le cariche. Inoltre la forza generata dal campo elettrico può risultare maggiore di quella di gravità facendo sì che le gocce vadano a depositarsi maggiormente sulla pagina inferiore delle foglie dove si annidano molti parassiti (Coffee, 1981). Questo effetto ha influenza anche sulla deriva con una relativa riduzione (Western e Hislop, 1997). Inoltre sembra sia possibile operare una riduzione fino al 20% delle dosi normalmente impiegate nei trattamenti antiparassitari (Cesari et al., 1986).

Pertanto c'è da sottolineare che molte note in letteratura hanno spesso rilevato la mancanza dei presunti vantaggi di questa tecnica (Ganzelmeier, 1987; Law et al., 1988). Per ottenere buoni risultati la distanza dal bersaglio deve essere mantenuta bassa. Le particelle di liquido tendono infatti a perdere la carica durante il percorso verso la vegetazione (Vieri e Giorgetti, 2001). Inoltre è stata evidenziata la scarsa penetrazione delle gocce negli strati fogliari più interni della chioma e ciò sembra dovuto al fatto che le cariche derivanti dal deposito più esterno tendono a respingere le nuove gocce. Fra gli effetti indesiderati vi è anche l'abbondante deposizione di miscela su spigoli appuntiti dove si concentrano le cariche e la forte contaminazione delle strutture composte da materiali conduttori (Giles et al., 1992).

Interessanti risultati in termini di miglioramento nell'efficienza di deposizione ed ottimizzazione dei parametri d'esercizio stanno arrivando da recenti studi condotti in Italia e all'estero (Rimediotti et al., 2008; Zhao et al., 2008).

I diversi sistemi a carica elettrostatica trovano impiego prevalentemente in arboricoltura, ma esistono studi volti a valutarne l'impiego anche su colture protette, che per i sistemi d'impianto sembrano particolarmente adatte data la vicinanza fra punto di erogazione e parete vegetale (Vieri, 2002). Inoltre il sistema può essere applicato a diverse tipologie d'irroratrici, sia le tradizionali lance sia le attrezzature dotate di disco polverizzatore (centrifughe), o di tipo aeroassistito.

L'agricoltura di precisione e la sensoristica nel contenimento della deriva

Come riferito poc'anzi la maggior parte delle macchine irroratrici in uso è concepita senza tener conto dell'adattamento al bersaglio da trattare o alle condizioni ambientali d'impiego.

I sistemi di controllo e sensorizzazione per le macchine irroratrici agricole possono ridurre la deriva attraverso la regolazione della portata di liquido in uscita per concentrare i depositi esclusivamente sul bersaglio, l'adattamento a mutevoli condizioni ambientali o la variazione della dose in accordo con lo stato sanitario della coltura già noto a priori. La tecnologia e le tecniche per questo tipo di applicazioni afferiscono alla cosiddetta agricoltura di precisione o più esattamente "precision application".

I principali approcci su cui si basa la "precision application" sono il controllo sensorizzato della distribuzione in tempo reale e quello basato su mappatura. Vengono così a delinearsi differenti scenari, di seguito descritti, attraverso i quali l'irrorazione di precisione può ridurre la deriva.

- Sistemi di erogazione ad alta precisione attraverso tecnologie tradizionali (es. polverizzazione per pressione mediante classici ugelli idraulici), in cui i sensori vengono utilizzati per identificare il bersaglio e focalizzare lo spruzzo esclusivamente su di esso. Esempi di questo sistema si riferiscono alle macchine per il diserbo basate su sensori NIR (Near Infrared Radiation) per il riconoscimento del vicino infrarosso. Questo approccio permette il contenimento della deriva principalmente attraverso la riduzione della quantità di presidio irrorato.

- Sistemi di erogazione ad alta precisione attraverso tecnologie implementate, in cui il sensore guida la dinamica d'irrorazione che si modifica sfruttando le ulteriori potenzialità messe a disposizione dal sensore stesso come nel caso del machine-vision nell'identificazione delle infestanti e l'impiego di getti, gocciolatori o microdosi.

- Distribuzione a dose variabile basata su mappatura e sistema GPS, in cui un sistema DGPS (Differential Global Positioning System) permette l'applicazione con dose spazialmente variabile grazie alle informazioni presenti su una mappa di prescrizione che può essere costruita su dati storici d'infestazione del campo, rilevazione con sensori delle caratteristiche fitosanitarie della coltura, scouting, ecc. Un interessante esempio di questo approccio è l'impiego di mappe in cui sono inseriti dati relativi a siti sensibili (es. così d'acqua, habitat, ecc.) per i quali devono essere considerate delle zone di rispetto in prossimità delle quali viene esclusa in parte o in toto l'irrorazione. Questi sistemi possono ridurre la deriva riducendo la dose applicata o variando spazialmente la distribuzione.

- Distribuzione a dose costante o variabile basata su sensori e sistema GPS. In questo caso il sistema DGPS e la mappa di prescrizione vengono usati per guidare il trattamento, mentre i sensori rilevano determinate variabili quali le condizioni meteo e le caratteristiche della vegetazione aggiustando istantaneamente la dose da distribuire. Inoltre ulteriori dispositivi come sistemi di miscelazione automatici del fitofarmaco, regolatori di portata dell'aria e controllo della dimensione delle gocce possono ottimizzare le caratteristiche dello spray adattandole spazialmente, istante per istante. Il contenimento della deriva si realizza riducendo nel complesso la quantità di prodotto chimico impiegato grazie all'implementazione delle varie tecnologie sopra citate.

Queste tecnologie, seppur molto promettenti sono poco conosciute e ancora poco diffuse, ma rappresenteranno certamente, nel prossimo futuro, un utile ausilio per il contenimento delle dispersioni soprattutto nella distribuzione su colture arboree.

In particolare il ricorso all'irrorazione selettiva guidata da sensori sembra possa portare alla riduzione delle perdite di distribuzione e al ridotto impiego di prodotti fitosanitari. La quantità di miscela risparmiata dipende, oltre che dalla precisione dei sensori, anche dalla dimensione delle piante e dal sistema di allevamento. Varie ricerche su differenti tecnologie di applicazione selettiva hanno permesso di definire un risparmio di prodotto variabile tra il 10 ed il 60% in relazione all'età delle piante, alla specie ed alla forma di allevamento (Doruchovski et al., 1998; Koch e Weisser, 2000; Balsari e Tamagnone, 1998).

Anche l'efficacia biologica dell'irrorazione selettiva si è rivelata del tutto paragonabile a quella ottenuta con tecniche tradizionali contro crittogame, artropodi ed acari (Koch e Weisser, 2000).

La rilevanza della deriva dipende, come per la quantità di prodotto risparmiata, dalla frequenza di spazi vuoti rispetto alla vegetazione. In ogni caso sono state prodotte riduzioni delle dispersioni variabili tra il 25 ed il 50% (Koch e Weisser, 2000; Ganzelmeier e Rautmann, 2000).

Questo tipo di sistemi sono particolarmente interessanti poiché potenzialmente applicabili sulla maggior parte delle comuni irroratrici per colture arboree, pertanto facilmente adottabili da qualsiasi addetto al loro impiego.

Irroratrici a tunnel

Le prime irroratrici a tunnel con sistemi di contenimento dello spray che racchiudevano parzialmente il filare vennero sviluppate già a partire dai primi anni '70 (Shanks et al., 1972). Gli schemi costruttivi che da allora sono stati proposti sono numerosi e variamente complessi (fig. 5.2). Si va dalla semplice schermatura al di là della parete trattata (con apparato scavallante) per impedire l'esoderiva (Hogmire & Peterson, 1997; Peterson & Hogmire, 1994; Porrás-Soriano et al., 2005a; Porrás-Soriano et al., 2005b), fino alle vere e proprie macchine a recupero di prodotto (Baldoín et al., 2005; Holownicki et al., 1997; Pergher & Gubiani, 1997; Pergher & Petris, 2008; Werken Van der, 1991).

Le soluzioni costruttive attualmente proposte, frutto di numerosi studi ancor oggi in divenire, prevedono tre differenti sistemi di recupero del prodotto fuori bersaglio:

- sistema a deflettori;
- sistema a collettori;
- sistema a tunnel.

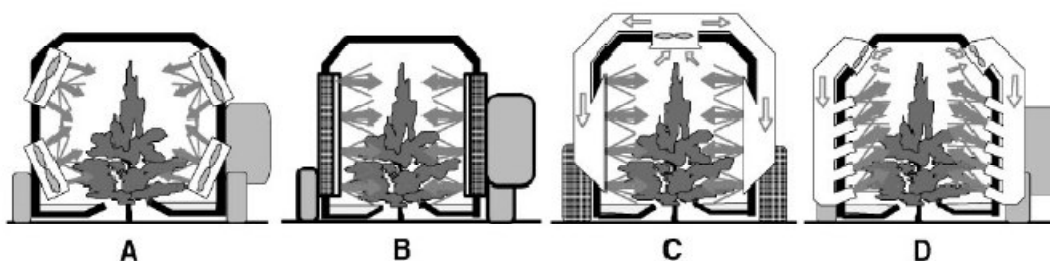


Fig. 5.2 – Soluzioni costruttive di alcune irroratrici a recupero di prodotto (Doruchowski & Holownicki, 2000): (A) a ventilatore assiale e sistema CDA (Peterson & Hogmire, 1994); (B) a ventilatori tangenziali ed ugelli a cono vuoto (JOCO system); (C) a tunnel con getti d'aria opposti (Werken Van der, 1991); (D) a tunnel con getti d'aria inclinati (Holownicki et al., 1997)

Il sistema a deflettore (Pergher & Gubiani, 1997) presenta una schermatura arcuata "riflettente" al di là della pianta irrorata che realizza il cambiamento di direzione del getto che la incontra verso la vegetazione. In questo modo le goccioline con diametro inferiore (80-100 μm) vengono reinviolate verso la parete vegetale, mentre le gocce di maggiori dimensioni scivolano lungo la parete fino a dei pozzetti di recupero dove vengono raccolte ed il liquido reinviato al serbatoio. Durante le prime fasi vegetative è possibile trattare entrambi i lati del

filare con un unico passaggio. Si tratta di una soluzione funzionale alquanto semplice che presenta una maggiore efficienza con l'impiego di ventilatori tangenziali (fino al 50% di prodotto recuperato nelle prime fasi vegetative).

Il sistema a collettori (Panneton et al., 2004; Panneton et al., 2005) prevede la presenza di pannelli collettori con funzione di intercettazione delle gocce che, trasportate dall'aria, oltrepassano la vegetazione. Davanti ai pannelli possono essere posizionati dei dispositivi con funzione di separazione aria-liquido per aumentare l'efficienza del sistema. Il liquido intercettato scivola sui pannelli fino a dei pozzetti che raccolgono il liquido. Quest'ultimo viene, previa filtrazione, reinviato al serbatoio mediante una pompa elettrica o un idroiniettore Venturi. La posizione delle pareti collettrici (una per filare) rispetto alla parete di foglie può essere regolata attraverso un sistema idraulico che agisce su dei bracci di sostegno dei pannelli. anche in questo caso la quantità di prodotto recuperabile dipende dalla fase vegetativa in cui si effettua l'applicazione e dai volumi di miscela impiegati. Si va da un 60-65% dei primi trattamenti, fino ad un massimo del 20-25% in piena vegetazione. Gli studi condotti su questo sistema di recupero hanno evidenziato che a parità di sviluppo vegetativo la portata d'aria in gioco ha evidenti effetti sulla copertura; i migliori risultati in termini di depositi fogliari possono essere ottenuti attraverso il corretto orientamento dei flussi d'aria. Quest'ultimo influisce sia sulla copertura che sui recuperi (Panneton & Lacasse, 2005).

Nel sistema a tunnel la vegetazione del filare viene parzialmente racchiusa da due pannelli a recupero contrapposti e sormontati da una paratia di contenimento delle goccioline che tendono ad aerodispersarsi. Tale sistema è in assoluto il più diffuso. Le soluzioni costruttive prevedono attrezzature semi-portate o trainate, costituite da uno o due tunnel costruiti principalmente in polietilene o vetroresina di dimensioni variabili. I moduli a recupero ben si adattano ad essere montati anche su macchine portattrezzi semoventi per vigneto. All'interno dei pannelli sono generalmente montate delle barre con ugelli idraulici e dispositivi per migliorare l'efficienza di raccolta del liquido (separatori aria-liquido). Il sistema di recupero del liquido è del tutto simile a quello dei sistemi a collettori con reinvio del liquido al serbatoio attraverso pompe ausiliarie (Ade et al., 2005; Ade et al., 2007) o per effetto Venturi (Planas et al., 2002; Baldoin et al., 2004; Baldoin et al., 2005). La corrente d'aria, può essere prodotta da ventilatori assiali, centrifughi o tangenziali e coniuga spesso la funzione di movimentazione della massa vegetale con quella di contenimento delle dispersioni. È da notare infatti che la vicinanza dei getti alla vegetazione da trattare (distanza dei pannelli regolabile idraulicamente) permette alle gocce di giungere a bersaglio solo per effetto dell'energia cinetica di pressione senza bisogno dell'assistenza dell'aria, se non per penetrare negli strati fogliari. Per cui anche le portate d'aria in gioco possono essere

opportunamente dimensionate per ottimizzare l'efficienza della macchina (Panneton et al., 2005).

Dalle informazioni reperibili in bibliografia è possibile ricavare un quadro riassuntivo delle prestazioni derivanti dall'impiego delle irroratrici a tunnel.

Si tratta di irroratrici impiegabili su forme di allevamento a spalliera (Guyot, cordone speronato, cordone libero) che ben si adattano alla meccanizzazione del vigneto. In linea generale se durante la stagione vegetativa vengono attuate le operazioni di potatura verde, cimatura e legatura dei germogli, si potranno ottenere i migliori risultati in termini di uniformità di copertura ed efficacia.

Le macchine a recupero permettono l'impiego di bassi volumi con conseguente minor deriva e perdite a terra rispetto alle attrezzature tradizionali (Doruchowski & Holownicki, 2000). La vicinanza dei getti alla vegetazione permette alle gocce più piccole di raggiungere il bersaglio senza evaporare (Porras-Soriano et al., 2005a; Porras-Soriano et al., 2005b). Il loro impiego può inoltre rendere possibile la riduzione della dose di fitofarmaco impiegata senza compromettere l'efficacia biologica del trattamento (Baldoïn et al., 2005; Baldoïn et al., 2008; Hogmire & Peterson, 1997; Reichard & Ladd, 1984). Rispetto ad altre tipologie di attrezzature si è spesso potuta rilevare una maggior uniformità dei depositi sul profilo della vegetazione trattata ed una maggior copertura su entrambe le pagine fogliari (Baldoïn et al., 2008; Peterson & Hogmire, 1994; Porras-Soriano et al., 2005b).

È stato osservato che le caratteristiche del bersaglio da trattare e la capacità di ritenzione della vegetazione come pure i parametri operativi (volume d'irrorazione, velocità di avanzamento, velocità e direzionamento dell'aria, ecc.) influenzano le percentuali di liquido recuperato. In generale a maggiori volumi d'irrorazione corrispondono maggiori percentuali di recupero (Holownicki et al., 1997b). Numerosi studi condotti su pomacee e drupacee hanno messo in luce che il recupero totale di prodotti fitoiatrici a fine stagione può arrivare al 30%.

Un notevole vantaggio delle irroratrici a recupero è quello di poter autoregolare il volume distribuito in relazione alla densità fogliare della chioma. Per cui una notevole quantità di p.a. viene recuperata e risparmiata durante le prime fasi fenologiche caratterizzate da scarsa presenza di vegetazione. In alcuni casi la soluzione fitoiatrice recuperata può essere reimpiegata per successivi trattamenti con un significativo vantaggio in termini di razionalizzazione ed efficienza d'uso dei fitofarmaci (Doruchowski e Holownicki, 2000).

Oltre a quanto sopra detto si è potuto stabilire che, con l'impiego di irroratrici a tunnel, non solo vi è una riduzione delle dispersioni (Ade et al. 2005; Porras-Soriano et al., 2005a;), ma anche il loro confinamento entro aree considerevolmente limitate (Baldoïn et al., 2008). Molte delle perdite per deriva e a terra interessano quasi interamente l'area limitrofa al filare

trattato e ciò è estremamente importante per quei siti frequentati da visitatori occasionali o in cui le coltivazioni sono attigue a corsi d'acqua. Le irroratrici tradizionali necessitano di ampie zone di rispetto (buffer zones) per scongiurare il rischio di contaminazione di queste aree e ciò comporta, da parte dei fruttivivicultori, scompensi economici derivanti dalla non coltivazione o dalla impossibilità di trattare fino ai limiti dell'appezzamento. Le irroratrici a tunnel possono essere opportunamente impiegate per ridimensionare le buffer zones mantenendo livelli accettabili di rischio ecotossicologico per le acque superficiali ed altre aree sensibili ai presidi agrochimici (Van de Zande et al., 2000).

Con il sistema a tunnel risulta possibile eseguire i trattamenti anche in presenza di vento, specie se con direzione trasversale rispetto alla disposizione dei filari.

Capitolo 3

SPERIMENTAZIONE DI UN PROTOTIPO DI IRRORATRICE A TUNNEL NELL'AMBITO DELLA RESTRIZIONE D'IMPIEGO DEL RAME IN VITICOLTURA

Come previsto dal Reg. CE 2092/91, dal 1° gennaio 2006 il limite ammesso in agricoltura biologica per la difesa della vite contro la Peronospora [Plasmopara viticola (Berl et Curt) Berl. et De Toni] è passato da 8 a 6 kg/ha di rame. Ciò comporta, da parte dei viticoltori, una maggiore attenzione nell'applicazione di tale principio fitoiatrico e costituisce un problema nei nostri ambienti di coltivazione, nei quali frequentemente l'insorgenza della malattia è particolarmente virulenta.

Recenti studi condotti presso lo Julius Kühn Institute di Bernkastel-Kues (Germania) hanno evidenziato come la quantità minima di rame sulla pagina inferiore del pampino necessaria a prevenire le infezioni di peronospora, in condizioni di malattia considerate critiche, sia di 3 kg/ha. I test sono stati condotti utilizzando differenti tipologie di macchine. Le irroratrici a flusso assiale e radiale hanno prodotto i migliori risultati in termini di depositi sulla pagina inferiore delle foglie, mentre la macchina a flusso tangenziale è risultata meno performante anche se resta da verificare se tale risultato sia imputabile al non ottimale direzionamento dei getti rispetto alla parete captante. Più precisamente il limite minimo per escludere l'infezione è compreso fra 0,2 e 0,5 μg di rame per cm^2 (BBA, 2006).

Pur ritenendo abbastanza improbabile che nelle condizioni climatiche tipiche degli areali di pianura del Nord Italia, i dosaggi di rame possano essere così fortemente contenuti come sembrerebbe realizzabile da alcune sperimentazioni, una soluzione alle recenti restrizioni d'impiego può essere rappresentata dal ricorso ad una tipologia di irroratrice ancora non molto diffusa nel nostro Paese, nota come irroratrice a tunnel o recycling. La sperimentazione descritta nel presente capitolo è relativa ad un prototipo di questo tipo caratterizzato da un innovativo sistema di contenimento delle dispersioni e recupero della miscela che non giunge a bersaglio.

Descrizione del sito della sperimentazione

La sperimentazione è stata svolta presso l'azienda viticola Guidolin – Mattiazzo sita in località Fontane di Villorba (TV). Si tratta di un'azienda ad indirizzo biologico. Il vigneto di

prova (superficie di circa 32'000 m²) è stato suddiviso in parcelle abbastanza ampie per garantire l'assenza di effetto deriva tra una tesi e l'altra. Il sesto d'impianto era di 2,94 m x 1,00 m con altezza del cordone orizzontale paria a 1,20 m.

Materiali e metodi

Caratteristiche e funzionalità del prototipo

Il prototipo di irroratrice a tunnel testato era frutto di precedenti esperienze di collaborazione fra la ditta Caffini s.p.a. di Palù (VR) ed il Dipartimento Te.S.A.F. che hanno condotto allo sviluppo di questo esemplare partendo da una macchina scavallatrice trainata a due file a polverizzazione mista. Di fatto la sperimentazione del 2006 ha visto l'impiego del terzo prototipo della serie.

Rispetto alla sperimentazione precedente l'impostazione funzionale di base del prototipo non è stata modificata: si tratta ancora di un'irroratrice trainata caratterizzata da polverizzazione mista ottenuta mediante ugelli idraulici installati in diffusori d'aria appositamente inseriti lungo due condotti verticali posizionati in modo da investire dai lati il filare. La corrente d'aria è prodotta da un ventilatore centrifugo provvisto di uscite collegate ai condotti portaugelli tramite tubazioni flessibili; la macchina lavora su due filari (fig. 1.3).



Fig. 1.3 – Vista posteriore del prototipo

Rispetto alla prima realizzazione sono state apportate profonde modifiche strutturali al telaio portante, non più derivato da una macchina esistente ma progettato e realizzato ex novo; consiste in una struttura in tubolari in acciaio a sezione quadrata che racchiude al suo

interno due serbatoi in polietilene della capacità di 400 l ciascuno. Tale soluzione, con finalità unicamente sperimentale, è stata realizzata con lo scopo di raccogliere e misurare tutto il liquido intercettato dal sistema di recupero (fig. 2.3).



Fig. 2.3 – Il telaio portante con all'interno i due serbatoi in polietilene

Sotto il serbatoio posteriore è montata una pompa a tre membrane avente una portata di 200 l/min, necessaria per garantire oltre al normale funzionamento del sistema idraulico principale e l'agitazione, anche l'alimentazione dei quattro idroiniettori installati sui pannelli di recupero, che richiedono circa 30 l/min ciascuno.

Il sistema di recupero, pur mantenendo l'impostazione funzionale del precedente, è stato completamente ridisegnato. I pannelli sono rimasti di dimensioni invariate rispetto al primo prototipo (120 x 200 cm), ma è stata totalmente cambiata la struttura, ora supportata direttamente dai condotti verticali in polietilene del diametro di 160 mm che convogliano l'aria necessaria alla convezione delle gocce sulla vegetazione e alla formazione delle lamine d'aria con funzione di contenimento del getto posteriormente e inferiormente (fig. 3.3).

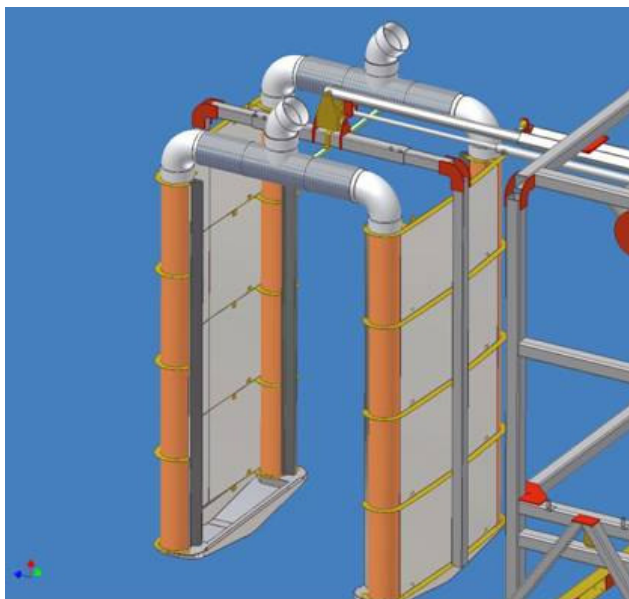


Fig. 3.3 – Rappresentazione CAD della configurazione dei pannelli di recupero; sono visibili i convogliatori tubolari che supportano la struttura e veicolano l'aria

Una serie di elementi stampati in acciaio collega tra loro i condotti e sostiene i pannelli veri e propri, costituiti in vetroresina e rivettati alla struttura. Internamente a ciascun pannello è stata montata una parete lamellare in alluminio appositamente realizzata, avente la funzione di rallentare la corrente d'aria e separare le gocce, facendole confluire in una canaletta di raccolta inferiore, mentre l'aria trova una via di fuga oltre la suddetta parete e defluisce verso l'alto (fig. 4.3).



Fig. 4.3 – La parete lamellare in alluminio con funzione di separatore aria-acqua

Gli ugelli, in numero di tre per ciascun lato, sono stati installati ad altezza fissa su portaugelli orientabili in grado di alloggiare diverse tipologie.

Valutazione delle perdite a terra e per deriva

Per la determinazione delle perdite fuori bersaglio ci si è avvalsi di un colorante alimentare atossico, adatto all'analisi spettrofotometrica descritta nel paragrafo dedicato, con il quale sono state preparate soluzioni a concentrazioni note e distinte per le macchine in prova. Durante il trattamento sono stati raccolti dei campioni di miscela (soluzione madre) direttamente agli ugelli delle irroratrici.

La valutazione delle prestazioni del prototipo è stata svolta effettuando un confronto con la macchina aziendale (fig. 5.3): un'irroratrice trainata ad aeroconvezione della ditta Europiave dotata di un serbatoio in polietilene della capacità di 2000 l, ventilatore assiale con raddrizzatore a pale statiche, convogliatori del flusso d'aria a torretta in corrispondenza dei quali erano installati 8 ugelli idraulici del tipo a cono (ATR 80 blu) per lato. La macchina è stata impiegata secondo le modalità normalmente adottate nell'azienda ed opportunamente regolata per distribuire 500 l/ha con 6 ugelli aperti (3 per lato) ad una pressione di 11 bar con velocità di avanzamento di 5,2 km/h.



Fig. 5.3 – L'atomizzatore aziendale impiegato nella sperimentazione

Il prototipo è stato allestito con 4 diverse serie di ugelli (ad inclusione d'aria, a fessura, a doppia fessura, a cono vuoto) e provato con 2 modalità operative (con ventilatore azionato e senza), per un totale di 6 allestimenti, che vengono riportati di seguito:

- ugelli a doppio ventaglio TeeJet TwinJet ISO 110-02 a 10 bar e ventilatore azionato;

- ugelli a doppio ventaglio TeeJet TwinJet ISO 110-02 a 10 bar e ventilatore disinserito;
- ugelli a ventaglio ad inclusione d'aria TeeJet AI ISO 110-02 a 10 bar e ventilatore azionato;
- ugelli a ventaglio ad inclusione d'aria TeeJet AI ISO 110-02 a 10 bar e ventilatore disinserito;
- ugelli a ventaglio TeeJet XR ISO 110-02 a 10 bar e ventilatore azionato;
- ugelli a cono vuoto TeeJet ConeJet ISO 110-02 a 10 bar e ventilatore azionato.

Per la valutazione della distribuzione del tracciante i passaggi sono stati fatti in successione su un unico filare così da garantire la costanza del posizionamento dei captatori.

A partire dal filare adiacente a quello trattato sono state posizionate 6 aste di altezza pari a 6 m sulle quali erano stati collocati i captatori ad intervalli di 1 m l'uno dall'altro. In corrispondenza di ogni asta, lungo il filare trattato, in quello adiacente e nell'interfilare di transito dell'irroratrice sono stati collocati ulteriori captatori ad un'altezza di 3 cm dal suolo per la determinazione delle perdite a terra (fig. 6.3). Dopo il passaggio della macchina i captatori venivano raccolti rispettando lo schema di localizzazione spaziale e posti in provette per le successive determinazioni analitiche in laboratorio.

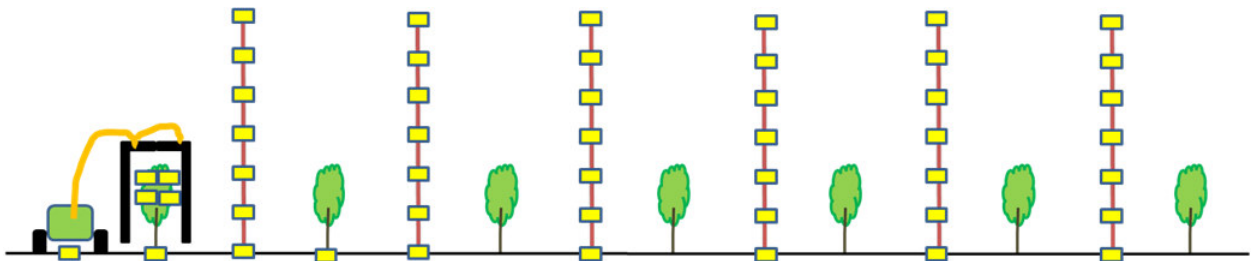


Fig. 6.3 – Collocazione dei captatori per il rilievo della distribuzione del deposito nella vegetazione e della deriva

Per la valutazione dei depositi sulla vegetazione sono stati posti quattro captatori sugli strati più esterni della chioma e su entrambe le pagine fogliari.

Analisi spettrofotometrica dei dati sperimentali

Nella presente sperimentazione è stato utilizzato come tracciante il colorante alimentare Tartrazina (giallo E 102).

Per la ricerca della lunghezza d'onda da utilizzare nelle determinazioni analitiche si è operato seguendo il protocollo standard di seguito riportato, impiegando uno spettrofotometro nel visibile monoraggio modello 6300 della Jenway Limited (le cui principali caratteristiche sono riportate in tabella 1.3):

- preparazione di una soluzione acquosa colorata;
- regolazione del livello di assorbanza iniziale (320 nm);
- lettura del livello di assorbimento (o assorbanza) corrispondente;
- incrementi successivi di una quantità nota (5 nm) del livello di assorbanza;
- lettura del nuovo livello di assorbimento;
- costruzione del grafico lunghezza d'onda – assorbanza.

Tab. 1.3 – Caratteristiche tecniche dello spettrofotometro utilizzato nella sperimentazione.

Risoluzione della lunghezza d'onda (nm)	320 – 1000
Accuratezza (nm)	+/- 2
Risoluzioni di trasmissione	0,1% T; 0.001; 0.1-1 C
Range di lettura	0 a 199.9%T; -0.300 a 1.999°; -300 a 1999 Conc.
Banda passante (nm)	10

Il grafico ottenuto dalla procedura è il seguente:

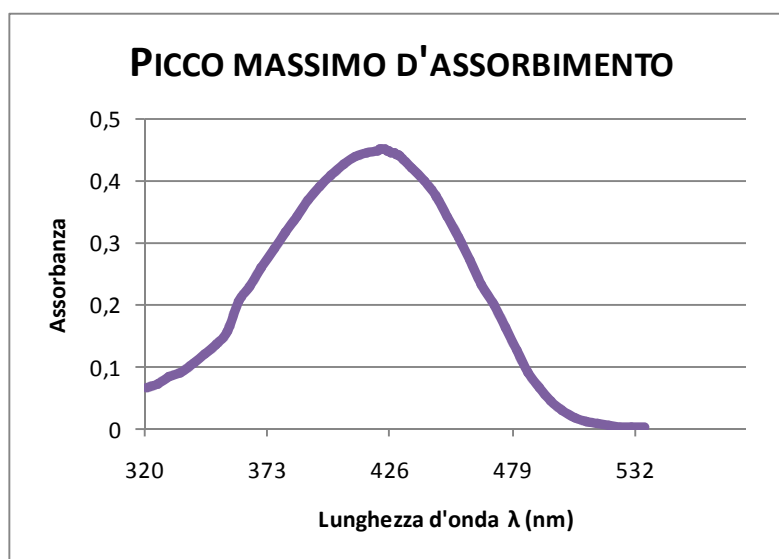


Fig. 7.3 – Andamento dell'assorbanza in funzione della lunghezza d'onda

Le provette contenenti i captatori sono stati processati in laboratorio aggiungendo 10 cc di acqua distillata e posti al buio per 48 ore per permettere il completo rilascio del colorante depositatosi su di essi. Successivamente sono stati prelevati 3 cc di soluzione per ciascuna delle provette e, singolarmente, sono state eseguite le letture dell'assorbanza a 426 nm (indaco). Dopo ogni lettura si è proceduto all'azzeramento contro il bianco dello strumento con acqua distillata (procedura necessaria per ottenere la massima precisione con spettrofotometri mono raggio).

I dati ottenuti sono stati registrati e successivamente elaborati.

Si è proceduto alla determinazione di un coefficiente correttivo ponendo in acqua distillata per 48 ore un congruo numero di captatori, eseguendo poi la lettura dell'assorbanza delle soluzioni allo spettrofotometro. Tale coefficiente è risultato pari a 0,03, valore impiegato per correggere le determinazioni analitiche successive.

Vista la necessità di esprimere i valori dei depositi in unità di volume anziché di massa, per semplicità operativa, essi sono stati ricavati utilizzando il procedimento di seguito riportato (Baldoiu, 2006; Cerruto et al., 2007; Balloni et al., 2008).

La quantità di tracciante nei captatori è stata calcolata con la formula:

$$Vc = \frac{Ac}{Am} \times Vd \times 1000 \text{ [\mu l]}$$

Dove:

- Vc : quantità di tracciante del campione;
- Vd : quantità d'acqua distillata impiegata per estrarre il colorante;
- Ac : assorbanza del campione;
- Am : assorbanza della soluzione madre.

Quindi i valori ottenuti sono stati riferiti alla superficie dei captatori (Su) ottenendo i valori dei depositi unitari (Du) attraverso la seguente equazione.

$$Du = \frac{Vc}{Su} \text{ [\frac{\mu l}{cm^2}]}$$

Per rendere confrontabili i valori ottenuti si è proceduto a normalizzarli ad un volume d'irrorazione arbitrariamente fissato attraverso la proporzione di seguito descritta:

$$Dn = \frac{Vn}{Vi} \times Du$$

Dove:

- *Dn*: deposito unitario normalizzato;
- *Du*: deposito unitario reale;
- *Vn*: volume arbitrario di normalizzazione;
- *Vi*: volume d'irrorazione reale.

I depositi unitari normalizzati così ottenuti sono stati impiegati per il confronto delle prestazioni delle due macchine e dei diversi allestimenti del prototipo.

Valutazione dell'efficacia biologica

Per quanto riguarda l'efficacia biologica degli interventi antiperonosporici, c'è da dire che la stagione 2006 è stata caratterizzata dalla quasi totale assenza del patogeno, tale da rendere la lotta unicamente preventiva. Pertanto la valutazione di questo fondamentale aspetto è stata condotta durante la stagione 2007 in collaborazione con il dott. Antonio Dalla Pace del Servizio Fitosanitario Regionale.

Per la sperimentazione sul prototipo sono stati impiegati ugelli antideriva a inclusione d'aria TeeJet AI 110-02 ISO giallo. Il confronto è stato fatto, come nella precedente campagna, con l'atomizzatore aziendale allestito e regolato come in precedenza descritto.

Le prove d'efficacia biologica sono state eseguite su due vitigni con caratteristiche fenologiche e di suscettibilità alla malattia differenti: Merlot, di media precocità e caratterizzato da grappolo spargolo, cultivar particolarmente sensibile alla peronospora; Pinot Grigio, varietà precoce con grappolo compatto, mediamente sensibile al patogeno. Per il controllo della peronospora è stato utilizzato per tutta la stagione idrossido di rame (35% di sostanza attiva).

Per ciascuna tesi considerata sono state ricavate quattro ripetizioni.

Nella tabella 2.3 vengono riportati i dati di malattia rilevati in campo e ricalcolati per determinare indice % di infezione secondo la formula di Townsend e Heuberger (1943):

$$I = \frac{\Sigma(n \times v)}{7 \times N} \times 100$$

In cui:

I = indice di infezione;

n = frequenza (n. di foglie o grappoli per ciascuna classe di danno);

v = classe di danno (valore numerico da 0 a 7);

N = n. di foglie o grappoli per ciascun campione (100);

In seguito, l'indice % di infezione è stato analizzato statisticamente con il test di Duncan, il quale non ha rilevato, fra le quattro tesi, alcuna differenza statisticamente significativa né a $p=0,05$ né a $p=0,01$.

Tab. 2.3 – Rilievi relativi all'infezione di peronospora

Data del rilievo	Tesi	Indice % di infezione da peronospora	
		foglie	grappoli
11.6.07	1. irroratrice aziendale Pinot G.	Sporadiche macchie su foglie giovani	Sporadica presenza (qualche acino in forma larvata)
	2. irroratrice a tunnel Pinot G.		
	3. irroratrice aziendale Merlot		
	4. irroratrice a tunnel Merlot		
	5. testimone non trattato Pinot G.	2,86	1,93
	6. testimone non trattato Merlot	3,00	1,43
19.6.07	1. irroratrice aziendale Pinot G.	Aumento lieve su foglie giovani	0,71
	2. irroratrice a tunnel Pinot G.		0,86
	3. irroratrice aziendale Merlot		6,84
	4. irroratrice a tunnel Merlot		8,88
	5. testimone non trattato Pinot G.	n.r. (aumento della presenza significativo, in particolare su foglie giovani)	14,00
	6. testimone non trattato Merlot		25,32
26.6.07	1. irroratrice aziendale Pinot G.	Aumento lieve su foglie giovani	1,97
	2. irroratrice a tunnel Pinot G.		1,85
	3. irroratrice aziendale Merlot		9,25
	4. irroratrice a tunnel Merlot		9,71
	5. testimone non trattato Pinot G.	n.r. (aumento della presenza significativo, in particolare su	51,60

	6. testimone non trattato Merlot	foglie giovani)	75,96
3.7.07	1. irroratrice aziendale Pinot G.	Poca presenza su foglie giovani	2,64
	2. irroratrice a tunnel Pinot G.	Discreta presenza	2,07
	3. irroratrice aziendale Merlot	Rara presenza	9,14
	4. irroratrice a tunnel Merlot		9,72
	5. testimone non trattato Pinot G.	Trattati in data 30.6.2007	
	6. testimone non trattato Merlot		
10.7.07	1. irroratrice aziendale Pinot G.	Discreta presenza su foglia	2,96
	2. irroratrice a tunnel Pinot G.		3,46
	3. irroratrice aziendale Merlot	Scarsa presenza su foglia	9,57
	4. irroratrice a tunnel Merlot		8,86
16.7.07	1. irroratrice aziendale Pinot G.		2,79
	2. irroratrice a tunnel Pinot G.		3,61
	3. irroratrice aziendale Merlot		9,93
	4. irroratrice a tunnel Merlot		8,78
23.7.07	Piena invaiatura di entrambe le varietà		

Risultati

Efficienza di distribuzione e contenimento delle dispersioni

Le figure da 8.3 a 14.3 riassumono le quantità di tracciante rilevato nei vari captatori. La dimensione delle bolle è proporzionale alla quantità individuata nella relative posizione di campionamento.

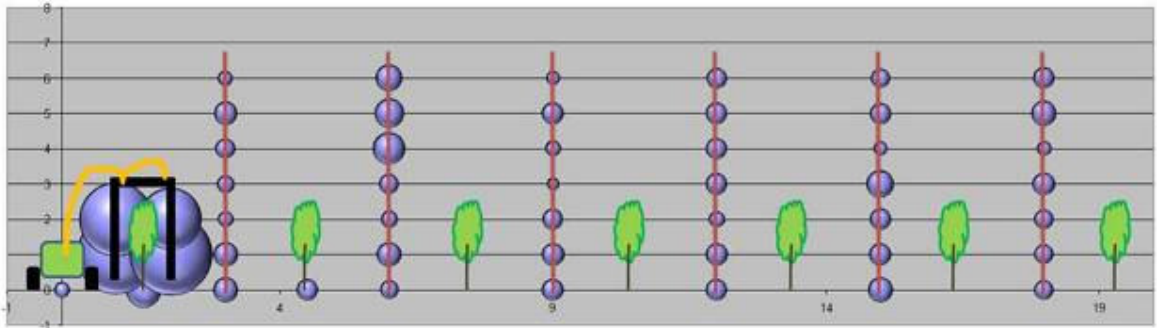


Fig. 8.3 – Depositi e dispersioni del prototipo equipaggiato con ugelli a doppia fessura (prova 1)

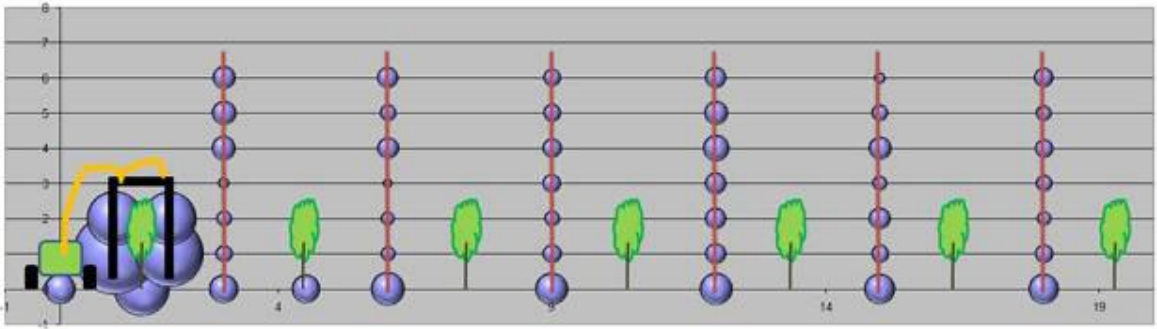


Fig. 9.3 – Depositi e dispersioni del prototipo equipaggiato con ugelli a doppia fessura, senza aeroassistenza (prova 2)

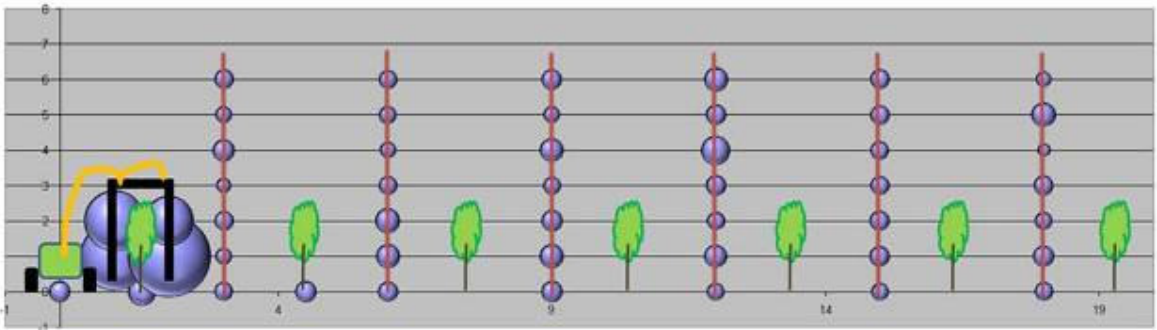


Fig. 10.3 – Depositi e dispersioni del prototipo equipaggiato con ugelli ad inclusione d'aria (prova 3)

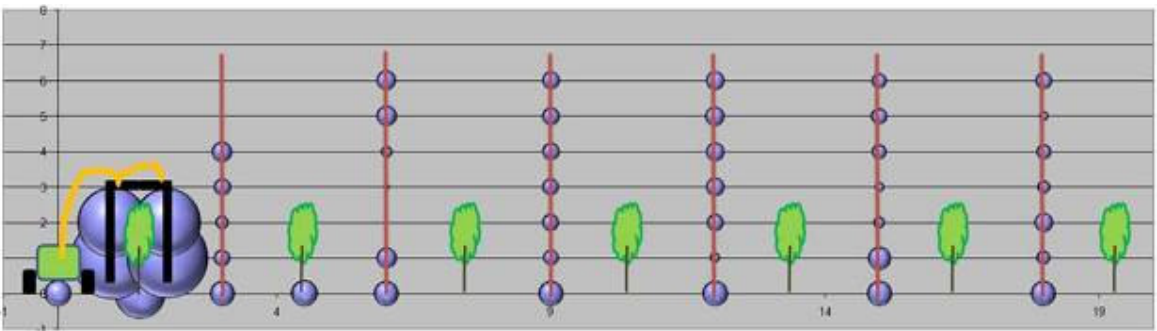


Fig. 11.3 – Depositi e dispersioni del prototipo equipaggiato con ugelli ad inclusione d'aria, senza aeroassistenza (prova 4)

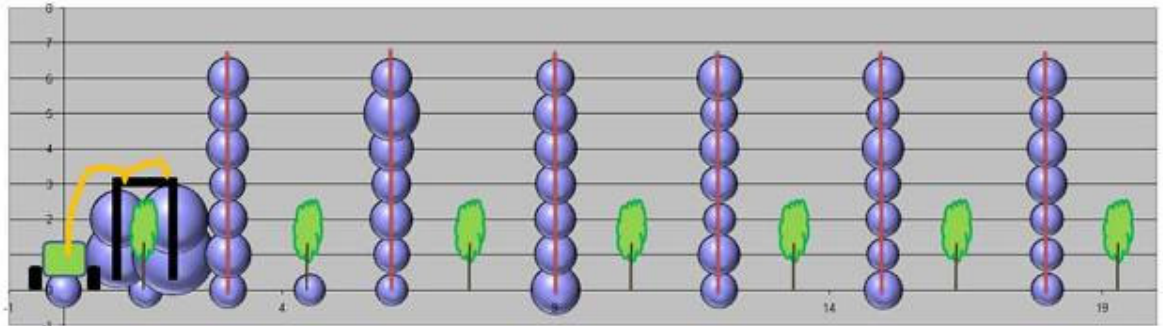


Fig. 12.3 – Depositi e dispersioni del prototipo equipaggiato con ugelli a fessura tradizionali (prova 5)

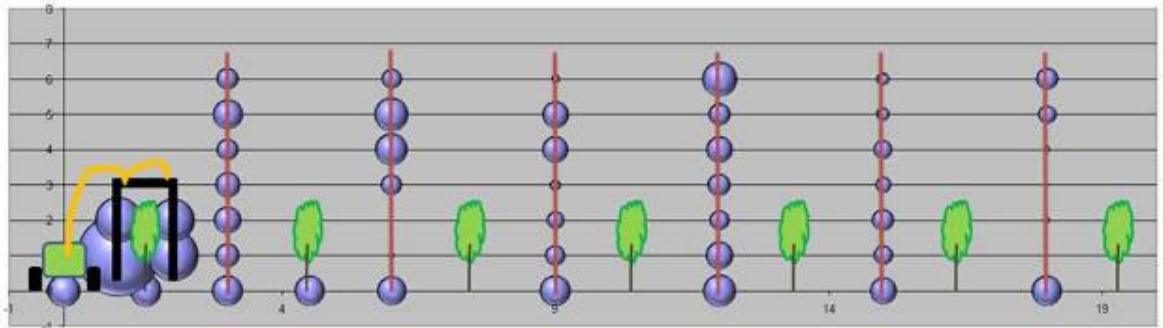


Fig. 13.3 – Depositi e dispersioni del prototipo equipaggiato con ugelli a cono vuoto (prova 6)

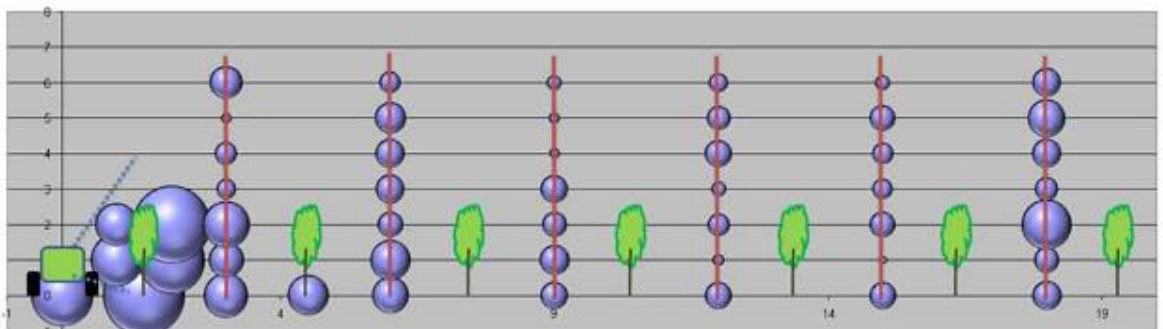


Fig. 14.3 – Depositi e dispersioni dell'atomizzatore aziendale equipaggiato con ugelli a cono vuoto (prova 7)

La tabella 3.3 riporta i dati delle quantità di tracciante rilevate sulla totalità dei captatori.

Come è messo in evidenza dai grafici con l'atomizzatore aziendale l'entità delle perdite a terra è stata rilevante (fig. 14.3), in modo particolare sulla corsia di transito della macchina e sulla fila trattata. Evidenti perdite per deriva imputabili a fall-out anche sulla sesta postazione di campionamento e alla sommità della prima asta.

Le quantità dei depositi sulla vegetazione si sono dimostrate più elevate con l'impiego di ugelli ad inclusione d'aria e a doppio ventaglio (vedi tab. 4.3), mentre gli ugelli a ventaglio tradizionali si sono distinti per le mediocri prestazioni in termini di deposito fogliare e deriva,

verosimilmente a causa dell'atomizzazione spinta che ha determinato la fuoriuscita delle goccioline più fini dalla parte posteriore dei tunnel.

Inoltre, sono state constatate ragguardevoli differenze sull'efficacia di contenimento delle gocce da parte dei pannelli a recupero impiegando differenti serie di ugelli. Le dispersioni di miscela sembrano essere influenzate sia dal tipo di ugelli (confrontando la prova 5 con la 1, figg. 12.3 e 8.3) che dalla presenza della cortina d'aria (prove 1 e 2 a confronto, figg. 8.3 e 9.3)

Tab. 4.3 – Quantità totale di tracciante rilevata nei captatori posti nelle diverse posizioni di campionamento (nella chioma, a terra e sulle aste)

	depositi (ml) (*) e distribuzione (%)		
	<i>terra</i>	<i>chioma</i>	<i>deriva</i>
<i>Macchina</i>			
1 – Prototipo – Ugelli a doppia fessura	26	123	86
	11%	53%	36%
2 – Prototipo – Doppia fessura e ventilatore escluso	58	94	67
	26%	43%	31%
3 – Prototipo – Ugelli ad inclusione d'aria	24	115	91
	10%	50%	40%
4 – Prototipo – Inclusione d'aria e ventilatore escluso	48	145	54
	19%	59%	22%
5 – Prototipo – Ugelli a fessura	26	42	123
	14%	22%	64%
6 – Prototipo – Ugelli a cono vuoto	47	75	87
	22%	36%	42%
7 – Atomizzatore aziendale	89	73	119
	32%	26%	42%

(*) quantità totale rilevata sui captatori

I grafici di fig. 15.3 mostrano i profili di distribuzione del tracciante sulla vegetazione. La lunghezza delle barre è proporzionale ai depositi rilevati. Oltre alle positive prestazioni in termini di quantità di depositi fogliari appare altresì evidente la regolarità di distribuzione su tutto il profilo della chioma da parte degli ugelli a doppia fessura (TwinJet) e ad inclusione d'aria (Air Inclusion).

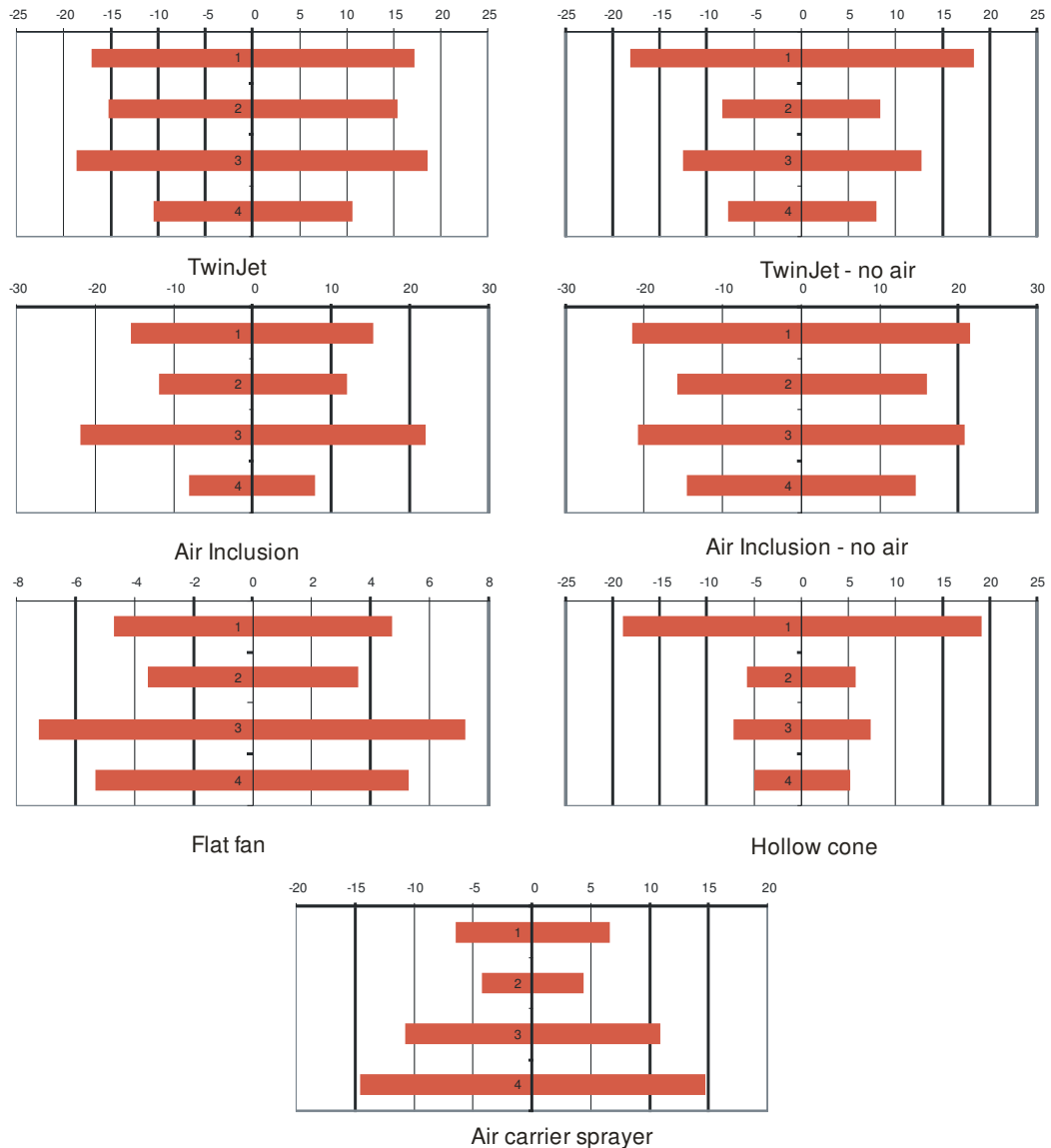


Fig. 15.3 – Profili di distribuzione del tracciante sulla vegetazione per le diverse configurazioni di prova del prototipo e della macchina aziendale

Efficacia biologica

I trattamenti effettuati (tab. 5.3) sono stati 12, un numero decisamente inferiore alla norma (15-17). Ciò è indicativo del fatto che durante la stagione la pressione di malattia non è stata particolarmente intensa.

Dall'analisi dei dati il riscontro più significativo riguarda la sommatoria del rame distribuito nel corso della stagione. Come si può notare la differenza fra le due irroratrici impiegate è sostanziale: dosaggio ridotto con l'impiego del tunnel, ad un livello nettamente inferiore rispetto a quanto previsto dalla normativa europea, mentre con l'irroratrice di tipo tradizionale il limite normativo viene superato, in un'annata in cui la pressione della malattia non è stata particolarmente forte.

Nella stessa tabella sono riportate le percentuali di recupero della soluzione riscontrate con l'irroratrice a tunnel.

I valori assoluti sono variabili ed in relazione soprattutto con la superficie vegetativa e produttiva presente nei diversi momenti del ciclo biologico della coltura. Sono pertanto più elevati nelle prime fasi fenologiche ed a seguito della potatura verde, quando la superficie trattata è inferiore.

Tab. 5.3 – Date dei trattamenti, progressione del livello di rame impiegato e % del recupero della soluzione

Date dei trattamenti	Tesi	Volume d'acqua l/ha	Prodotto distribuito g/ha	Rame (Cu ⁺⁺) distribuito g/ha	Sommatoria rame (Cu ⁺⁺) g/ha	% recupero soluzione
27.4.07 *	Irroratrice aziendale	324	648	226,8	226,8	
	Irroratrice a tunnel	161	676	236,6	142,0	40,0
8.5.07	Irroratrice aziendale	324	972	340,2	567,0	
	Irroratrice a tunnel	150	930	325,5	395,9	22,0
15.5.07	Irroratrice aziendale	618	1.504	526,4	1.093,4	
	Irroratrice a tunnel	242	1.512	529,2	854,7	13,3
25.5.07	Irroratrice aziendale	611	977	342,0	1.435,4	
	Irroratrice a tunnel	242	992	347,0	1.155,5	13,3
29.5.07	Irroratrice aziendale	611	1.956	684,6	2.120,0	
	Irroratrice a tunnel	237	1.941	679,3	1.680,6	22,7
2.6.07	Irroratrice aziendale	618	1.978	692,3	2.812,3	

	Irroratrice a tunnel	237	1.941	679,3	2.220,6	20,5
9.6.07	Irroratrice aziendale	603	1.477	516,9	3.329,2	
	Irroratrice a tunnel	234	1.462	511,7	2.620,7	21,8
13.6.07	Irroratrice aziendale	603	1.930	675,5	4.004,7	
	Irroratrice a tunnel	239	1.960	686,0	3.160,6	21,3
18.6.07	Irroratrice aziendale	603	1.930	675,5	4680,2	
	Irroratrice a tunnel	234	1.919	671,6	3.693,2	20,7
23.6.07	Irroratrice aziendale	618	1.978	692,3	5.372,5	
	Irroratrice a tunnel	242	1.984	694,4	4.264,0	17,8
30.6.07	Irroratrice aziendale	618	1.978	692,3	6.064,8	
	Irroratrice a tunnel	242	1.984	694,4	4.828,5	18,7
9.7.07	Irroratrice aziendale	611	1.497	523,9	6.588,7	
	Irroratrice a tunnel	245	1.531	535,8	5.277,0	16,3
Media annua del recupero della miscela						20,7

* trattamento cautelativo

L'elaborazione statistica dei dati (tab. 5) è stata eseguita considerando separatamente i due fattori, macchina e varietà. Sono state evidenziate alcune costanti che sono rimaste tali per tutta l'annata: le differenze statisticamente significative fra le varietà nel danno al grappolo, dovuto al differente grado di precocità del Pinot grigio rispetto al Merlot, che ha permesso al primo di presentarsi meno recettivo nel momento di maggior pressione della malattia.

Nel confronto fra le macchine non sono state evidenziate differenze statisticamente significative fra i due tipi di irroratrice.

L'impiego del prototipo permette quindi un'efficace difesa al pari di una macchina tradizionale, impiegando volumi nettamente inferiori e riducendo i costi del trattamento dovuti alla maggior superficie trattata, possibile col recupero di parte del prodotto impiegato.

Le differenze dei valori assoluti dei dati e la loro elaborazione statistica, nel confronto fra le irroratrici ed il testimone, mettono infine in evidenza come la strategia di difesa adottata sia stata efficace.

Tab. 6.3 – Analisi statistica dei dati (indice di infezione su foglie e grappoli)

DATA DEL RILIEVO	MACCHINA			VARIETA'	
	Irroratrice aziendale	Irroratrice a tunnel	Testimone non trattato	Pinot grigio	Merlot
19.6.07	3,78 aA	4,87 aA	19,66 bB	5,19 aA	13,68 bB
26.7.07	5,61 aA	5,78 aA	63,78 bB	18,48 aA	31,64 bB
3.7.07	5,89 aA	5,89 aA		2,36 aA	9,43 bB
10.7.07	6,26 aA	6,16 aA		3,21 aA	9,21 bB
16.7.07	6,36 aA	6,20 aA		3,20 aA	9,36 bB

Interazioni varietà x **macchina non significative**;

I valori che hanno la stessa lettera **minuscola** non presentano differenze statisticamente significative al test di **Student-Newman-Keuls (p=0,05)**;

I valori che hanno la stessa lettera **maiuscola** non presentano differenze statisticamente significative al test di **Student-Newman-Keuls (p=0,01)**

Conclusioni

I dati raccolti durante la sperimentazione del 2006 hanno permesso di verificare l'efficacia del sistema di contenimento delle dispersioni del prototipo e di recupero di prodotto fuori bersaglio.

In particolare è stata rilevata la possibilità di migliorare le prestazioni della macchina dal punto di vista della mitigazione delle dispersioni integrando più dispositivi per il suo contenimento, attraverso l'impiego di ugelli antideriva ad inclusione d'aria.

Le positive prestazioni di questi ultimi anche dal punto di vista dell'uniformità del profilo di distribuzione hanno portato alla conferma dell'ipotesi fatta, sull'opportunità del loro impiego nelle prove d'efficacia biologica.

La sperimentazione condotta nel 2007 ha messo in evidenza come l'irroratrice a tunnel ha le stesse capacità di difesa di una macchina tradizionale e permette la sopravvivenza della produzione biologica nelle realtà viticole della pianura, dove l'impiego del solo rame in funzione antiperonosporica spesso non riesce a rientrare nei limiti previsti dalla normativa.

Il recupero del prodotto fitosanitario, calcolato come media annua pari al 21%, si traduce inoltre in minori costi di difesa delle colture.

È stata inoltre confermata la possibilità offerta dalle macchine a recupero di prodotto di ridurre efficacemente l'impiego di prodotti fitosanitari, attraverso la riduzione della dose applicata ad ettaro.

Capitolo 4

MACCHINE E LORO REGOLAZIONE PER UNA DIFESA SOSTENIBILE DELLE COLTURE PROTETTE

La sicurezza dell'operatore

In Italia l'incidenza di infortuni sul lavoro pone l'agricoltura al primo posto nella classifica dei principali comparti produttivi: in campagna per ogni 1.000 occupati 97 si infortunano, mentre sono 79 nell'industria e 43 nei servizi (EBAT, 2008). Numerosi sono i casi riconducibili ad un utilizzo non corretto dei diversi prodotti chimici, anche se, data l'eterogeneità dei casi relativamente alle modalità d'azione, è difficile avere una stima attendibile degli infortuni collegabili all'impiego di prodotti fitosanitari.

Il rischio chimico in agricoltura riguarda tutte le attività di:

- detenzione
- manipolazione
- impiego

svolte in presenza di prodotti chimici pericolosi (prodotti fitosanitari, disinfettanti, disinfestanti, detergenti) capaci di provocare dei danni alle persone, ai beni aziendali e all'ambiente.

La WHO (World Health Organization) stima che 3 milioni e mezzo di persone soffrano di intossicazione acuta da fitofarmaci e ogni anno ne muoiano almeno 20'000. Almeno 2/3 di queste patologie e di questi decessi sono causati da esposizioni professionali.

Rischi per la salute dell'operatore

Negli ultimi vent'anni gli studi tossicologici sugli operatori agricoli che lavorano all'interno delle serre, sono progressivamente aumentati, prendendo in considerazione gli effetti che l'esposizione cronica a pesticidi chimici in ambienti chiusi, quali gli apprestamenti protettivi agricoli, può avere sui vari apparati dell'organismo umano. I risultati di questi studi hanno evidenziato come la salute dei serricoltori sia potenzialmente a rischio se non vengono messe in atto adeguate misure di prevenzione e protezione, sia di tipo individuale (Dispositivi di Protezione Individuale, DPI) che di carattere operativo.

Vale la pena soffermarsi sugli effetti che una protratta esposizione ai prodotti antiparassitari può causare. Si va dalle alterazioni di carattere neurologico quali mal di testa, tremori, parestesia (Martinez et al., 2002), ai disturbi di tipo respiratorio e la presenza di anomalie della funzionalità polmonare come bronchite cronica, dispnea, insufficienza respiratoria, rinite, asma (Kundiev et al., 1986; Zuskin et al., 1993; Illing, 1997), dalle irritazioni e reazioni allergiche a carico dell'epidermide (Zuskin et al., 1993; Illing, 1997), alle disfunzioni ormonali e dell'apparato genitale maschile con conseguente calo della fertilità (Abell et al., 2000) fino alle aberrazioni cromosomiche dovute all'effetto genotossico (Lander et al., 2000) delle sostanze chimiche impiegate nella difesa fitosanitaria. L'esposizione al rischio chimico durante l'applicazione di presidi chimici per la difesa delle piante si rivela pertanto potenzialmente pericolosa anche per le attività biologiche a livello pre-natale. A tal proposito, recenti studi condotti su lavoratrici incinta esposte ad antiparassitari nel sud della Spagna, hanno messo in luce la presenza di residui di pesticidi sia nei tessuti adiposi che nel siero (Botella et al., 2004). Poichè tali sostanze chimiche antiparassitarie possono venire mobilizzate durante la gravidanza e l'allattamento (ibidem), anche i neonati, per la loro vulnerabilità e suscettibilità, corrono il rischio, d'essere, indirettamente, tra le prime vittime dell'esposizione agli agenti tossici distribuiti nei normali trattamenti antiparassitari alle colture protette. Si sospetta che gli effetti a lungo termine comprendano malattie degenerative croniche come il morbo di Parkinson.

Da quanto appena esposto risulta chiaro che gli addetti agli interventi di difesa antiparassitaria all'interno di apprestamenti protettivi agricoli, quali serre, tunnel-serra o tunnel sono sottoposti a diversi fattori di rischio. In particolare spesso accade che il rischio reale al quale vanno in contro sia superiore rispetto al rischio percepito. Ciò può comportare paradossalmente l'assunzione di misure inadeguate per ridurre o minimizzare il livello di rischio per la salute, aumentando invece la soglia di pericolosità dell'intervento fitoiatrico.

Dai risultati di uno studio a lungo termine condotto in USA, i ricercatori statunitensi della North Carolina State University hanno tratto numerose informazioni per mettere a punto un indice sintetico che permette di stimare l'esposizione media giornaliera al rischio chimico degli operatori (Average Work-Day Exposure Formula):

$$\mathbf{A.W.D.E.F. (0 - 20) = [Mix (0, 3, 9) + Apply (0 - 9) + Repair (0, 2)] * PPE (0.1 - 1)}$$

I fattori considerati nella formula tengono conto delle modalità e dei tempi di preparazione della miscela, delle modalità di distribuzione, dell'abitudine o meno a riparare le attrezzature in modo autonomo e dall'impiego dei DPI.

Ogni fattore presenta un range di valori, sinteticamente descritti di seguito:

- Mix: a seconda che l'operatore non misceli direttamente il fitofarmaco (impiego di un premiscelatore), misceli meno del 50% del tempo complessivo dedicato al trattamento o per più del 50% del tempo, il fattore assume rispettivamente il valore di 0, 3 o 9;
- Apply: può assumere valori interi compresi fra 0 e 9 a seconda della macchina o della tecnica adottata per eseguire il trattamento;
- Repair: se l'operatore ripara personalmente l'attrezzatura il valore da attribuire sarà 2; in caso contrario il fattore assume valore 0;
- PPE: da 0.1 a 1 in relazione alla tipologia di DPI impiegati prima e durante il trattamento. Si considera che il massimo contributo in termini di protezione sia 90% (0.1) e che senza alcun DPI indossato l'esposizione sia massima (1).

Il valore di esposizione va da 0 a 20 e più basso è il valore, minore è l'esposizione alle sostanze chimiche impiegate. Per ogni sostanza chimica impiegata viene calcolato un indice di esposizione specifico. Ma per arrivare ad avere informazioni utili sui rischi legati all'esposizione cronica ai fitofarmaci ed alle conseguenze che essa può comportare in relazione alla salute, i ricercatori americani hanno definito un secondo indice, il Lifetime Exposure Score:

$$\text{L.E.S.} = \text{A.W.D.E.F.} * \text{Frequency} * \text{Duration}$$

in cui la Frequency rappresenta il numero di giorni in cui si effettua il trattamento nell'arco dell'anno e la Duration il numero di anni in cui si è impiegato quel prodotto.

La validazione di tale metodo è ancora al vaglio dei ricercatori su due p.a. largamente impiegati negli Stati Uniti, il 2,4 – D ed il Chlorpyrifos al fine chiarire definitivamente quante e quali conseguenze abbia l'esposizione prolungata ai principi chimici contenuti nei fitofarmaci con particolare riferimento all'insorgenza di malattie professionali (Mage et al., 2000; AgHealth, 2004).

Il modello risulta utile soprattutto perché considera la totalità delle situazioni più frequenti in cui l'operatore è sottoposto al rischio di contaminazione e di assunzione involontaria sostanze nocive.

L'assunzione involontaria di sostanze tossiche può avvenire in vari modi:

- inalazione: i polmoni hanno una superficie alveolare di circa 100 m² e rappresentano la via di penetrazione più importante;
- contatto: è una via di penetrazione spesso sottovalutata. La pelle di un individuo di statura media ha una superficie di circa 1,85 m² ed è un'ottima barriera se è integra;

- ingestione: l'apparato digerente generalmente non ha molta importanza nell'ambiente di lavoro, salvo nel caso di comportamenti errati (cattive abitudini degli addetti come mangiare, fumare, ecc). Si tratta quindi di una via di assorbimento occasionale.

Come si diceva i polmoni rappresentano in assoluto la via primaria di assorbimento.

Gli inquinanti aerodispersi dai quali è necessario proteggersi sono numerosi e possono essere classificati in relazione alle loro caratteristiche chimico-fisiche (tab. 1.4).

Tab. 1.4 – Classi di inquinanti a cui sono sottoposte le vie respiratorie

INQUINANTI AERODISPERSI	
POLVERI	particelle solide che si miscelano con l'aria, ma cadono sotto l'azione della gravità in tempi più o meno lunghi
FUMI	costituiti da particelle solide più piccole delle polveri;
NEBBIE	gocce di liquido provenienti dalla condensazione di sostanze allo stato di vapore o dalla nebulizzazione dei fluidi
VAPORI	sostanze gassose che si formano per riscaldamento di sostanze solide o liquide, oppure per evaporazione di sostanze liquide alla temperatura ambientale normale
GAS	sostanze che esistono allo stato gassoso a temperatura ambiente in condizioni normali

In ordine d'importanza nella "classifica" delle vie di penetrazione degli agrofarmaci nell'organismo vi è quella dermale. L'assorbimento cutaneo è molto frequente e spesso le sostanze impiegate nei trattamenti sono liposolubili, perciò facilmente assorbibili. È favorito dalla sudorazione ed interessa anche le mucose (occhi, bocca, naso).

Sembra evidente pertanto che tali vie di penetrazione debbano essere opportunamente protette durante l'applicazione dei prodotti fitosanitari, ancor più se ciò avviene utilizzando attrezzature che, per le loro caratteristiche intrinseche (es. lance a mano), costringono l'operatore in condizioni di maggior rischio di contaminazione (AA.VV., 2008; Nuyttens et al., 2004a; Nuyttens et al., 2004b).

Dispositivi di Protezione Individuale

Da una lettura delle due formule descritte nel paragrafo precedente, appare evidente che i vari fattori assumono un peso diverso nel determinare il valore totale degli indici di esposizione. In questo senso i DPI sono fortemente influenti proprio per le loro intrinseche proprietà di barriera fisica contro i prodotti chimici.

L'impiego dei DPI risulta essenziale in fase di manipolazione dei fitofarmaci dalla movimentazione dei contenitori alla preparazione della miscela, all'applicazione, fino alla gestione dei residui del trattamento e delle acque di lavaggio nel serbatoio.

Ogni operazione deve essere fatta con indumenti adatti, e precisamente: maschera e occhiali (o casco integrale), tuta impermeabile con copricapo, stivali e guanti impermeabili (Murphy & LaCross, 2002).

La semimaschera (UNI EN 140) è un dispositivo riutilizzabile che copre solamente bocca, naso e mento ed è dotata di valvola di aspirazione. La struttura è di materiale elastico al fine di garantire una buona tenuta sul viso. La maschera (UNI EN 136) è un dispositivo che copre l'intero volto con una visiera in materiale trasparente. Assicurano una tenuta maggiore delle semimaschere e sono anch'esse dotate di valvola di aspirazione su cui vengono inseriti uno o più filtri sostituibili. Attualmente sono in commercio appositi caschi protettivi con filtro, i più sofisticati dei quali hanno anche un piccolo condizionatore interno (Bartok, 2002).

I filtri sono destinati a trattenere inquinanti, solidi e/o aeriformi presenti nell'aria. Sono caratterizzati da colorazioni o bande colorate specifiche per i diversi inquinanti e bianche per le polveri. Le tre tipologie disponibili sono: filtri antipolvere (UNI EN 143) per la filtrazione di particelle solide, che in base alla loro efficacia filtrante sono classificati in P1, P2 e P3; filtri antigas (UNI EN 141) per la filtrazione di gas e/o polveri, caratterizzati da lettere che indicano gli inquinanti trattenuti, 3 classi a capacità filtrante crescente e da una colorazione caratteristica (tab. 2.4); filtri combinati (UNI EN 141) per la filtrazione di gas e/o vapori in presenza di polveri, i quali sono realizzati combinando un filtro antipolvere ed uno o più antigas e sono identificati dalla combinazione di lettere e numeri (es. A2B2E2K2P3). I filtri devono essere sostituiti a periodi regolari poiché, anche se non utilizzati frequentemente, i carboni attivi tendono ad adsorbire sulla loro superficie interna le molecole a basso ed alto peso molecolare presenti nell'aria circolante all'interno dei pori strutturali. La durata del filtro antigas è soggettivamente determinata dalle capacità dell'utilizzatore di avvertire l'odore dell'inquinante quando questo non viene più trattenuto dal materiale filtrante.

Tab. 2.4 – Classificazione dei filtri

Tipo	Colore	Protezione
A	Marrone	Vapori organici e solventi
B	Grigio	Gas e vapori inorganici
E	Giallo	Anidride solforosa ed acidi solforosi
K	Verde	Ammoniaca

P	Bianco	Polveri tossiche, fumi e nebbie
---	--------	---------------------------------

Nella prevenzione del rischio di contaminazione del derma (tuta, guanti, stivali), i dispositivi da impiegare devono garantire che il prodotto chimico non venga mai in contatto con la pelle anche nel caso di prolungato contatto o manipolazione di oggetti contaminati.

La tuta, in gomma, cotone impermeabilizzato, monouso (es. Tyvek®) o Gore-tex®), deve garantire una perfetta protezione dall'accidentale contatto coi prodotti fitosanitari e deve essere leggera e confortevole.

I guanti costituiscono una barriera meccanica alla penetrazione delle sostanze chimiche. Sono generalmente costruiti in materiale plastico impermeabile (es. neoprene, gomma nitrilica o butilica) e formati da più strati (Jester, 1991): all'interno troviamo il lattice di gomma, mentre all'esterno normalmente vengono rivestiti da gomma cloroprenica. È consigliabile indossare un paio di guanti di cotone a diretto contatto con la pelle, per garantire una maggiore igiene.

Gli stivali devono essere in gomma impermeabile, di un certo spessore e modellati in modo da poter essere calzati ed indossati sotto la tuta. In alternativa le calzature in Gore-tex®, possono svolgere una funzione analoga, ma risultano più difficilmente gestibili relativamente alla pulizia a fine lavoro.

Le caratteristiche del comparto della serricoltura in Veneto: sintesi dei risultati dell'indagine sulle attuali modalità di distribuzione dei prodotti fitosanitari

Il comparto orticolo in Italia conta sull'attività di oltre 29'000 aziende, l'1,9% del totale. Nel 2007 l'Italia risultava essere il maggior produttore di ortaggi dell'Unione Europea con 13,5 milioni di tonnellate (Eurostat, 2008). Il Veneto è fra le aree orticole di maggior interesse del panorama italiano con 25'500 ha coltivati, 3'400 dei quali in coltura protetta.

Considerando la superficie investita nel 2007 il pomodoro è stato l'ortaggio maggiormente coltivato (0,65 ha) seguito dalla lattuga (0,61 ha). Ma se si considerano tutte le insalate includendo cicoria ed indivia, la superficie a loro dedicate sale a 0,75 ha. Considerando gli ortaggi da foglia, come bieta da costa e spinacio, il totale aumenta sensibilmente (fig. 1.4).

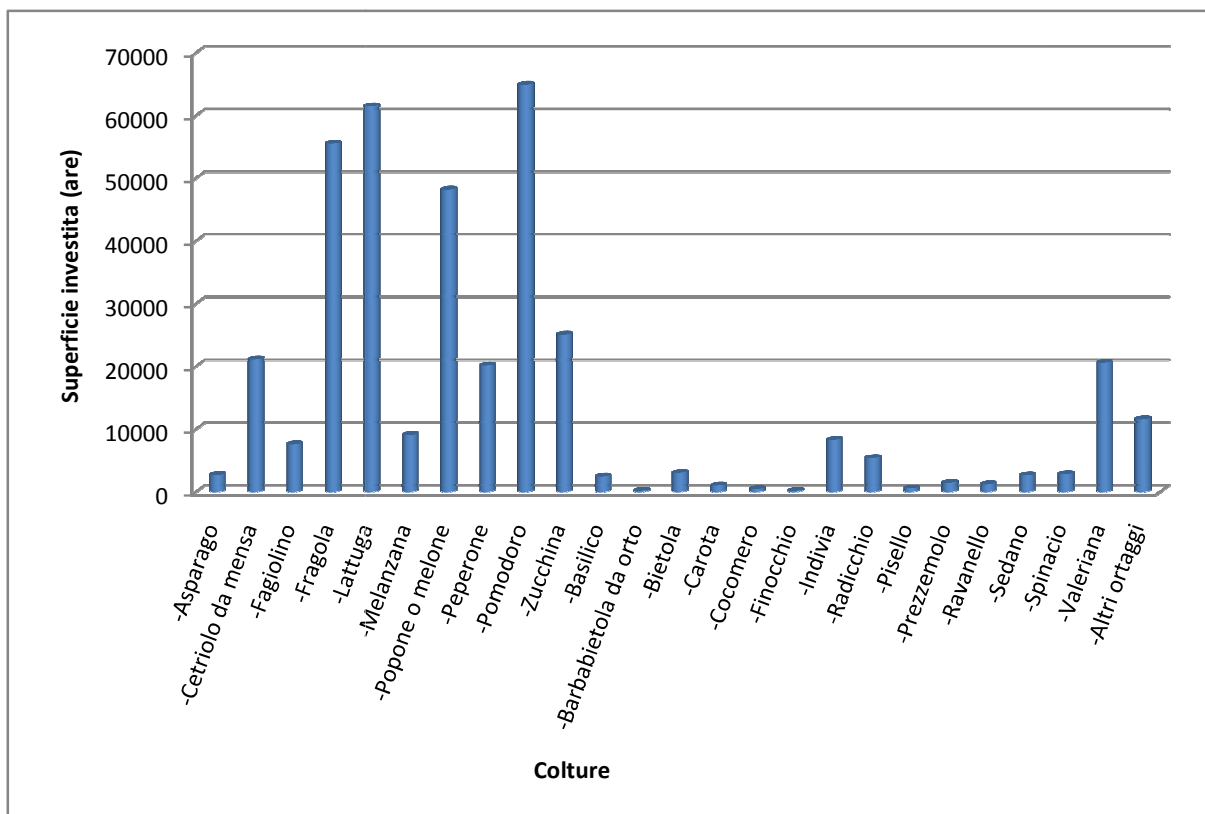


Fig. 1.4 – Specie orticole e relativa superficie investita in coltura protetta nel 2007

I dati produttivi relativi all'orticoltura, sono gli unici a cui si può far riferimento per avere un quadro introduttivo su questo importante comparto produttivo nella nostra Regione. In bibliografia non sono disponibili elementi che permettano di chiarire la situazione sotto il profilo delle modalità di distribuzione dei fitofarmaci e degli aspetti ad essa connessi, nemmeno a livello nazionale. In realtà sinora nel nostro paese poco è stato fatto a livello sperimentale per cercare di migliorare le attuali modalità di distribuzione dei prodotti fitoiatrici in ambiente protetto. Infatti, in Italia rispetto ad altri paesi europei, anche a causa della ridotta dimensione media delle aziende che fanno coltivazione protetta e dell'elevata varietà di colture, la meccanizzazione nel settore della distribuzione degli agrofarmaci è ancora molto arretrata tecnologicamente e ciò oltre a ripercuotersi negativamente sui costi di produzione (impiego di quantitativi di prodotti chimici superiori a quelli che potrebbero essere necessari, elevati tempi operativi) si traduce in elevati rischi per la salute dell'operatore (inalazione di molecole chimiche, imbrattamento di parti del corpo dell'operatore stesso, ecc) (Balsari, 2008).

Attraverso l'effettuazione di un'indagine condotta nell'ambito di un Progetto (PRIN 2005) finanziato dal MIUR, al quale hanno partecipato cinque Unità di Ricerca, fra cui il Dipartimento Te.S.A.F., è stato possibile delineare, anche per la nostra Regione, un quadro delle attuali modalità di distribuzione dei fitofarmaci alle colture protette.

Obiettivi dell'indagine

Nell'ambito del progetto "Prospettive di miglioramento nella distribuzione meccanica dei fitofarmaci alle colture protette per la salvaguardia dell'ambiente e della salute" si è partecipato allo svolgimento dell'attività prevista. In particolare nel 2006 è stato compilato un consistente numero di questionari presso aziende orticole venete nelle zone in cui è maggiormente diffusa la serra (province di Rovigo, Venezia e Verona).

I principali aspetti presi in esame nell'indagine hanno riguardato:

- le attrezzature impiegate per la distribuzione dei fitofarmaci, i loro parametri operativi e le modalità di manutenzione;
- l'utilizzo dei dispositivi di protezione individuale durante la preparazione della miscela, la distribuzione e il lavaggio dell'attrezzatura;
- la necessità di lavaggio dei contenitori vuoti di fitofarmaci e di gestione delle acque reflue del trattamento.

Le aziende che si sono prestate alla compilazione del questionario sono state 54, per una superficie complessiva di quasi 85 ha in coltura protetta.

Le colture prevalenti nelle aziende oggetto dell'indagine sono risultate il pomodoro da mensa, la fragola ed la lattuga con percentuali abbastanza vicine fra loro. Da uno sguardo ai dati ISTAT (tab. 3.4) relativi alle tre colture nel biennio precedente l'indagine è stato possibile evidenziare come il pomodoro da mensa e le insalate rappresentino ad anni alterni gli ortaggi più coltivati in serra, mentre la fragola si stacca per circa quattro punti percentuali. Anche in considerazione di ciò, si è deciso di condurre la sperimentazione sulla coltura del pomodoro che tuttavia è sembrata quella in cui l'operatore risulta maggiormente esposto durante i trattamenti.

Tab. 3.4 – Superficie investita nel Veneto per le principali coltivazioni in serra nel biennio 2004/2005

COLTURA	Anno 2004 (m²)	Percentuale sul totale	Anno 2005 (m²)	Percentuale sul totale
Pomodoro	7.165.400	17,04%	6.818.000	16,70%
Lattuga	7.125.700	16,95%	6.991.700	17,13%
Fragola	5.496.500	13,07%	5.481.500	13,43%
Melone	4.378.500	10,41%	4.673.400	11,45%
Spinacio	2.756.000	6,55%	2.755.500	6,75%
Cetriolo	2.529.500	6,02%	2.587.500	6,34%
Peperone	2.393.500	5,69%	2.404.300	5,89%
Zucchina	2.225.000	5,29%	2.313.500	5,67%
Valeriana	2.018.400	4,80%	2.001.500	4,90%
Melanzana	1.919.300	4,56%	936.000	2,29%
Indivia	1.231.500	2,93%	921.300	2,26%
Fagiolino	767.900	1,83%	760.800	1,86%
Radicchio	526.500	1,25%	537.000	1,32%
Altri ortaggi	1.509.415	3,59%	1.632.604	4,00%

Le strutture di protezione si sono rivelate sostanzialmente differenti a seconda della provincia di collocazione dell'azienda e delle coltivazioni maggiormente praticate nella zona. I tunnel sono costituiti prevalentemente da una struttura in metallo e da una copertura in materiale plastico. La loro presenza è maggiore soprattutto in provincia di Verona con strutture modulari (tunnel multipli). Le serre, per lo più caratterizzate da una struttura portante in cemento, legno o metallo e copertura in materiale plastico o vetro, rappresentano la tipologia meno frequente (15%). L'età media delle serre è risultata di poco superiore a quella dei tunnel, con rispettivamente 12 ed 11 anni.

Le irroratrici utilizzate e le modalità operative

In fig. 2.4 sono riportate le tipologie di macchine ed attrezzature rilevate nelle aziende interessate dall'indagine. La tipologia di irroratrice più impiegata è risultata la lancia (56% dei rilievi), nelle varianti lunga (36%) e corta (pistola, 20%). Le lance sono risultate, nella maggior parte dei casi, alimentate da una pompa azionata dalla p.d.p. di una trattoria o di un motocoltivatore.

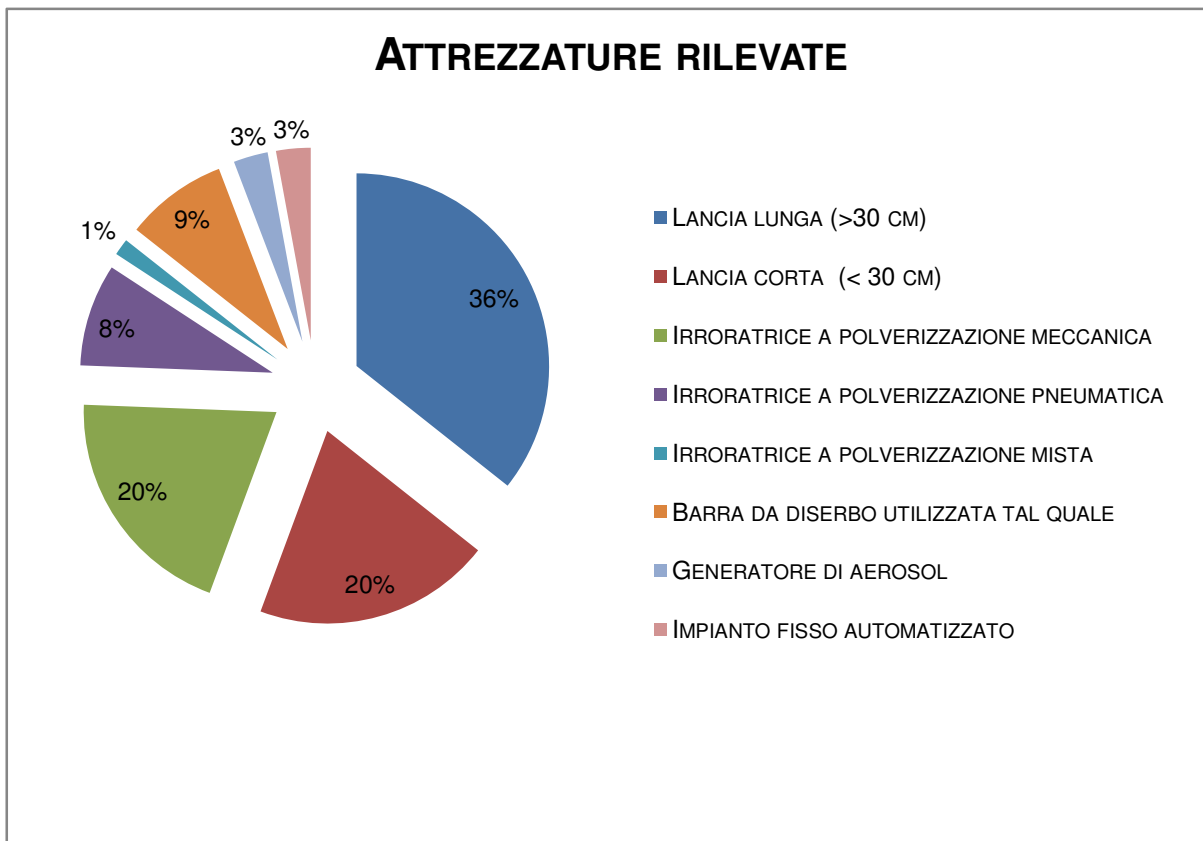


Fig. 2.4 – Rilevanza percentuale delle attrezzature rilevate presso le aziende coinvolte nell'indagine

L'età media rilevata delle irroratrici è di 9 anni. La capacità dei serbatoi della miscela fitoiatrica varia notevolmente per i serbatoi portati da trattore (tra 600 e 900 l). nel caso delle attrezzature spalleggiate la capacità del serbatoio è sempre inferiore ai 25 litri.

Quanto all'aspetto strettamente operativo, il trattamento 1000 m² con l'utilizzo di macchine irroratrici con lance richiede in media circa 40 minuti. Tempo almeno dimezzato, compreso tra i 10 e i 20 minuti, nell'ipotesi di utilizzo di tutte le altre tipologie di irroratrici.

Il tempo necessario per trattare 1000 m² è di oltre 40 minuti nel caso delle lance e compreso tra 10 e 20 minuti per tutte le altre tipologie di irroratrici, esclusi i fogger (4 minuti).

Dal confronto delle pressioni di esercizio sono state riscontrate medie più elevate sulle lance (27 bar), fatto in parte giustificato dalla frequente presenza di tubazioni lunghe alcune decine di metri (anche oltre 100 m) che provocano inevitabili perdite di carico.

Le irroratrici tradizionali (barre, atomizzatori, cannoni) le lance e gli impianti fissi distribuiscono volumi di miscela compresi, in media, tra 100 e 150 l/1000 m².

Analizzando i dati rilevati sui dispositivi di regolazione, il 96,3% delle macchine irroratrici presenta il regolatore di pressione ed il 98,1% il manometro anche se quest'ultimo è visibile durante l'esecuzione del trattamento solo nel 44,4% dei casi.

Gli ugelli più utilizzati sono quelli a getto conico (87,7%), seguiti da quelli a fessura (12,3%). Tuttavia si è rilevata un'alta percentuale di irroratrici (41,7%) con ugelli in ottone soggetti, come è noto, più facilmente ad usura.

Sotto il profilo della manutenzione ordinaria delle macchine irroratrici, il 29,6% degli intervistati ha dichiarato di non aver mai sostituito gli ugelli, il 48,1% di non aver mai sostituito i filtri e il 40,7% di non aver mai effettuato una verifica della funzionalità del manometro.

Dai dati raccolti si rileva che il maggior numero di trattamenti/anno sono effettuati, tra le colture principali, sulla fragola. In particolare, il 60% delle aziende che coltiva fragole effettua più di 20 trattamenti fitoiatrici/anno.

Gestione dei prodotti residui del trattamento fitoiatrici

Quasi tutti (96,3%) gli agricoltori intervistati hanno dichiarato di eseguire il lavaggio dell'attrezzatura. Più precisamente il 65,4% dichiara di eseguirlo a fine trattamento, il 25% al cambio del prodotto fitoiatrici, il 6% a fine stagione e, per il resto, saltuariamente.

In media l'operazione di lavaggio richiede l'utilizzo di circa 87 l di acqua. Si registrano, tuttavia, circa un 15% di operatori che riempiono completamente il serbatoio durante il lavaggio arrivando ad impiegare fino a 500-600 l.

Lo smaltimento dell'acqua di lavaggio avviene nel 61,5% dei casi direttamente sul terreno e, più raramente, nel 34,7% dei casi sulla coltura. Sporadicamente (3,8%) l'acqua di lavaggio viene smaltita in maniera inadeguata attraverso lo scarico in fognatura.

Il 53% degli intervistati ha affermato di avere della miscela residua a fine trattamento, miscela che viene distribuita sulla coltura (77%) o conservata per un utilizzo successivo (23%).

I contenitori vuoti di fitofarmaci sono quasi sempre (94,4% di rilievi) accuratamente lavati e l'acqua di lavaggio che ne deriva viene solitamente aggiunta alla miscela fitoiatrici. Stando a quanto dichiarato dagli intervistati, i contenitori vuoti vengono inviati ad un centro specializzato per lo smaltimento in tutte le aziende interpellate.

La sicurezza dell'operatore

L'operatore che effettua il trattamento fitosanitario è generalmente un uomo dell'età media di 43 anni. Solo in un caso l'operatore era di sesso femminile.

Il tempo di rientro dopo il termine del trattamento è risultato pari o superiore a 48 ore nel 51,8% dei casi ed inferiore o uguale a 24 ore nel 27,7% dei riscontri.

Dai dati raccolti è emerso che l'impiego di dispositivi di sicurezza individuali si caratterizza in modo differente a seconda delle fasi del trattamento fitosanitario in essere quali preparazione della miscela e della macchina irroratrice, distribuzione, lavaggio.

In particolare, durante la distribuzione (tab. 4.4) i DPI più utilizzati sono nell'ordine: tuta (92,6% dei rilievi), le protezioni delle vie respiratorie (81,5%) e del capo (75,9% dei rilievi).

Viceversa durante le altre fasi del trattamento ovvero preparazione della miscela e della macchina irroratrice, lavaggio della stessa a fine trattamento, l'impiego del DPI è risultato sempre inferiore.

Sul punto bisogna evidenziare però che è proprio durante la fase di preparazione della miscela antiparassitaria che l'operatore manipola il prodotto.

Una percentuale addirittura inferiore al 50% degli intervistati utilizza DPI specifici per tali attività (guanti, tute impermeabili agli agenti chimici). Solo la protezione delle vie respiratorie sembra essere adeguata (maschere con filtri a carboni attivi).

Spesso, purtroppo, i DPI specifici per tali attività (guanti e tute impermeabili agli agenti chimici) sono risultati utilizzati da una percentuale inferiore al 60% degli intervistati nel primo caso e al 50% nel secondo. Solo la protezione delle vie respiratorie sembra essere adeguatamente considerata.

Tab. 4.4 – Dispositivi di protezione individuale indossati durante la distribuzione

DPI impiegati durante la distribuzione	Percentuale
Tuta	92,6%
monouso	43,3%
impermeabile	27,8%
cotone	18,5%
Maschera	81,5%
carboni attivi	77,8%
tessuto	3,7%
Protezione testa	75,9%
berretto	38,9%
cappuccio	33,3%
casco	3,7%
Guanti	70,4%
impermeabili	46,3%
lattice	24,1%
Stivali	70,4%
Otoprotettori	13,0%

Considerazioni sui risultati ottenuti

In sintesi dall'indagine è emerso quanto segue:

- il numero di trattamenti effettuati ogni anno è considerevole (spesso superiore ai 20 interventi);

- la lancia è il sistema di distribuzione degli agrofarmaci attualmente più diffuso in oltre il 50% delle aziende;
- sia i volumi di distribuzione (mediamente maggiori di 120 l/1000 m² nel 73%) che le pressioni di esercizio (fino a 40 bar) risultano elevati e, spesso, inadeguati (fig. 3.4);
- si ravvisa che spesso i trattamenti vengono effettuati regolando i parametri senza l'ausilio degli strumenti di controllo (mancanza di un regolatore di pressione, manometro rotto, non visibile dall'operatore durante il lavoro o comunque mai controllato) basandosi principalmente sull'esperienza empirica e su una valutazione più che altro visiva;
- estremamente limitata è la manutenzione dell'attrezzatura (scarsa o nulla sostituzione degli ugelli usurati e dei filtri, ancora largo impiego di ugelli in ottone);
- durante la preparazione della miscela fitoiatrica, quando devono essere manipolati fitofarmaci concentrati, la maggior parte degli addetti ai lavori non utilizza adeguati dispositivi di protezione individuale;
- i DPI maggiormente impiegati nella fase di distribuzione dei fitofarmaci sono le maschere con filtro a carboni attivi, tuttavia in percentuale inferiore all'80% dei casi esaminati;
- appena superiore al 60% è risultato il numero di addetti abituato ad indossare indumenti impermeabili agli agenti chimici.



Fig. 3.4 – Aspetto dei depositi fogliari e delle perdite a terra a fine trattamento

Sperimentazione condotta nel secondo anno

Dai risultati dell'indagine condotta durante il primo anno sono state individuate le tipologie di attrezzature attualmente più diffuse. Ricontrando che le lance a mano, nelle varianti della lancia lunga e della pistola, erano le più impiegate, anche per la coltura di riferimento (pomodoro), nel secondo anno la sperimentazione ha riguardato tali attrezzature. In particolare ci si è rivolti verso le irroratrici a pistola, relativamente alle quali le informazioni disponibili sono più carenti. L'attività si è articolata in una valutazione comparativa fra le suddette tipologie e, all'interno della stessa, tra parametri funzionali (pressioni di esercizio, volumi di miscela, tipi di ugelli), oltre a valutare le dispersioni a terra e sulle strutture della serra e la contaminazione dell'operatore.

Descrizione del sito della sperimentazione

La sperimentazione è stata realizzata presso il Centro Sperimentale Ortofrutticolo Po di Tramontana di Veneto Agricoltura. La struttura di protezione utilizzata era un tunnel doppio di superficie lorda pari a 605 m². La coltura su cui si è condotta la sperimentazione era il pomodoro da mensa (var. a grappolo), risultata dall'indagine sui dati ISTAT e dalle aziende censite la più diffusa per superficie investita. La fase in cui si trovava la coltura era di fine produzione-chiusura ciclo.

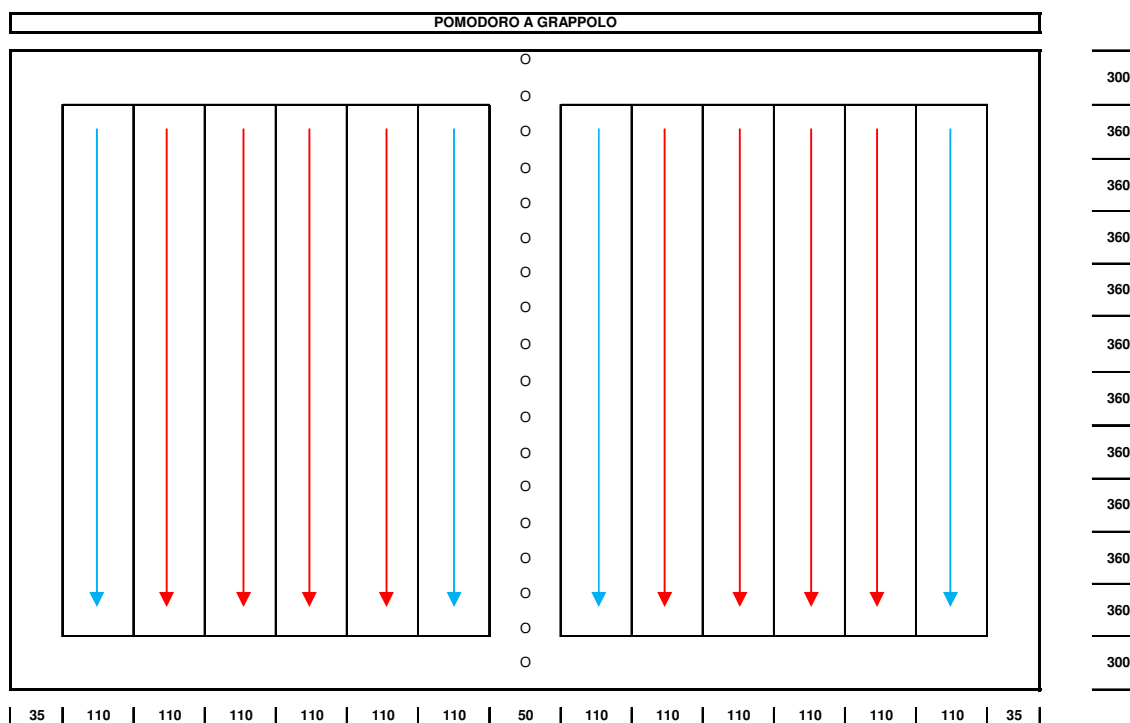


Fig. 5.4 – Schema del tunnel in cui è stata condotta la sperimentazione

In fig. 5.4 è illustrata la modalità di conduzione dei trattamenti. Le frecce indicano la direzione in cui avveniva la distribuzione, con l'operatore che si spostava in fondo alla corsia di transito prima di riprendere l'erogazione. In azzurro sono evidenziate le file trattate, ma in cui non è avvenuto il campionamento per evitare interferenze dovute a deposito secondario.

Materiali e metodi

Le prove hanno riguardato tre diverse attrezzature azionate a mano (fig. 5.4). Per la pistola sono state utilizzate due diverse regolazioni. Le attrezzature erano alimentate dalla medesima irroratrice collocata all'esterno della struttura. Prima di iniziare i test sono stati rilevati i parametri di funzionamento delle attrezzature normalmente adottati dall'operatore. Per calcolare le portate delle attrezzature è stato impiegato un cilindro graduato della capacità di 2 l ed un cronometro per la registrazione del tempo di erogazione. In tabella 5.4 sono riportati i dati delle tesi a confronto.



Fig. 5.4 – Le tre attrezzature provate: la pistola, la lancia con l'ugello a doppio ventaglio e la lancia tradizionale

Tab. 5.4 – Parametri operativi delle attrezzature testate

	Attrezzatura	P pompa (bar)	P ugello (bar)	Portata (l/min)	Volume (l/ha)
1	PISTOLA	13	10	3,2	3087
2	PISTOLA	10	8	2,9	2846
3	LANCIA	8	6,5	3,6	4100
4	LANCIA	10	7	2,7	2469

Per la misura dei depositi è stata utilizzata la tecnica colorimetrica impiegando una soluzione 5% giallo E102 – tartrazina. Il campionamento è stato eseguito su 150 foglie per ogni attrezzatura su tre ripetizioni a differenti altezze e profondità (fig. 6.4).

Per le determinazioni analitiche è stata utilizzata la tecnica spettrofotometrica descritta in Appendice A e la medesima metodologia di calcolo descritta nel capitolo precedente.

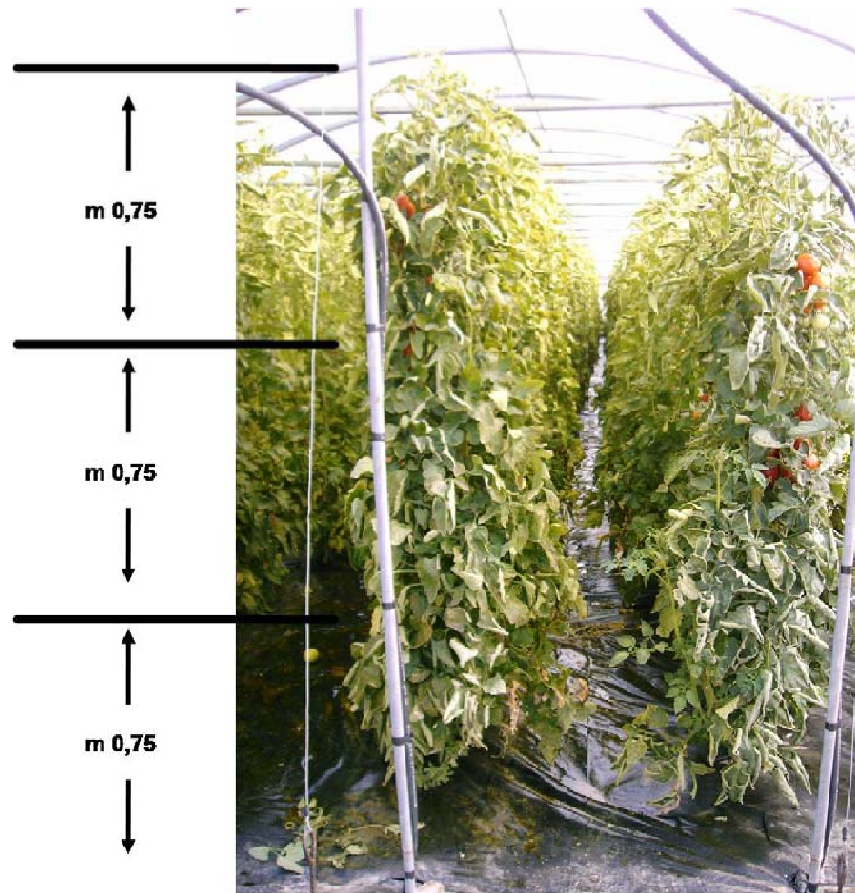


Fig. 6.4 – La coltura di pomodoro e le altezze di rilevamento dei dati

I parametri rilevati erano i seguenti:

- deposito fogliare (su foglie intere);
- deposito sulle pagine superiore e inferiore;
- deposito sulle bacche;
- perdite a terra e sulle strutture del tunnel;
- contaminazione dell'operatore.

Per la determinazione dei depositi sulle foglie intere si è proceduto ad un lavaggio dei campioni con 50 cc di acqua deionizzata, che venivano lasciati al riparo dalla luce per 24 h in sacchetti sigillati e privati dell'aria interna per permettere il contatto fra l'intera superficie fogliare e l'acqua, affinché tutto il colorante depositato entrasse in soluzione.

Successivamente le foglie venivano fotografate. Le immagini ottenute venivano binarizzate (fig. 7.4) e la determinazione dell'area fogliare era stimata con l'impiego del software ImagePro Plus 6.1.



Fig. 7.4 – Immagine elaborata per la determinazione della superficie fogliare

Per la determinazione dei depositi suddivisi per la due pagine fogliari sono stati impiegati dei captatori di nastro adesivo di carta di dimensioni note.

Per i frutti il lavaggio è stato realizzato come per le foglie (100 cc) e la determinazione della superficie è stata calcolata approssimando la loro forma ad una sfera, stante la relativa regolarità morfologica della bacca. Il raggio è stato calcolato come media di 3 misurazioni del diametro del frutto (altezza, diametro maggiore e diametro minore).

Il campionamento delle dispersioni sulla struttura e a terra è stato realizzato con captatori (cartoncini) di dimensioni note.

Sull'operatore il campionamento è stato realizzato sulla tuta in Tyvek®, sulle varie parti del corpo illustrate in figura 8.4. Chi ha eseguito la distribuzione era l'operatore abituale che attua i trattamenti presso il Centro Sperimentale, pertanto da ritenersi esperto. Con tutte le attrezzature analizzate l'applicazione è stata eseguita con avanzamento all'indietro, modalità adottata abitualmente in questa fase del ciclo produttivo. I tempi necessari per trattare la superficie di un tunnel venivano cronometrati per determinare l'esposizione oraria.

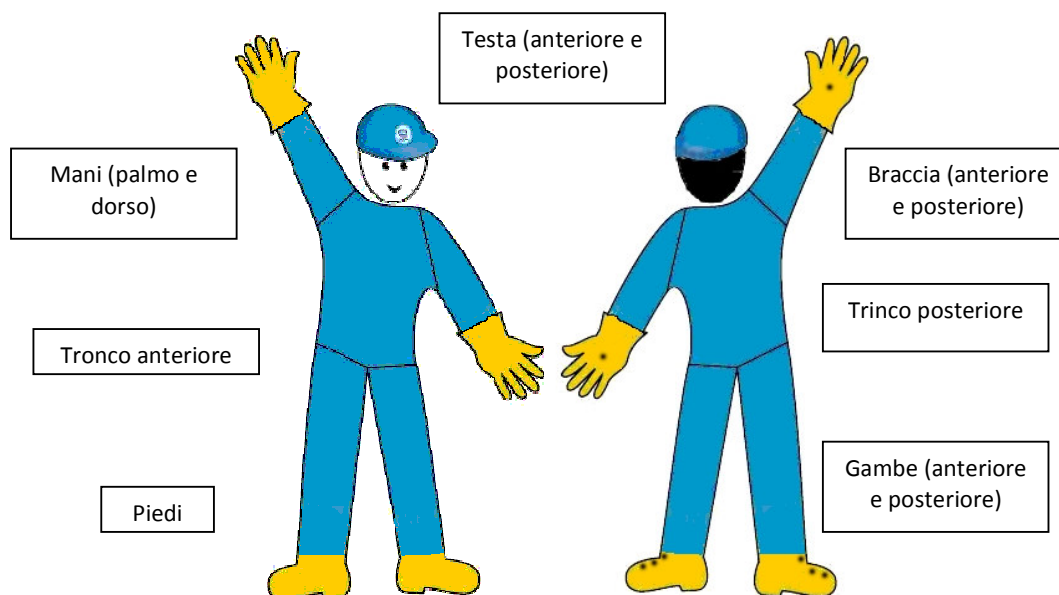


Fig. 8.4 – Punti di campionamento sull'operatore

Risultati ottenuti

Deposito fogliare

Il deposito fogliare, normalizzato a 1500 l/ha per rendere confrontabili i valori, è risultato significativamente superiore utilizzando la lancia tradizionale ($2,23 \mu\text{l}/\text{cm}^2$), che ha però fatto rilevare una minore uniformità di distribuzione (depositi più elevati sulle foglie in basso) e una variabilità elevata (CV 40%). La lancia con ugello a doppio ventaglio ha evidenziato un deposito complessivamente più basso ($1,50 \mu\text{l}/\text{cm}^2$), con una minore variabilità nelle posizioni centrali ed alte della pianta (CV 28%). La pistola a 13 bar ha ottenuto depositi simili alla lancia con doppio ventaglio con buona uniformità ($1,56 \mu\text{l}/\text{cm}^2$, CV 28%), mentre la stessa pistola a 10 bar ha prodotto depositi bassi ($1,22 \mu\text{l}/\text{cm}^2$) con scarsa uniformità soprattutto al centro e in alto (CV 43%). I risultati sono sintetizzati nelle figure 9.4 e 10.4.

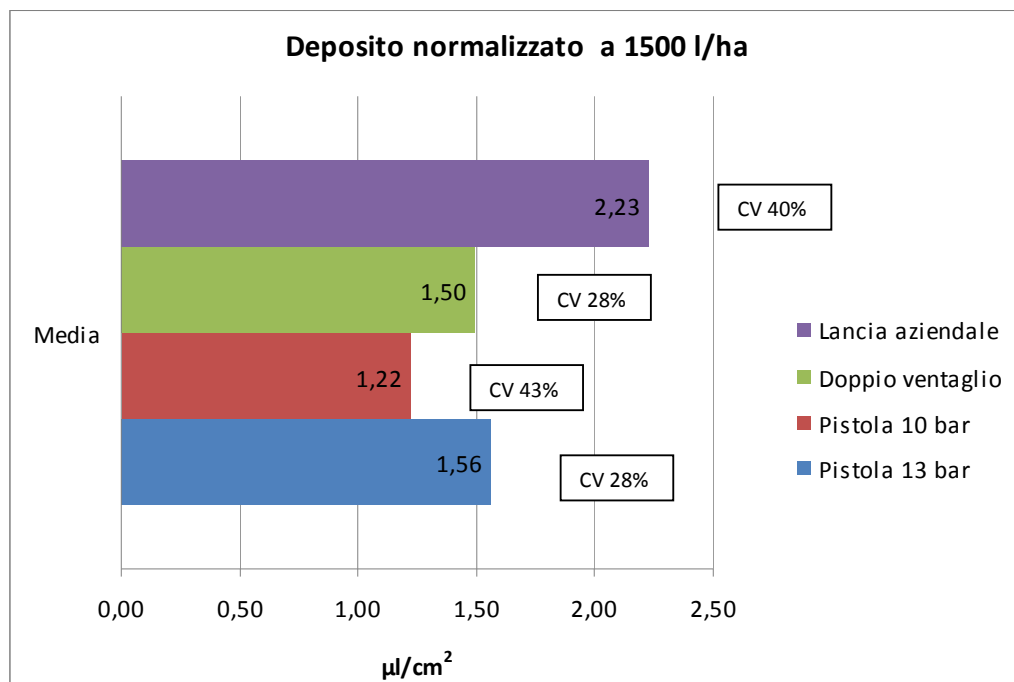


Fig. 9.4 – Depositi fogliari totali ottenuti con le diverse attrezzature

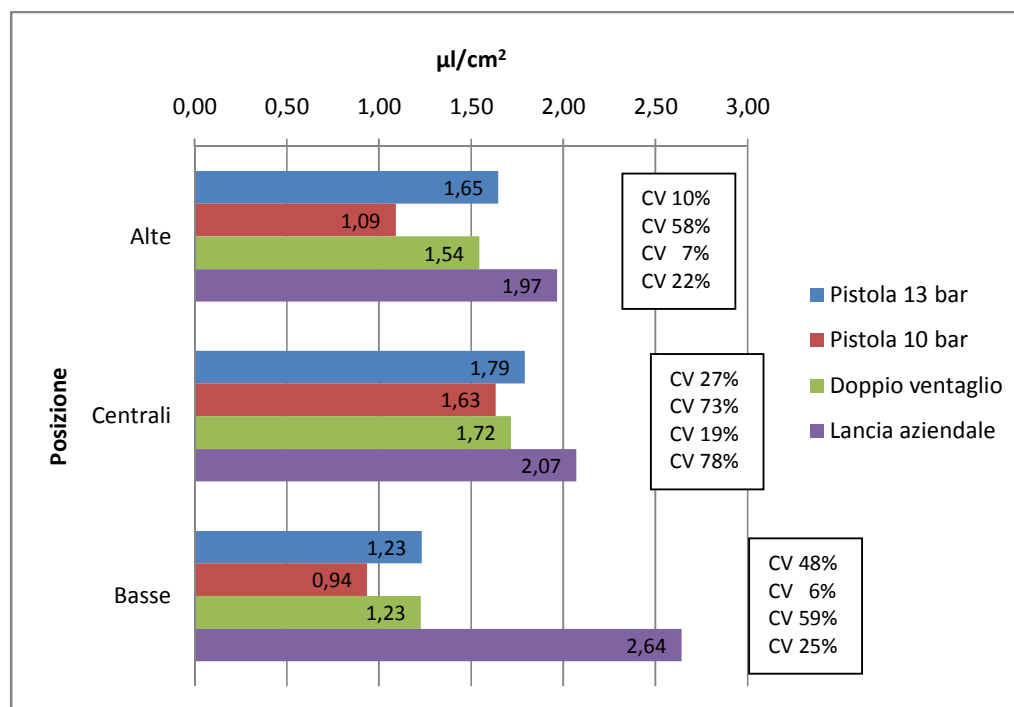


Fig. 10.4 – Depositi fogliari ottenuti con le diverse attrezzature ripartiti in base all'altezza

Ripartizione del deposito sulle pagine fogliari

Per quanto riguarda la ripartizione tra le lamine fogliari (fig. 11.4 e tab. 6.4), la lancia aziendale ha fornito un deposito maggiore sulla pagina superiore, soprattutto in basso e al

centro, con variabilità molto elevata; la lancia con ugello a doppio ventaglio ha prodotto, rispetto alla prima, un maggior deposito sulla pagina inferiore nelle posizioni centrali e alte della pianta. La pistola a 13 bar mostra depositi più alti sulle pagine inferiori, soprattutto in alto e al centro, mentre la pistola a 10 bar ottiene depositi bassi sulla pagina inferiore nelle posizioni basse.

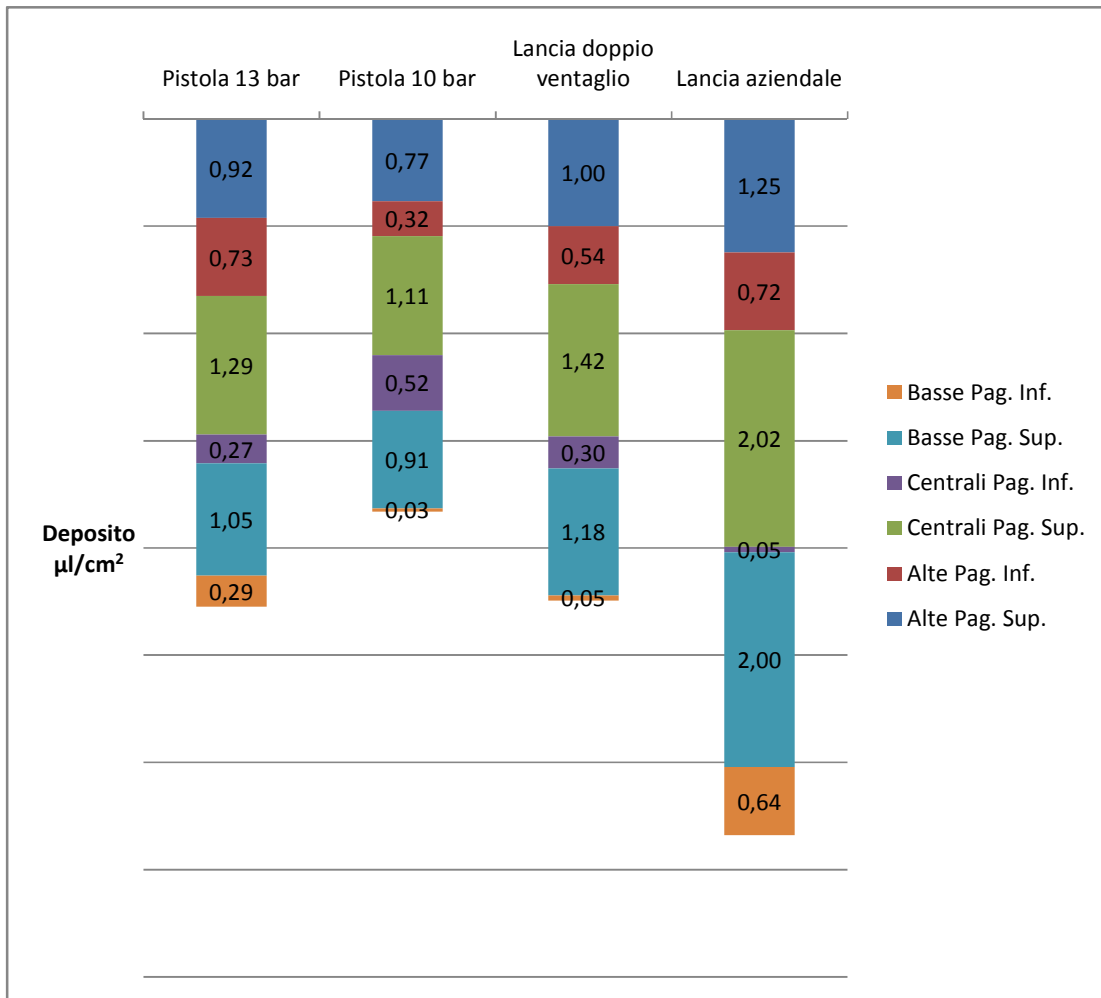


Fig. 11.4 – Ripartizione dei depositi per lamina fogliare e fascia d'altezza

Tab. 6.4 – Coefficienti di variazione della ripartizione dei depositi fogliari

Fascia	Lamina	Attrezzatura			
		Pistola 13 bar	Pistola 10 bar	Lancia doppio ventaglio	Lancia aziendale
Alte	Superiore	40%	50%	60%	96%
	Inferiore	39%	94%	59%	61%
Centrali	Superiore	24%	58%	40%	32%

	Inferiore	58%	45%	133%	86%
Basse	Superiore	91%	44%	89%	101%
	Inferiore	81%	90%	99%	142%

Deposito sulle bacche

Per quanto riguarda il deposito sui frutti, la lancia tradizionale ha evidenziato un deposito inferiore alle altre attrezzature (1,83 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$), soprattutto in alto; la lancia equipaggiata con l'ugello a doppio ventaglio ottiene il secondo risultato più alto (2,43 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$), soprattutto nella parte alta della pianta. Con la pistola a 13 bar si è avuto il miglior risultato (2,88 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$), soprattutto in alto, mentre infine la pistola a 10 bar ha dato buoni depositi in assoluto (2,27 $\mu\text{l}/\text{cm}^2$), anche se scarsi nelle posizioni centrali (fig. 12.4)

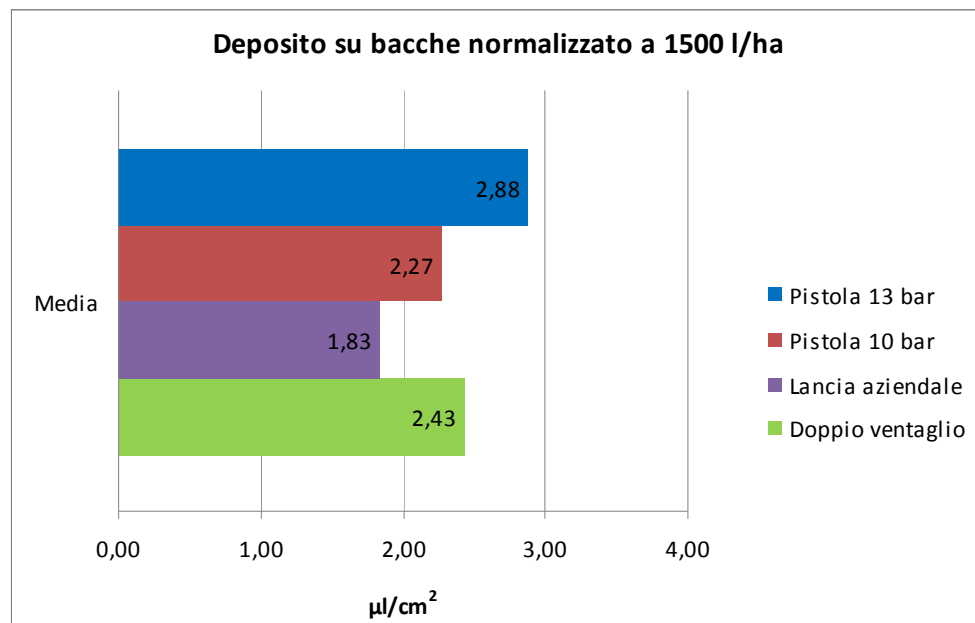


Fig. 12.4 – Depositi rinvenuti sulle bacche

Perdite

Le perdite a terra e sulle strutture del tunnel sono risultate in assoluto molto elevate in tutte le prove, come peraltro avviene normalmente in questa tipologia di interventi (figg. 13.4 e 14.4).

Con la lancia tradizionale si sono riscontrate perdite a terra molto elevate, come pure elevate sono risultate le perdite sulla volta e sulle pareti.

La lancia con ugello a doppio ventaglio ha fatto registrare perdite a terra molto basse rispetto alle altre soluzioni, oltre a perdite su volta e pareti più contenute rispetto alle altre attrezzature.

La pistola a 13 bar ha fornito perdite a terra elevate, a metà tra le due versioni di lancia, con perdite su volta e pareti più basse sempre rispetto alla lancia, mentre con la pistola a 10 bar si sono ottenute perdite sulla struttura e a terra simili a quelle rilevate a 13 bar.

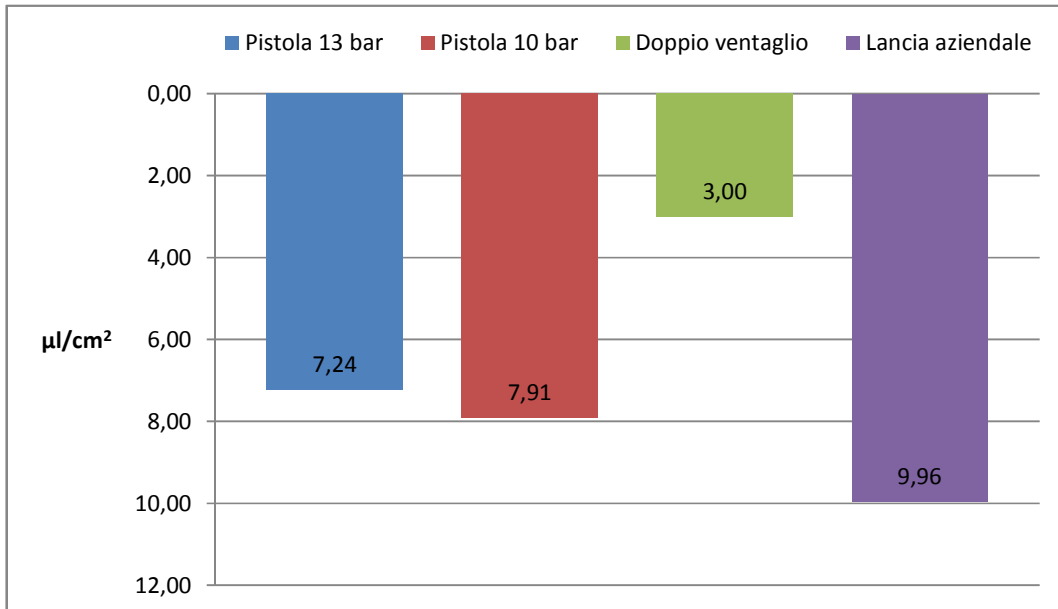


Fig. 13.4 – Perdite a terra

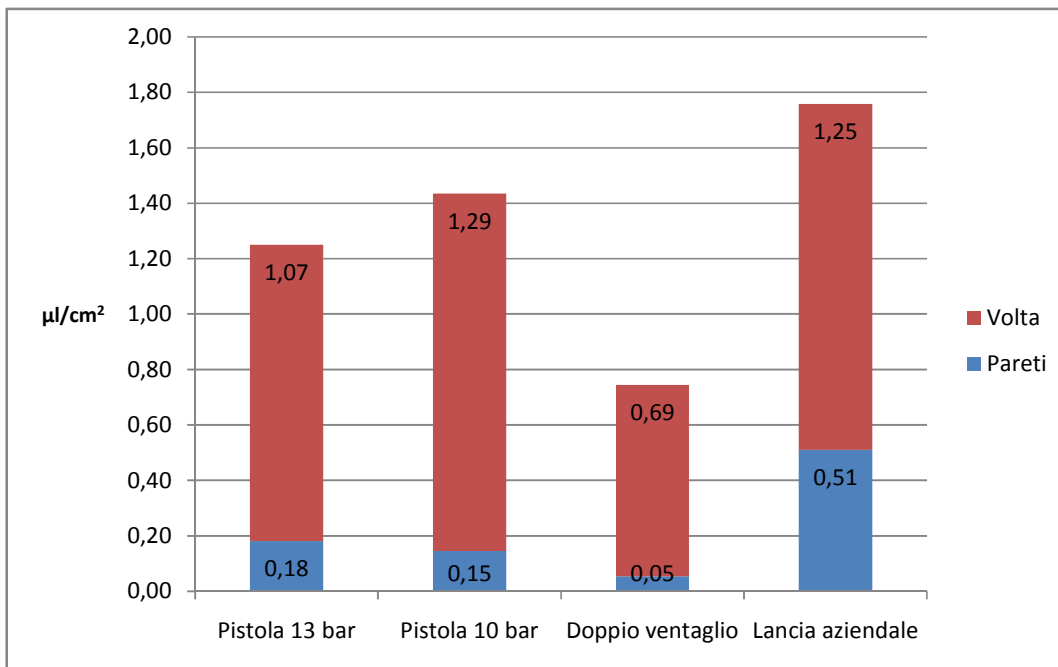


Fig. 14.4 – Perdite fuori bersaglio sulle strutture

Contaminazione dell'operatore

L'impiego della lancia aziendale ha consentito di rilevare depositi sull'operatore inferiori rispetto alle altre attrezzature, verosimilmente per la maggiore distanza dell'erogatore dall'operatore durante la distribuzione. Risultati simili si sono riscontrati impiegando la lancia con ugello a doppio ventaglio, che ha dato una contaminazione leggermente più elevata rispetto alla lancia tradizionale.

L'uso della pistola a 13 bar ha comportato un deposito sull'operatore circa doppio rispetto alle lance, mentre la pistola a 10 bar ha fornito il risultato peggiore, con una contaminazione quasi 4 volte più elevata rispetto alla lancia tradizionale. In tutti i casi le parti del corpo maggiormente esposte sono risultate gli arti inferiori. La tabella 7.4 riporta in sintesi il deposito totale rinvenuto nelle diverse prove.

Tab. 7.4 – Contaminazione dell'operatore

	Depositi norm. (ml/h)	Parte anteriore	Parte posteriore	Parte superiore (dal bacino in su)	Parte inferiore (dal bacino in giù)
Pistola 13 bar	29,96	64,38%	35,62%	48,98%	51,02%
Pistola 10 bar	49,94	70,09%	29,91%	44,02%	55,98%
Lancia doppio ventaglio	17,92	74,28%	25,72%	30,91%	69,09%
Lancia aziendale	13,85	87,76%	12,24%	31,23%	68,77%

Considerazioni sui risultati ottenuti

La valutazione comparativa condotta sulle tipologie di attrezzature considerate ha messo in evidenza una certa correlazione fra depositi sulla vegetazione e pressioni di esercizio, tale per cui con una massa fogliare molto sviluppata qual'era quella del sito di prova (LAI stimato pari a 4,4), non appare consigliabile scendere sotto certi livelli di pressione per non rischiare di avere difficoltà di penetrazione nella parete vegetale.

La lancia lunga si è dimostrata l'attrezzatura che sia in termini di depositi sulla vegetazione sia di contaminazione dell'operatore, funziona meglio; l'impiego di ugelli a doppia fessura non sembra essere una soluzione valida per il miglioramento delle prestazioni. La pistola, pur se apprezzata dagli operatori per la maneggevolezza, appare

meno efficace in termini di deposito fogliare, anche se ottiene buoni risultati sull'uniformità di ripartizione tra le superfici fogliari.

L'elevata quantità di dispersioni rilevata con l'impiego delle attrezzature considerate, suggerisce che la riduzione dei volumi di bagnatura potrebbe essere una via percorribile per aumentare l'efficienza di distribuzione nei trattamenti in coltura protetta. Considerata l'impraticabilità di agire sulla velocità di avanzamento dell'operatore durante l'applicazione, tanto più se si considera che ciò deve avvenire operando all'indietro per ridurre opportunamente il rischio di contaminazione (Cerruto et al., 2008; Nuyttens et al., 2008), si ritiene più opportuno lavorare sulla portata dell'attrezzatura, impiegando ugelli con portate ridotte e stabili, e pressioni d'esercizio più basse in raffronto a quelle mediamente impiegate con le lance a mano.

Capitolo 5

VALUTAZIONE DELL'INDICE DI DERIVA POTENZIALE (DIX) DI UGELLI A VENTAGLIO IN GALLERIA DEL VENTO

Determinazione dell'Indice di Deriva Potenziale (DIX, Drift Potential Index)

Il processo di formazione della deriva può essere schematicamente suddiviso in due fasi distinte. Una prima fase caratterizzata dalla formazione di goccioline minute che rimangono sospese in aria per un tempo variabile in relazione alle loro dimensioni prima di raggiungere il bersaglio. Questa nube di goccioline è definita potenziale di deriva. Nella fase successiva la deriva potenziale può divenire concreta per effetto del vento naturale che la sposta fuori dall'area trattata. In questa fase il processo è influenzato unicamente da alcuni parametri atmosferici quali la velocità del vento, la temperatura e l'umidità dell'aria. La prima fase è invece influenzata da parametri tecnici come le caratteristiche degli ugelli, l'altezza di lavoro e la velocità di avanzamento. Questa fase è controllabile dall'operatore.

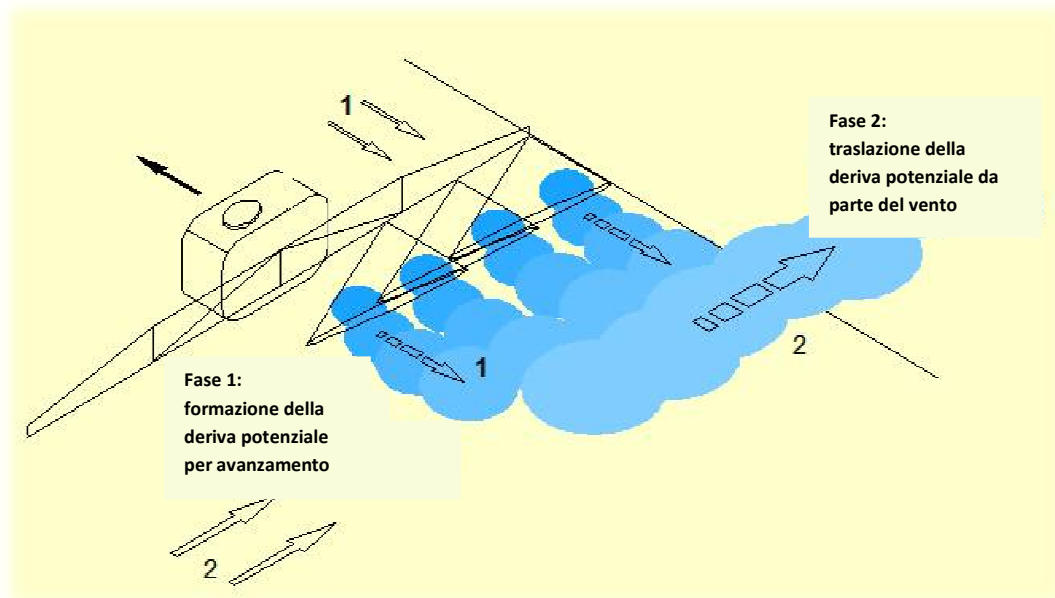


Fig. 1.5 – Schematizzazione delle fasi di formazione della deriva potenziale durante l'irrorazione (Herbst & Ganzelmeier, 2000)

La relazione fra le due fasi può essere descritta ricorrendo ad un semplice modello ed assumendo che il vento che incrocia lateralmente la nube di gocce non crei fenomeni di

turbolenza e che non ci sia evaporazione del fluido potenzialmente soggetto a deriva (Brauer, 1971). Si può dimostrare che la quantità di deposito a terra può essere calcolato con la formula:

$$s(x) = x^{-\frac{3}{2}} v_w^{\frac{1}{2}} h_N^{\frac{3}{2}} \bar{A} h K$$

Dove:

x : distanza da bordo campo

v_w : velocità del vento

h_N : altezza dell'ugello

\bar{A} : sommatoria delle proiezioni delle aree delle gocce $\pi r^2/4$ nella nube soggetta a deriva sull'unità di tempo (proiezione totale dell'area di flusso)

h : altezza caratteristica normalizzata della nube

K : coefficiente di proporzionalità

In questo modo risulta possibile ottenere una stima del deposito a terra grazie ad alcuni valori caratteristici.

I parametri \bar{A} ed h descrivono l'influenza dell'ugello sulla deriva e possono essere misurati simulando la fase 1 del processo di formazione della deriva in galleria del vento (Herbst, 2005; Herbst & Ganzelmeier, 2000).

Assumendo che la distribuzione dimensionale delle gocce nella nube non dipenda dall'altezza dal suolo, la proiezione dell'area del flusso \bar{A} nell'equazione, può essere sostituita dal flusso volumetrico V . Mentre la stima di \bar{A} richiede misurazioni delle dimensioni delle gocce nella nube di liquido, cosa molto più onerosa, il flusso volumetrico è molto più agevole da misurare (semplicemente impiegando dei captatori).

Dai dati acquisiti da tali misurazioni è possibile ottenere un profilo verticale di deriva potenziale. Integrando lungo l'asse verticale la curva dei punti ottenuti dalle determinazioni sperimentali, si ottiene il flusso volumetrico (Herbst, 2005):

$$V = \int_0^{h_N} \int_0^{\infty} v(y, z) dy dz$$

con v : flusso volumetrico in un qualsiasi punto del piano di misurazione.

Il volume relativo di liquido soggetto a deriva viene poi calcolato con la formula:

$$V = \frac{V}{V_N}$$

dove V è la portata dell'ugello di riferimento.

L'altezza caratteristica della nube di deriva potenziale è definita dalla relazione:

$$h = \frac{\int_0^{h_N} v(z)z dz}{\int_0^{h_N} v(z) dz}$$

ovvero, l'altezza del centro di gravità della nube di goccioline soggette a deriva.

L'Indice di Deriva Potenziale viene, in fine, definito come:

$$DIX = \frac{h \times V}{h_{St} \times V_{St}}$$

In cui h_{St} e V_{St} sono i parametri di un ugello a ventaglio (ISO 03 a 3 bar) scelto come standard.

In particolare si tratta di un ugello Lurmark 03F110 inserito nel protocollo di prova del JKI come ugello di riferimento per comporre le liste ufficiali che definiscono le attrezzature in grado di ridurre il rischio deriva nei trattamenti antiparassitari. Tale ugello è catalogato come medio/fine nella classificazione BCPC degli spray. Per definizione si è stabilito un valore DIX pari a 100 per questo ugello alla pressione di 3 bar e velocità dell'aria di 2 m/s.

Materiali e metodi

Analisi quantitativa mediante fluorimetria

La spettrofluorimetria è una tecnica di analisi chimica largamente impiegata in diverse discipline scientifiche e si basa su interazioni radiazione–materia.

Com'è noto si parla di "spettro di emissione" quando da un corpo proviene un flusso di energia sotto forma di onde elettromagnetiche e per luminescenza si intende l'emissione di luce da parte di una sostanza. La fluorescenza è un caso particolare di luminescenza che si verifica per eccitazione, cioè sotto l'influenza di qualche altra radiazione elettromagnetica che colpisce il corpo luminescente: l'essenziale è che quel corpo possa emettere luce, quando è colpito da una radiazione di diversa lunghezza d'onda. Lo spettro di fluorescenza, è in genere simile allo spettro di assorbimento, ma spostato a lunghezze d'onda maggiori.

Il fenomeno della fluorescenza si presta alla determinazione qualitativa e quantitativa di numerose sostanze. Infatti anche in questo caso è valida la legge di Lambert-Beer, così come i limiti a cui essa è soggetta (si veda l'Appendice A). In particolare la legge dell'assorbimento vale per soluzioni la cui concentrazione sia inferiore a 10^{-5} M; per questo la spettroscopia di fluorescenza è particolarmente adatta alla determinazione di analiti in tracce.

Il tracciante utilizzato durante la sperimentazione, per la determinazione del DIX, era la sulfonflavina brillante o BSF (Brillantsulfonflavine) per la quale si sono scelti i valori di 405 e 505 nm rispettivamente per la lunghezza d'onda di eccitazione e quella di emissione.

Per la legge di Lambert-Beer vale la seguente proporzione:

$$\frac{FL_c}{C_c} = \frac{FL}{C}$$

Dove:

FL_c : lettura strumentale della soluzione madre

FL : lettura della soluzione di lavaggio del captatore

C_c : concentrazione del tracciante (fluorescina) nella soluzione madre

C : concentrazione del tracciante nel liquido di lavaggio

Dalla proporzione si calcola facilmente la concentrazione del tracciante nel liquido di lavaggio, come:

$$C = C_c \times \frac{FL}{FL_c} = \frac{m_{BSF}}{m_w}$$

$$C_c = C_{sl} \times C_{cl}$$

$$m_{BSF} = C_{sl} \times m_c$$

m_{BSF} : massa del tracciante nella soluzione di lavaggio (ovvero sul captatore)

m_w : massa del liquido di lavaggio

C_{sl} : concentrazione del tracciante nel liquido erogato

C_{cl} : concentrazione del liquido erogato nella soluzione madre

m_c : massa del liquido erogato sul captatore

Le due equazioni appena viste mostrano come la concentrazione C_{sl} della fluorescina nel liquido erogato sia presente in entrambi i membri dell'equazione precedente, e ciò fa capire il motivo per cui tale concentrazione non è rilevante per la metodologia d'analisi adottata.

Infine, è possibile definire la quantità di liquido intercettata dal captatore come:

$$m_c = \frac{C_{cl} \times FL \times m_w}{FL_c}$$

$$V_c = \frac{(C_{cl} \times FL)}{FL_c} \times V_w$$

V_c : volume del liquido erogato sul captatore

V_w : volume del liquido di lavaggio

La galleria del vento JKI

Si tratta di una galleria a circuito chiuso con una camera di prova lunga 10 m, larga 2,50 m, alta 1,60 m (si consulti l'Appendice B). Grazie ad un ventilatore e ad un motore con potenza di 30 kW, la velocità del vento nella camera di prova può raggiungere circa 15 m/s.

La camera di prova consta di un'unica zona di misura all'imbocco della camera, dove si trovano i sensori di temperatura (regolabile tra 10 e 30°C), umidità relativa (tra 40 e 80%) ed un anemometro per la regolazione dei parametri di lavoro. In questa zona si trova anche il supporto di montaggio porta ugelli regolabile in altezza (fig. 2.5).

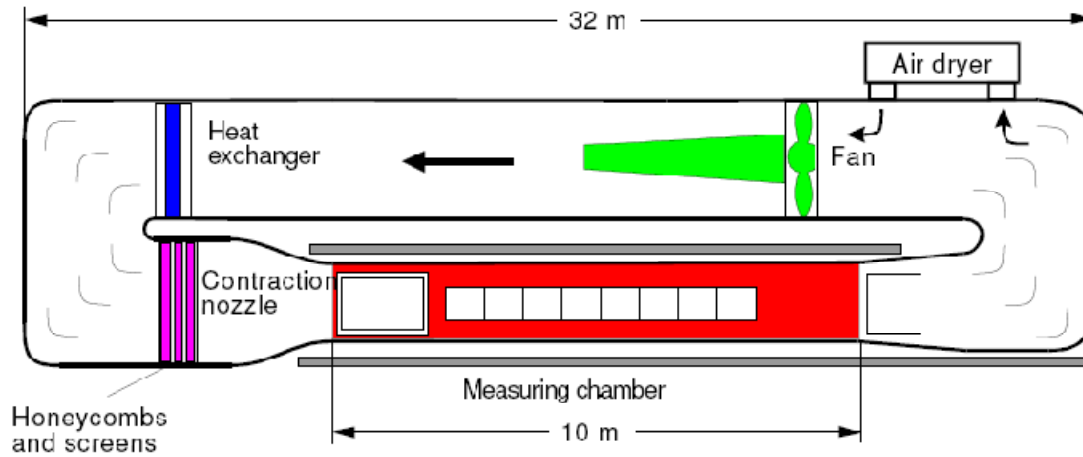


Fig. 2.5 – Schema costruttivo della galleria del vento JKI a Braunschweig

Gli ugelli testati venivano montati in nell'apposito supporto regolabile affinché l'altezza della punta di spruzzo dal piano di misurazione del primo captatore fosse sempre pari a 50 cm (figg. 3.5 e 4.5).

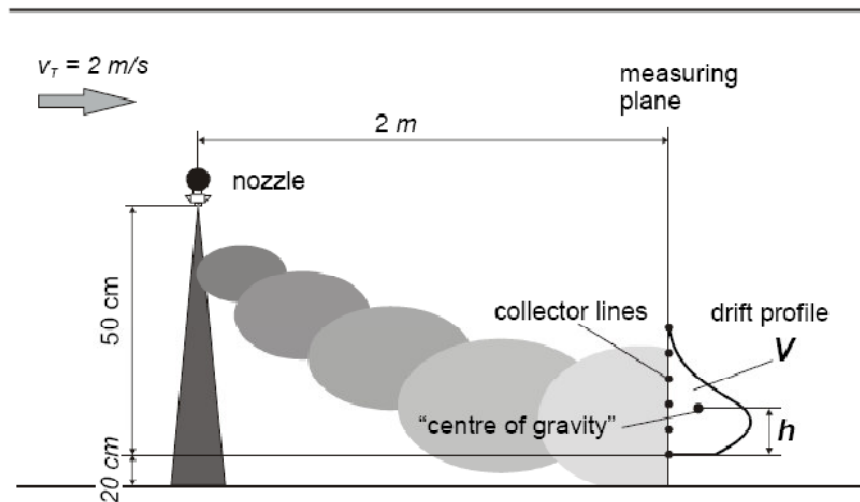


Fig. 3.5 – Schema sperimentale adottato nei test (Herbst, 2005)

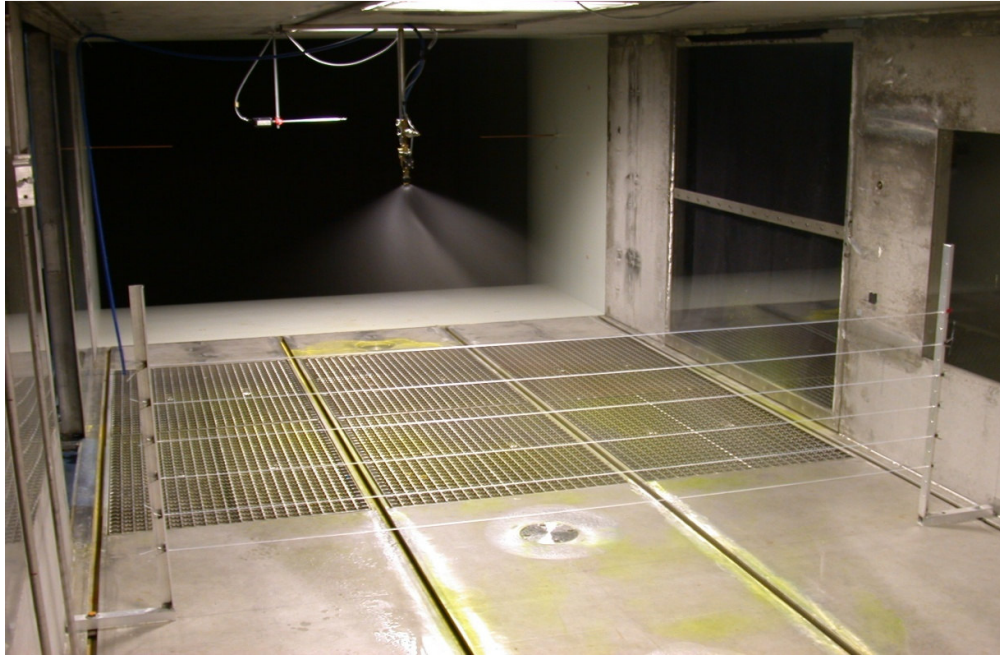


Fig. 4.5 – Impianto sperimentale in galleria del vento (BBA)

A 2 m di distanza dal punto di erogazione del liquido era disposto un telaio sul quale si trovavano dei captatori passivi del tipo “line collector”, tubicini cilindrici di polietilene con diametro di 2 mm (fig. 5.5). Essi hanno la funzione di intercettare le goccioline di miscela (acqua e tracciante fluorescente) trasportate dalla corrente d’aria. Sul telaio erano disposti 5 captatori distanziati verticalmente di 10 cm l’uno dall’altro.



Fig. 5.5 – Line collector su cui sono visibili le goccioline della soluzione fluorescente depositatesi per deriva (BBA)

Poiché alcuni ugelli presentavano un angolo di erogazione diverso da 0° , preliminarmente si è reso necessario effettuare delle misurazioni per determinare la distanza dal piano passante per il punto di erogazione perpendicolare alla direzione del vento nella camera di prova dal punto in cui si determina l'impronta del liquido erogato (fig. 6.5). Tali misurazioni hanno permesso di stabilire di quanto incrementare la distanza del telaio porta captatori rispetto alla distanza standard di 2 m. Per fare ciò è stato impiegato uno scanner ad infrarossi dal quale si sono ricavati dei diagrammi di distribuzione degli ugelli operando per un tempo di erogazione di 60 secondi (fig. 7.5).



Fig. 6.5 – Scansione del diagramma di distribuzione

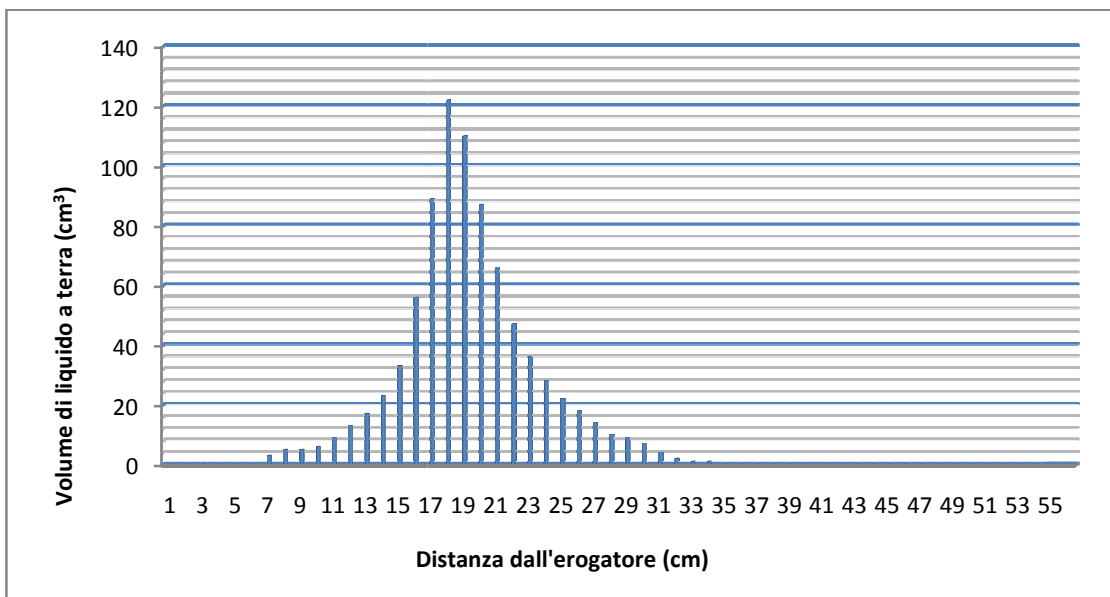


Fig. 7.5 – Esempio di diagramma di distribuzione ottenuto dalle misurazioni allo scanner

La direzione dell'aria in galleria simula l'effetto dell'avanzamento della barra irroratrice da cui si genererebbe un vento relativo. In pratica nella galleria l'ugello risulta fermo ed il fluido (aria) in movimento, mentre durante la distribuzione si muove l'ugello e il fluido è fermo. Le velocità dell'aria adottate nello svolgimento dei test erano di 1,0–1,5–2,0 m/s corrispondenti a velocità di avanzamento di 3,6–5,4–7,2 km/h. All'interno della camera di prova la temperatura era mantenuta costantemente a 20 °C ed umidità relativa all'80%. Gli ugelli testati e le relative pressioni di esercizio sono elencati in tabella ... Sono state eseguite tre ripetizioni per ogni combinazione ugello-pressione adottata.

Tab. 1.5 – Ugelli a ventaglio utilizzati nella sperimentazione

Ugello e Classificazione		Pressione (bar)	Portata media misurata (l/min)	Distanza captatori (m)
Albuz APS 11006*	C	2,0	1,88	2,00
Teejet TTI 11005	XC	2,0	1,57	2,25
Teejet TTI 11005	XC	5,0	2,51	2,25
Teejet AI 11005	VC	3,0	1,95	2,00
Teejet AI 11005	XC	5,0	2,54	2,00
Teejet TT 11003	C	2,0	0,94	2,15
Lurmark 03F110	F	3,0	1,16	2,00
Lurmark 04F110*	M	4,5	2,88	2,00
TeeJet TJ60 11006*	F	3,5	2,51	2,25
TeeJet TTJ60 11004	VC	1,0	0,86	2,25

*Ugelli rilevati durante l'indagine sulle modalità di distribuzione dei fitofarmaci alle colture protette del precedente capitolo

Al termine dell'erogazione si attendeva che i captatori si asciugassero per alcuni minuti. Dopo di che si procedeva all'estrazione dei depositi di tracciante facendo scorrere i line collector in tubi ad U contenenti 5 ml di acqua deionizzata, collocandoli in un bagnetto ad ultrasuoni (fig. 8.5).



Fig. 8.5 – Estrazione dei depositi di tracciante dai captatori in bagnetto ad ultrasuoni

Le soluzioni venivano lette allo spettrofotometro ed i valori ottenuti venivano registrati per la successiva elaborazione (fig. 9.5). Quest'ultima veniva eseguita utilizzando uno specifico foglio di calcolo realizzato in Microsoft Excel messo a disposizione dal Dr Andreas Herbst dello Julius Kühn-Institut di Braunschweig.



Fig. 9.5 – Lo spettrofluorimetro utilizzato nella sperimentazione

Determinazione dei depositi fogliari

Presso il Laboratorio di Meccanica Agraria del Dipartimento Te.S.A.F. sono state allestite delle prove per determinare le prestazioni in termini di regolarità dei depositi prodotti dagli ugelli testati in galleria del vento. Le condizioni di prova hanno ricalcato le modalità con le quali sono stati condotti i test per la determinazione del DIX. Per la simulazione delle condizioni dinamiche di campo è stato impiegato un nastro trasportatore collegato ad un inverter per l'impostazione della velocità di avanzamento. Gli ugelli venivano montati su una barra disposta su un supporto regolabile in altezza ed erano testati ad un'altezza di 50 cm dal bersaglio. La barra era alimentata da una sistema fisso serbatoio-pompa-regolatore. Preliminarmente sono state valutate le portate degli ugelli e calcolati i volumi di distribuzione relativi ai diversi parametri di regolazione dell'attrezzatura.

Sono state eseguite tre prove, una per ciascuna velocità di avanzamento (1,0–1,5–2,0 m/s), su quattro piantine di due specie di colture orticole a foglia edule: insalata romana e bieta da foglia, pronte per il trapianto. La prima presentava portamento assurgente e cespo tendenzialmente compatto, mentre la seconda tendeva ad assumere portamento più prostrato, dovuto, verosimilmente, alle caratteristiche della specie e alle condizioni di non ottimale luminosità presenti in vivaio, che portano le piantine a filare e ad un maggior sviluppo del peduncolo e del colletto.

Sulle foglie venivano applicati dei captatori di nastro adesivo di carta di dimensioni note, disposti in quattro diverse zone (superiore distale e prossimale, anteriore distale e prossimale). Le piante venivano poste su un supporto in polistirolo in modo che fossero sempre nella medesima posizione, distanziate secondo un reticolo 15x30 cm, poggiate a metà del nastro ed irrorate con una soluzione di Tartrazina al 5%. Le determinazioni analitiche sono state effettuate mediante tecnica colorimetrica con le medesime modalità già descritte nel Capitolo 3 e in Appendice A. Per rendere confrontabili i dati, i depositi sono stati normalizzati a 150 l/ha.

Risultati ottenuti

Dall'analisi dei dati relativi al volume relativo di liquido V (fig. 10.5) in relazione alla velocità dell'aria, appare evidente come la quantità di liquido potenzialmente in grado di dar luogo a deriva sia direttamente correlato alla velocità di avanzamento della macchina. A parità di ugello testato, all'aumentare della velocità aumenta più o meno proporzionalmente il volume di tracciante sui captatori. Dal confronto fra gli ugelli Teejet AI 11005 e TTI 11005 operanti a pressioni diverse si riscontra come anche questo parametro sia in grado di far aumentare la quota di liquido che può essere trasportata fuori dell'area trattata in caso di

vento trasversale. Gli ugelli che secondo la classificazione BCPC sono catalogati come F e M (Lurmark 04-F110* e TeeJet TJ60 11006*) risultano essere quelli con i valori più elevati di volume potenzialmente soggetto a deriva, mentre gli ugelli caratterizzati da una popolazione di gocce più grosse, ovvero quelli ad induzione d'aria e a specchio, presentano i valori più contenuti.

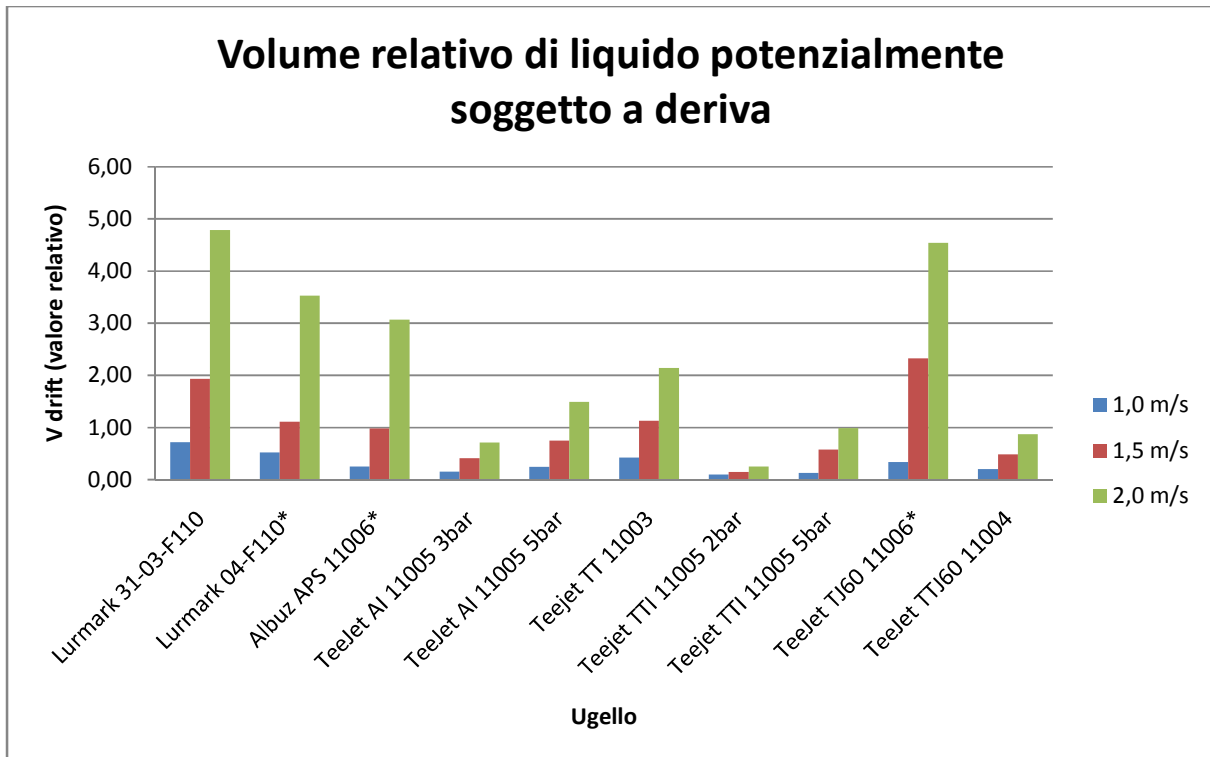


Fig. 10.5 – Quantità relativa di liquido potenzialmente soggetta a deriva rilevata sul complesso dei captatori collocati in galleria del vento

Relativamente al parametro “altezza del centro di gravità” della nube risulta possibile osservare come, in linea generale, l’andamento rilevato nella sperimentazione, non rispecchi quello atteso (11.5). Infatti quest’ultimo prevederebbe un tendenziale aumento dell’altezza h all’aumentare della velocità dell’aria ed una sua diminuzione in corrispondenza di gocce con diametri maggiori (Herbst, 2008). L’anomalia è riscontrabile soprattutto per quegli ugelli che presentano uno spettro dimensionale dello spray tendenzialmente fine. Una spiegazione verosimile al fenomeno può essere imputata ai moti turbolenti (fig. 12.5) che inevitabilmente si vengono a creare in prossimità dell’uscita del liquido dall’erogatore, specie per questo tipo di ugelli, unita al fatto che le velocità dell’aria siano più basse di quelle normalmente adottate per questo tipo di determinazioni.

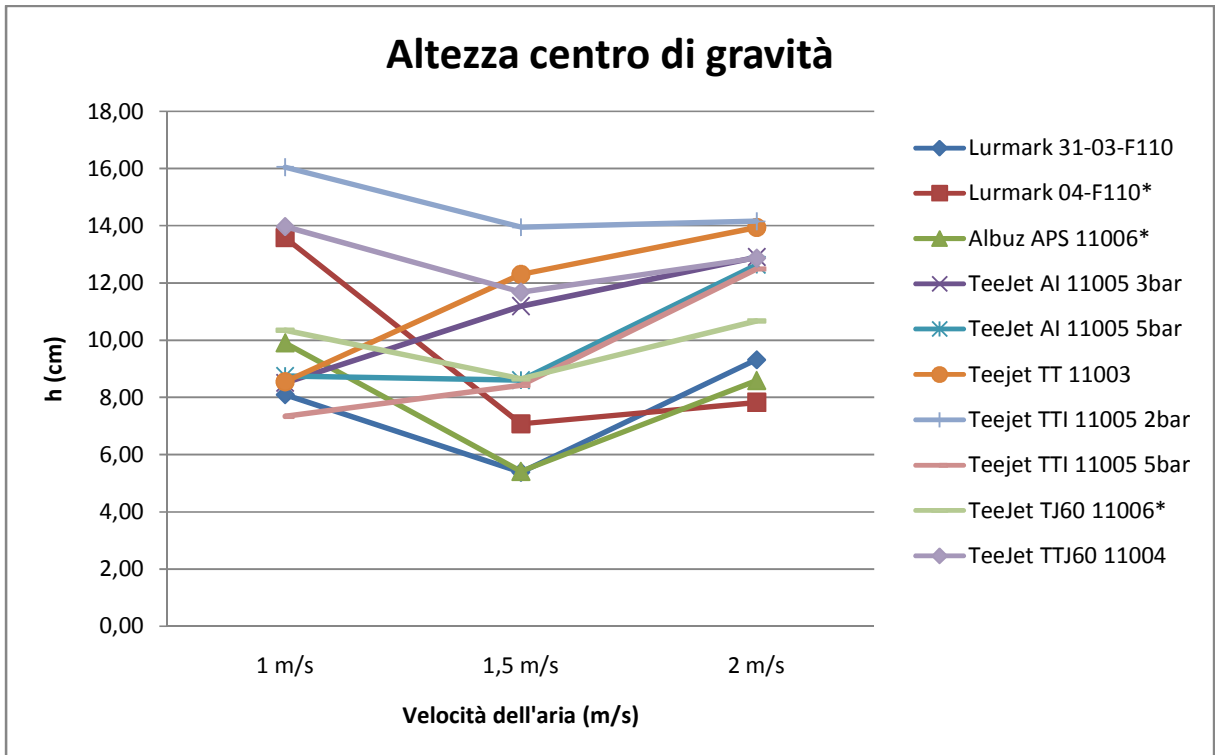


Fig. 11.5 – Altezza del centro di gravità caratteristica della nube di deriva potenziale

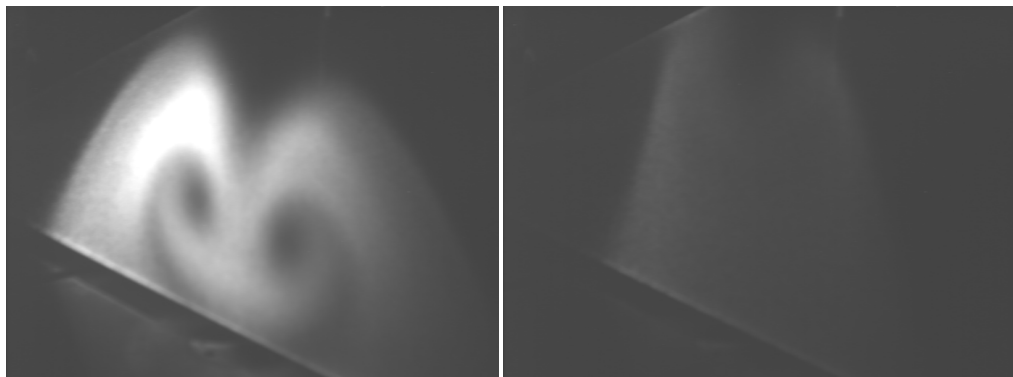


Fig. 12.5 – Influenza della dimensione delle gocce sulla forma del getto: confronto fra un ugello a ventaglio tradizionale a 3 bar (a sinistra) ed uno ad inclusione d'aria (a destra) alla stessa pressione d'esercizio (BBA)

Infine, da uno sguardo agli indici DIX risultano evidenti le prestazioni in termini di contenimento del rischio di deriva in relazione alle tipologie di ugelli adottate (fig. 13.5). La mitigazione del fenomeno aumenta passando da ugelli ad induzione d'aria (AI) a quelli a getto deflesso (TT e TTJ) fino ai più recenti ugelli TTI compatti che implementano sia il concetto dell'inclusione d'aria che quello del getto deflesso per produrre una popolazione di gocce omogenea e meno soggetta a deriva. In generale il potenziale di deriva diminuisce all'aumentare delle dimensioni delle gocce; ciò è reso ancor più evidente se si considerano le prestazioni del Teejet AI 11005 (ad inclusione d'aria) e TTI 11005 (ad inclusione d'aria e

getto deflesso) operanti a diverse pressioni di lavoro. In tutti i casi si riscontra la grande influenza della velocità dell'aria sul potenziale di deriva.

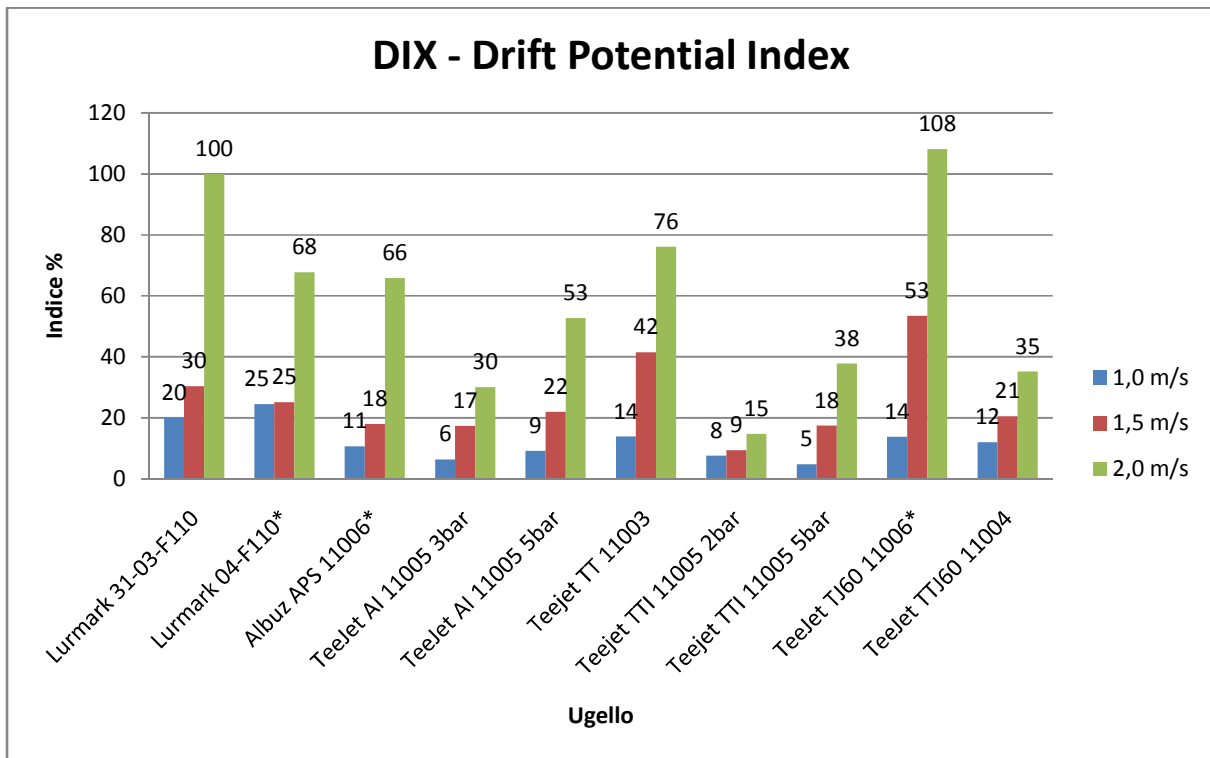


Fig. 13.5 – Indice di deriva potenziale dei diversi ugelli in funzione della velocità dell'aria

Analizzando i dati sui depositi normalizzati ottenuti su lattuga e bieta appare evidente una notevole eterogeneità nelle prestazioni dei vari ugelli (figg. 14.5 e 15.5). Confrontando i grafici si riscontrano inoltre delle notevoli differenze per il medesimo ugello sulle due specie relativamente all'omogeneità di distribuzione nelle diverse zone della foglia. Questo fatto induce a supporre che, almeno in questo stadio di sviluppo, anche il portamento della pianta possa avere un ruolo nella scelta della tipologia di ugello più idonea per massimizzare l'efficienza di distribuzione. Le minori differenze relative alla localizzazione dei depositi si sono rilevate su bieta da costa.

Il TTJ60 ha fatto registrare i valori più elevati in termini di recovery su entrambe le lamine fogliari e per ambedue le orticole. Tuttavia l'omogeneità di distribuzione non è risultata la più elevata del confronto, come si evince dai coefficienti di variazione. Questa è stata comunque buona o più che buona per tutti gli ugelli considerati con valori che non superano il 54% del TeeJet 11003 su insalata.

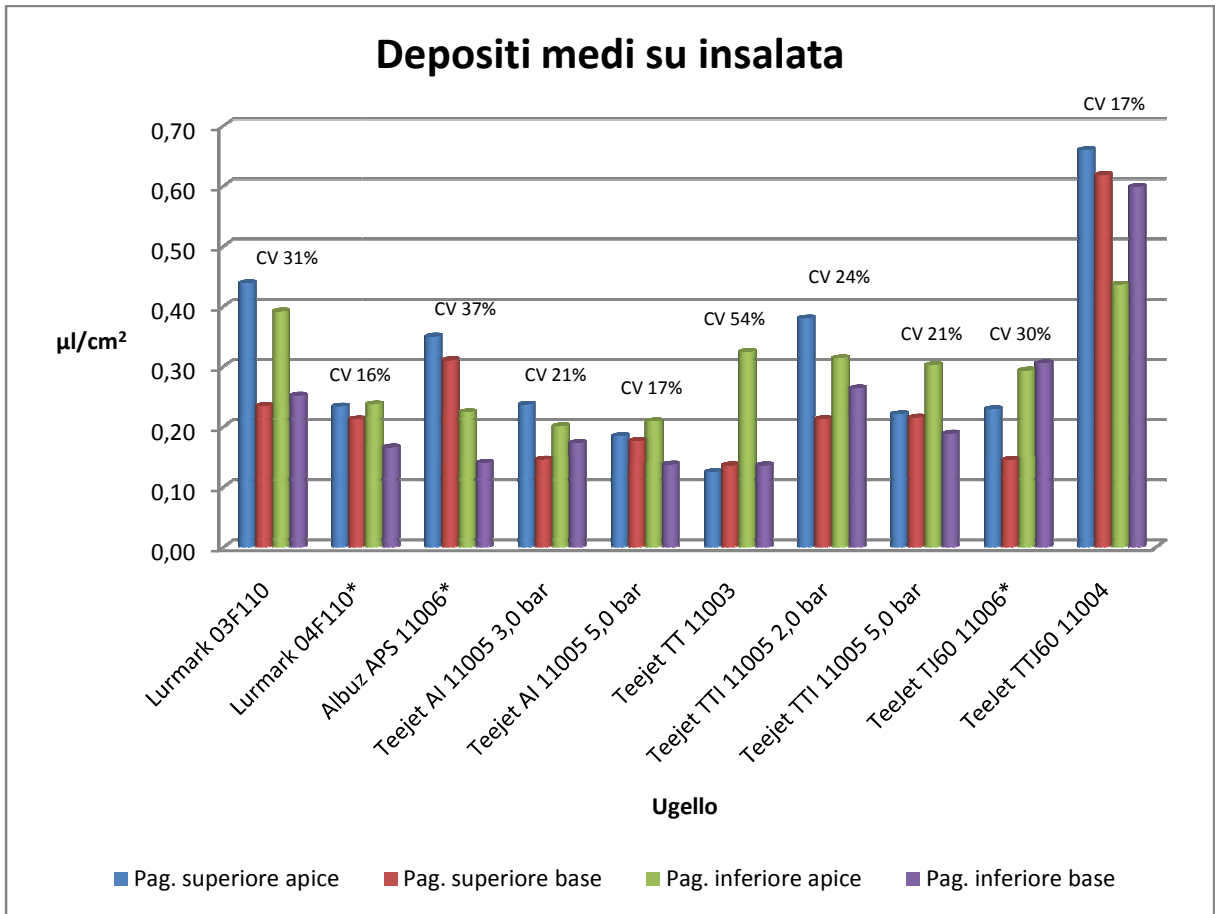


Fig. 14.5 – Prestazioni ottenute dai diversi ugelli in termini di omogeneità dei depositi e mitigazione delle dispersioni su lattuga romana

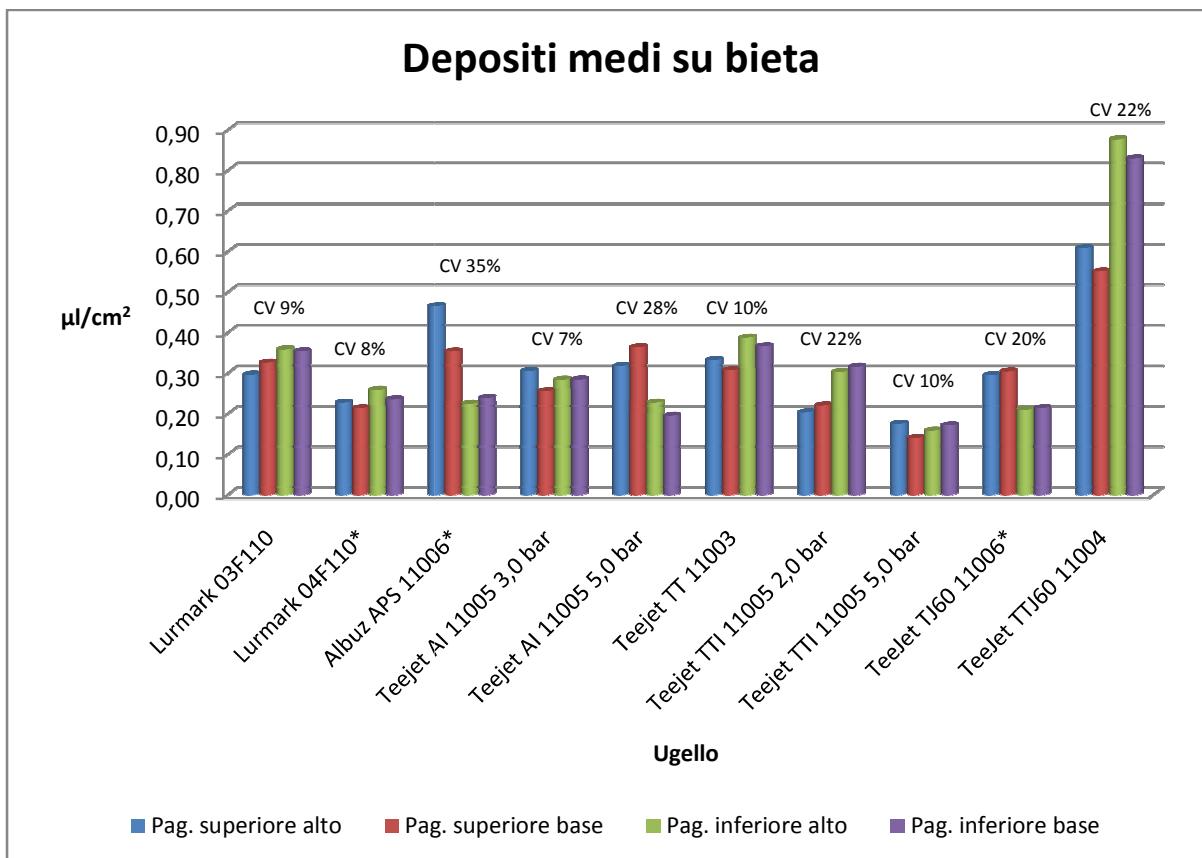


Fig. 15.5 – Prestazioni ottenute dai diversi ugelli in termini di omogeneità dei depositi e mitigazione delle dispersioni su bieta da foglia

Nelle figg. 16.5 e 17.5 sono rappresentati in ascissa ed ordinata i risultati ottenuti per quanto riguarda il CV ed il DIX. Più ci si avvicina all'origine degli assi, maggiori risultano le performances in termini di omogeneità di distribuzione e contenimento della deriva dell'ugello considerato. Al di là dei risultati assoluti, risulta possibile individuare alcune soluzioni migliorative per i due parametri considerati rispetto agli ugelli attualmente utilizzati per i trattamenti su colture orticole da foglia (Lurmark 04F 110, Albuz APS 11006 e TeeJet TJ60 11006). È interessante notare come, assumendo ad esempio di voler adottare ugelli che riducano del 50% il rischio deriva (a 2 m/s) con un livello di depositi omogeneamente distribuito più che buono (CV<30%), gli erogatori più idonei risultano gli stessi per entrambe le colture, ovvero i TeeJet TTJ60 11004, TTI 11005 ed AI 11005. Per questi risultano accettabili anche le quantità di miscela mediamente depositate sulla vegetazione di entrambe le colture, a patto di utilizzare pressioni di esercizio adeguate.

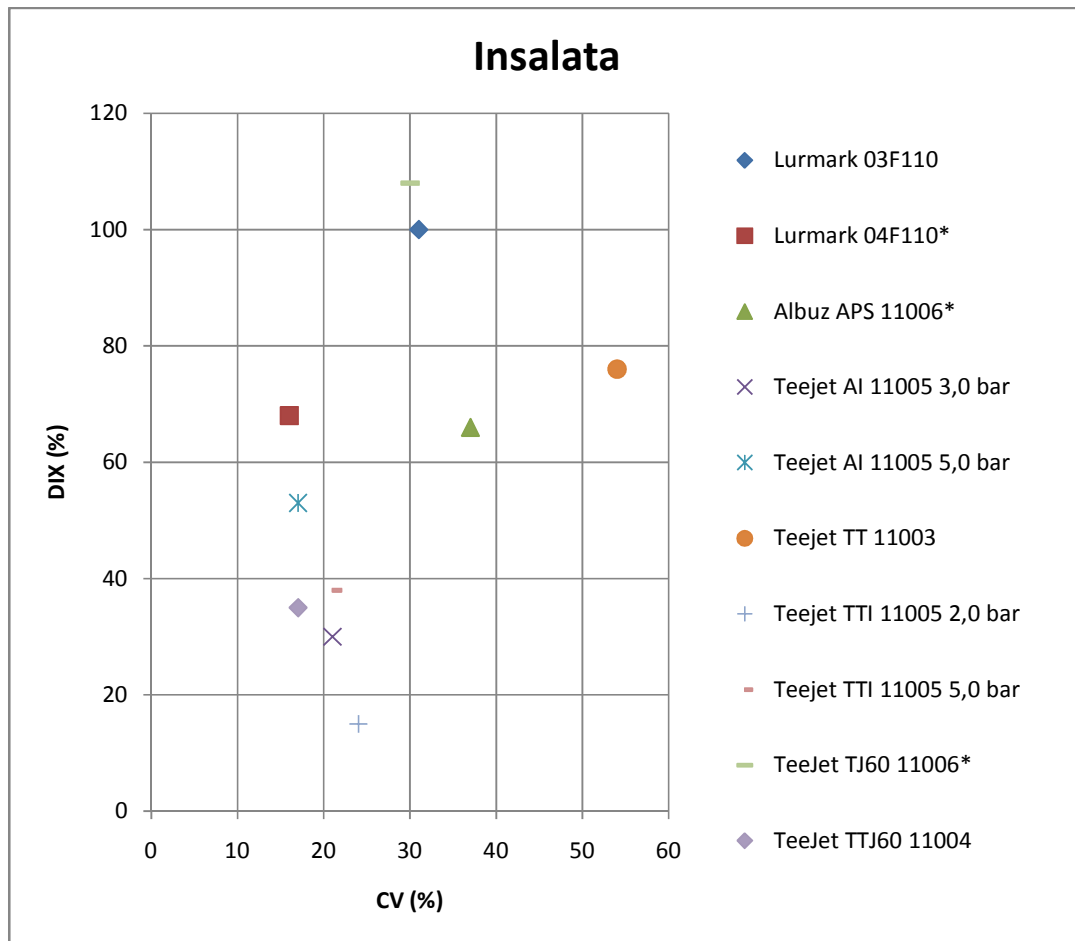


Fig. 16.5 – Prestazioni ottenute dai diversi ugelli in termini di omogeneità dei depositi e mitigazione delle dispersioni su lattuga romana

Resta da sottolineare chiaramente che le prestazioni in termini di mitigazione della deriva possono essere migliorate adottando velocità di avanzamento inferiori rispetto a quella considerata, che viene assunta per definire il DIX come da protocollo di prova JKI. Essa appare quantomeno elevata soprattutto su colture orticole di questo tipo, specie se coltivate in strutture di protezione anche di ampie dimensioni.

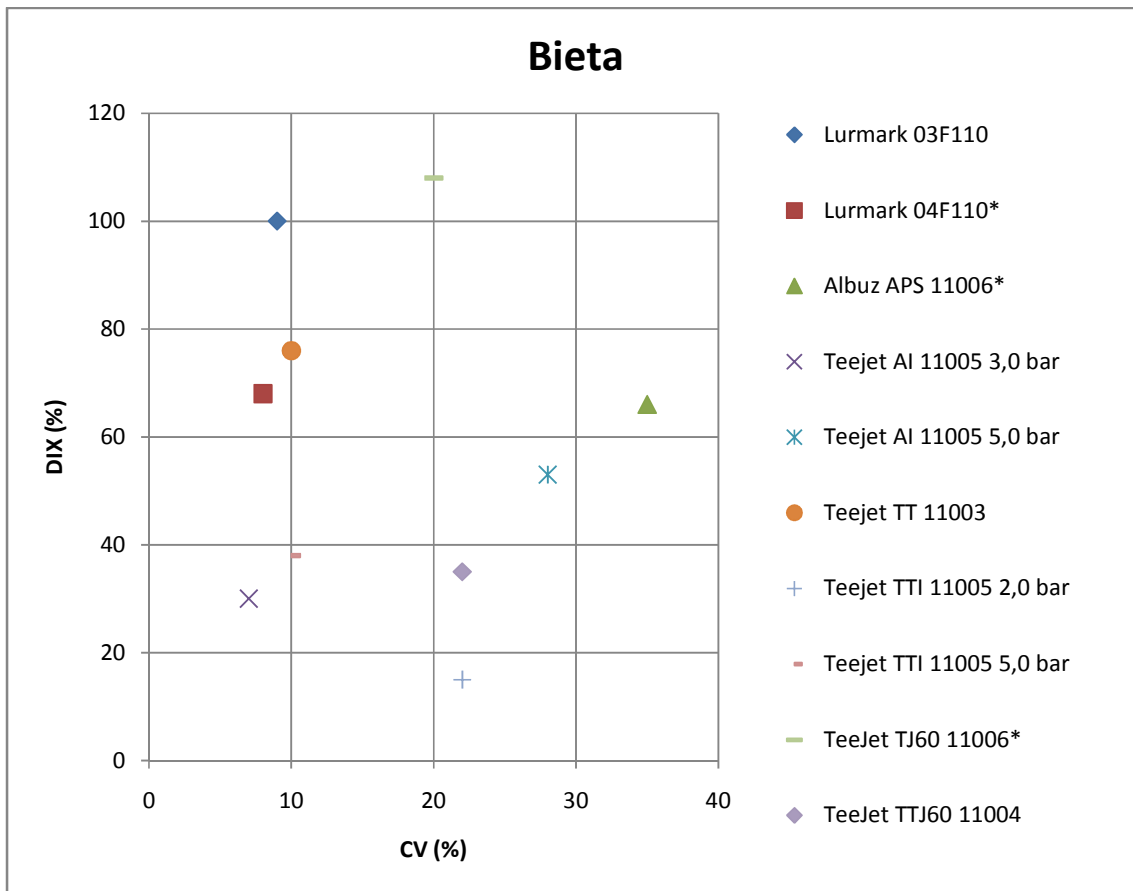


Fig. 17.5 – Prestazioni ottenute dai diversi ugelli in termini di omogeneità dei depositi e mitigazione delle dispersioni su bieta da foglia

Conclusioni

Si ritiene di aver individuato delle soluzioni migliorative per la distribuzione dei fitofarmaci alle colture orticole a foglia edule, quanto meno per la fase di coltivazione considerata nelle prove sopra descritte, sia in relazione al contenimento della deriva (con particolare riferimento all'eso-drift) che per omogeneità di rinvenimento dei depositi sulle piante. Rispetto alle attuali soluzioni comunemente adottate per il trattamento di questo tipo di colture, che possono essere ritenute accettabili in ambiente protetto per la sua minore suscettibilità alla deriva, quelle individuate dal presente studio appaiono migliorative dal punto di vista dell'efficienza di distribuzione, ancor più in pieno campo dove il problema del rischio di contaminazione dell'agroecosistema risulta particolarmente elevato. Resta da valutare se gli ugelli individuati siano in grado di fornire le medesime prestazioni su stadi di sviluppo delle colture più avanzati e con quali prodotti fitosanitari l'efficacia biologica dei trattamenti possa risultare ottimale.

Appendice A

Analisi strumentale: la spettroscopia di assorbimento

Analisi quantitativa

La spettroscopia di assorbimento è una tecnica analitica che consiste nella misurazione di radiazioni elettromagnetiche prodotte da idonei dispositivi (spettrofotometri) ed è in grado di fornire informazioni sia qualitative che quantitative sulla sostanza investigata.

Infatti qualsiasi sostanza, in opportune condizioni, è in grado di assorbire o emettere radiazioni di lunghezza d'onda (λ) ben determinata tali per cui risulta possibile ottenere informazioni sia sulla natura della sostanza in esame (analisi dello spettro²), sia di risalire alla sua quantità.

Nelle determinazioni di tipo quantitativo si fa uso di radiazioni monocromatiche, caratterizzate da un'unica frequenza, o di fasci quasi monocromatici, a causa della difficoltà di ottenere raggi con tale caratteristica.

Questo tipo di analisi si basano sul fatto che esiste una diretta proporzionalità fra la concentrazione della soluzione esaminata e la quantità di radiazione che viene assorbita nell'attraversarla; in altri termini l'assorbimento dipende dalla concentrazione. Disponendo quindi di uno spettrofotometro UV – visibile, in grado di misurare l'assorbimento, si determina facilmente la concentrazione della soluzione (fig. 1.A).

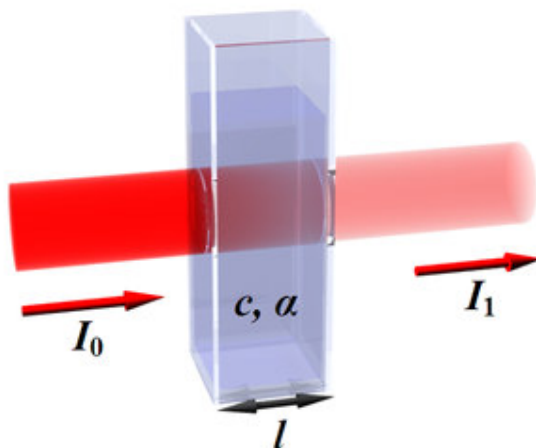


Fig. 1.A – Assorbimento della radiazione che attraversa la soluzione

² Per il fatto che ogni sostanza è caratterizzata da un proprio spettro di assorbimento, l'esame di tali spettri permette di identificare una sostanza (per confronto con campioni noti o attraverso banche dati) o di controllarne il grado di purezza.

Nella fattispecie della spettrofotometria di assorbimento le grandezze (determinate strumentalmente), che si utilizzano sono la *trasmissione* e l'*assorbanza*. La prima è definita come il rapporto fra l'intensità della radiazione trasmessa (I_1) e l'intensità di quella incidente (I_0):

$$T = \frac{I_1}{I_0}$$

Questa grandezza esprime quale frazione della luce incidente ha attraversato il campione senza venire assorbita e può pertanto assumere valori compresi fra 0 e 1.

L'assorbanza (detta anche densità ottica o estinzione) è definita dalla formula:

$$A = -\log T$$

Anch'essa, come la trasmissione, è un numero adimensionale ed è utilizzata comunemente nelle analisi quantitative poiché risulta direttamente proporzionale alla concentrazione.

La legge che esprime tale relazione è detta legge dell'assorbimento o di Lambert-Beer per cui considerando una cella contenente una sostanza in soluzione attraversata da un raggio di luce monocromatica vale la relazione:

$$A = \alpha \times l \times C$$

Dove:

- A è l'assorbanza;
- α è l'assorbività specifica, caratteristico della sostanza [$\text{g}^{-1} \text{l cm}^{-1}$];
- l è il cammino ottico, cioè lo spessore della soluzione [cm];
- C è la concentrazione della sostanza [g/l].

L'equazione rappresenta una retta passante per l'origine degli assi in cui $\alpha \cdot l$ è il coefficiente angolare. Essa vale per radiazioni monocromatiche e soluzioni diluite.

Come si diceva però, le radiazioni impiegate non sono mai rigorosamente monocromatiche, a causa dei limiti strumentali. È comunque sufficiente, per ottenere risultati corretti, che la banda continua di radiazioni, centrata attorno ad un valore nominale, sia la più ristretta possibile. Il secondo limite della legge dell'assorbimento, legato alla bassa concentrazione della soluzione, è imputabile alla possibile formazione di aggregati molecolari, nel caso di alte concentrazioni, che spostano il picco di assorbimento, ed alla maggiore dispersione del raggio nell'attraversare la soluzione legata all'aumento dell'indice di rifrazione.

Scelta della lunghezza d'onda

Nella determinazione analitica quantitativa mediante spettrofotometria di assorbimento è fondamentale conoscere come varia l'assorbanza in funzione della lunghezza d'onda. Questa relazione può essere chiaramente espressa con un grafico lunghezza d'onda – assorbimento.

In generale la lunghezza d'onda idonea verrà scelta in modo che risulti:

1. massimo l'assorbimento (per motivi di sensibilità: se l'assorbimento è alto sarà possibile rilevare quantità piccolissime di sostanza);
2. al centro di un picco "largo" (per motivi di precisione, in modo che piccole variazioni di lunghezza d'onda comportino errori minimi sulla misura dell'assorbimento).

Generalmente si opta per una lunghezza d'onda complementare a quella dell'analita (tab. 1.A).

Tab. 1.A – Corrispondenza tra la lunghezza d'onda della radiazione monocromatica e ed il colore percepito

<i>lunghezze d'onda</i>	<i>colore</i>
380 ÷ 400 nm	violetto
400 ÷ 460 nm	ciano o índaco
460 ÷ 500 nm	azzurro
500 ÷ 560 nm	verde
560 ÷ 580 nm	giallo
580 ÷ 610 nm	arancione
610 ÷ 780 nm	rosso

Nel caso di miscele di sostanze, la scelta per la determinazione di una sola delle sostanze, cadrà su una lunghezza d'onda dove le altre sostanze assorbono il meno possibile.

Azzeramento e taratura

Queste due operazioni si basano sulle definizioni di trasmittanza ed assorbimento. La taratura dello strumento a concentrazione nulla ($A=0$) viene effettuata con il cosiddetto "azzeramento contro il bianco". Questa operazione consiste nell'introdurre nello strumento una celletta identica a quella del campione in esame, che contiene una soluzione il più possibile simile a quella in cui è disciolto l'analita, ma assolutamente priva di esso. In questo modo si ovvia al problema dell'errore dovuto ai fenomeni di riflessione, rifrazione e

assorbimento da parte delle pareti della celletta, del solvente e di eventuali reattivi e si mantiene attendibile la proporzionalità diretta fra assorbanza e concentrazione.

Determinazione della concentrazione con il metodo della curva o retta di lavoro

Spesso però non si può essere certi delle condizioni di perfetta linearità tra A e C, per cui si preferisce, al metodo diretto, un metodo più attendibile anche se grafico. Si prepara quindi un congruo numero di soluzioni contenenti concentrazioni crescenti e note della sostanza in esame e si determina la loro assorbanza. Si otterrà così una serie di valori di concentrazione associati ai rispettivi valori di assorbanza; riportando questi valori in un grafico cartesiano si ottiene la curva di lavoro (fig. 2.A).

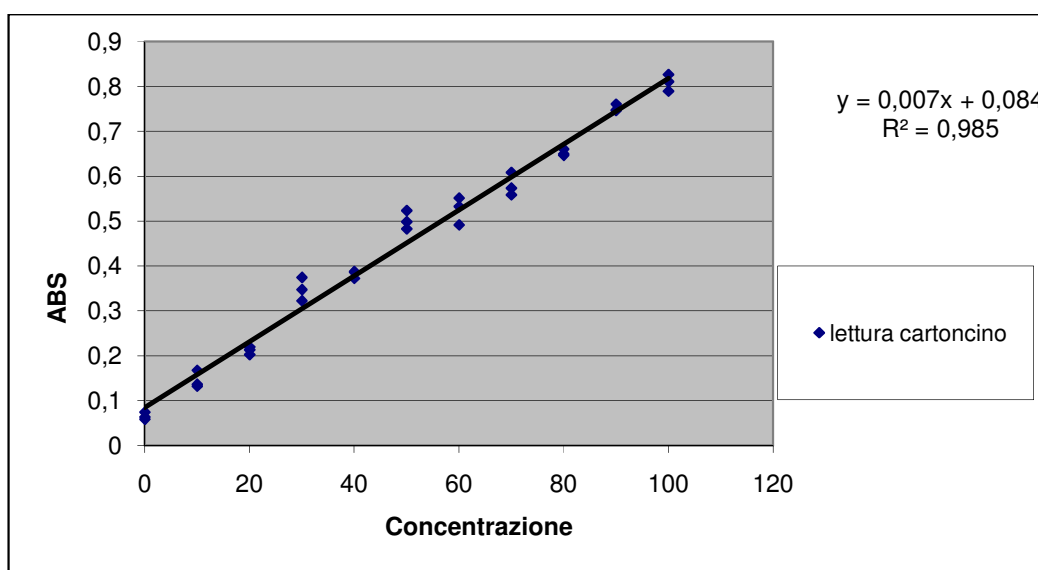


Fig. 2.A – Esempio di curva di lavoro

Se l'analita segue la legge di Lambert-Beer la curva che si ottiene è una retta che si utilizza per soluzioni di qualsiasi concentrazione, purché comprese nell'intervallo in cui la curva è stata tracciata. Per il calcolo di C_x si determina A_x e graficamente si risolve il problema. Se il valore di A_x risulta superiore al massimo valore di A dell'intervallo della curva, sarà necessario diluire la soluzione oppure preparare soluzioni a concentrazione nota più elevata per ampliare l'intervallo.

Spettrofotometri UV – visibile

Gli spettrofotometri ed i colorimetri sono le apparecchiature che sfruttano i principi sopra esposti. La principale differenza tra questi due tipi di strumenti consiste nel fatto che nei colorimetri si ha una maggior ampiezza di banda passante e conseguentemente minor

sensibilità. Per es. se un colorimetro ha una banda passante di 40nm, impostando un λ di 580 nm passano in realtà radiazioni comprese nell'intervallo $560 \leq \lambda \leq 600$ nm.

Per quanto concerne gli spettrofotometri UV – visibile, i tipi più comuni sono i monoraggio e i doppio raggio. I sistemi monoraggio si utilizzano generalmente per le analisi quantitative mentre i doppio raggio sono più adatti per determinazioni di tipo qualitativo.

Naturalmente esistono diversi altri tipi di spettrofotometri con diversi arrangiamenti tecnici che li collocano nell'analisi di altre parti dello spettro elettromagnetico e che li rendono maggiormente adatti a differenti tipi di analisi.

Lo schema costruttivo di uno spettrofotometro UV-visibile è riportato di seguito (fig. 3.A):

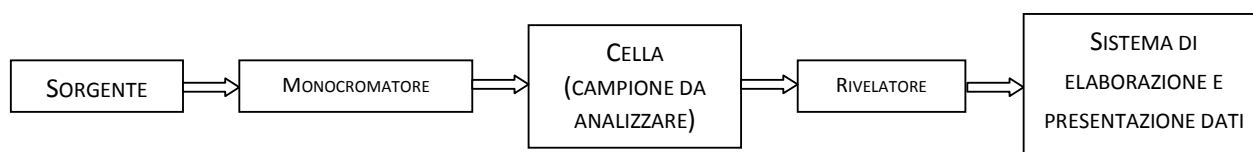


Fig. 3.A – Schematizzazione dei principali componenti di uno spettrofotometro UV-visibile

- la sorgente deve emettere radiazioni contenenti tutte le lunghezze d'onda del campo richiesto (policromatiche). Dopo la sorgente è posta inoltre la fenditura d'ingresso che serve a rendere paralleli i raggi ed evitare la presenza di luce diffusa nello strumento;
- il monocromatore è una delle componenti critiche dello strumento. Nei moderni spettrofotometri UV – visibile si utilizzano dei reticoli a riflessione in grado di disperdere le radiazioni con diversa λ , permettendo la successiva selezione della banda desiderata;
- la cella è il componente destinato a contenere la soluzione da esaminare. Oltre ad essere trasparenti alla radiazione impiegata, devono avere un ben preciso "cammino ottico", che dev'essere sufficiente ad avere assorbimenti rilevabili dallo strumento;
- il rivelatore è lo strumento in grado di produrre un segnale elettrico proporzionale all'energia delle radiazioni che lo investono. Il segnale viene quindi inviato ad un indicatore od elaborato per via elettronica. Il rivelatore è il componente che determina l'accuratezza delle misure e la sensibilità dello spettrofotometro;
- il sistema di elaborazione e presentazione dei dati comprende un indicatore (digitale o analogico) di A e/o T ed, eventualmente, un registratore su carta o un sistema computerizzato per l'elaborazione dei dati.

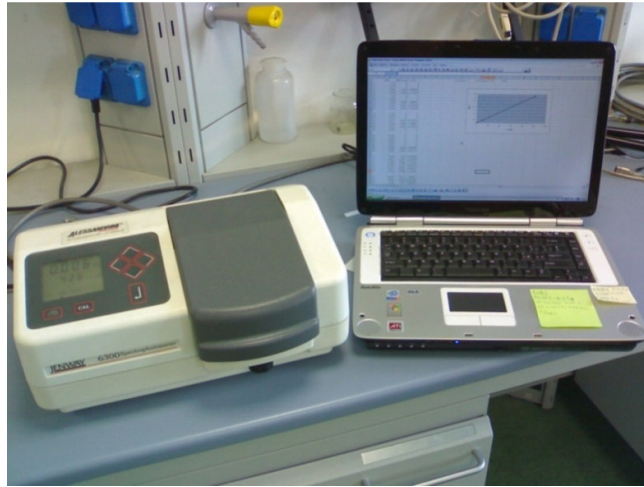


Fig. 4.A – Spettrofotometro e calcolatore elettronico per l'elaborazione dei dati

Appendice B

Il tunnel del vento

Il tunnel del vento (wind tunnel), o galleria del vento, è un'apparecchiatura che viene utilizzata per studiare l'andamento del flusso di un gas su un corpo e gli effetti che da esso derivano. Le sue applicazioni spaziano dagli studi accademici di stabilità e turbolenza principalmente sugli strati limite, alle indagini sulle caratteristiche aerodinamiche di mezzi aerospaziali, autoveicoli, opere di ingegneria civile, ecc., fino ad applicazioni tecniche di carattere ambientale con la realizzazione di misure sulla diffusione di inquinanti aero-dispersi in terreni topograficamente complessi, in centri urbani, nelle aree portuali, ecc.

Le gallerie del vento si basano sul cosiddetto teorema di reciprocità: dal punto di vista del valore delle grandezze fisiche che vengono misurate e dell'andamento dei flussi sul corpo, è assolutamente indifferente accelerare il fluido o l'oggetto da studiare.

Le gallerie del vento si possono suddividere in due principali tipologie: gallerie a ciclo aperto e gallerie a ciclo chiuso.

Gallerie a ciclo aperto

Il loro nome deriva dal fatto che il fluido accelerato, dopo l'attraversamento della camera di prova, viene scaricato in atmosfera. I componenti che costituiscono una galleria a ciclo aperto sono:

- una bocca, ovvero un condotto a sezione costante (generalmente a sezione circolare o rettangolare) dove sono posti alcuni dispositivi atti a controllare la qualità del flusso.
- a questo condotto ne segue un altro (a sezione circolare o rettangolare) di tipo convergente, il quale termina nel punto di inizio della camera di prova
- una camera di prova a sezione costante dove viene inserito il modello dell'oggetto di cui si vuole studiare la fluidodinamica; nella camera di prova la velocità del fluido è la più elevata, e precisamente deve essere al massimo quella di progetto.
- un condotto divergente (o diffusore) generalmente a sezione circolare
- un motore, posto ad un determinato punto ben preciso del divergente, elettrico e carenato, a cui sono collegate una o più ventole.
- le ventole hanno il compito di trasferire l'energia cinetica, generata dal motore, al fluido.

A questi componenti segue un'ulteriore espansione del flusso (attraverso un ulteriore divergente) e successivamente l'espulsione del flusso nell'ambiente esterno.

Si fa notare che le ventole, che hanno il compito di trasferire al fluido l'energia cinetica fornita dal motore, sono opportunamente poste a valle della camera di prova; questo perché tali dispositivi, oltre a fornire al fluido l'energia cinetica necessaria, generano anche una sensibile turbolenza la cui presenza in camera di prova andrebbe ad alterare completamente il valore delle misure effettuate.

Oltre alla rumorosità ciò che, in certa misura, viene considerato il principale svantaggio di queste gallerie del vento è proprio lo scarico del fluido accelerato in atmosfera che determina un'inevitabile perdita di energia; svantaggio che viene parzialmente compensato dal fatto che anche se si unisse l'uscita del flusso dalla galleria con l'ingresso (caso delle gallerie chiuse) la dissipazione di energia cinetica si verifica per attrito (perdite di carico). Per questo le gallerie a ciclo aperto sono preferite a quelle a ciclo chiuso in caso di prove a modeste velocità.

Condizione necessaria per ottenere misurazioni affidabili all'interno della camera di prova è che questa sia perfettamente sigillata per impedire infiltrazioni di fluido dall'esterno che, in caso contrario, si verificherebbero considerato lo stato di depressione all'interno della camera. Tale condizione viene considerata il principale limite di questa tipologia di gallerie del vento.

Gallerie a ciclo chiuso

Nelle gallerie a ciclo chiuso sono presenti gli stessi elementi costruttivi descritti per le gallerie a ciclo aperto. L'unica eccezione è di carattere funzionale e risiede nel fatto che mentre nella galleria a ciclo aperto il fluido, a valle della ventola viene espulso all'esterno, nelle gallerie a ciclo chiuso il fluido viene riutilizzato e riportato all'altezza della bocca d'ingresso e quindi rimesso in circolo nella galleria attraversando di nuovo tutte le componenti sopra citate. I vantaggi rispetto alla soluzione aperta sono nella possibilità di variare le caratteristiche del fluido usato, (pressione, temperatura, umidità, viscosità del fluido e così via) e di poter utilizzare una camera di prova aperta o semiaperta, con notevoli semplificazioni in termini di logistica nel posizionare i modelli da provare. Le gallerie a ciclo chiuso devono però essere equipaggiate con scambiatori di calore e radiatori capaci di raffreddare il fluido, che man mano che scorre si riscalda in maniera consistente, con la possibilità di alterare le misure effettuate.

Un'importante e interessante caratteristica delle gallerie a ciclo chiuso è quella di poter variare i valori di pressione, temperatura e densità del fluido, al contrario delle gallerie aperte.

Componenti

Convergente

Il convergente serve per ridurre la sezione e fare quindi aumentare la velocità del fluido riducendo contemporaneamente il livello di turbolenza e lo spessore degli strati limite sulle pareti. È interessato da un gradiente di pressione negativo, e quindi favorevole, (essendoci più pressione all'inizio del convergente e meno al termine) non è quindi presente il problema della separazione dello strato limite, questo consente un restringimento della sezione abbastanza rapida. La contrazione della sezione (contraction ratio in inglese) è generalmente nell'ordine di 6, molto raramente è maggiore.

Camera di prova

E' il luogo dove viene messo l'oggetto da provare oppure dove vengono effettuate le misure sul flusso. È di fondamentale importanza riprodurre il più possibile le condizioni reali in cui si trova a lavorare l'oggetto della prova, è importante anche avere un flusso perfettamente noto in termini di numero di Reynolds di livello di turbolenza, di temperatura di umidità e di tutte le altre variabili che determinano le caratteristiche del flusso. La camera di prova è il punto dove il flusso si trova a velocità maggiore e cioè quella massima di progetto della galleria; è inoltre naturalmente la prima componente progettata della galleria del vento e deve essere sufficientemente grande per ospitare il modello che si vuole provare per non incorrere nel problema del bloccaggio. Questo fenomeno è in pratica l'effetto delle pareti della camera di prova sulle linee di flusso e sulla velocità del fluido nelle vicinanze dell'oggetto da provare. In tutte le gallerie esiste l'effetto del bloccaggio in linea teorica, questo perché se il corpo si troverà ad operare, per esempio in atmosfera, si troverà ad operare in un ambiente "teoricamente infinito" mentre in galleria del vento si troverà ad operare sempre in un ambiente di pochi metri quadrati di sezione, così, se il modello è sufficientemente piccolo rispetto alle dimensioni della camera di prova, si potrà ridurre questo effetto o comunque correggere i dati ricavati attraverso modelli matematici, appositamente tarati per la particolare geometria della camera di prova in questione, implementati direttamente negli elaboratori che processano i dati provenienti dai sensori in galleria.

Divergente

E' la componente che si trova dopo la camera di prova, immaginando di seguire l'andamento del flusso nella galleria. Ha diversi compiti: la prima è far diminuire la velocità aumentando la sezione; la seconda funzione dell'allargamento della sezione è puramente funzionale al ricongiungimento del condotto al convergente nelle gallerie a ciclo chiuso. Il rallentamento del fluido dopo la camera di prova è fondamentale perché posizionando il

motore, e quindi il ventilatore o l'elica in un punto a bassa velocità, è possibile installare un motore meno potente e quindi meno costoso e più piccolo.

Curve

Servono per poter far cambiare direzione al flusso, sono composte da un condotto ad angolo opportunamente smussati e da vari profili alari disposti a schiera che hanno il compito di facilitare il flusso a curvare. Le curve sono interessate dal fenomeno della separazione dello strato limite per il fatto che hanno un'elevata curvatura, e per il fatto che alcune volte il condotto in uscita ha sezione maggiore di quello in ingresso ed è quindi presente un gradiente di pressione avverso. Grazie però al fatto che si usano schiere di profili è possibile evitare questo fastidioso fenomeno. Le curve, per loro natura, tendono ad introdurre della vorticosità assiale che però può essere minimizzata con l'uso di appositi dispositivi e conformazioni delle curve stesse.

Motore e ventilatore

Il motore può essere coassiale al ventilatore oppure può essere esterno. Il caso del motore esterno è il migliore perché più schermato e quindi produce meno disturbo al fluido (in termini acustici) riscaldandolo anche di meno. Il motore ha il compito di convertire l'energia elettrica fornita dall'esterno in una coppia e quindi in energia cinetica da trasmettere al ventilatore e quindi al fluido. Il ventilatore o i ventilatori sono composti da una serie di eliche coassiali oppure affiancate; essi hanno il compito principale di trasferire l'energia cinetica fornita dal motore al fluido. Il trasferimento naturalmente non è né adiabatico né isoentropico; questo vuol dire che una parte di energia cinetica va persa in calore. Il ventilatore è posto a valle della camera di prova in una zona con una sezione elevata per ridurre la potenza necessaria da fornire. Deve inoltre essere messo più lontano possibile dalla camera di prova secondo il percorso che deve fare il fluido, quindi l'ideale sarebbe quello di metterlo appena dietro il modello, questo però è sfavorevole perché al termine della camera di prova la velocità è la massima possibile perché, oltre al fatto che in camera di prova si cerca di avere la massima velocità possibile, alla fine della camera di prova lo strato limite risulta più spesso rispetto alla zona centrale della camera di prova, e questo causa una diminuzione della sezione vista dal fluido e quindi una velocità ancora più elevata che all'inizio della camera di prova; il ventilatore è quindi disposto alla fine del divergente che deve essere il più breve possibile.

Honeycomb

L'honeycomb è composto da una serie di tubi di piccolo diametro (generalmente tra 5 e 7 mm) e lunghi circa una quindicina di centimetri. Questi tubicini sono disposti

coassialmente al condotto nel quale si trovano (generalmente nella zona della galleria dove le velocità sono le più basse possibili per minimizzare le perdite di carico) e sono incollati l'uno all'altro a formare strutture, generalmente esagonali (simili ai nidi d'ape), che ricoprono l'intera area della sezione dove sono posti. A titolo di esempio si cita che, in una galleria avente una sezione dove è presente l'honeycomb di 3.6 x 0.9 metri, sono disposti qualcosa come 78'000 tubicini di 7 mm di diametro. Il compito dell'honeycomb è quello di eliminare le componenti di velocità del flusso normali alle pareti e indirizzare il flusso unicamente e il più possibile in direzione dell'asse del condotto. Generalmente l'honeycomb o gli honeycomb sono posti poco prima dell'inizio del convergente e quindi appena prima della camera di prova.

Reti

Le reti hanno il compito di spezzare le strutture vorticosi di grande scala e convertirle in strutture vorticosi più piccole e più uniformi, si rende così il profilo di velocità più uniforme. Le reti hanno però, come già detto, il difetto di deviare la direzione principale del flusso, è perciò necessario posizionarle attorno ad elementi (l'honeycomb) capaci di "raddrizzare" il flusso. Sono componenti che tendono a sporcarsi e quindi, come l'honeycomb, necessitano di frequente manutenzione.

Bibliografia citata e consultata

Acaccia G.M., R.C. Michelini, R.M. Molfino, R.P. Razzoli. 2003. Mobile robots in greenhouse cultivation: inspection and treatment of plants. In: Proceedings of the ASER 2003, 1st International Workshop on Advances in Service Robotics, Bardolino, Italy, 13-15 March 2003. <http://www.dimec.unige.it/PAR/>

Ade G. and F. Pezzi. 2001. Results of field tests on a recycling air-assisted tunnel sprayer in a peach orchard. J. agric. Engng. Res. 80 (2), 147-152

Ade G., S. Balloni, F. Pezzi. 2005. Valutazione di un'irroratrice a tunnel nei trattamenti al vigneto. Informatore Fitopatologico 6, 37-43

Ade G., G. Molari, V. Rondelli. 2007. Recycling tunnel sprayer for pesticide dose adjustment to the crop environment. 2007. American Society of Agriculture and Biological Engineers vol. 50 (2), 409-413

Ayers P.D. & B. Bosley. 1991. Sprayer calibration fundamentals. Disponibile all'indirizzo <http://www.cdc.gov/nasd/docs/d000001-d000100/d000013/d000013.pdf> (08/01/2007)

Aprea C., G. Sciarra, L. Lunghini, N. Bozzi. 2001. Il monitoraggio biologico dell'esposizione professionale e non ad antiparassitari. Ann. Ist. Super. Sanità 37 (2), 159-174

Assirelli A. 2008. Irroratrici più efficienti con taratura e controllo. Macchine Agricole Domani 5, 61-64

AA.VV. 1996. Handling and storing pesticides. An environmental self-assessment. Clemson Extension, Clemson University WQL 17
<http://www.clemson.edu/waterquality/FARM.HTM>

AA.VV. 2002. La deriva del prodotto fitoiatrico: l'importanza del fenomeno e le soluzioni tecniche per contenerlo. In: Atti del Convegno Eima in campo, Veneto Agricoltura, Ceregnano (RO)

AA.VV. 2004. Understanding the agricultural health study. <http://www.Aghealth.org>

AA.VV. 2006. BBA Annual Report 2006, 35-38

Bach M., B. Röpke, H-G. Frede. 2005. Pesticides in rivers – Assessment of source apportionment in the Pesticides in rivers – Assessment of source apportionment in the context of WFD; European Water Management Online, Official Publication of the European Water Association (EWA).

Baldoin C. 2006. Dati non pubblicati. Comunicazione personale.

Baldoin C. 2008a. Come scegliere gli ugelli per i trattamenti a frutteto e vigneto. *Informatore Agrario* 12, Supplemento Difesa vigneto e frutteto, 36-39

Baldoin C. 2008b. Scelta dei volumi d'acqua e delle portate dei ventilatori. *Informatore Agrario* 17, Supplemento Difesa vigneto e frutteto, 38-40

Baldoin C., C. De Zanche, D. Bondesan. 2008. Field Testing of a Prototype Recycling Sprayer in a Vineyard: Spray Distribution and Loss. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript ALNARP 08 001. Vol. X. May, 2008

Baldoin C., C. De Zanche, D. Bondesan, Dalla Pace A. 2007. Sprayers inspection in the Venetian Region: past experiences and future perspectives. *Second European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe (SPISE 2)*. *Mitt.Biol.Bundensant. Land-Forstwirtschaft* 412, 96-99

Baldoin C., S. Beria, C. De Zanche. 2003. Performances of Air Inclusion nozzles on vineyard sprayers. In: *Proceedings of the 7th Workshop on Spray Application Techniques in Fruit Growing*, Cuneo, June 25-27

Baldoin C., C. De Zanche, F. Sorgato, W. Zanardi. 2004. Performances of a new shielded sprayer on vineyard. *Annual Review of Agricultural Engineering* 1, 257-265

Baldoin C., C. De Zanche, F. Sorgato, W. Zanardi, A. Dalla Pace. 2005. Biological effectiveness of spray application against downy mildew using a recycling sprayer. In:

Proceedings of the VIII Workshop on Spray Application Techniques In Fruit Growing. Barcelona, Spain, 29 June – 1 July

Baldoin C., S. Beria, C. De Zanche, F. Sorgato, A. Dalla Pace. 2004. Efficacy of treatments against downy mildew of grapevine with contact fungicides using Air Inclusion nozzles on different sprayers. *Aspects of Applied Biology* 71, International advances in pesticide application 1, 247-254

Balloni S., L. Caruso, E. Cerruto, G. Emma, G. Schillaci. 2008. A prototype of self-propelled sprayer to reduce operator exposure in greenhouse treatment. In: Proceedings of the International Conference “Innovation technology to empower safety, health and welfare in agriculture and agro-food systems”. Ragusa, Italy, September 15 – 17

Balloni S., L. Caruso, A. Conti, G. Schillaci, M. Valentino, C. Loreto, C. Fenga, V. Rapisarda. 2008. Use of a Helmet Endowed with Forced Ventilation and Air Filtration Devices in Greenhouse Application of Agrochemical Treatments Using an Innovative Prototype of Self-Propelled Sprayer Vehicle. In: Proceedings of the International Conference “Innovation technology to empower safety, health and welfare in agriculture and agro-food systems”. Ragusa, Italy, September 15 – 17

Balsari P. e G. Oggero. 2001. Le macchine per i trattamenti alle colture protette. *Informatore fitopatologico* 11, 45-52

Balsari P., G. Oggero, C. Bozzer. 2008. Individuazione delle tecniche e modalità più idonee per la distribuzione dei fitofarmaci al pomodoro e alla rosa in coltura protetta. In: *Macchine e loro regolazioni per una difesa sostenibile delle colture protette*. Ragusa, 4 aprile 2008, 13-31

Balsari P., G. Oggero, S. Liberatori, R. Limongelli. 2006. Controllo delle irroratrici in uso per una migliore distribuzione. *L'informatore Agrario* 38, 37-41

Balsari P., G. Oggero, P. Marucco. 2007. Buone pratiche per ridurre l'inquinamento da agrofarmaci. *L'Informatore Agrario* 47, 49-53

Balsari P. & M. Tamagnone. 1998. An ultrasonic airblast sprayer. Abstracts of the International Conference on Agricultural Engineering – AgEng, Oslo 1998, Paper No. 98-A-017, 585-586 (citato da Duruchoswsky e Holownicki, 2000)

Balsari P., P. Marucco, G. Oggero. 2008. Reduction of water contamination from pesticides through the application of the Best Management Practices defined by the TOPPS project. In: Proceedings of the International Conference "Innovation Tecnology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems" on CD-ROM, Ragusa, Italy, September 15-17

Balsari P., P. Marucco, G. Oggero, M. Tamagnone. 2008. Reduction of the pesticide losses and the improvement of spray deposit through the study of sprayer optimal air velocities in Vineyard. In: Proceedings of the International Conference "Innovation Tecnology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems" on CD-ROM, Ragusa, Italy, September 15-17

Barani A., A.Franchi, M. Scannavini. 2001. Calibratura dei volumi di spray per l'applicazione degli antiparassitari nella difesa della vite. L'Informatore Agrario 15, 95-100.

Barber J.A.S. & A. Landers. 2002 Taking the pressure off: advances in sprayer technology. In: Proceedigs of the 2002 New York State Vegetable Conference Syracuse, NY, February 11-14, 118-121

Bartok J. W., Jr. 2002. Protective helmets for pesticide application. Cooperative extension system. Disponibile all'indirizzo <http://www.cdc.gov/nasd/docs/d001001-d001100/d001042/d001042.pdf> (08/01/2007)

Bera B. 1984. Preliminary trials with tunnel sprayers for orchard spraying. Fruit Science Reports, 11(1), Skierniewice-Poland, 37-44

Biasi L. 2005. La manutenzione degli ugelli. Manutenzione, Tecnica e Management 6, 45-49

Bjugstad N. & P. Hermansen. 2008. Control of spraying in practical use in greenhouses in Norway. Aspects of of Applied Biology 84, International Advances in Pesticide Application, 171 - 177

Bjugstad N. & T. Torglimsen. 1996. Operator safety and plant deposits when using pesticides in greenhouses J. Agric. Engng Res. 65, 205-212

Briassoulis D., A. Aristopoulou, M. Bonora, I. Verlodt. 2004. Degradation Characterisation of Agricultural Low-density Polyethylene Films. *Biosystems Engineering* 88 (2), 131–143

Brouwer D.H., J.A.F. De Vreede, J.C. Ravensberg, r. Engel, J.J. Van Hemmen. 1992. Dissipation of aerosols from greenhouse air after application of pesticides using a low-volume technique. Implications for safe re-entry. *Chemosphere*, 24 (9), 1157-1169

Butler Ellis C. & A. Bradley. 2002. The influence of formulation on spray drift. *Aspects of Applied Biology* 66, 251-258 (citato da Herbst, 2003)

Carrara M., P. Catania, F. Pipitone, M. Salvia, M. Vallone. 2008. Analysis of the leaf deposit in chemical distribution on vineyard in different wind conditions. In: *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition (AgEng)* on CD-ROM, Hersonissos, Crete, Greece, June 23 -25

Cerruto E., G. Emma, I. Mallia, G. Manetto. 2008. Evaluation of dermal exposure to pesticide in greenhouse workers. *Proceedings of the International Conference “Innovation technology to empower safety, health and welfare in agriculture and agro-food systems”* on CD-ROM, Ragusa, Italy, September 15-17

Cerruto E., G. Emma., G. Manetto. 2007. Operator Contamination during Pesticide Application in Tomato Greenhouse. In: *Proceedings of the GreenSys 2007, High Technology for Greenhouse System Management*, Naples, Italy, October 4-6

Cerruto E. e S. Failla. 2003. Prove di distribuzione in vigneto con irroratrice a polverizzazione meccanica. Parte II: analisi di bersagli artificiali. *Riv. di Ing. Agr.*, 3, 13-22

Cesari A., R. Davi, F. Castagnoli, P. Flori. 1986. Applicazioni fitoiatriche a “basso volume” con sistemi di distribuzione di tipo elettrostatico. In: *Atti Giornate Fitopatologiche* 2, 525-534 (citato da Vieri, 2002)

Chaoplin J., C. Wu. 1989. Dynamic modeling of field sprayers. *American Society of Agricultural Engineers* (32) 1857 -1863

Christensen S., I. Lund, H. J. Olsen. 2008. Spraying Robots. *Aspects of Applied Biology*, 84, *International Advances in Pesticide Application*, 167-170

Coffee R. A. 1981. Electrodynamics crop spraying. *Outlook on Agriculture* 10 (7), 350-356 (citato da Vieri, 2002)

COM (2002) 349. 2002. Comunicazione della Commissione al Consiglio, al Parlamento Europeo e al Comitato economico e sociale. Verso una strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi. def. del 1.07.2002

COM (2006) 373. 2006. Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council. Establishing a framework for community action to achieve a sustainable use of pesticides. final del 12.07.2006

Demaldè R. 2008. Dispense del corso di "Meccanizzazione della distribuzione dei fitofarmaci", Laurea Specialistica in "Difesa delle colture per una produzione eco-compatibile", Università Cattolica del Sacro Cuore, Facoltà di Agraria di Piacenza, A.A. 2008/2009

De Schampheleire M., K. Baetens, D. Nuyttens, P. Spanoghe. 2008. Spray drift measurements to evaluate the Belgian drift mitigation measures in field crops. *Crop Protection* 27, 577-589

Douchin M., V. De Rudnicki, B. Ruelle, V. Bellon-Maurel, L. Pasi. 2008. Reducing pesticide-related water pollution by improving crop protection practices: the use of embedded ICT technologies In: Proceedings (CD-ROM) of the International Conference "Innovation technology to empower safety, health and welfare in agriculture and agro-food systems" on CD-ROM, Ragusa, Italy, September 15-17

Duruchowsky G. & R. Holownicki. 2000. Environmentally friendly spray techniques for tree crops. *Crop Protection* 19, 617-622

Doruchowski G., B. Labanowska, W. Goszczyński, A. Godyń, R. Holownicki. 2002. Spray deposit, spray loss and biological efficacy of chemicals applied with different spraying techniques in black currants. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Agricultural Engineering* 5 (2) <http://www.ejpau.media.pl/volume5/issue2/engineering/art-01.html>

Duruchowsky G., W. Swiechowski, R. Holownicki, A. Godyn. 2008. Adjustment of air jet velocity and alteration of nozzles according to the environmental circumstances for crop adapted spray application in orchards. In: Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition (AgEng) on CD-ROM, Hersonissos, Crete, Greece, June 23 -25

EBAT. 2008. Ente Bilaterale Artigianato Trentino. <http://www.ebat.tn.it/>

Ebert T.A., R.C. Derksen, R.A. Downer, C.R. Krause. 2003. Comparing greenhouse sprayers: the dose-transfer process. Pest management science 60, 507-513

Ebert T. A., R. A. J. Taylor, R.A. Downer, F. R. Hall. 1999. Deposit structure and efficacy of pesticide application. 1: Interactions between deposit size, toxicant concentration and deposit number. Pesticide Science 55. 783-792

Ebert T. A., R. A. J. Taylor, R.A. Downer, F. R. Hall. 1999. Deposit structure and efficacy of pesticide application. 2: *Trichoplusia* ni control on cabbage with fipronil. Pesticide Science 55. 793-798

Egel D. S. and P. Harmon. 2001. Effects of nozzle type and spray pressure on control of alternaria leaf blight of muskmelon with chlorothalonil. Plant. Dis. (85) 1081 - 1084

ENAMA. 2007. Attività di controllo funzionale e regolazione delle macchine irroratrici in Italia. Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola, Roma

Eurostat. 2008. Fruit and Vegetables – annual data. Data di pubblicazione: 19-DIC-2007 12:00 AM (Agriculture and fisheries Datasets) <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

Fabrizi N., P. Robino, G. Simonelli. 2004. Quaderni di Analisi Chimica Strumentale: Spettrofotometria. ITAS 'Gambacorti' - Pisa

Ferrari M., E. Marcon, A. Menta. 1999. Fitopatologia, entomologia agraria e biologia applicata. Edagricole, Bologna

Friso D. e C. Baldoin. 2003. Caratteristiche della corrente fluida dei ventilatori assiali degli atomizzatori e proposta di un criterio di calcolo. Riv. di Ing. Agr., 3, 23-31

Friso D., C. Baldoin, D. Bondesan. 2008. Prospettive di miglioramento nella distribuzione meccanica dei fitofarmaci al pomodoro in coltura protetta per la salvaguardia dell'ambiente e della salute. In: Macchine e loro regolazioni per una difesa sostenibile delle colture protette. Ragusa, 4 aprile 2008, 33-43

Ganzelmeier H. 1987. Neue Verfahren des Pflanzenschutzmittel Ausbringens. Obstbau 12 (11), 492-496 (citato da Vieri, 2002)

Ganzelmeier H. 2002. The prospect of european harmonisation – Plant protection equipment under test. Journal of Central European Agriculture 4 (3), 302-312

Ganzelmeier H. 2005. Gis-aided application of plant protection products. Outlooks on Pest Management- December 2005, 273-275

Gilbert A.J. 2000. Local Environmental Risk Assessment for Pesticide (LERAP) in the U.K.

Giles D. K. 2004. Precision agriculture and drift management. Invited presentation articles. In: Proceedings of the International Conference on Pesticide Application for Drift Management. Waikoloa, Hawaii October 27-29, 127-130

Giles D. K., T. C. Blewett, S. Saiz, A. Welch. 1992. Foliar and non-target deposition from conventional and reduced-volume pesticide application in greenhouses. In: Proceedings of the International Conference on Agriculture Engineering (AgEng), Uppsala, Sweden, June 1-4 (citato da Vieri, 2002)

Göhlich H., H. Ganzelmeier, G. Bäcker. 1996. Air-assisted sprayers for application in vine, orchard and similar crops. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 26, 53-58

Guler H., H. Zhun, h. e. Ozkan, r. C. Derksen, Y. Yu, C. R. Krause. 2007. Spray characteristics and drift reduction potential with air induction and conventional flat-fan nozzles. Transaction of the ASABE, 745-754

Guth J.A., f.J. Reischmann, R. Allen, D. Arnold, J. Hassink, C.R. Leake, M.W. Skidmore, G.L. Reeves. 2004. Volatilisation of crop protection chemicals from crop and soil surfaces under controlled conditions – prediction of volatile losses from physico-chemical properties. Chemosphere 57, 871-887

Guzmán J. L., R. Medina, F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla, M. Berenguel. 2004. Pressure control of a mobile spraying system. Spanish Journal of Agricultural Research 2 (2), 181-190

Herbst A., 2008. Personal communication. Not edited JKI data

Herbst A. & X. He, 2008. A survey on knapsack sprayers and their use in China. Aspects of applied Biology 84. International Advances in Pesticide Application, 329-336

Herbst A. 2006. Evaluation of a new tracer dye for measurement of spray deposits and drift. Aspects of Applied Biology 77 (1), 155-162

Herbst A. 2003. Pesticide formulation and drift potential. In Proceedings of Proceedings of the BCPC International Congress: Crop Science and Technology, Glasgow, Scotland, UK, 10-12 November 2003

Herbst A. 2005. Measurement of spray drift potential in a wind tunnel. In Proceedings of International Symposium on Pesticide and Environmental Safety, Beijing, China, 39-46

Herbst A. & H. Ganzelmeier. 2000. Classification of sprayers according to drift risk: a German approach. In: Aspects of Applied Biology 57, AAB, Wellesbourne, 35-40

Herbst A. & H. Ganzelmeier. 2002. International Standards and their Impact on Pesticide Application. International Advances in Pesticide Application Aspects of Applied Biology 66, 1-8

Hewitt A. J., D. L. Valcore, M. E. Teske, R. J. Schick. 1998. Drop size classification for agricultural sprays. In: Proceedings of the Ilass Americas 11th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, Sacramento, CA, May 1998

Hinz T. 2008. Farmers protection against hazardous chemicals. In: Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition (AgEng) on CD-ROM, Hersonissos, Crete, Greece, June 23 -25

Holownicki R., G. Doruchowski, W. Swiechowski. 1997. Uniformity of spray deposit within apple tree canopy as affected by direction of the air-jet in tunnel sprayers. J. Fruit

Ornamental Plant Res. Skierniewice – Poland 5 (3-4), 129-136 (citato da Doruchowski & Holownicki, 2000)

Hogmire H. W. and D.L. Peterson. 1997. Pest control on dwarf apples with a tunnel sprayer. Crop Protection vol 16, 4, 365-369

IPARC. 2004. Hydraulic spray nozzles. IPARC Guide No. 1 (version 22/11/2004). Disponibile all'indirizzo http://www.dropdata.org/download/IPARC_guide/Hyd_noz.pdf (08/01/2007)

IPARC. 2007. Motorised knapsack mistblowers. IPARC Guide No. 2 (version 04/05/2007). Disponibile all'indirizzo www.dropdata.org/download/IPARC_guide/Mstblow.pdf (08/01/2007)

ISO/FDIS 22866. 2005. Equipment for crop protection – Methods for field measurement of spray drift.

Jaeken P., L. De Maeyer, N. Broers, P. Creemers. 2003. Nozzle choice and its effect on spray deposit & distribution, uptake, drift and biological efficacy in standard apple orchards (*Malus sylvestris*, cv Jonagold). Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 56 (2), 326-353

Jester R. C. 1991. Chemical glove selection. Cooperative extension system. Disponibile all'indirizzo <http://www.cdc.gov/elcosh/docs/d0100/d000155/d000155.pdf> (08/01/2007)

Kreuger J. 1998. Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990-1996. The Science of the Total Environment 216, 227-251

Ladanyi M. and K. Szenteleki 2008. Climate change impacts on viticulture- a Hungarian approach. In: Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering & Industry Exhibition (AgEng) on CD-ROM, Hersonissos, Crete, Greece, June 23 -25

Landers A. 2008. Modern technology to improve spraying efficiency. Disponibile all'indirizzo www.aben.cornell.edu/extension/pestapp/publications/mod.tech.html (08/01/2007)

Landers A. 2004. Prevention is better than cure – reducing drift from vineyard sprayers. In Proceedings: International meetings on spray drift. Kona, Hawaii, 116-124

La Malfa G. 2002. Evoluzione e prospettive delle colture protette in Italia. *Italus Hortus* 9, (6), 6-14

La Malfa G. 2003. Origine, fisionomia e sviluppo dell'orticoltura protetta. *Italus Hortus* 10 (3), 14-26

Law S. E. & S. G. Cooper. 1988. Depositional characteristics of charged and uncharged droplets applied by an orchard air carried sprayer. *Transaction of ASAE* 31 (4), 984-989 (citato da Vieri, 2002)

Lee W. S., D. C. Slaughter, D. K. Giles. 1999. Robotic weed control system for tomatoes. *Precision Agriculture* 1, 95-113

Machera K. & Kapetanakis, A. Charistow, E. Gowmenaki, R.C. Glass. 2002. Evaluation of potential dermal exposure of pesticide spray operators in greenhouses by use of visible tracers. *Journal of environmental science and health. (Part B)* 37, 113-121

Maillet-Mezeray J., J. Thierry, N. Marquet, C. Guyot, N. Cambon. 2004. Bassin versant de la Fontaine du Theil – Produire et reconquérir la qualité de l'eau: actions et résultats sur la période 1998-2003. *Perspectives Agricoles* 301:4

Mason P.J., I.D.L. Foster, A.D. Carter, Walker, S., Higginbotham, S., Jones, R.L., Hardy, I.A.J., 1999. Relative importance of point source contamination of surface waters: River Cherwell catchment monitoring study. *Proceedings XI Symp. Pest. Chem. Cremona, Italy*, 405-412

Matthews G. A. 1992. *Pesticide application methods*. Longman Scientific & Technical, Singapore, 335-352

Matthews G. A. & R.T. Bateman 2004. Classification criteria for fog and mist application of pesticides. *Aspects of applied biology* 71, 55-60

Mazzi F. e E. Capri. 1998. L'esposizione degli operatori alla chimica. *Terra e vita* 29, 57-59.

Miller P. C. H. & M. C. Butler Ellis. 2000. Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayers. *Crop Protection* 19, 609-615

Molari A. G. e V. Rondelli. 2005. Valutazione delle prestazioni di irroratrici a tunnel impiegate in vigneto. In: *Atti del Convegno AIIA, Catania, 27-30 giugno*

Moltó E., Martín B., Gutiérrez A., 2001. Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *J Agr Eng Res* 78 (1), 35-41 (citato da Guzmán et al., 2004)

Murphy D. J. & C. M. LaCross. 2002. Personal protection from pesticides. Cooperative extension system. <http://www.cdc.gov/nasd/docs/d001001-d001100/d001006/d001006.pdf> (08/01/2007)

Müller K., Bach, M., Hartmann, H., Spitteller, M., Frede, H.G., 2002. Point and nonpoint source pesticide contamination in the Zwerster Ohm Catchment (Germany). *J. Environm. Quality*, 31(1), 309-318

Nasuelli P., A. Montermini. 2006. Procedure per gestire I rifiuti agricoli. *L'Informatore Agrario*, 33, 74-76

Neal C. Neal M., Hill L., Wickham H., 2006. River water quality of the River Cherwell: An agricultural clay-dominated catchment in the upper Thames Basin, south eastern England. *The Science of the Total Environment* 360 (1-3), 272-289

Nigg. H.N., J.H. stamper, E. Easter, J.O. DeJonge. 1993 protection afforded greenhouse pesticide applicators by coveralls: a field test. *Arc. Environ. Contam. Toxicol.* 25, 529-533

Nuyttens D., S. Windey, B. Sonck 2004 Optimisation of a vertical spray boom for greenhouse spray applications. *Biosystems Engineering* 89 (4), 417-423

Nuyttens D., S. Windey, B. Sonck. 2008 The effect of spray application technique on operator exposure in southern european greenhouses *Ageng* 2008

Nuyttens D., S. Windey, B. Sonck. 2004. Comparison of operator exposure for five different greenhouse spraying applications. *Journal of Agricultural Safety and Health of ASAE*. 187-195

OECD. 2003. Organization for Economic Co-operation and Development *Improving Water Management – Recent OECD Experience*, 23

Panneton B. & B. Lacasse. 2004. Effect of air-assistance configuration on spray recovery and target coverage for a vineyard sprayer. *Canadian Biosystem Engineering Vol 46*, 2.13-2.18

Panneton B., B. Lacasse, M. Pichè. 2005a. Effect of air-jet configuration on spray coverage in vineyards. *Biosystems Engineering*, 90 (2), 173-184

Panneton B., B. Lacasse, R. Thériault. 2005b. Penetration of spray in apple trees as a function of airspeed, airflow, and power for tower sprayers. *Canadian Biosystem Engineering Vol 47*, 2.13-2.20

Pergher G. 2001. Recovery rate of tracer dyes used for spray deposit assessment. *Transactions of the ASAE 44(4)*, 787-794

Pergher G. 2003. Field evaluation of a calibration method for air-assisted sprayers involving the use of a vertical patternator. *Crop Protection 23*, 437-446

Pergher G. & C. Rizzi. 2004. Vertical spray patterns for sprayer calibration. *Rivista di Ingegneria Agraria 1*, 59-63

Pergher G. & R. Gubiani. 1997. Analisi della deposizione fogliare e delle perdite di distribuzione in una irroratrice ad aeroconvezione a deflettori orientabili. *Rivista di Ingegneria Agraria 1*, 3-10

Pergher G. & R. Petris. 2008a. A novel, air-assisted tunnel sprayer for vineyards. In: *Proceedings of the International Conference “Innovation technology to empower safety, health and welfare in agriculture and agro-food systems”* on CD-ROM, Ragusa, Italy, September 15-17

Pergher G. & R. Petris. 2008b. The effect of air flow rate on spray deposition in a Guyot trained vineyard". *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript ALNARP 08 010. Vol. X. May, 2008.

Peterson D. L. & H. W. Hogmire. 1994. Tunnel sprayer for dwarf fruit trees. *Transactions of ASAE* 37 (3), 709-715

Peterson D. L. & H. W. Hogmire. 1995. Evaluation of tunnel sprayer systems for dwarf fruit trees. *American Society of Agriculture Engineers* 11 (6), 817-821

Pagnoni F. e F. Galli. 2002 Gestione automatizzata della moderna sericoltura. *Italus Hortus* 9 (6), 38-40

Planas S., F. Solanelles, A. Fillat. 2002. Assessment of recycling tunnel sprayers in Mediterranean vineyards and apple orchards. *Biosystem Engineering*, 82 (1), 45-52

Planas De Martì S. A. Filat Morata, A. Escolà Agustì. 2001. Advances on pesticide application in covered crops. *Proceedings of AIIA Conference "Ingegneria agraria per lo sviluppo dei paesi del Mediterraneo"*. Vieste, Foggia, 11 –14 Settembre

Pompi V., A. Leandri, L. Forchielli, M. Galli. 2002. Trattamenti fitoiatrici con aerosol su zuccino in serra. *ATTI Giornate fitopatologiche*, 1, 95-102

Porras-Soriano A., A. Porras-Piedra, M.L. Soriano-Martìn. 2005a. Quality of fungicide application on trellised grapevines by sprayer prototype. *Agron. Sustain. Dev.*, 25, 201-204

Porras-Soriano A., M.L. Porras Soriano, A. Porras-Piedra, M.L. Soriano Martìn. 2005b. Comparison of the pesticide coverage achieved in a trellised vineyard by a prototype tunnel sprayer, a hydraulic sprayer, an air-assisted sprayer and a pneumatic sprayer. *Spanish Journal of Agricultural Research* 3(2), 175-181

Rakotonirainy M. S., F. Fohrer, F. Flieder. 1999. Research on fungicides for aerial disinfection by thermal fogging in libraries and archives. *International Biodeterioration & Biodegradation* 44, 133-139

Reichard D. L. & T. L. Ladd. 1984. Experimental recirculating sprayer for sweet corn. *Trans. ASAE* 27 (6), 1684-1686 (citato da Doruchowski & Holownicki, 2000)

Rimediotti M., M. Vieri, M. Montanari. 2008. Irroratrice elettrostatica per l'agricoltura ecocompatibile. *Informatore Agrario* 40, 85-88

Rogers W. 2004. Lotta agli organismi nocivi. In *Ecologia Applicata*. Mc Graw-Hill 52-69

Rowe D.E., S. Malone, Q.L. Yates. 2000. Automated greenhouse spray system for increased safety and flexibility. *Crop Science* 40, 1176-1179

Rüegg J. & O. Viret. 1999. Determination of the tree row volume in stone-fruit orchards as a tool for adapting the spray dosage. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 29, 95-101

Rüegg J., O. Viret, U. Raisigl. 1999. Adaption of spray dosage in stone-fruit orchards on the basis of tree row volume. *Bulletin OEPP/EPPO* 29, 103-110

Sammons P. J., T. Furukawa, A. Bulgin. 2005. Autonomous pesticide spraying robot for use in a greenhouse. In: *Proceedings of the Australian Conference on Robotics and Automation*, December 5-7, Sidney, Australia, 1-9

Sartorato I. 2008. Comunicazione personale.

Seel P., Knepper, T.P., Gabriel, S., Weber, A. and Haberer, K. 1996. Kläranlagen als Haupteintragspfad von Pflanzenschutzmitteln in ein Fließgewässer – Bilanzierung der Einträge. *Vom Wasser*, 86, 247-262

Stamper J.H., H.N. Nigg, W.D. Mahon, A.P.Nielsen, M.D. Royer. 1988. Pesticide exposure to greenhouse foggers. *Chemosphere* 17 (5), 1007-1023

Subramanian V., T. F. Burks, A. A. Arroyo. 2006. Development of machine vision and laser radar based autonomous vehicle guidance systems for citrus grove navigation. *Computers and electronics in agriculture* 53, 130-143

Sutton T.B. & C. R. Unrath. 1984. Evaluation of the Tree-Row-Volume Concept whit Density Adjustment in Relation to Spray Deposits in Apple Orchards. *Plant Disease* vol. 68 (6), 480-484

Tamagnone M. 2006. Novità nella distribuzione di agrofarmaci su erbacee. L'Informatore Agrario, 38, 31-34

Tietenberg T. 2004. L'acqua. In: Economia dell'ambiente. Milano: McGraw Hill Companies, traduzione dall'edizione in lingua inglese Environmental Economics and Policy, Parson Education Inc.

Tillet N. D., T. Hague, S. J. Miles. 2002. Inter-row vision guidance for mechanical weed control in sugar beet. Computers and Electronics in Agriculture 33, 163-177

Townsend G. K & J. W. Heuberger. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases fungicide experiments. Plant Disease Repr. 27, 340-343

Van der Werken J. 1991. The development of an unmanned air assisted sprayer for orchards. BCPC Mono. No 46, Air-assisted spraying in crop protection, 211-217

Van de Zande J.C., H. Satllinga, J.M.G.P. Michielsen, P. Van Velde. 2005. Effect of sprayer speed on spray drift. Annual Review of Agricultural Engineering 4 (1), 129-142

Van Ee G. R. 1998. Reducing drift from air-assisted sprayers using timing, targeting, and towers. In Proceedings of the North American Conference on Pesticide Spray and Drift Management, 221-222. Holiday Inn By the Bay Portland, March 29 - April 1, 1998. Maine

Van Lenteren J.C.. 2000 A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? Crop Protection 19, 375-384

Van Zuydam R.P. & J.C. Van De Zande. 1996. Application technology, emission safety in glasshouse spraying. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 26, 95-101

Vannucci D. 2001. Macchine per la difesa delle colture. Edagricole, Bologna

Vieri M. 2001. Il sistema elettrostatico nella irrorazione antiparassitaria: messa a punto e verifica della efficienza di carica (in due sistemi per il trattamento alle colture protette) Riv. di Ing. Agr., 4, 9-21

Vieri M. 2003. Le attrezzature impiegate nella irrorazione di prodotti fitosanitari. I criteri di scelta; il loro corretto impiego e la necessaria manutenzione. DIAF – Università di Firenze

Vieri M., 2004. Le attrezzature impiegate nelle operazioni di disinfezione. II parte: Criteri di irrorazione dei prodotti liquidi antiparassitari. Igiene alimenti – disinfezione & igiene ambientale, 5-15

Vieri M. e R. Giorgetti. 2001. Spraying technologies to reduce chemical risk in nursery and greenhouse activities. Proceedings of AIIA Conference “Ingegneria agraria per lo sviluppo dei paesi del Mediterraneo”. Vieste, Foggia, 11-14 Settembre 2001

Viret O., W. Siegfried, e. Holliger, U. Raisigl. 2003. Comparison of spray deposits and efficacy against powdery mildew of aerial and ground-based spraying equipment in viticulture. Crop Protection (22), 8, 1023-1032

Vox G., E. Schettini, L. Stefani, M. Modesti, E. Ugel. 2007. Effects of chemicals on the mechanical properties of plastic films for greenhouse covering. In Proceedings: GreenSys 2007, High Technology for Greenhouse System Management, Naples, Italy, October 4-6

Walklate P.J., , J.V. Cross, G.M. Richardson, D.E. Baker. 2006. Optimising the adjustment of label-recommended dose rate for orchard spraying. Crop Protection, 25, 1080-1086

Walklate P.J., G.M. Richardson, J.V. Cross, R.A. Murray. 2000. Relationship between orchard tree crop structure and performance characteristics of an axial fan sprayer. Aspects of Applied Biology, 57, Pesticide Application 285-292

Western A. U. & E. C. Hislop. 1997. Reducing spray drift using electrostatically charged hydraulic nozzles. Aspects of Applied Biology 48, 209-216 (citato da Vieri, 2002)

Wolf R. E. 2000. Strategies to reduce spray drift. Kansas State University Extension Service. Publication MF-2441, Kansas State University
<http://www.oznet.ksu.edu/library/ageng2/mf2444.pdf> (08/01/2007)

Wygoda H.J., S. Rietz. 1996. Plant protection equipment in glasshouses. Bulletin OEPP/OEPP Bulletin, 26, 87-93

Zangaro F. e F. Pappapicco. 2008. Evoluzione della legislazione ambientale e strumenti volontari. In: Economia dell'ambiente. Corso e-learning proposto da ENEA – Formazione a distanza <http://www.enea.it/opportunita/formazione.html>

Zhao S., G. S. P. Castle, K. Adamiak. 2008. Factors affecting deposition in electrostatic pesticide spraying. Journal of Electrostatics 66 (11-12), 594-601

Zhu H., R. C. Derksen, H. Guler, C. R. Krause, H. E. Ozkan. 2006. Foliar deposition and off-target loss with different spray techniques in nursery applications. American Society of Agricultural and Biological Engineers vol. 49 (2), 325 - 334