

STUDIO DI UN SISTEMA CON TECNOLOGIA LASER PER LA REGOLAZIONE (TARATURA) DELLE IRRORATRICI IMPIEGATE NELLE COLTURE ARBOREE A CHIOMA ESPANSA

S. PASCUZZI¹, A. GUARELLA², A. GUARIO³

¹ PRO.GE.S.A. - Dipartimento Università degli Studi - Via Amendola, 165/A, 70126 Bari

² P.A. - Dipartimento Università degli Studi - Via Amendola, 165/A, 70126 Bari

³ REGIONE PUGLIA - Assessorato Risorse Agroalimentari - Settore Alimentazione
Osservatorio Fitosanitario Regionale - Lungomare Nazario Sauro, 45/47, Bari
simone.pascuzzi@agr.uniba.it

RIASSUNTO

La presente nota riporta i risultati di uno studio teorico sperimentale mirato alla messa a punto di una tecnica di misura della diffusione generata da un aerosol attraversato da un raggio di luce laser. La suddetta tecnica opportunamente implementata su un prototipo di banco prova consentirebbe di innovare la regolazione del profilo di distribuzione delle macchine irroratrici, con particolare riferimento a quelle utilizzate negli oliveti e/o nelle colture arboree a chioma espansa, rappresentando un valido strumento al servizio del personale preposto ai Servizi di Controllo e Taratura.

Parole chiave: calibrazione macchine irroratrici, raggio laser, diffusione

SUMMARY

STUDY OF A METHOD BASED UPON THE LASER TECHNOLOGY FOR THE ADJUSTMENT (CALIBRATION) OF THE SPRAYERS USED IN THE TREE CROPS WITH LARGE CANOPY

This paper shows the results pertinent to an experimental-theoretic study aimed at the check-out of a technique for the measurement of the scattering produced by an aerosol crossed with a laser beam. The aforesaid technique, suitably implemented on a prototype of test bench, would allow to renew the adjustment of the pattern of distribution of the sprayers, with particular reference to those employed in the olive-groves and/or in the tree crops with large canopy, being a suitable tool for the workers of the Centres for Inspection and Calibration of the sprayers.

Keywords: sprayers calibration, laser beam, scattering

INTRODUZIONE

La recente normativa di riferimento EN 13790-1 ed EN 13790-2, riguardante l'adeguamento dei Protocolli di Prova nazionali e/o regionali dei 22 Paesi europei aderenti e la Documentazione predisposta dal Gruppo di Lavoro Tecnico per il Concertamento Nazionale delle Attività di Controllo e Taratura delle macchine irroratrici, coordinato dall'ENAMA, forniscono ormai una base regolamentare condivisa, che consente di redigere i «Rapporti di Prova» ed il rilascio degli «Attestati» di avvenuto controllo, con modalità che ne determinano il mutuo riconoscimento a livello nazionale ed europeo (ENAMA, 2007).

Sul versante tecnico, nel periodo 1999-2005 la Regione Puglia ha promosso e finanziato - tra le altre attività - l'acquisto dei banchi-prova per il controllo e la taratura delle irroratrici operanti sulle colture erbacee, la progettazione e la realizzazione di appositi banchi-prova

informatizzati per la regolazione (taratura) delle macchine impiegate nella viticoltura a tendone e a contropalliera, in collaborazione con il Dipartimento PRO.GE.S.A. - Sezione Meccanica - della Facoltà di Agraria dell'Università di Bari.

Resta attualmente scoperto il parco macchine irroratrici operante in olivicoltura e, più in generale, nella arboricoltura a chioma espansa, per l'assenza, sul mercato, di strumentazione adeguata. In proposito va ricordato che le attrezzature attualmente in commercio, basate sul principio della "parete captante", consentono solo determinazioni di prossimità, valide per colture arboree a sviluppo contenuto della chioma.

La presente nota riporta i risultati di uno studio teorico sperimentale mirato alla messa a punto di una tecnica di misura della diffusione (scattering) generata da un aerosol attraversato da un raggio di luce laser. La suddetta tecnica opportunamente implementata su un prototipo di banco prova consentirebbe di innovare la regolazione del profilo di distribuzione delle macchine irroratrici, con particolare riferimento a quelle utilizzate negli oliveti e/o nelle colture arboree a chioma espansa, rappresentando un valido strumento al servizio del personale preposto ai Servizi di Controllo e Taratura istituiti dalle Regioni.

Nell'ambito di questa ricerca sono state preventivamente analizzate le relazioni teoriche che governano il processo della diffusione della luce in presenza di gocce disperse in aria (aerosol). Dal lato sperimentale, si è realizzato un banco-prova fornito di sorgente laser in grado di produrre un percorso ottico di alcuni metri e attraversare l'aerosol generato da una macchina irroratrice. Le prove hanno avuto l'obiettivo di determinare l'intensità dello scattering in funzione dei diversi parametri funzionali dell'irroratrice (tipologie degli ugelli, pressione d'esercizio) e del prototipo di banco-prova appositamente predisposto (lunghezza del percorso ottico, lunghezza del fascio laser, ecc.), in modo da ricavare indicazioni per lo sviluppo del sistema di misura.

APPROFONDIMENTI TEORICI

Un raggio di luce che attraversa un aerosol¹ viene diffuso in tutte le direzioni, riemergendo dall'altro lato con intensità attenuata. La fenomenologia fisica che caratterizza l'interazione luce-aerosol risulta complessa, in quanto, il materiale diffondente, minuscole gocce d'acqua sospese in aria, ha dimensioni comparabili con la lunghezza d'onda della luce; lo studio, pertanto, ricade nell'ambito dell'ottica ondulatoria e, specificatamente, della teoria elettromagnetica di Maxwell.

La misurazione del campo diffuso si realizza per via "diretta", valutando l'attenuazione dell'intensità della luce che riemerge dopo l'attraversamento dell'aerosol, o per via "indiretta", analizzando l'intensità del campo diffuso. Dal punto di vista applicativo si utilizza un rivelatore di radiazione elettromagnetica (un fotodiode, un bolometro, un CCD, ecc.); disponendo questo con il suo asse coincidente con la direzione di propagazione del raggio di luce incidente si esegue la misura diretta. Orientando, invece, il rivelatore non in asse con il fascio ottico incidente si misura solo il campo diffuso.

Purtroppo le suddette rilevazioni sono insidiate da numerosi fattori interagenti; ad esempio, gli aerosol prodotti dalle irroratrici non sono spessi (cioè "si vede attraverso") e sono fortemente turbolenti. La misura diretta dell'attenuazione produce, quindi, un segnale debole e

¹ Con il termine aerosol si intende un volume di gas (aria) entro cui è finemente disperso un liquido in gocce, supposte sferiche e sufficientemente piccole da restare in sospensione per un tempo ragionevolmente lungo

fortemente disturbato; con la misura dell'intensità diffusa, in alternativa all'attenuazione diretta, è possibile aggirare alcuni problemi ma altri ne sorgono non meno difficili.

La luce ordinaria, inoltre, non può essere efficacemente confinata in un raggio sottile o in un piano comunque orientato e, pertanto, diventa problematico distinguere la luce diffusa dal piano di misura, rispetto a quella diffusa dal volume circostante; così come è problematico distinguere la luce diffusa, oltretutto di bassa intensità, rispetto ad ogni altra fonte di luminosità ambientale.

Questa motivazione induce ad adottare un sistema di misura ottico, basato su un fascio di luce monocromatica, quale è quello di un laser (lunghezza d'onda $\lambda=633$ nm) e una tecnica di elaborazione sofisticata che utilizza lo stato dell'arte nella conoscenza dell'interazione laser/aerosol.

La trattazione analitica, non riportata nella seguente nota, è partita dalla descrizione, mediante le equazioni di Maxwell, del campo elettromagnetico e del campo elettrico associati al processo di diffusione di una fonte di illuminazione laser, da parte di gocce d'acqua con dimensione micrometrica (Mishchenko *et al.*, 2002, 2006).

Da tale trattazione emerge che il campo elettromagnetico (luce laser) incidente sulla goccia, penetra al suo interno producendo una emissione di campo diffuso, ovvero una emissione di luce laterale. Il campo incidente e questo campo diffuso si sovrappongono dando luogo ad un campo totale.

Sulla base di questo studio si è sviluppato un modello numerico che è stato implementato su computer in modo da analizzare la distribuzione di intensità del campo totale, simulando il processo di diffusione prodotto da gocce di acqua di differenti dimensioni, sospese in aria con indice di rifrazione relativo $n=1,33$, colpite da un raggio di luce laser (Xu, 2001) (figura 1).

Le particelle diffondono la luce incidente generando, per effetto dell'interferenza ondulatoria, un lobo centrale, affiancato da una successione di lobi laterali di ampiezza decrescente (figura 2).

I lobi costituiscono una figura di diffrazione, in cui l'ampiezza e la collocazione di ciascuno dipende dal rapporto tra la lunghezza d'onda del campo incidente e il diametro della goccia diffondente.

La sperimentazione virtuale ha reso evidente la formazione di lobi di irradiazione, la loro distribuzione e la loro intensità.

La presenza di lobi laterali indica che la particella appare "visibile" lateralmente. Questo aspetto è di importanza fondamentale per gli scopi della ricerca, perché fornisce supporto alla possibilità di illuminare l'aerosol con un fascio laser sufficientemente potente, ed osservare la luce diffusa lateralmente per dedurre informazioni sulle particelle diffondenti.

La presenza di un elevato numero di lobi distribuiti in tutte le direzioni contribuisce a rendere visibile la particella da parecchie direzioni anche se la visibilità, per una singola particella, può variare in modo repentino al cambiare della direzione di osservazione anche di pochi gradi.

L'estensione della trattazione dalla singola particella ad un insieme di N particelle presuppone alcune considerazioni teoriche fra cui, soprattutto, la densità di particelle, cioè il loro numero e la loro dimensione rapportate all'unità di volume del mezzo in cui sono sospese.

Se la densità è bassa, come è il caso di un aerosol prodotto da ugelli per irroratrici, il campo diffuso da ciascuna particella interagisce assai poco con le altre particelle ed è valida l'ipotesi secondo cui il campo diffuso è pressoché totalmente prodotto dalla sovrapposizione dei campi diffusi generati da singole diffusioni, cioè è trascurabile il contributo di campo dovuto a radiazione ridiffusa più volte da parte di più particelle.

Figura 1. Ampiezza del campo elettrico conseguente alla diffusione di una onda piana di lunghezza λ da parte di una particella di diametro 2λ con indice di rifrazione 1,33

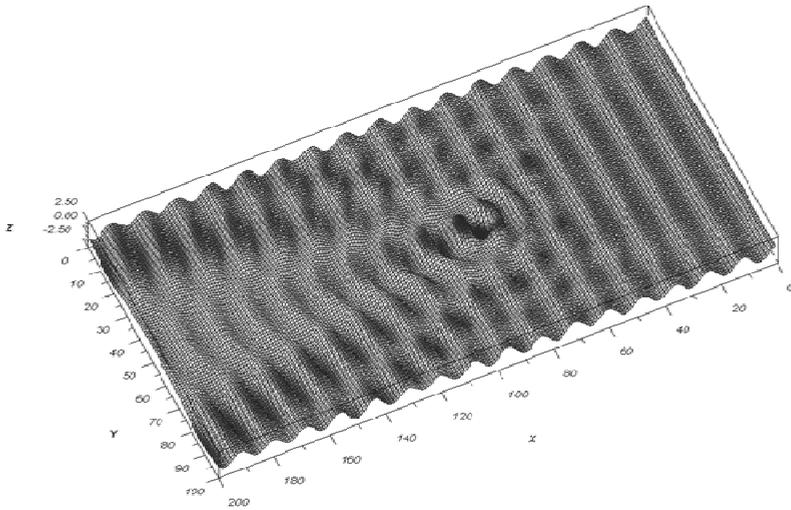
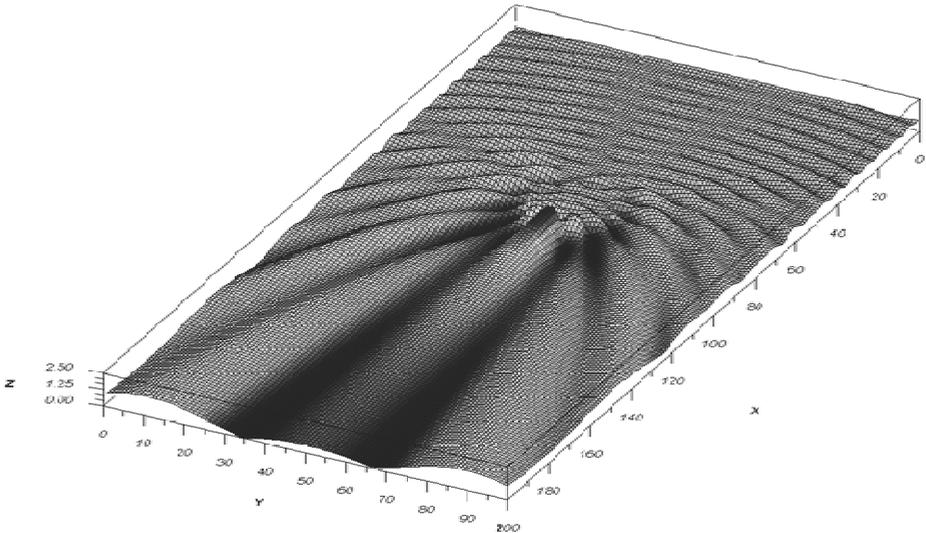


Figura 2. Rappresentazione tridimensionale del modulo del campo elettrico totale in prossimità di una particella sferica di diametro $3,16 \mu\text{m}$ e indice di rifrazione 1,33 investita da un'onda piana di lunghezza $\lambda=633 \text{ nm}$



Lo studio teorico dello scattering elettromagnetico da parte di un insieme di particelle (aerosol reale) colpite da un raggio laser è stato effettuato utilizzando algoritmi matematici recentemente affinati, anch'essi basati sullo sviluppo delle equazioni di Maxwell. Questi algoritmi hanno consentito di simulare su computer il processo di diffusione e analizzare il

comportamento diffondente di una nube di aerosol composta da goccioline di diametro differente.

MATERIALI E METODI

Gli scopi della sperimentazione fisica hanno avuto l'obiettivo di determinare l'intensità dello scattering in funzione dei diversi, possibili, parametri funzionali dell'irroratrice (tipologie degli ugelli, pressione d'esercizio) e del banco-prova (lunghezza del percorso ottico, lunghezza del fascio laser, ecc.); ciò al fine di valutare le condizioni operative complessivamente più favorevoli per lo svolgimento delle misure ottiche e dedurre, se possibile, indicazioni per sviluppare le specifiche di un sistema di misura.

La componentistica per la realizzazione dell'apparecchiatura sperimentale può essere così schematizzata: sorgente laser, materiale ottico (lenti, specchi, prismi, beam splitters, ecc), fotometro, banco ottico, computer portatile.

I suddetti componenti sono stati assemblati in modo da generare un percorso ottico di alcuni metri che attraversasse l'aerosol generato da una macchina irroratrice, evitando che lo stesso aerosol venisse a contatto con le superfici ottiche (figura 3).

In pratica, si è disposta la sorgente laser (He-Ne da 15 mW) su un apposito supporto schermato e si è collocato, in posizione opposta e su apposito sostegno, il sensore di intensità ottica (fotometro) collimato con il fascio. Fra i suddetti componenti è stata sistemata, rispettando le distanze riportate nello schema di figura 3, una irroratrice portata a polverizzazione meccanica e getto assistito della Ditta Favaro Mod. «Pictor», con un diametro nominale della girante di 600 mm. Questa macchina ha funzionato ad un regime di rotazione della p.d.p. di 400 giri/min, con una portata d'aria rilevata di ~ 18000 m³/h. Le prove sono state effettuate con le seguenti due tipologie di ugelli: a) ATR Albuz verde con pressione di esercizio di 11 bar; b) ATR Albuz giallo con pressione di 6 bar.

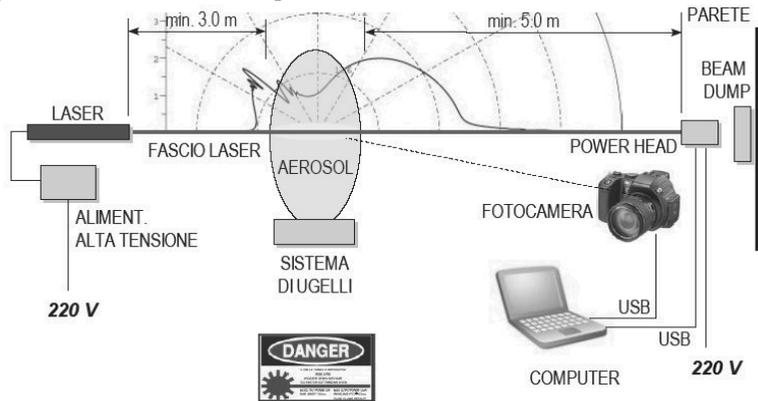
Il fotometro, mediante l'unità di acquisizione ed elaborazione di potenza del fascio laser è stato collegato a un computer, su cui è stato caricato un apposito software dedicato.

Con questa configurazione si è effettuata una misurazione diretta dell'intensità del fascio laser collimato, che riemerge dall'aerosol dopo averlo attraversato. In presenza di aerosol, infatti, una parte del fascio laser viene diffusa in altre direzioni e l'intensità frontale diminuisce; questa diminuzione è correlata alla densità relativa² dell'aerosol attraversato. Le misure di intensità ottica acquisite con il sensore vengono elaborate dal computer, che provvede alla determinazione della densità relativa dell'aerosol.

La seconda tipologia di misure prevedeva il rilevamento dell'intensità diffusa dall'aerosol attraversato dal fascio laser collimato; questa misurazione è stata realizzata collocando il sensore di intensità ottica esternamente all'aerosol, fuori dall'asse di propagazione del fascio laser e puntato nella direzione dell'aerosol. Per questa variante di misurazioni si è adoperata anche una fotocamera digitale dotata, come tutte quelle normalmente in commercio, di tempo di apertura automatico. La misurazione della radiazione diffusa comporta la necessità di conoscere in che modo questa si distribuisce nello spazio circostante: risulta fondamentale l'approfondimento dell'analisi teorica della problematica e la successiva modellazione numerica.

² Per densità relativa si intende il rapporto tra il numero di particelle in sospensione per unità di volume e il numero di particelle per unità di volume di un aerosol di riferimento avente la stessa funzione di distribuzione

Figura 3. Layout di allestimento delle prove



RISULTATI E DISCUSSIONE

Con riferimento alle misurazione dirette dell'intensità del fascio laser collimato, si è rilevato che l'avviamento della ventola dell'irroratrice ha prodotto una circolazione di aria che è stata percepita dal sensore; le due tipologie di ugelli (ATR Albus Verde e ATR Albus giallo) hanno prodotto differenti assorbimenti di potenza del fascio, ben distinguibili e misurabili.

Si è notato, inoltre, che l'attenuazione del fascio laser diretto in presenza di aerosol può essere anche molto significativa, giungendo a valori sull'ordine del 50% dell'intensità nominale.

Esiste, tuttavia, un problema importante: la turbolenza fluidodinamica prodotta dalla corrente d'aria dell'irroratrice produce una significativa fluttuazione spaziale istantanea dell'intensità diffusa lungo il percorso del fascio nell'aerosol, valutabile nell'intervallo 5÷10 % dell'intensità nominale.

Per eliminare sufficientemente gli effetti di questa turbolenza è necessario mediare una sequenza di almeno un centinaio di campioni, con tempi di elaborazione inaccettabili per un sistema di misura che dovrebbe lavorare in tempo pressoché reale.

Per quanto riguarda le misurazioni della radiazione diffusa, si è constatato che il fascio laser utilizzato quando attraversa l'aerosol diventa perfettamente visibile e fotografabile anche in condizioni di normale illuminazione ambientale (figura 4). Inoltre, la turbolenza fluidodinamica non produce effetti significativi sul profilo di intensità della diffusione quando il tempo di esposizione supera alcuni secondi.

Infine, il fascio laser rimane visibile, con illuminazione ambientale normale, anche dopo la cessazione dell'irrorazione; infatti, nell'aria rimane in sospensione un fine particolato, uniformemente distribuito, che produce una diffusione facilmente fotografabile (figura 5).

Sulla base degli approfondimenti teorici effettuati e, soprattutto delle osservazioni emerse durante la fase sperimentale si è pervenuti, infine alla tecnica di misura che consiste nell'acquisizione di una immagine digitale della luce laser diffusa da un aerosol, quando viene intersecato da un piano di radiazione laser avente intensità nota (figura 6).

L'immagine digitale della radiazione diffusa sul suddetto piano di misura viene successivamente elaborata con un software dedicato in grado di risalire alla mappa della densità dell'aerosol che ha generato la diffusione.

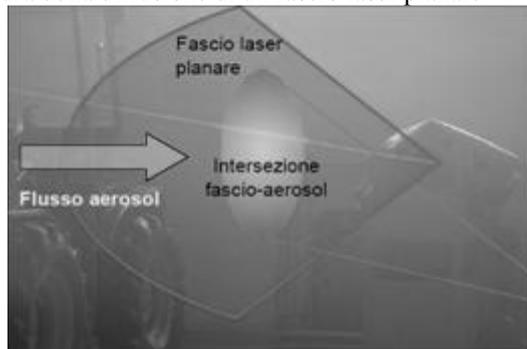
Figura 4. Diffusione di radiazione laser ad opera di aerosol generato da irroratrice



Figura 5. Fascio laser rimane visibile, con illuminazione ambientale normale, anche dopo la cessazione dell'irrorazione. Tempo di esposizione 4,0 secondi



Figura 6. Schema di misura della diffusione di un fascio laser planare



La soluzione costruttiva è notevolmente semplificata, assolutamente priva di componenti meccanici in movimento durante il test. Infatti, il banco prova, funzionante con questo tipo di misurazione è costituito da: a) sorgente di luce laser planare; b) macchina fotografica digitale; c) computer; d) software dedicato.

CONCLUSIONI

La ricerca, per quanto riguarda gli obiettivi inizialmente proposti, si è conclusa positivamente. Il risultato è l'individuazione di una tecnica di misura innovativa efficiente, senza parti in movimento, che consiste nell'impiego di un fascio planare di luce laser ed un sistema di acquisizione immagini basato su telecamera di tipo industriale controllata da computer.

Le misure di laboratorio svolte con fasci laser He-Ne da 15 mW e aerosol reali, prodotti da irroratrice a polverizzazione meccanica e getto assistito, hanno dimostrato la misurabilità della radiazione laser diffusa ed hanno fornito le indicazioni sul modo ottimale per registrare la radiazione diffusa, che consiste nell'utilizzare filtri interferenziali e il controllo software dei tempi di esposizione del CCD della telecamera.

Ringraziamenti

Si ringraziano i Sigg. C. Gidiuli, V. Marzano e D. Sfregola, del Dip. PROGESA di Bari, per la disponibilità e l'attivo impegno durante lo svolgimento delle prove sperimentali.

LAVORI CITATI

- ENAMA, 2007. Attività di controllo funzionale e regolazione delle macchine irroratrici in Italia.
- ISO 13320-1, 1999. Particle Size Analyses-Laser Diffraction Methods. Part 1: General Principle. International Organization of Standardization, Ginevra.
- ISO 22415, 2008. Particle Size Analyses-Dynamic light scattering (DLS). International Organization of Standardization, Ginevra.
- Mishchenko M.I., Travis L.D., Lacis A.A., 2002. Scattering, Absorption and Emission of Light by Small Particles. *Cambridge University Press*, Regno Unito.
- Mishchenko M.I., Travis L.D., Lacis A.A., 2006. Multiple Scattering of Light by Particles. *Cambridge University Press*, Regno Unito.
- Xu R., Particle Characterization: Light Scattering Methods, 2001. Kluwer Academic Publishers, Paesi Bassi.

Il contributo al lavoro è da suddividere in maniera paritetica tra gli Autori
Ricerca finanziata dalla Regione Puglia, nell'ambito della Legge n. 499 del 23/12/1999:
"Razionalizzazione degli interventi nei settori agricolo, agro-alimentare, agroindustriali e forestale". Art. 2 c. 7 p. c): PROGRAMMI INTERREGIONALI - Programma Regionale "Agricoltura e qualità" - Misura 4: Taratura delle Macchine Irroratrici di Fitofarmaci per Vigneti a Tendone, Oliveti e Ortaggi