

unibz Fakultät für Naturwissenschaften und Technik
Facoltà di Scienze e Tecnologie
Faculty of Science and Technology

LA MECCANICA AGRARIA OGGI

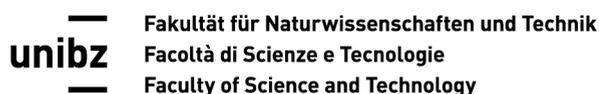
**UN CONFRONTO APERTO SU CONCETTI
IDEE E ASPETTATIVE DI UNA DISCIPLINA IN CONTINUA EVOLUZIONE**

a cura di Marco Bietresato e Fabrizio Mazzetto

Atti dell'omonimo convegno tenutosi
presso la libera Università di Bolzano e il NOI-Techpark
Bolzano, 23-24 novembre 2017

cleup

Pubblicazione realizzata con il contributo di



Curatori

- Marco BIETRESATO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie

Comitato scientifico

- Paolo BALSARI, Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari
- Raffaele CAVALLI, Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali
- Giovanni Carlo DI RENZO, Università degli Studi della Basilicata, Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari ed Ambientali
- Andreas GRONAUER, Universität für Bodenkultur Wien, Department of Sustainable Agricultural Systems
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Giovanni MOLARI, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari
- Danilo MONARCA, Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali
- Gianfranco PERGHER, Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali
- Felice PIPITONE, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento Scienze Agrarie e Forestali
- Giuseppe ZIMBALATTI, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Agraria

Comitato organizzativo

- Marco BIETRESATO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Raimondo GALLO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie
- Fabrizio MAZZETTO, Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie

DOI: 10.23737/MECCANICA_AGRARIA_OGGI.HTML
https://doi.org/10.23737/MECCANICA_AGRARIA_OGGI.HTML

Prima edizione: luglio 2018

ISBN 978 88 6787 947 2

© 2018 CLEUP SC

“Coop. Libreria Editrice Università di Padova”
via G. Belzoni 118/3 – Padova (t. +39 049 8753496)
www.cleup.it
www.facebook.com/cleup

Tutti i diritti di traduzione, riproduzione e adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo (comprese le copie fotostatiche e i microfilm) sono riservati.

In copertina: disegno di Giovanna Bampa e Ian Carta, Ufficio Stampa ed Organizzazione Eventi, Libera Università di Bolzano.



Analisi tecnico-economica di cantieri per la difesa delle colture con tecnologie a diverso grado di innovazione

Aldo CALCANTE¹, Emanuele TONA¹, Roberto OBERTI¹

¹ Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Via Celoria 2, I-20133 Milano.

Sommario

Nel presente studio è stata condotta un'analisi tecnico-economica su tre cantieri a diverso grado di innovazione per la distribuzione di agrofarmaci su colture specializzate, a partire da dati scientifici presenti in letteratura. In particolare, il lavoro si è concentrato sull'applicazione di fungicidi in vigneto e in meleto nel contesto del centro-sud europeo. L'analisi ha permesso di confrontare i costi totali legati ai trattamenti (ovvero comprendenti costi per macchine e agrofarmaci) tra: a) un cantiere trattore-atomizzatore convenzionale (L0), b) un cantiere con atomizzatore in grado di realizzare una distribuzione on-off in funzione della presenza o meno della parete vegetale (L1), e c) un cantiere con atomizzatore a distribuzione variabile in funzione della densità della chioma (L2). Adottando i cantieri L1 e L2 è stato osservato un risparmio in agrofarmaci compreso tra il 10 e il 35% rispettivamente. In particolare, su vigneto l'adozione del cantiere L1 è risultata conveniente già per superfici comprese tra 10 e 100 ha mentre, oltre i 100 ha, è apparso più conveniente il cantiere L2. In meleto, L1 è risultato conveniente per superfici aziendali superiori a 17 ha, mentre la configurazione L2 non è apparsa mai la soluzione più sostenibile dal punto di vista economico.

Infine, in vista di un possibile scenario futuribile, è stato valutato l'impiego di una piattaforma robotizzata completamente autonoma in grado di effettuare distribuzioni mirate sui focolai di malattia. L'analisi ha dimostrato che il valore a nuovo del robot, stabilito a partire dal risparmio ottenibile grazie alla minore quantità di agrofarmaci distribuiti e alla minore richiesta di manodopera necessaria rispetto ai cantieri L0 e L2, non appare ad oggi realistico considerando gli attuali costi di produzione.

Parole chiave: automazione; distribuzione agrofarmaci; agricoltura di precisione; analisi tecnico-economica.

1. Introduzione

I prodotti per la protezione delle piante giocano un ruolo cruciale nella sicurezza alimentare, soprattutto laddove sono presenti forme di agricoltura intensiva. D'altra parte sia il semplice utilizzo, sia l'uso improprio degli agrofarmaci rappresentano una delle principali preoccupazioni dell'opinione pubblica riguardo l'impatto delle tecniche colturali sulla qualità del cibo e sull'ambiente. Per questi motivi, la riduzione di agrofarmaci è ad oggi uno dei principali obiettivi del legislatore per aumentare la sostenibilità del settore agricolo, tanto che nel

2009 il Parlamento Europeo e il Consiglio hanno emanato la Direttiva 2009/128/EC, che impone l'adozione di strategie per ridurre la dipendenza dell'agricoltura europea dall'uso di agrofarmaci.

Questo obiettivo può essere conseguito adottando diversi approcci, che includono le rotazioni e le tecniche colturali, l'uso di varietà resistenti, la lotta integrata ecc. (Pertot et al., 2017; Walker et al., 2017). Un importante contributo al tema può essere fornito dal miglioramento tecnologico delle macchine impiegate per la distribuzione degli agrofarmaci, in particolare implementando sistemi per la distribuzione di precisione secondo la logica a dose variabile in funzione delle esigenze sito-specifiche della coltura, al posto della tradizionale copertura uniforme a dose fissa comunemente adottata.

1.1 Analisi economica della distribuzione di precisione degli agrofarmaci: studio bibliografico

L'analisi economica riguardante l'adozione di tecnologie di precisione per la distribuzione di agrofarmaci si è finora limitata allo studio di macchine per la protezione delle colture di pieno campo, con particolare riguardo alla distribuzione mirata di erbicidi e alla riduzione dei sovradosaggi in capezzagne o su campi irregolari.

Nel 1998 Bennett e Pannell hanno verificato la potenziale convenienza di un sistema on-off per la distribuzione di erbicidi (glifosate) in pre-emergenza, su 1000 ha coltivati a frumento nell'Ovest dell'Australia. Gli autori hanno calcolato che l'investimento per le macchine, nonostante il risparmio in erbicidi, risultava sostenibile solo in corrispondenza di una elevatissima densità di malerbe. Essi conclusero che, per lo scenario considerato, i costi per la tecnologia erano troppo alti per poter essere compensati dal potenziale risparmio di agrofarmaco.

Batte e Ehsani (2006) hanno comparato i costi totali di una irroratrice convenzionale per colture di pieno campo equipaggiata con schiumogeno, con il costo di una irroratrice dotata di sistema di guida GPS-RTK e di controllo del singolo ugello. Gli autori hanno analizzato i potenziali benefici della tecnologia di precisione calcolando i risparmi (agrofarmaci, tempo e combustibile) legati soprattutto alle minori sovrapposizioni ottenibili grazie al sistema DGPS ad alta accuratezza.

Con una analoga impostazione, Larson et al. (2016) hanno analizzato la convenienza di un sistema a controllo automatico degli ugelli applicato ad un'irroratrice da 24 m di fronte di lavoro e utilizzata su appezzamenti diversi per forme e dimensioni coltivati a cotone. Gli autori notarono che il rapporto perimetro/area (P/A) poteva essere un utile indicatore per valutare la bontà dell'investimento. Essi stimarono, infatti, che per aziende con $P/A = 0.01$ l'investimento non appariva conveniente, al contrario per aziende con $P/A > 0.02$

Esau et al. (2016) hanno calcolato i costi di un'irroratrice dotata di tecnologia per la distribuzione di precisione impiegata in aziende produttrici di mirtili. Gli autori hanno confrontato una irroratrice convenzionale con schiumogeno e barra da 13,7 m con una analoga, ma equipaggiata con sistema di guida ad alta accuratezza e controllo di ogni singolo ugello in grado di consentire una distribuzione regolabile in funzione dello stato della coltura. Per quest'ultima soluzione venne osservata una riduzione dei costi di trattamento pari al 44% rispetto al sistema convenzionale.

Le analisi economiche presenti in letteratura non si sono mai occupate di tecnologie di precisione impiegate per la protezione delle colture specializzate allevate su filare. Tuttavia, dai lavori di ricerca menzionati, si può trarre la conclusione generale che i principali fattori che possono influenzare la loro possibile convenienza rispetto ai cantieri tradizionali sono: a) i costi di investimento della tecnologia, b) la quantità e il valore degli input risparmiati per unità di superficie, e c) la dimensione aziendale.

1.2 Obiettivi dello studio

Partendo dai risultati presenti in bibliografia riguardanti le prestazioni tecnico-operative di macchine per la distribuzione di precisione su colture specializzate, nel presente lavoro è stata condotta un'analisi tecnico-economica su tre cantieri a crescente grado di innovazione capaci di ridurre la quantità di agrofarmaci

distribuiti. Tale riduzione è legata alla possibilità di disporre di sistemi di distribuzione in grado di effettuare trattamenti sempre più mirati senza ridurre – nel contempo – l'efficacia biologica del trattamento, generando quindi un potenziale costo-beneficio per l'imprenditore agricolo. La valutazione di tale convenienza è, pertanto, un importante fattore di scelta in vista della loro adozione nel caso di colture specializzate. Questo studio, quindi, si propone di: (a) valutare i costi totali associati ai cantieri di trattamento ai diversi livelli tecnologici considerati, e (b) valutare in quali condizioni operative le macchine a maggiore livello tecnologico possono risultare più redditizie rispetto ai classici atomizzatori convenzionali.

Inoltre, la stessa analisi è stata estesa ad una piattaforma robotizzata per la distribuzione ad alta precisione di agrofarmaci, considerata come uno strumento per la protezione delle piante potenzialmente disponibile in un prossimo futuro. In questo caso specifico, lo studio mirava a valutare il costo d'acquisto massimo per tale piattaforma tale da generare benefici netti per l'agricoltore grazie alla drastica riduzione della quantità di prodotto distribuito e della manodopera necessaria (Tona et al., 2017).

2. Materiali e Metodi

2.1 Colture considerate e protocollo di protezione

Nel presente lavoro sono state prese in considerazione come casi studio due delle colture specializzate più diffuse nel centro-sud Europa: la vite (*Vitis vinifera* L.) e il melo (*Malus domestica* Borkh.). Come esempio generale di protocollo di difesa per queste particolari colture, lo studio si è occupato della protezione nei riguardi delle più frequenti malattie fungine presenti nelle aree di produzione intensiva dell'Europa centro-meridionale, ovvero *Botrytis cinerea* Pers. (botrite), *Plasmopara viticola* (Berk. & M.A. Curtis) Berl. & de Toni (peronospora), e *Erysiphe necator* Schwein (oidio) per la vite; *Venturia inaequalis* Cooke (Wint.) (ticchiolatura) e *Podosphaera leucotricha* (mal bianco) per il melo. Per condurre l'analisi economica è stato necessario definire le modalità di gestione delle colture e i parametri di protezione adottati, ovvero il numero di trattamenti per stagione, il tempo disponibile per ciascun trattamento, i principi attivi utilizzati e il loro costo unitario, la dose di applicazione e la distanza tra i filari. Il numero di trattamenti eseguiti in un anno, il costo e la dose di applicazione degli agrofarmaci più diffusi e la velocità di lavoro delle macchine impiegate per effettuare i trattamenti sono stati determinati sulla base delle migliori pratiche adottate nell'areale considerato.

Tabella 1 – Parametri relativi ai protocolli di protezione considerati per l'analisi tecnico-economica.

	Vite		Melo
	TRG1 ^a	TRG2 ^b	TRA ^c
Numero di trattamenti (trattamenti anno ⁻¹)	13	2	25
Tempo disponibile (giorni trattamento ⁻¹)	2	2	2
Costo del principio attivo (€ kg ⁻¹)	18	90	32
Dose del principio attivo (kg ha ⁻¹)	5	1	1.5
Dose di miscela distribuita (dm ³ ha ⁻¹)	1500	500	1500

^a Protezione della vite contro peronospora e oidio

^b Protezione della vite contro botrite

c Protezione del melo contro ticchiolatura e mal bianco

2.2 Le macchine operatrici impiegate per i trattamenti

Nell'analisi sono stati considerati tre diversi cantieri per la distribuzione di agrofarmaci (L0, L1 e L2) a diverso grado di innovazione. Le macchine operatrici considerate presentano differenti livelli tecnologici a partire dallo stato dell'arte fino a giungere alla possibilità di regolare la distribuzione secondo logiche sito-specifiche.

Le principali caratteristiche delle macchine considerate sono le seguenti:

- L0 è un cantiere composto da un atomizzatore convenzionale accoppiato a trattore, e rappresenta lo stato dell'arte del sistema normalmente impiegato per il trattamento su vite e melo. L0 funge, quindi, da livello di riferimento. La tecnologia presente permette una distribuzione a dose omogenea purché sia mantenuta costante la velocità d'avanzamento. In condizioni reali, questa macchina tende quindi a sovradosare l'agrofarmaco in condizioni di basso vigore della coltura e di riduzione della velocità d'avanzamento, e a sottodosare nel caso di elevato vigore della coltura e di aumento della velocità d'avanzamento (Gil et al. 2013).
- L1 si riferisce ad un sistema automatico on-off (es. controllato tramite sensori ad ultrasuoni) in grado di rilevare la presenza o meno di parete vegetale e di attivare conseguentemente la distribuzione di agrofarmaco. Questo sistema è inoltre in grado di regolare il flusso di distribuzione in funzione della velocità d'avanzamento. Esempi di un tale sistema sono stati descritti da Balsari e Tamagnone (1998), Moltò et al. (2001), Esau et al. (2014), i quali hanno osservato una riduzione di agrofarmaci compresa tra il 10 e il 35% rispetto a L0.
- L2 fa riferimento ad un atomizzatore in grado di modulare la distribuzione in funzione del volume della canopy. Un tale sistema comprende: a) un sensore 3D (Lidar o telecamera) per stimare forma e volume della parete vegetale, b) un sistema di controllo per regolare il flusso di ciascun ugello in funzione della densità fogliare, e c) attuatori per modificare la posizione di ogni singolo ugello in funzione della geometria della canopy. Esempi di un simile sistema sono stati sviluppati e testati da Solanelles et al. (2006), Balsari et al. (2008), Khot et al. (2012) e Vieri et al. (2013). Il risparmio di agrofarmaci conseguibile impiegando un sistema L2 è stato stimato nell'ordine del 25-45% rispetto a L0.

Alla luce di tutto ciò, nel presente studio il risparmio di agrofarmaci ipotizzato utilizzando i livelli L1 e L2 rispetto al livello di riferimento L0 è illustrato in Tabella 2.

Tabella 2 – Riduzione in percentuale degli agrofarmaci distribuiti utilizzando i sistemi ad a diverso grado di innovazione L1 e L2 rispetto al cantiere convenzionale L0.

	Vite		Melo
	TRG1 (%)	TRG2 (%)	TRA (%)
L0	0	0	0
L1	20	10	20
L2	35	20	35

2.3 Analisi tecnico-economica delle macchine operatrici impiegate per i trattamenti

Al fine di valutare la possibile convenienza delle tecnologie per la distribuzione di precisione (L1 e L2) rispetto al sistema convenzionale L0 nella protezione di vite e melo, sono stati calcolati – per ciascun cantiere - il costo totale annuo per tutti i trattamenti, includendo i costi per gli agrofarmaci. L'analisi economica è stata condotta su aziende simulate con superficie compresa tra 5 e 200 ha. I costi di meccanizzazione sono stati calcolati mediante la metodologia ASABE (ASABE Standard EP496.3 (2015)) che, come è noto, suddivide i costi di esercizio in costi fissi e costi variabili. In Tabella 3 sono riportati i parametri economici utilizzati per applicare la metodologia in questione. I costi di esercizio si riferiscono al cantiere trattore – atomizzatore assumendo per il trattore accoppiato i seguenti parametri tecnico-operativi: potenza motore = 50 kW, carico motore medio = 65%, velocità d'avanzamento = 6 km h⁻¹.

Tabella 3 – Parametri economici considerati per i cantieri L0, L1 e L2.

	Trattore L0-L1-L2	Atomizzatore L0-L1-L2
Valore a nuovo (.000 €)	50	12-24-40
Tasso di deprezzamento (%)	12.5	18
Durata fisica (anni)	12	6
Durata economica (anni)	12000	2000
Tasso di interesse (%)	3.5	3.5
Fattore di manutenzione e riparazione (%)	80	60
Manodopera (€ h ⁻¹)	20	-

2.4 La piattaforma robotizzata come scenario futuro

Facendo riferimento ad un futuro prossimo, è stata ipotizzata l'adozione di una piattaforma interamente robotizzata (L3) in grado di effettuare la distribuzione di agrofarmaci solo ed esclusivamente su eventuali focolai di infezione, senza necessità di operatori.

La piattaforma robotizzata L3 è equipaggiata con: a) un sistema – basato su sensori multi o iperspettrali – in grado di rilevare le aree di canopy infette, b) un classificatore intelligente capace di riconoscere la specifica malattia, e c) una serie di attuatori in grado di localizzare e regolare la distribuzione su specifici bersagli considerando, comunque, un'area di sicurezza attorno ai focolai in funzione della severità della malattia e del rischio di una sua estensione.

Un esempio di un simile robot è stato proposto e realizzato nel corso del progetto CROPS (www.crops-robots.eu). A partire da risultati sperimentali ottenuti da Oberti et al. (2016), il risparmio in agrofarmaci ottenibile utilizzando una simile tecnologia è stato quantificato intorno all'80% rispetto allo scenario L0 senza, peraltro, ridurre l'efficacia della protezione. Applicando un simile approccio selettivo non è pensabile di coprire con regolarità tutta la superficie coltivata. Pertanto, per garantire l'efficacia della protezione della coltura, la piattaforma robotizzata deve essere in grado di monitorare ogni punto del vigneto/frutteto in un intervallo di tempo adeguato e tale, in ogni caso, da consentire l'esecuzione del trattamento alla comparsa precoce dei primi focolai di infezione. Nella presente analisi, tale intervallo di tempo è stato fissato in 3 giorni.

In Tabella 4 sono riassunti i parametri tecnico-economici relativi alla piattaforma robotizzata L3. Lo scopo dell'analisi è stato quello di definire un ipotetico valore a nuovo della macchina in questione che fosse in grado di rendere conveniente la sua adozione rispetto ai cantieri L0, L1 e L2.

Tabella 4 – Parametri tecnico-economici considerati per la piattaforma robotizzata L3.

Parametri tecnici		Parametri economici	
Potenza motore (kW)	20	Valore a nuovo (.000 €)	*
Carico motore medio (%)	80	Tasso di deprezzamento (%)	40
Velocità di avanzamento (km h ⁻¹)	1.2	Durata fisica (anni)	6
Volume tank (dm ³)	250	Durata economica (anni)	10000
Ore di lavoro giornaliere (h giorno ⁻¹)	20	Tasso di interesse (%)	3.5
		Fattore di manutenzione e riparazione (%)	60

* Da determinare con la presente analisi

3. Risultati

3.1 Confronto tra i cantieri a diverso grado di innovazione

3.1.1 Vigneto

I costi totali annui per ettaro relativi agli agrofarmaci sono risultati, ovviamente, indipendenti dalla superficie coltivata: in particolare, per L0 il costo totale per gli agrofarmaci è risultato di 1350 € ha⁻¹ anno⁻¹, per L1 1098 € ha⁻¹ anno⁻¹, e per L2 905 € ha⁻¹ anno⁻¹. In Figura 1 sono illustrati i costi totali annui necessari per la protezione del vigneto utilizzando i cantieri a grado di innovazione crescente. I grafici dimostrano che, per superfici inferiori a 10 ha, il cantiere convenzionale L0 è il più conveniente con un risparmio dell'1-5% rispetto a L1, e del 3-18% rispetto a L2. Per superfici superiori a 10 ha il cantiere L1 risulta più conveniente rispetto a L0, con un risparmio dell'ordine del 5%. Da notare che questo trend cambia fortemente in prossimità dei bordi delle curve, ovvero in corrispondenza dell'introduzione di un ulteriore cantiere trattore-atomizzatore necessario per poter terminare il lavoro nel tempo assegnato. Infine, il cantiere L2, tecnologicamente più avanzato e quindi più costoso, risulta essere la soluzione più conveniente solo in corrispondenza di superfici vitate superiori a 100 ha.

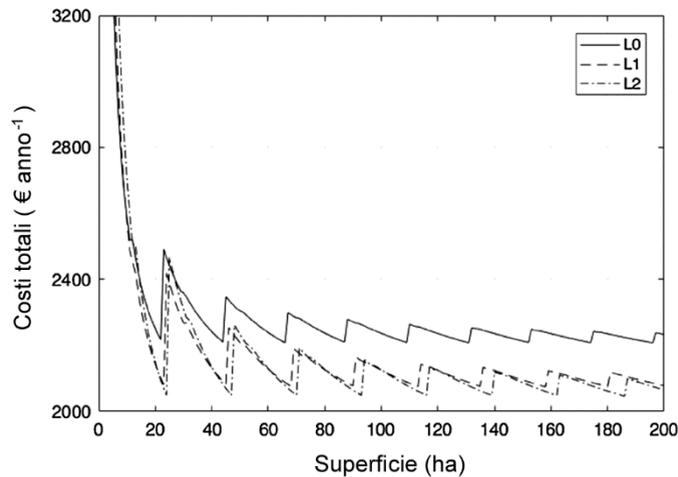


Figura 1 – Costi totali annui per il vigneto in funzione del diverso livello tecnologico dei cantieri per la distribuzione di agrofarmaci.

3.1.2 Meleto

I costi annui per gli agrofarmaci utilizzati in meleto ammontano a 1200 € ha⁻¹ anno⁻¹ per L0, 960 € ha⁻¹ anno⁻¹ per L1 e 780 € ha⁻¹ anno⁻¹ per L2. La Figura 2 riporta i costi totali annui per la protezione del meleto considerando i cantieri di distribuzione a crescente livello tecnologico. In questo caso, i grafici dimostrano la convenienza di L0 per superfici fino a 17 ha, con risparmio compreso tra l'1 e il 7% rispetto a L1, e tra il 2 e il 20% rispetto a L2 per superfici inferiori a 14 ha. Per superfici superiori a 17 ha, L1 è risultata la soluzione più conveniente rispetto a L0 e a L2, con un risparmio compreso tra il 2 e il 4% rispetto a quest'ultima.

A differenza del caso studio del vigneto, l'adozione del cantiere L2 non è mai risultata la soluzione più conveniente, neanche per grandi superfici. Ciò è causato dal basso costo degli agrofarmaci normalmente utilizzati in meleto che è tale da non riuscire mai a compensare, col risparmio conseguibile grazie alla minore quantità di prodotto distribuita, il maggior costo della macchina L2 rispetto alle macchine a minore contenuto tecnologico.

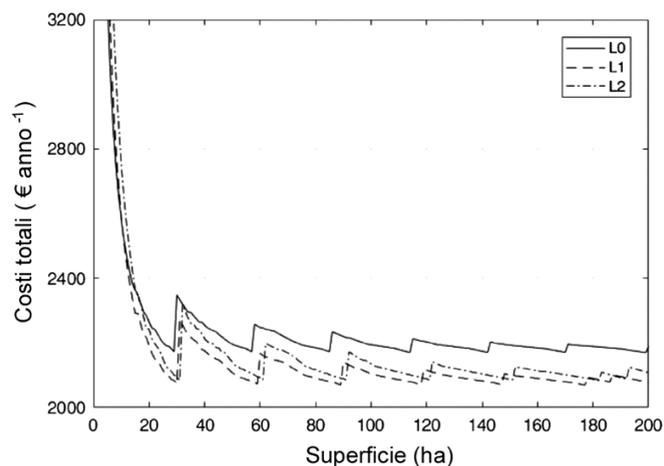


Figura 2 – Costi totali annui per il meleto in funzione del diverso livello tecnologico dei cantieri per la distribuzione di agrofarmaci.

3.2 La piattaforma robotizzata

I presupposti su cui poggia la presente analisi si basano sull'ipotesi che la piattaforma robotizzata L3 sia in grado di consentire un notevole risparmio in termini di agrofarmaci, energia e manodopera rispetto all'impiego dei cantieri L0-L2.

E' stato dunque calcolato il massimo valore a nuovo del robot L3 tale da permettere a quest'ultima soluzione di risultare conveniente rispetto a L0-L2. Per quanto riguarda il vigneto, tale valore è risultato essere di 54 700 €, mentre per il meleto di 66 500 €. Ad oggi, e con gli attuali costi della tecnologia, questi valori sono senza dubbio insostenibili da parte di un'azienda costruttrice, e quindi l'introduzione di una piattaforma robotizzata per i trattamenti di precisione appare ancora irrealistica. In effetti, ai costi attuali della tecnologia, la convenienza di L3 rispetto ai cantieri di distribuzione agrofarmaci presenti sul mercato non è stata raggiunta nemmeno aumentando ulteriormente il potenziale risparmio di prodotto distribuito. Ad esempio, per una superficie agricola rappresentativa di 30 ha, anche supponendo un risparmio del 95% nell'uso di agrofarmaci rispetto a L0, il costo massimo di acquisto del robot è di 84 300 € per il vigneto e 93 600 € per il meleto, valori ancora fuori mercato.

Solo ipotizzando una maggiore velocità d'avanzamento (5 km h⁻¹) del robot, praticamente analoga a quella normalmente impiegata dai cantieri formati da trattore e atomizzatore, il valore a nuovo sale a 238 800 € per il vigneto e 286 600 € per il meleto.

Quindi, in base alle ipotesi fatte nel presente studio, il mero risparmio offerto dalla piattaforma robotizzata non può essere il solo criterio di adozione di quest'ultima rispetto alle tecnologie già presenti sul mercato, a meno di non aumentare di molto la velocità d'avanzamento del veicolo. Ciò, tuttavia, implica un enorme sforzo tecnologico per velocizzare il ciclo "riconoscimento della malattia – esecuzione del trattamento mirato", con un ulteriore aggravio dei costi del sistema.

4. Discussione e conclusioni

Questo lavoro, condotto con l'obiettivo di studiare – secondo un approccio modellistico – la convenienza di macchine a grado di innovazione crescente da impiegare nei trattamenti fitosanitari su colture specializzate, appartiene pienamente al dominio della *meccanizzazione agricola*. L'analisi tecnico-economica eseguita, infatti, si basa sulla classica metodologia ASABE che divide i costi di meccanizzazione in costi fissi e costi variabili applicando gli opportuni parametri tabulati nei relativi standard. Anche per la modellazione delle capacità di lavoro e delle performance delle macchine considerate si è fatto riferimento sia ai consolidati standard ASABE, sia alle caratteristiche operative tipiche degli scenari in cui tali macchine vengono applicate.

Un'attenta analisi bibliografica ha permesso di classificare correttamente le macchine ad elevato livello tecnologico e di stimare il possibile risparmio in agrofarmaci a seguito della loro applicazione in contesti reali. Ciò, tuttavia, ha richiesto un buon "*background meccanico*" tale da permettere agli autori di individuare e analizzare i vari sistemi di distribuzione convenzionali e di precisione e di valutare, in modo realistico, l'applicazione di tali dispositivi sulle colture specializzate. Quindi, anche la ricerca bibliografica ha richiesto una analisi critica piuttosto approfondita dal punto di vista meccanico, dato che è su di essa che l'approccio ASABE è andato ad innestarsi.

Per quanto riguarda l'analisi tecnico-economica qui descritta, la multidisciplinarietà e l'approccio integrato che da sempre contraddistinguono la meccanizzazione agricola sono apparsi indispensabili per impostare correttamente il lavoro. Nel presente studio, infatti, vi è una marcata interazione tra un sistema ingegneristico (le macchine e i dispositivi per la distribuzione di agrofarmaci), un sistema biologico (le colture specializzate) ed un sistema produttivo (i protocolli di difesa con i necessari fattori della produzione). Solo la convergenza

delle relative competenze ha permesso di sviluppare compiutamente un lavoro che, di fatto, è pienamente ascrivibile al settore dell'ingegneria agraria.

Infine, lo scenario futuristico della piattaforma robotizzata ha una sua validità in un simile lavoro, senza correre il rischio di apparire come un inutile e pretenzioso esercizio fine a se stesso, proprio perché i presupposti tecnico-operativi assunti sono pienamente realistici. In questo caso, il contributo del meccanico agrario è fondamentale soprattutto per proporre soluzioni innovative basate su tecnologie ad elevata automazione; queste sono ormai indispensabili per realizzare una agricoltura sempre più sostenibile salvaguardando, nel contempo, la redditività dell'imprenditore agricolo.

In conclusione, il meccanico agrario moderno deve quindi confrontarsi con l'elettronica, la sensoristica avanzata, la robotica senza trascurare, però, una solida formazione di base che affonda le sue radici nella meccanica e nella meccanizzazione agricola classica. Questo enfatizza ancor di più la sua capacità di visione sistemica e integrata del sistema produttivo agricolo, rendendolo una figura unica nel panorama accademico e produttivo.

Bibliografia

- ASABE Standards. (2015b). EP496.3: Agricultural machinery management (62nd ed.). St. Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Balsari, P., Doruchowski, G., Marucco, P., Tamagnone, M., Van De Zande, J., & Wenneker, M. (2008). A system for adjusting the spray application to the target characteristics. *Agricultural Engineering International, CIGR Journal*, 10, 1–11.
- Balsari, P., & Tamagnone, M. (1998). An ultrasonic airblast sprayer. In Proceedings of EurAgEng international conference of agricultural engineering (pp. 585–586). *EurAgEng 1998*, Oslo, Norway
- Batte, M., & Ehsani, M. (2006). The economics of precision guidance with auto-boom control for farmer-owner agricultural sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 53, 28–44.
- Bennett, A. L., & Pannell, D. J. (1998). Economic evaluation of a weed-activated sprayer for herbicide application to patchy weed populations. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 42, 389–408.
- Esau, T., Zaman, Q., Groulx, D., Corscadden, K., Chang, Y., Schumann, A., et al. (2016). Economic analysis for smart sprayer application in wild blueberry fields. *Precision Agriculture*, 17, 753–765.
- Esau, T., Zaman, Q., Chang, Y., Schumann, A., Percival, D., & Farooque, A. (2014). Spot-application of fungicide for wild blueberry using an automated prototype variable rate sprayer. *Precision Agriculture*, 15, 147–161.
- Gil, E., Llorens, J., Llop, J., Fàbregas, X., Escolà, A., & Rosell-Polo, J. (2013). Variable rate sprayer. Part 2. Vineyard prototype: Design, implementation, and validation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 95, 136–150.
- Khot, L. R., Ehsani, R., Albrigo, G., Larbi, P. A., Landers, A., Campoy, J., et al. (2012). Air-assisted sprayer adapted for precision horticulture: Spray patterns and deposition assessments in small-sized citrus canopies. *Biosystems Engineering*, 113, 76–85.
- Larson, J. A., Velandia, M. M., Buschermohle, M. J., & Westlund, S. M. (2016). Effect of field geometry on profitability of automatic section control for chemical application equipment. *Precision Agriculture*, 17, 18–35.
- Moltò, E., Martn, B., & Gutiérrez, A. (2001). Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 35–41.

- Oberti, R., Marchi, M., Tirelli, P., Calcante, A., Iriti, M., Tona, E., et al. (2016). Selective spraying of grapevines for disease control using a modular agricultural robot. *Biosystems Engineering*, 146, 203–215.
- Pertot, I., Caffi, T., Rossi, V., Mugnai, L., Hoffmann, C., Grandi, M. S., et al. (2017). A critical review of plant protection tools for reducing pesticide use on grapevine and new perspectives for the implementation of IPM in viticulture. *Crop Protection*, 97, 70–84.
- Solanelles, F., Escola, A., Planas, S., Rosell, J., Camp, F., & Gra`cia, F. (2006). An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops. *Biosystems Engineering*, 95, 473–481.
- Tona E., Calcante A., & Oberti R. (2017). The profitability of precision spraying on specialty crops: a technical-economic analysis of protection equipment at increasing technological levels. *Precision Agriculture*, accesso via <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-017-9543-4>, doi:10.1007/s11119-017-9543-4.
- Vieri, M., Lisci, R., Rimediotti, M., & Sarri, D. (2013). The RHEA-project robot for tree crops pesticide application. *Journal of Agricultural Engineering*, 44(s1), 359–362.
- Walker, J. T. S., Suckling, D. M., & Wearing, C. H. (2017). Past, present, and future of integrated control of apple pests: The New Zealand experience. *Annual Review of Entomology*, 62, 231–248.