Analisi multicriteria sul diserbo meccanico in Erba Medica

TRADUZIONE TESI DI
LAUREA MAGISTRALE

Michele Consolini

Settembre 2022

Le radici non le tagli.
Sono elastici con un capo legato al campanile e l'altro
intorno la nostra vita. Più ti slontani più gli elastici si tira,
finché diventa fini come corde di violino. Ma non si rompe.
Quando è tirati al massimo passa il vento della memoria,
e questi elastici manda suoni di ricordi.

Mauro Corona, Il canro delle Manére

INDICE ANALITICO

INTRODUZIONE 3

MATERIALI E METODI 13

Descrizione area prove 13

Setting delle prove 15

Procedura prove 17

RISULTATI 29

DISCUSSIONE 38

CONCLUSIONI 42

BIBLIOGRAFIA 44

DISCLAMER – ESCLUSIONE DI RESPONSABILITA' 45

INTRODUZIONE

L'erba medica (*Medicago sativa* L.) è una delle principali colture foraggere poli-annuali del Nord Italia destinate all'alimentazione animale. Il mercato italiano comprende principalmente la produzione e commercializzazione di fieno imballato destinato a bovini da latte e carne. La coltivazione dell'erba medica nella Pianura Padana si basa su una gestione poli-annuale con un numero di raccolti per stagione variabile da 3 a 5 ed un periodo complessivo di permanenza in campo compreso fra i 4 ed i 7 anni. Nonostante l'erba medica sia una coltura con basse esigenze colturali, richiede alcuni trattamenti imprescindibili per garantire una buona produzione. Le lavorazioni del suolo vengono esclusivamente effettuate nell'anno di semina, mentre le operazioni di irrigazione, fertilizzazione e diserbo sono periodicamente condotte durante ogni anno di raccolta.

All'interno del biota che può ostacolare la crescita di questa coltura, le infestanti rappresentano la principale minaccia nei moderni agro-ecosistemi. Esse possono infatti impedire la normale crescita dell'erba medica a causa di interazioni dirette ed indirette (competizione ed allelopatia) che portano inevitabilmente ad una riduzione della produzione. Pertanto, uno sforzo significativo è stato destinato all'identificazione delle più efficaci strategie di controllo e gestione delle infestanti per contenere questa minaccia (Jabran et al., 2015).

Le infestanti presenti in campo entrano in competizione per le stesse risorse necessarie alla crescita dell'erba medica: acqua, nutrienti e luce (Canevari et al., 2007). La co-presenza della coltura e di piante infestanti rappresenta un limite alla produttività e l'incidenza di queste ultime sul raccolto dipende in primis dalla densità con cui si presentano nel campo (figura 1). Data la limitata disponibilità delle risorse sopracitate, la loro destinazione è costantemente ripartita fra le infestanti e la coltura seminata. Questo risulta in una minore disponibilità di nutrienti per l'erba medica ed in ultimo ad una performance di

crescita inferiore. La produzione è solitamente compromessa dalla presenza di infestanti, ma potrebbe anche aumentare come stimolo in risposta ad uno stress biologico. In ogni caso, la qualità del foraggio è sempre drasticamente ridotta. In altri termini, nonostante la produzione di biomassa potrebbe aumentare, tale vantaggio è a spese della qualità. Questo è legato alla minore appetibilità e contenuto di nutrienti delle infestanti che sono caratterizzate da un minore rapporto proteina/fibra rispetto al fieno di erba medica. Al di là dell'effetto diretto delle infestanti sui processi fisiologici della coltura, ulteriori effetti contribuiscono a complicare la prospettiva. Quando alcune piante infestanti, con proprietà fisico/chimiche tossiche, vengono raccolte nel fieno, i bovini che vi si nutrono posso sviluppare severe patologie a livello dell'apparato masticatore e digerente. Analogamente, le infestanti con un elevato contenuto di acqua, difficilmente raggiungono un livello di essicazione simile a quello dell'erba medica durante le fasi di fienagione e la loro fermentazione durante lo stoccaggio può condurre ad incendi e danni delle strutture dedicate (Canevari et al., 2007).

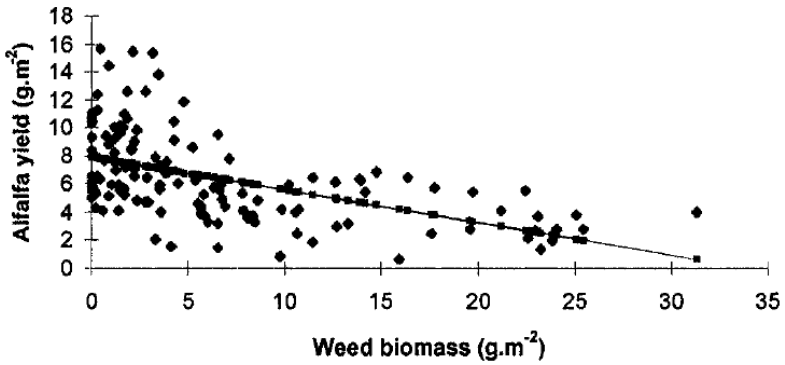


Figura 1. Effetto delle infestanti sulla produttività dell'erba medca (Arregui et al., 2001)

Ogni pianta che in qualche modo interferisce con la crescita della coltura seminata viene identificata come infestante. La variabilità delle popolazioni infestanti negli agro-ecosistemi, in termini di specie e varietà, è spesso molto

ampia e tale incertezza complica significativamente la loro gestione (Hock et al., 2006). Nonostante la vasta varietà globale, la lista delle infestanti realmente impattanti in un areale è piuttosto limitata e può essere identificata sulla base della specie coltivata, l'ambientali, le condizioni di crescita e le pratiche colturali adottate.

Attualmente, circa 30000 piante sono classificate come infestanti, 250 delle quali arrecano la maggior parte dei danni; alcune sono specie endemiche, altre aliene. In tale scenario, le infestanti definiscono la produttività di un campo e le potenziali perdite che variano dal 16 al 68% con una media del 40% nelle colture seminative (Korav et al., 2018).

Fischer et al. (1985) definisce la gestione integrata come un sistema basato sull'utilizzo di tutte le conoscenze e gli strumenti a disposizione per produrre una coltura libera da vegetazione che possa danneggiare o competere con la coltura principale portando ad un danno economicamente rilevante.

Come per la maggior parte delle minacce alla produzione, un approccio devoto all'agricoltura sostenibile deve adottare come primi passo un approccio atto alla prevenzione che dovrebbe sostituire quanto più possibile quello curativo, da considerare solo come ultima risorsa.

Questa tipologia di gestione si orienta verso le pratiche colturali come primo sistema di controllo e solo successivamente, quando necessario, verso l'integrazione con erbicidi sintetici. Fra le principali pratiche sopracitate: (i) distribuzione di calce, ammendanti e fertilizzanti basata sui valore reali testate nel suolo; (ii) semina di varietà specifiche per l'areale di coltivazione, vigorose e resistenti; (iii) distribuzione di semi sementi pulite da eventuali semi estranei; (iv) una corretta pianificazione delle operazioni di fienagione, basata sul meteo e sullo stato di crescita dell'erba medica; (v) controllo periodico di insetti fitopatogeni ed altre patologie; (vi) adozione di una rotazione colturale adatta ad interrompere lo sviluppo di specifiche infestanti (Green and Legleiter, 2018).

Nonostante l'adattamento delle pratiche colturali sia una valida soluzione per contenere le infestanti, l'aggressività e l'adattabilità di queste specie richiede ulteriori soluzione per un efficace ed efficiente controllo. La diretta risposta a tale problema è l'adozione di quella che viene definita lotto integrata alle infestanti (IWM). L'idea alla base di tale principio consiste nel mantenere l'effetto delle infestanti al di sotto della soglia di danno economico attraverso l'utilizzo di un vasto repertorio di strumenti per la prevenzione ed il controllo. In altri termini, visto che le infestanti si diffondono naturalmente durante la stagione, non c'è una reale necessità di raggiungere una condizione di crescita senza infestanti per garantire una produzione soddisfacente. A questo proposito, le strategie di controllo dovrebbero essere classificate in accordo con la loro efficacia e l'impatto ambientale per essere applicate dalle migliori alle peggiori. In questa prospettiva, gli erbicidi sintetici possono essere utilizzati, ma né come panacea né come soluzione priva di conseguenze. Al di là della definizione, la lotta integrata comprende una sequenza ben definita di operazioni da attuare per contenere le infestanti. Il maggiore rapporto costo/beneficio si raggiunge con la prevenzione e soprattutto quando combinato con la mappatura delle infestanti in campo. A tal riguardo, le popolazioni infestanti godono di una significativa variabilità spaziale in termini di densità e numero di specie. Se una distribuzione uniforme è quanto mai rara da identificare, la distribuzione a chiazze è tipica delle piante infestanti. In queste condizioni, le mappe consentono di trattare esclusivamente le zone con maggiori infestanti con l'obiettivo di aumentare l'efficienza di distribuzione secondo l'eterogeneità del campo. Per sfruttare a pieno l'IWM, alcune priorità devono essere definite e l'agricoltore deve gestire risorse e tempo per fronteggiare le minacce principali fra tutte quelle che si presentano durante la stagione. Oltre agli steps preliminari, il cuore dell'IWM consiste nell'adozione di un sistema di controllo basato sulla lotta biologica, meccanica e chimica (figura 2). Infine, l'intero sistema di lotta integrata può

essere applicato per monitorare eventuali limiti o problematiche da correggere per la stagione successiva (Zimdahl, 2018).

I diserbanti di sintesi sono solitamente usati nell'erba medica; la loro scelta di basa su numerosi parametri tra cui lo stato di crescita della coltura e la sua fase fenologica, la stagionalità e gli incentivi economici in primis. La tabella 1 riporta diversi erbicidi di sintesi per le leguminose da foraggio sulla base della fase di sviluppo della coltura ed altre restrizioni. Nonostante la provata efficacia degli erbicidi sintetici, il loro recente uso in dosi massicce nei sistemi agricoli intensivi ha portato a numerose complicazioni. Gli agricoltori rilevano con maggiore frequenza fenomeni di resistenza nelle infestanti che ostacolano la produzione teorica, quindi il profitto aziendale. Inoltre, i prodotti fitosanitari sono noti per contenere numerose sostanze dannose. Sia la tossicità che il livello di esposizione contribuiscono al rischio connesso all'utilizzo di questi prodotti. Un errata distribuzione su organismi non target può portare a numerosi patologie per i produttori ed i consumatori.

A livello storico, il prezzo dei prodotti fitosanitari ha subito un continuo incremento a partire dalla rivoluzione verde del dopoguerra e la proiezione per il futuro conferma il trend. Diverse specie infestanti si stanno diffondendo in nuovi areali a ritmi crescenti, richiedendo specifici erbicidi e tecniche di controllo che sfortunatamente le aziende produttrici e gli agricoltori non riescono a sviluppare altrettanto rapidamente. In questa prospettiva, le pratiche di coltivazione sostenibili sono sempre più una necessità per l'agricoltura moderna. Fra queste, la riduzione dei prodotti fitosanitari di sintesi, inclusi gli erbicidi, è prima nella lista.

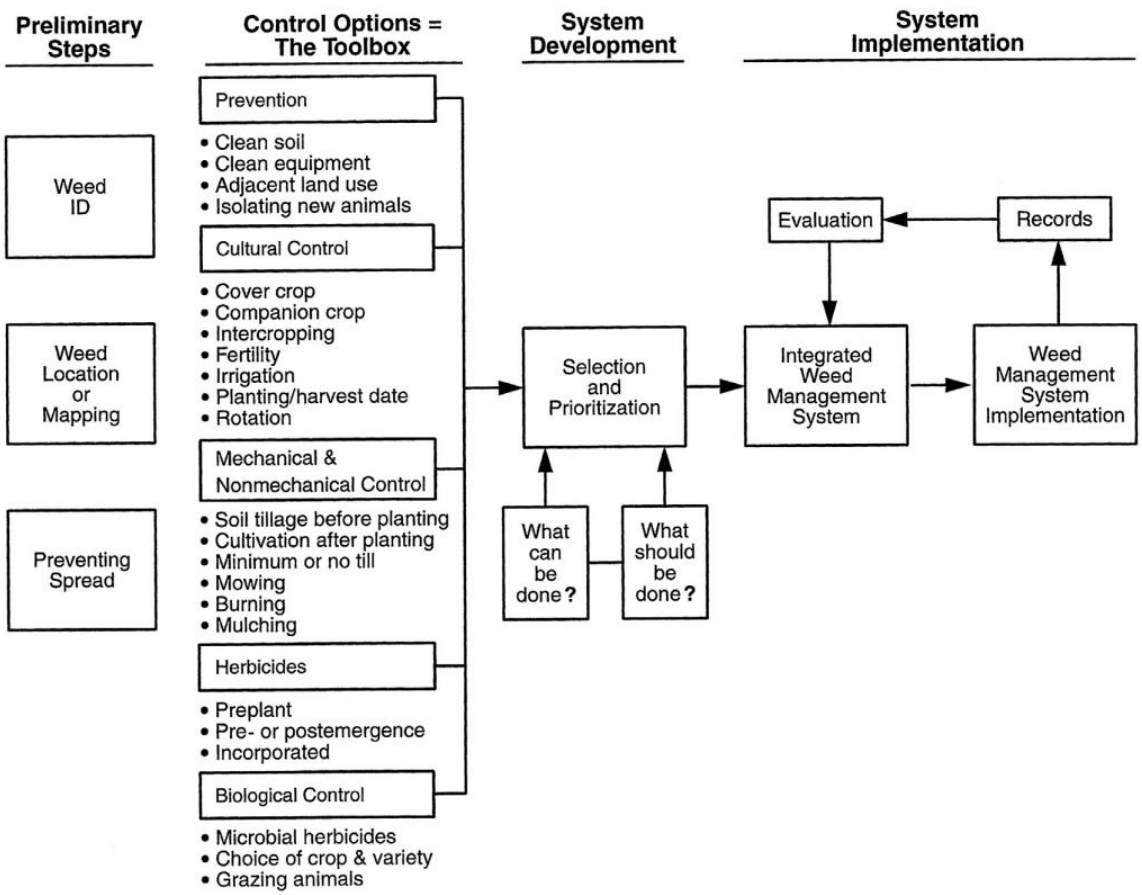


Figura 2. Modello concettuale della lotta integrate alle infestanti, illustrato come steps sequenziali per la guida alle decisioni (Zimdahl, 2018).

Come per buona parte delle sfide per l'agricoltura moderna, una soluzione universale e certa per il diserbo non esiste. Nell'agricoltura convenzionale, ma soprattutto in quella biologica, specifiche limitazioni restringono la lista di possibili interventi per contenere la flora infestante restringendo le condizioni per la loro applicazione. In una situazione sempre più critica, il controllo meccanico delle infestanti può essere impiegato, in combinazione con i diserbanti sintetici e innovative pratiche agricole, per consentire al controllo integrato delle infestanti di essere la parte principale della lotta integrata (IPM). L'applicazione dell'IPM è infatti obbligatoria nei Paesi membri dell'Unione Europea (Fogliatto et al., 2017).

Il diserbo meccanico consiste in tree tecniche principali: lavorazioni del terreno, taglio/sfalcio delle infestanti e diserbo per trazione. Le lavorazioni principali del terreno vengono eseguite utilizzando attrezzi quali aratri, discissori e chiesel

ploughs, le lavorazioni secondarie richiedono l'utilizzo di coltivatori, erpici (a dischi, a denti, rotanti, frese) ed altri attrezzi alimentati dalla presa di potenza. Entrambe queste tipologie di lavorazioni possono essere ottimizzate durante la stagione per contenere la germinazione e la diffusione delle infestanti nelle aree colture da pieno campo. Alcuni tipi particolari di diserbo basato sulle lavorazioni sono le arature notturne, anche definito fotocontrollo e la falsa semina, che vengono utilizzate per combinare con sinergia l'efficacia del movimento di suolo e l'attività biologica delle infestanti. Il diserbo basato sulle lavorazioni del terreno comprende anche le tecniche di lavorazione dello strato superficiale del suolo utilizzando coltivatori leggeri o erpici rotanti che operano su tutta la superficie del campo.

Numerosi tipi di coltivatori, erpici e sarchiatrici a dita sono attualmente utilizzati con successo nel diserbo intra-fila per lavorare la porzione di suolo fra le colture seminate. Il taglio e lo sfalcio delle infestanti sono strategie alternative finalizzate ad incentivare la crescita dell'erba medica e controllare la pressione delle infestanti e la loro produzione di semi. Questa tipologia di diserbo meccanico è prevalentemente adottata nei vigneti, nei frutteti, ma nche nelle foraggere da pieno campo. Lo sfalcio delle infestanti reduce la loro superficie fogliare, ne rallenta crescita e previene il raggiungimento della fase riproduttiva. Numerosi attrezzi sono stati progettati per questa tipologia di diserbo: falciatrici laser e water-jet.

Per quanto riguarda il diserbo per trazione, si tratta di una applicazione di particolari attrezzi equipaggiati con ruote contro-rotanti posizionate in corrispondenza delle file seminate. Tali ruote esercitano una trazione che risulta in un danneggiamento dello stelo delle infestanti fino ad un completo sradicamento della pianta in condizioni di umidità elevata. Sotto il profilo economico, il diserbo meccanico risulta generalmente vantaggioso rispetto al controllo con prodotti fitosanitari. Inoltre, il costo per la decontaminazione ambientale connesso all'utilizzo di diserbanti sintetici ed altre esternalità,

aumentano il costo operative di questa strategia potenzialmente oltre il limite di vantaggio per l'azienda agricola (Cloutier et al., 2007) .

Tabella 1: Erbicidi per le leguminose da foraggio sulla base dello stadio di sviluppo della coltura e altre restrizioni all'adozione. L = Crop labeled for herbicide use. Y = Permitted application time. RR = Apply ONLY to varieties designated as Roundup Ready alfalfa. SW = Apply ONLY as (Green and Legleiter, 2018).

Herbicide		Crops Labeled for Use					Alfalfa Stage of Crop Growth				
Active Ingredient	Products	Alfalfa	Alfalfa-Grass Mixtures	Clovers (Red, Aslike, Ladino)	Birdsfoot Trefoil	Lespedeza	Dormant	Semi-Dormant	Non-Dormant	Between Cuttings	Spot Spray or Wiper Application
Before Seeding											
glyphosate	Roundup, etc.	L	L	L	L[1]	L[1]	-	-	-	-	-
paraquat	Gramoxone, etc.	L	L	L	L	L	-	-	-	-	-
New Seedings (stands less than 1 year old or has not been through first cutting or mowing)											
2,4-DB	Butyrac 200	L	X	X	L[2]	X	X	X	Y	X	X
bromoxynil	Maestro/Moxy	L	X	X	X	X	X	X	Y	X	X
clethodim	Select/Intensity	L	X	X	L	X	X	X	Y	X	Y[3]
glyphosate	Roundup, etc.	L <RR>	L <SW>	L <SW>	L[1] <SW>	L[1] <SW>	X	X	Y[4] <RR>	X	Y
imazamox	Raptor	L	X	X	X	X	X	X	Y[4]	Y[5]	X
imazethapyr	Pursuit, etc.	L	X	L	L	X	X	X	Y[4]	Y[5]	X
imazethapyr + glyphosate	Extreme/ ThunderMaster	L <RR>	X	X	X	X	X	X	Y[4] <RR>	X	X
paraquat	Gramoxone, etc.	L	X	L	L	L	Y[6]	X	X	Y[6]	X
pendimethalin	Prowl H20, etc.	L	X	X	X	X	X	X	Y[7]	X	X
sethoxydim	Poast/Poast Plus	L	X	L	L	X	X	X	Y	X	Y[3]
Established Stands (>1 year old stands or forage legume that has gone through first cutting)											
2,4-DB	Butyrac 200	L	X	X	X	X	X	X	Y	X	X
clethodim	Select/Intensity	L	X	X	L	X	X	X	Y	X	Y[3]
flumioxazin	Chateau/Tuscany	L	X	X	X	X	Y[8]	Y[8]	X	Y[8]	X
glyphosate	Roundup, etc.	L <RR>	L <SW>	L <SW>	L[1] <SW>	L[1] <SW>	X	X	Y <RR>	X	Y
hexazinone	Velpar	L	X	X	X	X	Y[6]	Y[6]	X	Y[6]	X
imazamox	Raptor	L	X	X	X	X	X	Y[5]	Y[5]	Y[5]	X
imazethapyr	Pursuit, etc	L	L	L	L	X	X	Y[5]	Y[5]	Y[5]	X
imazethapyr + glyphosate	Extreme/ ThunderMaster	L <RR>	X	X	X	X	X	Y[5] <RR>	Y[5] <RR>	Y[5] <RR>	X
metribuzin	Glory, TriCor, etc.	L	L	X	X	X	Y	Y[9]	X	X	X
paraquat	Gramoxone, etc.	L	X	L	L	L	Y[6]	X	X	Y[6]	X
pendimethalin	Prowl H20, etc.	L	L	X	X	X	Y[7]	Y[7]	X	Y[7]	X
sethoxydim	Poast/Poast Plus	L	X	L	L	X	X	Y	Y	X	Y[3]

A causa dell'elevata densità di semina e della forma di crescita dell'erba medica, la sarchiatura inter-fila è limitata nella fattibilità. In conclusione, al di là delle lavorazioni pre-semina e pre-emergenza, il diserbo meccanico in erba medica

sembrerebbe non fattibile senza danneggiare inevitabilmente le coltura seminata e limitare la produttività dell'impianto. Nonostante questi limiti, diverse soluzioni sono attualmente adottate dagli agricoltori della zona in indagine che desiderino ridurre la quantità di prodotti di sintesi distribuiti in campo. Attrezzi modificati e strumenti di fattura artigianale vengono utilizzati nei campi di erba medica in produzione. Questa tipologia di attrezzi è accompagnata da una notevole incertezza nel risultato, elevati rischi di utilizzo ed una limitata stabilità del trattamento (figura 3).

Le strategie per il controllo delle infestanti per l'erba medica sono, inoltre, complicate dalla permanenza in campo di questa coltura per più anni che rende complicata l'applicazione della lotta integrata. La semina di varietà a rapida emergenza è stata testata per favorire la competizione con le infestanti, cover crops e pre-sowing crops possono essere impiegate per sfruttare gli effetti allelopatici sulla vegetazione infestante. Inoltre, I sistemi di irrigazione localizzata possono ridurre la distribuzione delle infestanti e limitare lo stress idrico delle piante di erba medica allo stesso tempo (Zimdahl, 2018).

Alla luce di una così ampia gamma di soluzioni, il diserbo meccanico non può essere percepito come una soluzione esclusiva e sufficiente per il controllo delle infestanti. Dovrebbe, infatti, essere integrato in un concetto di agricoltura multifunzionale basata sull'adozione di tutte le possibile pratiche atte a massimizzare i benefici di questa pratica.

Figura 3. Due coltivatori a denti adottati per effettuare un diserbo meccanico artigianale (a) (b). L'effetto di questi attrezzi, non specificamente progettati per il diserbo, sulle piante: la completa pianta di erba medica appare sradicata e permanente danneggiata (c).

Le proiezioni future sulla domanda alimentare stimano un aumento compreso fra il 35% ed il 56% entro il 2050 in condizioni non condizionate dal cambiamento climatico (CC). Quando ilCC viene considerate, tali percentuali raggiungono valori del 30-62% (van Dijk et al., 2021). L'agricoltura non sarà esclusivamente chiamata a fornire cibo per una popolazione in costante aumento, ma dovrà farlo riducendo la quantità di prodotti fitosanitari di sintesi rispetto al secolo scorso. Nuove strategie ed approcci necessitano di essere sviluppati e applicati per preservare la produttività dei terreni, la salute dei consumatori e l'ambiente.

La lotta integrate ed il controllo integrato delle infestanti sono stati definiti dalla FAO come il migliore approccio rispettoso dell'ambiente per ottenere produzioni sane, che consente di limitare l'uso di pesticidi alle sole condizioni di reale necessita e comunque in condizioni che garantiscano la sicurezza delle persone e dell'ambiente. Questa tipologia di strategia si controllo applicata ad uno stress biotico richiede un approccio olistico e sequenziale al problema basato su tutti gli strumenti a disposizione. Attualmente la maggior parte di soluzioni sono sviluppate per le colture fondamentali principali, lasciando al margine l'innovazione per molte altre colture, fra cui l'erba medica. Introdurre e provare nuove tecniche per fronteggiare stress biotici come le infestanti, ha l'obiettivo di supportare l'applicazione della lotta integrata in nuove aree, indipendentemente dalla tipologia di agricoltura locale, delle dotazioni dell'azienda e del suo indirizzo produttivo.

MATERIALI E METODI

Descrizione area prove

Le prove sono state svolte nel periodo compreso fra gennaio e Febbraio 2022 in due campi di erba medica nel comune di Medicina in Emilia-Romagna (Italy, 44°28'16.1"N, 11°41'15.2"E; 44°28'45.692"N, 11°35'36.823"E; 15m slm). Questa area, secondo la classificazione Köppen Giger, rientra nella zona climatica Mediterranea con estati calde (Kottek et al., 2006). I dati meteorologici mostrati in figura 4 si riferiscono agli anni 2021 e 2022, mentre i dati del suolo comprendono esclusivamente l'anno delle prove, il 2022. La tessitura del suolo è stata analizzata utilizzando il sensore PARIO Automated Soil Particle Size Analyzer by METER per completare le analisi del suolo ricavate da un laboratorio esterno. I dati meteo, sono stati acquisiti dalla piattaforma DEXT3R di ARPAE Emilia-Romagna. Il suolo in questa area è caratterizzato da un basso contenuto di sabbia, elevata dotazione in sostanza organica, forte ritenzione idrica ed una buona fertilità complessiva (figura 5). I campi di prova sono stati divisi in sito A e sito B, entrambi coltivati ad erba medica (*Medicago sativa*) con una densità di semina pari a 350 piante/m² ed una distanza tra le file pari a 20cm. Entrambi i siti sono destinati alla produzione di fieno pressato tipo big bales e roto-balle, destinato all'alimentazione bovina, con 5 tagli per stagione. Mentre il sito A prevede l'irrigazione periodica durante la stagione di crescita (Maggio-Settembre), il sito B è coltivato senza interventi irrigui. Entrambi I siti prevedono una fertilizzazione durante la lavorazione del terreno pre-impianto ed interventi di diserbo durante le stagioni di crescita.

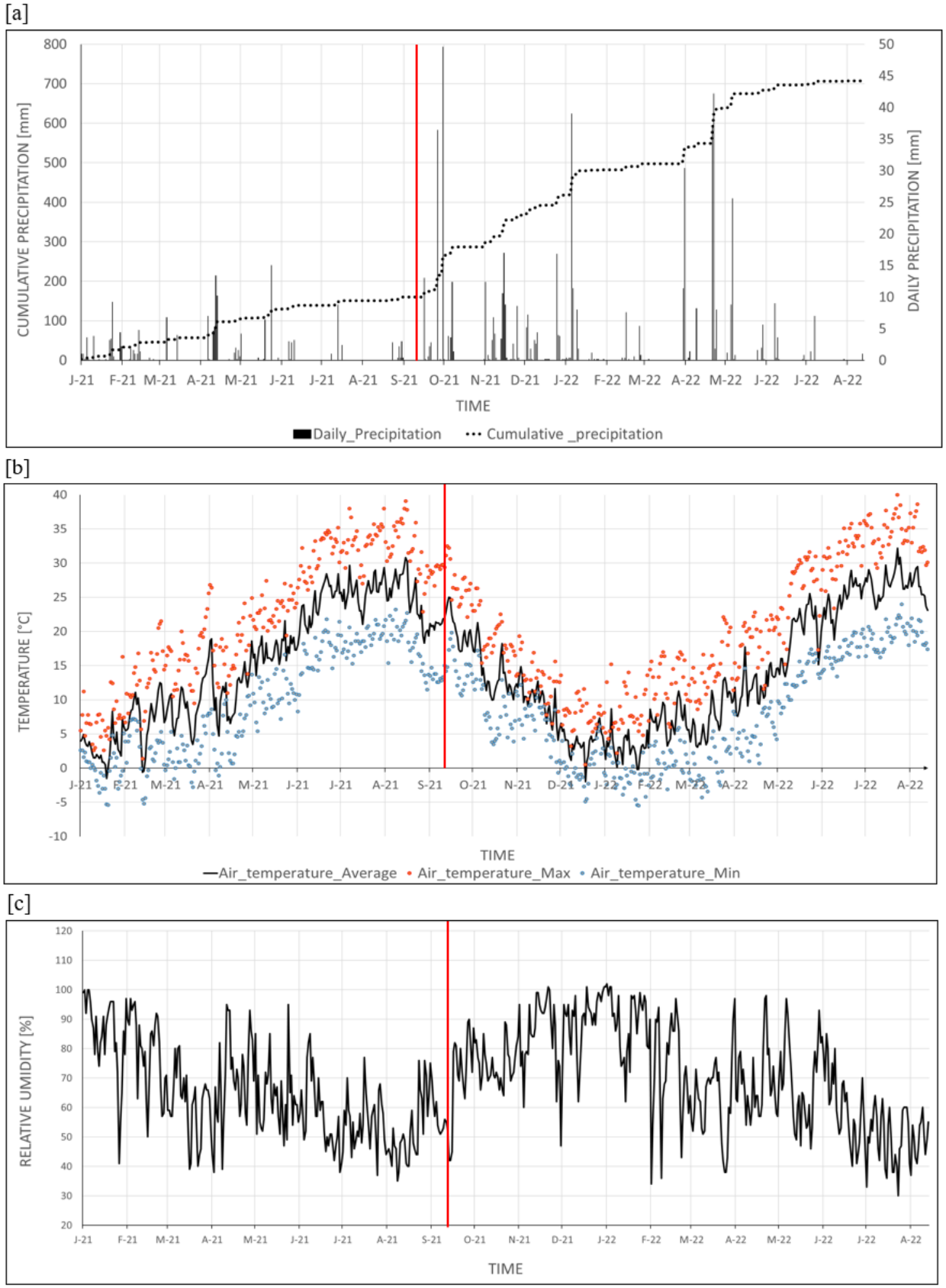
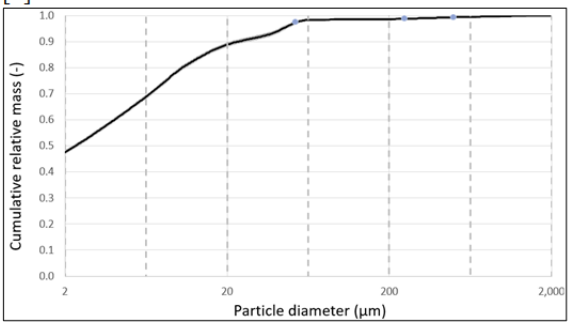


Figura 4. Precipitazione giornaliera e cumulate (a), temperatura giornaliera media, massima e minima (b), umidità dell'aria giornaliera media (c). La linea rossa indica l'inizio della stagione 2021/2022.

[a]

TEST	VALUE	UoM
pH in water	8.31	
Total CaCO3	11.01	%
Active CaCO3	4	%
Organic C	13.05	g/kg
Total N	1.47	g/kg
Available P	148	mg/kg
Exchangeble K	350	mg/kg
Exchangable Na	66	Mg/kg
C/N ratio	8.88	

[b]



[c]

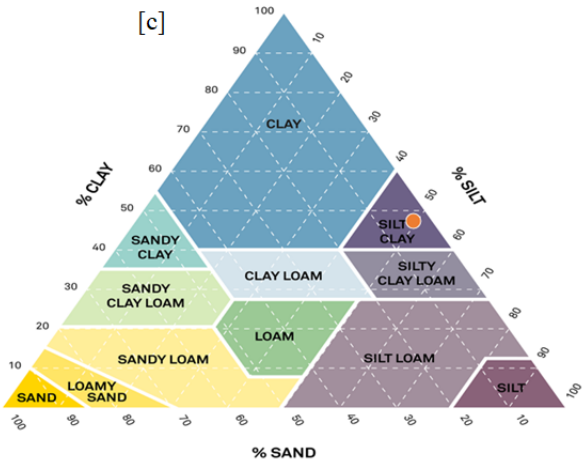


Figura 5. Analisi del suolo: proprietà chimiche (a), distribuzione degli aggregate (b) e triangolo USDA per la tessitura con indicazione (punto arancione) della tipologia di suolo nelle arie delle prove (c).

Setting delle prove

Le prove sul sito A sono state organizzate per realizzare una analisi comparativa su piccola scala fra il diserbo convenzionale ed un innovativo sistema di diserbo meccanico. Le prove sono state anticipate da una analisi della variabilità in campo per disegnare la griglia dei lotti. In particolare sono state studiate parametri quali: principali specie infestanti, densità delle infestanti e vigore della coltura seminata.

Le principali infestanti presenti nel campo sono state valutate tramite ispezioni visive delle specie stabilmente presenti in campo rispetto ad un database delle potenziali infestanti dell'erba medica. La valutazione è stata condotta in questo campo ed in altri nella zona per un totale di circa 30 ha monitorati per due stagioni di crescita. Il limite di densià per considerare un'infestante presente o potenzialmente presente nell'areale oggetto di studio è stato fissato a 5 individui per metro quadro, i risultati sono riportati nella tabella 2.

L'analisi della densità delle infestanti è, invece, stata realizzata tramite l'utilizzo dell'applicazione Canopeo (www.canopeoapp.com) nel periodo invernale in cui la frazione di biomassa soprassuolo dell'erba medica, in appassimento, non è riconosciuta come componente verde dall'algoritmo dell'application

Tabella 2: Infestanti riconosciute nell'areale e nei campi di erba medica nelle stagioni precedenti.

SCIENTIFIC NAME	ITALIAN LOCAL NAME	ENGLISH NAME
Amaranthus retroflexus	amaranto comune	Pigweed, redroot
Anagallis Arvensis	anagallide	Scarlet pimpernet
Avena fatua	avena selvatica	Oat, wild
Brassica nigra	senape nera	Mustard, black
Bromus rigidus	ferrosacco eretto	Brome, ripgut
Capsella bursa-pastoris	borsa del pastore	Shepherd's-purse
Centaurea solstitialis	cardo stellato giallo	Starthistle, yellow
Chamomilla suaveolens	camomilla falsa	Pineapple-weed
Chenopodium album	farinello comune	Lambsquarters, common
Convulvolvulus avensis	convolvolo/vilucchio	Field bindweed
Cuscuta europea	cucuta	Doddler
Cynodon dactylon	gramigna rossa	Bermudagrass/couchgrass
Cyperus esculentus	cipero	Yellow nutsedge
Datura stramonium	stamonio comune	Jimsonweed
Echinochloa crus-galli	giavone	Barnyardgrass
Equisetum arvense	equiseto	Field horstail
Geranium molle	geranio selvatico/	Dovefoot
Hordeum murinum (leporinum)	orzo selvatico leporino	Barley, hare
Lactuca serriola	lattuga selvatica	Lettuce, prickly
Lolium multiflorum	loietto	Ryegrass, Italian
Malva parviflora	malva	Mallow, little (cheeseweed)
Medicago polymorpha	erba medica polimorfa	Burclover
Phalaris spp	falaride / scagliola	Canarygrass
Picris echioides	aspraggine comune	Oxtongue, bristly
Poa annua	fienarola	Bluegrass, annual
Polygonum aviculare	correggiola	Knottgrass
Ranunculus californicus	ranuncolo	Buttercup
Raphanus raphanistrum	ravanello selvatico	Radish, wild
Rumex crispus	romice / lapazio	Dock, curly (seedling)
Senecio vulgaris	senecione comune	Groundsel, common
Setaria pumila	setaria	Yellow foxtail
Setaria viridis	falso panico	Green foxtail
Sonchus oleraceus	crespoigno	Sowthistle
Sorghum halepense	sorgo selvatico/sorghetta	Johnson grass
Spergula arvensis	renaiola comune	Spurry, corn
Stellaria media	stellaria media	Chickweed, common
Taraxacum officinale	tarassaco	dandelion
Urtica urens	ortica	Nettle, burning
Veronica serpyllifolia	veronica	Speedwell, thymeleaf
Xanthium strumarium	nappola italiana	Cocklebur, common

Un dataset basato su 50 foto per ettaro è stato utilizzato per generare una mappa di densità delle infestanti sul campo (figura 6). Ogni foto campionata è stata scattata mantenendo fisse l'altezza e la posizione relativa della cemera per avere un set di campioni omogenei da 1m² di superficie del campo l'uno. Infine, il vigore vegetativo dell'erba medica è stato ottenuto dall'analisi di immagini RGB e multi-spettrali della stagione di crescita precedente (2021) acquisite da drone e satelliti. Il risultato finale di questa operazione di ispezione dati è stata una mappa di distribuzione delle infestanti fondamentale per definire la zona del campo in cui realizzare le prove ed il layout dei lotti per i diversi trattamenti. Il sito B, ha ospitato una prova di carattere estensivo sul diserbo meccanico e nessuna analisi specifica delle infestanti è stata necessaria. Ad ogni modo, l'analisi delle performance delle macro-aree nel campo hanno consentito di definire le zone di prova in modo rappresentativo e quanto più possibile privo di variabilità.

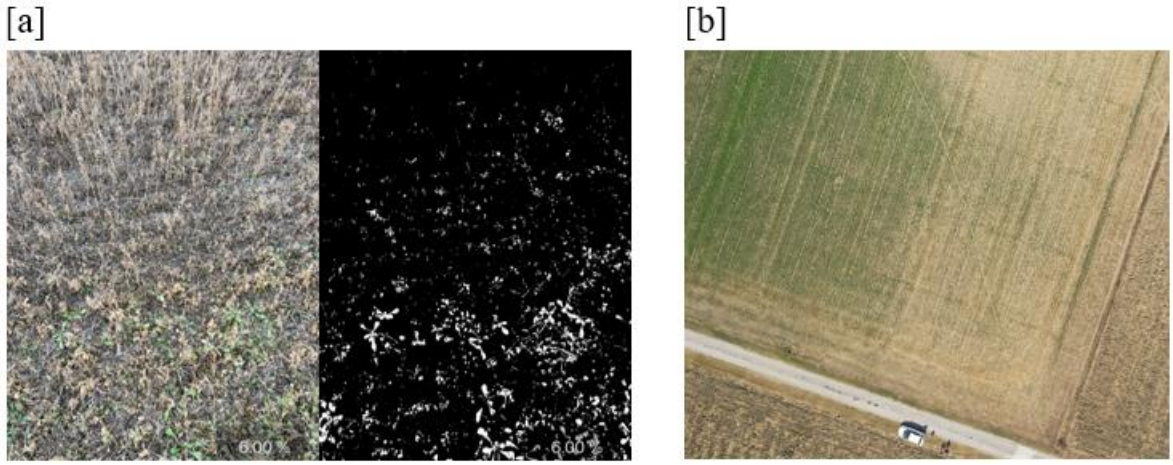


Figura 6. Studio preliminare della variabilità spaziale per la valutazione della densità di infestanti nel sito A. Un esempio dell'output dall'applicazione Canopeo come percentuale della copertura di infestanti (a) e una foto scattata dal drone utilizzato per definire la variabilità nel vigore dell'erba medica (b).

Procedura prove

L'attrezzo prototipale per il diserbo meccanico è composto da un telaio in acciaio largo 2,5 m e lungo 4 m collegato all'attacco a tre punti del trattore e supportato da due ruote mediane durante l'utilizzo. È stato progettato con 6 file di denti semi rigidi montati su molle e specificamente distanziati. Un totale di 50 denti sono montati sull'attrezzo, ognuno dei quali distanziato di 5 cm lungo il telaio rispetto al precedente ed al successivo su file diverse. Il prototipo è stato progettato per operare una leggera lavorazione dello strato superficiale del suolo, minimizzando allo stesso tempo sia l'accumulo di eventuali coperture vegetali fra gli organi dell'attrezzo sia un indesiderato scavo del terreno. Sfruttando l'apparato radicale profondo e forte dell'erba medica, l'attrezzo è stato disegnato per danneggiare esclusivamente le piante infestanti esplicando sul loro più debole apprato radicale un'azione di danneggiamento e sradicamento (figura 7). Per testare l'efficacia del diserbo, le prove sono state impostate nei campi come segue (figura 8).

Figura 7. Principio di funzionamento dell'attrezzo per il diserbo meccanico (a) che mostra l'effetto di un dente (a.1) su una radice profonda di erba medica (a.2) ed una più superficiale di una generica infestante (a.3). Il design dell'attrezzo prototipale (b)(c).

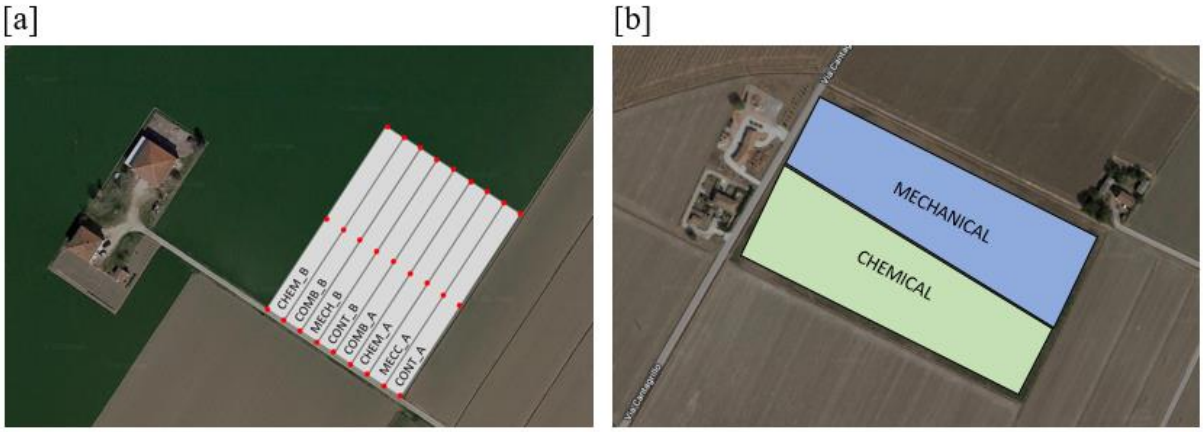


Figure 8. I campi di prova sito A (a) e sito B (b).

Nel sito A, tre diversi sistemi per il diserbo sono stati confrontati: meccanico, chimico e combinato (chimico più meccanico). Inoltre, è stato incluso un lotto per il controllo negativo. Ognuno degli 8 lotti totali ha un'estensione pari a 300 m² (37x8m). Sulla base dell'analisi spaziale del campo è stato definito un layout della prova finalizzato a minimizzare la variabilità fra lotti in termini di distribuzione/densità delle infestanti, e vigore della coltura. Per quanto riguarda il trattamento chimico, è stato utilizzato un erbicida selettivo con effetto sistemico e per contatto sulle infestati. Il principio attivo è il metribuzin ad una concentrazione del 70% ed è stato distribuito ad un valore di 0.350 kg/ha di prodotto commerciale. Insieme al trattamento chimico è stato anche utilizzato il prototipo per il diserbo meccanico nei lotti corrispondenti (meccanico e combinato). Sulla base del tempo di attivazione dell'erbicida e delle condizioni ambientali (precipitazioni, umidità dell'aria e temperatura), i dati sulle performances dei trattamenti sono stai raccolti 30 giorni dopo. Il processo di raccolta dati consiste nel taglio di tutta la biomassa vegetale in una sagoma da 1.0 m² per 3 campione in ogni lotto, quindi 6 campioni per ogni trattamento. La biomassa raccolta è stata pulita da corpi estranei e successivamente separata in due classi: infestanti e erba medica. Oltre all'analisi del peso secco, è stata anche svolta una analisi ottica utilizzando l'applicazione Canopeo per studiare la copertura vegetale attraverso le immagini raccolte in 4 campioni casuali per

ognuno dei lotti ottenuti dalla media del valore di 4 immagini, quindi 8 campioni e 36 foto per trattamento (figura 9). La raccolta dei dati invernale è stata possibile grazie al trascurabile contributo dell'erba medica nei risultati della copertura vegetale. In altri termini, sia la biomassa secca, sia la copertura erano valori prossimi allo zero in ogni campione. Questo ha promosso una precisa e mirata analisi sull'effetto del diserbo meccanico sulle sole infestanti. Nel sito B, due principali aree da 4.5 e 5 ha sono state definite per ospitare la seconda prova. La prima zona è stata trattata completamente diserbata con l'utilizzo del prototipo per il diserbo meccanico, mentre la seconda è stata storicamente trattata con diserbanti analogamente al sito A.

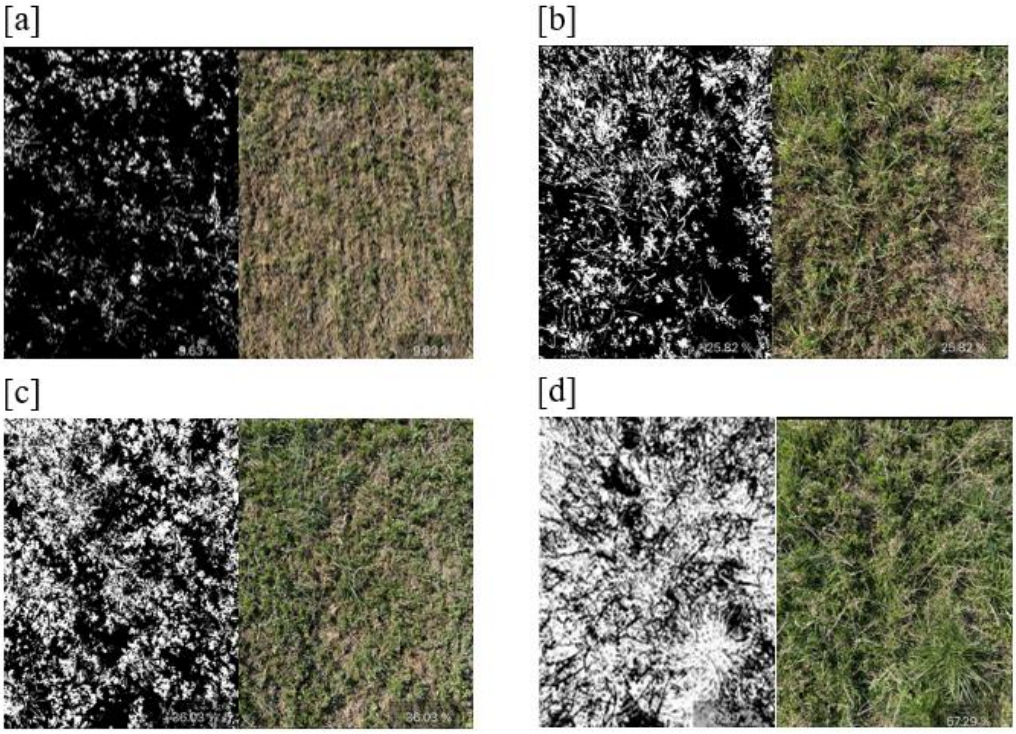


Figura 9. L'output del'applicazione Canopeo della copertura vegetale. Diversi livelli di infestazione sono indicati sotto froma di percentuale: 9.36 (a), 25.82 (b), 36.3 (c) and 57.29 (d).

Mentre l'obiettivo delle prove nel sito A erano finalizzate e testare l'efficacia del diserbo meccanico in termini di percentuale di infestanti rimosse, il sito B aveva lo scopo di valutare potenziali effetti indesiderati sulla coltura di erba medica derivati dall'utilizzo dell'attrezzo. Per quanto riguarda questa seconda analisi è stato seguito e valutato lo stato di salute delle piante di erba medica in termini di

(i) vigore vegetale, (ii) produttività e (iii) qualità della produzione. Per conoscere rapidamente e periodicamente il vigore generale delle piante è stato implementato un modello di analisi dei dati basato sulla piattaforma Copernicus e il software ArcGIS Pro. La costellazione Sentinel 2 comprende due satelliti equipaggiati con un MultiSpectral Instrument (MSI) in grado di restituire immagini in una specifica lunghezza d'onda e con diverse risoluzioni spaziali (10, 20 e 60 metri).

Le immagini satellitari multi-spettrali sono state raccolte durante l'intero periodo di crescita dell'erba medica nel sito B (con un intervallo di scappo di 5 giorni), per essere successivamente introdotte nell'ambiente di sviluppo Model Builder di ArcGIS (figure 10). L'output del modello è una tabella riportante il valore medio di quattro indici di vegetazione (VIs) nelle due zone a diverso trattamento del sito.

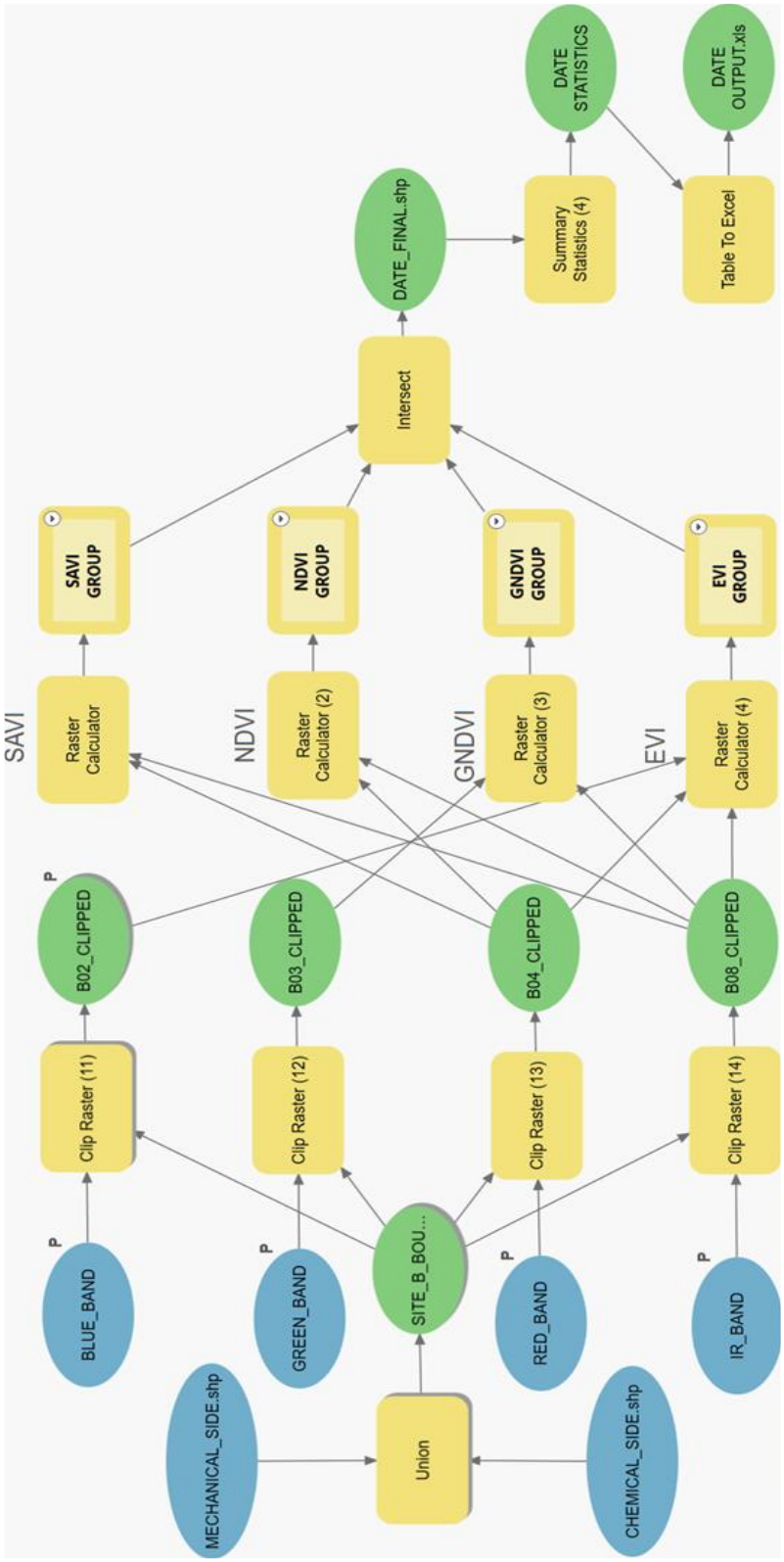


Figura 10. Modello di eleborazione delle immagini satellitare nell'ambiente di sviluppo Model Builder di ArcGIS per calcolare gli indici di vegetazione ed estrarre le statisctiche

La figura 11 schematizza il il processo di operazione per convertire le immagini satellitari nei valori degli indici. In accordo con (Kayad et al., 2016), I principali indici di vegetazione per l'erba medica e la previsione di produzione sono: Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) e Normalized Differential Vegetation Index (NDVI). Oltre a SAVI e NDVI, anche Green Normalized Differential Vegetation Index (GNDVI) e Enhanced Vegetation Index (EVI) sono stati calcolati per valutare lo stato di salute ed il vigore vegetale generale. Tutti gli indici sono stati calcolati con una in ognuno dei pixel di 10 x 10 m delle immagini multi-spettrali.

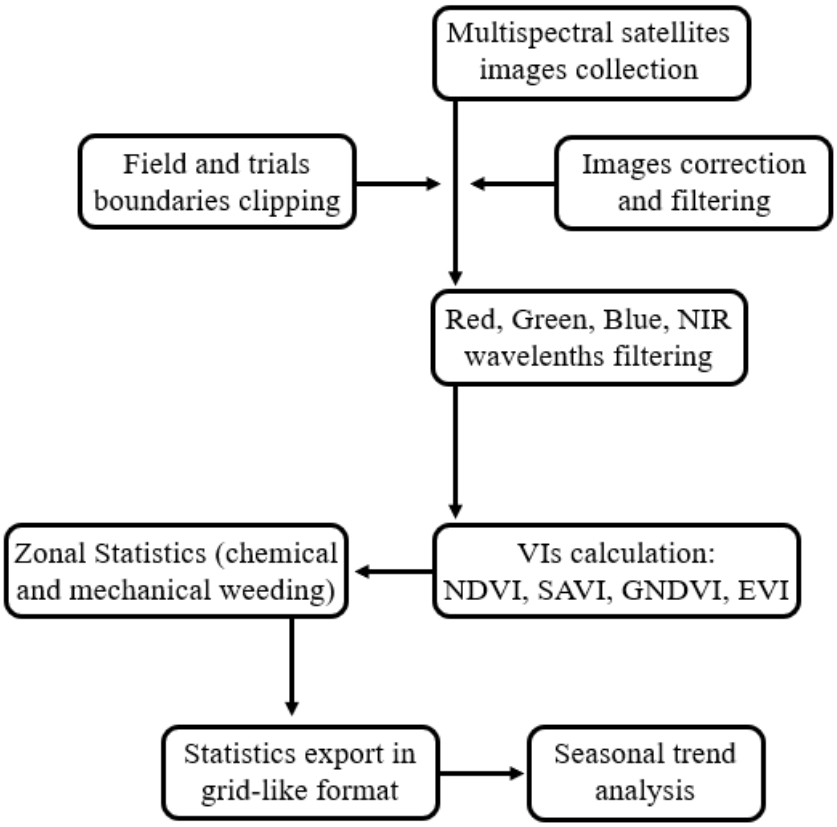


Figura 11. Schema di lavoro concettuale per elaborare le immagini satellitare dal sito B.

Le seguenti formule sono state utilizzate per calcolare gli indici di vegetazione:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + 0.5)}(1 + 0.5)$$

$$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)}$$

$$EVI = 2.5\ \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 * RED - BLUE + 1)}$$

L'analisi della produttività consiste nel conteggio del numero complessivo di roto-balle moltiplicato per il loro peso medio in ogni raccolta nelle aree con i due diversi trattamenti del sito B. L'ultimo step dello studio riguarda la qualità del foraggio, per il quale una semplice raccolta di campioni nelle due diverse zone del sito B ha consentito è stata analizzata in un laboratorio locale. Oltre alle prove in campo, è stata condotta anche una analisi finanziaria, per evidenziare i benefici a lungo termine, l'impatto sull'economia aziendale delle politiche comunitarie e nuovi costi da sostenere nel caso di una azienda che decide di acquistare l'attrezzo prototipale e convertire le pratiche di diserbo da chimico a meccanico. Le relazioni funzionali fra l'adozione del nuovo sistema di diserbo ed il bilancio economico aziendale sono state espresse da una analisi di sensibilità riguardante l'impatto sul Pay Back Period (PBP) quando quattro variabili della produzione cambiano (area coltivata, prezzo del foraggio, produzione stagionale, costi diretti per il diserbo): i) l'area coltivata varia da 10

a 100 ha ed è è stata ipotizzata come superficie pari al 40-70% della SAU aziendale; ii) il prezzo del foraggio è stato stimato in aumento grazie sia alla maggiore qualità del raccolto che al valore aggiunto da certificazioni e contributi (biologico, produzione locale, contributi PAC). Il nostro studio si è unicamente concentrato sull'impatto della prima condizione, che dipende unicamente da fattori di campo e non dalla gestione complessiva dell'azienda e da fattori esterni; (iii) l'incremento della qualità del foraggio è stato stimato in un diretto aumento del prezzo quando il raccolto è privo di infestanti. iv); L'admaento della produzione è stimato pari ad una riduzione annuale del 5% dalla seconda all'ultima stagione di crescita, a causa del potenziale effetto di stress del diserbo meccanico; v) infine, i costi di diserbo sono stati assunti pari al valore del diserbo chimico maggiorato del 20%, come risultato del maggiore consumo orario e costi di manutenzione. L'analisi finanziaria è stata condotta assumendo alcuni parametri costanti come il costo di raccolta, trasporto, lavorazioni e irrigazione, i costi fissi totali, la durata dell'impianto, il numero di raccolti per stagione e il saggio di interesse. Per quanto riguarda la durata dell'impianto, è stata assunta pari a sette anni, con quattro raccolti per anno ed un picco di raccolta tra il secondo ed il terzo anno. L'analisi di sensitività si basa su: i) un doppio ciclo di crescita pari a 14 anni di produzione totale nell'azienda, ii) un investimento iniziale per l'acquisto dell'attezzo di 10,000€, iii) un contributo pari a 100€/ha come promosso dal sistema di bioschemi della PAC 2023. Un costo variabile aggiuntivo è stato calcolato ogni anno per rappresentare il supporto all'adozione del bioschema numero 4 tramite le pratica per la lotta integrata (valorizzazione delle infrastrutture ecologiche, rilascio di nemici naturali, interventi irrigui o di lavorazione del suolo straordinari). I dati riguardanti i costi, la produzione e i profitti nei due scenari, sono riportati nelle tabelle 3,4,5. I valori sono basati sull'analisi di Frascarelli and Perpetua, (2019) e corretti sulla base dell'esperienza personale e sui valori storici registrati nell'area di interesse.

Tabella 2. Stima dei costi di produzione di una azienda agricola basata sul diserbo convenzionale (a) ed una azienda convertita al diserbo meccanico (b).

[a]

Type of cost	1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year	6th year	7th year
Tillage	260	0	0	0	0	0	0
Fertilization	45	0	0	0	0	0	0
Fertilizer	180	0	0	0	0	0	0
Sowing	168	0	0	0	0	0	0
Chemical weeding	40	40	40	40	40	40	40
Irrigation	55	55	55	55	55	55	55
Harvest and transport	160	160	160	160	160	160	160
Harvest and transport	160	160	160	160	160	160	160
Harvest and transport	160	160	160	160	160	160	160
Harvest and transport	160	160	160	160	160	160	160
Harvest and transport	160	0	160	0	160	0	160
tot	1548	735	895	735	895	735	895

[b]

Type of cost	1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year	6th year	7th year
Tillage	260	0	0	0	0	0	0
Fertilization	45	0	0	0	0	0	0
Fertilizer	180	0	0	0	0	0	0
Sowing	168	0	0	0	0	0	0
Mechanical weeding	55	55	55	55	55	55	55
Irrigation	55	55	55	55	55	55	55
Harvest and transport	160	160	160	160	160	160	160
Harvest and transport	160	160	160	160	160	160	160
Harvest and transport	160	160	160	160	160	160	160
Harvest and transport	160	160	160	160	160	160	160
Harvest and transport	160	0	160	0	160	0	160
Additional organic costs	100	50	50	50	50	50	50
tot	1663	800	910	750	910	750	910

Tabella 3. Stima della produzione di una azienda agricola basata sul diserbo convenzionale (a) ed una azienda convertita al diserbo meccanico (b).

[a]

	1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year	6th year	7th year
1st harvest	1.5	3	4	3.5	3.5	3	2.5
2nd harvest	0	3.5	4.5	4	4	3.5	3
3rd harvest	2	3.5	4.5	4	4	3.5	3
4th harvest	1.5	3	4	3.5	3.5	3	2.5
5th harvest	1	0	3.5	0	3	0	2
SUM	6	13	20.5	15	18	13	13

[b]

	1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year	6th year	7th year
1st harvest	1.5	3	4	3.5	3.5	3	2.5
2nd harvest	0	3.5	4.5	4	4	3.5	3
3rd harvest	2	3.5	4.5	4	4	3.5	3
4th harvest	1.5	3	4	3.5	3.5	3	2.5
5th harvest	1	0	3.5	0	3	0	2
SUM	6	12.35	18.45	12.75	14.4	9.75	9.1

Tabella 4. Stima del profitto di una azienda agricola basata sul diserbo convenzionale (a) ed una azienda convertita al diserbo meccanico (b).

[a]

YEAR	YIELD	PRICE	REVENUE	COST	PROFIT
0					
1	6	120	720	1548	-828
2	13	120	1560	735	825
3	20.5	120	2460	895	1565
4	15	120	1800	735	1065
5	18	120	2160	895	1265
6	13	120	1560	735	825
7	13	120	1560	895	665
8	6	120	720	1548	-828
9	13	120	1560	735	825
10	20.5	120	2460	895	1565
11	15	120	1800	735	1065
12	18	120	2160	895	1265
13	13	120	1560	735	825
14	13	120	1560	895	665

[b]

YEAR	YIELD	PRICE	REVENUE	COST	PROFIT
0					
1	6	130	780	1663	-773
2	12.35	130	1605.5	800	915.5
3	18.45	130	2398.5	910	1598.5
4	12.75	130	1657.5	750	1017.5
5	14.4	130	1872	910	1072
6	9.75	130	1267.5	750	627.5
7	9.1	130	1183	910	383
8	6	130	780	1663	-773
9	12.35	130	1605.5	800	915.5
10	18.45	130	2398.5	910	1598.5
11	12.75	130	1657.5	750	1017.5
12	14.4	130	1872	910	1072
13	9.75	130	1267.5	750	627.5
14	9.1	130	1183	910	383

RISULTATI

Le analisi svolte sulla densità di infestanti nel sito A mostrano un effetto significativo del metodo alternativo basato sul diserbo meccanico. Mentre i lotti trattati con entrambi i metodi (chimico e meccanico) hanno registrato una riduzione pari all'85% della massa secca presente rispetto al controllo, i lotti trattati unicamente con diserbo meccanico e chimico hanno condotto ad una riduzione rispettivamente del 72% e 51%.

Per quanto riguarda lo studio della copertura vegetale dall'applicazione Canopeo, la maggiore riduzione si nota ancora nel trattamento combinato con il 75% in meno rispetto al controllo, mentre il trattamento meccanico e chimico hanno raggiunto una riduzione rispettivamente del 49% e 53% (figura 12).

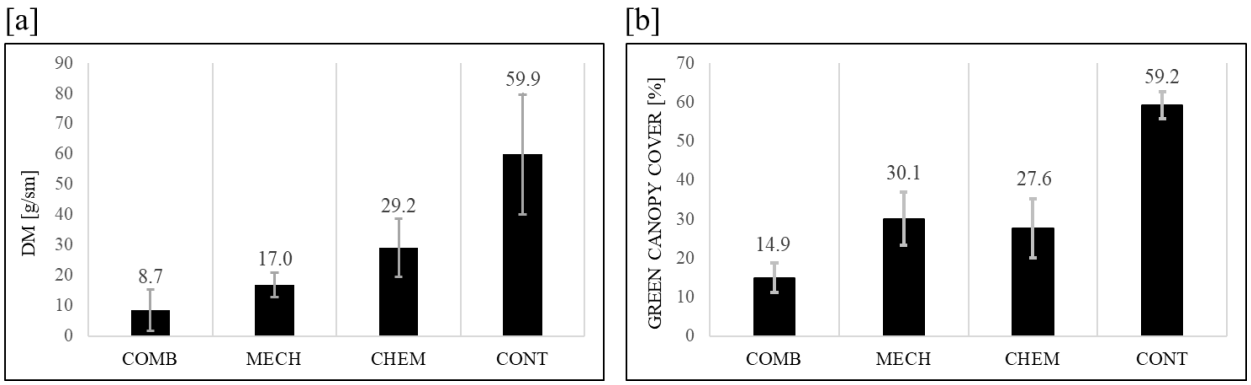


Figura 12. Peso secco della biomassa di infestanti soprassuolo raccolta nel sito A (a) e la copertura vegetale nel sito A (b) in quattro diversi trattamenti.

Le prove nel sito B erano finalizzate a verificare il potenziale effetto negative del diserbo meccanico sulle piante di erba medica. I dati raccolti dalle zone con I due trattamenti mostrano una qualità leggermente maggiore nel lato diserbato meccanicamente e comunque una differenza di produzione non significativa (figura 13). L'analisi degli indici di vegetazione mostra chiaramente la variazione di vigore vegetale delle piante di erba medica a seguito di intense precipitazioni e periodi di raccolta. Nella prima parte della stagione si nota un significativo effetto del diserbo meccanico nel lato del campo trattato con l'attrezzo prototipale.

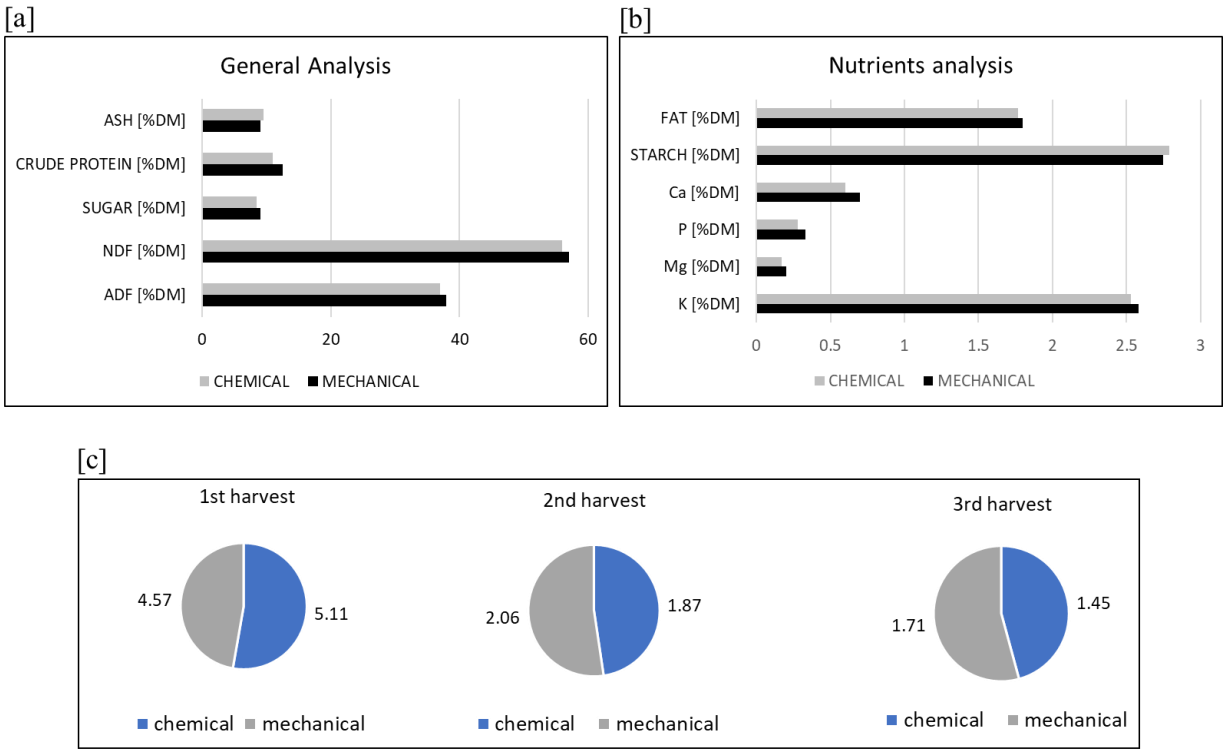


Figura 13. Qualità media del foraggio (a,b) e produttività (c) nei due trattamenti del sito B.

Ogni VI mostra, infatti, una riduzione non trascurabile esattamente dopo l'utilizzo dell'attrezzo in campo. Nonostante la riduzione iniziale del vigore vegetale o della produzione potenziale, la differenza fra le due zone trattate si è completamente livellata durante la seconda ed ultima parte della stagione (figure 14 e 15).

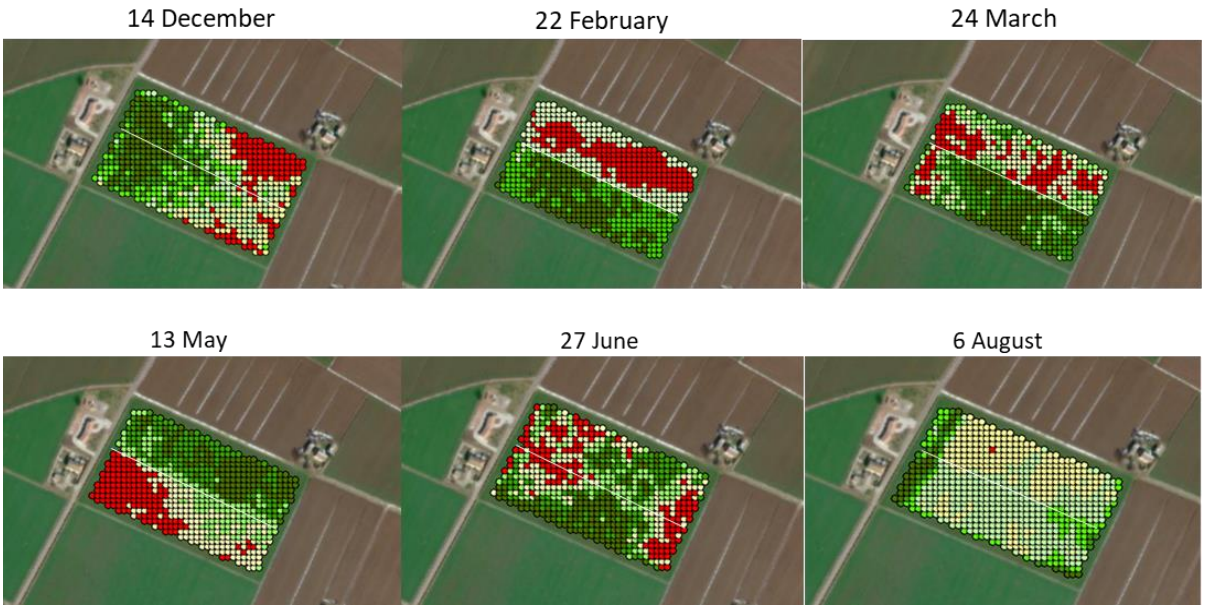
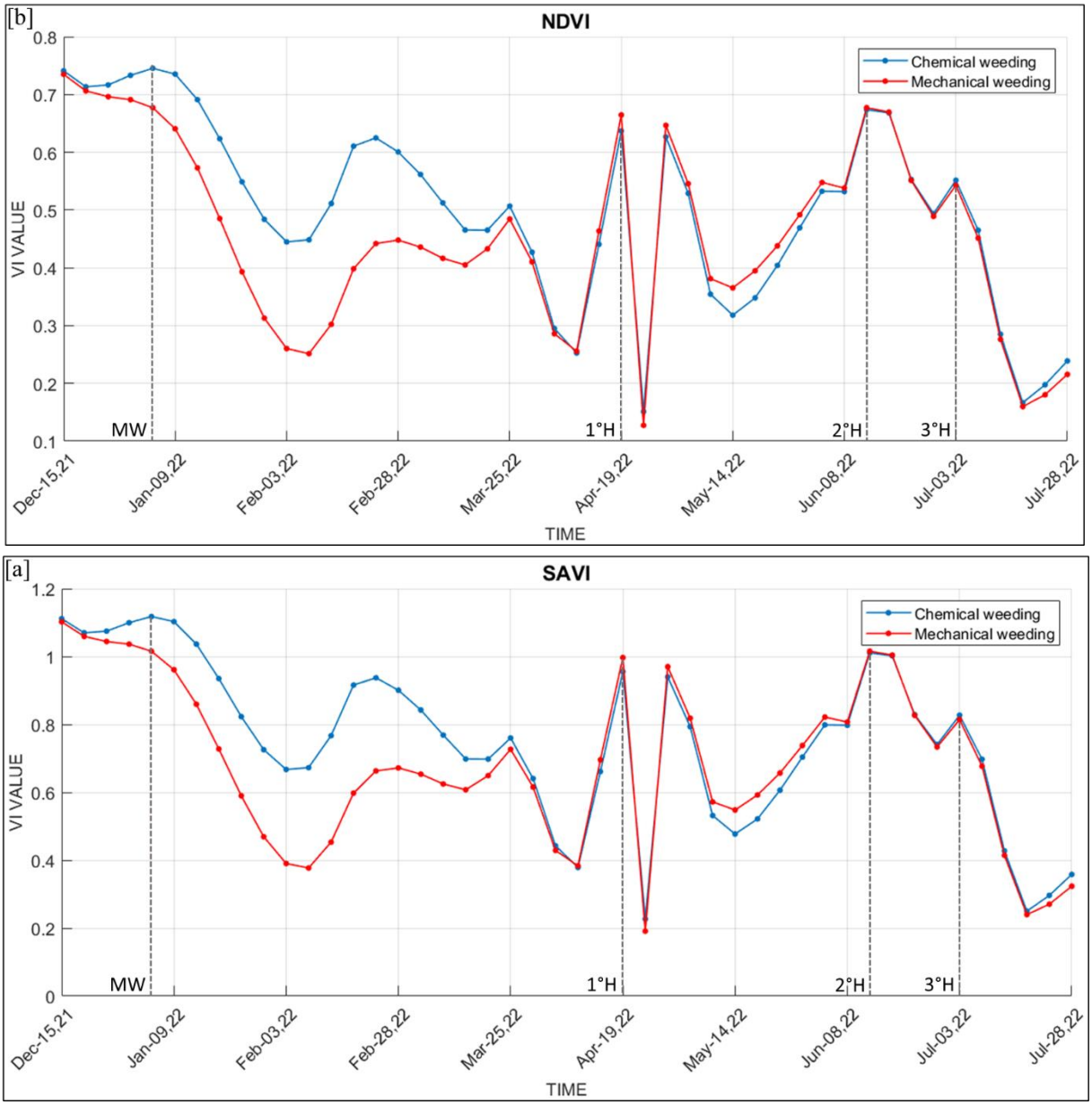


Figura 14: Serie temporale dell'indice vegetativo SAVI rappresentato nella mappa in alcune date specifiche dall'inverno al terzo raccolto nel sito B.


[b]
NDVI
Chemical weeding
Mechanical weeding
VI VALUE
MW
1°H
2°H
3°H
Dec-15,21
Jan-09,22
Feb-03,22
Feb-28,22
Mar-25,22
Apr-19,22
May-14,22
Jun-08,22
Jul-03,22
Jul-28,22
TIME
[a]
SAVI
Chemical weeding
Mechanical weeding
VI VALUE
MW
1°H
2°H
3°H
Dec-15,21
Jan-09,22
Feb-03,22
Feb-28,22
Mar-25,22
Apr-19,22
May-14,22
Jun-08,22
Jul-03,22
Jul-28,22
TIME

Continue

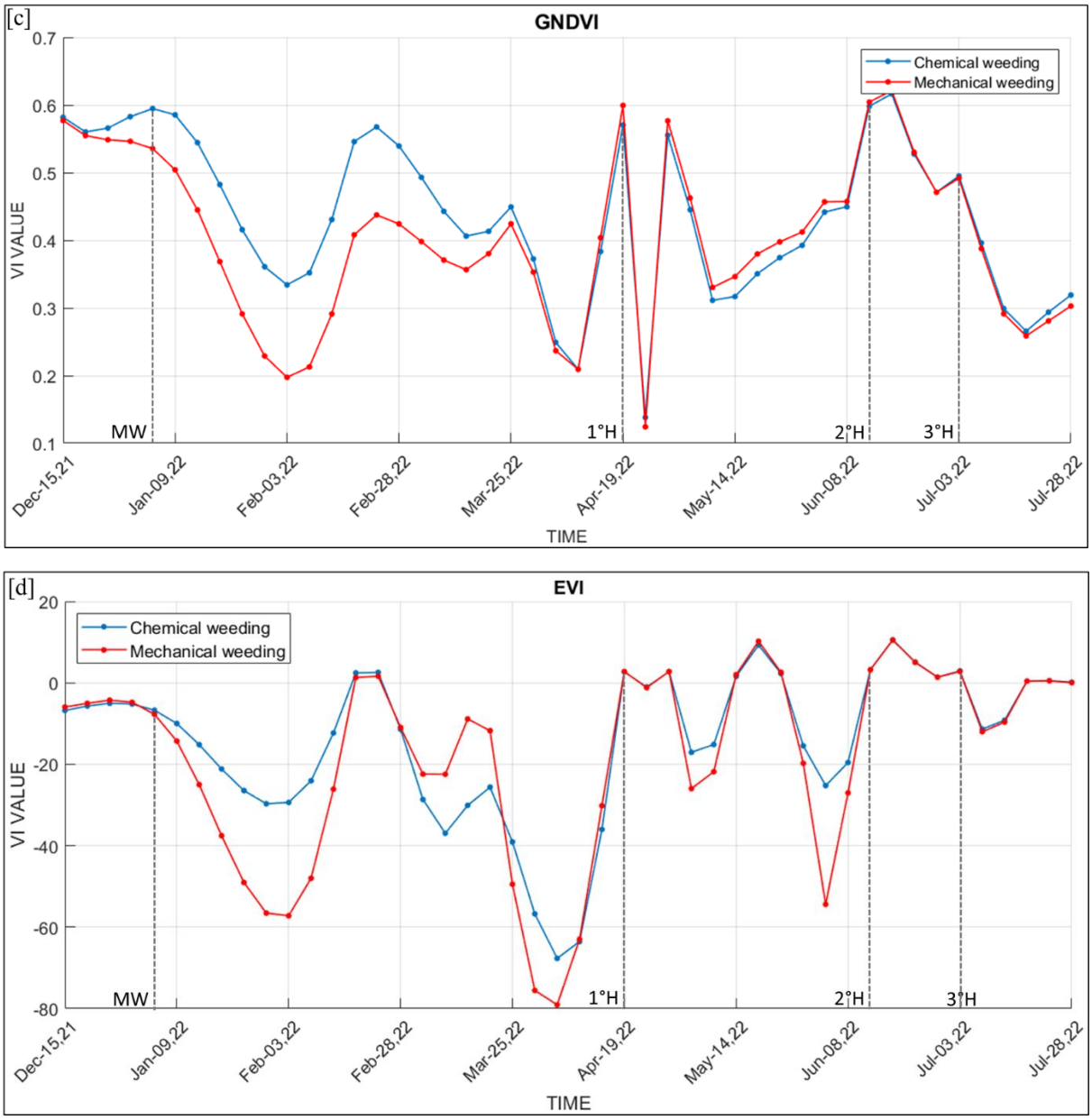


Figura 15. Serie temporale degli indici di vegetazione calcolati nel modello. Sono indicate anche le data di raccolta e di operazioni di diserbo. MW = Mechanical Weeding date (data diserbo meccanico), FH = First harvest date (prima data raccolta), SH = Second harvest date (seconda data raccolta), TH = Third Harvest date (terza data raccolta).

Nella regione Emilia-Romagna, durante l'estate 2022 sono stati registrati numerosi periodi siccitosi ed anomalie nelle temperature massime e minime che hanno portato ad altrettanti episodi di stress per le coltivazioni locali. La ridotta disponibilità idrica ha incrementato la variabilità spaziale in campo per quanto riguarda lo stato di salute e la frequenza dei disordini nutritivi nel sit B. Ad ogni

modo, questo problema è stato contrastato dall'elevato numero di campioni e dal metodo di acquisizione dai satelliti. L'analisi di sensitività ha restituito quattro diverse tipologie di risultati dal modello utilizzato per le simulazioni in diversi scenari. La figura 16 mostra la fluttuazione dei costi, del guadagno e del profitto in funzione del costo specifico per il diserbo, del prezzo finale del foraggio e della produzione potenziale. La figura 17 illustra la relazione fra tre variabili (costi per il diserbo, prezzo del foraggio e superficie coltivata) ed il Pay Back Period (PBP), che rappresenta l'anno al quale l'azienda recupera completamente i costi sostenuti per l'investimento dell'attrezzo (la variabilità legata al riduzione della produzione è stata esclusa dato il basso impatto sui risultati). La figura 17 mostra anche una classificazione basata sulla superficie coltivata, come variabile principale e sul Net Present Value (NPV) che, in accordo con la definizione di Frank Knight, rappresenta il valore corrente dell'investimento, attualizzato sulla base del tasso di rendimento. L'ultimo punto dell'analisi economica riguarda la fluttuazione annuale del NPV applicata alle più probabili condizioni di coltivazione e gestione dell'impresa. Sulla base dei risultati provenienti dal sito A e B, né la qualità né la produzione di foraggio di erba medica è stata ridotta o alterata significativamente nelle zone diserbate meccanicamente. Pertanto, sia il prezzo finale che la produzione totale sono state mantenute invariate nell'analisi di sensitività. Infine, l'area coltivata è stata posta pari a 20 ha, valore che ben rappresenta una condizione media nelle aziende ad indirizzo prevalentemente seminativo della regione Emilia-Romagna. Dati i sopracitati risultati, la figura 18 mostra il cambiamento del NPV durante la stagione e l'anno al quale il PBP viene raggiunto.

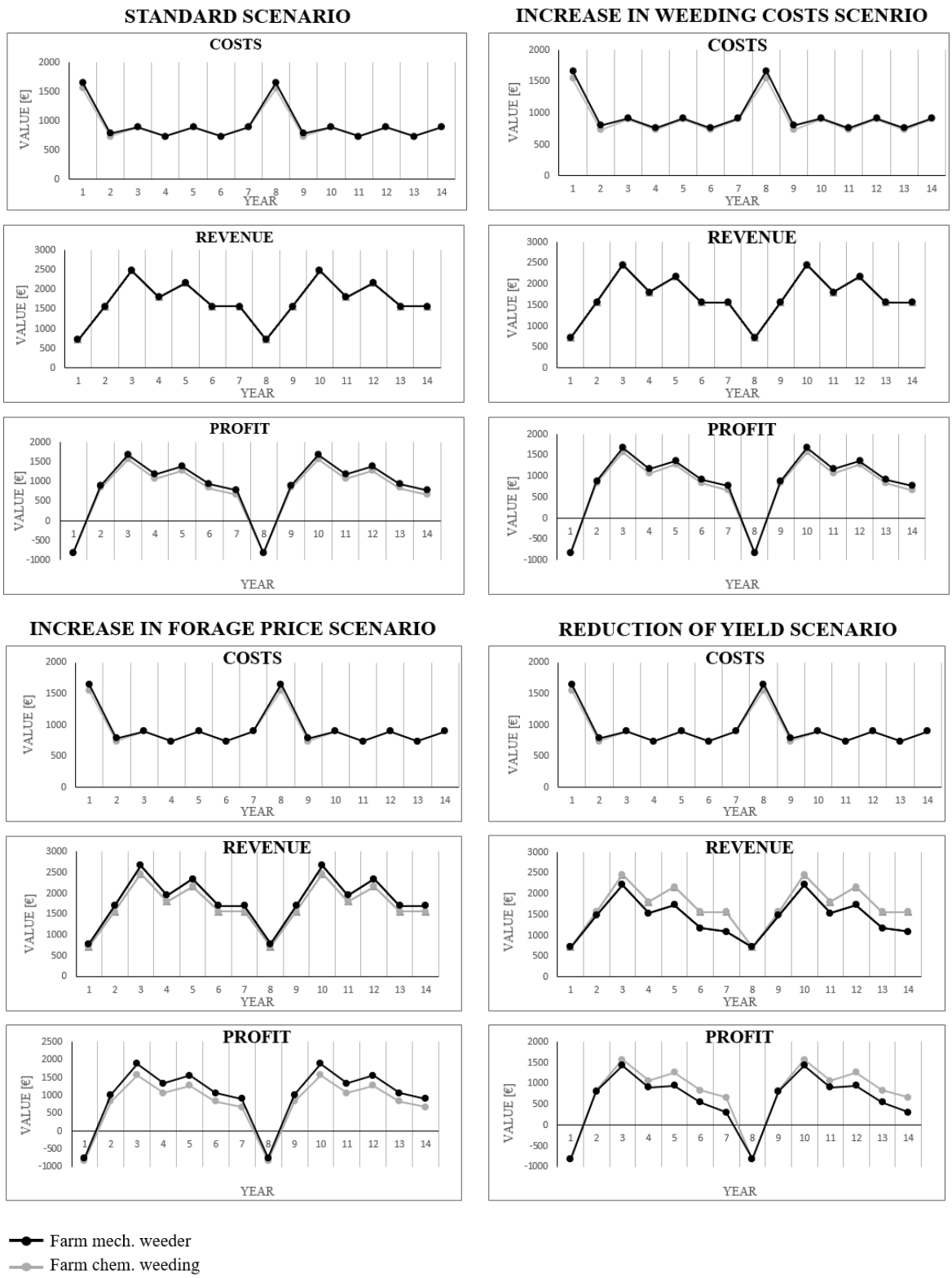
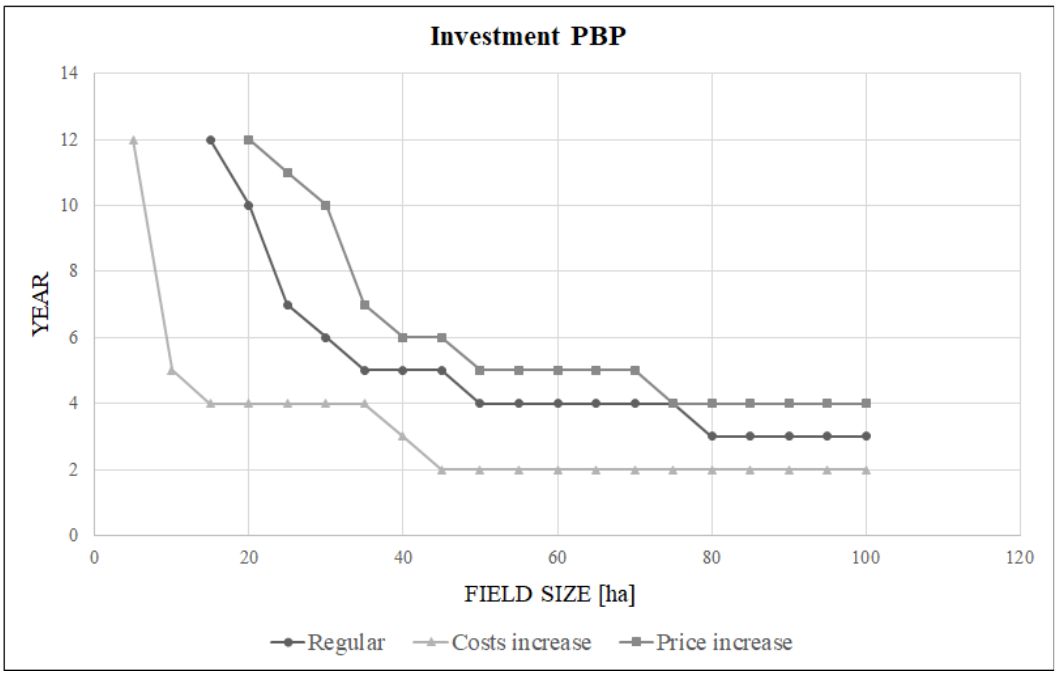


Figura 16. Stima dei consti di produzione, guadagno e profitto di una azienda agricola convenzionale ed un anche sostituisce il diserbo chimico con quello meccanico, in 4 diversi scenari: standard, costi diserbo maggiorati, Prezzo foraggio maggiorato, perdita di produttività.

[a]



[b]

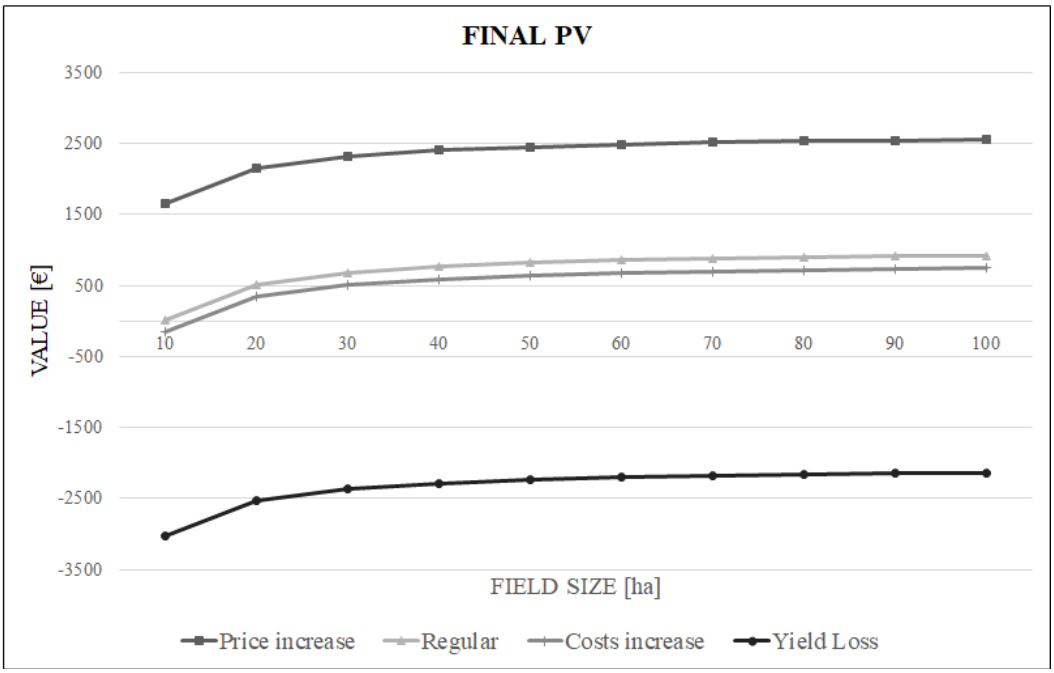
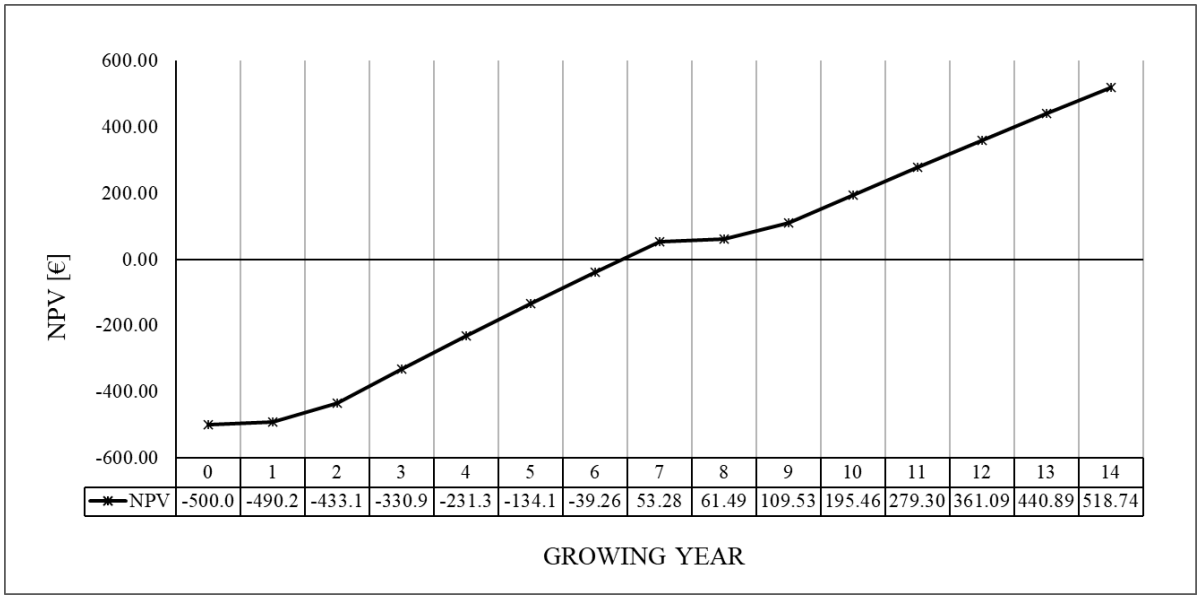


Figura 17. Fluttuazione su base annuale del Pay Back Period (PBP) (a) e final Present Value (PV) (b) in funzione della superficie coltivata, in 4 diversi scenari: standard, costi diserbo maggiorati, Prezzo foraggio maggiorato, perdita di produttività.



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
NPV	-500.0	-490.2	-433.1	-330.9	-231.3	-134.1	-39.26	53.28	61.49	109.53	195.46	279.30	361.09	440.89	518.74

Figura 18. Fluttuazione su base annuale del Net Present Value (NPV) nelle più probabili condizioni di coltivazione.

DISCUSSIONE

L'obiettivo di questo studio era testate l'efficacia di un sistema innovativo per il controllo delle infestanti nei campi in produzione di erba medica da foraggio.

I dati raccolti dall'analisi di confronto fra diversi trattamenti ha mostrato un effetto significativo del diserbo meccanico quando adottato come unico metodo di controllo e un effetto superiore quando combinato con il controllo chimico.

Tale risultato dipende principalmente dalla tipologia di infestanti presenti in campo. Il diserbo meccanico non è influenzato dai processi fisiologici, al contrario del controllo chimico. I principali parametri che condizionano l'efficacia del trattamento sono invece proprietà fisiche delle piante infestanti (lunghezza e larghezza dello stelo, profondità e dispersione dell'apparato radicale, forma di crescita). È pertanto ragionevole dedurre che l'azione sinergica fra il controllo meccanico e quello chimico risultino dalla combinazione di effetti specifici sulla pianta da parte dei due trattamenti. Ad esempio, alcuni erbicidi risultano inefficaci contro le graminacee e questa proprietà è attualmente sfruttata dagli agricoltori durante la semina in consociazione con l'erba medica anche di piante graminacee per aumentare la produzione durante il primo raccolto. In tali condizioni, il diserbo meccanico può essere valorizzato per mantenere l'uso di questa tipologia di erbicidi selettivi che non danneggiano le graminacee, rimuovendo allo stesso tempo le infestanti che appartengono a questa famiglia attraverso l'azione simultanea dei due trattamenti. Questa tipologia di controllo integrato è già stato ampiamente testato in mais. Numerosi studi supportano l'effetto positivo derivato dall'adozione di strategie di controllo meccaniche per ridurre l'utilizzo di erbicidi. Ad ogni modo, una corretta valutazione delle condizioni di crescita ed una precisa pianificazione degli interventi è necessaria per ottenere il massimo tasso di riduzione delle infestanti: 50-75% (Mulder and Doll, 1993). Analogamente, le infestanti dell'erba medica possono essere controllate

attraverso la combinazione di diverse strategie, ma uno sforzo extra per la gestione del campo è sottinteso.

Milioni di ettari in diversi Paesi nel mondo sono attualmente dedicati alla coltivazione di pante geneticamente modificate ed il trend storico globale è in stato in costante aumento e stimato in una ancora maggiore crescita per il futuro.

La maggior parte di questi organismi geneticamente modificati sono colture resistenti che sono state ingegnerizzate per consentire agli agricoltori di utilizzare erbicidi non elettivi sull'intera superficie coltivata senza piante target.

Ad ogni modo, la massiccia adozione di OGM resistenti agli erbicidi porta ad una serie di complicazioni tra cui l'abuso di prodotti fitosanitari di sintesi, l'espansione del divario fra infestanti emergenti e soluzioni sviluppate, ma soprattutto l'aumento di popolazioni infestanti resistenti (Owen and Zelaya, 2005).

L'analisi della qualità del foraggio ha riportato una trascurabile differenza nelle frazioni negative ed una qualità generale leggermente superiore nei campi diserbati meccanicamente. Analogamente, gli indici di vegetazione mostrano che l'effetto negativo sulle crescita e produttività delle piante di alfa-medica può essere escluso quando l'attrezzo prototipale per il diserbo viene utilizzato.

Tali risultati sono supportati dall'analisi della resa per ettaro che mostra una produttività generalmente stabile nelle zone trattate.

La principale preoccupazione in merito all'attrezzo riguardava il potenziale danno arrecato al colletto radicale delle piante di erba medica. Tale effetto collaterale è stato completamente escluso in accordo con quanto mostrato dai risultati. Grazie al suo principio di azione, basato su una leggera lavorazione dello strato superficiale del terreno, l'attrezzo testato ha evidenziato un effetto di sollevamento di micro-zolle di suolo. Ad ogni modo, il terreno sollevato durante la lavorazione tende naturalmente e rapidamente a precipitare a livello del suolo durante i primi interventi irrigui o in corrispondenza delle precipitazioni stagionali. A tale proposito, non esiste alcuna reale preoccupazione circa la

possibile raccolta di porzioni di suolo nel foraggio durante le operazioni di fienagione, come dimostrato dal contenuto di ceneri nei campioni di foraggio provenienti dalle zone diserbate meccanicamente. L'effetto indesiderato del sollevamento del suolo è, al contrario, risultato funzionale nell'esplicare un leggero livellamento delle carreggiate lasciate come solchi nel terreno durante l'utilizzo delle macchine in campo nella stagione precedente. Le simulazioni condotte sull'impatto economico di una ipotetica azienda in conversione dal diserbo chimo a quello meccanico hanno mostrato un significativo beneficio sul profitto, in gran parte legato agli incentivi provenienti dalle politiche comunitarie.

Come espresso dalla proposta PAC 2023 per il Bioschema numero 4, l'adozione del diserbo meccanico come parte di un sistema di lotta integrata risulta la migliore soluzione per consentire la coltivazione di erba medica senza alcun contributo dai prodotti di sintesi. Inoltre, le aziende a produzione biologica, posso avvantaggiarsi di questa soluzione per il controllo delle infestanti per sostituire o integrare altre soluzioni più onerose o complesse. Sia nel caso in cui una azienda decidesse di convertirsi da produzione convenzionale ad organica o meno, beneficerà di un prezzo superiore del foraggio senza alcun compromesso in termini di produttività. In altri termini, a differenza delle difficoltà nella gestione di molte altre colture seminative, l'attrezzo per il diserbo oggetto delle prove può supportare ed agevolare la conversione e la conservazione di una azienda alla produzione biologica. Ulteriori analisi circa i reali costi operativi dell'attrezzo per il diserbo meccanico possono aumentare l'accuratezza delle simulazioni. A questo riguardo, una raccolta dati mirata a stimare il consumo orario ed i costi di manutenzione è necessaria per ottenere una precisa caratterizzazione dell'attrezzo e promuovere un giudizio di convenienza rispetto alle botti irroratrici convenzionalmente utilizzate. Inoltre, assumendo la riduzione di prodotti sintetici distribuiti in campo, una analisi del ciclo di vita del diserbo meccanico può condurre ad una caratterizzazione dell'attrezzo sotto

il profilo della sostenibilità ambientale. Uno studio a lungo termine, basato su questa analisi multicriteria, è necessario per confermare il risultato su diverse stagioni in successione.

Per quanto riguarda la definizione dei parametri che possono condizionare l'efficacia dell'attrezzo, la profondità dell'apparato radicale delle piante di erba medica gioca un ruolo fondamentale.

È noto che una adeguata umidità del terreno promuove lo sviluppo delle radici in profondità e un terreno caratterizzato da una importante frazione di sabbia tende ad ostacolare tale processo (Abdul-Jabbar et al., 1982). Pertanto, ulteriori prove, in diverse condizioni di crescita (terreno, clima, varietà di erba medica) possono validare l'efficacia del diserbo meccanico in differenti areali di coltivazione.

La pratica della consociazione coltura è già stata ampiamente studiata come soluzione nella lotta integrata alle infestanti mirata ad ostacolarne la crescita attraverso l'effetto dei composti allelopatici rilasciati dalle piante in consociazione e la maggiore capacità di utilizzo delle risorse (Mobasser et al., 2014).

Analogamente, l'integrazione di una limitata percentuale di avena insieme all'erba medica durante la semina ha mostrato una potenziale riduzione fino al 50% infestanti dal secondo anno di crescita (variabile in funzione della densità di semina dell'avena) (Lanini et al., 1991). Questa tipologia di strategie e molte altre possono essere combinate con il diserbo meccanico per massimizzarne l'efficacia e la fattibilità in diversi contesti.

CONCLUSIONI

Una panacea per le sfide in agricoltura, purtroppo non esiste. La convinzione che esista una soluzione universale basata sui prodotti di sintesi appartiene ad una mentalità antica che non è più sostenibile nei contesti produttivi moderni.

Come per ogni avversità, anche le infestanti non possono essere controllare esclusivamente attraverso i prodotti fitosanitari, pertanto la lotta integrata e lo studio di nuove strategie di controllo sono necessarie per superare la dipendenza da tali prodotti. Al giorno d'oggi, il maggiore limite all'applicazione di nuovi metodi per il controllo riguarda la differenza fra il numero di soluzioni tradizionali e alternative, pertanto nuove strategia devono essere sviluppate e provate per ridurre tale gap. Allo stato dell'arte sugli studi sul controllo delle infestanti in erba medica, il diserbo meccanico viene classificato come una soluzione non realizzabile. L'innovazione è però l'arte di scoprire nuove metodologie per applicare con successo un idea. Se il principio da solo non è sufficiente per supportare la vasta adozione di un prodotto, lo studio delle sue componenti fondamentali restituisce una conoscenza adeguata del suo potenziale. Il diserbo meccanico in erba medica è una reale soluzione, ma non può essere né percepito né adottato con un approccio analogo ai prodotti fitosanitari. Infatti, rappresenta un sistema di gestione finalizzato a controllare le infestanti attraverso la combinazione con altre pratiche colturali, tecniche di controllo tradizionale e orientamento dell'azienda.

L'efficacia del diserbo meccanico può essere aumentata attraverso pratiche specifiche (sovescio, minima lavorazione, pulizia degli attrezzi) e tecniche colturali innovative (consociazioni, semina di varietà resistenti, utilizzo di Plant Growth Promoting Rhizobacteria). I moderni sistemi produttivi in agricoltura non possono pretendere di raggiungere una condizione di totale assenza delle infestanti in campo, l'obiettivo è piuttosto mantenere il danno delle infestanti al di sotto di una soglia economica di convenienza e senza impattare sull'ambiente.

Il diserbo meccanico in erba medica rappresenta un potenziale metodo per raggiungere questo obiettivo andando ad aumentare il numero di soluzioni alternative ai trattamenti fitosanitari convenzionali. Ciò nonostante, ulteriori studi sono necessari per valutare l'effetto dell'attrezzo prototipale in condizioni colturali dedicate al suo utilizzo ed in diversi areali di coltivazione.

BIBLIOGRAFIA

Abdul-Jabbar, A.S., Sammis, T.W., Lugg, D.G., 1982. Effect of moisture level on the root pattern of Alfalfa. Irrig Sci 3, 197–207.

Arregui, M.C., Sánchez, D., Scotta, R., 2001. Weed Control in Established Alfalfa (Medicago sativa) with Postemergence Herbicides. Weed Technology 15, 424–428. http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2001)015[0424:WCIEAM]2.0.CO;2

Canevari, M., Vargas, R.N., Orloff, S.B., 2007. Weed Management in Alfalfa. University of California Alfalfa & Forage Systems Workgroup.

Fogliatto, S., Milan, M., Vidotto, F., 2017. Effectiveness of mechanical weed control on Italian flint varieties of maize. Renewable Agriculture and Food Systems 13. https://doi.org/10.1017/S1742170517000813

Frascarelli, A., Perpetua, R., 2019. Erba medica, su base quinquennale redditi interessanti. Terra e Vita.

Green, Legleiter, 2018. Weed Control in Alfalfa and Other Forage Legume Crops. University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment Cooperative Extension Service 12.

Hock, S.M., Knezevic, S.Z., Martin, A.R., Lindquist, J.L., 2006. Soybean row spacing and weed emergence time influence weed competitiveness and competitive indices. Weed sci. 54, 38–46.

Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., Chauhan, B.S., 2015. Allelopathy for weed control in agricultural systems. Crop Protection 72, 57–65.

Kayad, A.G., Al-Gaadi, K.A., Tola, E., Madugundu, R., Zeyada, A.M., Kalaitzidis, C., 2016. Assessing the Spatial Variability of Alfalfa Yield Using Satellite Imagery and Ground-Based Data. PLoS ONE 11, e0157166. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157166

Korav, S., Dhaka, A., Singh, R., Reddy, C., 2018. A study on crop weed competition in field crops. JPP 7.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. metz 15, 259–263. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130

Lanini, W.T., Orloff, S.B., Vargas, R.N., Orr, J.P., Marble, V.L., Grattan, S.R., 1991. Oat Companion Crop Seeding Rate Effect on Alfalfa Establishment, Yield, and Weed Control. Agronomy Journal 83, 330–333. https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300020014x

Mobasser, H.R., Vazirimehr, M.R., Rigi, K., 2014. Effect of intercropping on resources use, weed management and forage quality. IJPAES 4, 9.

Mulder, T.A., Doll, J.D., 1993. Integrating Reduced Herbicide Use with Mechanical Weeding in Corn (“Zea mays”). Weed technol. 7, 382–389. https://doi.org/10.1017/S0890037X00027779

Owen, M.D., Zelaya, I.A., 2005. Herbicide-resistant crops and weed resistance to herbicides. Pest. Manag. Sci. 61, 301–311. https://doi.org/10.1002/ps.1015

van Dijk, M., Morley, T., Rau, M.L., Saghai, Y., 2021. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. Nat Food 2, 494–501. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9

Zimdahl, R.L., 2018. Weed-Management Systems, in: Fundamentals of Weed Science. Elsevier, pp. 609–649.

DISCLAMER – ESCLUSIONE DI RESPONSABILITA'

Questo elaborato rappresenta una traduzione della tesi scritta dallo studente Michele Consolini, presentata come elaborato finale del corso di Laurea Magistrale in Precise and Sustainable Agriculture dell'Università di Bologna e discussa nella sessione di Settembre 2022.

Questo elaborato ha il fine esclusivo di consentire la lettura dei contenuti della tesi, tramite traduzione. Si richiama quindi la normativa italiana sul diritto di autore (Legge 22 aprile 1941 n.633) per quanto concerne i diritti di utilizzazione dell'opera e la tutela dei diritti dello studente.

RINGRAZIAMENTI

In conclusione di questo lavoro di tesi desidero ringraziare:

il Prof. Barbanti per il supporto garantitomi nelle attività ed il Prof. Mattetti per avermi guidato durante il percorso accademico,

il consorzio CON.FOR.ME ed in particolare Mauro, Fabrizio e Luca per avermi dato l'opportunità di realizzare questo progetto,

l'Università di Wageningen per avermi permesso di ampliare il percorso di formazione durante i mesi trascorsi in Olanda,

Giacomo, Luigi ed Enrico per l'amichevole colloborazione ed il costante supporto morale,

tutti i miei amici che, ognuno a modo suo, hanno avuto un ruolo fondamentale durante l'intero percorso,

i miei genitori, per la grande fiducia ed il continuo sostegno che mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo.