



UNIVERSITÀ
DI TORINO

Soluzioni tecnologiche avanzate per la distribuzione ottimizzata dei prodotti fitosanitari in vigneto

Soluzioni per l'applicazione di prodotti fitosanitari per ridurre le quantità di agrofarmaci impiegate e il rischio di esposizione per l'ambiente, gli operatori e gli astanti



Fabrizio Gioelli – Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA)

campa 2024

Introduzione – Agricoltura convenzionale vs di precisione

CONVENZIONALE

DI PRECISIONE

UNIFORME

DISTRIBUZIONE
FATTORI
PRODUTTIVI

SITO-SPECIFICA



Introduzione – Agricoltura convenzionale vs di precisione

«Precision agriculture (PA) or site-specific (crop) management is based on sensing or observing and responding with management actions to spatial and temporal variability in crops»

*«L'agricoltura di precisione si basa sul rilevare e **rispondere con azioni mirate alla variabilità spaziale e temporale delle colture**»*

(Stone et al., 2016)

«Apply the Right treatment in the Right place at the Right time»

*«Applicare il trattamento corretto nel posto giusto e al **momento giusto**»*

(Gebbers and Adamchuk, 2010)

Introduzione – Agricoltura convenzionale vs di precisione

Semina



Fertilizzazione



Diserbo

Preparazione
del suolo



Raccolta



Protezione delle colture

Sistemi di guida



Scouting



Analisi dei suoli



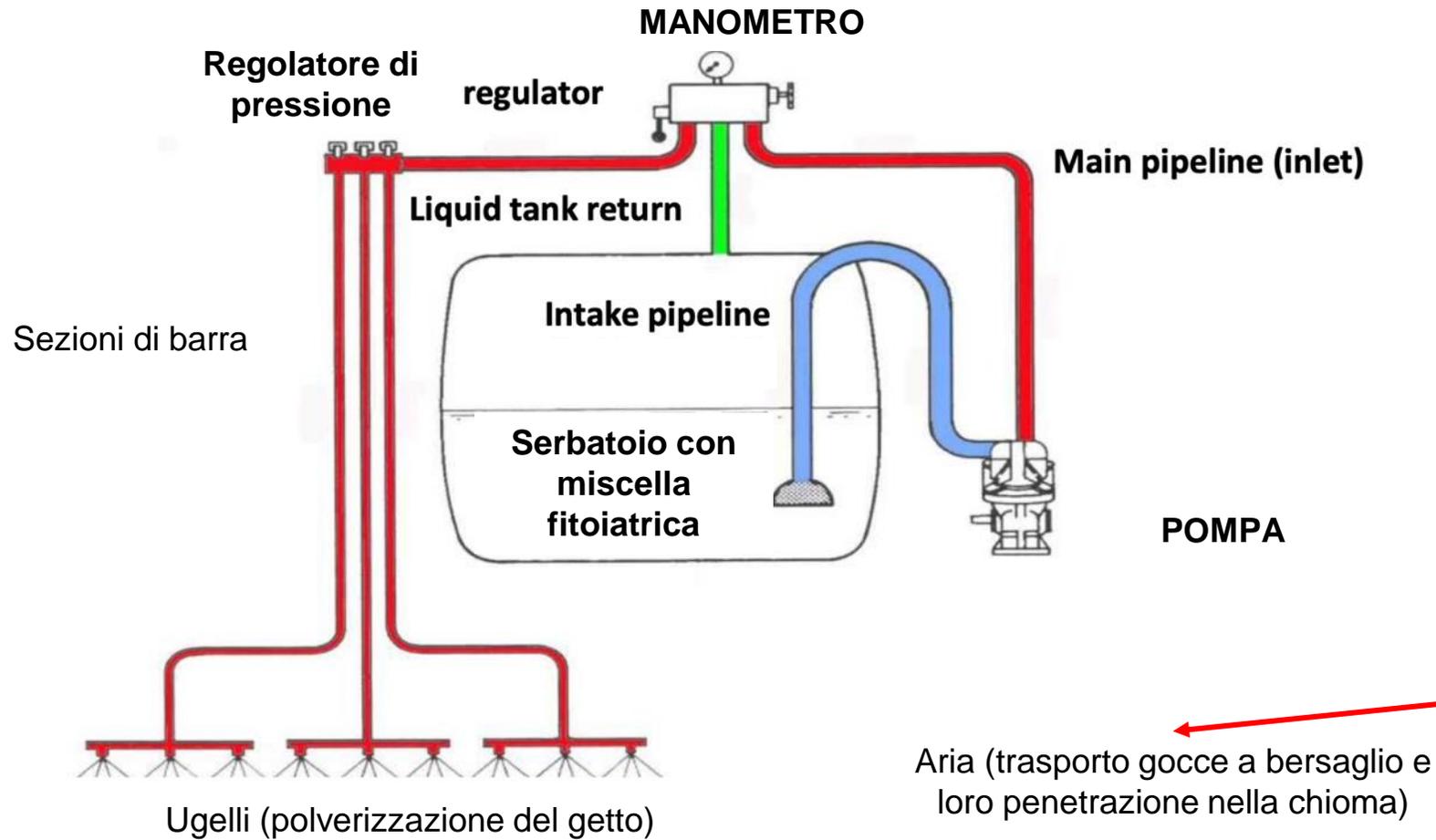
Mappatura delle produzioni



OBBIETTIVO DI UNA DISTRIBUZIONE EFFICIENTE

Applicare la quantità minima di prodotto fitosanitario - in grado di garantire l'efficacia biologica - in modo **preciso, uniforme ed esclusivamente sul bersaglio** (Giles e Comino, 1989)

Come funziona un'irroratrice (generica)



Colture di pieno campo



Colture 3D

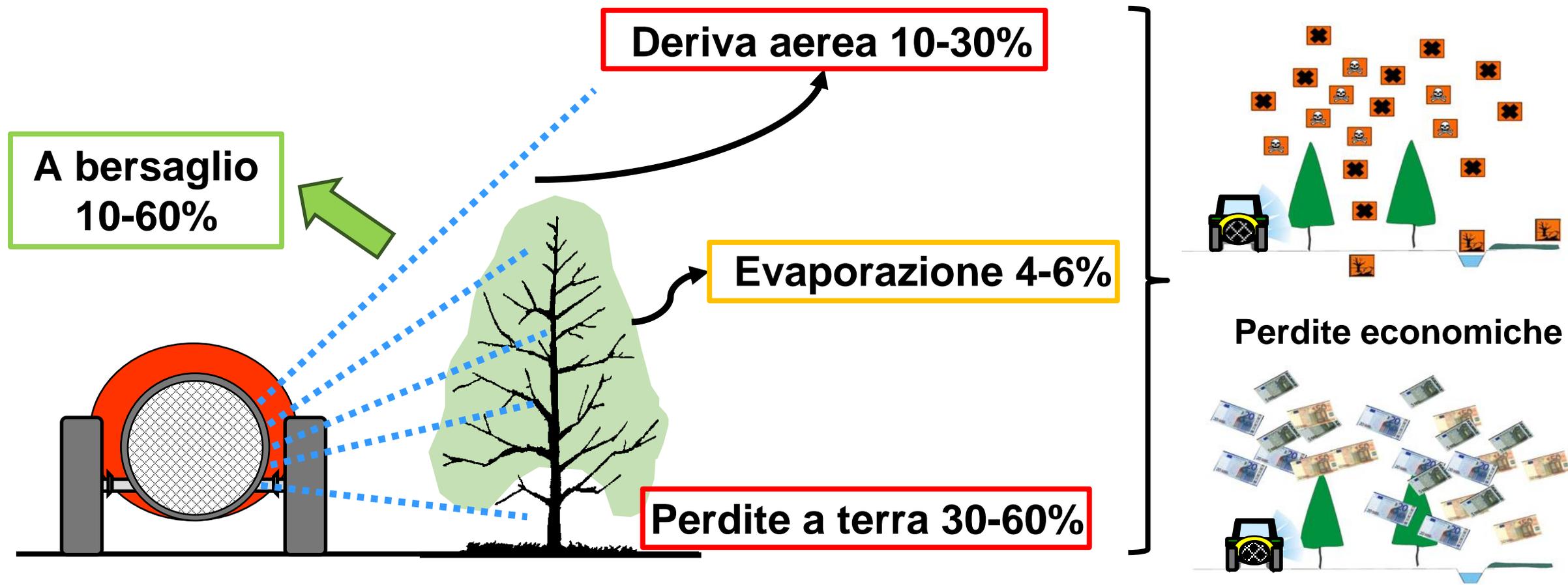


Distribuzione dei prodotti fitosanitari – la situazione attuale

Il volume di distribuzione (l/ha) nella maggior parte dei casi viene mantenuto costante (= agricoltura convenzionale) indipendentemente dalle caratteristiche del vigneto (es. presenza di fallanze) e delle chiome (es. morfologia, densità) → **spreco di prodotto, problemi ambientali, sopra o sotto applicazione degli agrofarmaci a seconda dei casi.**



Distribuzione dei prodotti fitosanitari – la situazione attuale



I benefici di una distribuzione ottimizzata dei prodotti fitosanitari

Migliorare l'efficienza della distribuzione può contribuire a:

- (i) ridurre la contaminazione dell'ambiente, degli astanti e degli operatori
- (ii) migliorare l'efficacia dei trattamenti
- (iii) aumentare la qualità e la sicurezza dei prodotti finali

Gli obiettivi al 2030

2030 Targets for sustainable food production

PESTICIDES



Reduce the overall use and risk of chemical and hazardous pesticides

NUTRIENT LOSSES



Reduce nutrient losses by 50% whilst retaining soil fertility, resulting in 20% less fertilisers

ANTIMICROBIALS



Reduce sales of antimicrobials for farmed animals and aquaculture

ORGANIC FARMING



Increase the percentage of organically farmed land in the EU

#EUFarm2Fork

#EUGreenDeal

Come ridurre **l'uso** e il **rischio** collegato all'impiego degli agrofarmaci?



1) Sostituzione dei prodotti chimici con prodotti alternativi (es. Agenti di biocontrollo – BCA)

2) Utilizzo di nanoformulati (che in teoria richiedono dosaggi inferiori)

→ tuttavia, allo stato attuale, esistono ancora molti punti da chiarire (ad es. quali sono gli effetti del Sistema di distribuzione impiegato sull'integrità dei nanoformulati e dei BCA?)

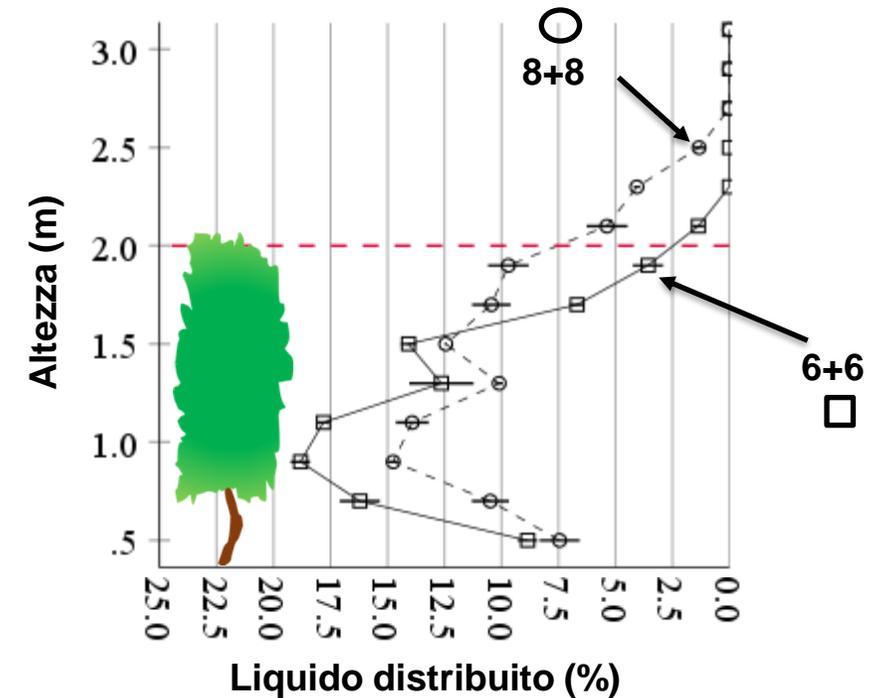
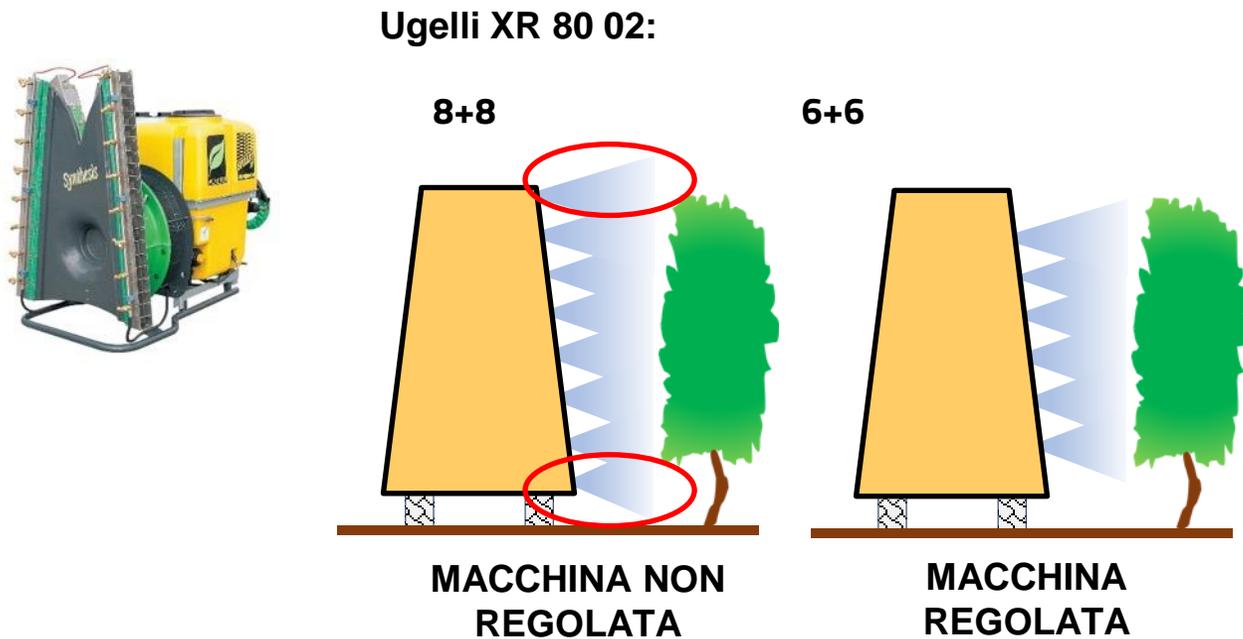
3) **Distribuzione ottimizzata degli agrofarmaci**



In che modo ottimizzare la distribuzione può contribuire alla riduzione del 50% nell'uso dei prodotti fitosanitari?

A) AUMENTANDO L'EFFICIENZA della distribuzione

Regolazione della macchina: numero di ugelli attivi, controllo della direzione e del volume d'aria in funzione della dimensione e della densità del bersaglio



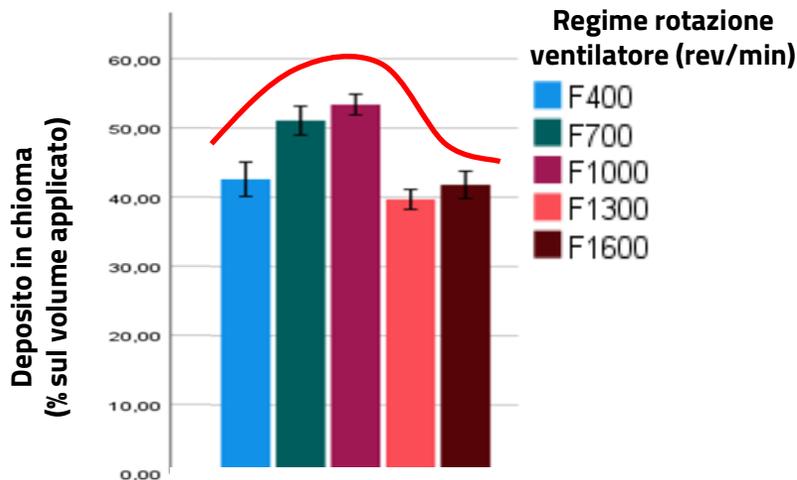
In che modo ottimizzare la distribuzione può contribuire alla riduzione del 50% nell'uso dei prodotti fitosanitari?

A) AUMENTANDO L'EFFICIENZA della distribuzione

Regolazione della macchina: numero di ugelli attivi, controllo della direzione e del volume d'aria in funzione della dimensione e della densità del bersaglio

Volumi e velocità dell'aria eccessivi possono: 1) ridurre il deposito e la penetrazione del prodotto a causa della compressione della chioma 2) aumentare le perdite (deriva)

Il volume generato dal ventilatore dovrebbe poter essere adattato alla reale densità della chioma nel corso della stagione vegetativa e lungo la fila



2 m/s

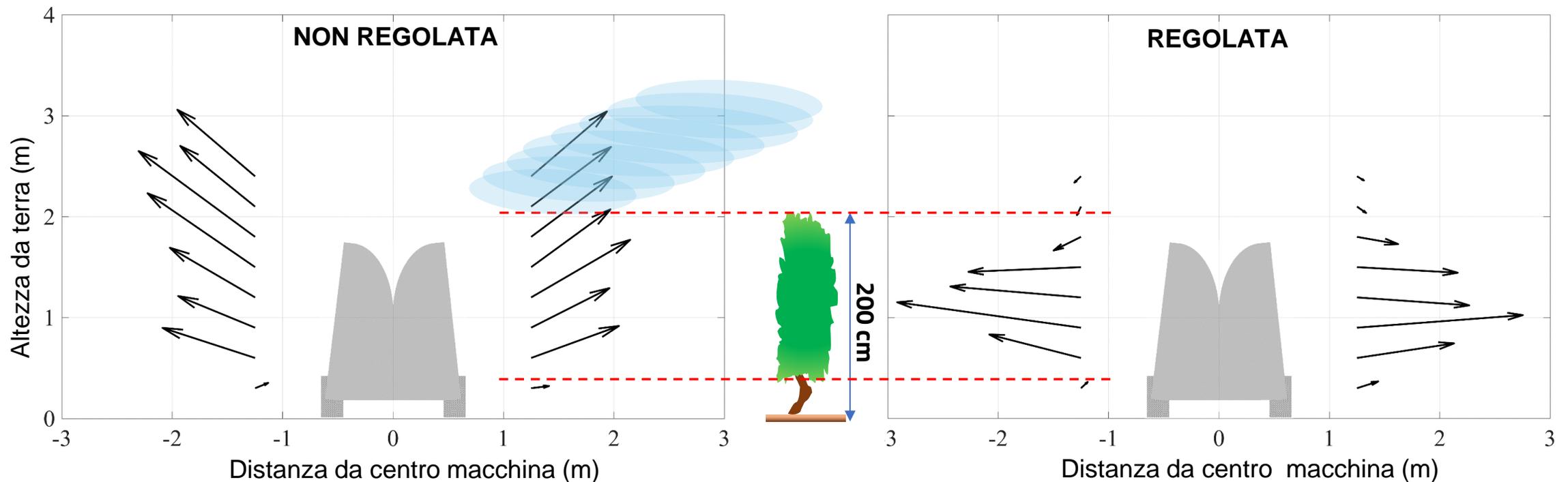
8 m/s

Velocità dell'aria sul bersaglio

In che modo ottimizzare la distribuzione può contribuire alla riduzione del 50% nell'uso dei prodotti fitosanitari?

A) AUMENTANDO L'EFFICIENZA della distribuzione

Regolazione della macchina: numero di ugelli attivi, controllo della direzione e del volume d'aria in funzione della dimensione e della densità del bersaglio



In che modo ottimizzare la distribuzione può contribuire alla riduzione del 50% nell'uso dei prodotti fitosanitari?

Irroratrice NON regolata



65% perdite fuori bersaglio

Principio attivo a bersaglio

2 μg 2 μg 2 μg 2 μg 2 μg



Efficienza biologica garantita

Irroratrice regolata



39% perdite fuori bersaglio

Principio attivo a bersaglio

4 μg 4 μg 4 μg 4 μg 4 μg



50% di prodotto in eccesso

- Deposito in chioma
- Perdite a terra
- Deriva aerea
- Evaporazione

In che modo ottimizzare la distribuzione può contribuire alla riduzione del 50% nell'uso dei prodotti fitosanitari?

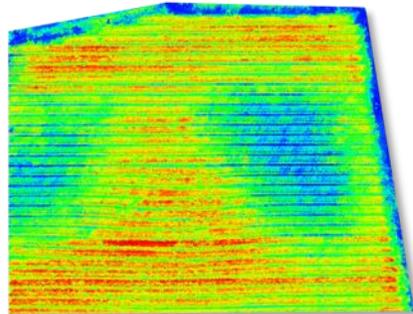
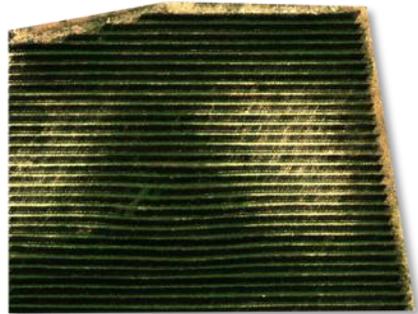
B) **ADATTANDO LA DOSE** in funzione delle caratteristiche del bersaglio

Irroratrici a rateo variabile (VRA): il volume di distribuzione viene adattato per variare la dose in funzione della dimensione e della densità della coltura bersaglio

Approccio 1: dati sulla vegetazione raccolti tramite remote sensing



- Camere multispettrali
- Camere iperspettrali
- Ecc...



Approccio 2: raccolta dati in tempo reale

- Infrarossi
- Sensori a ultrasuoni
- LIDAR
- Stereocamere
- Ecc...



Distribuzione a rateo variabile (VRA)

MAPPE DI PRESCRIZIONE

Scouting

GPS

Mappe di
prescrizione

Unità di controllo

Attuatori

Obiettivo: il 100% della
coltura target deve ricevere la
quantità corretta di prodotti
fitosanitari

La distribuzione "tradizionale"
che non tiene conto delle
caratteristiche del bersaglio è
altamente inefficiente

2 possibili approcci

(GPS)

Sensori a bordo
macchina

Unità di controllo

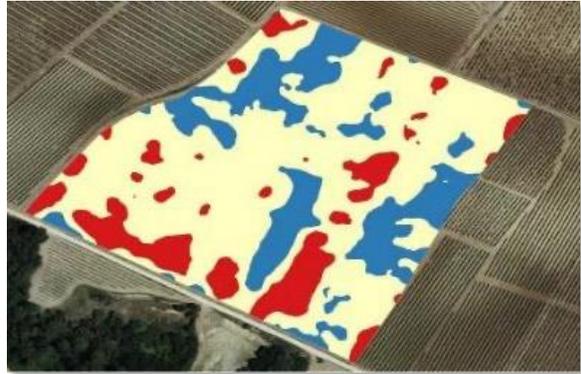
Attuatori

VRA

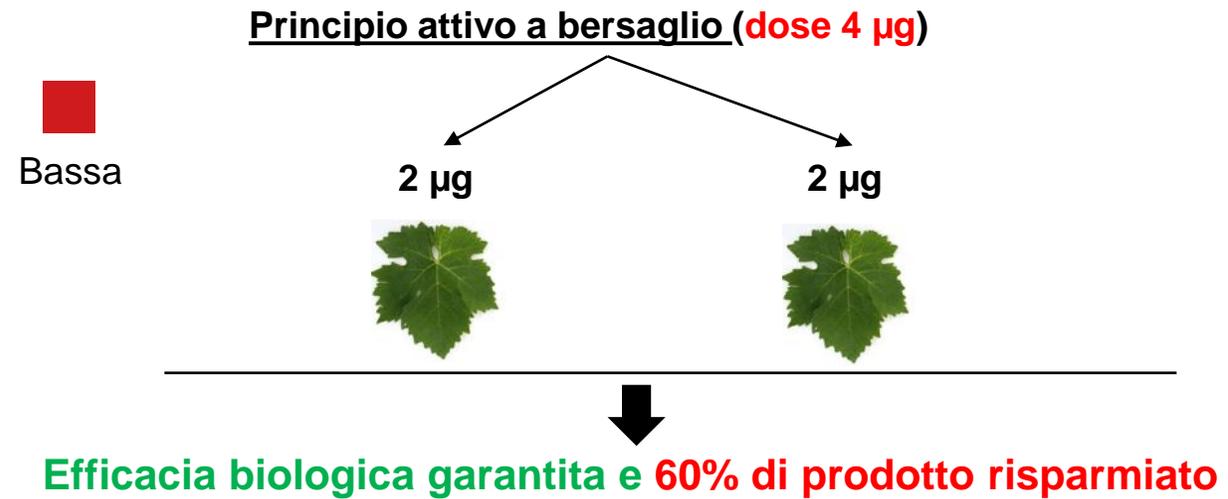
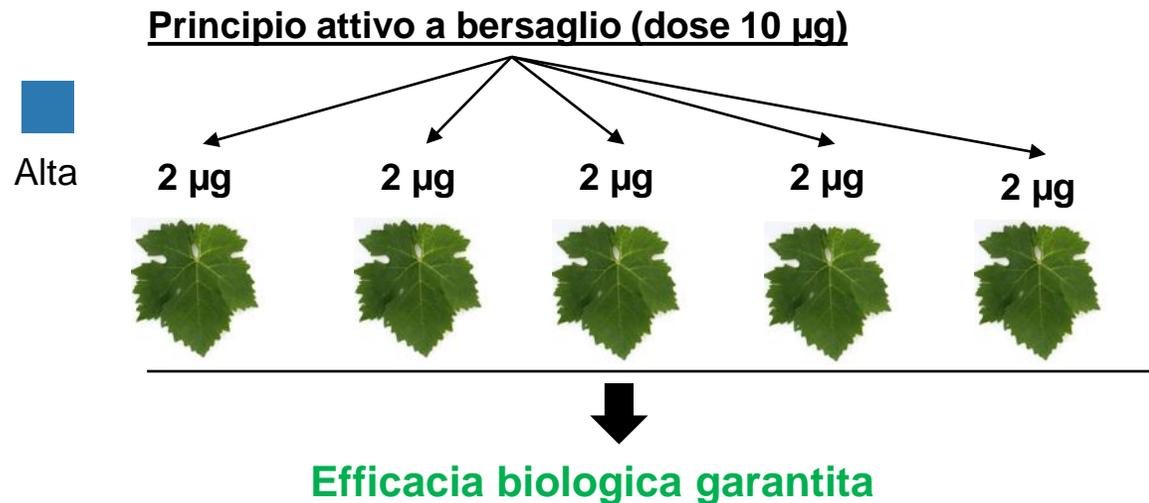
Real-Time Sense and Apply

In che modo ottimizzare la distribuzione può contribuire alla riduzione del 50% nell'uso dei prodotti fitosanitari?

In che modo la distribuzione a rateo variabile può contribuire alla riduzione dell'uso di prodotti fitosanitari?



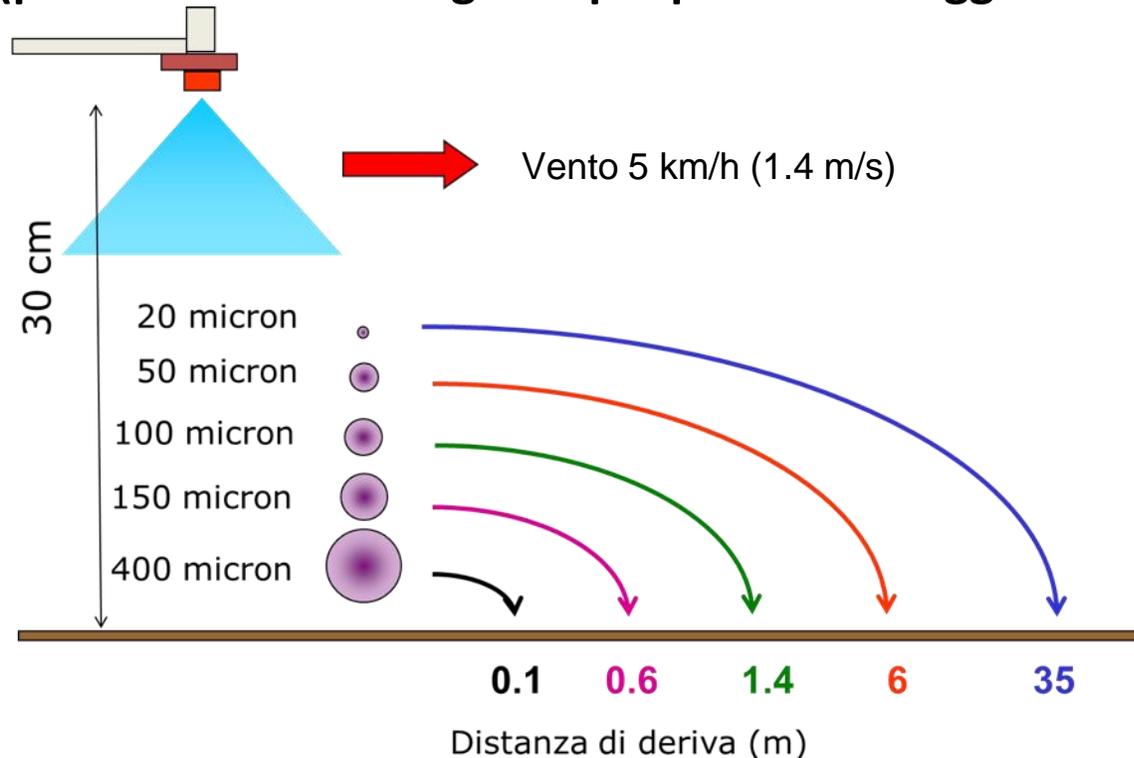
- Densità della chioma
- Alta
 - Media
 - Bassa



In che modo ottimizzare la distribuzione può contribuire alla riduzione del 50% nell'uso dei prodotti fitosanitari?

Come variare il volume di distribuzione in tempo reale:

1. Aumento/diminuzione della pressione del circuito della macchina irroratrice → effetto sulla dimensione delle gocce prodotte (pressione elevata = gocce più piccole = maggiore rischio di deriva)



In che modo ottimizzare la distribuzione può contribuire alla riduzione del 50% nell'uso dei prodotti fitosanitari?

Come variare il volume di distribuzione in tempo reale:

1. Aumento/diminuzione della pressione del circuito della macchina irroratrice → effetto sulla dimensione delle gocce prodotte (pressione elevata = gocce più piccole = maggiore rischio di deriva)

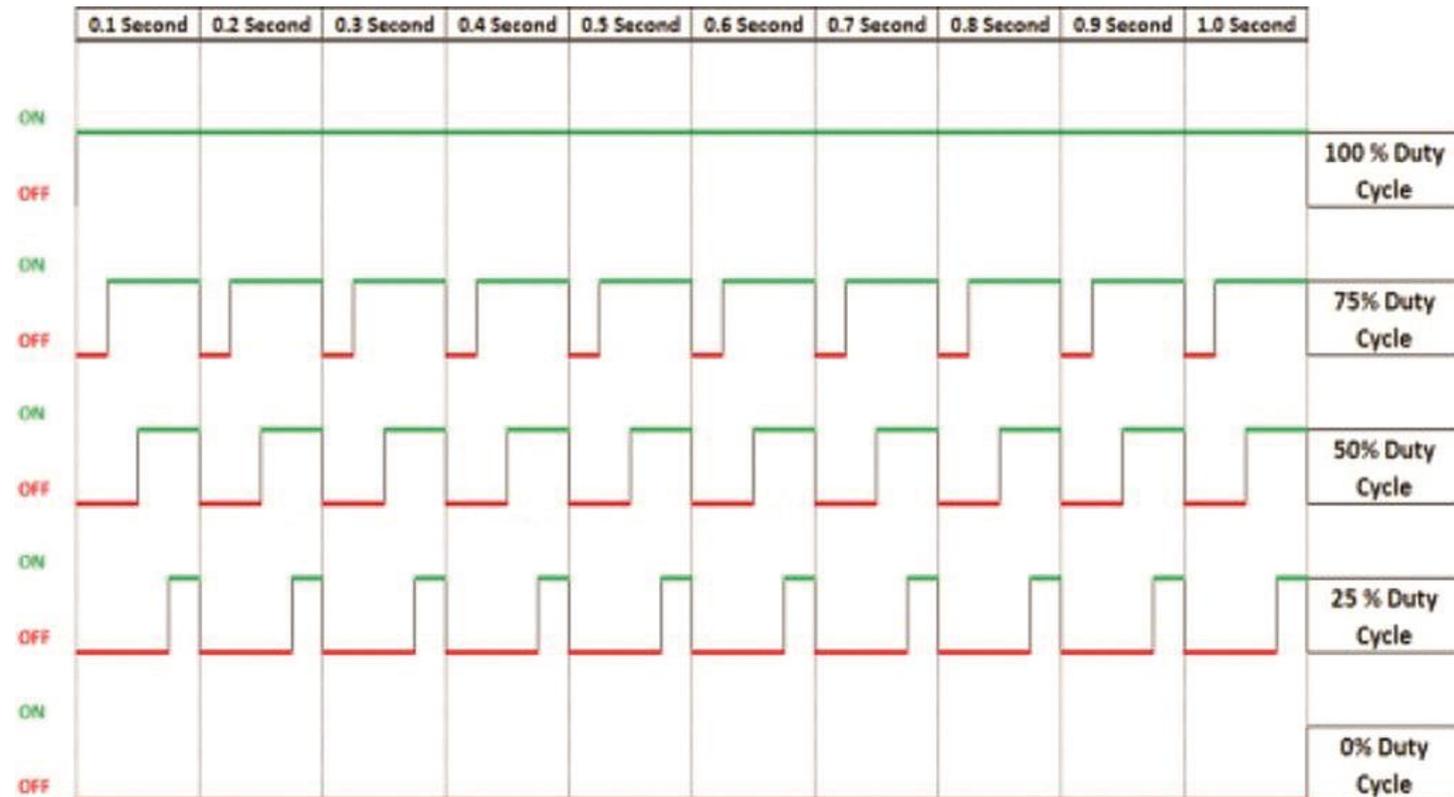
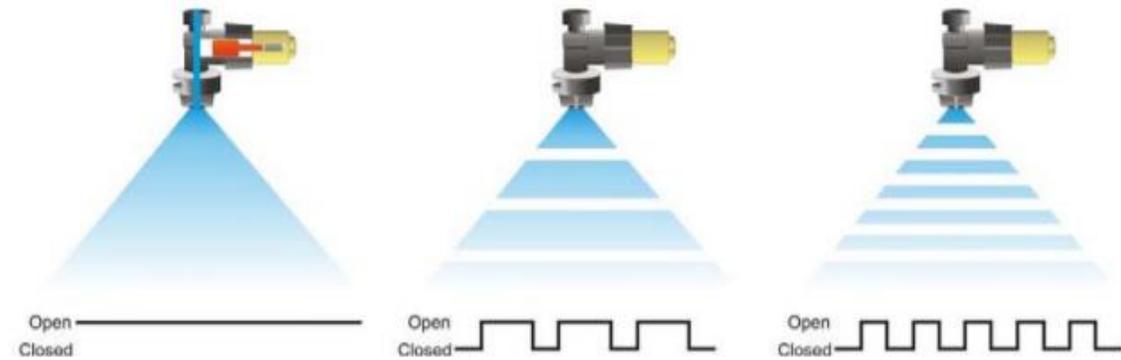
2. Pulse Width Modulation (PWM)



- I PWM controllano la portata degli ugelli determinando delle pulsazioni (gli ugelli vengono aperti/chiusi rapidamente, normalmente a 10Hz)
- Il rapporto tra tempo di apertura e di chiusura viene definito «**duty cycle**» (0-100%)
- Maggiore il duty cycle, maggiore la portata
- **Ciascun ugello è controllabile singolarmente**
- **La portata viene cambiata senza variare la pressione (dimensione gocce costante)**

Principio di funzionamento dei PWM

A **10 Hz** la valvola solenoide chiude l'ugello **10 volte al secondo**. Il tempo di permanenza in posizione «APERTO» determina il cosiddetto «DUTY CYCLE» (DC) o CICLO DI LAVORO.



Fonte: Brian Finstrom, Capstan Ag, Inc.

DC 30%
(30% aperto 70% chiuso)

DC 70%
(70% aperto 30% chiuso)

Alcuni progetti del DISAFA- Università di Torino relativi allo sviluppo di tecnologie avanzate per la distribuzione dei prodotti fitosanitari



EU H2020 – **OPTIMA project**
[GA n. 773718]
<http://optima-h2020.eu/>



Regione Piemonte (Italy) -
NOVIAGRI project [FEASR
2014/2020 - Misura 16 del PSR]



PNRR - Agritech

<https://agritechcenter.it/>

- 🎯 Sviluppo di “smart sprayers” e valutazione della loro efficacia nel ridurre l’USO e il RISCHIO legato all’impiego dei prodotti fitosanitari (rispetto a irroratrici convenzionali)

Smart sprayer 1 – **Controllo del volume d'aria in tempo reale**

Smart sprayer da vigneto



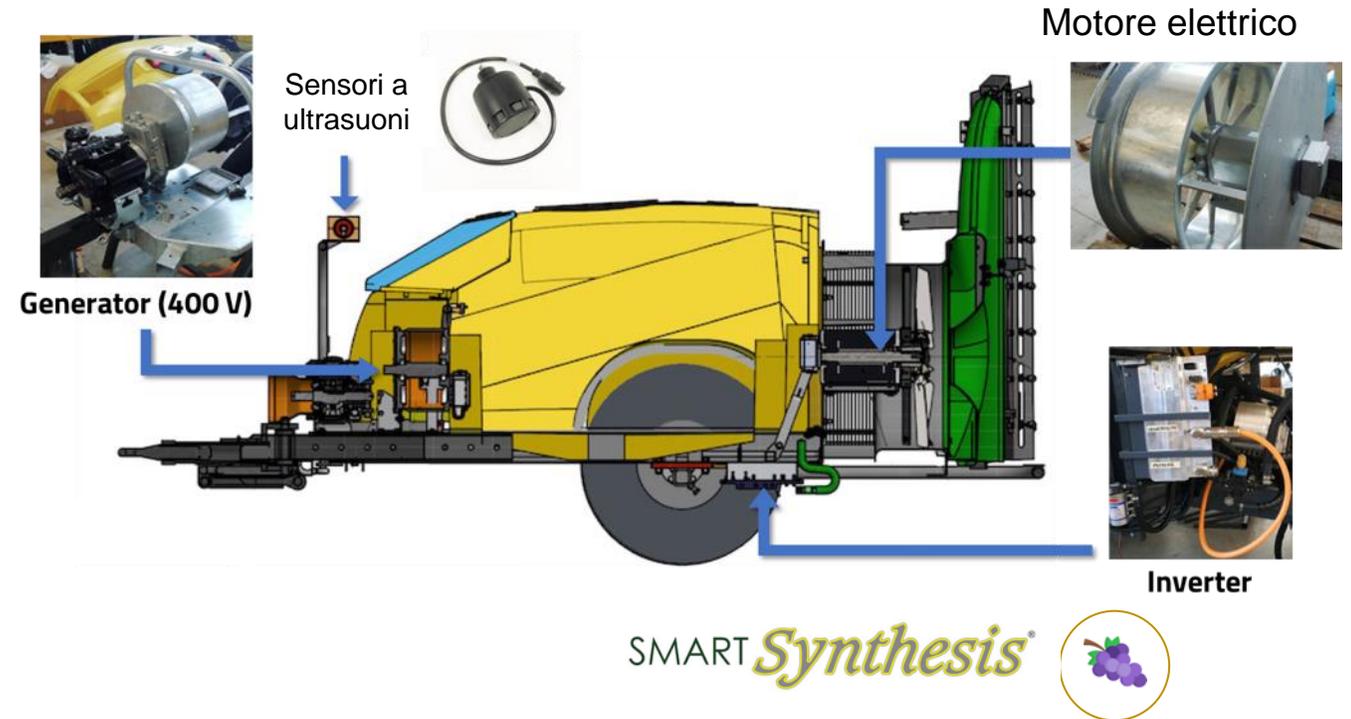
Volume d'aria variabile in funzione della densità della chioma (in real time)



- I. **Ottimizzazione deposito**
- II. **Riduzione perdite**



Eccesso di aria = maggiori perdite fuori bersaglio, inclusa la deriva



Smart sprayer 1 – **Controllo del volume d'aria in tempo reale**

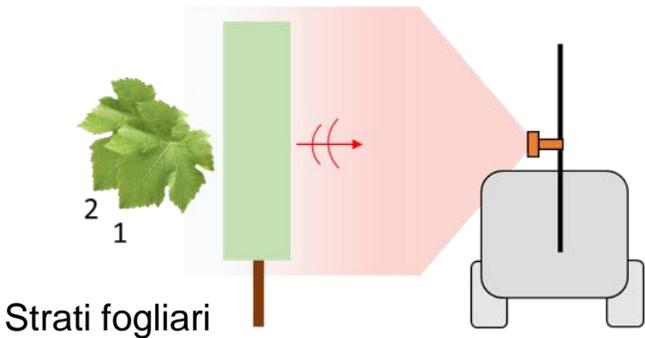
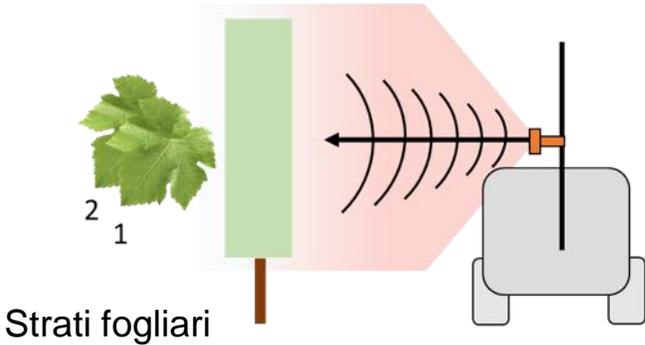
Sensori a ultrasuoni in grado di rilevare più oggetti in una scansione



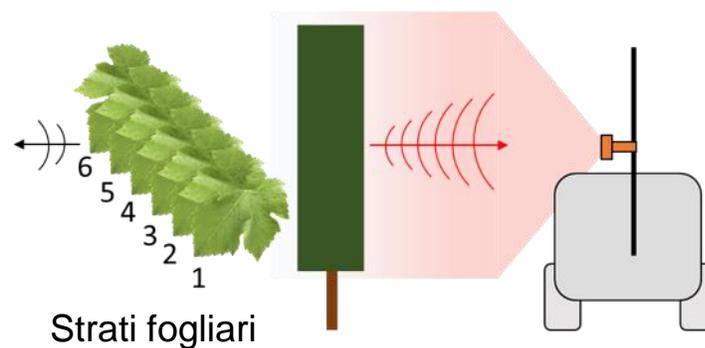
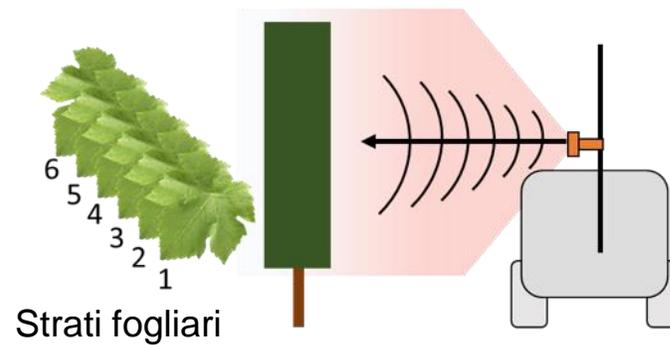
INDICE DI DENSITÀ DELLA CHIOMA



Inizio sviluppo vegetativo

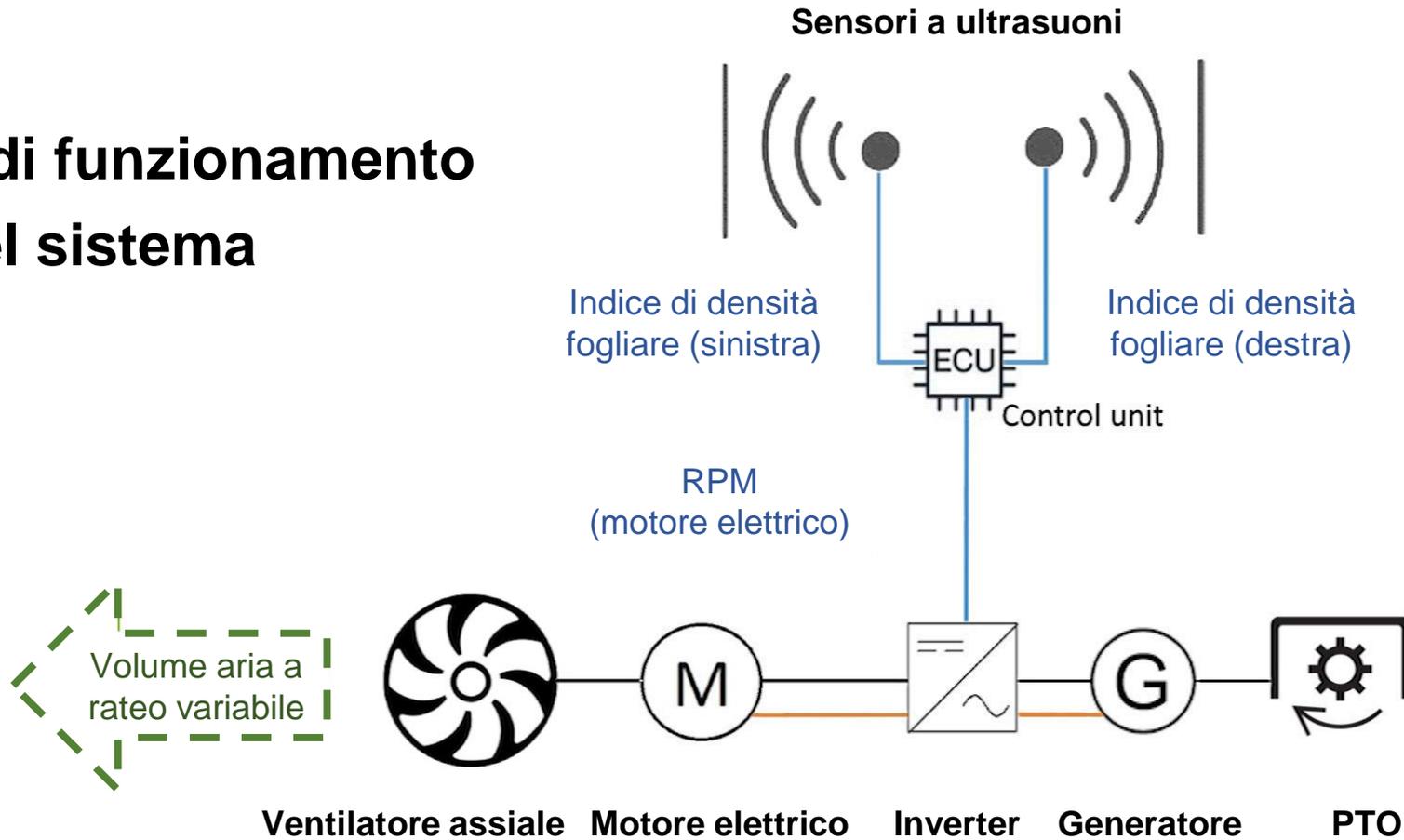


Pieno sviluppo vegetativo



Smart sprayer 1 – **Controllo del volume d'aria in tempo reale**

Principio di funzionamento del sistema



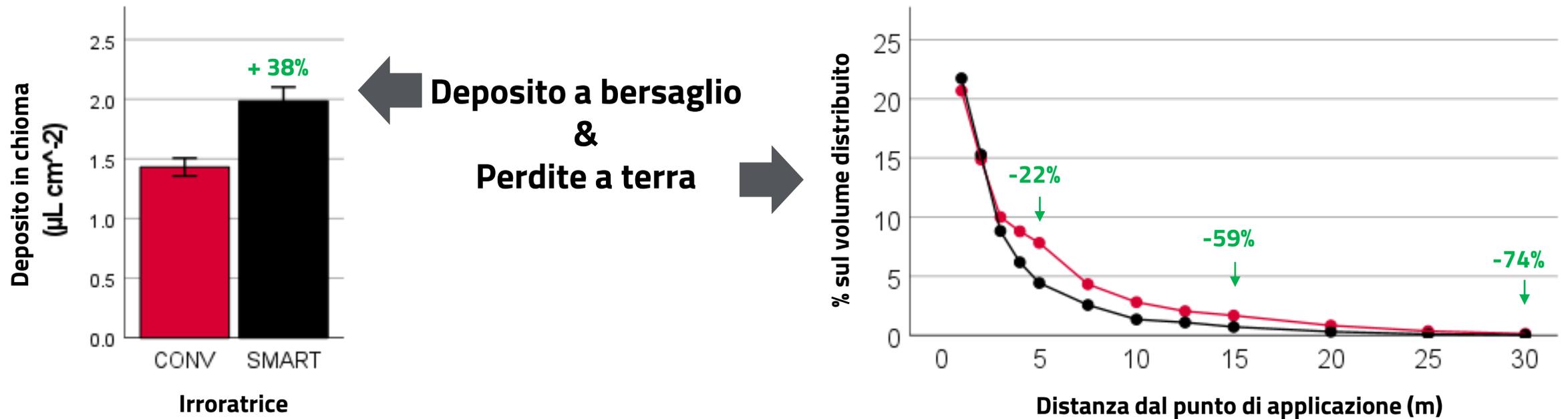
Smart sprayer 1 – **Controllo del volume d'aria in tempo reale**



Smart sprayer 1 – Controllo del volume d'aria in tempo reale

Prove per valutare deposito a bersaglio e perdite a terra

- I. CONVENZIONALE = ventilatore assiale convenzionale a regime di rotazione costante (1600 giri/m)
- II. SMART = ventilatore elettrico con regime di rotazione variabile in funzione della densità della chioma



Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile e controllo direzione aria



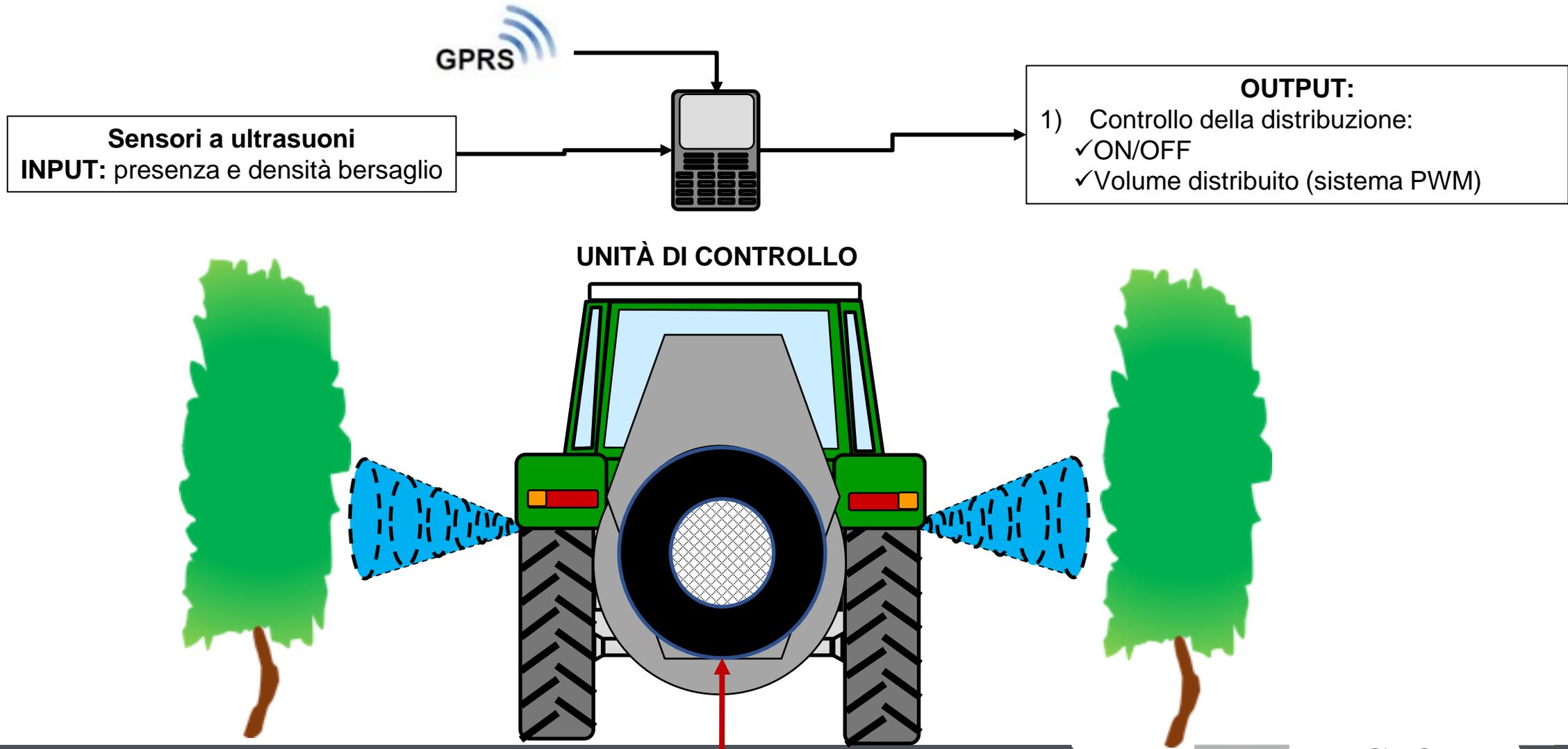
Atomizzatore a torretta Athos T400 P100

- serbatoio 400 l, ventilatore assiale, 7 ugelli per lato
- **Regolazione dell'aria:**
 - **Direzione** (orientamento automatico alette deflettrici)
 - **Volume** (diaframmi di diverso diametro sulla sezione di aspirazione)
- **Regolazione del volume di distribuzione:**
 - In continuo e in tempo reale sulla base della densità della chioma (sensori ultrasuoni + valvole PWM) **real-time VRA**)
- Volume aria, volume di distribuzione e profilo di distribuzione (= numero di ugelli attivi) regolati in funzione di un DSS integrato nell'unità di controllo della macchina irroratrice



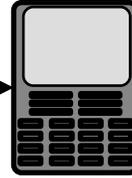
Sensori a ultrasuoni (sul trattore)

Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile e controllo direzione aria

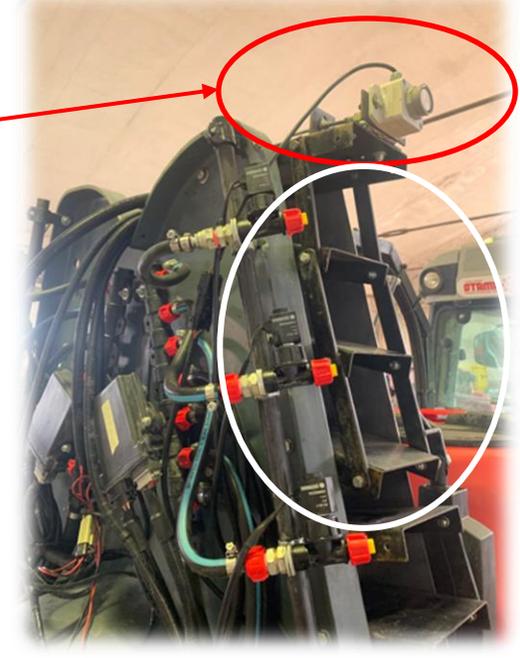
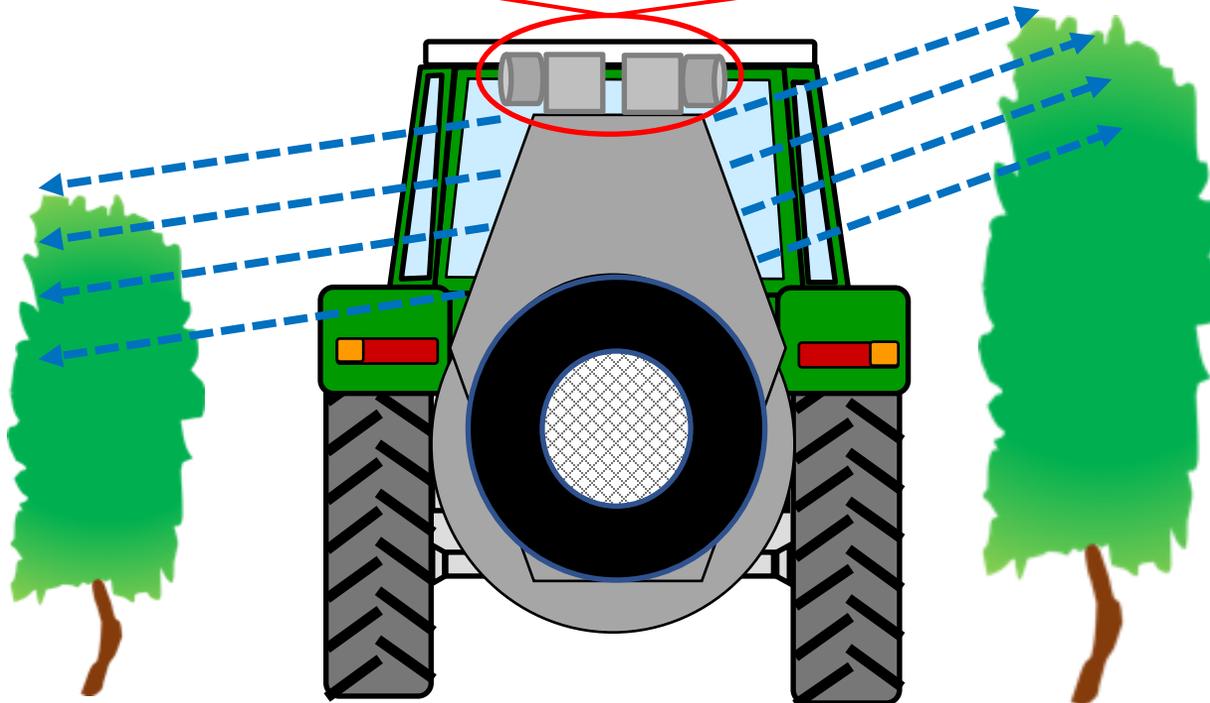


Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile e controllo direzione aria

Sensori di prossimità
INPUT: altezza bersaglio



OUTPUT:
Inclinazione alette deflettrici dell'aria



Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile e controllo direzione aria

Configurazioni provate

	Starting Point	Smart	Full-smart
Tipo di ugelli	XR 80 02	XR 80 02	XR 80 02
N. Ugelli attivi	5+5	5+5	5+5
Pressione (Mpa)	0.5	0.5	0.5
Passaggi tra le file	Tutte le file	Tutte le file	Tutte le file
Velocità di avanzamento (km/h)	4.5	4.5	4.5
Orientamento automatico deflettori	NO	YES	YES
PTO (giri/min)	540	540	540
Diametro aspirazione aria (mm)	700	450	450
Portata ventilatore (m ³ /h)	23,200	13,470	13,470
Distribuzione a rateo variabile	NO	NO	YES
(a) Duty cycle PWM (%)	70	70	variable ^a
Volume di distribuzione target (l/ha)	385	385	385
(b) Volume di distribuzione reale (l/ha)	383	387	102

(a) variato in tempo reale in funzione della presenza/assenza della chioma e della sua densità rilevata tramite sensori a ultrasuoni

(b) Calcolato a posteriori

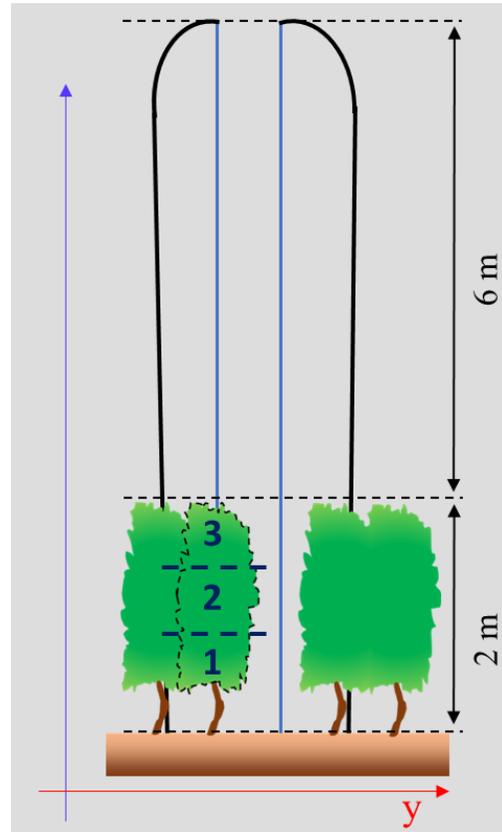
Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile e controllo direzione aria

Layout delle prove

5 punti di campionamento



In ogni punto di campionamento



Parametri misurati:

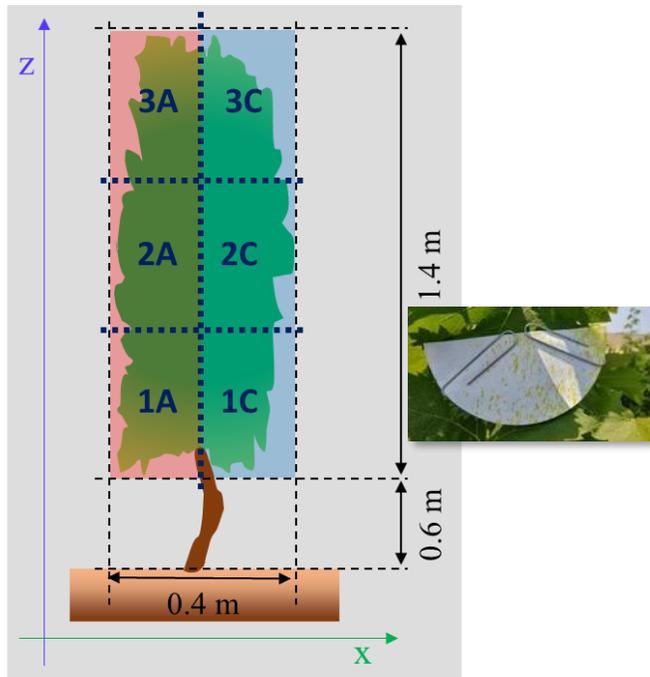
- *Deposito in chioma*
- *Deriva aerea (sopra la chioma)*
- *Deriva aerea (tra le viti o in corrispondenza di fallanze)*
- *Perdite a terra (due posizioni)*



Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile e controllo direzione aria

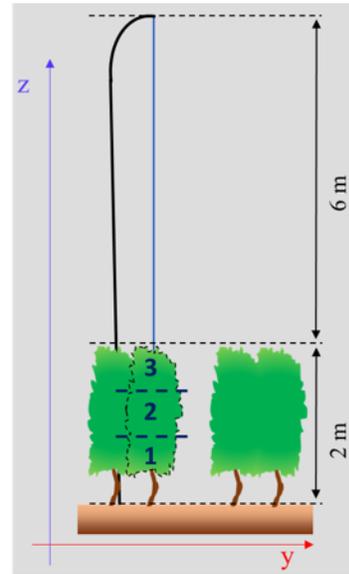
Sistema di campionamento

▪ Deposito in chioma

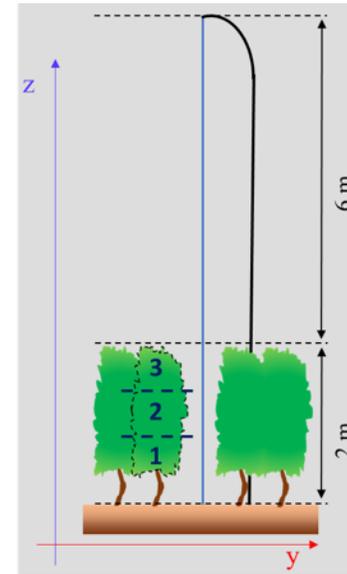


▪ Deriva aerea

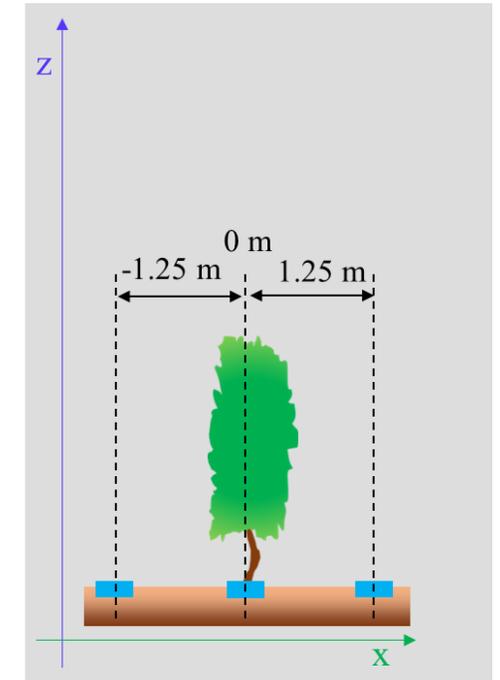
- Sopra la chioma



- Tra le piante



▪ Perdite a terra



- 2 profondità x 3 altezze x 2 lati foglie
- Filtri carta fissati sulle due pagine fogliari

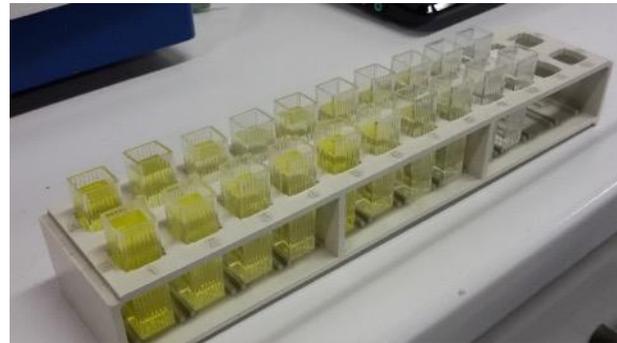
- Fili di polietilene (lunghezza 6 m e 8 m)
- Linee campionate ogni metro

Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile e controllo direzione aria

Soluzione di acqua e tartrazina (E102) utilizzata come miscela di distribuzione



Lavaggio filtri con acqua deionizzata per estrarre il colorante



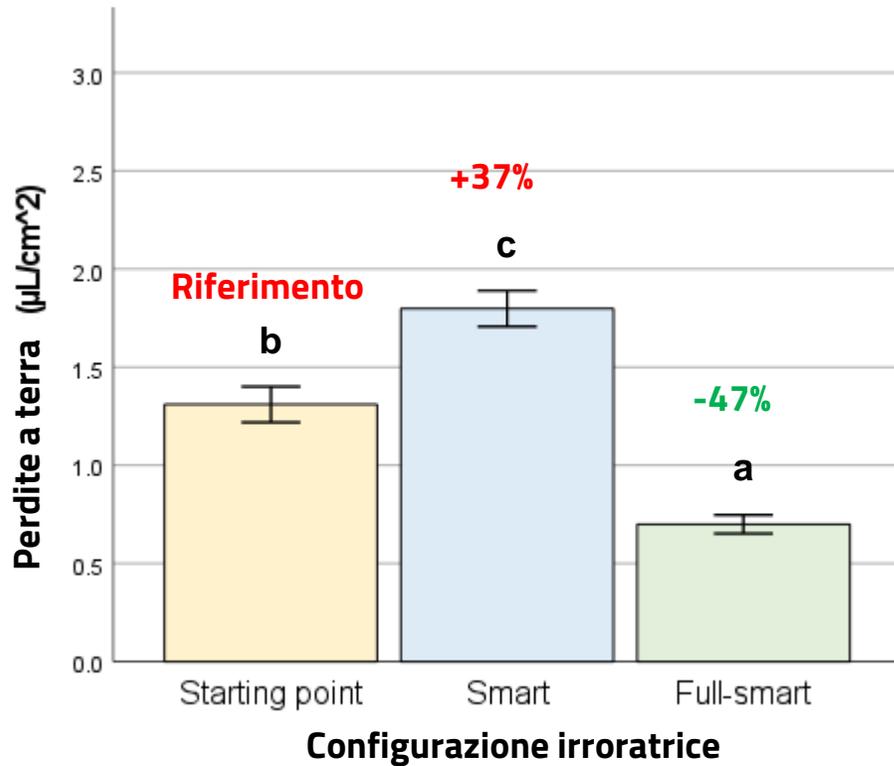
Determinazione della concentrazione del colorante per via spettrofotometrica



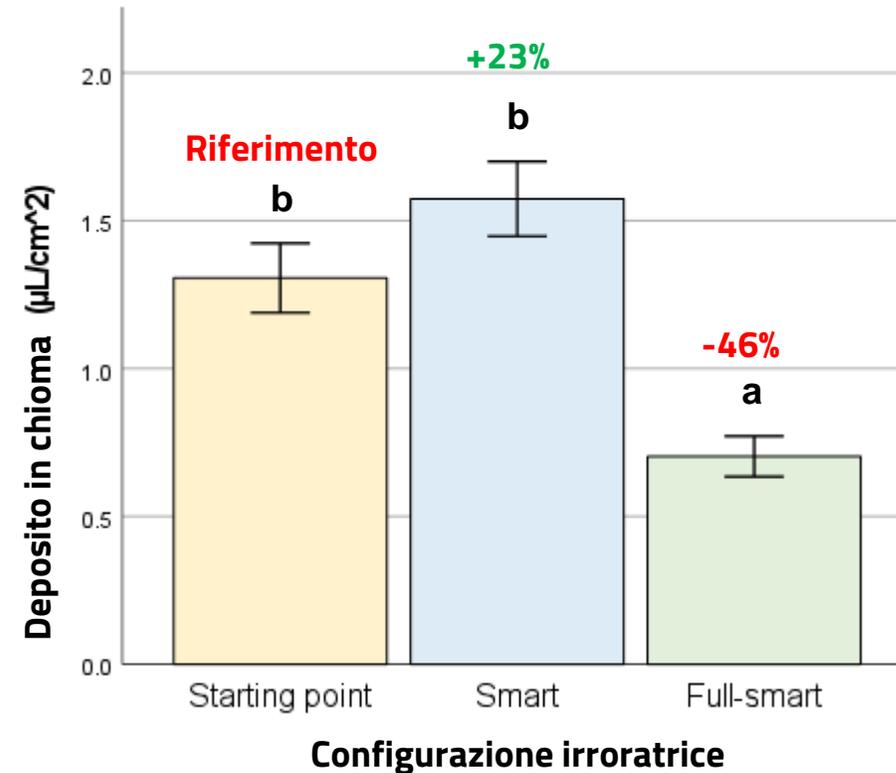
- Deposito [$\mu\text{l cm}^{-2}$]
- Perdite per deriva [$\mu\text{l cm}^{-2}$]
- Deposito a terra [$\mu\text{l cm}^{-2}$]

Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile (deposito a bersaglio e perdite)

Perdite a terra



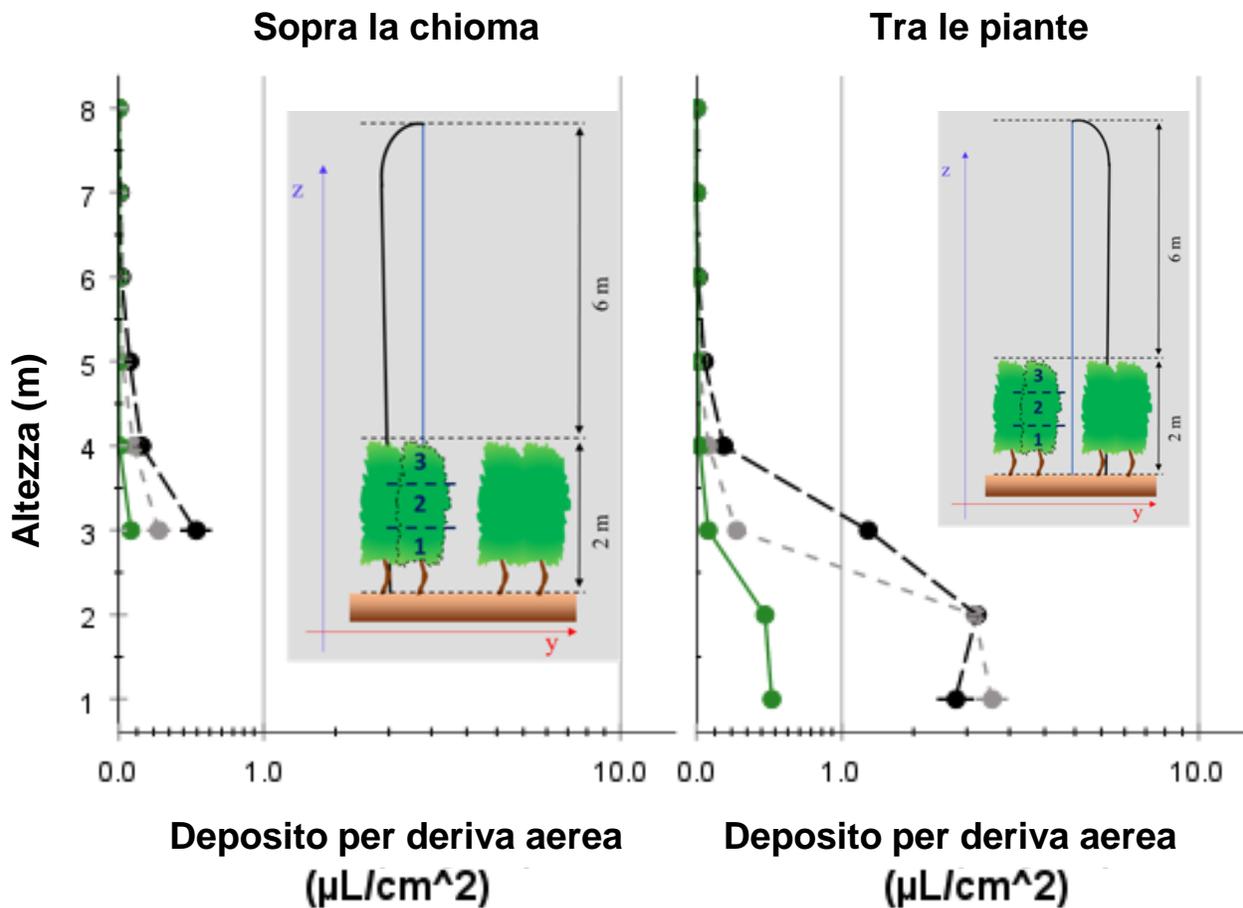
Deposito sul bersaglio



FULL-SMART: riduzione del volume distribuito pari al 73% (102 vs. 385 l/ha), ma deposito ridotto solo del 46%

Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile (deposito a bersaglio e perdite)

Perdite per deriva aerea



Configurazione irroratrice

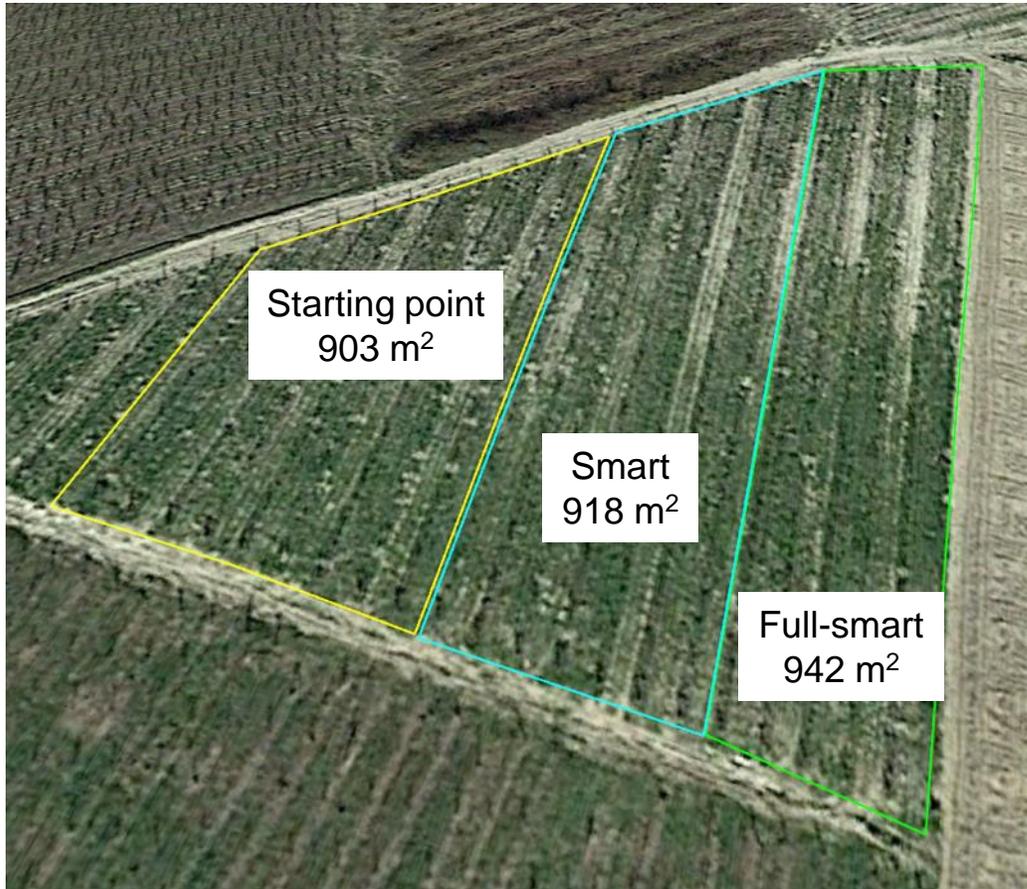
-  Starting point
-  Smart
-  Full-smart

Starting point (riferimento)
 Smart -52%
 Full-smart -90 %

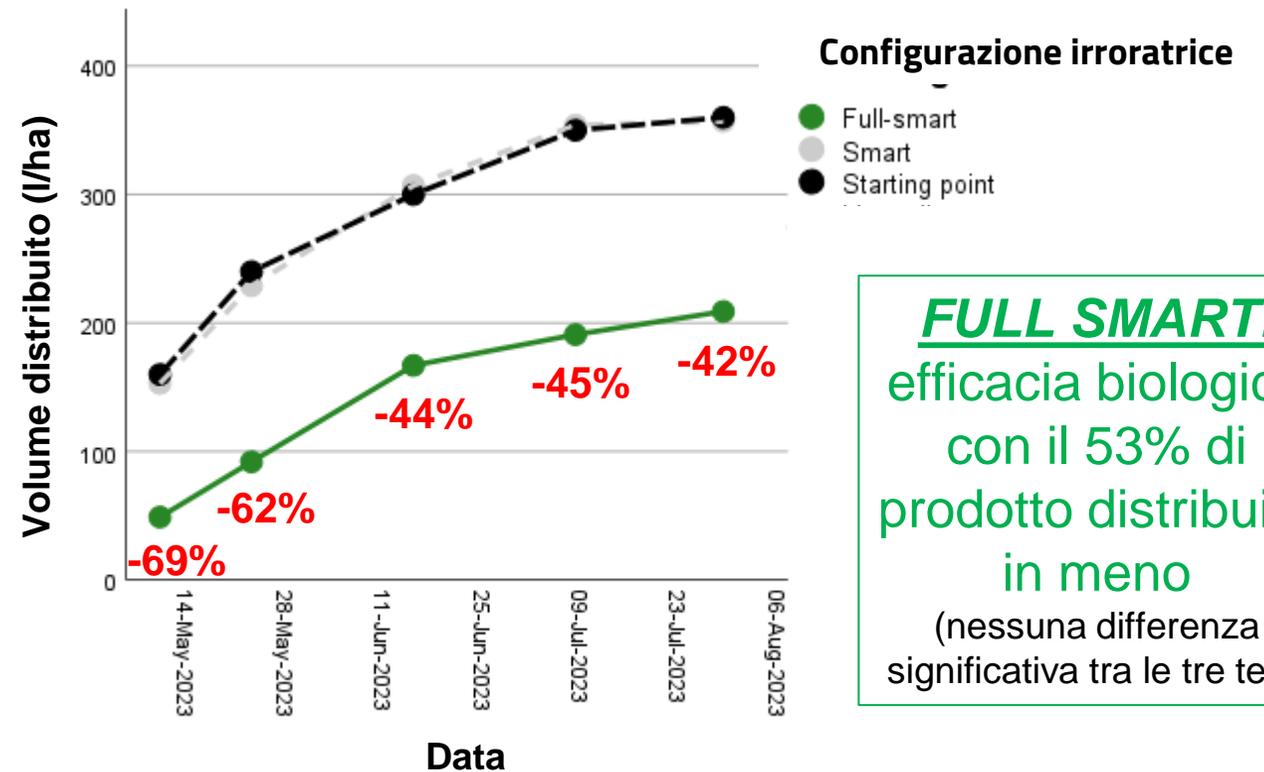
Starting point (reference)
 Smart -8 %
 Full-smart -87 %

Smart sprayer 2 – Distribuzione a rateo variabile (deposito a bersaglio e perdite)

Utilizzo della macchina nelle 3 configurazioni in condizioni operative reali



Cinque trattamenti secondo il piano di difesa dell'agricoltore (tempi di intervento e prodotti fitosanitari)

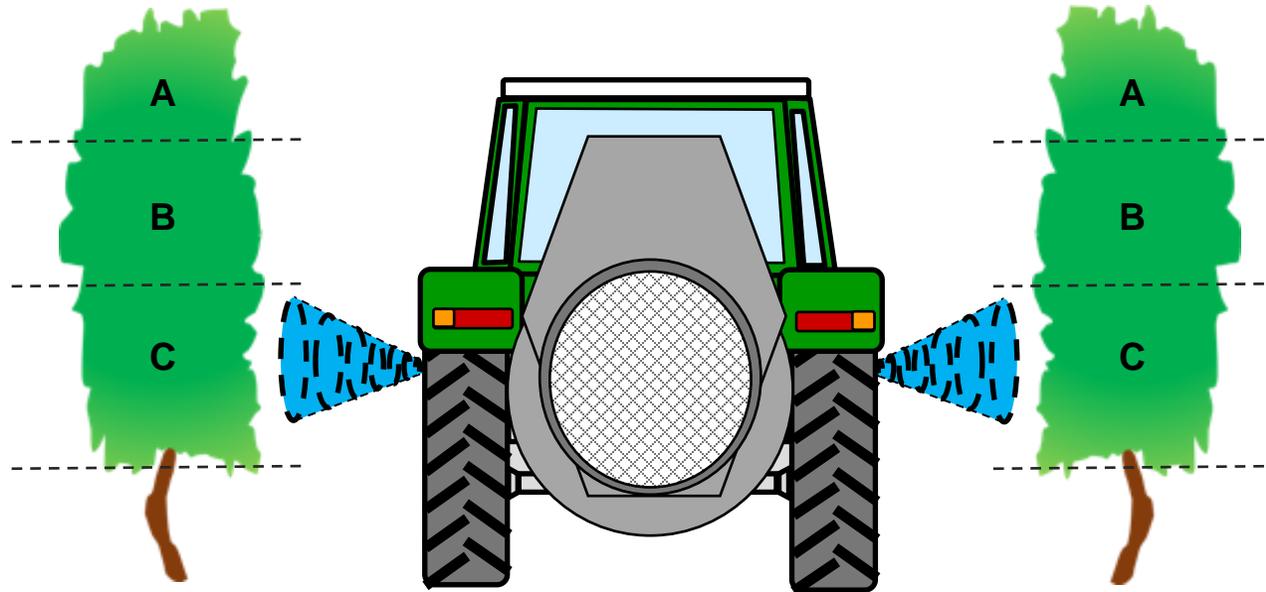


FULL SMART:
 efficacia biologica
 con il 53% di
 prodotto distribuito
 in meno
 (nessuna differenza
 significativa tra le tre tesi)

Smart sprayer 3 – **Distribuzione a rateo variabile**

IL LIMITE DEI SENSORI A ULTRASUONI UTILIZZATI

La porzione di chioma “letta” dai sensori è ridotta
la distribuzione a rateo variabile viene modulata dal sistema assumendo che tutta la chioma (A+B+C) abbia le medesime caratteristiche della porzione rilevata



Smart sprayer 3 – Distribuzione a rateo variabile (la macchina Agritech)



Diaframmi per la
regolazione del volume
di aria in aspirazione

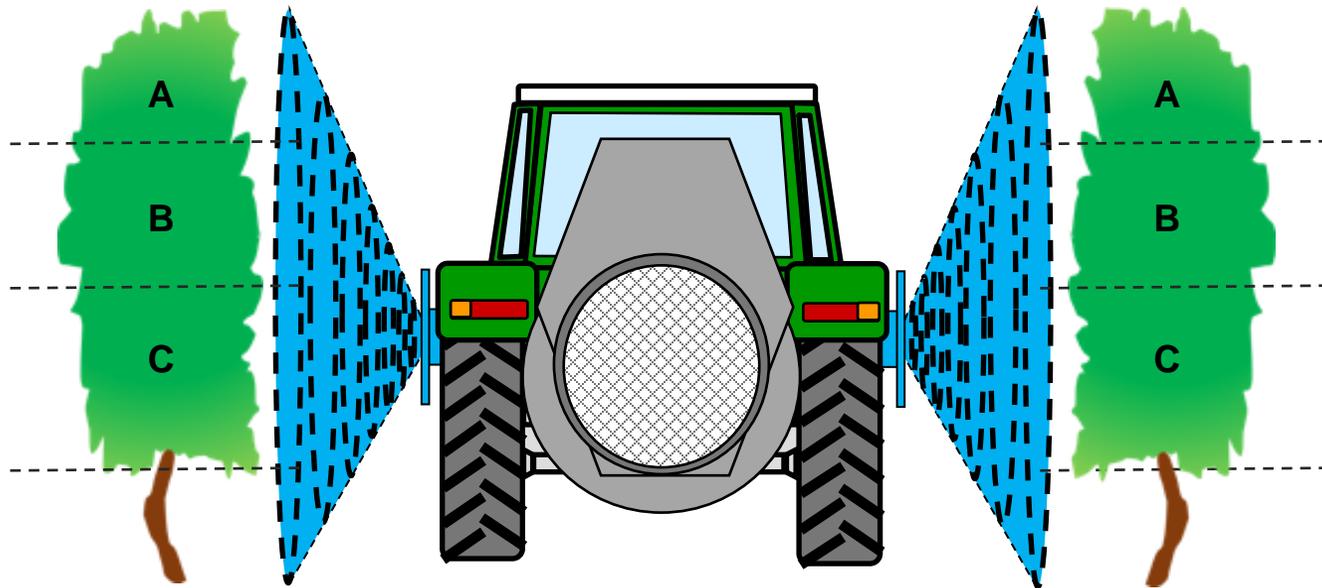
Ugelli con valvole solenoidi (PWM) +
alette deflettrici regolabili



Stereocamera
montata frontalmente
al trattore

Smart sprayer 3 – Distribuzione a rateo variabile (la macchina Agritech)

Tramite l'utilizzo di una stereocamera è possibile rilevare le caratteristiche delle diverse porzioni di chioma e ottenere un controllo "nozzle by nozzle" della distribuzione

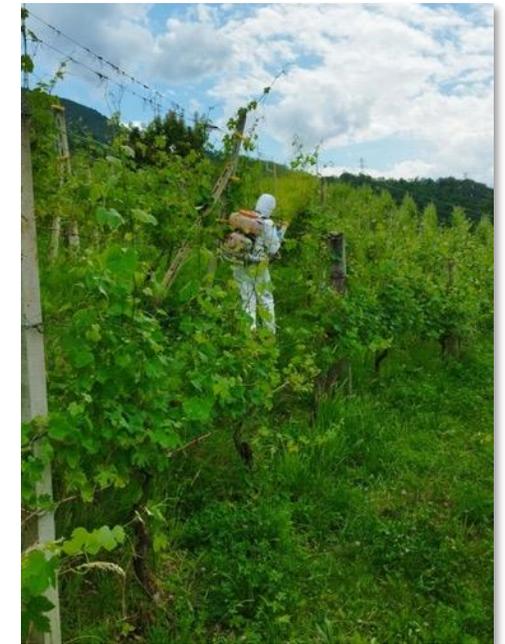


Viticultura eroica

“L’agricoltura viene definite eroica quando praticata in condizioni estreme dal punto di vista climatico, geomorfologico e geografico” (Tarolli et al., 2023)

Aree agricole ad elevata pendenza (>30%) sono presenti in molti areali europei e nazionali.

In Italia, la viticultura eroica interessa circa il 5% della SAU (in Piemonte circa 3500 ha ricadono in questa categoria)



Viticoltura eroica

Principali problematiche in questi contesti

- Benessere dell'operatore
- Sicurezza dell'operatore (rischio)
 - Rischi di ribaltamento/inaccessibilità
 - Esposizione agli agrofarmaci
- Tempi necessari per i trattamenti
- Elevata richiesta di manodopera → costi



Viticultura eroica



I viticoltori cercano soluzioni alternative per scenari complessi come, ad esempio, quelli della viticultura eroica

Viticultura eroica – sistemi alternativi per la distribuzione dei prodotti fitosanitari

Sistemi di distribuzione aerea (droni)



Sistemi a punto fisso (FSDS)



Viticultura eroica – sistemi alternativi per la distribuzione dei prodotti fitosanitari

Sistemi a punto fisso (FSDS)

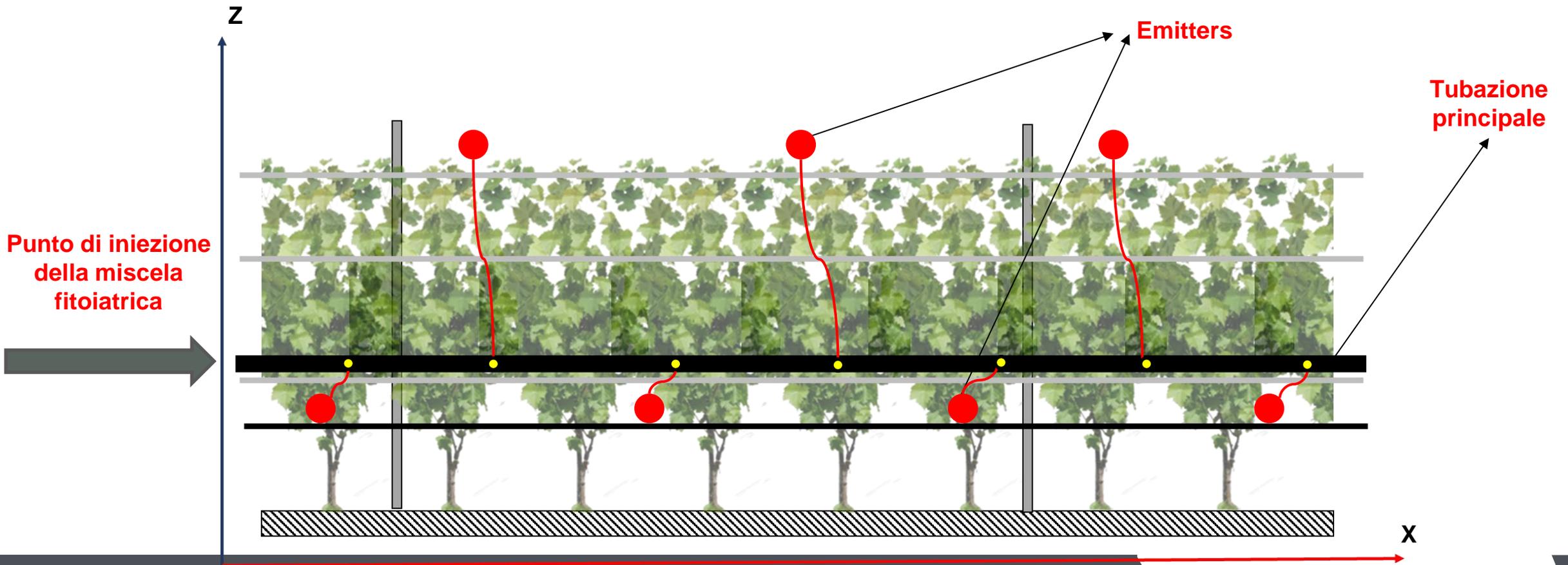
- Sistemi polifunzionali:
 - Irrigazione, antibrina...
- Rendono possibile la distribuzione in scenari complessi come quelli della viticoltura eroica
- **Aumento del benessere dell'operatore** (minore stress e affaticamento)
 - Distribuzione potenzialmente completamente automatizzabile
 - **Sicurezza dell'operatore** (no esposizione)
- **Nessun compattamento del suolo**
- Possibile distribuzione dei prodotti fitosanitari in tempi ridotti (15'/ha) e anche in condizioni di inaccessibilità dei terreni (es. dopo forti piogge)



Viticultura eroica – sistemi alternativi per la distribuzione dei prodotti fitosanitari

Sistemi a punto fisso (FSDS)

Sono sistemi di irrigazione modificati che consistono in una serie di “emitters” e tubazioni installate in vigneto/frutteto che vengono connesse a un sistema di iniezione della miscela fitosanitaria (installato al di fuori dei filari)



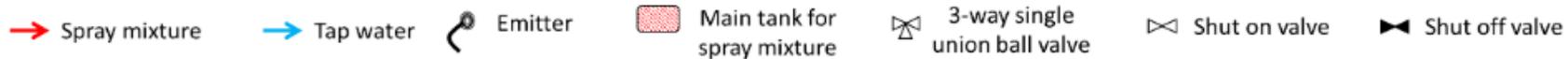
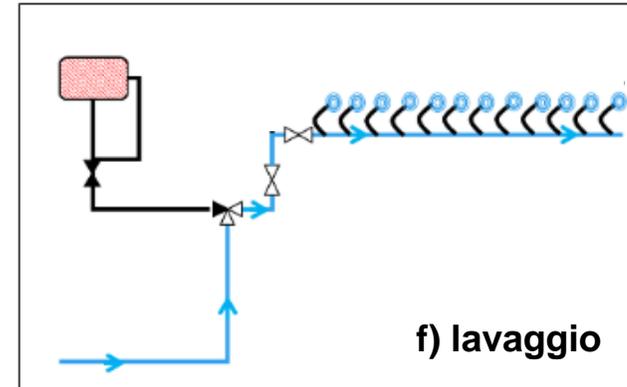
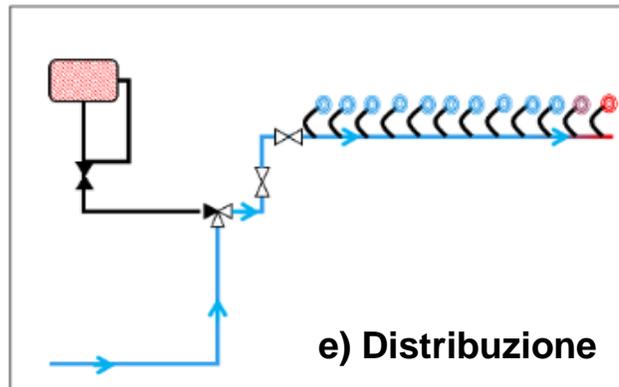
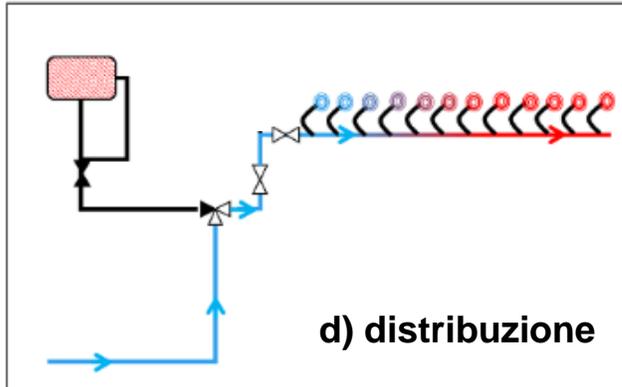
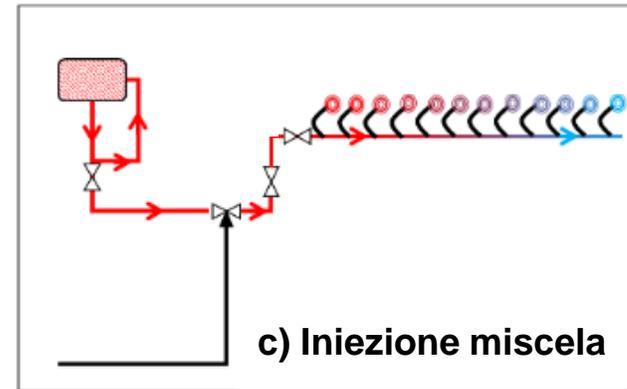
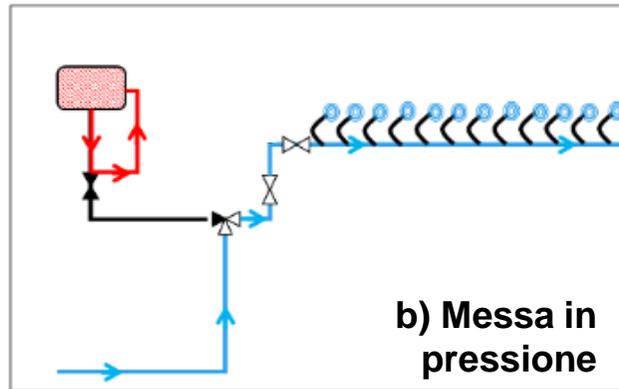
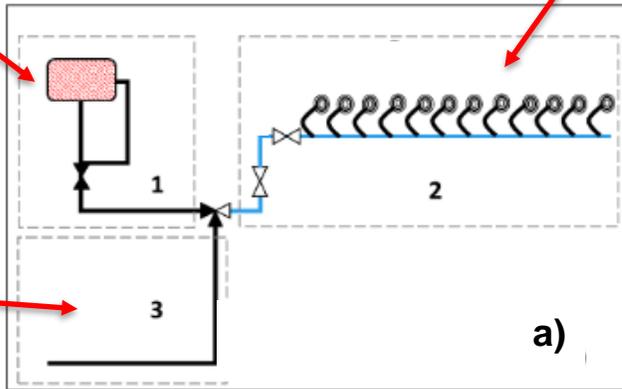
Viticoltura eroica – sistemi alternativi per la distribuzione dei prodotti fitosanitari

Sistemi a punto fisso (FSDS)

Sistema di iniezione
della miscela fitoiatrice

Emitters

Acqua da
pozzo/acquedotto



Viticoltura eroica – sistemi alternativi per la distribuzione dei prodotti fitosanitari

Sistemi a punto fisso (FSDS)

Prototipo di Sistema a punto fisso per vigneto



PRO:

- Tempi di trattamento ridotti
- Polivalenza del sistema
- L'agricoltore si slega dalle condizioni meteo/di umidità del terreno
- Ottima uniformità di distribuzione tra gli emitters lungo la linea
- Lavaggio della linea efficiente (99.7%)
- No residui di miscela fitoiatrice da gestire

CONTRO:

- Copertura e deposito
- Penetrazione
 - Prodotti sistemici?
- Wash-off del prodotto durante il lavaggio
- Consumi di acqua

Viticoltura eroica – sistemi alternativi per la distribuzione dei prodotti fitosanitari

Sistemi a punto fisso (FSDS)

Prove attualmente in corso con il prototipo di sistema a punto fisso (FSDS vs atomizzatore convenzionale):

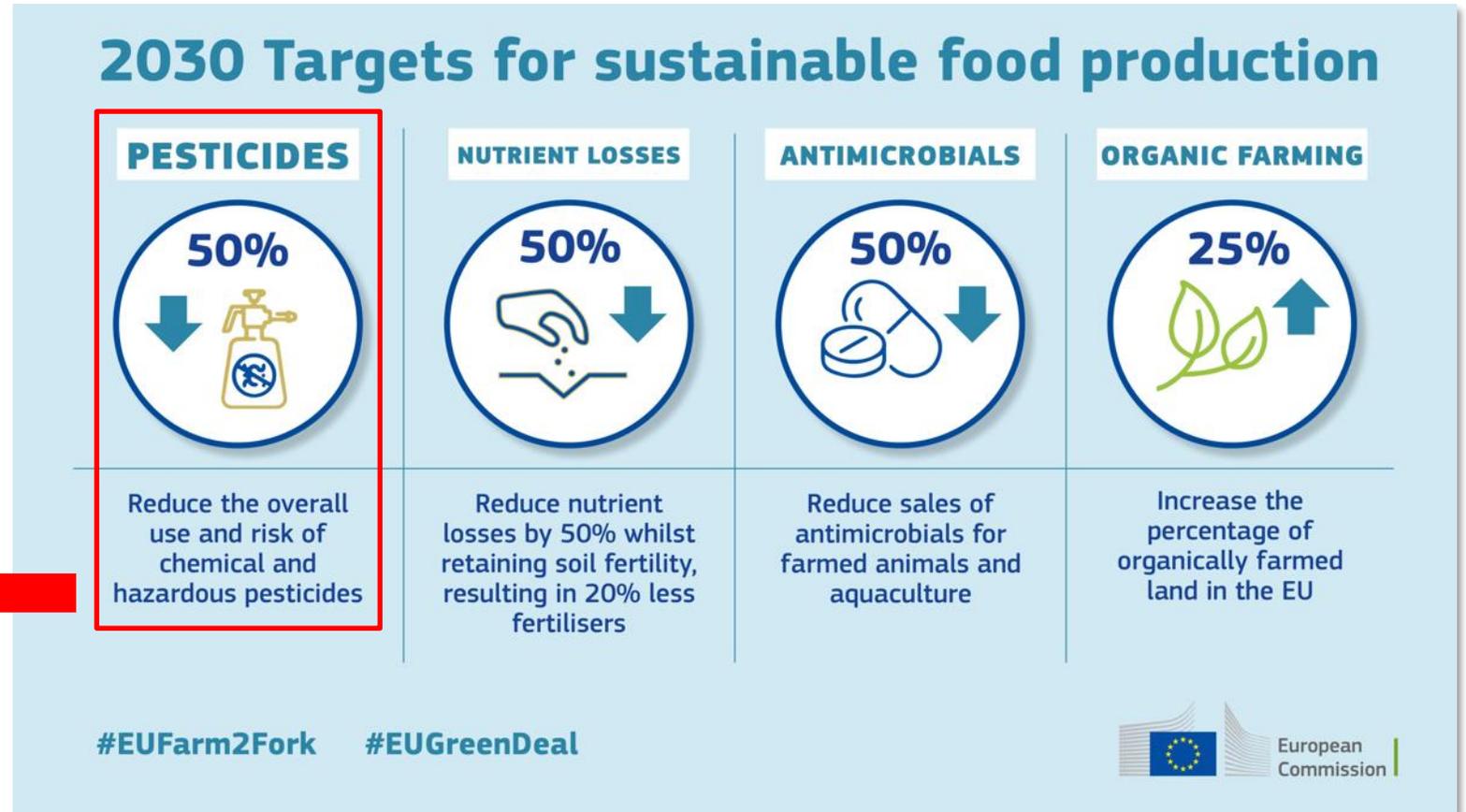
- Efficacia biologica
- Deriva
- Esposizione operatori e astanti



In conclusione

Le nuove tecnologie possono contribuire alla riduzione dell'uso dei prodotti fitosanitari e ai rischi correlati?

Sicuramente sì, sono da considerarsi un fattore chiave nell'ottica del raggiungimento degli obiettivi di riduzione fissati dall'UE



È anche probabile che giochino un ruolo chiave nell'impiego di prodotti alternativi (es. sulla vitalità degli Agenti di Biocontrollo → prove in Corso presso il DiSAFA)

Un ringraziamento a:





UNIVERSITÀ
DI TORINO



Grazie per l'attenzione

fabrizio.gioelli@unito.it