



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI
E AMBIENTALI

Corso di Laurea Magistrale in
Sviluppo Rurale Sostenibile
Settore scientifico disciplinare AGR/01

**IL COSTO DELLE MACCHINE AGRICOLE NELL'AGRICOLTURA DI
PRECISIONE APPLICATA AI SEMINATIVI**

***ESTIMATING FARM MACHINERY COSTS: EVIDENCES FROM
PRECISION FARMING IN THE ARABLE CROPS SECTOR***

Tesi di laurea di

Iacopo Bianconi

Relatore

Prof. Angelo Frascarelli

Correlatore

Dott. Gabriele Chiodini

Anno Accademico 2017/2018

INDICE

SOMMARIO.....	4
ABSTRACT	4
INTRODUZIONE.....	5
CAPITOLO PRIMO	8
LE TECNOLOGIE DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE.....	8
1.1 - L'evoluzione dell'agricoltura nel xx secolo	8
1.2 - La variabilità come caratteristica peculiare della produzione agricola	9
1.3 - I sistemi di posizionamento globale e le loro applicazioni in AP	10
1.3.1 - Sistemi GNSS operativi	10
1.3.2 - Funzionamento dei sistemi GNSS.....	10
1.3.3 - Cause di errore nella determinazione della posizione	13
1.3.4 - Tecniche di correzione differenziale del segnale GNSS	14
1.4 - Misura della variabilità spazio-temporale	15
1.4.1 - Telerilevamento o remote sensing.....	15
1.4.2 - Rilievo prossimale o proximal sensing	18
1.4.3 - Monitoraggio del clima	20
1.4.4 - Sistemi di mappatura delle produzioni	21
1.5 - Analisi della variabilità spazio-temporale.....	23
1.5.1 - I Geographic Information Systems (GIS)	24
1.5.2 - La geostatistica	24
1.5.3 - I modelli di simulazione e i DSS	25
1.6 - I sistemi informativi aziendali	26
CAPITOLO SECONDO.....	27
L'AGRICOLTURA DI PRECISIONE NEI SEMINATIVI.....	27
2.1 - L'utilizzo dei sistemi GNSS per la guida e il controllo delle macchine agricole.....	27
2.1.1 - I sistemi di guida	27
2.1.2 - Eliminazione delle sovrapposizioni	28
2.1.3 - il sistema ISOBUS.....	29
2.1.4 - L'applicazione dei fattori a rateo variabile.....	30
2.2 - Le lavorazioni del terreno in AP	30
2.2.1 - Il controllo del traffico	30
2.2.2 - Lo strip tillage	30
2.2.3 - Lavorazioni variabili del terreno.....	31
2.3 - La semina in AP	32
2.3.1 - Variazione della dose di semina	32
2.3.2 - Variazione della profondità di semina	33
2.4 - Fertilizzazione in AP	33
2.5 - Irrigazione in AP	34
2.6 - Distribuzione dei prodotti fitosanitari in AP	35

CAPITOLO TERZO	37
OBIETTIVI E METODOLOGIA	37
3.1 - Obiettivi della ricerca	37
3.2 - Metodologia	37
CAPITOLO QUARTO	39
L'ANALISI ECONOMICA DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE	39
4.1 - Gli effetti sul capitale fisso	39
4.2 - Gli effetti sul costo d'uso delle macchine	41
4.3 - Gli effetti sul capitale circolante.....	43
4.4 - Gli effetti sul lavoro	44
4.5 - Gli effetti sui ricavi.....	45
4.6 - Le ripercussioni sul conto economico	45
4.7 - I vantaggi economici indiretti.....	46
4.8 - Valutazione delle tecnologie in base alla struttura aziendale	47
CAPITOLO QUINTO	51
IL COSTO D'USO DELLE MACCHINE AGRICOLE	51
5.1 - I costi fissi delle macchine agricole.....	51
5.1.1 - Il costo di ammortamento.....	51
5.1.2 - Il costo di assicurazione.....	52
5.1.3 - Il costo di ricovero	52
5.2 - I costi variabili delle macchine agricole	52
5.2.1 - Costi per i carburanti	52
5.2.2 - Costi per i lubrificanti	55
5.2.3 - Costi di manutenzione e riparazione.....	56
5.2.4 - Costo del lavoro.....	57
CAPITOLO SESTO.....	59
LA SPERIMENTAZIONE	59
6.1 - Il progetto Academy PFE	59
6.2 - Impostazione della sperimentazione	59
6.2.1 - Fattori sperimentali e livelli.....	59
6.2.2 - Disegno sperimentale.....	60
6.3 - Tecnica colturale.....	63
6.3.1 - Caratteristiche del suolo	63
6.3.2 - Tecnica colturale per il frumento	64
6.3.3 - Tecnica colturale per il mais.....	65
6.4 - Macchine utilizzate.....	66
6.5 - Metodologia di rilevazione dei dati.....	70
6.6 - Metodologia di analisi dei dati	72
6.6.1 - Metodo di calcolo dei costi di ammortamento.....	72
6.6.2 - Metodo di calcolo dei costi di assicurazione e ricovero.....	73
6.6.3 - Metodi di calcolo dei costi per consumi, manutenzione e riparazione	73
6.6.4 - Elaborazione dei dati.....	74

CAPITOLO SETTIMO	76
GLI EFFETTI DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE SUL COSTO D'USO DELLE MACCHINE.....	76
7.1 - Costo di acquisto delle dotazioni di AP	76
7.2 - Risultati dell'elaborazione per il frumento	77
7.2.1 - Costi d'uso su frumento	77
7.2.2 - Effetti sul reddito su frumento	83
7.2.3 - Analisi di sensitività dei risultati su frumento	86
7.3 - Risultati dell'elaborazione per il mais	89
7.3.1 - Costi d'uso su mais	89
7.3.2 - Effetti sul reddito su mais.....	95
7.3.3 - Analisi di sensitività dei risultati su mais	99
7.4 - Considerazioni conclusive	104
7.4.1 - Conclusioni sui metodi di calcolo	104
7.4.2 - Conclusioni sull'analisi economica	105
CAPITOLO OTTAVO	106
LE DIFFICOLTÀ NELL'IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNICHE DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE.....	106
8.1 - Dinamiche di introduzione dell'agricoltura di precisione	106
8.2 - Difficoltà nell'introduzione dell'agricoltura di precisione.....	107
8.3 - Politiche per incentivare l'agricoltura di precisione.....	108
CAPITOLO NONO	110
CONCLUSIONI	110
9.1 - Le tecnologie di AP per i seminativi	110
9.2 - Obiettivi della tesi e metodologia seguita.....	111
9.3 - Risultati.....	112
9.4 - Sviluppi futuri della ricerca.....	113
Bibliografia.....	114

SOMMARIO

L'agricoltura di precisione consente di perseguire la sfida della produttività dell'agricoltura e della sostenibilità ambientale. Affinché l'agricoltura di precisione possa essere applicata su larga scala dagli agricoltori, deve essere appreso il suo impatto economico sulle imprese agricole. Il presente lavoro mira a determinare gli effetti economici dell'agricoltura di precisione nel settore dei seminativi, con particolare riferimento al costo d'uso delle macchine agricole.

L'analisi è stata condotta mediante un esame della bibliografia internazionale che ha consentito la predisposizione di un modello analitico sul costo d'uso delle macchine. Al fine di validare il modello analitico è stata attuata una sperimentazione su un'azienda agricola di Visano (BS), dove sono stati rilevati i tempi e i costi delle macchine (ammortamento, manutenzione, riparazione, carburanti, lubrificanti, lavoro) con diversi livelli di agricoltura di precisione e di tecnica di coltivazione (tradizionale, minima, strip till).

Dai risultati dell'analisi si evince che la sostenibilità economica dell'agricoltura di precisione è raggiungibile anche nelle realtà aziendali italiane e che queste tecnologie possono apportare importanti benefici alla redditività e alla sostenibilità ambientale.

ABSTRACT

Precision farming allows to pursue the challenge of agricultural productivity and environmental sustainability. The economic impact of precision farming on farms must be learnt in order for it to be adopted in a large scale by farmers. This work aims to define the economic impact of precision farming on arable crops sector, with particular attention to farm machinery use cost.

Such analysis was carried out with a research on international bibliography, which allowed to develop an analytic model for machinery use cost. In order to validate such analytic model, a field trial was carried out in a farm in Visano (BS), in the northern Italy, where operation times and machinery costs (depreciation, maintenance and repair, fuels, lubricants and work) was detected for various levels of precision farming technologies and soil tillage techniques (traditional, minimum and strip tillage).

Results show that precision farming economical sustainability is achievable even in Italian farms realities and that such technologies can bring important benefits to profitability and environmental sustainability of farms.

INTRODUZIONE

L'agricoltura di precisione (AP) è definita come un approccio alla gestione del processo produttivo agricolo che consenta di "fare la cosa giusta, al momento giusto, al punto giusto" (Gebbers, et al., 2010). Una definizione più completa è data dal MIPAAF: "una gestione aziendale basata sull'osservazione, la misura e la risposta dell'insieme di variabili quanti-qualitative inter ed intra-campo che intervengono nell'ordinamento produttivo. Ciò al fine di definire, dopo analisi dei dati sito-specifici, un sistema di supporto decisionale per l'intera gestione aziendale, con l'obiettivo di ottimizzare i rendimenti nell'ottica di una sostenibilità avanzata di tipo climatica ed ambientale, economica, produttiva e sociale". Come si deduce dalla definizione, l'agricoltura di precisione nasce per rispondere alla necessità di gestire la variabilità spazio-temporale che inevitabilmente colpisce l'agricoltura come qualsiasi processo produttivo esposto a processi naturali incontrollabili. L'agricoltura di precisione si sviluppa in un periodo storico di forti prospettive di aumento demografico, con una necessità sempre più stringente di tutela ambientale e di lotta al cambiamento climatico e con un'attenzione sempre maggiore da parte dell'opinione pubblica alle tematiche ambientali. Queste circostanze generano sfide importanti per il settore agricolo, che dovrà fornire sempre più prodotti (riassumibili nelle 3 F di *food, fibers e fuels*) ma utilizzando sempre meno risorse. Nell'affrontare queste sfide l'agricoltura di precisione e, più in generale, la digitalizzazione del settore, insieme alla riduzione dell'intensità delle lavorazioni del terreno, avranno un ruolo importantissimo.

L'agricoltura di precisione consente, nella sua massima accezione, di comprendere e studiare l'intera variabilità delle condizioni ambientali e di coltivazione così che ogni decisione e operazione possano essere esattamente calibrate in modo da sfruttare al massimo le risorse disponibili in ogni parte dello spazio e del tempo. Questa visione allude a un livello di gestione molto avanzato e innovativo che non è ancora diffuso nelle realtà produttive ma che rappresenta l'obiettivo da raggiungere. Per poterlo fare, è necessario che le imprese agricole comincino a innovare dalle forme più semplici di agricoltura di precisione ma, perché questo processo inizi, gli agricoltori devono poter comprendere quei vantaggi, tanto consistenti quanto poco evidenti, che l'agricoltura di precisione riserva loro. La ricerca scientifica deve quindi concentrarsi, oltre che sullo sviluppo di nuove tecnologie e tecniche, anche sull'analisi degli effetti dell'adozione di quelle già disponibili.

L'analisi economica dell'agricoltura di precisione tenta di misurare gli effetti di queste tecnologie sul conto economico dell'impresa agricola. Molte ricerche sono state condotte a livello internazionale ma, come ben noto, la struttura delle imprese agricole italiane

differisce spesso da quelle estere e con essa cambiano anche gli effetti dell'AP sul conto economico. Per un'analisi economica precisa, dettagliata e specifica per la realtà italiana lo strumento più adeguato è la sperimentazione in campo, abbinata a un metodo efficace di stima dei costi a partire dai dati rilevati nelle prove parcellari. Il metodo di stima dei costi d'uso delle macchine va tuttavia definito perché non c'è una metodologia universalmente accettata.

Gli obiettivi di questo studio comprendono innanzitutto la definizione di una o più metodologie alternative che consentano la stima dettagliata dei costi d'uso delle macchine agricole, al fine di poter evidenziare gli effetti provocati su di essi dall'agricoltura di precisione. La ricerca si pone inoltre l'obiettivo di utilizzare il metodo individuato per elaborare i dati provenienti da una sperimentazione di campo, per determinare le variazioni che l'AP apporta ai costi d'uso delle macchine. I risultati di questo studio dovrebbero consentire agli agricoltori italiani di disporre di dati certi su cui basare le proprie valutazioni sull'impatto dell'AP sui costi d'uso delle macchine nelle proprie aziende.

Il presente lavoro si articola in otto capitoli, di seguito brevemente descritti.

Nel *capitolo primo*, dopo un sunto delle tappe fondamentali della storia dell'agricoltura, si introduce il concetto di variabilità spazio-temporale e si descrivono le tecnologie che ne permettono la misura e i metodi di analisi che ne permettono la comprensione e la gestione.

Nel *capitolo secondo* sono descritte le più recenti tecnologie di agricoltura di precisione da applicare ai seminativi e, in particolare, per ogni operazione colturale, sono riportate tutte le tecniche che permettono l'automazione delle operazioni e la gestione sito-specifica della coltura.

Il *capitolo terzo* introduce la parte sperimentale della tesi, con l'esposizione degli obiettivi dello studio e della metodologia adottata per condurlo, che si sviluppa in tre fasi.

Nel *capitolo quarto* sono riportati i risultati di un'approfondita ricerca bibliografica che ha permesso di comprendere la metodologia finora utilizzata, dai diversi autori, per l'analisi economica dell'AP. Inoltre, sono state individuate le voci di costo su cui l'AP produce effetti e sono riportati i risultati ottenuti finora in altri studi condotti su realtà vicine a quella italiana.

Nel *capitolo quinto* si esaminano, per ognuna delle componenti di costo individuate in precedenza, i vari metodi di stima esaminati mediante una ricerca bibliografica e, per ognuno di essi, sono evidenziati pregi, difetti e campi di applicabilità.

Il *capitolo sesto* è riservato alla terza e più importante fase della parte sperimentale. In questo capitolo è introdotto il progetto Academy PFE (Precision Farming & Economy) ed è

descritta la sperimentazione in campo, delineando il disegno sperimentale, l'impostazione delle prove, la tecnica colturale applicata e le macchine utilizzate, con particolare riferimento a quelle con funzioni di AP. Inoltre, viene presentata la metodologia di rilevazione e analisi dei dati, con particolare riferimento alle scelte intraprese per i metodi di calcolo per ogni voce di costo, in considerazione di quanto visto nel capitolo precedente.

Nel *capitolo settimo* si analizzano i risultati della sperimentazione: sono riportati i costi d'uso delle macchine per le varie tesi calcolati con i diversi metodi definiti nel capitolo precedente, integrati poi con altri dati di costo e di ricavo per giungere a un'analisi reddituale; infine, per poter ampliare la validità dei dati a situazioni diverse, è stata condotta un'analisi di sensitività, in cui alcune delle ipotesi assunte alla base dello svolgimento dei calcoli sono state variate per osservarne l'influenza sui risultati.

Visto che l'adozione dell'agricoltura di precisione genera sfide di ordine non solo strettamente economico, nel *capitolo ottavo* queste difficoltà sono state trattate dal punto di vista socio-culturale in relazione a una breve analisi della situazione strutturale delle aziende agricole italiane. Al termine del capitolo, si riporta una disamina delle politiche che, se opportunamente indirizzate, possono essere utilizzate per incentivare la diffusione dell'agricoltura di precisione in Italia.

Il *capitolo nono* è riservato alle conclusioni.

CAPITOLO PRIMO

LE TECNOLOGIE DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Nel presente capitolo si introducono le tecnologie utilizzate nell'agricoltura di precisione, inserite in un contesto di gestione della variabilità. Dopo una breve introduzione sulla definizione di variabilità, sono descritti gli strumenti necessari per la sua gestione, che includono i sistemi di posizionamento globale, i metodi di misura e i sistemi informatici di analisi.

1.1- L'evoluzione dell'agricoltura nel xx secolo

L'agricoltura ha avuto origine nel neolitico, dal 10000 al 3000 a.C. ed è stata la base del passaggio dell'essere umano dal nomadismo all'insediamento in un territorio, permettendo la svolta intellettuale della specie (Negri, 2017). Da allora i processi di domesticazione, miglioramento genetico e evoluzione delle tecniche agronomiche hanno subito una lenta e costante evoluzione. Tuttavia, in tutta la storia della civiltà umana, è solo nell'ultimo secolo che l'agricoltura ha visto cambiamenti importanti e repentini che hanno permesso di aumentare drasticamente le rese e diminuire fortemente la manodopera impiegata, grazie alle innovazioni apportate dalle due rivoluzioni industriali e dallo sviluppo della chimica. Lo sviluppo dell'agricoltura nell'ultimo secolo è scandito da quattro importanti fasi (Malavolti, 2018):

- 1.0, fase della meccanizzazione (dall'inizio del XX secolo): l'introduzione del trattore permette una prima, sostanziale, riduzione dell'impiego di manodopera;
- 2.0, la Rivoluzione Verde (da dopo la seconda Guerra Mondiale): L'utilizzo di fertilizzanti e prodotti fitosanitari, uniti alle forti innovazioni nel settore del miglioramento genetico, portano a fortissimi aumenti delle rese;
- 3.0, Agricoltura di Precisione (a partire dagli anni '90): la disponibilità dei sistemi GNSS a fini civili permette la guida semi-automatica delle macchine, l'introduzione di tecnologie a rateo variabile e la gestione di dati georiferiti;
- 4.0, Agricoltura digitale (nell'ultimo decennio): la progressiva informatizzazione consente la gestione in tempo reale delle attività, l'ottimizzazione dei processi e la produzione di informazioni di valore per l'imprenditore, per il consumatore e per i decisori pubblici.

La fase dell'Agricoltura di Precisione è tuttavia in pieno fermento e sta raggiungendo le sue applicazioni tecnicamente più complesse nelle aziende più evolute, mentre si stanno

diffondendo capillarmente le tecnologie più semplici, il tutto a favore della progressiva introduzione anche dell'Agricoltura Digitale.

1.2- La variabilità come caratteristica peculiare della produzione agricola

Uno dei fattori che più di tutti caratterizzano la produzione agricola se confrontata con quella degli altri settori è l'esposizione della stessa a fenomeni naturali per nulla o solo parzialmente controllabili dall'uomo, che genera variabilità nel tempo e nello spazio delle condizioni in cui la produzione stessa avviene. L'agricoltura di precisione si pone l'obiettivo di gestire tale variabilità al fine di adattare ad essa il processo produttivo. La comprensione, l'analisi e la gestione della variabilità diventano quindi presupposti imprescindibili per applicare corrette tecniche di agricoltura di precisione (Cillis, et al., 2015). Tale variabilità si manifesta in definitiva come incostanza delle rese delle colture, che è riscontrabile in due dimensioni: nello spazio e nel tempo. Infatti, all'interno di uno stesso appezzamento, la produttività varia in ogni punto (variabilità spaziale) e in ogni punto si ha una produttività diversa di anno in anno (variabilità temporale). Tuttavia, è importante analizzare come tali differenze di produttività derivino a loro volta dalla combinazione delle variabilità di tutti i fattori che concorrono alla determinazione di questa grandezza. Nello specifico, sono individuabili 6 gruppi di fattori che determinano variabilità in agricoltura (Zhang, et al., 2002):

- *yeld variability*, variabilità di produttività;
- *field variability*, variabilità topografica, dovuta a altitudine, pendenza, esposizione, ombreggiamento, effetto-bordo, ecc.;
- *soil variability*, variabilità legata alle caratteristiche chimico-fisiche dei suoli;
- *crop variability*, variabilità legata alle differenti colture;
- *variability in anomalous factors*, variabilità legata alle fitopatie, alla presenza di infestanti e ad eventi atmosferici avversi;
- *management variability*, variabilità di gestione legata alle tecniche colturali utilizzate.

Il monitoraggio e la gestione di questi diversi tipi di variabilità diventano quindi di fondamentale importanza per la gestione delle colture in modo da sfruttare al massimo il potenziale produttivo dell'azienda impiegando quante meno risorse possibile, in modo da conseguire vantaggi economici ed ambientali. L'agricoltura di precisione adotta a tal fine metodi di monitoraggio, georeferenziazione, analisi e applicazione degli input che consentono di rilevare la variabilità e adattare ad essa le decisioni.

1.3 - I sistemi di posizionamento globale e le loro applicazioni in AP

La gestione della variabilità spaziale in AP richiede che le misure che descrivono le grandezze variabili siano univocamente riferite ai punti dove esse sono state rilevate e tali punti devono essere individuabili in un sistema di riferimento, consentendo quindi l'interpretazione spaziale delle misure e l'eventuale gestione sito-specifica. Nelle prime pubblicazioni che trattarono di tecniche di AP, si introdusse il concetto di misura della variabilità effettuando campionamenti su una griglia regolare, i cui lati erano, tuttavia, misurati a passi (Linsley, et al., 1929). Nonostante il metodo fosse rudimentale, l'introduzione del concetto di un sistema di riferimento geografico in agricoltura a cui riferire i dati rilevati è stato un passo fondamentale per poter approcciare tecniche più complesse. Al giorno d'oggi, la tecnologia che permette di determinare la posizione di un punto sulla superficie terrestre in un sistema di riferimento geografico è il GNSS.

1.3.1 - Sistemi GNSS operativi

La tecnologia GNSS (Global Navigation Satellite System) nacque nel 1973, anno in cui il Dipartimento della Difesa Statunitense avviò il progetto che avrebbe reso operativo il primo sistema di navigazione satellitare, che si chiama Navstar, ma è più comunemente noto come GPS (Global Positioning System) (Calcante, et al., 2016). Attualmente esistono più sistemi GNSS, messi in opera da diversi paesi e che si distinguono per il grado di operatività raggiunto, per il numero di satelliti, per i loro parametri orbitali e per altre caratteristiche tecniche. I principali sistemi GNSS sono:

- Navstar-GPS, il primo sistema, statunitense, pienamente operativo (NASA, 2014);
- GLONASS, il sistema russo pienamente operativo (Information and analysis center for positioning, navigation and timing, 2018);
- Galileo, di proprietà dell'Unione Europea ed ancora in fase di completamento (European GNSS Agency, 2018);
- Compass (o BeiDou), della Repubblica Popolare Cinese e non ancora pienamente operativo (BeiDou Navigation Satellite System).

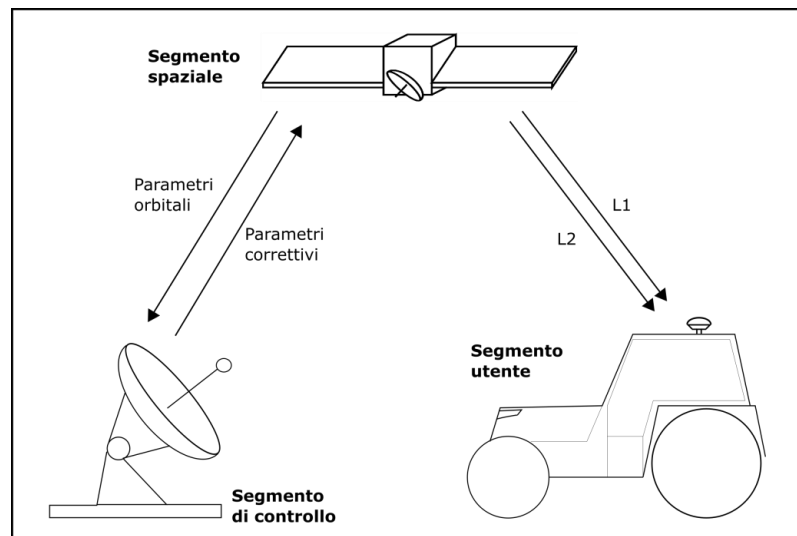
1.3.2 - Funzionamento dei sistemi GNSS

Nella seguente trattazione, a titolo esemplificativo, è riportata la descrizione del sistema GPS (GPS.GOV, 2017), funzionando gli altri con gli stessi principi. Un GNSS è composto di tre parti, dette segmenti (Calcante, et al., 2016) (fig. 1.1):

- Il segmento spaziale, costituito da un determinato numero di satelliti;
- Il segmento di controllo, che comprende stazioni a terra che consentono di monitorare i satelliti;
- Il segmento utente, che corrisponde al ricevitore, in dotazione all'utente.

Nel sistema GPS, il segmento spaziale è costituito da almeno 24 satelliti sempre funzionanti, che orbitano su 6 diverse orbite non geostazionarie, giacenti su piani inclinati di 55° sull'equatore, a 20.200 km di quota e con un periodo di rivoluzione di 12 ore. Ciò significa che la proiezione della posizione del satellite sulla superficie terrestre non è fissa, dato che il periodo di rivoluzione del satellite e quello di rotazione della terra, e quindi le loro velocità angolari, non coincidono. La disposizione scelta per i satelliti assicura una copertura minima in ogni momento e in ogni parte del globo. Ogni satellite è dotato di 4 orologi atomici, due al cesio e due al rubidio, che consentono di determinare l'ora in modo estremamente preciso.

Figura 1.1 - Componenti di un sistema GNSS e flussi di segnali



Fonte: elaborazione propria

Il segmento di controllo è composto da 16 stazioni a terra¹, che, al passaggio dei satelliti sopra di esse, misurano i parametri caratteristici del satellite, detti effemeridi, che includono posizione, altezza, velocità, ecc.. Eventuali deviazioni dell'orbita del satellite rispetto a quella prestabilita sono quindi misurate a intervalli regolari e i parametri correttivi sono trasmessi al satellite stesso, la cui posizione in un sistema di riferimento geocentrico risulta pertanto costantemente nota. La comunicazione tra il segmento spaziale e quello utente avviene in modo unidirezionale tramite onde radio, trasmesse dal satellite su due frequenze della banda L, centrate rispettivamente su 1.575,42 MHz (L1) e su 1.227,60 MHz (L2). Su queste onde sinusoidali, dette portanti, sono modulati dei codici binari, corrispondenti a un'onda quadra con frequenza molto più bassa. I codici binari in questione sono denominati C/A (Coarse Acquisition) e P (precision), che sono entrambi modulati sulla frequenza L1 mentre solo il secondo è modulato sulla L2. Il ricevitore è in grado di ricevere questi segnali ed è dotato a sua volta di un orologio che, però, in questo

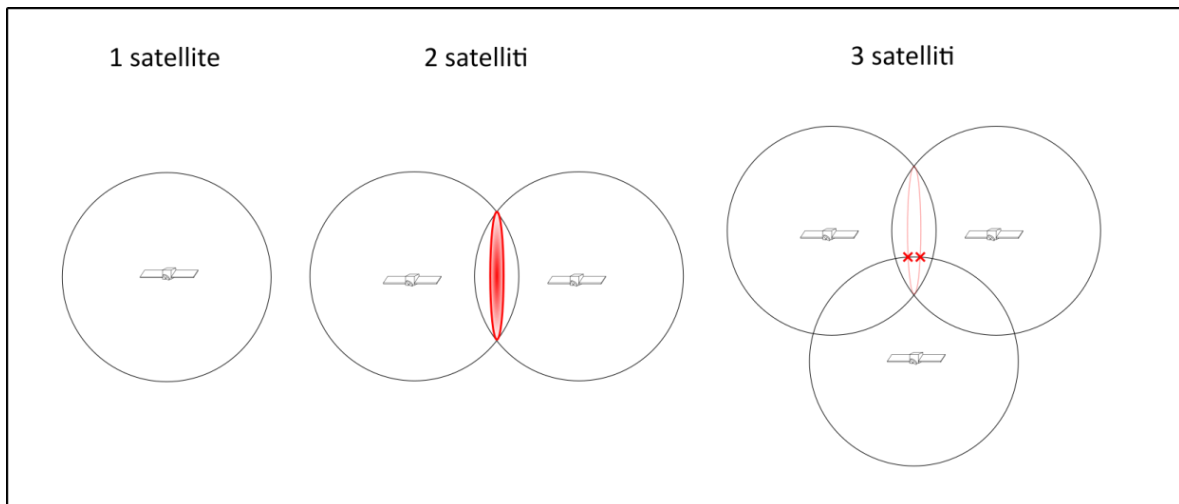
¹ Delle 16 stazioni di controllo a terra, 6 sono dell'U.S. Air Force, posizionate lungo la fascia equatoriale e 10 della National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), istituite successivamente per migliorare l'efficacia del segmento di controllo. Il centro di coordinamento e di calcolo è la stazione principale di Colorado Springs, Colorado, USA (GPS.GOV, 2017).

caso, è al quarzo e quindi molto meno preciso. La determinazione della posizione del ricevitore si basa sull'operazione fondamentale di determinazione della distanza tra satellite e il ricevitore stesso. Nota la velocità del segnale trasmesso dal satellite, pari a quella della luce (300.000 km/s), la misura del tempo impiegato dal segnale per raggiungere il ricevitore (tempo di volo) consente di calcolare la distanza in questione. La misura del tempo di volo può avvenire in due diversi modi (Vizzari , 2017):

- Mediante codice: il segnale C/A ricevuto dal satellite è confrontato con una replica generata dal ricevitore; lo sfasamento temporale tra i due segnali misura il tempo di volo. La distanza calcolata con questo metodo è detta pseudodistanza (*pseudorange*), perché misurata con orologi aventi precisioni molto diverse tra loro.
- Mediante misura di fase: in questo caso la distanza è determinata attraverso il conteggio del numero di cicli compiuto dalla portante tra la partenza e l'arrivo, mediante confronto con un'uguale senoide generata da un oscillatore interno al ricevitore. In questo modo si può facilmente determinare la parte frazionaria di lunghezza d'onda che compone lo sfasamento, mentre risulta più difficile determinare il numero intero di cicli. Il processo che porta alla determinazione di questo parametro è detto risoluzione dell'ambiguità intera e consente, in definitiva, di determinare la distanza satellite-ricevitore come prodotto del numero di cicli per la lunghezza d'onda della portante. La risoluzione dell'ambiguità intera avviene mediante una procedura di inizializzazione, da ripetere ogni volta che il ricevitore si collega a un nuovo satellite. È importante sottolineare che, in caso di perdita del segnale da un satellite, solo i ricevitori a doppia frequenza consentono di eseguire tale procedura con il ricevitore in movimento.

Nota la posizione del satellite in un sistema di riferimento geocentrico, trasmessa al ricevitore tramite le effemeridi, si ha che il ricevitore si può trovare in un punto qualsiasi della superficie della sfera centrata sul satellite e di raggio pari alla distanza satellite-ricevitore precedentemente calcolata (fig. 1,2a). Con il segnale ricevuto da due satelliti, si avrà che il ricevitore si trova in un punto all'intersezione tra due sfere, equivalente a una circonferenza (fig 1.2b). Con l'aggiunta di un terzo satellite, l'intersezione tra tre sfere si concretizza in due soli punti (fig 1.2c), dei quali, tuttavia, solo uno si trova sulla superficie terrestre ed è quindi accettabile come soluzione del sistema di 3 equazioni (quelle delle sfere) e 3 incognite (le coordinate x,y e z del ricevitore). In realtà, però, le incognite del sistema sono 4 perché, come si è visto, gli orologi del satellite e del ricevitore non hanno la stessa precisione e quindi lo scarto tra i due non è noto. Questo fa sì che, in realtà, la posizione del ricevitore sia la soluzione di un sistema a 4 equazioni e 4 incognite e, pertanto, il numero minimo di satelliti da cui il ricevitore dovrà ricevere il segnale sarà di 4 (Vizzari , 2017). Nel caso di ricevitori che sono in grado di ricevere segnali da più di una costellazione - come, ad esempio, GPS + GLONASS, il numero minimo di satelliti aumenterà, perché bisognerà determinare un'ulteriore incognita che è lo sfasamento temporale tra gli orologi di una costellazione e quelli dell'altra.

Figura 1.2 - Schema della determinazione della posizione di un punto. In evidenza l'origine della circonferenza (in rosso) e dei due punti (X rosse)



Fonte: elaborazione propria

1.3.3 - Cause di errore nella determinazione della posizione

Nella pratica, la determinazione della posizione del ricevitore è affetta da una serie di errori, più o meno eliminabili (Vizzari, 2017).

Una prima causa di errore è la geometria dei satelliti. Infatti, la condizione ottimale si ha nel caso in cui i satelliti si trovino a distanze simili tra loro e con angolo azimutale (cioè rispetto alla verticale) quanto più vicino a 120° , cioè lontani dalla verticale. Tanto più la situazione reale devierà da quella ottimale, quanto più sarà ampia l'area individuata dagli pseudorange e quindi l'incertezza della misurazione. Non si può porre rimedio a tale fonte di errore ma va detto che un ricevitore in grado di ricevere il segnale da più costellazioni avrà maggior probabilità di avere a disposizione un maggior numero di satelliti e quindi di avere una geometria favorevole. I ricevitori sono inoltre in grado di calcolare un parametro detto GDOP - *geometric dilution of precision* - che stima la bontà della geometria satellitare, assumendo valore 1 per una configurazione ottimale e aumentando al peggiorare della stessa.

Un'altra causa di errore è il rallentamento del segnale dovuto all'attraversamento dell'atmosfera terrestre. Questo errore può essere quantificato e quindi rimosso osservando il diverso rallentamento subito dai segnali trasmessi su diverse lunghezze d'onda. Diventa quindi fondamentale disporre di ricevitori a doppia frequenza per captare entrambi i segnali e consentire, quindi, tale tipo di correzione.

Infine, è causa di errore il così detto effetto *multipath*, dovuto alla riflessione del segnale su ostacoli di vario tipo prima di raggiungere il ricevitore. Ciò, ovviamente, causa un aumento dei tempi di volo del segnale a parità di distanza satellite-ricevitore, causando quindi errori di posizionamento. Tale errore non può essere corretto nemmeno con

tecniche differenziali, descritte in seguito, dal momento che le cause che lo determinano sono fortemente specifiche per un breve intorno del punto in cui si trova il ricevitore.

1.3.4 - Tecniche di correzione differenziale del segnale GNSS

Le tecniche di correzione differenziale (DGPS) si basano sulla quantificazione dell'errore mediante l'impiego di almeno due ricevitori contemporaneamente (Calcante, et al., 2016). Dei due ricevitori, uno è libero di spostarsi ed è detto *rover*, mentre l'altro è fisso, di coordinate note ed è detto *master*. Se i suddetti ricevitori si mantengono a una distanza limitata, variabile a seconda della precisione che si vuole ottenere, entrambi riceveranno segnali dagli stessi satelliti e tali segnali saranno affetti dalle stesse fonti di errore, almeno per la maggior parte delle componenti di errore. Le coordinate misurate saranno date dalla somma delle coordinate vere più l'errore, che chiameremo "E" e, essendo le coordinate del *master* note, l'errore E sarà determinabile per differenza tra le coordinate misurate e quelle reali. La trasmissione del dato di errore così calcolato al *rover*, consente l'elaborazione del dato da parte dello stesso che, quindi, ottiene le sue coordinate vere, per differenza da quelle misurate. La misura dell'errore e la sua trasmissione avvengono con una frequenza compatibile con quella di misura della posizione, essendo l'errore variabile nel tempo.

Le tecniche di correzione differenziale si distinguono, innanzitutto, in base al momento di applicazione della correzione (Vizzari , 2017). Nel caso in cui questa venga apportata successivamente al rilievo, applicando dati di errore registrati relativamente a una certa area e con tempi coincidenti con quelli delle misure effettuate, si parla di correzione in tempo differito (*post-processing*). Se, invece, la correzione è applicata durante il rilievo stesso, il dato di errore è continuamente trasmesso al ricevitore, che quindi deve essere dotato di dispositivi che ne consentono la comunicazione, e la correzione è detta in tempo reale (*real time*). Tra i diversi sistemi che consentono una correzione *real time*, le principali differenze sono riscontrabili nella modalità di trasmissione del segnale e quindi di comunicazione tra *master* e *rover*. Una prima alternativa, più semplice ed economica, è la correzione via ponte satellitare e consiste nel calcolo dell'errore da parte di stazioni *master* a terra, le quali trasmettono tali dati a una rete di satelliti geostazionari, pubblici o privati, come l'EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), i quali, in definitiva, li trasmettono al ricevitore utilizzando le stesse frequenze di trasmissione dei satelliti GPS. Il sistema di correzione RTK (*Real Time Kinematic*), invece, si basa sulla comunicazione diretta tra il ricevitore e un *master* situato entro breve distanza (5 km) (Vizzari , 2017). La comunicazione può avvenire via radio o via rete cellulare (GPRS/GSM). Il contemporaneo utilizzo di stazioni base e ricevitori a doppia frequenza, unita alla possibilità di risolvere l'ambiguità di fase, consente il raggiungimento di precisioni nell'ordine del centimetro. Il sistema più evoluto è infine l'NRTK (*Network RTK*), per mezzo del quale il ricevitore riceve il segnale di correzione, anziché da una sola stazione di base, da una rete di queste, che inviano, tramite rete cellulare, una correzione

personalizzata a seconda della posizione del *rover*, ottenuta per interpolazione tra le stazioni circostanti.

Come si è visto, l'agricoltura di precisione, per essere applicata, richiede la gestione della variabilità spaziale in tutte le sue fasi e quindi necessita di riferire ogni misura e ogni operazione a un preciso punto di un sistema di coordinate. Nelle varie fasi della gestione sito-specifica è quindi sempre necessario l'utilizzo di un sistema GNSS, anche se possono essere richiesti sistemi diversi, a seconda dell'applicazione, in quanto a tempistica di applicazione della correzione (*real time* o *post-processing*), precisione e accuratezza richieste, necessità o meno di eseguire il rilievo in movimento (*on-the-go*), ecc.. I costi di acquisto dell'hardware necessario per i vari tipi di correzione aumentano, ovviamente, all'aumentare della precisione raggiungibile e va tenuto conto anche del fatto che, l'appoggio ad alcune reti di correzione differenziale, quale quella RTK, prevede il pagamento di un canone di abbonamento.

1.4- Misura della variabilità spazio-temporale

Nel paragrafo precedente si è visto come poter riferire a un sistema di riferimento geografico la variabilità rilevata per poterla gestire. Affinché tale variabilità possa essere gestita, però, è necessario misurare almeno alcune delle grandezze che la determinano e questo deve essere fatto mediante sensori che permettano di trasdurre la grandezza rilevata in un segnale elettrico che sarà poi, in ogni caso, registrato da un calcolatore e georeferenziato. Se i sensori in questione, durante la misura, hanno la necessità di entrare in contatto con l'oggetto da misurare, il rilevamento prende il nome di *proximal sensing* o *rilievo prossimale* mentre, se la misura viene effettuata da una certa distanza dall'oggetto, si parla di *remote sensing* o *telerilevamento*.

1.4.1 - Telerilevamento o remote sensing

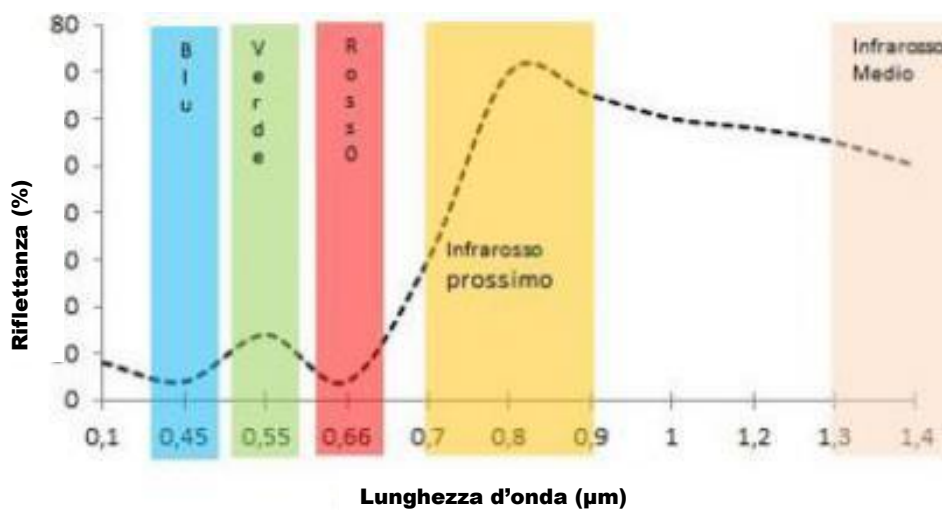
I sensori utilizzati nel remote sensing permettono di rilevare caratteristiche della coltura, del suolo o della loro combinazione, detta *canopy*, mantenendosi a distanza da essi (Casa, et al., 2016). I sensori in questione sono aerotrasportati quando sono portati a bordo di aerei o di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto oppure satellitari nel caso in cui siano montati su piattaforme satellitari in orbita. In ogni caso, il telerilevamento si basa sulla misurazione della radiazione elettromagnetica incidente sul sensore e proveniente dall'oggetto di misura, le cui caratteristiche sono condizionate dall'interazione che essa ha subito con le superfici delle quali si vogliono misurare alcune caratteristiche (Casa, et al., 2016). L'occhio umano è sensibile soltanto alla radiazione elettromagnetica con lunghezza d'onda compresa tra gli 0,4 e gli 0,7 μm , che coincide con la PAR (*Photosynthetically Active Radiation*), cioè la radiazione potenzialmente assorbibile dalle piante per svolgere la fotosintesi. Con i sensori per il telerilevamento, invece, si possono

rilevare caratteristiche della radiazione elettromagnetica anche in altre regioni dello spettro elettromagnetico, che consentono di ottenere maggiori informazioni sulle caratteristiche dell'oggetto della misura, date le particolari interazioni tra la radiazione e il materiale esaminato, dovute a particolari caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche dello stesso. I sensori si distinguono quindi, a seconda del numero e dell'ampiezza delle bande dello spettro misurate, in normali sensori RGB (solo per il dominio ottico), multispettrali (con 4 o più bande) o iperspettrali (con molte bande di ampiezza ridotta e quindi molto specifiche). Altra distinzione che si può fare tra i sensori è quella tra sensori passivi, che misurano la radiazione di origine solare riflessa dalla superficie o quella emessa direttamente dalla superficie stessa, e attivi, che invece emettono delle radiazioni che colpiscono la superficie di interesse, la quale le retro-diffonde in funzione delle sue caratteristiche, per farle poi tornare al sensore che misura quindi le caratteristiche della radiazione incidente su di esso. Questo specifico gruppo di sensori include il *lidar* (*light detection and ranging*), che usa il principio di cui sopra per ottenere, in base al tempo impiegato dalle radiazioni per tornare al sensore, accurate scansioni 3D dell'area in esame.

I sensori passivi restituiscono un'immagine della *canopy* osservata in cui, ad ogni pixel che compone l'immagine, è assegnato un valore di emissività o riflettanza. Si parla di emissività quando il sensore misura l'energia elettromagnetica emessa dalla superficie in una determinata banda mentre per riflettanza si intende il rapporto tra l'energia riflessa dalle superfici (e quindi captata dal sensore) e quella incidente, proveniente dal sole. Tale rapporto è, ovviamente, compreso tra 0 e 1 e assumerà il valore massimo qualora sia massimo il fenomeno della riflessione, per via delle caratteristiche della superficie che si sta esaminando. Le mappe di riflettanza assegnano quindi, ad ogni pixel che le compongono, un valore di riflettanza per ogni banda del sensore. Da qui deriva l'immediata applicazione in agricoltura del telerilevamento, che si basa sul principio per cui il valore di riflettanza della *canopy* in determinate bande dello spettro è direttamente correlato con alcuni parametri biologici e di crescita della coltura. In particolare, se si esamina l'andamento della riflettanza di una superficie coperta da vegetazione lungo lo spettro elettromagnetico (fig 1.4), si può notare che la vegetazione tende ad assorbire molto la radiazione visibile, mentre si osserva un repentino aumento della riflettanza passando dal visibile al NIR (*Near Infra-Red*, l'infrarosso vicino), oltre gli $0,7\mu\text{m}$ di lunghezza d'onda. Questo è dovuto al fatto che le clorofille assorbono la radiazione visibile, evitando che questa venga riflessa. La riflettanza nel visibile sarà tanto più bassa quanto è maggiore l'assorbimento da parte delle clorofille, che è a sua volta funzione della quantità di clorofilla presente per unità di superficie, che dipende da due componenti: la concentrazione di pigmenti per unità di area fogliare e il LAI (*Leaf Area Index*), che indica la superficie delle foglie presente per unità di area di *canopy*. Si può concludere, quindi, che la differenza di riflettanza tra VIS e NIR, sia direttamente correlata con lo stato nutrizionale e di crescita della coltura (Casa, et al., 2016). Il calcolo di opportuni indici, dati da combinazioni algebriche dei valori di riflettanza osservati nelle

diverse bande, può quindi fornire preziose informazioni sulla variabilità delle caratteristiche della coltura e, in particolare, in prima battuta, dello stato di nutrizione azotata. Oltre alla riflettanza nel VIS e nel NIR, molte altre grandezze misurabili da sensori remoti, anche iperspettrali, sono combinabili in tantissimi indici diversi, per i quali si stanno sempre più osservando relazioni con caratteristiche della *canopy* di interesse per l'agricoltura e che quindi aiutano a stimare la variabilità di tali grandezze. Esempi delle caratteristiche stimabili sono le variabili pedologiche (Anne, et al., 2014) (Gmur, et al., 2012), lo stress idrico della coltura (Bellvert, et al., 2015) e la presenza/incidenza di fitopatie (Prasannakumar, et al., 2013) (Zhang, et al., 2003).

Figura 1.4 - firma spettrale caratteristica di una superficie coperta da vegetazione. Si noti il brusco aumento di riflettanza tra il rosso e il vicino infrarosso (NIR).



Fonte: (Nino, et al., 2015)

Come prima accennato, i sensori per il telerilevamento possono costituire il carico (*payload*) di satelliti. Esistono numerosi satelliti, pubblici e privati, attualmente operativi per l'osservazione della superficie terrestre, non solo a scopi agricoli (Casa, et al., 2016). I parametri di interesse per valutare le immagini fornite da un satellite sono principalmente la risoluzione spaziale (la dimensione a terra del singolo pixel), la risoluzione spettrale e il costo di accesso alle immagini. Inoltre è importante conoscere il livello di correzione del prodotto che si vuole utilizzare, infatti esistono prodotti grezzi, sottoposti a correzione radiometrica², geometrica³ o atmosferica⁴ o addirittura già elaborati, ad esempio con il calcolo di indici (Vizzari, 2017) (Casa, et al., 2016).

² La correzione radiometrica consiste nel passare dai valori di Digital Number acquisiti dal sensore a una misura della grandezza, tramite una retta di calibrazione.

³ La correzione geometrica consiste nel correggere gli errori geometrici causati da distorsioni introdotte dal sensore, dal movimento della piattaforma e dall'ortorettifica.

⁴ La correzione atmosferica consiste nel compensare gli effetti di assorbimento e diffusione della radiazione da parte dei gas atmosferici, mediante modelli matematici o per confronto con osservazioni a terra con caratteristiche note.

Altrimenti questi sensori possono essere portati a bordo di *droni* o, più correttamente, SAPR⁵ (*Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto*) o UAV (*Unmanned Aerial System*). Queste piattaforme, rispetto ai satelliti, consentono di ottenere una maggiore risoluzione spaziale e temporale, con possibilità, quindi, di avere il rilievo necessario nel momento esatto in cui questo è richiesto. Infatti un SAPR può essere dotato di sensori specifici per la misurazione che si vuole effettuare e può essere utilizzato per eseguire un rilievo dell'area di interesse nel momento più indicato per ottenere determinate informazioni. La maggior parte dei droni per l'AP supportano la modalità di volo automatico a *waypoints*, essendo dotati di un proprio sistema GNSS. L'operatore, che deve essere dotato di apposita abilitazione rilasciata dall'ENAC, deve stabilire una quota di volo che consenta di ottenere la risoluzione spaziale opportuna e determinare la rotta di *waypoints*. Si deve quindi stabilire il percorso che il SAPR deve seguire, dettando velocità di volo e frequenza di acquisizione del sensore, garantendo sempre un *overlap* tra le immagini, cioè una sovrapposizione delle immagini successive catturate all'interno dello stesso tratto rettilineo (*forward overlap*) e di quelle di due tratti rettilinei adiacenti (*lateral overlap*). Si ottiene così una serie di immagini georiferite che devono essere sottoposte a correzione come le immagini satellitari e mosaicate, a costituire un'unica immagine ortorettificata dell'area, anche utilizzando punti di controllo a terra (*GCP, Ground Control Points*) di coordinate note che consentono la precisa georeferenziazione del rilievo (Vizzari , 2017).

1.4.2 - Rilievo prossimale o proximal sensing

Per proximal sensing si intende l'insieme delle tecnologie di misura in cui il sensore si trova a una distanza entro i 2 m dall'oggetto della misura. I sensori prossimali consentono di ottenere misure non distruttive e georiferite che, a seconda del tipo di sensore, possono essere eseguite a mano dall'operatore oppure tramite montaggio del sensore su apposite piattaforme per realizzare misure in continuo o ad alta frequenza (*on-the-go*).

Una delle principali applicazioni del proximal sensing è quella del rilievo pedologico, infatti, per molte applicazioni dell'AP è di fondamentale importanza conoscere la variabilità delle principali caratteristiche chimico-fisiche del suolo ad alta risoluzione spaziale e ciò è impossibile da ottenere con le normali tecniche di campionamento del suolo, basate sul prelevamento di campioni e l'analisi di laboratorio. Si rendono pertanto necessari strumenti di misura che siano in grado di misurare in continuo le principali caratteristiche del suolo o, quantomeno, di stimarle tramite la loro correlazione con altre grandezze più facilmente misurabili. Esistono diverse categorie di sensori prossimali geofisici e radiometrici, che sfruttano diversi principi fisici per misurare le caratteristiche pedologiche di interesse (Priori, et al., 2016), dei quali ci si limita a riportare, per ognuno, il principio del metodo di misura:

⁵ SAPR è l'acronimo di Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto, cioè un sistema costituito da un mezzo aereo (aeromobile a pilotaggio remoto) senza persone a bordo, utilizzato per fini diversi da quelli ricreativi e sportivi, e dai relativi componenti necessari per il controllo e comando (stazione di controllo) da parte di un pilota remoto. (ENAC)

- Sensori ad induzione elettromagnetica (fig 1.5), che sfruttano la conducibilità elettrica apparente del suolo, calcolata inducendo un campo magnetico nel suolo e rapportandolo alla misura del campo magnetico secondario prodotto dal suolo stesso in reazione al primo. Tale grandezza è correlata con diverse caratteristiche chimico-fisiche del suolo.
- Georesistivimetri mobili, che misurano, attraverso degli elettrodi, la caduta di potenziale di una corrente immessa nel suolo da un'altra coppia di elettrodi.
- Ground Penetrating Radar, che si basa sulla misura dei fenomeni di riflessione e rifrazione subiti da impulsi elettromagnetici emessi nel terreno. Queste misure permettono di rilevare discontinuità e stratificazioni.
- Spettrometri di raggi gamma, che misurano l'emissione di raggi gamma dal terreno, indice della presenza di radionuclidi o isotopi radioattivi, a sua volta funzione della mineralogia e della chimica del suolo.
- Spettrometri di riflettanza VIS-NIR che si basano sulla misura della riflettanza misurata sul suolo a determinate lunghezze d'onda, che costituisce la firma spettrale del suolo, dipendente dal comportamento spettrale di specifiche combinazioni mineralogiche.

Un problema comune a tutti i sensori pedologici è il fatto che le grandezze misurate non sono direttamente correlate con una sola caratteristica del suolo, ma sono funzioni multivariate di diverse variabili, quali il contenuto idrico, la tessitura, il contenuto di sostanza organica, la salinità ed altro. Per questo motivo, tutti i rilievi eseguiti con questi sistemi devono essere supportati da osservazioni pedologiche e campionamenti mirati di suolo per poter creare un modello localmente valido che leghi la variabilità della grandezza misurata a quella delle caratteristiche pedologiche di interesse.

Figura 1.5 - slitta dotata di sensore ad induzione elettromagnetica per la mappatura della conducibilità elettrica apparente del suolo.



Fonte: (Kverneland Italia, 2017)

Oltre al terreno, le tecnologie di proximal sensing consentono di ottenere informazioni anche sulla vegetazione (Priori, et al., 2016). I sensori prossimali per il monitoraggio della vegetazione sfruttano fundamentalmente gli stessi principi di quelli utilizzati allo stesso fine nel telerilevamento e già descritti nel paragrafo 1.3.1. In questo caso, tali sensori multi- o iper-spetttrali sono utilizzati in modalità stazionaria, tenuti in mano dall'operatore, o mobile (*on-the-go*), montati su macchine operatrici per la misurazione in continuo. Esistono molti sensori prossimali multispettrali in commercio, sia attivi (come il GreenSeeker della Trimble e il Crop Circle della Holland Scientific) sia passivi (come l'N-Sensor della Yara e il CropSpec della Topcon) (Bartolini, 2015).

Figura 1.6 - esempio di trattrice equipaggiata con il sensore multispettrale Yara N-sensor alloggiato sopra la cabina per la concimazione a rateo variabile del frumento.



Fonte: (Yara, 2017)

1.4.3 - Monitoraggio del clima

Il monitoraggio del microclima è utilizzato per comprendere la variabilità delle condizioni meteorologiche a scala di appezzamento e determinare, in base a questa, tramite modelli previsionali, la giusta strategia per quanto riguarda l'irrigazione, la difesa fitosanitaria, la fertilizzazione, ecc... I sensori normalmente impiegati per il monitoraggio climatico includono quelli normalmente utilizzati nelle capannine meteorologiche, cioè termometri, igrometri, anemometri, barometri e pluviometri, ai quali si aggiungono, eventualmente, i sensori di bagnatura fogliare per il monitoraggio di malattie fungine.

Per programmare in modo ottimale l'irrigazione è altresì possibile fare affidamento a sensori che permettono la misurazione dell'umidità del suolo, anche a più profondità, consentendo di determinare, note le caratteristiche idrologiche del suolo, il momento più opportuno per l'intervento e il volume da apportare (Bartolini, 2015). Tali sensori sono classificabili in due categorie distinte. La prima è rappresentata dai sensori che misurano il contenuto idrico volumetrico, che includono i sensori FDR (*Frequency Domain Reflectometry*), che misurano la variazione di frequenza di un'onda elettromagnetica nel terreno, e quelli TDR (*Time Domain Reflectometry*), che invece misurano il tempo di riflessione dell'onda (Priori, et al., 2016). L'altra categoria è costituita dai sensori che

misurano il potenziale matriciale, cioè la forza con cui l'acqua è trattenuta dal terreno. Tra questi, si hanno i tensiometri, i blocchetti di gesso e le piastre di ceramica porosa.

1.4.4 - Sistemi di mappatura delle produzioni

Come visto nel primo paragrafo, la variabilità di qualsiasi tipo nell'appezzamento si manifesta in definitiva con la variabilità delle produzioni. Rilevare quest'ultima è quindi importante per capire se essa è influenzata da altri tipi di variabilità e, eventualmente, identificarli e gestirli. Il processo che consente di misurare e analizzare la variabilità georiferita delle produzioni è detto mappatura o registrazione sito-specifica ed è attuata tramite sensori che consentono di misurare la quantità del prodotto raccolto, montati su macchine operatrici per la raccolta dotate di sistemi GNSS e delle componenti elettroniche necessarie per elaborare i dati dei sensori. Recentemente sono stati immessi nel mercato sensori per misurare in continuo le produzioni di un'ampia varietà di colture in pieno campo, sia erbacee (ad esempio pomodoro da industria, patata) che arboree, tra le quali la principale è la vite, per la quale si stanno studiando anche sistemi di raccolta differenziata. Tuttavia, in questa sede, saranno trattati principalmente i sistemi di mappatura per i cereali da granella, raccolti con macchine mietitrebbiatrici, e dei foraggi trinciati, raccolti con macchine falcia-trincia-caricatrici.

Per quanto riguarda i cereali da granella, la mappatura delle produzioni scaturisce non da uno ma da una serie di sensori, che sono di seguito elencati e sinteticamente descritti (Lazzari, et al., 2016):

- Sensori di flusso: possono funzionare per misura di massa, di volume o di impatto ma, attualmente, solo gli ultimi due sono effettivamente impiegati. Quelli di tipo volumetrico si basano sulla misurazione del numero di volumi elementari spostati dall'elevatore della mietitrebbia, che trasporta il materiale dall'uscita dell'apparato di pulizia al serbatoio della granella. Il sistema è coadiuvato da sensori ottici in grado di determinare il grado di riempimento delle camere dell'elevatore e quindi il volume effettivo trasportato. Il volume totale effettivo sarà dato dalla somma dei volumi elementari. Nei sensori ad impatto, invece, la granella urta un piatto sagomato dotato di un estensimetro, che genera un segnale elettrico di intensità proporzionale alla deformazione subita, a sua volta dipendente dall'intensità del flusso di granella.
- Sensori di densità: perché il dato di volume possa essere ricondotto a uno di massa è necessario misurare la densità della granella raccolta tramite sensori che operano in continuo. Questi sensori si basano sul riempimento con la granella di un contenitore di volume noto, il quale viene pesato permettendo quindi il calcolo della densità.
- Sensori di umidità: l'umidità della granella al momento della raccolta può essere fortemente variabile e il dato di massa ottenuto deve essere quindi normalizzato e riportato in sostanza secca. I sensori per la misura dell'umidità operano in modo discontinuo ma effettuano misure con frequenze elevate e sono costituiti da condensatori che misurano la costante dielettrica della miscela aria/granella

compresa tra le due placche nel momento della misura, direttamente correlata con l'umidità della granella.

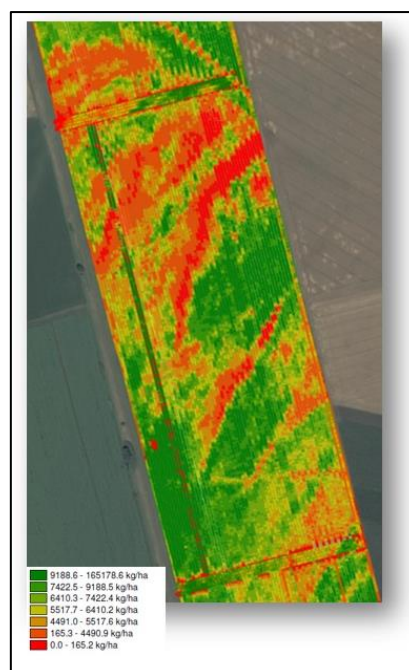
- Sensori per la misura delle prestazioni della barra: il dato di sostanza secca ottenuto con i sensori visti in precedenza dovrà essere riferito continuamente a un dato di superficie per poter determinare la produzione areale. È quindi necessario che in ogni momento siano note la larghezza effettiva su cui la barra sta operando (che non sempre coincide con quella massima) e la velocità di avanzamento della macchina. Mentre il secondo dato sarà acquisito dal sistema GNSS di bordo, per la determinazione della larghezza di lavoro, la barra dovrà essere dotata di appositi sensori ad ultrasuoni che misurano, da entrambi i lati, la distanza tra il bordo della barra, su cui è montato il sensore, e la coltura ancora in piedi su cui la barra sta operando. Inoltre, è necessario un ultimo sensore che sia in grado di determinare quando la barra viene sollevata per le manovre, così da sospendere, in tale frangente, il conteggio delle superfici.
- Sensori di qualità della granella: ancora poco o per nulla diffusi, sono sensori NIR che, previa opportuna taratura, sono in grado di restituire informazioni sulle principali variabili qualitative della granella, quali il contenuto di proteine e quello di lipidi.

I dati provenienti da tutti i sensori sono raccolti da un'apposita centralina che calcola il flusso di granella e lo riferisce a aree elementari di forma rettangolare, in cui un lato è dato dalla larghezza effettiva di lavoro della macchina (determinata attraverso i sensori a ultrasuoni) e l'altro lato è dato dalla distanza percorsa dalla macchina nel tempo in cui il volume elementare è stato registrato (determinata mediante il GNSS). Un'altra importante funzione della centralina è quella di correggere in modo opportuno il dato grezzo proveniente dai sensori, affetto da alcuni errori di misura. Innanzitutto, tutti i sensori vanno periodicamente calibrati per confronto con misure di peso ottenute con altri sistemi di misura (ad esempio la bilancia aziendale) da introdurre, a carico dell'operatore, nella centralina, la quale aggiusta automaticamente la curva di calibrazione. Altri fattori da correggere comprendono lo sfasamento temporale tra taglio e misura del flusso nell'elevatore, la pendenza in cui opera la macchina, che altera la misura dei volumi, l'entità delle perdite, ecc... Gestendo in modo opportuno tutte le cause di errore, si possono raggiungere errori di misura medi del 3-5%, evitando le punte del 10% che si ottengono nelle condizioni più difficili (Lazzari, et al., 2016). I dati ottenuti vanno successivamente elaborati per ottenere le vere e proprie mappe di produzione. Innanzitutto, la mappa così come ottenuta dal sistema di mappatura, va sottoposta al filtraggio dei dati *outlier* mediante un'operazione di media mobile che assegna ad ogni area elementare un valore ottenuto mediando il proprio con quello di quelle adiacenti, così da smussare l'incidenza di dati eccessivamente alti o bassi. Successivamente, se l'analista dei dati è consapevole che valori misurati in prossimità di angoli acuti o ostacoli sono poco affidabili, deve provvedere a eliminarli. Si deve inoltre procedere alla divisione in classi dei valori di produzione, così da poter rappresentare i dati secondo una distribuzione di frequenza e eventualmente eliminare i valori ritenuti impossibili perché

troppo elevati, nonché rappresentare i dati assegnando colori diversi ad ogni classe per facilitare il processo di interpretazione della mappa (fig. 1.7).

Quanto detto finora è valido anche per la mappatura delle produzioni dei cereali foraggeri trinciati, fatto salvo per alcune differenze dovute alla sensoristica. In particolare, la stima del flusso di materiale raccolto avviene in questo caso mediante un sistema ad impatto situato nel tubo di lancio oppure mediante misurazioni volumetriche basate sullo spostamento relativo dei rulli di alimentazione. L'umidità e alcuni parametri qualitativi sono eventualmente misurati attraverso sensori NIR presenti anch'essi nel tubo di lancio.

Figura 1.7 - Esempio di mappa di produzione, sotto forma di dati grezzi. Colori assegnati secondo classi di produttività.



Fonte: (Bartolini, 2016)

1.5 - Analisi della variabilità spazio-temporale

Finora si è visto come la variabilità spazio-temporale delle varie caratteristiche delle colture e dei suoli può essere misurata e come tali misure possono essere riferite a un sistema di riferimento geografico. Affinché le informazioni acquisite possano essere utilizzate in modo utile per prendere decisioni aziendali, come in parte si è già visto, queste devono essere trattate, analizzate, visualizzate e archiviate in modo opportuno. Si rendono quindi necessari una serie di strumenti matematici, statistici ed informatici per svolgere tali funzioni.

1.5.1 - I Geographic Information Systems (GIS)

Un GIS, in italiano Sistema Informativo Geografico, è definibile come “un potente insieme di strumenti atti a raccogliere, memorizzare, richiamare, trasformare e rappresentare dati georiferiti” (Burrough, 1986). Questi strumenti sono raccolti in un software che permette di analizzare basi di dati con diverse metodologie per ricavare informazioni aggiuntive rispetto a quelle fornite dai dati di partenza. Ogni oggetto geografico trattato in un GIS è formato di una componente geometrica, che stabilisce forma, dimensione e posizionamento dell’oggetto, e di una descrittiva, che fornisce informazioni di varia natura sull’oggetto stesso (Vizzari , 2017). I tipi di dati utilizzati nei GIS sono di tipo vettoriale, quando gli oggetti sono rappresentati da punti, linee e poligoni (ad esempio i confini degli appezzamenti), ai quali sono associate tabelle di attributi che costituiscono la componente descrittiva (contenente, ad esempio, le superfici e i perimetri degli appezzamenti). I dati sono invece di tipo raster, quando sono costituiti da immagini, cioè una matrice di pixel (ad esempio, un’immagine satellitare) la cui componente descrittiva è costituita dai valori di una o più grandezze attribuiti ad ogni pixel (ad esempio la riflettanza in una certa banda dello spettro). Un software GIS consente di svolgere tre tipi di operazioni sui dati georiferiti (Vizzari , 2017):

- Topologiche: volte a determinare relazioni spaziali e geometriche tra punti, linee e superfici;
- Insiemistiche: volte a identificare e analizzare le relazioni tra proprietà di oggetti;
- Matematiche: operazioni algebriche sui dati associati ai singoli elementi o ai pixel, che includono il calcolo di statistiche.

Tutti i dati georiferiti ottenuti dalla fase di rilevamento devono quindi essere trattati con un software GIS per operare le correzioni, eliminare dati superflui o palesemente errati, rappresentare le informazioni in modo intuitivo, condurre analisi statistiche, calcolare indici, costruire mappe di prescrizione, ecc... I software GIS consentono anche l’archiviazione delle varie mappe tematiche ottenute e il confronto tra queste in tempi diversi che, consentendo di analizzare in modo dettagliato anche la variabilità temporale, permette all’imprenditore di operare decisioni strategiche più coscienti e la messa a punto di sistemi di supporto alle decisioni (si veda paragrafo 1.5.3).

1.5.2 - La geostatistica

Le informazioni ottenute nella fase di rilievo, come si è visto, non sempre sono misurate alla risoluzione con cui poi vengono utilizzati e non sempre sono utili come dati grezzi. Per ottenere dati utili la variabilità deve essere quantificata e modellizzata e questo è possibile per mezzo di tecniche proprie di una branca della statistica detta geostatistica. La geostatistica è definita come “lo studio dei fenomeni regionalizzati, cioè distribuiti nello spazio (e/o nel tempo) che presentano un’organizzazione o una struttura spaziale” (Emery, 2001). I fenomeni regionalizzati sono quei fenomeni che mostrano autocorrelazione spaziale, per cui, cioè, le varie realizzazioni dello stesso non possono

essere considerate completamente indipendenti ma, al contrario, le osservazioni del fenomeno tra loro vicine hanno valori più simili di quelle lontane. Questa caratteristica è tipica di tutti i fenomeni naturali che influenzano la produzione agricola e quindi tale scienza si presta in particolar modo al supporto dell'AP. Un'applicazione frequente della geostatistica consiste nel *kriging* che è un processo di interpolazione che consente, tenendo conto della correlazione esistente tra campioni vicini, la stima della grandezza in un punto non campionato. Questo risulta necessario ogni volta che una grandezza è misurabile soltanto in modo discontinuo per motivi tecnico-economici ma la sua variabilità deve essere nota a una scala minore per poter essere gestita. Naturalmente l'errore che si può commettere nella stima aumenta all'allontanarsi dei punti stimati da quelli misurati (Castrignanò, et al., 2016). Tale processo risulta utile anche nel caso in cui una grandezza di interesse viene misurata su scala relativamente ampia ma risulta correlata con una non di interesse diretto ma misurabile a scala più ridotta. In questo caso la procedura prende il nome di *cokriging* e permette di migliorare la risoluzione spaziale e la precisione della variabile primaria. Un esempio di ciò è dato dalla mappatura delle caratteristiche del suolo, in cui la loro misura diretta condotta secondo un campionamento intelligente può essere utilizzata congiuntamente a una carta ottenuta tramite rilievo prossimale per stimare le caratteristiche pedologiche di interesse a scala più ridotta (vedi par. 1.4.2). Il *kriging a blocchi* è invece un'operazione che consente di stimare i valori medi di regioni di spazio dette blocchi, a partire da valori puntuali misurati. Si riporta infine un'altra applicazione della geostatistica in AP che è quella dell'individuazione di aree di gestione (*Management Zones*), che sono aree dell'appezzamento che, per via del fatto che presentano al loro interno caratteristiche piuttosto uniformi, devono subire una gestione uniforme all'interno di esse e differenziata rispetto alle altre aree di gestione di cui l'appezzamento è composto. Gli strumenti necessari a svolgere tali operazioni si ritrovano tipicamente nei software GIS, che quindi consentono il trattamento geostatistico dei dati rilevati.

1.5.3 - I modelli di simulazione e i DSS

I modelli di simulazione delle colture sono sistemi in grado di descrivere l'interazione pianta-suolo-atmosfera mediante l'utilizzo di equazioni matematiche, spesso raccolte all'interno di un software (Basso, et al., 2001). I modelli di simulazione consentono, in breve, di simulare differenti scenari conseguenti a determinate scelte operate dall'agricoltore, tenendo conto delle condizioni ambientali, in modo tale da porre l'operatore nelle condizioni di fare quelle scelte che massimizzino il profitto e minimizzino l'impatto ambientale. In quest'ottica i modelli di simulazione funzionano da sistemi di supporto alle decisioni (*decision support system, DSS*). Sfruttando, in ingresso al modello, i dati acquisiti nella fase di rilevamento, che apportano informazioni sulla variabilità spazio-temporale delle condizioni ambientali, si può arrivare a definire le pratiche migliori da condurre per ogni *management zone*, individuate come visto in precedenza. Questo supporto decisionale è fornito sia nel breve periodo, a supporto delle decisioni così dette "tattiche", che nel lungo periodo, a sostegno delle decisioni "strategiche".

1.6 - I sistemi informativi aziendali

È comprensibile come tutte le procedure fin qui illustrate generino una grandissima quantità di dati che, se non organizzati, rimangono tali e non si traducono in informazioni utili al processo decisionale. Si rende quindi necessario un insieme di strumenti che consentano al decisore di raccogliere i dati, elaborarli e archivarli in modo organizzato in un database, in modo tale da poterli interrogare quando si vuole e utilizzarli per estrapolare informazioni che siano utili al processo decisionale. Questi strumenti sono tipicamente raccolti in un sistema informativo aziendale (SIA) (Mazzetto, et al., 2016). Tale processo di organizzazione aziendale avviene in tre diversi ambiti decisionali (Frascarelli, 2016): operativo, direttivo/tattico e strategico. La raccolta e l'elaborazione dei dati consentite dall'agricoltura di precisione permettono di supportare tutti questi tre livelli:

- Nella gestione operativa, cioè riguardante l'esecuzione dei singoli processi elementari, l'AP consente l'automazione di alcune mansioni e l'ottimizzazione dell'utilizzo dei fattori.
- La gestione direttiva/tattica riguarda, invece, la pianificazione delle azioni elementari (quali operazioni eseguire e quando eseguirle) e la loro ottimizzazione, la gestione dell'approvvigionamento, del magazzino e della vendita dei prodotti, nonché il rilevamento di dati contabili. In questo caso il supporto di un SIA assume la massima importanza perché consente, anche tramite DSS, la pianificazione ottimale delle operazioni, il rilevamento di dati di gestione, la gestione del magazzino e della contabilità. Inoltre, un importante aiuto si può avere da un database ben organizzato in quanto questo consente di svolgere analisi della variabilità temporale di certi fenomeni e quindi tale da individuare tendenze e eccezionalità che aiutano a prendere decisioni mirate.
- Infine, la gestione strategica consiste nell'organizzazione aziendale di medio-lungo periodo, compresa la progettazione dell'attività di produzione e la pianificazione degli investimenti. In questo caso, le informazioni, opportunamente aggregate e strutturate, consentono di prendere decisioni più consapevoli, permettendo di conoscere nel dettaglio i costi di ogni attività e le criticità e le potenzialità del processo produttivo.

Una menzione va fatta, inoltre, alla semplificazione che un SIA può apportare alla tracciabilità delle produzioni, sia ai fini dell'adesione a regimi di qualità e di sostegno pubblico a pratiche ambientali, sia a quelli della commercializzazione e del marketing.

CAPITOLO SECONDO

L'AGRICOLTURA DI PRECISIONE NEI SEMINATIVI

Tra i vari settori dell'agricoltura, quello dei seminativi è quello che ha visto la maggiore diffusione dell'agricoltura di precisione, sia per via delle vaste superfici coltivate e il conseguente più elevato livello di meccanizzazione raggiunto, sia per la maggiore importanza economica, in termini di produzione lorda vendibile totale, sia per i ridotti margini reddituali che spingono maggiormente gli operatori del settore a rendere più efficiente l'utilizzo dei fattori produttivi. Nel presente capitolo si riporta una descrizione più dettagliata delle applicazioni dell'agricoltura di precisione nello specifico settore dei seminativi, concentrandosi, in particolare, sulle tecnologie che consentono la gestione sito-specifica della coltura nelle diverse operazioni colturali.

2.1 - L'utilizzo dei sistemi GNSS per la guida e il controllo delle macchine agricole

2.1.1 - I sistemi di guida

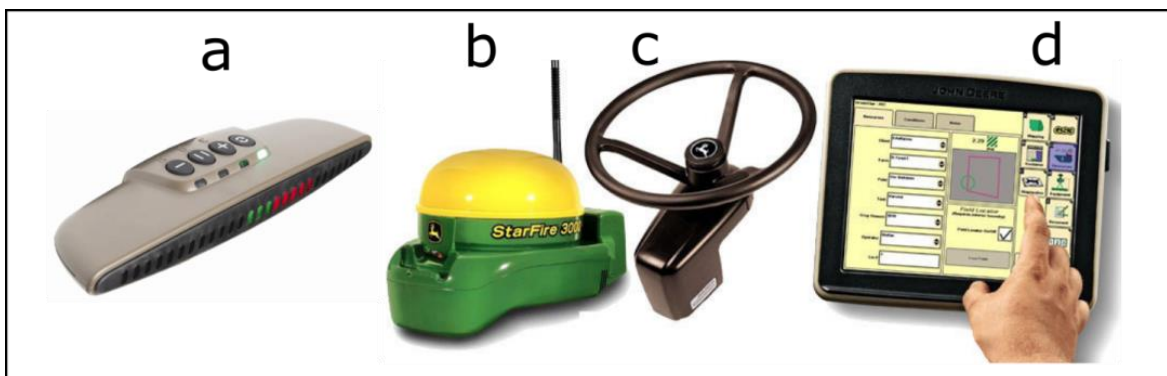
Come si è visto, i GNSS sono utilizzati in tutte le fasi dell'AP per georiferire i dati rilevati ma il principale utilizzo ad oggi è quello di guida delle macchine agricole. I sistemi di navigazione GNSS consentono all'operatore della macchina agricola di mantenere una traiettoria predeterminata, di evitare sovrapposizioni tra le passate, di operare in condizioni di visibilità sub-ottimali e di essere sollevato dal controllo della direzione di avanzamento, così da porre maggiore attenzione nell'operazione che si sta svolgendo. Un sistema di navigazione è formato da tre componenti fondamentali (Calcante, et al., 2016): un computer di bordo (fig. 1.3d), un ricevitore GNSS (fig. 1.3b) e un'interfaccia utente. Diversi stadi evolutivi di questi tre elementi e l'aggiunta di componenti aggiuntivi consentono la realizzazione di livelli crescenti di automazione della guida:

- *Guida assistita* in cui, senza agire in alcun modo sullo sterzo, il sistema aiuta l'operatore a mantenere la giusta traiettoria mediante una barra di guida optoelettronica (fig. 1.3a), formata da una fila orizzontale di LED. In caso di traiettoria perfettamente coincidente con quella impostata solo il LED centrale è illuminato ma, al deviare del mezzo dalla traiettoria ideale, i LED laterali si illuminano a destra o a sinistra nella stessa direzione e in quantità proporzionale alla deviazione misurata. In questo modo l'operatore potrà agire sullo sterzo per riportare la macchina nella traiettoria desiderata. Al posto della barra a LED si può avere un display che in più

traccia su una mappa le traiettorie percorse e consente di individuare facilmente quella successiva in cui reimmettersi al termine della svolta a fine campo.

- *Guida semi-automatica* in cui alle componenti prima elencate si aggiunge un attuatore che agisce sul piantone dello sterzo, sul volante (fig 1.3c) o sull'elettrovalvola del servosterzo della macchina. Con questo sistema, durante le passate, la macchina è in grado di mantenere automaticamente la traiettoria e l'operatore è quindi del tutto sollevato dalla guida.
- *Guida automatica*, in cui la macchina si muove in modo completamente autonomo, svolgendo anche le svolte a fine campo, oppure si limita a coordinare i movimenti rispetto a quelli di un'altra macchina che si muove vicino e con cui è in comunicazione tramite sistemi wireless. Un esempio del primo caso è il concept di trattore completamente autonomo e senza cabina presentato dalla Case IH (Case IH, 2016), mentre per il secondo si può portare l'esempio di un cantiere di raccolta in cui l'operatore che guida la macchina raccogliitrice può comandare indirettamente il trattore con il carro per consentire un riempimento ottimale.

Figura 2.1 - componenti di un sistema di guida GPS: a) barra di guida optoelettronica b) ricevitore gps per montaggio su trattore c) volante di guida con attuatore per la guida semi-automatica e d) schermo touch screen per la gestione delle funzioni del sistema.



Fonte: elaborazione da John Deere

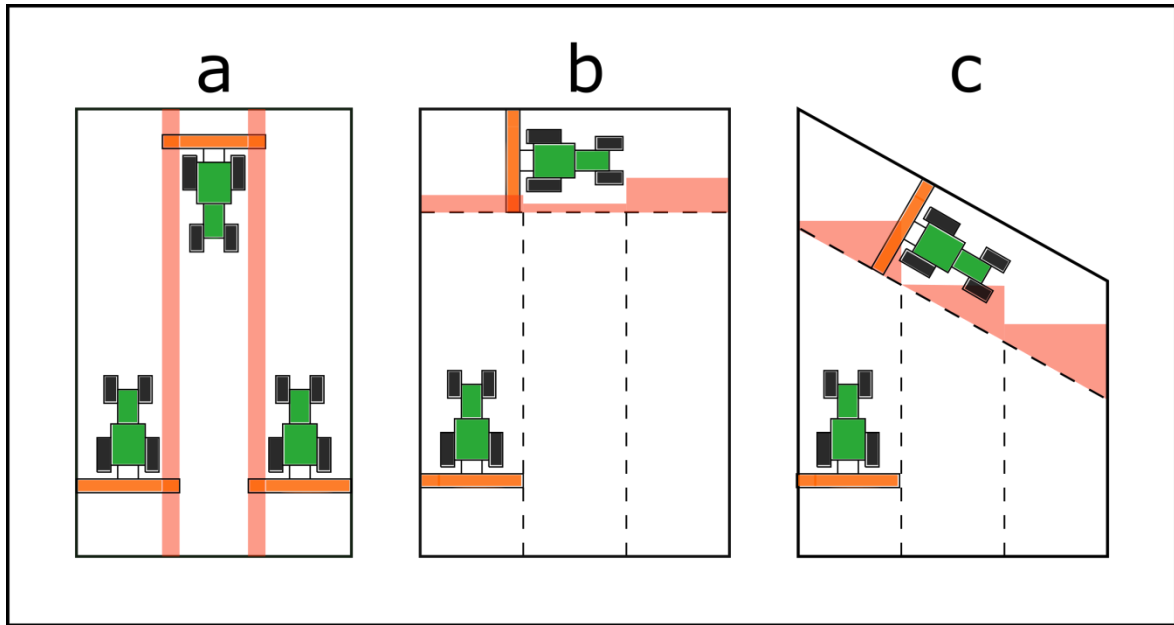
2.1.2 - Eliminazione delle sovrapposizioni

Durante lo svolgimento delle normali operazioni meccaniche, si verificano sovrapposizioni tra le passate della macchina operatrice, con relativo spreco di tempo, carburante e dell'eventuale input agronomico che si sta distribuendo (semente, fertilizzante, ecc...). le sovrapposizioni che si possono verificare sono di tre tipi:

- Tra passate successive (fig. 2.2a), dovute all'impossibilità dell'operatore di eseguire la lavorazione su tutta la superficie senza creare una certa sovrapposizione con la passata precedente della macchina.
- Nella testata del campo (fig. 2.2b), per via della non tempestiva interruzione della lavorazione/distribuzione una volta che la macchina è arrivata alla capezzagna al termine della passata.

- Nei bordi inclinati di campi di forma irregolare (fig. 2.2c), a causa dell'interruzione non graduale della lavorazione/distribuzione, all'attraversamento della linea di testata inclinata rispetto all'avanzamento della trattrice.

Figura 2.2 - sovrapposizioni possibili nelle operazioni di campo: a) tra passaggi successivi b) in testata, per non tempestiva interruzione c) nei bordi inclinati, dovuti all'interruzione non graduale.



Fonte: elaborazione da (Calcante, et al., 2016)

Il primo tipo si evita semplicemente con l'utilizzo di un qualsiasi sistema di guida che consente all'operatore di mantenere la traiettoria giusta così che la macchina operatrice lavori su una traiettoria che sfiora la precedente. Per gli altri due tipi, invece, sono necessarie macchine in grado di variare la propria larghezza di lavoro e che chiudono le sezioni di cui sono dotate all'attraversamento della linea di "inizio capezzagna". Da qui, si comprende come i vantaggi dell'applicazione dei sistemi di guida e del controllo delle sezioni siano più sentiti in campi piccoli e di forma irregolare che in appezzamenti di grandi dimensioni e di forma regolare (Bartolini, 2015).

2.1.3 - il sistema ISOBUS

La gestione automatica di determinati processi da parte delle macchine operatrici richiede che queste siano dotate di *Electronic Control Units (ECU)*, ognuna delle quali gestisce uno specifico sottosistema della macchina. Attualmente, il coordinamento delle diverse ECU presenti nella trattrice e nelle macchine ad essa collegate avviene tramite il sistema ISOBUS, che è una connessione con protocollo di trasmissione dei dati e connettore standardizzati a livello internazionale dalla norma ISO 11783. Tramite il protocollo ISOBUS, quindi, attraverso un solo terminale compatibile (il monitor in cabina) è possibile controllare e gestire tutte le macchine operatrici collegate al trattore, anche se di marchi diversi (Bartolini, 2015).

2.1.4 - L'applicazione dei fattori a rateo variabile

L'integrazione della componente meccanica con quella elettronica consente di avere a disposizione macchine operatrici in grado di modificare la propria modalità operativa in ogni punto dell'appezzamento. Questo consente la così detta *Variable Rate Application* (VRA) o applicazione a rateo variabile dei fattori della produzione, per ottimizzare in ogni punto l'utilizzo degli input. Le tecnologie che consentono la VRA sono dette *Variable Rate Technologies* (VRT) e possono essere di due tipi (Agricare, 2017):

- Basate sull'utilizzo di mappe di prescrizione: mediante opportuni algoritmi e un software GIS, dalle mappe di variabilità acquisite tramite il rilevamento, si ottiene una mappa di prescrizione che, caricata nel terminale, consente alla macchina, nota la sua posizione tramite il sistema GNSS, di distribuire nel punto in cui sta operando la quantità di fattore ottimale secondo l'algoritmo.
- Basate sull'utilizzo di sensori: appositi sensori rilevano *on the go* i dati interessanti che, attraverso un algoritmo, vengono anche in questo caso trasformati in prescrizioni della dose di input da distribuire contestualmente all'esecuzione della misura.

2.2 - Le lavorazioni del terreno in AP

L'applicazione dell'AP alle lavorazioni del terreno si concretizza in tre possibilità, oltre a quella di eliminare le sovrapposizioni, tutte funzionali all'introduzione di tecniche di minima lavorazione o non lavorazione.

2.2.1 - Il controllo del traffico

Evitare il compattamento del suolo è importante perché permette di mantenere la giusta porosità del suolo. Ciò diventa ancora più necessario qualora si vogliano adottare lavorazioni minime o la semina su sodo, perché la possibilità di reintrodurre porosità nel terreno attraverso le lavorazioni viene meno, in tutto o in parte. L'utilizzo di sistemi di guida GNSS consente di condurre macchine appositamente predisposte con carreggiate uguali, sempre sulle stesse traiettorie, in modo da limitare il compattamento a queste linee di transito, che rimangono quindi non coltivate o vengono trattate con lavorazioni specifiche (Bartolini, 2015). Tale tecnica è detta *Controlled Traffic Farming* (CTF) e necessita dell'utilizzo di ricevitori GNSS con correzione RTK.

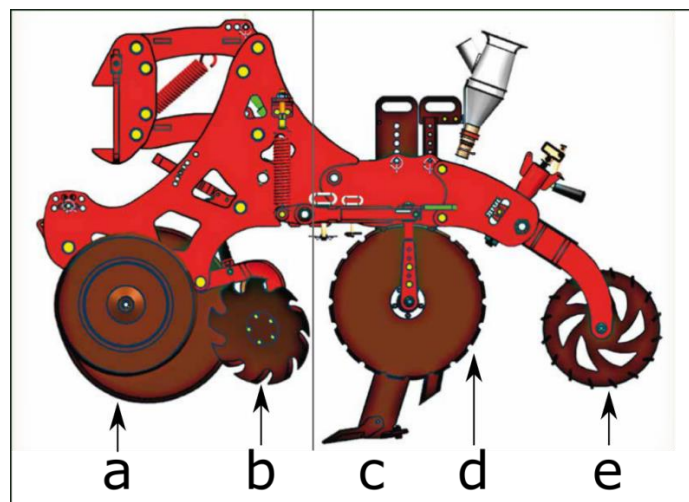
2.2.2 - Lo strip tillage

Per minimizzare l'impatto delle lavorazioni, un'altra tecnica è lo *strip-tillage*, che consiste nel localizzare una lavorazione senza inversione degli strati solo nella striscia di terreno in cui si realizzerà la deposizione del seme, con conseguenti risparmi di tempo e carburante e tutela del terreno da perdita di sostanza organica e erosione. Questa tecnica è applicabile soltanto per le colture seminate a file larghe. La striscia in questione, larga tra i

15 e i 20 cm, è ottenuta tramite apposite macchine operatrici, dette *strip tiller*, che lavorano in tre fasi:

- taglio del terreno e spostamento del residuo, svolti rispettivamente da un disco (fig. 2.3a) e da una coppia di dischi “a stella” (fig. 2.3b);
- decompattamento e miscelazione, svolti da un’ancora (fig. 2.3c), conformata in modo diverso a seconda della tessitura del terreno, che opera a una profondità di circa 30 cm;
- formazione e compattamento della striscia, operate da una coppia di dischi (fig. 2.3d) e da una ruota pressatrice (fig. 2.3e), equivalente a una sezione di un rullo compattatore;
- eventuale concimazione localizzata.

Figura 2.3 - rappresentazione schematica di un elemento di uno strip tiller: a) disco per il taglio del terreno b) dischi a stella per lo scostamento dei residui c) ancora per il decompattamento d) dischi per la formazione della striscia e) rullo compattatore.



Fonte: elaborazione da (Kverneland)

Le lavorazioni avvengono prima della semina o con un doppio passaggio, uno in autunno e uno in primavera ma, in ogni caso, si ha la necessità che l'eventuale secondo passaggio e la semina siano eseguiti esattamente al centro della striscia già lavorata. La precisione e l'accuratezza richieste per eseguire questo tipo di lavorazione possono essere fornite quindi soltanto da un sistema di guida con correzione RTK, rendendo inscindibile il legame tra strip tillage e agricoltura di precisione.

2.2.3 - Lavorazioni variabili del terreno

Nel caso si voglia applicare la tecnica della minima o non lavorazione del terreno, bisogna tenere conto del fatto che, all'interno dello stesso appezzamento, esistono zone con diverse caratteristiche del terreno che necessitano di intensità di decompattamento e affinamento diverso. Grazie ai sensori visti nel paragrafo 1.4.2, si possono realizzare delle mappe di tessitura o di compattamento del terreno dalle quali, secondo appositi

algoritmi, si può ricavare una mappa di prescrizione che consente di regolare l'intensità della lavorazione in ogni punto dell'appezzamento, in modo tale da ottenere il miglior compromesso tra tempi di esecuzione e qualità della lavorazione, finanche a eliminare le lavorazioni nelle aree più favorevoli per ricorrere alla semina su sodo (Sartori, et al., 2016). I coltivatori combinati, formati da più serie di utensili regolabili indipendentemente (tra i quali vanno inclusi anche gli strip tiller) si adattano particolarmente a questa tecnica, potendo operare, anche in automatico attraverso elettrovalvole che comandano martinetti idraulici, lo spostamento relativo dei telai porta-utensili. Altra interessante opportunità è quella di costituire delle mappe di presenza di residui colturali, basate sulle mappe di raccolta tramite la valutazione dell'*harvest index* (HI)⁶ o su immagini da telerilevamento. Queste mappe possono consentire, potenzialmente, di regolare la profondità degli organi di interrimento in base alla quantità di residui presente, in modo da diluirli col terreno nelle proporzioni più adeguate alla giusta degradazione e al minimo intralcio alla coltura seguente. Infine, si riporta l'opportunità di ricorrere alla misura della rugosità del terreno tramite appositi sensori, per regolare velocità di avanzamento e parametri di funzionamento delle macchine per la preparazione del letto di semina, in modo da ottenere in ogni punto il giusto grado di affinamento del terreno. I vantaggi di queste tecniche derivano dal risparmio di carburante consentito dall'eventuale riduzione della profondità e dall'aumento della velocità. In condizioni di effettiva presenza di variabilità il risparmio sulle lavorazioni è stato stimato del 30% circa (Sartori, et al., 2000).

2.3 - La semina in AP

La semina è una delle operazioni che più deve essere adeguata alle condizioni specifiche del terreno e in questo l'AP consente un'ottimizzazione continua delle regolazioni. Di seguito sono illustrati i principali parametri della semina controllati in agricoltura di precisione.

2.3.1 - Variazione della dose di semina

La densità di semina ottimale è dettata da molti fattori, tra cui i principali sono la varietà, l'epoca di semina, la disponibilità idrica e irrigua e di elementi nutritivi, la tessitura e il contenuto di sostanza organica. I primi tre fattori derivano però da scelte operate dall'agricoltore e non presentano variabilità all'interno dell'appezzamento, quindi la dose di semina può essere aggiustata rispetto alle caratteristiche del terreno. Come si è visto, tali caratteristiche possono essere rilevate tramite i sensori descritti al paragrafo 1.4.2 e quindi, attraverso le mappe così originate, è possibile definire mappe di prescrizione

⁶L'*harvest index* (HI) è dato dal rapporto tra la biomassa secca prodotta dalla coltura utilizzata a fini economici e il totale della biomassa epigea secca. Noto il valore di questo indice e data la resa della coltura per una data area, è quindi possibile ricavare la produzione di residui.

tramite le quali le dosi di semina sono elevate, entro certi limiti, nelle aree più fertili e ridotte, invece, nelle aree a minor potenziale produttivo (Sartori, et al., 2016). Ovviamente, alle densità di semina più elevate deve conseguire un aumento delle dosi di elementi nutritivi distribuiti, per via delle maggiori asportazioni potenziali. Il controllo della densità avviene regolando la distanza tra i semi sulla fila e lasciando inalterata l'interfila. Nelle seminatrici a righe per l'agricoltura di precisione, il rullo distributore, anziché essere azionato da una ruota di trasmissione aderente al terreno, è movimentato direttamente da un motore elettrico. Nelle seminatrici di precisione, invece, il controllo della distanza sulla fila è operato singolarmente per ogni elemento di semina e quindi il disco distributore di ognuno è azionato da un attuatore elettrico. Queste tecnologie, oltre a permettere la VRA della semente, consentono anche di evitare le sovrapposizioni in capezzagna mediante la chiusura automatica dei singoli elementi.

2.3.2 - Variazione della profondità di semina

A parità di regolazioni della seminatrice, la profondità di semina varia a seconda della resistenza alla penetrazione posta dal terreno: la semina è più superficiale nei terreni duri e compatti e più profonda in quelli più cedevoli. Diventa quindi utile equipaggiare la seminatrice con dei sensori che misurano la pressione necessaria all'elemento di semina e, tramite un'ECU, comandano dei martinetti idraulici, montati in sostituzione delle classiche molle, che modulano di conseguenza la forza esercitata sull'elemento di semina. La regolazione della profondità di deposizione del seme può avvenire anche tramite il controllo della posizione delle ruote di profondità, che può anch'esso essere automatizzato. Anche per la profondità di semina si possono adottare criteri di VRA (Sartori, et al., 2016), regolando in continuo la profondità di semina in base a mappe di prescrizione. In questo caso, le mappe possono essere ottenute in due diversi modi:

- tramite la stima della tessitura del terreno: la deposizione sarà più profonda nei terreni più sciolti per captare più umidità e viceversa;
- tramite la stima del contenuto idrico superficiale del terreno mediante analisi della riflettanza NIR: la semina verrà eseguita alla profondità a cui è rilevata l'umidità ottimale.

2.4 - Fertilizzazione in AP

Il fabbisogno di elementi nutritivi delle colture può variare anche sostanzialmente nel tempo e nello spazio, sia per la variazione di asportazioni da parte della coltura e di lisciviazione dei nutrienti, sia per le condizioni meteorologiche e questo è vero soprattutto per l'azoto. Normalmente, si tende a fornire alla coltura dosi di azoto sovrabbondanti, in modo tale che, distribuendo la stessa dose in tutto l'appezzamento, anche le aree più bisognose ricevano la giusta nutrizione. Uno studio condotto da

Dobermann nel 2005 stima che, mediamente, solo il 51% dell'azoto distribuito in agricoltura è effettivamente assorbito dalle piante (Dobermann, 2005). Diventa quindi fondamentale una gestione precisa del fattore fertilizzante.

Per quanto riguarda la concimazione azotata, l'approccio alla VRA si differenzia a seconda che la concimazione sia effettuata in pre-semina o in copertura. Nel primo caso eventuali carenze non sono in alcun modo delineabili e le mappe di prescrizione devono essere basate su caratteristiche del suolo misurabili tramite proximal o remote sensing come la concentrazione di azoto a inizio stagione o altre grandezze relazionate con essa, che spaziano dalla tessitura al contenuto di sostanza organica. Nel secondo caso, invece, si può osservare lo sviluppo della coltura, la sua concentrazione di clorofilla nelle foglie o altre grandezze ad esse correlate, come si è visto nel paragrafo 1.4.1. Ad ogni modo, tali caratteristiche sono strettamente dipendenti dalla disponibilità di azoto della coltura e quindi dalla sua necessità di concimazione azotata. Purtroppo, gli algoritmi che consentono di calcolare la dose di azoto da distribuire in funzione di questi dati rilevati sono ancora poco sviluppati ma alcuni, nonostante la spiccata semplificazione che apportano alla modellizzazione del sistema, sono già utilizzabili (Casa, et al., 2016). Definite le dosi di azoto da distribuire, tramite mappe di prescrizione o in continuo per mezzo di sensori prossimali, sono necessarie macchine operatrici in grado di distribuire dosi variabili di fertilizzante. Queste sono costituite da spandiconcime pneumatici o centrifughi a doppio disco con regolazione delle sezioni (per evitare anche sovrapposizioni e lanci esterni all'appezzamento) e della portata.

Anche la concimazione fosfo-potassica è gestibile secondo criteri di VRA e, in questo caso, per terreni con concentrazioni al di sopra della soglia di sufficienza, si ricorre a una semplice concimazione di mantenimento sito-specifica basata sulle asportazioni calcolabili basandosi sulle mappe di produzione.

2.5 - Irrigazione in AP

Terreni con diversa granulometria presentano diversa capacità di accumulare acqua e quindi il volume di acqua da distribuire per ogni adacquamento per riportare il terreno alla capacità idrica di campo è diverso per le aree con diversa tessitura. Normalmente, anche se si adottano sistemi di supporto alle decisioni che consentono di calcolare il volume idrico consumato dalla coltura, si tende a distribuire lo stesso volume irriguo in tutto l'appezzamento, adeguando questo al tipo di tessitura più diffuso. Tuttavia, così facendo, si tenderà a distribuire, nelle aree a tessitura più sciolta, un volume eccessivo con conseguente dilavamento dei nutrienti. Un approccio di precisione all'irrigazione non può prescindere da una corretta individuazione dei volumi da distribuire tramite un metodo di bilancio ma richiede la definizione di un turno irriguo in base alla classe

tessiturale più diffusa nell'appezzamento, allungandolo se più diffuse le tessiture fini e riducendolo se invece sono più diffuse le aree a tessitura sciolta (Vincini, et al., 2016). In ogni caso, il bilancio idrico del terreno deve essere tenuto mediante sensori di umidità o calcolo dell'evapotraspirazione da dati metereologici e deve essere differenziato per ogni area omogenea del campo. Le mappe di prescrizione saranno definite secondo tali bilanci e conterranno informazioni sui volumi da distribuire in ogni area omogenea, che può differenziarsi, oltre che per la tessitura, anche per la necessità di lisciviazione di sali o per l'essere interessata da una diversa coltura. La VRI (variable rate irrigation) è applicata soprattutto nell'irrigazione per aspersione ma anche gli impianti di microirrigazione a goccia possono essere utilmente gestiti secondo gli stessi principi. Per quanto riguarda l'aspersione, le macchine in grado di operare la VRI sono ali articolate (quali pivot e ranger) o irrigatori semoventi (i così detti "rotoloni"), opportunamente adeguati in modo tale da poter variare la propria velocità di avanzamento in base alla posizione raggiunta in campo, fornita da un sistema GNSS. I sistemi a ala articolata, in aggiunta, sono dotati di un sistema di controllo on-off delle sezioni, con valvole a comando pneumatico il cui flusso d'aria è controllato da solenoidi, comandati dalla centralina di controllo. Su un ciclo di durata determinata, in cui l'irrigatore si sofferma in una data sezione dell'appezzamento, il volume distribuito è determinato, per ogni sezione, in base al tempo di apertura/chiusura della valvola corrispondente (Martello, et al., 2016). Per quanto riguarda la microirrigazione, invece, la gestione sito-specifica si realizza in fase progettuale con la definizione dei settori irrigui, che devono includere al loro interno aree a tessitura il più omogenea possibile (rilevate attraverso una mappa della tessitura) e devono avere caratteristiche dei gocciolatori (distanza reciproca e portata) consoni al terreno su cui opereranno. Anche i turni e i volumi erogati, nonché la pratica della fertirrigazione, devono essere opportunamente modulati in base alla tessitura (Vincini, et al., 2016).

2.6 - Distribuzione dei prodotti fitosanitari in AP

L'applicazione di un sistema di guida GNSS, unito al controllo delle sezioni, come si è visto, consente l'eliminazione delle sovrapposizioni tra passate successive e nelle capezzagne, con vantaggi che, nella specifica fase dell'applicazione dei prodotti fitosanitari, sono forse più sentiti che nelle altre operazioni, perché in questo caso una sovrapposizione comporta la distribuzione di una dose doppia, con conseguenti svantaggi, oltre che economici, anche agronomici (rischio di fitotossicità) e ambientali (fonte di inquinamento puntuale). Un'altra applicazione importante che l'AP trova in questo settore è quella della regolazione dell'altezza della barra porta-augelli che, per garantire un'erogazione ottimale, deve trovarsi sempre a una distanza costante dalla coltura. Ciò risulta normalmente di difficile realizzazione per la non omogeneità di sviluppo della coltura ma,

grazie a sensori a ultrasuoni, è possibile delegare a un sistema automatico la misura della distanza barra-coltura e la regolazione della stessa tramite la gestione elettronica del sistema idraulico che muove la barra.

Nella distribuzione a rateo variabile dei prodotti fitosanitari, i maggiori progressi sono stati fatti nell'impiego secondo tecniche VRT degli erbicidi (Balsari, et al., 2016). In questo campo, la principale applicazione riguarda il così detto *patch-spraying* o distribuzione a chiazze, che consiste nel distribuire il prodotto erbicida a dose costante ma soltanto dove le infestanti sono effettivamente presenti. Questa operazione può essere effettuata sia nella distribuzione di erbicidi totali in pre-semina, sia in post-emergenza. L'individuazione delle infestanti e quindi delle aree in cui gli ugelli dell'irroratrice devono entrare in funzione è svolta per telerilevamento con la creazione di mappe di prescrizione, o tramite sistemi di visione montati direttamente sull'irroratrice (Masin, et al., 2017). In entrambi i casi si necessita di sistemi di riconoscimento delle infestanti dal terreno nudo e/o dalla coltura, basati sulla posizione, su indici di vegetazione o su sistemi di intelligenza artificiale. Nella gestione delle infestanti, soprattutto in agricoltura biologica, un'altra tecnologia in forte sviluppo è quella delle sarchiatrici "intelligenti" dotate di sistemi di visione che riconoscono le infestanti e regolano la posizione degli organi lavoranti per effettuare una rimozione precisa delle infestanti, in alcuni casi anche sulla fila, tra le piante della coltura.

Per la distribuzione degli altri prodotti fitosanitari, invece, i sistemi VRT sono meno sviluppati e la gestione sito-specifica delle fitopatie e degli insetti è ancora a uno stato embrionale.

CAPITOLO TERZO

OBIETTIVI E METODOLOGIA

Questo capitolo ha lo scopo di introdurre la parte sperimentale della tesi, illustrando gli obiettivi della ricerca e la metodologia con la quale essa è stata svolta.

3.1 - Obiettivi della ricerca

Gli obiettivi della ricerca sono essenzialmente due:

- impostare una metodologia di analisi economica dei costi d'uso delle macchine agricole che consenta di stimare nel dettaglio i costi sostenuti per le operazioni colturali e le differenze tra più tecniche;
- utilizzare il metodo messo a punto per valutare l'effetto che l'agricoltura di precisione e le lavorazioni minime del terreno hanno sui costi d'uso delle macchine agricole nei seminativi nella realtà dell'agricoltura italiana.

In definitiva, la ricerca dovrebbe essere uno strumento per indagare la convenienza da parte degli agricoltori a investire in tecnologie di agricoltura di precisione, almeno per la parte che riguarda la gestione delle macchine. I risultati della ricerca possono fornire un contributo alla comprensione delle potenzialità economiche offerte dall'agricoltura di precisione e dalle lavorazioni minime del terreno, nella speranza che la consapevolezza degli effetti sui costi possa incoraggiare la diffusione di queste tecniche nelle aziende agricole italiane. Inoltre, questo studio potrà servire da base per stimare anche l'eventuale riduzione delle emissioni e dell'impatto ambientale connessi all'uso delle macchine agricole.

3.2 - Metodologia

La metodologia più efficace che consenta di valutare l'effetto dell'AP sul costo d'uso delle macchine è quella della sperimentazione in campo, perché consente di confrontare, a parità di condizioni, le diverse tecniche di lavorazione e i diversi livelli di tecnologie di AP. Affinché l'analisi dei dati emersi da una sperimentazione di campo possano generare un conto economico delle varie tesi, i dati rilevati in campo devono essere opportunamente elaborati per pervenire a una stima dei costi d'uso delle macchine. Per fare ciò si rende

necessaria una metodologia di analisi che possa fornire stime affidabili di questi valori. Per questo motivo, la ricerca si è strutturata in tre fasi, che hanno consentito di giungere a definire la giusta impalcatura metodologica per affrontare l'analisi dei dati della sperimentazione in campo. La ricerca si è articolata come segue:

1. **Ricerca bibliografica sull'analisi economica dell'agricoltura di precisione:** in una prima fase, un'approfondita ricerca bibliografica ha permesso di capire secondo quale metodologia gli effetti economici dell'AP sono stati analizzati finora, quali sono le voci di costo su cui l'AP ha effettivamente un impatto e quali sono state le conclusioni delle ricerche svolte finora.
2. **Rassegna dei metodi di calcolo del costo d'uso delle macchine agricole:** nel tempo la necessità di stimare i costi d'uso delle macchine si è presentata sia ai fini della ricerca sia della stima dei costi aziendali, quindi sono stati elaborati vari metodi di stima o misura degli stessi. In questa fase una ricerca bibliografica ha permesso di ottenere una rassegna di tali metodi e un confronto per capire i punti di forza e di debolezza di ognuno.
3. **Sperimentazione in campo e analisi dei dati:** l'impostazione di una sperimentazione in campo ha permesso la raccolta dei dati cercati, consentendo di giungere a un giudizio sull'influenza delle tecniche di AP sul costo d'uso delle macchine. In questa fase la sperimentazione è stata impostata, svolta e i dati sono stati raccolti ed elaborati secondo le metodologie emerse dalle fasi precedenti. La metodologia di raccolta ed elaborazione dei dati è descritta più approfonditamente in seguito, nel capitolo sesto.

I tre punti di cui sopra sono articolati nei capitoli seguenti.

CAPITOLO QUARTO

L'ANALISI ECONOMICA DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Affinché si possa giungere a un giudizio di convenienza a investire in tecnologie di agricoltura di precisione, bisogna condurre un'analisi economica, eseguita secondo uno schema metodologico ben preciso, che tenga conto delle variazioni di flussi economici che le tecnologie in questione effettivamente generano. Lo scopo di questo capitolo è quello di impostare tale schema metodologico e, a tal proposito, in una prima parte si trattano le metodologie di analisi delle variazioni su costi e ricavi e quindi sul conto economico dell'impresa. Una seconda parte illustra i vantaggi tecnici conseguibili con l'AP il cui effetto economico, nonostante sia da considerare ragionevolmente positivo, è di difficile determinazione e rimane, pertanto, escluso dall'analisi come comunemente condotta. Infine, la terza parte espone i risultati dello stato dell'arte della ricerca economica in AP, limitatamente all'applicazione ai seminativi e vincolando i giudizi di convenienza alle colture e alle superfici aziendali.

4.1 - Gli effetti sul capitale fisso

Il capitale fisso è composto dai beni di investimento che erogano i loro servizi lungo un arco di tempo che comprende più cicli produttivi. L'adozione di tecniche di AP comporta l'acquisto di macchinari appositi o con componenti aggiuntivi altrimenti non necessari (beni materiali), nonché dei software necessari per il funzionamento (beni immateriali) e dei servizi consistenti nella fornitura delle mappe per le eventuali tecniche di VRT e l'investimento nella formazione del personale. L'investimento in tali dotazioni comporta un aumento del capitale fisso aziendale, che genera, a sua volta, un incremento dei costi fissi. Il capitale fisso, composto da beni detti a fecondità ripetuta, prende parte ad ogni ciclo produttivo per una quota parte del proprio valore.

Le dotazioni per l'AP sono soggette, come tutti gli investimenti fissi, a un deprezzamento dovuto a quattro cause (Frascarelli, 2016):

- L'uso, che comporta logorio fisico del fattore con conseguente diminuzione di efficienza. L'intensità di tale diminuzione dipende dall'utilizzazione annua, dall'oculatezza di utilizzo e dall'efficacia della manutenzione ordinaria;
- Gli agenti fisici naturali, che causano anch'essi logorio fisico;
- Gli eventi avversi eccezionali, che causano una repentina diminuzione dell'efficienza, recuperabile soltanto per mezzo della manutenzione straordinaria;

- L'obsolescenza, ossia la perdita di efficienza relativa dovuta alla disponibilità di nuove tecnologie in grado di fornire gli stessi servizi a costi relativamente più bassi o servizi di livello superiore a parità di costo.

Per i beni ad alto contenuto tecnologico, soggetti a una forte evoluzione tecnica e con un basso grado di maturità tecnologica, la principale causa di deprezzamento è l'obsolescenza, visto che la perdita di efficienza da essa causata prevale su quella cagionata dal logorio fisico (Sartori, 2015). Le dotazioni di AP rientrano pienamente in tale categoria, dal momento che il progresso tecnico in questo settore è molto forte e la velocità con cui fattori più efficienti vengono immessi nel mercato è molto alta (Knight, et al., 2009). Di conseguenza, la durata economica di tali fattori è ridotta e il deprezzamento subito elevato. Il deprezzamento dei fattori a logorio parziale va imputato ai singoli cicli produttivi in cui questo avviene e a cui il fattore prende parte nell'arco della sua durata economica. La ripartizione del costo iniziale del fattore tra i diversi cicli produttivi a cui esso prende parte è detta ammortamento. Il calcolo dell'ammortamento consiste nella determinazione di una quota annuale che, opportunamente accantonata, consenta, al termine della durata economica del bene, di disporre di un valore pari al costo iniziale del fattore. Il criterio di calcolo della quota di ammortamento più comunemente utilizzato è quello lineare, secondo il quale la quota di ammortamento del bene rimane costante per tutta la sua durata economica. La quota di ammortamento, secondo il metodo lineare, è calcolata come segue (Frascarelli, 2016):

$$q = \frac{V_0 - V_n}{n}$$

Dove V_0 è il costo iniziale del bene, coincidente con il costo di acquisto, V_n è il valore residuo del bene alla fine dell'anno n -esimo, n è la durata economica del bene in anni. Per le dotazioni di AP, V_n può essere considerato nullo, dato che la forte obsolescenza tecnica porta a una scarsa appetibilità del bene usato e il valore del materiale residuo è pressoché nullo (Frascarelli, 2016), oppure può essere calcolato come una percentuale di V_0 (Knight, et al., 2009). La durata economica, come già accennato, è limitata non tanto dal logoramento quanto dalla rapida obsolescenza a cui questi beni sono soggetti. Pertanto, la durata n non coincide con il periodo di effettiva funzionalità ma è di solito fissata, per le dotazioni di AP, in 5 anni (Frascarelli, 2016) (Knight, et al., 2009). Per il successivo calcolo del costo orario d'uso delle macchine, la quota annuale di ammortamento q dovrà essere divisa per il monte orario di utilizzo annuale della macchina H .

$$q_h = \frac{q}{H}$$

Pertanto, il costo orario di ammortamento si ridurrà all'aumentare del monte orario di utilizzo della macchina e quindi, tendenzialmente, all'aumentare della superficie aziendale. Come già accennato, gli investimenti in tecnologie di AP incrementano il valore

del capitale fisso aziendale e generano quindi un aumento dei costi di ammortamento. Tuttavia, bisogna considerare che i costi d'acquisto per dotazioni di AP hanno un incidenza solitamente ridotta sul totale del capitale fisso di una normale azienda agricola e di conseguenza anche gli ammortamenti hanno un'entità piuttosto ridotta. A titolo esemplificativo, in tabella 4.1 si riportano i parametri di calcolo della quota di ammortamento per dotazioni di AP e per alcune macchine agricole di comune utilizzo nelle aziende.

Tabella 4.1 - Esempi di calcolo di quote di ammortamento per alcuni macchinari e dotazioni

Macchinario/dotazione	V_0 (€)	V_n (€)	n (anni)	Tasso di ammortamento (%)	Quota di ammortamento (€)
Guida assistita	7.000	0	5	20	1.400
Guida automatica	15.000	0	5	20	3.000
Sensore di impatto per mappatura raccolta	7.000	0	5	20	1.400
Tecnologia vrt per spandiconcime	15.000	0	5	20	3.000
Drone professionale con strumenti	15.000	0	5	20	3.000
Trattrice 100cv	45.000	4.500	10	10	4.050
Mietitrebbia	200.000	20.000	10	10	18.000

Fonte: rielaborazione da (Frascarelli, 2016)

4.2 - Gli effetti sul costo d'uso delle macchine

L'uso delle macchine genera una serie di costi sui quali l'utilizzo di tecniche di AP ha un effetto considerevole. Nell'analisi economica dell'AP questo aspetto è molto importante, per cui alla determinazione del costo d'uso delle macchine è stato dedicato l'intero capitolo quinto. In questo frangente ci si limita ad elencare le componenti del costo d'uso delle macchine e l'effetto che l'implementazione dell'AP ha su di esse.

L'unico costo fisso di uso delle macchine influenzato dall'AP è l'ammortamento che, come si è visto, tende ad aumentare con tecnologie di AP. Tuttavia, per le dotazioni di AP bisogna considerare anche il tipo di utilizzo che se ne fa, dal momento che l'implementazione di nuove tecniche e applicazioni dell'AP, a parità di tecnologie e quindi di investimenti, può far aumentare considerevolmente il monte orario e quindi ridurre i costi orari di ammortamento. Inoltre, bisogna tenere conto del fatto che, mantenendo invariato il parco macchine, la riduzione del monte orario dovuto alla maggiore velocità delle operazioni tende a far aumentare il costo orario di ammortamento del parco macchine. Tuttavia, la riduzione dei tempi di lavoro dovrebbe consentire di operare sulla stessa superficie con macchine con capacità operativa e costo minore o di aumentare la superficie lavorata con le stesse macchine, con ovvie ricadute positive sul costo orario di

ammortamento. Il costo di assicurazione, anch'esso classificabile come costo fisso, seppur secondo alcuni metodi di calcolo dovrebbe essere proporzionale al valore assicurato e quindi aumentare in presenza di dotazioni di AP (Frascarelli, 2016), in realtà, consiste normalmente in un premio assicurativo costante per ogni macchina e quindi indipendente dall'adozione dell'AP. Altro costo fisso che si presenta con l'AP è quello per il servizio di correzione differenziale RTK per i sistemi GNSS, che è fornito dietro pagamento di un canone annuo, a meno che l'azienda non possieda essa stessa la stazione base con trasmissione radio del segnale di correzione.

Per quanto riguarda i costi variabili, in questa trattazione è opportuno distinguere tra quelli che sono incrementati dall'adozione di tecniche di precisione e quelli che vengono invece diminuiti. I costi variabili negativamente influenzati dall'AP sono quelli per il cui calcolo viene utilizzato il valore di acquisto della macchina che, aumentando, implica un incremento di tali costi e, nello specifico:

- Costo di riparazione o manutenzione straordinaria che, pur interessando anche le dotazioni di AP è per queste proporzionalmente meno incidente rispetto agli altri macchinari, per via della minore suscettività a usura;
- Costo di manutenzione ordinaria, per cui valgono le stesse considerazioni di cui sopra.

I costi di manutenzione e riparazione tendono, però, in parte anche a diminuire se si adotta l'AP, a causa della riduzione dei tempi di lavoro.

I costi per carburanti e lubrificanti tendono invece a diminuire con l'adozione di tecniche di AP per la riduzione dei tempi delle operazioni e la maggiore efficienza delle stesse. Le modalità di calcolo di queste due componenti del costo d'uso delle macchine e l'effetto che su di esse ha l'agricoltura di precisione verranno ampiamente trattate nei capitoli successivi. I costi per il lavoro, analizzati meglio in seguito, tendono a diminuire, anch'essi per la diminuzione dei tempi operativi.

Con l'adozione di tecniche di AP, quindi, il costo d'uso delle macchine è soggetto a due tendenze opposte: da un lato si ha una tendenza all'aumento dei costi dovuta all'aumento dei costi di ammortamento, manutenzione, riparazione, correzione differenziale e, a seconda delle modalità di calcolo, di assicurazione, dall'altra si ha una tendenza alla diminuzione dei costi per carburanti, lubrificanti, lavoro, manutenzione e riparazione dovuta alla riduzione dei tempi (tabella 4.2). Il giudizio alla convenienza dell'AP nel costo d'uso delle macchine è da ricondurre quindi alla disuguaglianza tra le due tendenze. Mentre considerando i soli costi variabili si osserva quasi sempre una riduzione dei costi complessivi, ciò non è detto che si verifichi anche considerando i costi fissi, poiché l'azienda in analisi deve avere una struttura tale per cui il maggior costo di ammortamento venga ripartito su un monte orario di lavoro sufficiente da rendere il relativo costo orario vantaggioso (Knight, et al., 2009).

Tabella 4.2 - tabella riassuntiva degli effetti dell'AP sulle componenti del costo d'uso delle macchine

Componente di costo	Tipologia	Tendenza	Causa
Ammortamento	Fisso	Aumento	Aumento valore capitali fissi
		Diminuzione	Possibilità di operare con macchine di minor costo o su maggiori superfici
Assicurazione	Fisso	Nulla/aumento	Aumento del valore assicurato
Canone correzione differenziale	Fisso	Aumento	Non necessario in assenza di AP
Manutenzione e riparazione	Variabile	Aumento	Aumento valore capitali fissi
		Diminuzione	Riduzione tempi di lavoro
Carburante	Variabile	Diminuzione	Riduzione tempi di lavoro
Lubrificante			
Lavoro			

Fonte: elaborazione propria

4.3 - Gli effetti sul capitale circolante

Il capitale circolante è l'insieme dei beni e servizi che esauriscono la loro utilità in un solo ciclo produttivo e, pertanto, alla fine dello stesso il loro valore si trova incorporato in quello del prodotto ottenuto. Il maggior vantaggio economico diretto consentito dall'AP è la possibilità di rendere più efficiente l'uso dei capitali circolanti, che includono, oltre ai carburanti e ai lubrificanti, di cui si è parlato nel paragrafo precedente, altri input della produzione quali sementi, concimi, prodotti fitosanitari, acqua di irrigazione, ecc. Il risparmio nell'acquisto di questi fattori è osservabile anche con le tecnologie di AP più semplici ma diventa più consistente con l'adozione di tecniche via via più avanzate. I vantaggi conseguibili con la guida parallela, come si è visto, consistono nell'eliminazione delle sovrapposizioni trasversali tra le passate, che consentono riduzioni dei tempi di lavoro e dell'utilizzo dell'input che si sta distribuendo nell'operazione, dal momento che questo non verrà più distribuito in dose doppia nella zona di sovrapposizione. Lo step successivo del controllo delle sezioni permette una riduzione nell'utilizzo di input anche nelle testate e nei bordi inclinati e tale risparmio è molto più sentito in appezzamenti piccoli e di forma irregolare. I risparmi di input che si possono ottenere grazie alla guida parallela e al controllo delle sezioni sono stati argomento di studi che riportano risparmi dal 3% al 13,5% (Larson, et al., 2016) o dal 6% al 9% (Gualandi, 2011) in generale nei seminativi e dal 13% al 22% in particolare nella coltura del riso (Tamagnone, et al., 2003), a seconda della geometria e della superficie degli appezzamenti. I risparmi di tempo consentiti dalla guida parallela, invece, si attestano tra il 6,5% e il 12,5% per le lavorazioni

del terreno e la semina, in funzione della dimensione dell'appezzamento, e fino al 13,3% per la distribuzione dei fertilizzanti (Gualandi, 2011). Inoltre, mentre le normali pratiche di distribuzione degli input consistono nell'assegnare una dose media a tutto l'appezzamento con conseguenti sovra- o sotto-dosaggi in alcune aree, il passaggio a tecnologie di distribuzione a rateo variabile (VRT) consente la distribuzione della quantità ottimale di input in ogni punto dell'appezzamento, che si traduce in una riduzione di consumo di input a parità di resa o, viceversa, in una maggiore resa a parità di quantità di input distribuita, nonché in un minore impatto ambientale dovuto all'assenza di dispersione nell'ambiente delle quantità di input sovraottimali. I risparmi di input che si possono ottenere grazie a tecnologie VRT sono nell'ordine del 4% per le sementi (Sinka, et al., 2014), del 15% per i fertilizzanti (Gualandi, 2015) (Sinka, et al., 2014) e del 25% per le acque di irrigazione (Gualandi, 2015). Per quanto riguarda il risparmio di erbicidi ottenibile grazie al patch spraying, questo varia molto con la densità delle infestanti e, in particolare, si ottengono vantaggi consistenti (anche fino all'80%) con densità ridotte ma trascurabili con densità elevate (Berge, et al., 2007).

L'introduzione di tecniche avanzate di AP può comportare anche l'aumento dei costi per i capitali circolanti, visto che, per l'applicazione di tecniche di VRT, si rende spesso necessario usufruire di servizi di produzione di mappe di prescrizione, ricavate da mappe di variabilità, che a loro volta possono configurarsi come fattori a logorio totale (mappe di vegetazione satellitari o da drone, mappe di produzione) e quindi incidere nei costi per il capitale circolante o a logorio parziale (mappe del suolo, valide per più anni) e quindi incidere sugli ammortamenti.

4.4 - Gli effetti sul lavoro

Come si è già detto in precedenza, l'utilizzo della guida parallela comporta una diminuzione dei tempi svolgimento delle operazioni e questo si riflette anche sul costo del lavoro, che diminuisce in proporzione. Tuttavia, l'effetto che l'AP ha sul lavoro va oltre la semplice riduzione dei tempi, dal momento che ha un profondo impatto sul modo di lavorare. Infatti, un operatore, per quanto abituato e abile nell'utilizzo della macchina, in assenza di sistemi di assistenza alla guida, deve necessariamente riservare parte della sua attenzione a mantenere la giusta traiettoria, con conseguente distrazione dall'operazione che sta svolgendo. L'introduzione di sistemi di guida semi-automatica consente, oltre alla riduzione dello stress psicofisico del trattorista, di riporre una maggior attenzione nella lavorazione in svolgimento, così che, potenzialmente, questa possa essere resa più efficiente, dare risultati di migliore qualità e che eventuali guasti o malfunzionamenti possano essere individuati anticipatamente, in modo da limitarne le conseguenze negative. Tali vantaggi, pur essendo di difficile quantificazione economica *ex-ante*, sono sicuramente esistenti e visibili e meritano pertanto di rientrare nella trattazione.

L'adozione di tecnologie di AP che vanno dalla guida semi-automatica a quelle più evolute richiede, inoltre, l'acquisizione di competenze prima assenti nel personale aziendale, che deve essere opportunamente formato. La formazione per l'utilizzo di queste tecnologie comporta conseguenze sull'entità dell'investimento e sulla professionalità dei lavoratori. Infatti, la formazione del personale necessita di tempo e costituisce un costo da preventivare al momento dell'adozione di tecniche di AP. Tuttavia, tale formazione può costituire un salto di qualità nella professionalità del personale che può essere da stimolo per svolgere un lavoro di maggior qualità oppure può essere percepita dall'imprenditore e dal personale come uno spreco di tempo e risorse per via dell'eccessivo cambiamento di mentalità e abitudini che esso richiede.

4.5 - Gli effetti sui ricavi

Finora si è osservato l'impatto dell'AP sui costi aziendali ma anche l'effetto di queste tecnologie sui ricavi può essere consistente. La distribuzione degli input uniforme e senza sovrapposizioni comporta evidenti vantaggi agronomici e migliora le condizioni di crescita della coltura, con conseguente potenziale aumento di resa e di qualità della produzione (Frascarelli, 2016). Ad esempio, sovrapposizioni nella semina comportano aree con densità della coltura doppia, con eccessiva competizione, più soggette a malattie fungine e con peggiore sfruttamento delle risorse; sovrapposizioni nella distribuzione di erbicidi possono provocare fitotossicità nella coltura; un irrigazione non razionale e sito-specifica comporta, almeno in alcune aree, carenze o eccessi idrici e lisciviazione di elementi nutritivi; e così via. Inoltre, la conoscenza dei suoli, del clima e dello stato della coltura consentita dall'AP, permette di effettuare decisioni operative e tattiche più coscienti e quindi non solo di adattare la dose di input media alla variabilità sito-specifica, ma anche di stabilire con più esattezza la dose media da distribuire. I vantaggi economici di questo processo decisionale più consapevole sono di difficile determinazione ma sono sicuramente riscontrabili nel medio-lungo termine (Knight, et al., 2009).

4.6 - Le ripercussioni sul conto economico

Il conto economico è uno schema rappresentativo della formazione del reddito, come differenza tra ricavi e costi. Fin qui si è vista l'influenza dell'AP sulle varie componenti di ricavi e costi, che genera quindi variazioni positive e negative del reddito. Le variazioni positive sono dovute alla riduzione dei tempi di lavoro e quindi alla diminuzione dei costi del lavoro, dei carburanti, dei lubrificanti e della manutenzione e riparazione, alla riduzione dell'uso degli input agronomici e all'aumento delle rese. Le variazioni negative

sono invece dovute all'aumento delle componenti di costo legate al valore delle macchine, cioè ammortamento, manutenzione, riparazione e, in un certo modo, assicurazione e ai costi per l'acquisto dei servizi esterni necessari per l'AP. Per quantificare l'effetto sul conto economico e quindi valutare la convenienza economica dell'AP, bisogna contestualizzare i ragionamenti fin qui fatti alla realtà aziendale in cui le tecnologie vengono implementate, in quanto a livello di tecnologia raggiunto, colture praticate, dimensione aziendale, forma e dimensione degli appezzamenti e effettiva presenza di variabilità.

4.7 - I vantaggi economici indiretti

Come si è già accennato nei paragrafi precedenti, agli effetti diretti sul reddito ampiamente descritti, si aggiungono effetti indiretti o quantomeno visibili solo *ex-post* nella specifica realtà aziendale o soltanto nel medio-lungo termine. Tra tutti, l'effetto indiretto più importante è, probabilmente, quello sulla qualità del lavoro, il cui effetto sulla redditività è tuttavia variabile a seconda delle caratteristiche aziendali, del personale e delle abitudini. In più, la riduzione dei tempi operativi e la possibilità di operare anche in condizioni di cattiva visibilità e in alcuni casi anche di notte permettono di sfruttare al massimo le finestre temporali permesse dal clima per svolgere le operazioni colturali. Questo è ancora più importante viste le condizioni climatiche sempre più sfavorevoli nei periodi di maggiore criticità.

Il progressivo aumento delle informazioni sui terreni, sulle rese, sul clima, sui parametri di funzionamento delle macchine ed altre informazioni che si acquisiscono con il protrarsi delle tecniche di AP possono evidenziare, anche tramite l'uso di sistemi informativi aziendali, particolari criticità che altrimenti sarebbero difficili da individuare e anche questo può portare nel tempo a un miglioramento delle performance economiche dell'azienda mediante la soluzione di tali criticità.

Inoltre, come si è visto, i vantaggi ambientali conseguibili con l'AP producono delle esternalità⁷ positive che possono favorire l'interesse pubblico verso questo tipo di tecnologie e la rispondenza del settore alle strategie della politica agraria comune (Commissione Europea, 2012). L'AP, grazie alla possibilità di tracciare, tramite la tecnologia GNSS e ai numerosi sensori utilizzati, le operazioni svolte e gli input distribuiti, e mediante l'adozione di apposite tecnologie di validazione e crittografia (quale la blockchain), può essere utile alle aziende anche per tracciare le proprie produzioni e pratiche aziendali, nei confronti degli enti che erogano contributi pubblici (come ad

⁷Le esternalità sono effetti (positivi o negativi) di un'attività di produzione o consumo su altra attività di consumo o produzione, per i quali non viene pagata alcuna compensazione né diretta, né indiretta (attraverso i prezzi di mercato) (Martino, 2014).

esempio per i pagamenti agro-climatico-ambientali dei PSR), degli enti certificatori (ad esempio per biologico e denominazione di origine) e, soprattutto, dei consumatori finali e delle imprese a valle in filiere organizzate. È auspicabile che l'adozione di sistemi di questo tipo consenta di ridurre la necessità di controlli a campione effettuati dagli addetti, spostandosi di fatto i controlli ad ogni singola operazione svolta, mediante metodi informatici, così da favorire una riduzione dei costi, una maggiore trasparenza e una maggior sicurezza per il cliente, che potrebbe essere di conseguenza disponibile al pagamento di un sovrapprezzo (EZ lab, 2018).

4.8 - Valutazione delle tecnologie in base alla struttura aziendale

Dal momento che, come si è visto, la principale variazione negativa sul reddito introdotta dall'AP è quella dell'ammortamento, che è anche il principale costo fisso tra quelli presi in esame, una valutazione di convenienza di queste tecnologie si può ricondurre più semplicemente a un confronto tra i risparmi conseguibili per unità di superficie e il costo di ammortamento, sempre considerato per unità di superficie. Quindi, a parità di tecnologie applicate e colture praticate, perché l'adozione dell'AP possa essere giudicata economicamente conveniente, la superficie su cui le dotazioni sono utilizzate deve essere sufficientemente estesa da ridurre i costi unitari di ammortamento a una cifra inferiore a quella potenzialmente risparmiabile.

La bibliografia che segue tale approccio è abbondante ma tratta, per la maggior parte, di applicazioni in realtà molto diverse da quella italiana, con il risultato che i risparmi conseguibili e le superfici aziendali sono molto lontani da quelli che si potrebbero avere in Italia, con aziende di superficie ridotta e appezzamenti piccoli e di forma irregolare. Gli studi esteri che trattano l'applicazione a aziende di superfici più verosimilmente comparabili con quelle italiane sono pochi e tra questo si ritrova quello di Knight et al. del 2009, condotto nel Regno Unito, che però risulta ormai abbastanza datato per quanto riguarda l'avanzamento delle tecnologie e quindi i conseguenti costi di acquisto e le potenzialità. In tale studio si riporta una variazione positiva del reddito di 6,46€/ha, al cambio attuale, per un'azienda di 300 ha che adotta tecnologie di guida assistita e concimazione a rateo variabile per azoto, fosforo e potassio. Il massimo incremento di reddito calcolato in questo studio è per un'azienda di 750 ha che adotta tecnologie di guida automatica, VRT, mappatura delle produzioni e sistemi informativi aziendali, quantificato in 21,35€/ha, al cambio attuale. Un altro studio, di Godwin et al. del 2003, che indaga la convenienza economica della concimazione a rateo variabile su frumento, riporta soglie di convenienza economica in termini di superficie minima di 80ha per tecnologie di base e di 200-300ha per sistemi con correzione differenziale. Spostandosi agli studi condotti in Italia, un articolo di Gualandi del 2011 riporta i risultati derivanti dall'esperienza della cooperativa Il Raccolto di S. Pietro in Casale (BO). In questo articolo

sono riportati, in particolare, i possibili risparmi nell'acquisto dei capitali circolanti, consentiti dalle tecnologie di guida semi-automatica e controllo automatico delle sezioni, per i diversi input e per le diverse colture. Lo studio in questione non tiene quindi conto dei costi d'uso delle macchine ma soltanto del risparmio in input. I risparmi conseguiti, anche consistenti, sono riportati nella tabella 4.3 in funzione della coltura e dell'input considerato.

Tabella 4.3 - Risparmio sui mezzi tecnici conseguito dalla cooperativa Il Raccolto mediante l'uso della guida semi-automatica e del controllo automatico delle sezioni

Coltura	Risparmio sugli input (€/ha)		
	Concime (urea)	Semente	Prodotti fitosanitari
Frumento	14,32	6,84	9,60
Mais	19,35	9,90	8,40
Sorgo	17,42	5,76	8,40
Girasole	7,74	4,20	6,00

Fonte: rielaborazione da Gualandi, 2011

Altri dati derivano dalle prove di semina a rateo variabile condotte dalla ditta sementiera Dekalb, condotte nel 2017 in 34 aziende del nord Italia (Bartolini, 2017). In questo caso l'adozione della tecnologia VRT non ha portato necessariamente a una riduzione della dose di semente distribuita, ma ha condotto sempre a un adeguamento di questa alle condizioni sito-specifiche che ha permesso, in ogni caso, un aumento di resa. I vantaggi economici sono stati valutati come somma algebrica della variazione del costo sostenuto per la semente e l'aumento di reddito consentito dall'aumento delle rese, senza tenere conto dell'aumento dei costi fissi. Le variazioni economiche positive così determinate per le prove su mais irriguo vanno da un minimo di 90€/ha a un massimo di 206€/ha, mentre su mais in asciutta spaziano da un minimo di 73€/ha fino a un massimo di 478€/ha.

Lo studio probabilmente più completo finora svolto sull'applicazione dell'AP in Italia è quello condotto da Lazzari et al. nel 2015, in cui, per alcune delle colture più praticate nella provincia di Milano e per tre livelli di tecnologia applicata, sono stati stimati i risparmi conseguibili e il valore attuale netto⁸ (VAN) dell'investimento per ogni combinazione coltura-tecnologia-tipologia aziendale. Le colture considerate sono riso, mais ed erba medica, mentre i livelli di tecnologia sono i seguenti tre:

- Livello 1, guida assistita, per un costo iniziale di 2.000-4.000€;
- Livello 2, guida automatica e controllo automatico delle sezioni, per un costo iniziale, comprensivo di adeguamento delle macchine, di 17.500-40.000€;
- Livello 3, mappatura delle produzioni con tecnologie VRT, per un costo iniziale, anche in questo caso omnicomprensivo, di 27.500-50.000€.

⁸ Il Valore Attuale Netto (VAN) di un investimento è la somma all'anno di esecuzione dell'investimento dei flussi netti differenziali attualizzati che esso genera. I flussi netti differenziali sono intesi come variazione della differenza tra entrate e uscite dovuta alla presenza dell'investimento di ogni anno della sua durata.

I risparmi nei costi variabili per unità di superficie conseguibili con le diverse tecnologie sono riportati nelle tabelle 4.4, 4.5 e 4.6 e risultano maggiori passando da aziende grandi a piccole, da campi grandi a piccoli, da campi regolari a irregolari e da erba medica a mais passando per il riso, tranne che per la guida assistita, per cui sono indipendenti dalla forma e dalla dimensione dei campi.

Tabella 4.4 - Risparmi nei costi variabili conseguibili con la guida assistita, in €/ha*anno

Dimensione aziendale/colture	Riso	Mais	Erba medica
Piccola	64	46	27
Grande	53	44	23

Fonte: Elaborazione da Lazzari, et al., 2015

Tabella 4.5 - Risparmi nei costi variabili conseguibili con la guida semi-automatica e il controllo automatico delle sezioni, in €/ha*anno

Dimensione aziendale/colture	Dimensione campi	Forma campi	Riso	Mais	Erba medica
Piccola	Piccoli	Regolari	120	103	50
		Irregolari	187	188	56
	Grandi	Regolari	98	74	48
		Irregolari	135	122	51
Grande	Piccoli	Regolari	96	98	43
		Irregolari	183	183	49
	Grandi	Regolari	73	69	41
		Irregolari	110	117	44

Elaborazione da Lazzari, et al., 2015

Tabella 4.6 - Risparmi nei costi variabili conseguibili con la guida semi-automatica, il controllo automatico delle sezioni, la mappatura delle produzioni e le tecnologie VRT, in €/ha*anno

Dimensione aziendale/colture	Dimensione campi	Forma campi	Riso	Mais	Erba medica
Piccola	Grandi	Regolari	126	148	56
		Irregolari	162	195	60
Grande	Grandi	Regolari	149	143	49
		Irregolari	187	190	52

Elaborazione da Lazzari, et al., 2015

I risparmi conseguibili risultano in alcuni casi molto consistenti, soprattutto in campi piccoli e irregolari e soprattutto per mais e riso rispetto all'erba medica, per la quale i risparmi sono tutto sommato modesti. Si può vedere come, nelle colture in cui l'impatto è maggiore, l'effetto sul reddito può essere, potenzialmente, anche molto importante.

Tuttavia, per analizzare meglio questi risultati dal punto di vista reddituale, è opportuno analizzare le superfici al di sopra delle quali, per una determinata tipologia di azienda, il

VAN dell'investimento diventa positivo. Tali risultati sono illustrati nella tabella 4.7, in cui i valori minimi delle superfici sono riferite alla soglia minima dei costi per l'adozione della tecnologia e quelli massimi al costo più elevato. Per il mais, nonostante i risparmi potenziali più elevati, le tecnologie necessarie più costose, soprattutto per quanto riguarda la semina, fanno sì che le soglie di convenienza siano leggermente più elevate rispetto al riso. Ovviamente, la superficie necessaria perché il giudizio di convenienza sia positivo segue un trend opposto ai risparmi sui costi variabili ed è minima per riso e mais coltivati in appezzamenti piccoli e irregolari. Interessante notare come le superfici per raggiungere la convenienza economica siano minime per la guida assistita che, secondo questo studio, risulta conveniente già per le aziende di piccole dimensioni. Con risparmi nei costi variabili così elevati, le tecnologie di AP, comprese quelle più evolute, sarebbero accessibili per molte aziende, soprattutto se composte di appezzamenti di piccole dimensioni e di forma irregolare, che d'altronde in Italia non sono infrequenti. Solo per l'erba medica, con le tecnologie più avanzate, si riscontrano superfici minime che ne escluderebbero la convenienza all'adozione per la maggior parte delle aziende che praticano questa coltura.

Tabella 4.7 - Superfici aziendali minime che rendono il VAN di investimenti in AP positivi, in ha

Tecnologia	Dimensione campi	Forma campi	Superficie per VAN positivo (ha)		
			Riso	Mais	Erba medica
Guida assistita	-	-	10	10-20	20-30
Guida semi-automatica con controllo sezioni	Piccoli	Regolari	30-40	40-75	75-150
		Irregolari	20-30	20-40	50-100
	Grandi	Regolari	30-75	50-100	75-150
		Irregolari	20-40	30-50	75-100
Aggiunta di VRT	Grandi	Regolari	40-50	40-75	75-150
		Irregolari	30-40	30-40	75-150

Elaborazione da Lazzari, et al., 2015

CAPITOLO QUINTO

IL COSTO D'USO DELLE MACCHINE AGRICOLE

Nel capitolo precedente si è visto l'effetto che le tecnologie di AP hanno sul costo d'uso delle macchine. Affinché, a fini sperimentali, questo effetto possa essere quantificato, però, è necessario un insieme di strumenti che consentano di stimare il costo d'uso delle macchine, che sia in presenza o meno delle tecnologie di AP. In particolare l'approccio seguito è quello di calcolare il costo d'uso orario delle macchine, che si compone di vari elementi. Innanzitutto, come accennato nel precedente capitolo, bisogna trattare in modo diverso i costi fissi, il cui valore annuo va ripartito per il monte orario di lavoro della macchina, da quelli variabili, dei quali si calcola direttamente il valore orario.

5.1 - I costi fissi delle macchine agricole

I costi fissi relativi all'uso delle macchine agricole sono quelli di:

- Ammortamento
- Assicurazione
- Ricovero.

5.1.1 - Il costo di ammortamento

La quota di ammortamento delle macchine è calcolabile come illustrato in precedenza, secondo la formula:

$$q = \frac{V_0 - V_n}{n}$$

Dove, si ricorda, V_0 è il costo iniziale del bene, coincidente con il costo di acquisto, V_n è il valore residuo del bene alla fine dell'anno n -esimo, n è la durata economica del bene in anni. Per la generalità delle macchine, V_n può essere stimato come frazione di V_0 , normalmente intorno al 10%, o per esperienza o mediante la consultazione di apposite pubblicazioni specializzate (Sartori, 2015). Per alcune macchine, come le dotazioni di AP, il valore di mercato del materiale usato può anche essere nullo e quindi V_n si pone uguale a zero. La durata economica n è determinata dal fattore più limitante di perdita di efficienza, tra l'obsolescenza tecnica e il logorio dovuto all'uso. La durata tecnica e la quota percentuale annuale di ammortamento si può ricavare, per la maggior parte delle macchine, da apposite tabelle compilate dall'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA, 2014). Come esposto in precedenza, la quota di ammortamento oraria, da

utilizzare per il costo orario delle macchine, si ricava dividendo la quota di ammortamento q per il monte orario di utilizzo della macchina H .

$$q_h = \frac{q}{H}$$

5.1.2 - Il costo di assicurazione

Il costo di assicurazione consiste, nella normale pratica, in un premio assicurativo di importo costante da pagare per ogni macchina semovente posseduta dall'azienda, più un premio aggiuntivo per ogni rimorchio. In assenza del dato di costo del premio assicurativo, questo può essere calcolato come un valore compreso tra lo 0,6% e l'1% di V_0 (Sartori, 2015). Il premio annuo va anche in questo caso diviso per il monte orario di uso della macchina.

5.1.3 - Il costo di ricovero

Il costo di ricovero è presente solo per quelle macchine che necessitano di un riparo durante la stagione di non utilizzo. Può essere calcolato come una quota, proporzionale alla superficie occupata rispetto alla superficie totale del ricovero, dei costi di ammortamento e manutenzione o di affitto del ricovero oppure, in assenza di tali dati, come una percentuale di V_0 compresa tra il 0,5% e l'1% (Sartori, 2015). Per il calcolo del costo orario, anche il costo di ricovero va diviso per il monte orario di uso della macchina.

5.2- I costi variabili delle macchine agricole

I costi variabili relativi all'uso delle macchine agricole sono quelli sostenuti per:

- Carburanti
- Lubrificanti
- Manutenzione
- Riparazione
- Lavoro

5.2.1 - Costi per i carburanti

Il costo per il carburante C_{car} in €/h è dato dal prodotto del consumo orario Q_{car} (in volume o in massa) per il prezzo dell'unità di volume o di massa del carburante P_{car} :

$$C_{car} = Q_{car} \cdot P_{car}$$

Noto il prezzo del carburante, il problema si riduce quindi alla stima del consumo.

Laddove questa grandezza sia misurabile con sufficiente precisione, la misura diretta è senza dubbio preferibile alla stima. Un semplice metodo di misura che può essere impiegato è quello che consiste nell'iniziare un'operazione con il serbatoio del carburante

pieno e misurare, al termine dell'operazione, il volume di carburante necessario a riportare il serbatoio al livello iniziale. Questo metodo, tuttavia, può avere un'affidabilità limitata, soprattutto per misurazione di volumi e quindi consumi ridotti, per via sia della non ottimale definizione del livello di "pieno" del serbatoio, sia per l'inclinazione della macchina che determina dislivelli del carburante, sia per la precisione insufficiente a tale scopo del misuratore del volume erogato dalla pompa del gasolio. In altri casi, macchine più tecnologiche possono essere dotate di misuratori del consumo e, in questo caso, il dato ottenuto potrebbe essere ritenuto attendibile; tuttavia bisogna analizzare caso per caso la disponibilità di questo dato.

In molti casi, per indisponibilità di dati o per bassa affidabilità degli stessi, è necessario ricorrere alla stima del consumo di carburante, che avviene mediante formule sperimentali, più o meno dettagliate. Un primo metodo per operare la stima è quello riportato, tra gli altri, nel libro 'Agricoltura di precisione' di Casa (Frascarelli, 2016). Per il calcolo del consumo orario, questo metodo tiene conto della potenza della macchina (W), del carico con cui si sta sfruttando il motore nello svolgere l'operazione (CM) e di un coefficiente detto consumo specifico di carburante (cs).

$$Q_{car} = W \cdot CM \cdot cs$$

Le unità di misura di tali grandezze possono variare a seconda della fonte da cui si reperiscono i dati e, ad ogni modo, queste devono essere adeguate affinché si possa ottenere, alla fine, il costo del carburante in €/h. Un approccio di questo tipo, tuttavia, necessita della definizione di coefficienti di consumo specifico e di carico motore tramite una ricerca bibliografica. Normalmente, si assume un range di valori di consumo specifico (cs) che va da 0,2 a 0,3 kg/kWh (Sartori, 2015) entro il quale, però, la scelta si basa sull'esperienza e non su metodi oggettivi. Il coefficiente di carico motore è reperibile in tabelle in cui questo è definito per tipologia di macchina e operazione.

Un secondo metodo è quello riportato da Grisso et al. in un articolo del 2010 ispirato agli standard ASABE D497.6 (Grisso, et al., 2010). Il metodo proposto utilizza diverse formule a livelli di dettaglio e complessità crescenti, basate sulle condizioni di lavoro del motore e non sulla lavorazione svolta e ciò introduce una certa oggettività nella stima. Tra i parametri di ingresso in queste formule, va fatta distinzione tra quelli che sono dati caratteristici della macchina (come la potenza massima) e quelli che sono specifici delle condizioni di lavoro e quindi da rilevare per la singola operazione. La prima formula permette di calcolare il consumo di gasolio con carico motore parziale e a pieno regime (Q_F) ed è la seguente:

$$Q_F = (0,0434X + 0,019) \cdot P_{PTO}$$

Dove:

- $X = \frac{P}{P_{PTO}}$ ed è un rapporto adimensionale;

- P è la potenza (in hp) equivalente alla presa di potenza (PTO) richiesta dall'operazione corrente, dato da rilevare per ogni operazione;
- P_{pto} è la potenza (in hp) nominale disponibile alla PTO, dato reperibile nelle schede del Nebraska Tractor Test Laboratory (NTTL, 2018) o nella scheda tecnica della macchina.

Il consumo così calcolato è espresso in gal/h e deve essere convertito in l/h per eseguire i calcoli nel sistema internazionale di misura.

La seconda formula permette invece di adeguare il parametro Q_F per stimare il consumo a carico motore parziale e regime motore ridotto (Q_R), sempre espresso in gal/h.

$$Q_R = Q_F \cdot [1 - (N - 1) \cdot (0,45X - 0,877)]$$

Dove:

- $N = \frac{RPM_{PT}}{RPM_{FT}}$ ed è un rapporto adimensionale;
- RPM_{PT} è il numero di giri a cui si trova il motore durante lo svolgimento dell'operazione, dato facilmente rilevabile leggendo la misura indicata dal contagiri della macchina;
- RPM_{FT} è il numero di giri massimo del motore, il cui valore è reperibile, anche in questo caso, nelle schede NTTL o nelle schede tecniche della macchina;
- Q_F e X sono i parametri di cui sopra.

Di tutte le grandezze che permettono di giungere a calcolare il consumo per le specifiche condizioni di lavoro (Q_R), l'unico la cui misurazione sia difficoltosa o la cui stima lasci spazio a un margine di soggettività è il parametro P . Tuttavia, la definizione di P e quindi del rapporto X , sono in linea di principio corrispondenti a quella del parametro CM (carico motore) della formula precedentemente illustrata. Ad ogni modo, dunque, la formula ASABE elimina la soggettività nella stima dovuta alla definizione del parametro di consumo specifico.

L'altra formula riportata è molto più dettagliata e tiene conto, oltre ai parametri di cui sopra, di coefficienti misurati sperimentalmente per uno specifico modello di trattore. Ciò permette di raggiungere un livello di dettaglio molto elevato. I coefficienti necessari sono reperibili nel sito del Nebraska Tractor Test Laboratory (NTTL, 2018). Sono disponibili coefficienti specifici per molti modelli di trattori, più o meno recenti e, anche se il modello che si vuole considerare non è presente nella banca dati, spesso si trovano dati relativi a un modello simile o che utilizza lo stesso motore. La formula in questione permette di calcolare il consumo di carburante per lo specifico modello di macchina e per le specifiche condizioni di lavoro (Q) e fornisce anch'essa un risultato in gal/h.

$$Q = (aX + b) \cdot [1 - (N - 1) \cdot (cX - d)] \cdot P_{PTO}$$

Dove:

- I parametri X , N e P_{PTO} sono quelli in precedenza definiti;
- a , b , c e d sono dei parametri sperimentali calcolabili a partire da altri parametri rilevati per ogni macchina nelle prove NTTL⁹.

Per concludere, le formule sviluppate dall'ASABE si differenziano dalle altre su tre aspetti:

- dettaglio della stima, essendo specifica per singola operazione e, se necessario, per singolo modello di macchina;
- oggettività nella determinazione dei parametri, essendo essi riportati in schede tecniche e non da fissare arbitrariamente entro un range di valori, fatto salvo, eventualmente, il parametro P , come sopra spiegato;
- credibilità e riconoscibilità dei risultati, essendo un metodo basato su standard internazionali.

L'unica vera difficoltà dell'applicazione del metodo ASABE consiste nella determinazione della potenza impiegata nell'operazione svolta (P).

Per alcune macchine di più recente introduzione, al consumo di carburante si affianca quello dell'urea per il trattamento dei gas di scarico. Per la determinazione dei consumi e quindi dei relativi costi, le case produttrici dichiarano in genere la proporzione di urea consumata in rapporto al gasolio. In presenza di tale dato, quindi, una volta calcolato il consumo di carburante, quello di urea risulta di facile determinazione.

5.2.2 - Costi per i lubrificanti

Per quanto riguarda il costo relativo ai lubrificanti, l'approccio alla stima del consumo è simile a quello dei carburanti, con la differenza che, nella modellizzazione fatta, il consumo di lubrificante è considerato indipendente dal carico motore della macchina (Frascarelli, 2016).

$$C_{lub} = Q_{lub} \cdot P_{lub}$$

$$Q_{lub} = W \cdot cs$$

⁹ In particolare, i parametri sono calcolabili come segue:

$$\begin{aligned} a &= (Q_{75F} - Q_{50F}) / [P_{PTO}(X_{75F} - X_{50F})]; & b &= (Q_{75F} / P_{PTO}) - aX_{75F}; \\ c &= (f/h - e/g) / (X_{75F} - X_{50F}); & d &= cX_{50F} + f/h; \\ e &= 1 - [(X_{75F} \cdot Q_{75R}) / (X_{75R} \cdot Q_{75F})]; & f &= 1 - [(X_{50F} \cdot Q_{50R}) / (X_{50R} \cdot Q_{50F})]; \\ g &= (RPM_{75F} - RPM_{75R}) / RPM_{75F}; & h &= (RPM_{50F} - RPM_{50R}) / RPM_{50F}. \end{aligned}$$

Dove i pedici stanno a indicare le condizioni del test per cui sono calcolati o misurati i rapporti X , i giri motore RPM e i consumi Q , riferendosi, in particolare, i numeri alla percentuale di carico motore e le lettere al regime motore, massimo (F) o ridotto (R). I valori di Q sono facilmente ricavabili come rapporto tra la potenza disponibile e i consumi specifici di carburante, entrambi misurati per le condizioni imposte dai pedici, nelle prove NTTL. Tutti gli altri parametri necessari si trovano nelle schede dei test NTTL.

Le formule degli standard ASABE in questo caso sono quelle dello standard D497.4 e restituiscono il consumo di lubrificanti in l/h a partire dalla potenza in kW (ASAE, 1999):

$$C_{lub} = P_{lub} \cdot (0,00059 \cdot W + 0,02169)$$

Per i lubrificanti, le formule ASABE non introducono elementi che consentano di osservare un maggior dettaglio ma eliminano, anche in questo caso, la soggettività della determinazione del parametro c_s .

5.2.3 - Costi di manutenzione e riparazione

Per quanto riguarda i costi cumulati di manutenzione e riparazione, risulta innanzitutto utile comprendere la definizione di questi termini. Manutenzione e riparazione sono così definite (Sartori, 2015):

- “Le riparazioni sono l’insieme di spese sostenute per sostituire qualcosa che si è rotto. Vengono conteggiate includendo il costo dei pezzi di ricambio e il lavoro per eseguire il montaggio”.
- “Le manutenzioni sono funzioni aziendali alle quali sono demandati il controllo costante e l’insieme dei lavori necessari ad assicurare il funzionamento regolare e il buono stato di conservazione delle macchine come la lubrificazione, pulizia giornaliera, efficienza. Ad es. per il trattore si fa manutenzione giornaliera (livelli fluidi), settimanale (filtri, ingrassaggio, batteria, pneumatici), mensile o bimensile (cambio olio, filtri, verifica frenatura, sterzata, sollevatore, ecc.)”.

Fatta questa distinzione, nello stimare i costi, si possono fare due ipotesi alternative:

- I costi orari di manutenzione e riparazione si mantengono costanti per tutta la durata utile della macchina, oppure
- I costi orari aumentano con l’invecchiare della macchina per via della sempre maggiore necessità di cura e, soprattutto, di riparazioni, con la relativa maggiore difficoltà di reperire parti di ricambio.

L’assunzione della prima ipotesi genera un modello lineare dei costi cumulati. In questo caso il costo orario relativo a queste voci non dipende dalle ore di uso della macchina al momento della stima, ma solo dalla durata fisica della macchina N_h in ore, dal valore iniziale della stessa V_i in €, dal costo orario della manodopera adibita alla manutenzione M in €/h e da due coefficienti α , coefficiente di riparazione, e β , coefficiente di manutenzione, il cui valore dipende dalla gravosità dell’utilizzo che si fa della macchina.

$$C_{mr} = \frac{\alpha \cdot V_i}{N_h} + \beta \cdot M$$

I valori dei coefficienti sono tabulati e reperibili, così come la durata fisica delle macchine mentre il costo orario della manodopera è noto e varia da azienda a azienda (Sartori, 2015). Questo metodo risulta di facile applicazione ma l’ipotesi su cui si fonda non sempre può essere considerata veritiera, dal momento che macchine nuove tendono ad

avere costi di manutenzione e, soprattutto, di riparazione inferiori a quelli di macchine più vecchie.

L'assunzione della seconda ipotesi genera invece una funzione di grado superiore al primo dei costi cumulati, la cui derivata prima, che corrisponde al costo orario, è a sua volta una potenza. In questo caso, quindi, si assume che i costi orari di riparazione e manutenzione aumentino all'aumentare dell'uso cumulato della macchina. I costi cumulati sono calcolati con la formula seguente (Sartori, 2015):

$$C_{mr(cumulati)} = V_i \cdot a \cdot U^b$$

dove V_i è il valore a nuovo della macchina in €, U è il numero di ore di uso cumulato della macchina al momento della stima e a e b sono coefficienti variabili in relazione alle condizioni di uso della macchina. Il costo orario, in questo caso, è dato dalla derivata prima della formula precedente, cioè:

$$C_{mr} = V_i \cdot a \cdot b \cdot U^{b-1}$$

Un lavoro di Calcante et al. del 2013 fa uso di un modello la cui funzione è una potenza per descrivere i costi di riparazione e manutenzione per le trattrici e le mietitrebbiatrici, basandosi anch'esso su standard ASABE. L'adattamento alle condizioni italiane, rispetto a quelle americane di partenza, è stato eseguito tramite la ridefinizione dei coefficienti, fino a ottenere la seguente formula per i trattori, che fornisce il costo cumulato come percentuale del valore iniziale:

$$C_{mr(cumulati)}\% = 1,945 \cdot \left(\frac{U}{1000}\right)^{1,295}$$

Per questa formula, nella sperimentazione, è stato ottenuto un valore di R^2 di 0,85, da ritenere soddisfacente, data la presenza di rotture accidentali ineliminabili la cui incidenza è da ritenere casuale e quindi difficilmente modellizzabile.

Assumendo tale modello, il costo orario è dato dalla seguente formula, data dalla derivata prima della precedente:

$$C_{mr}\% = 3,282 \cdot 10^{-4} \cdot U^{0,295}$$

Utilizzando i modelli che calcolano i costi come potenza, non si possono scindere le componenti di manutenzione e riparazione e i coefficienti definiti in bibliografia sono validi soltanto per trattrici e mietitrebbie. Se si utilizza uno di questi modelli, quindi, per le macchine operatrici si rende comunque necessario utilizzare il modello lineare.

5.2.4 - Costo del lavoro

L'ultimo costo variabile di uso delle macchine è quello relativo all'operatore e quindi al lavoro. Il tempo che l'operatore impiega per la manutenzione e la riparazione delle macchine è già computato nei relativi costi prima discussi, quindi la determinazione di

questa componente si riduce al costo del lavoro per le ore di effettiva operatività della macchina. Per la determinazione del costo orario bisogna fare riferimento alla tariffa oraria lorda minima prevista dal contratto collettivo per la provincia di appartenenza e per il livello professionale adeguato all'operazione svolta. La tariffa deve tenere conto di tutti gli oneri impositivi, contributivi e del trattamento di fine rapporto.

CAPITOLO SESTO

LA SPERIMENTAZIONE

Questo capitolo si riferisce alla terza fase della ricerca, la più consistente ed importante, che consiste nello svolgimento della sperimentazione in campo. Sono qui descritti approfonditamente il disegno sperimentale, i fattori e i livelli, sono riportate le macchine utilizzate, la tecnica colturale e le date di svolgimento delle operazioni. Si descrive, infine, la metodologia di rilevamento dei dati e quella di analisi.

6.1 - Il progetto Academy PFE

La sperimentazione sui costi d'uso delle macchine agricole nell'AP si è svolta all'interno del progetto di ricerca Academy Precision Farming & Economy, nato in collaborazione tra Kverneland Group Italia e il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali (DSA3) dell'Università degli Studi di Perugia. L'obiettivo del progetto è quello di quantificare i vantaggi economici dell'agricoltura di precisione, al fine di rendere disponibili dati certi per gli imprenditori agricoli intenzionati ad investire in queste tecnologie, così da stimolarne la progressiva introduzione. Nella campagna 2017-2018, la sperimentazione si è svolta presso l'azienda agricola Le Colombaie di Visano (BS), un'importante azienda a indirizzo zootecnico bovino per la produzione di latte, con oltre 300 ettari di SAU e circa 1900 capi di frisona.

6.2 - Impostazione della sperimentazione

All'interno dell'azienda agricola, 31,44 ha sono stati dedicati alla sperimentazione. La sperimentazione si presenta come un esperimento multi-fattoriale con tre fattori:

- coltura;
- livello di agricoltura di precisione;
- tipo di lavorazione.

6.2.1 - Fattori sperimentali e livelli

Le colture prese in considerazione sono due, frumento e mais, entrambe da trinciato, a causa della necessità da parte dell'azienda di insilato per l'alimentazione del bestiame.

I livelli di AP esaminati sono stati tre, per entrambe le colture:

- Livello 0: nessun sistema. Rappresenta il livello di controllo, senza alcun sistema per l'agricoltura di precisione;
- Livello 1: guida semi-automatica e controllo automatico delle sezioni. Prevede il sistema di sterzata automatico per la guida parallela con GNSS dotato di correzione RTK con precisione di 2,5cm e la chiusura automatica delle sezioni;
- Livello 2 - guida semi-automatica, controllo automatico delle sezioni e distribuzione degli input a rateo variabile. Rispetto al punto precedente prevede anche l'uso delle mappe di prescrizione per la somministrazione a dose variabile degli input (sementi e concimi) sulla base della mappatura della tessitura dei terreni.

Le tecniche di lavorazione del terreno analizzate sono state due per il frumento e tre per il mais:

- Tradizionale, che prevede l'aratura e l'affinamento con erpice a dischi e rotante per il mais e solo l'aratura e l'affinamento con erpice rotante per il frumento;
- Minimum tillage, che consiste in un dissodamento con coltivatore ad ancore seguito da affinamento con erpice a dischi per il mais e nel solo passaggio con una seminatrice a righe combinata con erpice a dischi per il frumento;
- Strip tillage, con un solo passaggio in primavera con strip tiller. Quest'ultimo metodo è stato utilizzato soltanto per il mais.

Per ogni combinazione coltura-metodo di lavorazione sono stati utilizzati i tre livelli di AP, tranne che per lo strip tillage, per cui il livello 0 è stato eliminato perché impraticabile senza guida semi-automatica e per la lavorazione minima nel frumento, in cui è stato applicato soltanto il livello 2 di AP. Per ogni tesi, ottenuta dalle combinazioni descritte, sono state realizzate due repliche, al fine di dimostrare la riproducibilità dei risultati e evitare che circostanze aberranti potessero produrre risultati distorti. Dal momento che per operare questo tipo di esperimento sono necessarie superfici molto estese per una prova parcellare, non è stato possibile eseguire più di due repliche per ogni tesi. Per identificare ogni particella è stata utilizzata una nomenclatura apposita per cui, il nome di ognuna si compone di una lettera a identificare la coltura (M per mais e F per frumento), una per il metodo di lavorazione (T per tradizionale, M per minima e S per strip tillage), un numero per il livello di precisione (1, 2 o 3) e una per identificare la replica (A o B). Per esempio, la particella MS2A è la replica A della tesi coltivata a mais, su strip tillage, con livello 2 di AP.

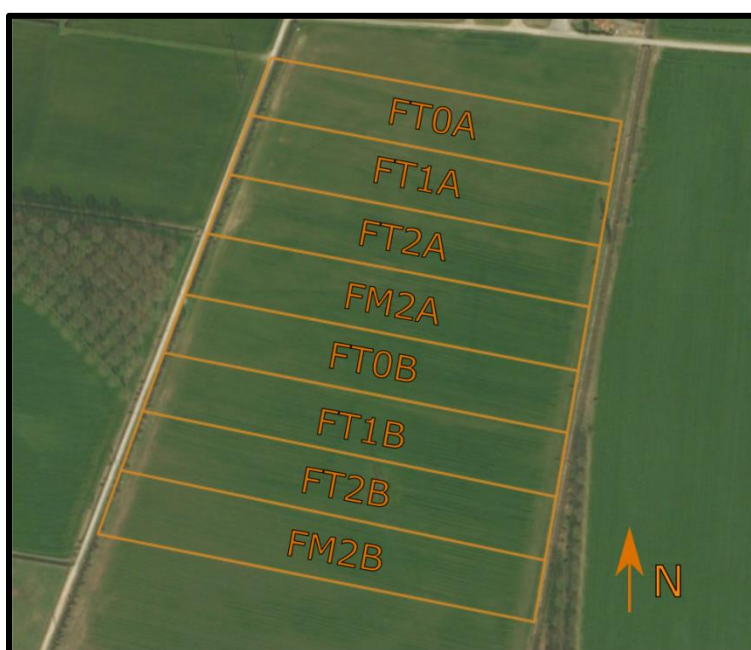
6.2.2 - Disegno sperimentale

Definite le tesi e quindi le particelle da predisporre, si è passati alla definizione del disegno sperimentale. I tre appezzamenti messi a disposizione dall'azienda Le Colombaie sono quindi stati suddivisi in particelle di superfici il più simile possibile tra loro, soprattutto tra particelle della stessa coltura e della stessa replica. Il disegno si configura

come a blocchi, all'interno dei quali le particelle sono disposte in modo sistematico e non randomizzato. Questa scelta è stata fatta per motivi organizzativi ed è fondata sulla consapevolezza, emersa dalla mappatura del suolo ad alta definizione, che nella direzione di disposizione dei blocchi non esistono considerevoli gradienti di fertilità o tessitura (si veda la figura 6.3).

In figura 6.1 è riportato il disegno sperimentale per il frumento. Come si vede, tutte le particelle si trovano in un solo appezzamento, di forma quasi perfettamente regolare. Il blocco A si trova nella parte nord dell'appezzamento mentre le repliche B sono state realizzate nella parte bassa.

Figura 6.1 - Disegno sperimentale per il frumento



Fonte: Elaborazione propria

Nella tabella 6.1 sono riportate le descrizioni dei codici delle particelle a frumento e le relative superfici.

Tabella 6.1 - Descrizione e superficie delle particelle del frumento

Codice Particella	Superficie (ha)	Tecnica	Livello AP	Replica
FT0A	1,013	Tradizionale	0	A
FT0B	1,138	Tradizionale	0	B
FT1A	1,040	Tradizionale	1	A
FT1B	1,167	Tradizionale	1	B
FT2A	1,064	Tradizionale	2	A
FT2B	1,206	Tradizionale	2	B
FM2A	1,107	Minima	2	A
FM2B	1,246	Minima	2	B

Fonte: Elaborazione propria

Nella figura 6.2 è riportato, invece, il disegno sperimentale del mais. In questo caso, le due repliche sono state disposte su due appezzamenti diversi, che si configurano, concettualmente, come due blocchi di replicazione. Nel blocco B la disposizione delle particelle segue la stessa logica del frumento, essendo esse disposte in ordine di livello di AP e tecnica di lavorazione. Nel blocco A, invece, si è dovuto ricorrere a una disposizione diversa, per via della diversa conformazione dell'appezzamento, diviso in tre parti da due strade della viabilità aziendale. Entrambi gli appezzamenti sono piuttosto regolari, anche se la replica B mostra due lati leggermente tagliati per via dell'irrigazione con pivot che lascia non irrigati i due spigoli inferiori del campo.

Figura 6.2 - Disegno sperimentale per il mais



Fonte: Elaborazione propria

Nella tabella 6.2 sono riportate le descrizioni dei codici delle particelle a mais e le relative superfici.

Tabella 6.2 - Descrizione e superficie delle particelle del mais

Codice Particella	Superficie (ha)	Tecnica	Livello AP	Replica
MT0A	2,104	Tradizionale	0	A
MT0B	1,321	Tradizionale	0	B
MT1A	2,131	Tradizionale	1	A
MT1B	1,376	Tradizionale	1	B
MT2A	2,155	Tradizionale	2	A
MT2B	1,353	Tradizionale	2	B
MM0A	1,329	Minima	0	A
MM0B	1,374	Minima	0	B
MM1A	1,308	Minima	1	A
MM1B	1,333	Minima	1	B
MM2A	1,303	Minima	2	A
MM2B	1,352	Minima	2	B
MS1A	0,909	Strip tillage	1	A
MS1B	1,192	Strip tillage	1	B
MS2A	0,913	Strip tillage	2	A
MS2B	1,014	Strip tillage	2	B

Fonte: Elaborazione propria

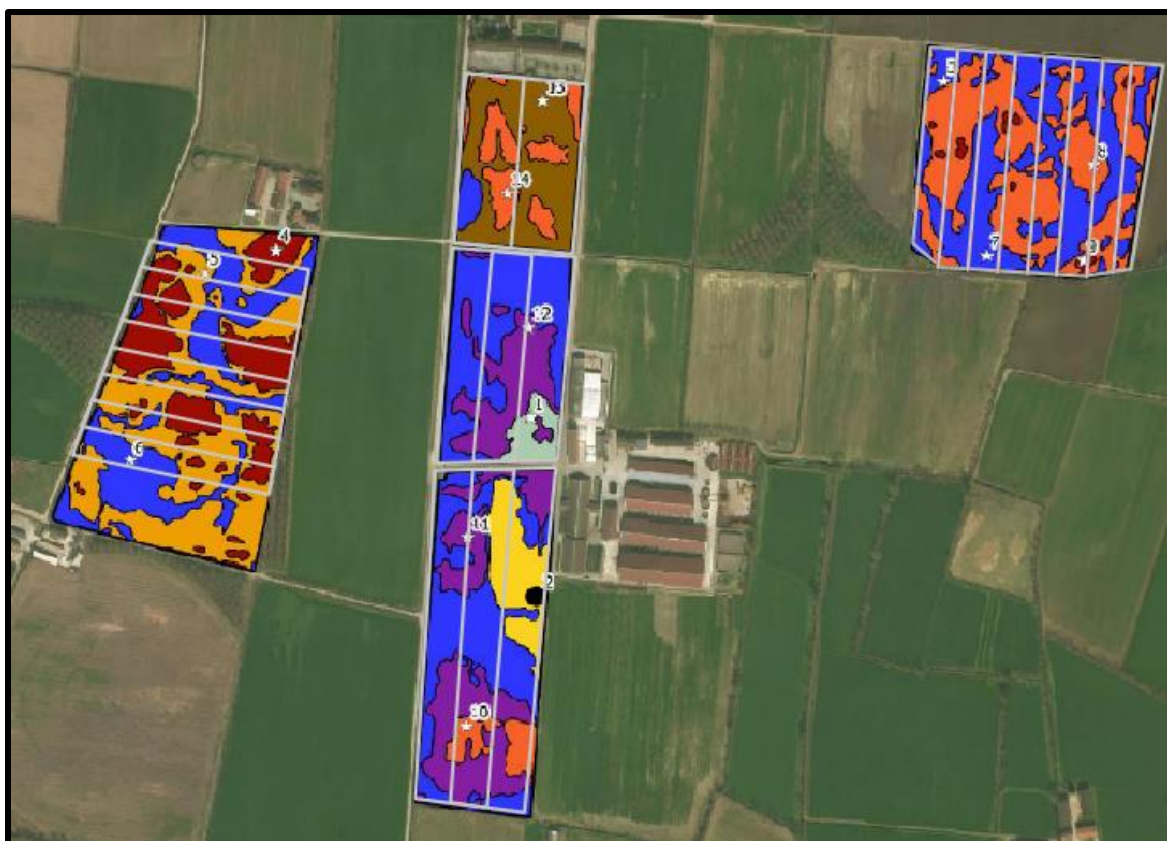
6.3 - Tecnica colturale

In questo paragrafo si fa un accenno alle caratteristiche dei suoli interessati e alla disposizione delle tipologie di suolo rispetto alle particelle e si esamina la tecnica colturale e la successione delle operazioni svolte per ognuna delle due colture e ogni tecnica di lavorazione del terreno.

6.3.1 - Caratteristiche del suolo

L'impostazione dell'esperimento è stata preceduta dalla mappatura dei terreni, eseguita dall'azienda AgriSoing, che ha svolto gli appositi rilievi prossimali con sensore a induzione elettromagnetica. In seguito, basandosi sulle mappe di conducibilità ottenute, sono stati eseguiti trivellamenti intelligenti del terreno, che hanno consentito di classificare i suoli della sperimentazione in 14 classi. Nella figura 6.3 è stato realizzato un overlay, una sovrapposizione, del disegno sperimentale alla mappa dei suoli ottenuta dall'AgriSoing. Questo permette di constatare che, all'interno di ogni blocco, le classi dei suoli sono equamente distribuite all'interno delle particelle e, quindi, il fattore suolo non può influenzare significativamente i risultati ottenuti. Mediamente il terreno dedicato alla sperimentazione ha tessitura franco-limosa/franco-limosa-argillosa con contenuti di sostanza organica piuttosto elevati, intorno al 3%.

Figura 6.3 - Sovrapposizione del disegno sperimentale alla mappa dei suoli



Fonte: Elaborazione propria

6.3.2 - Tecnica colturale per il frumento

Per tutte le particelle in cui è stata applicata la lavorazione tradizionale del terreno è stata eseguita un'aratura in data 23/10/2017, seguita immediatamente da una concimazione a spaglio con concime organo-minerale di titolo 10-20, e da un affinamento del terreno con erpice rotante. La semina è stata eseguita in data 24/10/2017 con seminatrice a righe pneumatica. La varietà di frumento scelta per la sperimentazione è Ludwig di Cerealtecnica, genotipo medio-tardivo a destinazione foraggera. La concimazione di copertura è stata eseguita in data 20/02/2018, sempre con spandiconcime centrifugo, distribuendo un concime organo-minerale con contenuto di azoto pari al 30%. In data 17/04/2018 è stato eseguito un trattamento misto erbicida-fungicida, distribuendo una dose teorica di 1 kg/ha di un formulato a base di Isopyrazam, Azoxystrobin e Ciproconazolo per il controllo delle principali patologie fogliari del frumento e un dose teorica di 0,75 kg/ha di erbicida dicotiledonica a base di Florasulam e 2,4D. Le dosi di semente e concime sono state volontariamente omesse, perché variano per ogni particella, comunque le dosi medie di riferimento sono di 260 kg/ha per la semente, di 150 kg/ha per il concime di pre-semina e di 150 kg/ha per il concime di copertura. Rispetto alle dosi medie, le tecnologie di guida parallela, chiusura automatica delle sezioni e VRT hanno comportato deviazioni significative. La raccolta è stata eseguita i giorni 05-06/06/2018 tramite macchine falcia-trincia-caricatrice semovente. Per quanto riguarda la

tesi con livello 2 di AP e con tecnica di minima lavorazione, invece, la semina della stessa varietà alle stesse dosi di riferimento è stata svolta in data 24/10/2017 con seminatrice pneumatica a righe combinata con erpice a dischi, dopo una concimazione di fondo praticata il giorno prima con le stesse dosi e gli stessi metodi della tecnica tradizionale. La concimazione di copertura, il trattamento e la raccolta sono stati eseguiti nelle stesse date, con le stesse metodologie e nelle stesse dosi delle altre tesi.

Tabella 6.3 - Date di svolgimento delle operazioni colturali per il frumento

Operazione	Tecnica di lavorazione		Input distribuiti
	Tradizionale	Minima	
Aratura	23/10	-	-
Concimazione di fondo	23/10		Concime 10-20
Erpicatura	23/10	-	-
Semina/semina combinata	24/10		Semente
Concimazione copertura	20/02		Concime N30
Trattamento	17/04		Erbicida, fungicida
Raccolta	05-06/06		-

Fonte: Elaborazione propria

6.3.3 - Tecnica colturale per il mais

Nel mais, per la lavorazione tradizionale, è stata eseguita un'aratura in data 23-24/04/2018, seguita da affinamento con erpice a dischi nei giorni 25-26/04/2018 e da ulteriore affinamento con erpice rotante nei giorni 26-27/04/2018. La semina è stata eseguita il 08/05/2018 per le repliche A e il 10/05/2018 per le repliche B con seminatrice di precisione e distribuzione di geodisinfestante microgranulato e concime organo minerale di titolo 10-20 localizzato sulla fila di semina. La varietà scelta per il mais è l'ibrido Dekalb DKC 6752, di classe FAO 600. Si è poi proceduto alla rullatura il 10/05/2018 e al diserbo pre-emergenza l'11/05/2018 con una miscela di due erbicidi, uno a base di S-Metolachlor alla dose teorica di 0,9 kg/ha e l'altro a base di Terbutilazina e Sulcotrione alla dose teorica di 2,3 kg/ha. Il diserbo post-emergenza è stato eseguito con un erbicida a base di Nicosulfuron alla dose teorica di 1,3 kg/ha. La concimazione di copertura è stata svolta con spandiconcime centrifugo, distribuendo una dose media di 145 kg/ha di concime organo-minerale con titolo 30 di azoto. Le irrigazioni sono state eseguite con sistema pivot o ranger a seconda degli appezzamenti. La raccolta si è svolta, per tutte le particelle destinate a mais, nei giorni 24-25-26/08/2018, con macchina falcia-trincia-caricatrice semovente. Per le tesi che prevedono la lavorazione minima, invece, si è deciso di operare la lavorazione del terreno con un coltivatore ad ancore e il successivo affinamento con erpice a dischi. Entrambe le operazioni sono state svolte per tutte le particelle il 29/04/2018. La semina è avvenuta il 08/05, la rullatura il 10/05 e il diserbo di pre-emergenza l'11/05, la concimazione di copertura il 25/05 e il diserbo di post-emergenza il 01/06, il tutto secondo le stesse modalità descritte per le tesi con

lavorazione tradizionale. Lo strip tillage, per le particelle che lo prevedevano, è stato eseguito l'08/05/2018, seguito da semina il 10/05, diserbo pre-emergenza l'11/05 e, come per le altre tesi, da concimazione di copertura il 25/05 e diserbo post-emergenza il 01/06.

Tabella 6.4 - Date di svolgimento delle operazioni colturali per il mais

Operazione	Tecnica di lavorazione			Input distribuiti
	Tradizionale	Minima	Strip till	
Aratura	23-24/04	-	-	-
Minima lavorazione	-	29/04	-	-
Discatura	25-26/04	29/04	-	-
Erpicatura	26-27/04	-	-	-
Strip tillage	-	-	08/05	-
Semina	08-10/05	08/05	10/05	Semente, concime 10-20, geodisinfestante
Rullatura	10/05		-	-
Diserbo pre-em.	11/05			Erbicida
Concimazione cop.	25/05			Concime N30
Diserbo post-em.	01/06			Erbicida
Raccolta	24-25-26/08			-

Fonte: Elaborazione propria

6.4 - Macchine utilizzate

Di seguito si descrivono le caratteristiche principali delle macchine agricole utilizzate nella sperimentazione, escludendo le macchine per la raccolta che sono di proprietà del contoterzista che ha fornito il servizio.

La tabella 6.5 elenca le trattrici utilizzate, la tabella 6.6 le macchine operatrici e la tabella 6.7 i sistemi di guida e quelli di controllo delle attrezzature.

Per comprendere meglio gli abbinamenti trattrice-macchina-sistema di guida, per ogni macchina operatrice e sistema di guida sono riportati i numeri identificativi dei trattori con cui vengono utilizzati. I numeri identificativi si ritrovano nella tabella 6.5.

Il parco macchine utilizzato per la sperimentazione è piuttosto ampio, per via della numerosità delle operazioni e delle modalità di svolgimento delle stesse. La maggior parte delle macchine sono recenti e sono soggette ad ammortamento tutte le trattrici fuorché il John Deere 7810. Il monte orario di utilizzo annuo è elevato per tutte le macchine, con minimo 1.000 ore di utilizzo annuo per tutte le trattrici e questo crea delle condizioni per

il calcolo del costo orario di ammortamento non comunemente riscontrabili nelle realtà produttive agricole italiane.

Tabella 6.5 - Principali caratteristiche delle trattrici utilizzate

N.	Marca e Modello	Valore a nuovo (€)	Anno di acquisto	Utilizzo annuo (h)	Potenza	
					CV	KW
1	John Deere 6175	105.000	2014	1.000	175	129
2	Same Silver 3/100	42.000	2016	1.000	96	71
3	John Deere 6420	76.000	2015	1.000	111	82
4	John Deere 5820	58.500	2014	1.000	90	66
5	Lamborghini R. 3-95	35.000	2010	1.000	95	70
6	John Deere 7230 R	123.000	2013	1.000	230	169
7	John Deere 7810	125.000	2003	1.000	210	154
8	Massey Ferguson 7626	140.000	2014	1.000	260	191
9	Challenger	185.000	2012	1.500	300	221
10	Class Xerion 3800	210.000	2014	1.200	320	235
11	Same Explorer 100	40.000	2010	1.000	96	71

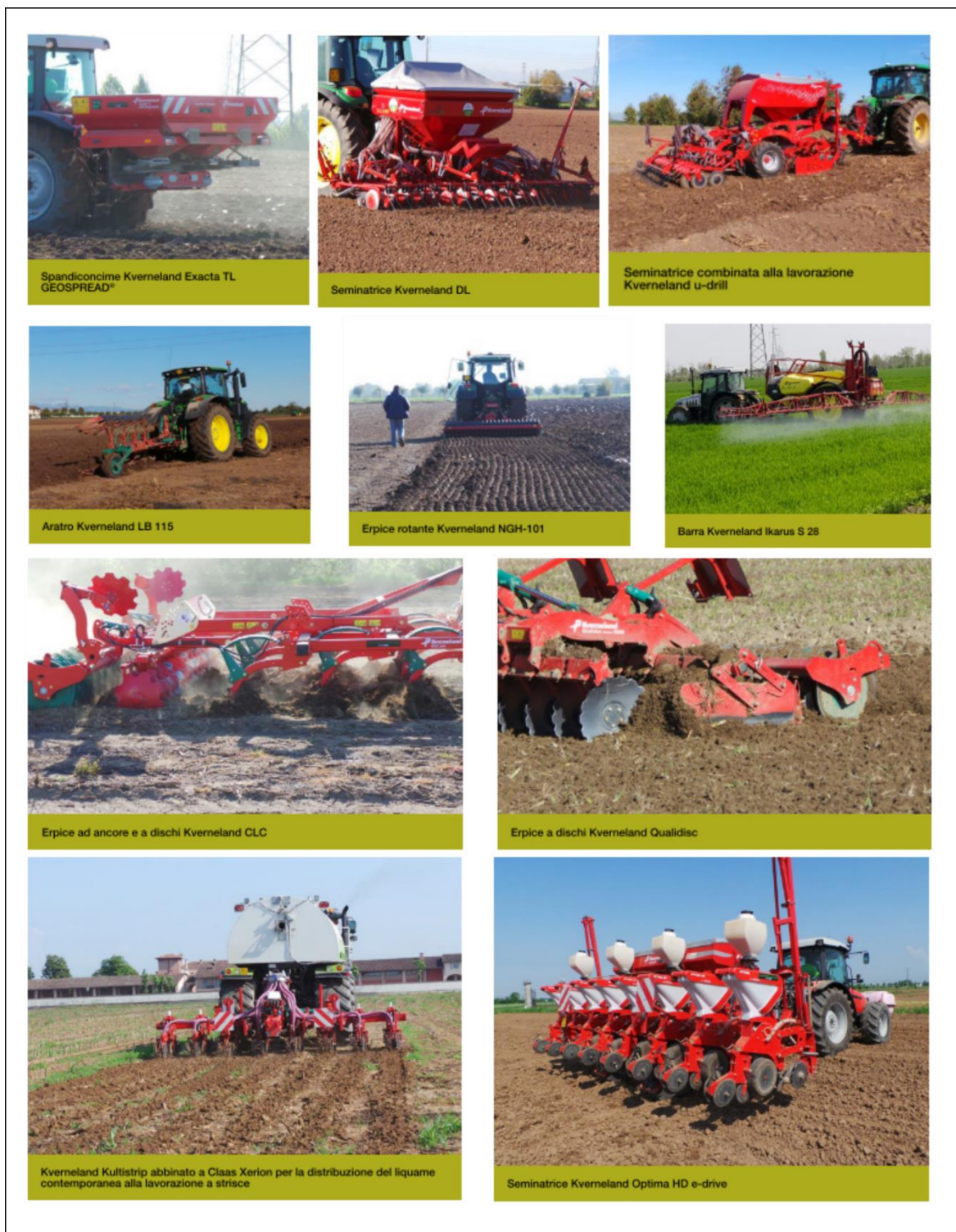
Fonte: Elaborazione propria

Tabella 6.6 - Principali caratteristiche delle macchine operatrici utilizzate

Tipologia	Marca Modello	Valore a nuovo (€)	Anno di acquisto	Utilizzo annuo (h)	Trattrici abbinata
Aratro	Kverneland LB 115	18.500	2016	250	1, 6
Spandiconcime	Geospread TL	16.000	2016	290	2
Seminatrice pneumatica a righe	DL Esa	21.000	2017	150	4
Erpice rotante	NGH 101	11.000	2017	100	3, 8
Seminatrice combinata	Udrill 3000	48.000	2016	220	6
Botte diserbo	Ikarus S 28	59.500	2016	450	2, 5
Erpice a dischi	Qualidisc 4 m	28.000	2017	300	7
Coltivatore ad ancore	CLC 3 m	18.000	2015	300	9
Seminatrice di precisione	Optima E-drive TF profi 8 file	60.500	2015	200	2
Strip-tiller	Kultistrip 8 file	34.000	2016	150	10
Rullo compattatore	Actiroll 6.30 m	9.000	2016	200	11

Fonte: Elaborazione propria

Figura 6.4 - Macchine operatrici Impiegate nella sperimentazione



Fonte: Kverneland, 2018

Le macchine operatrici sono state tutte fornite da Kverneland. Bisogna notare che, per motivi di semplificazione, le stesse macchine sono state utilizzate per tutti i livelli di AP, disattivando all'occorrenza le funzionalità della macchina non previste nel livello di AP in cui si stava operando. Successivamente, in fase di elaborazione, per il calcolo dei costi connessi al valore iniziale delle macchine, a tale valore è stata sottratta la parte del costo corrispondente alle dotazioni per l'AP presenti nella macchina ma non necessarie nel livello di AP a cui i calcoli si riferiscono. Le macchine sono, anche in questo caso, piuttosto recenti e presentano monti orari di utilizzo annuo piuttosto elevati. Di seguito si forniscono descrizioni più dettagliate delle macchine che presentano tecnologie rilevanti per l'agricoltura di precisione o per la minima lavorazione:

- lo Kverneland Geospread TL è uno spandiconcime a doppio disco con sistema integrato di pesatura con celle di carico, supporta lo spandimento di bordura e le tecnologie a rateo variabile e si interfaccia con il sistema di guida mediante ISOBUS 11783;
- la Kverneland DL Esa è una seminatrice pneumatica a righe dotata di controllo automatico delle sezioni e tecnologie VRT;
- la Udrill 3000 è una combinazione di un erpice a dischi con una seminatrice pneumatica a righe, per la semina diretta su residui colturali senza necessità di precedenti lavorazioni, supporta il protocollo ISOBUS e le tecnologie di controllo delle sezioni e VRT;
- la Ikarus è una botte per il diserbo e i trattamenti trainata, con supporto ISOBUS, possibilità di chiusura automatica delle sezioni e elettrovalvole proporzionali per l'applicazione a rateo variabile;
- il Qualidisc è un erpice a dischi leggero che lavora lo strato più superficiale del terreno, consentendo un primo affinamento in lavorazioni tradizionali e la preparazione del letto di semina o l'interramento dei residui colturali nelle lavorazioni minime;
- il CLC è un coltivatore composto da due file di ancore ricurve, una fila di dischi e un rullo di livellamento. Permette una lavorazione profonda del terreno con rimozione del compattamento senza inversione degli strati;
- la Optima E-drive è una seminatrice pneumatica di precisione dotata di azionamento elettrico del disco distributore, così che ogni elemento possa regolare la distribuzione del seme in modo indipendente ed estremamente preciso. Tramite la compatibilità ISOBUS, permette di realizzare la chiusura automatica di ogni elemento, la semina a dose variabile e la sincronizzazione degli elementi per la semina a quinconce. È dotata di microgranulatori e tramoggia per la distribuzione localizzata del concime;
- il Kultistrip è uno strip-tiller, le cui caratteristiche sono meglio descritte al paragrafo 2.2.2.

Per quanto riguarda i sistemi di guida e di controllo delle attrezzature, tutti i dispositivi sono di recente acquisto e presentano un utilizzo annuo piuttosto elevato, per via delle

molteplici applicazioni che essi trovano nelle diverse operazioni colturali. L'IsoMatch Tellus è un display utilizzabile sia all'interno di sistemi di guida, se dotato delle apposite antenne e attuatori, sia per il solo controllo delle macchine che necessitano di un'interfaccia per la regolazione dei parametri di funzionamento. Il Topcon X14 e il John Deere StarFire sono invece sistemi di guida universali, applicabili su più trattori diverse e interfacciabili tramite ISOBUS con l'IsoMatch Tellus e le macchine che lo supportano.

Tabella 6.7 - Principali caratteristiche dei sistemi di guida e dei dispositivi hardware per il controllo delle operatrici utilizzati

Marca Modello	Valore a Nuovo (€)	Anno di acquisto	Utilizzo annuo (h)	Trattori abbinati
Topcon X14	12.800	2015	1.000	3, 5, 7, 8, 9, 10
IsoMatch Tellus	3.800	2015	1.000	2, 4, 6
SF John Deere + IsoMatch Tellus	18.700	2014	1.000	6
TopCon X14 + IsoMatch Tellus	18.100	2014	1.000	2, 4

Fonte: Elaborazione propria

Le antenne utilizzate consentono la correzione RTK, gli attuatori sullo sterzo applicati permettono la guida semi-automatica e i software installati rendono possibile il controllo automatico delle sezioni e la distribuzione degli input a dosi variabili previo caricamento delle mappe di prescrizione. Naturalmente, per le operazioni svolte con livello 0, tutti i sistemi di AP sono stati disattivati e, per il livello 1, sono state utilizzate soltanto la guida semi-automatica e il controllo delle sezioni. La ricezione della correzione RTK del segnale GNSS prevede il pagamento di un abbonamento, il cui costo è stato debitamente considerato per le tesi che ne fanno uso.

6.5 - Metodologia di rilevazione dei dati

Per determinare il costo d'uso delle macchine agricole nelle diverse tesi è stato necessario delineare una metodologia di rilevazione che permettesse, in fase di elaborazione, di disporre tutti i dati necessari a calcolare il valore delle componenti di costo, secondo ognuna delle metodologie illustrate in precedenza.

Molti di questi dati sono valori economici e parametri tecnici caratteristici delle macchine utilizzate e quindi indipendenti dall'operazione svolta. Questi parametri sono stati rilevati a priori e sono, nello specifico:

- per il calcolo dei costi di ammortamento:

- valore a nuovo, fornito dall'azienda Le Colombaie;
- anno di acquisto, anch'esso fornito dall'azienda;
- utilizzo annuo, come stima fornita dall'azienda;
- durata economica della macchina, dalle tabelle INEA (INEA, 2014);
- per la stima dei consumi delle trattrici:
 - potenza motore delle trattrici, riportata nella scheda tecnica delle stesse;
 - P_{pto} , potenza nominale disponibile alla PTO, sempre delle trattrici, rilevabile nella scheda tecnica o nei risultati dei test NTTL (NTTL, 2018);
 - RPM_{FT} , numero di giri massimo del motore, il cui valore è reperibile, anche in questo caso, nelle schede NTTL o nelle schede tecniche della macchina;
 - coefficienti di carico motore, da apposite tabelle (Sartori, 2015);
- per la stima dei costi di manutenzione e riparazione (tutti da Sartori, 2015):
 - coefficiente di riparazione;
 - fattore di manutenzione;
 - durata fisica della macchine;
 - coefficienti a e b per il metodo con potenza;
 - ore totali di utilizzo delle macchine al momento della rilevazione, dato misurato dal conta-ore delle macchine;
- per gli altri costi (valori forniti dall'azienda):
 - premio assicurativo;
 - costo orario del lavoro.

Altri dati invece sono specifici di ogni operazione svolta in ogni particella, quindi essi sono stati rilevati secondo un apposito schema al momento dello svolgimento dell'operazione. Lo schema di rilevamento per ogni operazione è composto come segue:

- particella in cui l'operazione è svolta;
- data di svolgimento;
- tempo di esecuzione dell'operazione, misurato dall'operatore;
- trattrice, macchina operatrice e eventuale sistema di guida utilizzati;
- consumo di carburante, misurato direttamente come volume necessario per ricostituire il pieno del serbatoio dopo l'operazione;
- regime motore durante il lavoro, misurato dall'operatore mediante lettura sul contagiri del trattore;
- potenza assorbita durante l'operazione, come stima basata sull'esperienza dell'operatore.

I prezzi degli input, in particolare gasolio e olio lubrificante, sono stati considerati come media dei prezzi di mercato per l'annata 2018. Il canone annuo per la correzione differenziale RTK è stato assunto pari a quello effettivamente pagato dall'azienda che ha ospitato la sperimentazione, pari a 400€/anno, e diviso in proporzione alle ore di utilizzo. Per quanto riguarda le mappe delle caratteristiche del terreno, si è considerato il costo

effettivamente sostenuto per la mappatura, di 100€/ha, con una durata di ammortamento di 10 anni.

Nonostante la ricerca bibliografica effettuata, come si è visto, certi valori necessari per utilizzare alcune formule devono essere decisi entro un intervallo dato oppure risultano del tutto assenti in bibliografia. In questi casi un certo margine di soggettività deve essere necessariamente utilizzato nella stima dei costi. Per quanto riguarda i consumi di carburanti, come si è visto nel capitolo precedente, il parametro la cui definizione richiede il maggior grado di soggettività è il consumo specifico di carburante nella formula in Sartori, 2015. Entro l'intervallo indicato, con valori compresi tra 0,2 e 0,3 Kg/KWh, si è scelto il valore minimo, essendo il parco delle macchine motrici piuttosto recente e quindi dotato di motori potenzialmente efficienti. Non risultano, invece, reperibili in bibliografia i parametri relativi a manutenzione e riparazione dei sistemi di guida. Dal momento che le componenti hardware e software di cui sono costituite non sono soggette a usura ma soltanto a eventuali fermi dovuti a malfunzionamenti e mancanza di segnale (GNSS o di correzione), i valori scelti per i coefficienti a e b della formula Sartori lineare sono stati fissati rispettivamente a 0,2 e 0,025.

I dati così raccolti hanno costituito l'input dell'elaborazione che ha permesso la stima dei costi legati all'uso delle macchine per ogni particella.

6.6 - Metodologia di analisi dei dati

In questo paragrafo si descrive la metodologia utilizzata per l'analisi dei dati raccolti nella sperimentazione.

6.6.1 - Metodo di calcolo dei costi di ammortamento

La metodologia seguita per il calcolo dei costi orari di ammortamento segue quanto detto in precedenza. In particolare la quota annuale di ammortamento, calcolata a partire dai dati rilevati come sopra descritto, è stata divisa per l'utilizzo annuale in ore di ogni macchina per ricavare il costo orario.

A riguardo dei costi di ammortamento delle macchine trattrici e operatrici, escludendo le dotazioni di AP, nel paragrafo 4.2 e nella tabella 4.2 si è visto come la riduzione dei tempi di lavoro consentita dall'AP possa portare a una diminuzione dell'utilizzo annuo di queste macchine a parità di superficie coltivata¹⁰, oppure a una maggiore superficie coperta dalle macchine a parità di utilizzo annuo, con costi di ammortamento per ora di lavoro invariati e per unità di superficie ridotti. L'applicazione dell'uno o dell'altro principio andrebbe esaminata caso per caso. Nell'elaborazione dei dati di questa sperimentazione si è

¹⁰In questo caso, nonostante nei calcoli si riscontri un aumento del costo di ammortamento orario, il costo di ammortamento per unità di superficie si mantiene costante.

applicato il secondo principio, lasciando invariati i valori di utilizzo annuo delle macchine, anche in presenza di AP. Successivamente, nello svolgimento dell'analisi di sensitività, è stato applicato il primo principio.

Una precisazione va fatta per le macchine operatrici con dotazioni per l'AP. Come detto in precedenza, nonostante le macchine utilizzate siano state le stesse per tutti i livelli di AP, si è tenuto conto del non utilizzo delle suddette dotazioni nei livelli 0 e, in alcuni casi, 1, sottraendo dal valore iniziale delle macchine il costo delle stesse per il computo dei costi di ammortamento. In particolare, i valori riportati in tabella 6.6 sono stati adeguati come riportato in tabella 6.8.

Tabella 6.8 - Adeguamento dei valori iniziali delle macchine operatrici ai diversi livelli di AP per il calcolo differenziato degli ammortamenti

Macchina	Valore a nuovo (€) per livello di AP		
	0	1	2
Spandiconcime	11.500	12.000	16.000
Botte diserbo	40.000	40.500	59.500
Seminatrice di precisione	40.000	40.500	60.500
Seminatrice a righe	14.500	15.000	21.000

Fonte: Elaborazione propria

6.6.2 - Metodo di calcolo dei costi di assicurazione e ricovero

Per quanto riguarda il costo orario di assicurazione, si è considerato un premio assicurativo di 100€ a macchina, che è stato diviso per il monte orario annuo di lavoro di ogni macchina.

Il costo di ricovero è stato trascurato, sia per indisponibilità di dati a riguardo, sia per ridotta rilevanza, sia, soprattutto, per l'effetto nullo dell'AP su di esso.

6.6.3 - Metodi di calcolo dei costi per consumi, manutenzione e riparazione

Premesso quanto detto nel capitolo quinto, si è deciso di eseguire una stima dei costi delle macchine per ogni tesi utilizzando più di uno dei metodi illustrati, così da disporre di un confronto tra più risultati, pervenuti con l'assunzione di diverse ipotesi di partenza. In particolare, le componenti di costo per cui si presentano più alternative di metodo di calcolo sono quelle relative a carburanti, lubrificanti, manutenzione e riparazione.

Per i consumi i metodi alternativi individuati sono tre:

- dato **misurato** per i carburanti con applicazione della formula di **Sartori (2015)** per i lubrificanti;
- formula di **Sartori (2015)** sia per i carburanti che per i lubrificanti;
- formula **ASABE** specifica per operazione ma non per modello di trattore per entrambi (Grisso, et al., 2010).

Si è deciso di escludere la formula ASABE per modello di trattore a causa della numerosità delle macchine utilizzate, che avrebbe richiesto il trattamento di una gran mole di dati con un vantaggio di dettaglio tutto sommato ridotto.

Per i costi di manutenzione e riparazione i metodi alternativi consistono nei seguenti:

- metodo definito **Sartori Lineare**: basato sul modello lineare da Sartori (2015) con introduzione di un incremento del 30% dei costi di riparazione a fine ammortamento per avere un minimo adeguamento dei costi con l'invecchiamento della macchina, nonostante il modello lineare;
- metodo definito **Sartori Potenza**: consistente nel modello a potenza da Sartori (2015) per le macchine motrici, abbinato al metodo lineare per le macchine operatrici;
- metodo definito **ASABE**: che utilizza la formula riportata in Calcante et al. (2013) per le macchine motrici, abbinata al metodo lineare per le macchine operatrici.

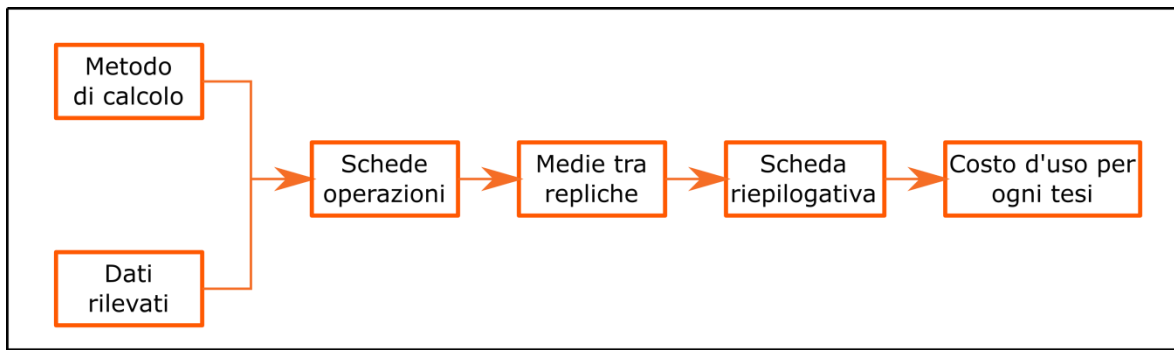
Date queste alternative, esse possono essere combinate in modo diverso a definire diversi modelli di calcolo, tuttavia la scelta si è limitata alle seguenti combinazioni:

- **Metodo A**: dato misurato per i carburanti, Sartori per i lubrificanti e Sartori Lineare per manutenzione e riparazione;
- **Metodo B**: formula Sartori per carburanti e lubrificanti con metodo Sartori Lineare per manutenzione e riparazione;
- **Metodo C**: formula Sartori per carburanti e lubrificanti con metodo Sartori Potenza per manutenzione e riparazione;
- **Metodo D**: formula ASABE per carburanti e lubrificanti con metodo ASABE per manutenzione e riparazione.

6.6.4 - Elaborazione dei dati

I dati e le formule così ottenuti sono stati elaborati in un foglio di calcolo del software Microsoft Excel per pervenire ai risultati desiderati. Nello specifico, per ogni operazione svolta in ogni particella, è stata predisposta una scheda in cui sono stati riportati tutti i dati necessari ai calcoli, siano essi rilevati a priori o durante lo svolgimento dell'operazione. La stessa scheda contiene le formule per calcolare i valori orari di costo. Poi, moltiplicando questi valori orari per i tempi delle operazioni rilevati per ogni particella e dividendoli per la superficie della stessa, si ottengono i valori riferiti all'unità di superficie di ogni voce di costo e per ogni metodo tra quelli sopra illustrati. Il metodo utilizzato per il calcolo dei costi è selezionabile da un apposito menù a tendina comune a tutte le schede, che fa cambiare le formule per ogni scheda di ogni operazione. Per ogni voce di costo, è stata calcolata la media dei risultati ottenuti nelle due repliche della stessa tesi e i valori medi così ottenuti sono stati riportati in una scheda riepilogativa che consente, per ogni tesi, di visionare le voci di costo e di pervenire al costo d'uso totale delle macchine, permettendo così il confronto tra le tesi e tra i metodi di calcolo.

Figura 6.3 - Schema di flusso elaborazione dati



Fonte: Elaborazione propria

CAPITOLO SETTIMO

GLI EFFETTI DELL'AGRICOLTURA DI PRECISIONE SUL COSTO D'USO DELLE MACCHINE

In questo capitolo sono illustrati i risultati ottenuti a partire dai dati raccolti nella sperimentazione, elaborati come sopra illustrato, attraverso i quali sarà possibile comprendere l'effetto dell'agricoltura di precisione sul costo d'uso delle macchine agricole. In una prima parte si riporta una stima dell'entità dell'investimento necessario per l'acquisto delle dotazioni di AP. Successivamente, si analizzano i costi d'uso per unità di superficie ottenuti, per ogni tesi, con ognuna delle metodologie di calcolo e l'influenza su questi dell'utilizzo di tecniche di AP. Inoltre, sono analizzati gli effetti sui redditi e sono riportati i risultati di due analisi di sensitività dei valori ottenuti, rispetto al costo del carburante e rispetto all'utilizzo annuo delle macchine e delle dotazioni di AP.

7.1 - Costo di acquisto delle dotazioni di AP

Per giungere a una valutazione economica, risulta innanzitutto importante comprendere l'investimento che un'azienda dovrebbe sostenere per dotarsi delle tecnologie in precedenza descritte. A tale scopo è stata elaborata la tabella 7.1, che riporta i costi di acquisto per le macchine operatrici e i sistemi di guida e per la realizzazione di mappe di tessitura del suolo, per i tre livelli di AP presi in considerazione, forniti da Kverneland e dall'azienda Le Colombaie.

Tabella 7.1 - Costo di acquisto delle dotazioni aziendali per i tre livelli di AP e variazioni rispetto al livello 0 (valori in €)

Dotazione	Costo acquisto per livello di AP			Variazione rispetto a 0	
	0	1	2	1	2
Spandiconcime	11.500	12.000	15.500	500	4.000
Botte diserbo	40.000	40.500	59.000	500	19.000
Seminatrice a righe	14.500	15.000	21.000	500	6.500
Seminatrice di precisione	40.000	40.500	60.500	500	20.500
Sistema di guida	0	15.000	15.000	15.000	15.000
Mappe tessitura (300 ha)	0	0	30.000	0	30.000
Totale	106.000	123.000	201.000	17.000	95.000

Fonte: Elaborazione propria

La prima cosa da notare è che, per dotarsi del livello 1 di agricoltura di precisione, l'investimento iniziale, pari a 17.000 €, è piuttosto ridotto, incidendo per il 16% del totale del totale delle macchine considerate nella tabella 7.1 ma per una percentuale minima (circa l'1,2%) se si considera l'intero parco macchine, motrici e operatrici, utilizzate per il livello 0 in questa sperimentazione. In particolare, l'investimento è composto per la quasi totalità dal sistema di guida e, in piccola parte, dal sovrapprezzo da pagare per lo sblocco del controllo delle sezioni nelle macchine che sono ormai già di serie dotate dell'hardware necessario.

L'investimento diventa più consistente per il livello 2, visto che le macchine devono essere, in questo caso, dotate di appositi dispositivi per realizzare le tecniche VRT, come elettrovalvole proporzionali e attuazione elettrica degli elementi di semina. Inoltre, buona parte dell'investimento per il livello 2 consiste nella realizzazione delle mappe di tessitura il cui costo, per un'azienda di 300 ha come quella considerata, riveste circa un terzo dell'investimento totale in tecnologie di AP.

Limitandosi a questi primi dati, si può intanto asserire che le condizioni strutturali necessarie perché per un'azienda sia conveniente investire nel livello 2 sono più particolari e stringenti di quelle necessarie per il livello 1, dato il limitato importo dell'investimento necessario per quest'ultimo.

7.2 - Risultati dell'elaborazione per il frumento

7.2.1 - Costi d'uso su frumento

Nelle tabelle 7.2, 7.3, 7.4 e 7.5 si riportano i risultati trovati su frumento per i quattro metodi di calcolo, che consistono nel costo d'uso delle macchine per unità di superficie, diviso nelle varie componenti, descritte nel capitolo quinto. In ogni tabella si ritrovano nelle colonne le tesi e nelle righe le componenti di costo, raggruppate in tre categorie (fattori a logorio totale e parziale e lavoro). A margine delle tabelle si riporta la variazione dei costi d'uso rispetto alla tesi FT0. Tutti i valori sono riferiti all'ettaro di superficie.

Innanzitutto, è opportuno fare un commento sulle differenze rilevate tra i risultati dati dai diversi metodi di calcolo. L'influenza del metodo sul dato di costo totale è piuttosto ridotta, generando un coefficiente di variabilità¹¹ che, calcolato per i risultati dei quattro metodi per ogni tesi, oscilla tra il 4,51% e il 5,95% e che si traduce in una differenza tra i valori minimi e massimi calcolati per ogni tesi che va dagli 11,91€ ai 34,93€. La differenza tra i metodi di calcolo si manifesta con maggior enfasi nelle singole componenti di costo

¹¹ In statistica, il coefficiente di variabilità è un indice di dispersione dato dal rapporto tra la deviazione standard del campione e la media dello stesso ($CV = \sigma/\mu$), restituendo un numero adimensionale che consente di giudicare la variabilità del campione indipendentemente dalla sua media.

stimate, cioè consumi di carburante, con CV tra il 19,73% e il 23,53% e manutenzione e riparazione, con CV tra il 12,02% e il 14,45%. In particolare, i consumi risultano essere molto simili per i metodi Misurato ed ASABE, mentre risultano sempre inferiori con il metodo Sartori. Questo è causato, probabilmente, dalla definizione non ottimale del parametro di consumo specifico, proprio per via della soggettività nella definizione di cui si è parlato in precedenza nel capitolo 5. Per quanto riguarda la manutenzione e la riparazione, i metodi basati su una potenza (Sartori e ASABE) danno tra loro risultati praticamente identici, mentre la vera differenza si verifica tra metodi con potenza e metodo lineare, dal momento che quest'ultimo porta a stime sistematicamente più elevate degli altri. Tutto ciò premesso, è importante sottolineare come il metodo di calcolo non influenzi, in nessun caso, l'andamento dei costi totali tra le tesi, il cui ordine si mantiene indipendentemente dal metodo utilizzato. Le differenze tra costi totali delle tesi subiscono variazioni tra i metodi, ma di entità minore rispetto ai loro valori assoluti.

Tabella 7.2 - Costi d'uso per unità di superficie calcolati con il metodo A per ogni tesi (valori in €/ha)

Metodo A				
Componente di costo	Tradizionale 0	Tradizionale 1	Tradizionale 2	Minima 2
FATTORI A LOGORIO TOTALE (FLT)				
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,27	1,32	0,75
<i>Assicurazione macchine</i>	0,32	0,29	0,30	0,11
<i>Gasolio</i>	55,28	51,71	50,95	17,60
<i>Lubrificante</i>	1,57	1,33	1,35	0,72
<i>Manutenzione</i>	20,86	20,12	20,87	4,52
<i>Riparazione</i>	59,35	56,15	61,42	28,50
Totale FLT	137,37	130,87	136,21	52,21
FATTORI A LOGORIO PARZIALE (FLP)				
<i>Trattrici</i>	32,97	30,63	31,10	16,66
<i>Aratro</i>	9,97	9,51	9,34	0,00
<i>Erpice rotante</i>	13,35	12,29	13,40	0,00
<i>Seminatrice a righe/combinata</i>	10,04	9,05	12,79	19,02
<i>Botte diserbo</i>	1,75	1,49	2,19	1,86
<i>Spandiconcime</i>	0,82	0,83	1,00	0,99
<i>Sistema di guida</i>	0,00	5,57	5,76	4,06
Totale FLP	68,90	69,38	75,57	42,59
LAVORO				
Lavoro	55,98	51,52	52,51	19,83
Totale costi d'uso per unità di superficie	262,25	251,77	264,29	114,63
Variazione rispetto a T0	0,00	-10,48	2,05	-147,62

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.3 - Costi d'uso per unità di superficie calcolati con il metodo B per ogni tesi (valori in €/ha)

Metodo B				
Componente di costo	Tradizionale 0	Tradizionale 1	Tradizionale 2	Minima 2
FATTORI A LOGORIO TOTALE (FLT)				
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,27	1,32	0,75
<i>Assicurazione macchine</i>	0,32	0,29	0,30	0,11
<i>Gasolio</i>	37,01	34,58	35,10	12,91
<i>Lubrificante</i>	1,59	1,48	1,50	0,89
<i>Manutenzione</i>	20,86	20,12	20,87	4,52
<i>Riparazione</i>	59,35	56,15	61,42	28,50
Totale FLT	119,12	113,88	120,51	47,69
FATTORI A LOGORIO PARZIALE (FLP)				
<i>Trattrici</i>	32,97	30,63	31,10	16,66
<i>Aratro</i>	9,97	9,51	9,34	0,00
<i>Erpice rotante</i>	13,35	12,29	13,40	0,00
<i>Seminatrice a righe/combinata</i>	10,04	9,05	12,79	19,02
<i>Botte diserbo</i>	1,75	1,49	2,19	1,86
<i>Spandiconcime</i>	0,82	0,83	1,00	0,99
<i>Sistema di guida</i>	0,00	5,57	5,76	4,06
Totale FLP	68,90	69,38	75,57	42,59
LAVORO				
Lavoro	55,98	51,52	52,51	19,83
Totale costi d'uso per unità di superficie	244,00	234,78	248,59	110,10
Variazione rispetto a T0	0,00	-9,22	4,59	-133,89

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.4 - Costi d'uso per unità di superficie calcolati con il metodo C per ogni tesi (valori in €/ha)

Metodo C				
Componente di costo	Tradizionale 0	Tradizionale 1	Tradizionale 2	Minima 2
FATTORI A LOGORIO TOTALE (FLT)				
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,27	1,32	0,75
<i>Assicurazione macchine</i>	0,32	0,29	0,30	0,11
<i>Gasolio</i>	37,01	34,58	35,10	12,91
<i>Lubrificante</i>	1,59	1,48	1,50	0,89
<i>Manutenzione</i>	15,26	14,96	15,62	2,54
<i>Riparazione</i>	48,27	45,84	50,95	23,10
Totale FLT	102,44	98,42	104,79	40,30
FATTORI A LOGORIO PARZIALE (FLP)				
<i>Trattrici</i>	32,97	30,63	31,10	16,66
<i>Aratro</i>	9,97	9,51	9,34	0,00
<i>Erpice rotante</i>	13,35	12,29	13,40	0,00
<i>Seminatrice a righe/combinata</i>	10,04	9,05	12,79	19,02
<i>Botte diserbo</i>	1,75	1,49	2,19	1,86
<i>Spandiconcime</i>	0,82	0,83	1,00	0,99
<i>Sistema di guida</i>	0,00	5,57	5,76	4,06
Totale FLP	68,90	69,38	75,57	42,59
LAVORO				
Lavoro	55,98	51,52	52,51	19,83
Totale costi d'uso per unità di superficie	227,32	219,32	232,87	102,72
Variazione rispetto a T0	0,00	-8,00	5,55	-124,60

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.5 - Costi d'uso per unità di superficie calcolati con il metodo D per ogni tesi (valori in €/ha)

Metodo D				
Componente di costo	Tradizionale 0	Tradizionale 1	Tradizionale 2	Minima 2
FATTORI A LOGORIO TOTALE (FLT)				
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,27	1,32	0,75
<i>Assicurazione macchine</i>	0,32	0,29	0,30	0,11
<i>Gasolio</i>	48,89	46,73	47,77	20,56
<i>Lubrificante</i>	1,44	1,33	1,35	0,72
<i>Manutenzione</i>	15,26	14,96	15,62	2,54
<i>Riparazione</i>	48,69	46,23	51,36	23,18
Totale FLT	114,60	110,82	117,72	47,87
FATTORI A LOGORIO PARZIALE (FLP)				
<i>Trattrici</i>	32,97	30,63	31,10	16,66
<i>Aratro</i>	9,97	9,51	9,34	0,00
<i>Erpice rotante</i>	13,35	12,29	13,40	0,00
<i>Seminatrice a righe/combinata</i>	10,04	9,05	12,79	19,02
<i>Botte diserbo</i>	1,75	1,49	2,19	1,86
<i>Spandiconcime</i>	0,82	0,83	1,00	0,99
<i>Sistema di guida</i>	0,00	5,57	5,76	4,06
Totale FLP	68,90	69,38	75,57	42,59
LAVORO				
Lavoro	55,98	51,52	52,51	19,83
Totale costi d'uso per unità di superficie	239,48	231,72	245,80	110,28
Variazione rispetto a T0	0,00	-7,76	6,32	-129,20

Fonte: Elaborazione propria

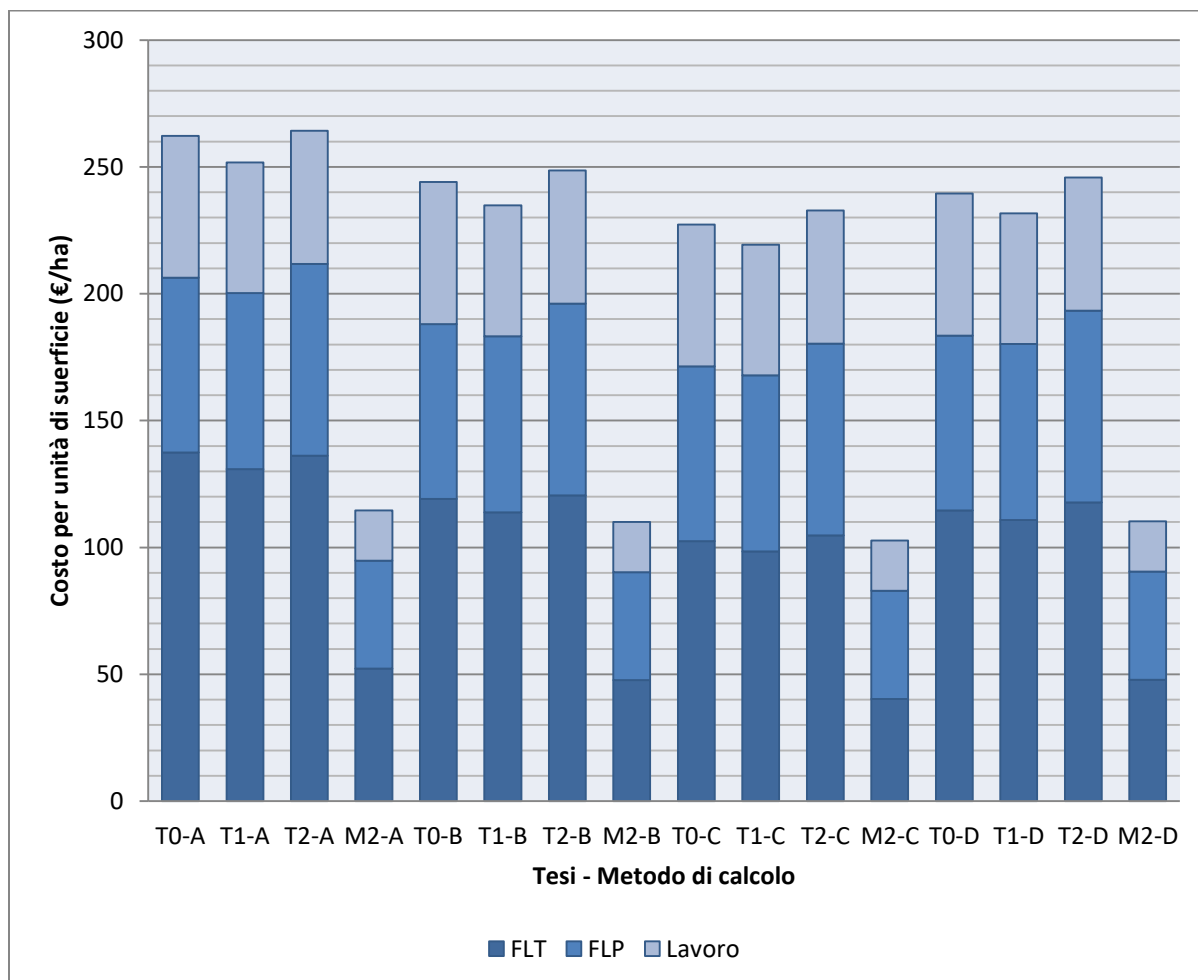
Prima di commentare i risultati, va detto che, nonostante il livello 2 di AP sia stato incluso nel confronto, la valutazione economica di questo livello limitata ai costi d'uso delle macchine può essere fuorviante, dal momento che gli effetti preponderanti di questo tipo di tecnologie sono visibili nel consumo di mezzi tecnici e nella variazione delle rese. Tuttavia, i risultati relativi a questo livello sono stati riportati perché forniscono informazioni comunque importanti e perché rappresentano il livello di controllo per il fattore tecnico di lavorazione, a parità di livello di AP. In particolare, si può osservare che i costi totali del livello 2 di AP risultano sempre superiori a quelli di tutte le altre tesi e questo a causa del forte incremento di tutte le componenti di costo legate al valore d'acquisto delle macchine, cioè ammortamenti, manutenzione e riparazione. Ad esclusione di queste tre voci, tutti gli altri costi sembrano sostanzialmente coincidere, come è logico aspettarsi, con gli stessi rilevati per il livello 1 di AP. Di conseguenza, per il livello 2, sono valide tutte le considerazioni di seguito fatte per il livello 1.

Indipendentemente dal metodo di calcolo, per il livello 1 è stato rilevato sempre un vantaggio economico rispetto al livello 0, che va da una diminuzione dei costi minima di 7,76€/ha, calcolata con il metodo D, fino a un massimo di 10,48€/ha, restituito dal metodo A. Le componenti di costo che subiscono diminuzioni passando dal livello 0 al livello 1 sono tutte quelle che dipendono dai tempi di lavoro e cioè carburanti, lubrificanti, assicurazione, manutenzione, riparazione e costo del lavoro. A questi effetti positivi, si contrappongono tuttavia aumenti di due componenti, il canone per la correzione RTK, altrimenti assente, e gli ammortamenti, che aumentano per via dell'incremento del valore iniziale complessivo, nonostante la diminuzione dei tempi di lavoro. Date queste assunzioni di base, quindi, si può osservare un effettivo vantaggio nella riduzione dei costi per mezzo dell'adozione dell'AP su frumento che, seppur non di entità estremamente elevata, può aiutare a migliorare la redditività di questa coltura, soprattutto se si considera che a questo risparmio va aggiunto quello potenziale in mezzi tecnici, che è analizzato più avanti.

Merita un commento anche la riduzione dei costi osservabile con l'applicazione delle lavorazioni minime, dato che il vantaggio rilevato rispetto alla tesi T2, sua controfattuale, va da un minimo di 130,15€/ha con il metodo di calcolo C a un massimo di 149,67€/ha adottando il metodo di calcolo A. Tale riduzione è rilevabile su tutti i fronti, dato che la riduzione dei tempi di lavoro influisce positivamente su tutte le componenti di costo. In particolare, è interessante osservare come la riduzione dei consumi di carburante supera il 50% con tutti i metodi di calcolo. Per il frumento, essendo la minima lavorazione abbinata soltanto al livello 2 di AP, non si possono fare considerazioni sull'effetto dell'AP sui costi d'uso con questo tipo di lavorazione.

Nel grafico 7.1, i valori di costo d'uso ottenuti per le varie tesi con i diversi metodi di calcolo sono riportati in modo sintetico, divisi in tre categorie di voci di costo: fattori a logorio totale, fattori a logorio parziale e lavoro.

Grafico 7.1 - Confronto dei costi d'uso per unità di superficie tra metodi e tesi



Fonte: Elaborazione propria

7.2.2 - Effetti sul reddito su frumento

Fin qui è stata fatta una trattazione dettagliata della determinazione delle variazioni che l'AP porta sui costi d'uso delle macchine ma non si è parlato delle variazioni che subiscono gli altri costi e i ricavi.

Dalla sperimentazione in campo sono stati rilevati anche dati di questo genere, già riportati in una apposita pubblicazione (Chiodini, et al., 2018). In particolare, sono state esaminate le variazioni che l'AP ha portato sui costi per i mezzi tecnici e sui ricavi. I risultati, riportati nella tabella 7.6, inseriscono in un quadro più chiaro i dati riportati nel paragrafo precedente, soprattutto per quanto riguarda il livello 2 di AP.

Alcune considerazioni vanno fatte innanzitutto sulle rese. Le rese in trinciato della tesi T1 è inferiore a quella della tesi T0 e questo è probabilmente dovuto al fatto che la dose di

fertilizzante distribuita era subottimale e questo ha generato un aumento di resa nelle aree di sovrapposizione della tesi T0. Tuttavia, il reddito netto della tesi T1 è superiore a quello della T0, per via della forte riduzione dei costi consentito dall'AP e, un eventuale aumento della dose media di concime, oltre ad aver prodotto rese più simili, avrebbe generato una riduzione dei costi persino maggiore.

Tabella 7.6 - Conto economico del frumento per le quattro tesi (valori in €/ha)

	Trad. 0	Trad. 1	Trad. 2	Min. 2
RICAVI				
<i>Trinciato</i>	883,62	869,47	939,80	979,41
<i>Pagamenti Diretti</i>	400,00	400,00	400,00	400,00
Totale Ricavi	1.283,62	1.269,47	1.339,80	1.379,41
COSTI				
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,27	1,32	0,75
<i>Mappatura prossimale caratteristiche terreno</i>	0,00	0,00	5,00	5,00
<i>Concimi</i>	169,15	140,41	148,26	148,73
<i>Erbicidi</i>	13,05	12,96	12,96	13,30
<i>Fungicidi</i>	53,21	52,84	52,86	54,22
<i>Semente</i>	159,92	150,18	161,67	156,81
<i>Carburanti e lubrificanti</i>	44,12	41,26	40,73	14,13
<i>Manutenzione, riparazione e assicurazione</i>	80,52	78,88	85,01	34,48
Totale FLT	519,97	477,80	507,80	427,42
<i>Trattori</i>	32,97	30,63	31,10	16,66
<i>Macchine operatrici</i>	35,93	33,18	38,72	21,87
<i>Sistemi di guida</i>	0,00	4,64	4,80	3,38
Totale FLP	68,90	68,45	74,62	41,91
Costo Lavoro	55,98	51,52	52,51	19,83
Imposte	77,35	77,35	77,35	77,35
Interessi sul capitale di anticipazione	9,60	8,82	9,34	7,45
Affitto/Costo d'uso del capitale fondiario	375,00	375,00	375,00	375,00
Totale costi	1.106,80	1.058,94	1.096,60	948,96
Reddito Netto	176,82	210,52	243,19	430,44
Variazione rispetto a T0	0,00	33,70	66,37	253,62

Fonte: rielaborazione da Chiodini, et al., 2018

La tesi T2 ha ottenuto una resa maggiore, a dimostrazione del fatto che le tecniche VRT consentono un'allocazione ottimale dei nutrienti e quindi un potenziale aumento di resa, che in questo caso è stato del 6,36%. L'introduzione della minima lavorazione ha generato, nelle condizioni della sperimentazione, oltre le grandi diminuzioni di costi prima viste, anche un aumento di resa consistente rispetto alla tesi T2, pari al 4,21%.

Analizzando, invece, il risparmio in mezzi tecnici, passando dal livello 0 all'1, si nota una riduzione dei costi sostenuti di 28,74€/ha per i concimi e di 9,74€/ha per le sementi, mentre la riduzione di pochi centesimi dei costi per erbicidi e fungicidi non è da considerare significativa. Nonostante le dosi di concime e semente distribuite fossero probabilmente subottimali, questi dati mostrano come, per via della riduzione delle sovrapposizioni, si possa ottenere un risparmio rispettivamente del 16,99% e del 6,09% in questi due input. Queste componenti di costo aumentano, invece, passando al livello 2, a dimostrazione del fatto che la calibrazione delle dosi in base alle caratteristiche del terreno porta a una distribuzione basata sulle effettive necessità, che consente poi di conseguire le rese più elevate di cui sopra. I dati rilevati per la tesi M2 confermano sostanzialmente quanto già detto per il livello 2 di AP.

Tenendo conto delle variazioni di costi e ricavi così determinate, i dati sul costo d'uso delle macchine possono essere opportunamente integrati per avere una stima della variazione di reddito conseguibile con l'AP. Il reddito conseguibile con la coltura del frumento aumenta con l'adozione dell'AP e, soprattutto, con il passaggio ai livelli più alti e alla lavorazione minima, fino a diventare più del doppio passando dalla tesi T0 alla tesi M2. Unendo l'analisi più dettagliata dei costi d'uso fatta nel paragrafo precedente con le variazioni dei costi e dei ricavi osservate nella tabella 7.6, si perviene alla tabella 7.7, che illustra le variazioni di reddito calcolate con i diversi metodi di stima di consumi e costi di manutenzione e riparazione.

Tabella 7.7 - Variazioni del reddito nel frumento rispetto a T0, calcolate con i diversi metodi per le tre tesi (valori in €/ha)

Variazione di:	T1	T2	M2
<i>Ricavi</i>	-14,16	56,17	95,78
<i>Costo concimi</i>	-28,74	-20,89	-20,42
<i>Costo semente</i>	-9,74	1,75	-3,11
<i>Costo erbicidi</i>	-0,09	-0,09	0,25
<i>Costo fungicidi</i>	-0,38	-0,36	1,01
<i>Costo mappatura terreno</i>	0,00	5,00	5,00
<i>Costo d'uso macchine metodo A</i>	-10,48	2,05	-147,62
Reddito Metodo A	35,27	68,72	260,68
<i>Costo d'uso macchine metodo B</i>	-9,22	4,59	-133,89
Reddito Metodo B	34,00	66,17	246,95
<i>Costo d'uso macchine metodo C</i>	-8,00	5,55	-124,60
Reddito Metodo C	32,79	65,21	237,66
<i>Costo d'uso macchine metodo D</i>	-7,76	6,32	-129,20
Reddito Metodo D	32,55	64,44	242,26

Fonte: Elaborazione propria

Si vede, in definitiva, che l'applicazione dell'agricoltura di precisione nel frumento ha portato sempre a un incremento del reddito netto, secondo tutti i metodi di calcolo

utilizzati. Il livello 2 di AP, nonostante l'aumento dei costi d'uso delle macchine, porta a un aumento di reddito maggiore del livello 1 e la minima lavorazione consente di raggiungere i livelli di reddito più elevati.

7.2.3 - Analisi di sensitività dei risultati su frumento

Per giungere ai risultati illustrati in precedenza sono state assunte ipotesi di partenza riguardanti i prezzi dei fattori e l'organizzazione aziendale. Le ipotesi in questione, descritte e giustificate nel capitolo 6, fanno sì che i risultati reddituali individuati siano validi quando le suddette ipotesi si verificano. Tuttavia, i dati rilevati in questa sperimentazione, consentono di generalizzare i risultati a situazioni diverse da quella ipotizzata, mediante lo svolgimento di apposite simulazioni.

Le componenti di costo che più incidono sul costo d'uso totale sono quelle relative agli ammortamenti, al carburante e alle riparazioni. Mentre quest'ultima voce è poco soggetta a variazioni al variare dei prezzi di mercato e delle realtà aziendali, le altre due si prestano alla simulazione di interessanti scenari.

Il carburante può subire negli anni variazioni anche consistenti del proprio prezzo, quindi limitare la valutazione a un solo scenario sarebbe riduttivo. Sono state quindi svolte delle simulazioni in cui, rispetto al prezzo attuale di 0,8€/l, sono stati considerati aumenti del 10% e del 20% e una diminuzione del 20%. I risultati di tali simulazioni sono riportati nella tabella 7.8. Come è logico aspettarsi, dal momento che l'AP porta a una diminuzione del consumo di gasolio, un aumento del prezzo fa aumentare la convenienza dell'AP mentre una diminuzione la fa diminuire.

Tabella 7.8a - Analisi di sensitività dei risultati su frumento rispetto al prezzo del gasolio per i diversi metodi di calcolo (valori in €/ha)

Var. prezzo gasolio	Componente di costo	Metodo A				Metodo B			
		T0	T1	T2	M2	T0	T1	T2	M2
0	Costo gasolio	55,28	51,71	50,95	17,60	37,01	34,58	35,10	12,91
	Totale FLT	137,37	130,87	136,21	52,21	119,12	113,88	120,51	47,69
	Tot. costi	262,25	251,77	264,29	114,63	244,00	234,78	248,59	110,10
	Var. su T0	0,00	-10,48	2,05	-147,62	0,00	-9,22	4,59	-133,89
+10%	Costo gasolio	60,81	56,88	56,04	19,36	40,71	38,04	38,61	14,20
	Totale FLT	142,90	136,04	141,31	53,97	122,82	117,34	124,02	48,98
	Tot. costi	267,77	256,94	269,39	116,39	247,70	238,24	252,10	111,39
	Var. su T0	0,00	-10,83	1,61	-151,39	0,00	-9,46	4,40	-136,30
+20%	Costo gasolio	66,34	62,05	61,14	21,12	44,41	41,49	42,12	15,49
	Totale FLT	148,43	141,21	146,40	55,73	126,52	120,80	127,53	50,27
	Tot. costi	273,30	262,11	274,48	118,15	251,40	241,70	255,61	112,68
	Var. su T0	0,00	-11,19	1,18	-155,16	0,00	-9,70	4,21	-138,71
-20%	Costo gasolio	44,23	41,37	40,76	14,08	29,60	27,66	28,08	10,33
	Totale FLT	126,31	120,53	126,02	48,69	111,72	106,96	113,49	45,10
	Tot. costi	251,19	241,43	254,10	111,11	236,59	227,86	241,57	107,52
	Var. su T0	0,00	-9,76	2,91	-140,09	0,00	-8,73	4,97	-129,07

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.8b - Analisi di sensitività dei risultati su frumento rispetto al prezzo del gasolio (valori in €/ha)

Var. prezzo gasolio	Componente di costo	Metodo C				Metodo D			
		T0	T1	T2	M2	T0	T1	T2	M2
0	Costo gasolio	37,01	34,58	35,10	12,91	48,89	46,73	47,77	20,56
	Totale FLT	102,44	98,42	104,79	40,30	114,60	110,82	117,72	47,87
	Tot. costi	227,32	219,32	232,87	102,72	239,48	231,72	245,80	110,28
	Var. su T0	0,00	-8,00	5,55	-124,60	0,00	-7,76	6,32	-129,20
+10%	Costo gasolio	40,71	38,04	38,61	14,20	53,78	51,40	52,55	22,62
	Totale FLT	106,14	101,87	108,30	41,59	119,49	115,50	122,50	49,92
	Tot. costi	231,02	222,77	236,38	104,01	244,37	236,40	250,58	112,34
	Var. su T0	0,00	-8,24	5,36	-127,01	0,00	-7,98	6,21	-132,03
+20%	Costo gasolio	44,41	41,49	42,12	15,49	58,67	56,08	57,32	24,68
	Totale FLT	109,84	105,33	111,81	42,88	124,38	120,17	127,28	51,98
	Tot. costi	234,72	226,23	239,89	105,30	249,26	241,07	255,36	114,40
	Var. su T0	0,00	-8,49	5,17	-129,42	0,00	-8,19	6,10	-134,86
-20%	Costo gasolio	29,60	27,66	28,08	10,33	39,11	37,39	38,22	16,45
	Totale FLT	95,04	91,50	97,77	37,72	104,82	101,48	108,17	43,75
	Tot. costi	219,92	212,40	225,85	100,14	229,70	222,38	236,25	106,17
	Var. su T0	0,00	-7,52	5,93	-119,78	0,00	-7,33	6,55	-123,53

Fonte: Elaborazione propria

I risultati dell'analisi, al variare del prezzo del gasolio, non subiscono variazioni decisive, dal momento che le differenze di costi connesse all'impiego dell'AP non si discostano, in nessun caso, di più del 10% da quelle originariamente calcolate. In ogni caso, l'analisi ci permette di concludere che un eventuale abbassamento del prezzo del gasolio non comprometterebbe la convenienza dell'AP e, in caso di un eventuale aumento, gli agricoltori che praticano l'AP e la minima lavorazione ne subirebbero l'effetto negativo in modo meno accentuato degli altri.

Per quanto riguarda gli ammortamenti, tutti i calcoli esposti finora sono stati eseguiti assumendo che l'azienda presa in esame utilizzasse tutte le macchine per un monte orario annuo elevato, con conseguenti costi orari di ammortamento ridotti. Questa considerazione è valida anche per le dotazioni di AP, per le quali è stata assunta un'utilizzazione annua di 1000 ore. Inoltre, come spiegato nel paragrafo 6.6.1, si è considerato che, all'aumento della capacità operativa delle macchine conseguente all'utilizzo dell'AP, non conseguisse una diminuzione dell'utilizzo annuo delle stesse, bensì un aumento di superficie lavorata così da mantenere costante l'utilizzo annuo. Tutte queste assunzioni possono effettivamente verificarsi soltanto in un'azienda di grandi dimensioni, con un parco macchine ben dimensionato che lavora al massimo delle sue potenzialità e per il quale un aumento di capacità operativa equivale a un aumento della superficie dominata. Tuttavia, nelle realtà aziendali italiane, questa circostanza non è molto comune. Infatti, le limitate superfici fanno sì che le macchine siano sotto-utilizzate

e, di conseguenza, anche le dotazioni di AP siano utilizzate per un monte orario inferiore. Inoltre, per questo tipo di aziende, a un aumento di capacità operativa, spesso non corrisponde un aumento delle superfici lavorate e quindi il costo di ammortamento per unità di superficie non subisce la tendenza alla diminuzione con l'introduzione dell'AP, ma solo quella all'aumento, dovuta all'aumento dei valori d'acquisto. Date queste circostanze, si è ritenuto opportuno svolgere una simulazione utilizzando metodi di calcolo che prendessero in considerazione tale eventualità. In questo caso, quindi, i costi di ammortamento delle macchine sono stati adattati considerando un utilizzo annuo pari alla metà del precedente e non diminuendo i costi di ammortamento per unità di superficie in considerazione della diminuzione dei tempi di lavoro. Tale trasformazione, interessando solo assunzioni di base fatte per l'elaborazione dei dati e non i dati stessi, rilevati nella prova parcellare, non introduce nessun ulteriore elemento di arbitrarietà nell'elaborazione e risulta pertanto altrettanto valida dal punto di vista metodologico.

Nella tabella 7.9 si riportano i dati di costo e di reddito così ottenuti, per i vari metodi di calcolo dei costi d'uso e per le diverse tesi, considerando per il reddito i dati di ricavo e costo descritti al paragrafo 7.2.2.

Tabella 7.9 - Risultati dell'analisi di sensitività all'utilizzo annuo con i vari metodi (valori in €/ha)

	T0	T1	T2	M2
<i>Amm. trattrici</i>	65,95	65,95	65,95	30,01
<i>Amm. operatrici</i>	71,85	72,52	84,63	82,94
<i>Amm. Sistemi di guida</i>	0,00	11,15	11,51	11,51
Totale FLP	137,80	149,61	162,10	124,47
Metodo A				
Totale costi d'uso	331,15	332,01	350,81	196,51
Variazione costo totale rispetto a T0	0,00	0,86	19,67	-134,64
Variazione del reddito rispetto a T0	0,00	23,93	51,09	247,69
Metodo B				
Totale costi d'uso	312,90	315,02	335,11	191,98
Variazione costo totale rispetto a T0	0,00	2,12	22,21	-120,91
Variazione del reddito rispetto a T0	0,00	22,67	48,55	233,96
Metodo C				
Totale costi d'uso	296,22	299,55	319,39	184,60
Variazione costo totale rispetto a T0	0,00	3,33	23,18	-111,62
Variazione del reddito rispetto a T0	0,00	21,46	47,58	224,67
Metodo D				
Totale costi d'uso	308,38	311,96	332,33	192,16
Variazione costo totale rispetto a T0	0,00	3,58	23,95	-116,22
Variazione del reddito rispetto a T0	0,00	21,21	46,81	229,27

Fonte: Elaborazione propria

Raddoppiando i costi di ammortamento, i costi totali subiscono un forte aumento ma questo effetto colpisce indistintamente tutte le tesi. Ciò che più ha impatto sui costi di ammortamento è il fatto di mantenere la superficie costante che comporta che i costi di ammortamento non diminuiscano al diminuire dei tempi di lavoro. Questo fa sì che i costi di ammortamento per unità di superficie tendano a non diminuire con l'adozione dell'AP ma, anzi, registrino un aumento. In questo modo, nella tesi M2, nonostante l'aumento dei costi di ammortamento, grazie al parco macchine fortemente semplificato, si verifica una forte diminuzione dei costi di ammortamento rispetto alla tesi T0. In questo modo, i costi d'uso per unità di superficie della tesi T1, finora inferiori a quelli della T0 in tutte le simulazioni fatte, diventano maggiori. Quelli della tesi M2, vista la forte riduzione dei tempi di lavoro e dei costi connessi, rimangono comunque fortemente inferiori alla T0.

Il risparmio di input e l'aumento di resa consentiti dall'AP generano una variazione positiva del reddito con l'adozione dell'AP, per tutte le tesi e con tutti i metodi di calcolo, anche se di entità inferiore ai casi prima considerati.

7.3 - Risultati dell'elaborazione per il mais

7.3.1 - Costi d'uso su mais

Nelle tabelle 7.10, 7.11, 7.12 e 7.13 si riportano i risultati trovati su mais, con lo stesso formato di quelli illustrati nel frumento.

Per quanto riguarda le differenze tra i metodi di calcolo, per il mais queste sono lievemente inferiori a quelle calcolate per il frumento, fatto salvo un dato evidentemente *outlier* fornito per i consumi di carburante con il metodo misurato per la tesi MT0. I coefficienti di variabilità calcolati tra i risultati del costo d'uso totale dei quattro metodi per ogni tesi, hanno valori compresi tra il 3,00% e il 5,86%, che corrispondono a differenze massime tra i metodi per ogni tesi che vanno dai 10,39€/ha ai 27,53€/ha. La differenza tra i metodi di calcolo è più consistente se considerata per le singole componenti di costo stimate, cioè consumi di carburante, con CV tra il 12,30% e il 24,87% e manutenzione e riparazione, con CV tra il 13,71% e il 18,55%. Il CV massimo per i consumi è tuttavia reso così elevato dal suddetto *outlier* della tesi MT0. Anche per il mais, per il calcolo dei consumi di carburante, la formula Sartori restituisce i risultati tendenzialmente più bassi. Eccezione è fatta dai consumi calcolati per le lavorazioni tradizionali, dove il metodo Sartori fornisce risultati simili al misurato (tranne per la tesi MT0, per la quale il dato misurato è molto inferiore) mentre il risultato dato dalle formule ASABE è sensibilmente superiore, soprattutto a causa della stima del consumo in erpicatura, che fornisce un valore molto elevato. Per quanto riguarda i costi di

manutenzione e riparazione, si verifica anche in questo caso la differenza sostanziale tra modello a potenza e i due modelli lineari, tra loro sostanzialmente equivalenti. Anche per il mais, tutti i metodi restituiscono la stessa graduatoria delle tesi ordinate per costi d'uso totale e si può concludere, quindi, che non sussistono differenze sostanziali.

Tabella 7.10 - Costi d'uso per unità di superficie calcolati con il metodo A per ogni tesi (valori in €/ha)

Metodo A								
Componente di costo	T0	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
FATTORI A LOGORIO TOTALE (FLT)								
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,09	1,10	0,00	0,75	0,75	0,73	0,76
<i>Assicurazione macchine</i>	0,36	0,34	0,34	0,15	0,15	0,15	0,12	0,13
<i>Gasolio</i>	53,52	68,36	67,28	35,80	35,14	35,83	24,40	24,15
<i>Lubrificante</i>	2,21	2,26	2,25	1,01	0,97	1,01	0,87	0,91
<i>Manutenzione</i>	21,27	22,61	22,60	6,68	7,10	7,36	6,72	7,05
<i>Riparazione</i>	77,49	79,65	83,75	30,44	30,33	34,67	35,10	41,48
Totale FLT	154,85	174,31	177,32	74,08	74,44	79,77	67,94	74,48
FATTORI A LOGORIO PARZIALE (FLP)								
<i>Trattori</i>	42,27	42,84	42,70	17,56	17,10	17,71	22,54	23,81
<i>Aratro</i>	8,65	8,70	8,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Coltivatore ad ancore</i>	0,00	0,00	0,00	3,03	2,95	3,01	0,00	0,00
<i>Strip tiller</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,20	15,07
<i>Erpice rotante</i>	15,08	15,13	15,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Erpice a dischi</i>	5,42	5,54	5,54	3,62	3,36	3,45	0,00	0,00
<i>Botte diserbo</i>	3,26	2,97	4,53	2,74	2,73	3,82	3,41	5,24
<i>Spandiconcime</i>	0,47	0,48	0,64	0,49	0,52	0,69	0,63	0,86
<i>Seminatrice di precisione</i>	6,77	7,00	10,53	6,91	6,90	10,06	7,53	11,52
<i>Rullo</i>	0,29	0,54	0,53	0,49	0,44	0,67	0,00	0,00
<i>Sistema di guida</i>	0,00	6,60	6,65	0,00	4,42	4,41	4,19	4,36
Totale FLP	82,20	89,79	94,89	34,84	38,43	43,84	52,50	60,86
LAVORO								
Lavoro	58,87	60,49	60,39	29,53	28,47	29,88	23,57	24,62
Tot. costi d'uso per unità di superficie	295,92	324,60	332,60	138,46	141,33	153,50	144,00	159,96
Variazione rispetto a T0	0,00	28,67	36,68	-157,47	-154,59	-142,43	-151,93	-135,97
Variazione rispetto a livello minimo AP	0,00	28,67	36,68	0,00	2,88	15,04	0,00	15,96

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.11 - Costi d'uso per unità di superficie calcolati con il metodo B per ogni tesi (valori in €/ha)

Metodo B								
Componente di costo	T0	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
FATTORI A LOGORIO TOTALE (FLT)								
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,09	1,10	0,00	0,75	0,75	0,73	0,76
<i>Assicurazione macchine</i>	0,36	0,34	0,34	0,15	0,15	0,15	0,12	0,13
<i>Gasolio</i>	67,87	68,72	68,52	27,00	25,94	26,76	23,50	24,81
<i>Lubrificante</i>	2,75	2,80	2,79	1,23	1,18	1,22	1,07	1,13
<i>Manutenzione</i>	21,07	22,61	22,60	6,68	7,10	7,36	6,72	7,05
<i>Riparazione</i>	77,49	79,65	83,75	30,44	30,33	34,67	35,10	41,48
Totale FLT	169,74	175,22	179,11	65,50	65,45	70,92	67,24	75,35
FATTORI A LOGORIO PARZIALE (FLP)								
<i>Trattori</i>	42,27	42,84	42,70	17,56	17,10	17,71	22,54	23,81
<i>Aratro</i>	8,65	8,70	8,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Coltivatore ad ancore</i>	0,00	0,00	0,00	3,03	2,95	3,01	0,00	0,00
<i>Strip tiller</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,20	15,07
<i>Erpice rotante</i>	15,08	15,13	15,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Erpice a dischi</i>	5,42	5,54	5,54	3,62	3,36	3,45	0,00	0,00
<i>Botte diserbo</i>	3,26	2,97	4,53	2,74	2,73	3,82	3,41	5,24
<i>Spandiconcime</i>	0,47	0,48	0,64	0,49	0,52	0,69	0,63	0,86
<i>Seminatrice di precisione</i>	6,77	7,00	10,53	6,91	6,90	10,06	7,53	11,52
<i>Rullo</i>	0,29	0,54	0,53	0,49	0,44	0,67	0,00	0,00
<i>Sistema di guida</i>	0,00	6,60	6,65	0,00	4,42	4,41	4,19	4,36
Totale FLP	82,20	89,79	94,89	34,84	38,43	43,84	52,50	60,86
LAVORO								
Lavoro	57,87	60,49	60,39	29,53	28,47	29,88	23,57	24,62
Tot. costi d'uso per unità di superficie	310,81	325,50	334,39	129,87	132,35	144,64	143,30	160,83
Variazione rispetto a T0	0,00	14,69	23,57	-180,94	-178,47	-166,17	-167,52	-149,99
Variazione rispetto a livello minimo AP	0,00	14,69	23,57	0,00	2,48	14,77	0,00	17,53

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.12 - Costi d'uso per unità di superficie calcolati con il metodo C per ogni tesi (valori in €/ha)

Metodo C								
Componente di costo	T0	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
FATTORI A LOGORIO TOTALE (FLT)								
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,09	1,10	0,00	0,75	0,75	0,73	0,76
<i>Assicurazione macchine</i>	0,36	0,34	0,34	0,15	0,15	0,15	0,12	0,13
<i>Gasolio</i>	67,87	68,72	68,52	27,00	25,94	26,76	23,50	24,81
<i>Lubrificante</i>	2,75	2,80	2,79	1,23	1,18	1,22	1,07	1,13
<i>Manutenzione</i>	15,38	16,56	16,56	3,72	4,26	4,37	4,36	4,58
<i>Riparazione</i>	59,81	61,75	65,88	23,43	23,59	27,73	27,59	33,55
Totale FLT	146,17	151,26	155,20	55,53	55,87	60,99	57,36	64,96
FATTORI A LOGORIO PARZIALE (FLP)								
<i>Trattori</i>	42,27	42,84	42,70	17,56	17,10	17,71	22,54	23,81
<i>Aratro</i>	8,65	8,70	8,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Coltivatore ad ancore</i>	0,00	0,00	0,00	3,03	2,95	3,01	0,00	0,00
<i>Strip tiller</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,20	15,07
<i>Erpice rotante</i>	15,08	15,13	15,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Erpice a dischi</i>	5,42	5,54	5,54	3,62	3,36	3,45	0,00	0,00
<i>Botte diserbo</i>	3,26	2,97	4,53	2,74	2,73	3,82	3,41	5,24
<i>Spandiconcime</i>	0,47	0,48	0,64	0,49	0,52	0,69	0,63	0,86
<i>Seminatrice di precisione</i>	6,77	7,00	10,53	6,91	6,90	10,06	7,53	11,52
<i>Rullo</i>	0,29	0,54	0,53	0,49	0,44	0,67	0,00	0,00
<i>Sistema di guida</i>	0,00	6,60	6,65	0,00	4,42	4,41	4,19	4,36
Totale FLP	82,20	89,79	94,89	34,84	38,43	43,84	52,50	60,86
LAVORO								
Lavoro	57,87	60,49	60,39	29,53	28,47	29,88	23,57	24,62
Tot. costi d'uso per unità di superficie	287,24	301,54	310,48	119,90	122,77	134,71	133,43	150,44
Variazione rispetto a T0	0,00	14,30	23,23	-167,34	-164,48	-152,53	-153,82	-136,81
Variazione rispetto a livello minimo AP	0,00	14,30	23,23	0,00	2,87	14,81	0,00	17,01

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.13 - Costi d'uso per unità di superficie calcolati con il metodo D per ogni tesi (valori in €/ha)

Metodo D								
Componente di costo	T0	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
FATTORI A LOGORIO TOTALE (FLT)								
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,09	1,10	0,00	0,75	0,75	0,73	0,76
<i>Assicurazione macchine</i>	0,36	0,34	0,34	0,15	0,15	0,15	0,12	0,13
<i>Gasolio</i>	95,86	97,03	96,74	37,37	35,99	37,06	29,97	31,61
<i>Lubrificante</i>	2,21	2,26	2,25	1,01	0,97	1,01	0,87	0,91
<i>Manutenzione</i>	15,38	16,56	16,56	3,72	4,26	4,37	4,36	4,58
<i>Riparazione</i>	59,59	61,51	65,64	22,83	23,03	27,14	27,77	33,74
Totale FLT	173,40	178,79	182,64	65,08	65,15	70,49	63,82	71,73
FATTORI A LOGORIO PARZIALE (FLP)								
<i>Trattori</i>	42,27	42,84	42,70	17,56	17,10	17,71	22,54	23,81
<i>Aratro</i>	8,65	8,70	8,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Coltivatore ad ancore</i>	0,00	0,00	0,00	3,03	2,95	3,01	0,00	0,00
<i>Strip tiller</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,20	15,07
<i>Erpice rotante</i>	15,08	15,13	15,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Erpice a dischi</i>	5,42	5,54	5,54	3,62	3,36	3,45	0,00	0,00
<i>Botte diserbo</i>	3,26	2,97	4,53	2,74	2,73	3,82	3,41	5,24
<i>Spandiconcime</i>	0,47	0,48	0,64	0,49	0,52	0,69	0,63	0,86
<i>Seminatrice di precisione</i>	6,77	7,00	10,53	6,91	6,90	10,06	7,53	11,52
<i>Rullo</i>	0,29	0,54	0,53	0,49	0,44	0,67	0,00	0,00
<i>Sistema di guida</i>	0,00	6,60	6,65	0,00	4,42	4,41	4,19	4,36
Totale FLP	84,85	89,79	94,89	34,84	38,43	43,84	52,50	60,86
LAVORO								
Lavoro	58,87	60,49	60,39	29,53	28,47	29,88	23,57	24,62
Tot. costi d'uso per unità di superficie	314,47	329,08	337,92	129,46	132,05	144,22	139,88	157,21
Variazione rispetto a T0	0,00	14,60	23,45	-185,02	-182,42	-170,26	-174,60	-157,26
Variazione rispetto a livello minimo AP	0,00	14,60	23,45	0,00	2,59	14,76	0,00	17,33

Fonte: Elaborazione propria

Per quanto riguarda il livello 2 di AP, valgono le stesse considerazioni fatte per il frumento, visto che l'ovvio aumento dei costi d'uso deve essere coadiuvato da dati sui ricavi e sugli altri costi per giungere a una valutazione economica. Anche in questo caso si assiste a una aumento di tutti i costi connessi al valore di acquisto delle macchine, che porta a costi totali più alti degli altri livelli di AP.

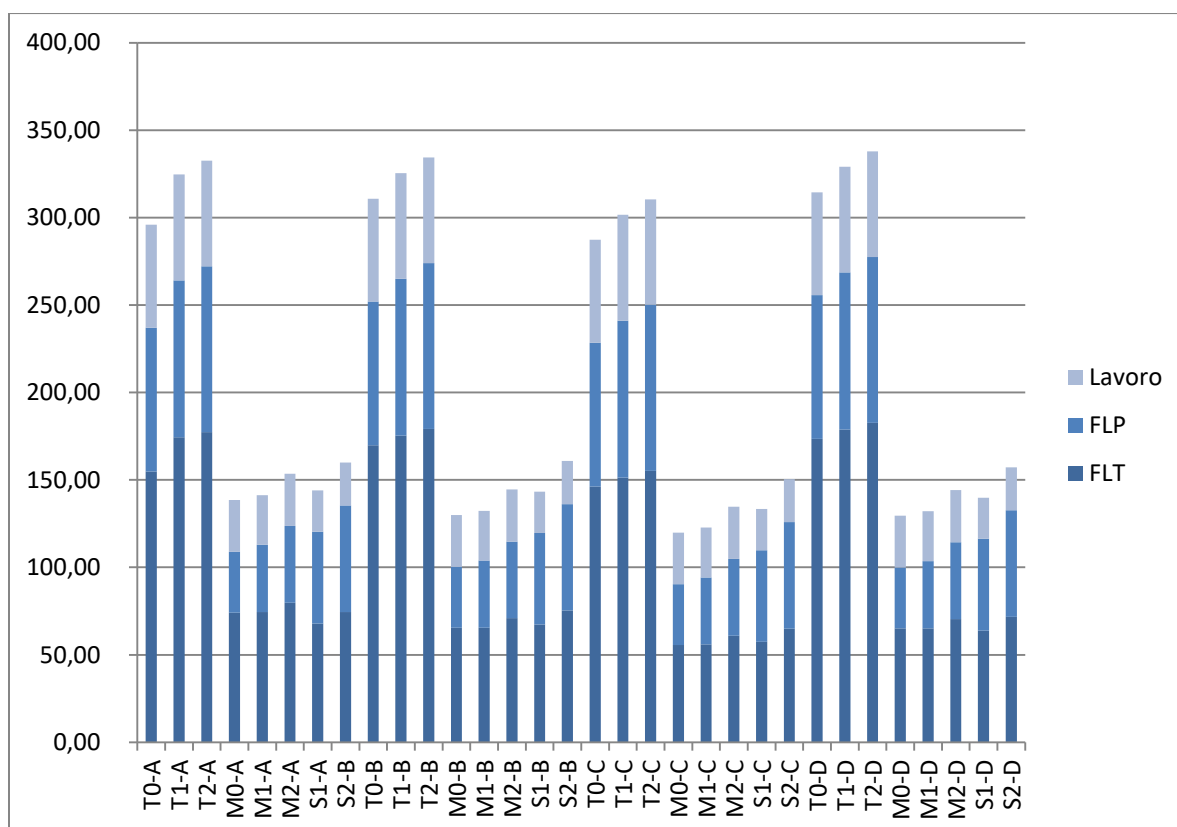
Il passaggio da livello 0 a 1, nel mais, non comporta una riduzione dei costi d'uso totali, a differenza che nel frumento. Questo perché, nelle lavorazioni tradizionali, i tempi necessari allo svolgimento delle operazioni non subiscono variazioni significative tra i due livelli e, al contempo, il livello 1 risente dei maggiori costi di ammortamento. Per le lavorazioni minime, nonostante la riduzione dei tempi si verifichi, questa non è sufficiente

a far si che i costi d'uso totali siano inferiori per la tesi MM1 rispetto alla MM0, anche se la differenza di costi è quasi nulla. Tuttavia tali risultati andranno riconsiderati meglio analizzando l'influenza sul reddito.

Anche nel mais, analizzando separatamente l'effetto dell'adozione della minima lavorazione, si osservano risparmi consistenti nei costi d'uso, con vantaggi sempre superiori ai 150€/ha. Anche in questo caso il vantaggio è ottenuto in tutte quelle componenti di costo legate ai tempi di lavoro. Il risparmio di carburanti nel mais, nella maggior parte dei casi, supera di slancio il 50%. Anche lo strip tillage consente una consistente riduzione dei costi, solo leggermente inferiore alla minima lavorazione, ma questo risultato è influenzato dal fatto che in concomitanza con l'esecuzione dello strip tillage è stato distribuito liquame e questo ha influenzato negativamente i consumi di carburante e gli ammortamenti, per via della necessità di un trattore di maggiore potenza e quindi valore.

Nel grafico 7.2, i valori di costo d'uso ottenuti per le varie tesi con i diversi metodi di calcolo sono riportati in modo sintetico, divisi in tre categorie di voci di costo: fattori a logorio totale, fattori a logorio parziale e lavoro.

Grafico 7.2 - Confronto dei costi d'uso per unità di superficie tra metodi e tesi



Fonte: Elaborazione propria

7.3.2 - Effetti sul reddito su mais

Anche per il mais bisogna fare delle considerazioni sulle variazioni subite dagli altri costi e dai ricavi in presenza di AP e minima lavorazione. Anche in questo caso i dati a riguardo provengono dalla stessa sperimentazione, sono riportati in un altro articolo (Chiodini et al., 2018) e sono illustrati nella tabella 7.14.

Tabella 7.14a - Conto economico del mais per le otto tesi (valori in €/ha)

	Trad. 0	Trad. 1	Trad. 2	Min. 0
RICAVI				
<i>Trinciato</i>	2.285,06	2.090,36	2.448,67	2.461,82
<i>Pagamenti diretti</i>	400,00	400,00	400,00	400,00
Totale Ricavi	2.685,06	2.490,36	2.848,67	2.861,82
COSTI				
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,00	1,09	1,10	0,00
<i>Mappatura prossimale caratteristiche terreno</i>	0,00	0,00	10,00	0,00
<i>Concimi</i>	158,27	142,56	142,75	158,31
<i>Erbicidi</i>	94,09	77,38	78,21	94,05
<i>Geodisinfestante</i>	37,08	37,08	37,09	37,09
<i>Semente</i>	187,84	187,99	231,36	184,25
<i>Carburanti e lubrificanti</i>	61,67	70,62	69,53	36,81
<i>Manutenzione, riparazione e assicurazione</i>	106,52	102,60	106,69	37,27
<i>Servizi contoterzismo</i>	360,00	360,00	360,00	360,00
Totale FLT	1.005,47	979,32	1.036,73	907,78
<i>Trattori</i>	42,27	42,84	42,70	17,56
<i>Macchine operatrici</i>	42,59	40,36	45,54	17,28
<i>Sistema di guida</i>	0,00	6,61	6,65	-
Totale FLT	84,85	89,79	94,89	34,84
Costo lavoro	63,86	60,49	60,39	29,53
Imposte	159,25	159,25	159,25	159,25
Interessi sul capitale di anticipazione	17,82	17,33	18,29	15,62
Affitto/costo d'uso del capitale fondiario	750,00	750,00	750,00	750,00
Totale Costi	2.081,26	2.056,19	2.119,54	1.897,03
Reddito Netto	603,79	434,17	729,13	964,79
Variazione rispetto a T0	0,00	-169,62	125,34	361,00
Variazione rispetto a livello minimo AP	0,00	-169,62	125,34	0,00

Fonte: rielaborazione da Chiodini et al., 2018

Tabella 7.14b - Conto economico del mais per le otto tesi (valori in €/ha)

	Min. 1	Min. 2	Strip 1	Strip 2
RICAVI				
<i>Trinciato</i>	2.357,77	2.503,74	2.296,40	2.472,37
<i>Pagamenti diretti</i>	400,00	400,00	400,00	400,00
Totale Ricavi	2.757,77	2.903,74	2.696,40	2.872,37
COSTI				
<i>Canone Segnale Satellitare</i>	0,75	0,75	0,73	0,76
<i>Mappatura prossimale caratteristiche terreno</i>	-	10,00	-	10,00
<i>Concimi</i>	145,23	110,65	165,17	118,98
<i>Erbicidi</i>	77,54	78,45	107,62	88,70
<i>Geodisinfestante</i>	37,08	37,09	42,26	41,89
<i>Semente</i>	183,28	224,32	205,67	257,20
<i>Carburanti e lubrificanti</i>	36,11	36,84	25,27	25,06
<i>Manutenzione, riparazione e assicurazione</i>	37,58	42,18	41,94	48,66
<i>Servizi contoterzismo</i>	360,00	360,00	360,00	360,00
Totale FLT	877,57	900,28	948,66	951,25
<i>Trattori</i>	17,11	17,71	22,54	23,81
<i>Macchine operatrici</i>	16,90	21,70	25,77	32,69
<i>Sistema di guida</i>	4,42	4,41	4,18	4,36
Totale FLT	38,43	43,84	52,50	60,86
Costo lavoro	28,47	29,88	23,57	24,62
Imposte	159,25	159,25	159,25	159,25
Interessi sul capitale di anticipazione	15,10	15,50	16,20	16,26
Affitto/costo d'uso del capitale fondiario	750,00	750,00	750,00	750,00
Totale Costi	1.868,81	1.898,76	1.950,17	1.962,24
Reddito Netto	888,96	1.004,98	746,23	910,13
Variazione rispetto a T0	285,17	401,19	142,44	306,34
Variazione rispetto a livello minimo AP	-75,83	40,19	0,00	163,90

Fonte: rielaborazione da Chiodini et al., 2018

Per quanto riguarda le rese, si osserva che, come per il frumento, la produzione di trinciato delle tesi con livello 1 di AP è inferiore a quella delle tesi con livello 0 e, anche in questo caso, ciò è probabilmente dovuto alla dose di fertilizzante subottimale che ha generato un incremento di resa nelle aree di sovrapposizione delle tesi 0. Tuttavia, mentre nel frumento la diminuzione di resa non era tale da compromettere il vantaggio economico del passaggio al livello 1, in questo caso la differenza di reddito tra livello 1 e 0 è negativa, nonostante i costi totali siano significativamente inferiori. Infatti, la riduzione dei costi totali a ettaro che si osserva passando dalla tesi T0 alla T1 è di 25,07€/ha,

mentre quella da M0 a M1 è di 28,22€/ha, dovuti, oltre alla riduzione dei costi d'uso, alla diminuzione dei costi sostenuti per concimi ed erbicidi. In particolare, con l'introduzione del livello 1 di AP è stata osservata una riduzione del consumo di concimi tra l'8,26% e il 9,93% e di erbicidi tra il 17,55% e il 17,76%, mentre il consumo di semente è rimasto sostanzialmente invariato, probabilmente a causa della regolarità degli appezzamenti che non ha consentito di rendere evidente il vantaggio del controllo delle sezioni.

Le tesi con livello 2 di AP hanno ottenuto una resa maggiore di tutti i livelli inferiori, indipendentemente dalla tecnica di lavorazione, probabilmente perché, nonostante la dose media di fertilizzante fosse subottimale, la distribuzione a rateo variabile ha consentito comunque di supplire carenze localizzate. In particolare, l'aumento di resa da T0 a T2 è stato del 7,16% mentre quello da M0 a M2 dell'1,70%. I costi di produzione delle tesi con livello 2 rispetto a quelle inferiori subiscono in ogni caso un aumento, ma l'incremento di resa lo compensa ampiamente. L'aumento dei costi è dovuto alla mappatura del suolo, all'aumento delle voci connesse al valore del parco macchine e alla dose più elevata di semente, la cui determinazione è risultata dalle mappe di prescrizione che, per consentire di sfruttare le aree ad alto potenziale, fanno sì che a queste aree sia applicata una dose più alta di semente.

Per quanto riguarda l'effetto della tecnica di lavorazione, si osserva un aumento di resa partendo dalla lavorazione tradizionale, passando per lo strip tillage fino alla resa massima ottenuta nella minima lavorazione. L'aumento di resa consentito dalla minima lavorazione rispetto a quella tradizionale va da un minimo del 2,25% ottenuto con il livello 2 di AP fino a un massimo del 12,79% ottenuto per il livello 1. La resa in strip tillage è leggermente inferiore a quella della minima lavorazione ma si registrano comunque aumenti dello 0,97% e del 9,86% rispettivamente per il livello 2 e 1 passando dalla lavorazione tradizionale allo strip tillage a parità di livello di AP. Le lavorazioni minime consentono anche una forte riduzione dei costi rispetto a quelle tradizionali, con un risparmio minimo di 184,23€/ha per il livello 0 e massimo di 220,78€/ha per il livello 2. La riduzione dei costi totali ottenuta grazie allo strip tillage è inferiore a quella permessa dalla minima lavorazione.

Anche per il mais è opportuno integrare questi dati di costo con quelli ottenuti per il costo d'uso delle macchine e illustrati al paragrafo precedente. Ne risultano le tabelle 7.15 e 7.16 che mostrano le differenze delle voci del conto economico interessate dall'AP, rispettivamente rispetto alla tesi T0 e rispetto alla tesi con livello di AP più basso per uguale metodo di lavorazione.

Nel complesso, si vede che il reddito varia negativamente con l'adozione del livello 1 di precisione e questo a causa della già menzionata diminuzione di resa verificatasi. La diminuzione dei costi totali consentita dal livello 1 è piuttosto ridotta per via, come si è visto, della mancata riduzione dei tempi di lavoro. Il livello 2 di AP, nonostante il

consistente aumento di alcune voci di costo, comporta un forte aumento di reddito, soprattutto per il sostanziale aumento delle rese.

Tabella 7.15 - Variazioni del reddito nel mais rispetto a T0, calcolate con i diversi metodi per le sette tesi (valori in €/ha)

Variazione di:	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
<i>Ricavi</i>	-194,70	163,61	176,76	72,71	218,68	11,34	187,31
<i>Costo concimi</i>	-15,71	-15,52	0,04	-13,04	-47,62	6,90	-39,29
<i>Costo semente</i>	0,15	43,52	-3,59	-4,56	36,48	17,83	69,36
<i>Costo erbicidi</i>	-16,71	-15,88	-0,04	-16,55	-15,64	13,53	-5,39
<i>Costo geodisinfestante</i>	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	5,18	4,81
<i>Costo mappatura terreno</i>	0,00	10,00	0,00	0,00	10,00	0,00	10,00
<i>Costo d'uso macchine metodo A</i>	28,67	36,68	-157,47	-154,59	-142,43	-151,93	-135,97
Reddito Metodo A	-191,10	104,80	337,81	261,45	377,88	119,83	283,79
<i>Costo d'uso macchine metodo B</i>	14,69	23,57	-180,94	-178,47	-166,17	-167,52	-149,99
Reddito Metodo B	-177,12	117,91	361,28	285,33	401,62	135,42	297,81
<i>Costo d'uso macchine metodo C</i>	14,30	23,23	-167,34	-164,48	-152,53	-153,82	-136,81
Reddito Metodo C	-176,73	118,25	347,68	271,34	387,98	121,72	284,63
<i>Costo d'uso macchine metodo D</i>	14,60	23,45	-185,02	-182,42	-170,26	-174,60	-157,26
Reddito Metodo D	-177,03	118,03	365,36	289,28	405,71	142,50	305,08

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.16 - Variazioni del reddito nel mais rispetto al livello minimo di AP di ogni tecnica di lavorazione, calcolate con i diversi metodi per le cinque tesi (valori in €/ha)

Variazione di:	T1	T2	M1	M2	S2
<i>Ricavi</i>	-194,70	163,61	-104,05	41,92	175,97
<i>Costo concimi</i>	-15,71	-15,52	-13,08	-47,66	-46,19
<i>Costo semente</i>	0,15	43,52	-0,97	40,07	51,53
<i>Costo erbicidi</i>	-16,71	-15,88	-16,51	-15,60	-18,92
<i>Costo geodisinfestante</i>	0,00	0,01	-0,01	0,00	-0,37
<i>Costo mappatura terreno</i>	0,00	10,00	0,00	10,00	10,00
<i>Costo d'uso macchine metodo A</i>	28,67	36,68	2,88	15,04	15,96
Reddito Metodo A	-191,10	104,80	-76,36	40,07	163,96
<i>Costo d'uso macchine metodo B</i>	14,69	23,57	2,48	14,77	17,53
Reddito Metodo B	-177,12	117,91	-75,96	40,34	162,39
<i>Costo d'uso macchine metodo C</i>	14,30	23,23	2,87	14,81	17,01
Reddito Metodo C	-176,73	118,25	-76,35	40,30	162,91
<i>Costo d'uso macchine metodo D</i>	14,60	23,45	2,59	14,76	17,33
Reddito Metodo D	-177,03	118,03	-76,07	40,35	162,59

Fonte: Elaborazione propria

7.3.3 - Analisi di sensitività dei risultati su mais

Anche per il mais sono state ripetute le simulazioni eseguite per il frumento, sfruttando lo stesso schema logico.

L'analisi di sensitività al prezzo del gasolio è stata condotta mediante simulazioni che prevedono aumenti del prezzo del 10% e del 20% e una diminuzione del 20%. I risultati ottenuti sono riportati nella tabella 7.17.

Tabella 7.17a - Analisi di sensitività dei risultati su mais rispetto al prezzo del gasolio per i diversi metodi di calcolo (valori in €/ha)

Var. prezzo gasolio	Componente di costo	Metodo A							
		T0	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
0	Costo gasolio	67,14	68,36	67,28	35,80	35,14	35,83	24,40	24,15
	Totale FLT	168,46	174,31	177,32	74,08	74,44	79,77	67,94	74,48
	Tot. costi	309,53	324,60	332,60	138,46	141,33	153,50	144,00	159,96
	Var. su T0	0,00	15,07	23,08	-171,07	-168,19	-156,03	-165,53	-149,57
	Var. su min AP	0,00	15,07	23,08	0,00	2,88	15,04	0,00	15,96
+10%	Costo gasolio	73,86	75,19	74,00	39,38	38,65	39,42	26,84	26,57
	Totale FLT	175,17	181,15	184,05	77,66	77,95	83,36	70,38	76,89
	Tot. costi	316,24	331,43	339,33	142,04	144,85	157,08	146,44	162,37
	Var. su T0	0,00	15,19	23,09	-174,20	-171,39	-159,16	-169,80	-153,87
	Var. su min AP	0,00	15,19	23,09	0,00	2,81	15,04	0,00	15,93
+20%	Costo gasolio	80,57	82,03	80,73	42,96	42,16	43,00	29,28	28,98
	Totale FLT	181,88	187,98	190,78	81,24	81,46	86,94	72,82	79,31
	Tot. costi	322,95	338,27	346,06	145,62	148,36	160,67	148,88	164,79
	Var. su T0	0,00	15,31	23,10	-177,34	-174,59	-162,29	-174,08	-158,17
	Var. su min AP	0,00	15,31	23,10	0,00	2,74	15,05	0,00	15,91
-20%	Costo gasolio	53,72	54,68	53,82	28,64	28,11	28,67	19,52	19,32
	Totale FLT	155,03	160,64	163,87	66,92	67,41	72,61	63,06	69,65
	Tot. costi	296,10	310,93	319,15	131,30	134,31	146,33	139,12	155,13
	Var. su T0	0,00	14,83	23,05	-164,80	-161,79	-149,76	-156,98	-140,97
	Var. su min AP	0,00	14,83	23,05	0,00	3,01	15,03	0,00	16,01

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.17b - Analisi di sensitività dei risultati su mais rispetto al prezzo del gasolio per i diversi metodi di calcolo (valori in €/ha)

Var. prezzo gasolio	Componente di costo	Metodo B							
		T0	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
0	Costo gasolio	67,87	68,72	68,52	27,00	25,94	26,76	23,50	24,81
	Totale FLT	169,71	175,22	179,11	65,50	65,45	70,92	67,24	75,35
	Tot. costi	310,78	325,50	334,39	129,87	132,35	144,64	143,30	160,83
	Var. su T0	0,00	14,72	23,60	-180,91	-178,43	-166,14	-167,48	-149,95
	Var. su min AP	0,00	14,72	23,60	0,00	2,48	14,77	0,00	17,53
+10%	Costo gasolio	74,65	75,59	75,38	29,70	28,54	29,44	25,85	27,29
	Totale FLT	176,50	182,09	185,96	68,20	68,05	73,59	69,59	77,83
	Tot. costi	317,57	332,37	341,24	132,57	134,94	147,32	145,65	163,31
	Var. su T0	0,00	14,80	23,67	-185,00	-182,63	-170,25	-171,92	-154,26
	Var. su min AP	0,00	14,80	23,67	0,00	2,37	14,75	0,00	17,66
+20%	Costo gasolio	81,44	82,46	82,23	32,40	31,13	32,12	28,20	29,77
	Totale FLT	183,29	188,96	192,82	70,90	70,64	76,27	71,94	80,31
	Tot. costi	324,36	339,25	348,09	135,27	137,54	149,99	148,00	165,79
	Var. su T0	0,00	14,89	23,74	-189,08	-186,82	-174,36	-176,36	-158,57
	Var. su min AP	0,00	14,89	23,74	0,00	2,27	14,72	0,00	17,79
-20%	Costo gasolio	54,29	54,98	54,82	21,60	20,76	21,41	18,80	19,85
	Totale FLT	156,14	161,47	165,41	60,10	60,26	65,56	62,54	70,39
	Tot. costi	297,21	311,76	320,68	124,47	127,16	139,29	138,60	155,87
	Var. su T0	0,00	14,55	23,47	-172,74	-170,05	-157,92	-158,61	-141,34
	Var. su min AP	0,00	14,55	23,47	0,00	2,69	14,82	0,00	17,27

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.17c - Analisi di sensitività dei risultati su mais rispetto al prezzo del gasolio per i diversi metodi di calcolo (valori in €/ha)

Var. prezzo gasolio	Componente di costo	Metodo C							
		T0	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
0	Costo gasolio	67,87	68,72	68,52	27,00	25,94	26,76	23,50	24,81
	Totale FLT	146,14	151,26	155,20	55,53	55,87	60,99	57,36	64,96
	Tot. costi	287,21	301,54	310,48	119,90	122,77	134,71	133,43	150,44
	Var. su T0	0,00	14,33	23,26	-167,31	-164,44	-152,50	-153,78	-136,78
	Var. su min AP	0,00	14,33	23,26	0,00	2,87	14,81	0,00	17,01
+10%	Costo gasolio	74,65	75,59	75,38	29,70	28,54	29,44	25,85	27,29
	Totale FLT	152,93	158,13	162,05	58,23	58,47	63,67	59,71	67,44
	Tot. costi	294,00	308,42	317,33	122,60	125,36	137,39	135,78	152,92
	Var. su T0	0,00	14,42	23,33	-171,40	-168,64	-156,61	-158,22	-141,08
	Var. su min AP	0,00	14,42	23,33	0,00	2,76	14,79	0,00	17,14
+20%	Costo gasolio	81,44	82,46	82,23	32,40	31,13	32,12	28,20	29,77
	Totale FLT	159,71	165,00	168,90	60,93	61,06	66,34	62,06	69,92
	Tot. costi	300,79	315,29	324,18	125,30	127,96	140,07	138,13	155,40
	Var. su T0	0,00	14,50	23,39	-175,48	-172,83	-160,72	-162,66	-145,39
	Var. su min AP	0,00	14,50	23,39	0,00	2,66	14,77	0,00	17,27
-20%	Costo gasolio	54,29	54,98	54,82	21,60	20,76	21,41	18,80	19,85
	Totale FLT	132,57	137,52	141,49	50,13	50,68	55,64	52,67	59,99
	Tot. costi	273,64	287,80	296,77	114,50	117,58	129,36	128,73	145,47
	Var. su T0	0,00	14,16	23,13	-159,14	-156,06	-144,28	-144,91	-128,17
	Var. su min AP	0,00	14,16	23,13	0,00	3,08	14,86	0,00	16,74

Fonte: Elaborazione propria

Tabella 7.17d - Analisi di sensitività dei risultati su mais rispetto al prezzo del gasolio per i diversi metodi di calcolo (valori in €/ha)

Var. prezzo gasolio	Componente di costo	Metodo D							
		TO	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
0	Costo gasolio	95,86	97,03	96,74	37,37	35,99	37,06	29,97	31,61
	Totale FLT	173,38	178,79	182,64	65,08	65,15	70,49	63,82	71,73
	Tot. costi	314,45	329,08	337,92	129,46	132,05	144,22	139,88	157,21
	Var. su TO	0,00	14,63	23,47	-184,99	-182,40	-170,23	-174,57	-157,24
	Var. su min AP	0,00	14,63	23,47	0,00	2,59	14,76	0,00	17,33
+10%	Costo gasolio	105,44	106,74	106,42	41,10	39,59	40,76	32,97	34,77
	Totale FLT	182,96	188,50	192,32	68,82	68,75	74,20	66,81	74,89
	Tot. costi	324,03	338,78	347,59	133,19	135,65	147,92	142,88	160,37
	Var. su TO	0,00	14,75	23,56	-190,84	-188,38	-176,11	-181,16	-163,66
	Var. su min AP	0,00	14,75	23,56	0,00	2,45	14,73	0,00	17,50
+20%	Costo gasolio	115,03	116,44	116,09	44,84	43,19	44,47	35,96	37,94
	Totale FLT	192,55	198,20	201,99	72,55	72,35	77,90	69,81	78,05
	Tot. costi	333,62	348,48	357,27	136,93	139,25	151,63	145,87	163,53
	Var. su TO	0,00	14,86	23,65	-196,69	-194,37	-181,99	-187,75	-170,09
	Var. su min AP	0,00	14,86	23,65	0,00	2,32	14,70	0,00	17,66
-20%	Costo gasolio	76,68	77,63	77,40	29,89	28,79	29,65	23,98	25,29
	Totale FLT	154,21	159,39	163,29	57,61	57,95	63,08	57,82	65,41
	Tot. costi	295,28	309,67	318,57	121,98	124,85	136,80	133,88	150,89
	Var. su TO	0,00	14,39	23,29	-173,29	-170,42	-158,47	-161,39	-144,39
	Var. su min AP	0,00	14,39	23,29	0,00	2,87	14,82	0,00	17,00

Fonte: Elaborazione propria

Le variazioni del prezzo del gasolio provocano effetti consistenti sui costi d'uso delle macchine e la convenienza all'adozione dell'AP tende ad aumentare all'aumento del prezzo del gasolio, anche se le differenze di costi d'uso tra le tesi non cambiano di segno al variare del costo per il carburante. Ciò nonostante, all'aumentare del prezzo del carburante si nota un assottigliarsi dell'aumento di costi d'uso dovuti all'adozione dell'AP nella minima lavorazione perché il risparmio sul gasolio diventa più consistente in valore assoluto. Le tesi con AP presentano comunque costi aumentati rispetto al livello 0, anche se, sul piano reddituale, si riscontra comunque il vantaggio illustrato nel paragrafo precedente. Da notare anche come il vantaggio nell'uso delle minime lavorazioni e dello strip tillage diventi tanto più consistente quanto più è alto il prezzo del gasolio.

Di seguito si ripetono le ipotesi fatte per condurre l'analisi di sensitività rispetto all'utilizzo annuo delle macchine, che rispecchiano quanto già detto per il frumento:

- dimezzamento del monte orario di utilizzo annuo per tutte le macchine, trattrici e operatrici, e per i sistemi di guida;

- costanza delle superfici dominate dal parco macchine, che comporta una diminuzione di tale monte orario di utilizzo all'aumentare della capacità operativa delle macchine.

L'assunzione di tali ipotesi nell'elaborazione dei dati consente di giungere ai risultati illustrati nella tabella 7.18, divisi per metodo di calcolo dei costi d'uso. Per i risultati reddituali si è fatto riferimento a quanto detto nel paragrafo 7.3.2.

Tabella 7.18 - Risultati dell'analisi di sensitività all'utilizzo annuo con i vari metodi (valori in €/ha)

	T0	T1	T2	M0	M1	M2	S1	S2
<i>Amm. trattrici</i>	84,54	84,54	84,54	71,66	71,66	71,66	41,61	41,61
<i>Amm. operatrici</i>	79,87	85,85	96,87	93,22	93,96	106,03	83,63	94,38
<i>Amm. Sistemi di guida</i>	0,00	13,20	13,31	0,00	13,20	13,31	13,20	13,31
Totale FLP	164,41	183,59	194,72	164,88	178,83	191,00	138,45	149,29
Metodo A								
Totale costi d'uso	391,73	418,40	432,43	262,69	281,73	300,66	229,95	248,39
Variazione su T0	0,00	26,67	40,71	-129,03	-110,00	-91,07	-161,78	-143,34
Variazione su livello min. AP	0,00	26,67	40,71	0,00	19,03	37,96	0,00	18,44
Variazione reddito su T0	0,00	-189,10	100,77	309,37	216,86	326,52	129,68	291,16
Variazione reddito su livello min. AP	0,00	-189,10	100,77	0,00	-92,51	17,15	0,00	161,48
Metodo B								
Totale costi d'uso	392,99	419,30	434,22	254,11	272,74	291,80	229,25	249,26
Variazione su T0	0,00	26,32	41,23	-138,88	-120,24	-101,19	-163,74	-143,73
Variazione su livello min. AP	0,00	26,32	41,23	0,00	18,64	37,69	0,00	20,01
Variazione reddito su T0	0,00	-188,75	100,25	319,22	227,10	336,64	131,64	291,55
Variazione reddito su livello min. AP	0,00	-188,75	100,25	0,00	-92,12	17,42	0,00	159,91
Metodo C								
Totale costi d'uso	369,42	395,34	410,31	244,14	263,17	281,87	219,38	238,87
Variazione su T0	0,00	25,93	40,89	-125,28	-106,25	-87,54	-150,04	-130,55
Variazione su livello min. AP	0,00	25,93	40,89	0,00	19,03	37,74	0,00	19,49
Variazione reddito su T0	0,00	-188,36	100,59	305,62	213,11	322,99	117,94	278,37
Variazione reddito su livello min. AP	0,00	-188,36	100,59	0,00	-92,51	17,37	0,00	160,43
Metodo D								
Totale costi d'uso	396,65	422,88	437,75	253,69	272,45	291,37	225,83	245,64
Variazione su T0	0,00	26,23	41,10	-142,96	-124,20	-105,28	-170,82	-151,01
Variazione su livello min. AP	0,00	26,23	41,10	0,00	18,75	37,68	0,00	19,81
Variazione reddito su T0	0,00	-188,66	100,38	323,30	231,06	340,73	138,72	298,83
Variazione reddito su livello min. AP	0,00	-188,66	100,38	0,00	-92,23	17,43	0,00	160,11

Fonte: Elaborazione propria

Innanzitutto è opportuno osservare l'andamento dei costi di ammortamento tra le varie tesi. Si può vedere come, a parità di tecnica di lavorazione e, quindi, di parco trattrici utilizzato, i costi di ammortamento delle stesse si mantengono costanti anche se si nota una diminuzione consistente passando dalle lavorazioni tradizionali alle minime fino allo strip tillage e questo per via della progressiva semplificazione del parco macchine necessario. Per le macchine operatrici l'andamento degli ammortamenti riflette soltanto l'andamento stesso dei valori d'acquisto, dal momento che l'effetto dei tempi di lavoro è annullato dalle ipotesi fatte. La semplificazione del parco macchine consente, anche in questo caso, una diminuzione dei costi nello strip tillage. I costi per i sistemi di guida sono praticamente identici in tutte le tesi che li prevedono.

Le variazioni dei costi di ammortamento conseguenti all'analisi di sensitività provocano forti aumenti dei costi d'uso e, in particolare, di quelle voci connesse all'AP. Questo fa sì che, in ogni caso, i costi d'uso delle tesi che prevedono l'AP siano più alti di quelle con livello 0. Tuttavia, si osserva che ciò che veramente influisce sul reddito è l'effetto sui ricavi, tanto che, considerando le altre componenti del reddito oltre i costi d'uso, i risultati dell'analisi riflettono sostanzialmente la graduatoria tra le tesi ottenuta prima dell'analisi di sensitività. Infatti, il livello 1 di AP genera sempre un reddito inferiore al livello 0, per via della diminuzione di resa, mentre il livello 2 consente sempre un forte aumento del reddito. Bisogna considerare, comunque, come una rimozione delle cause che hanno provocato la diminuzione di resa nel livello 1, consentirebbe un leggero aumento di reddito anche con questo livello, dato che esso consente comunque una ridotta ma significativa diminuzione dei costi complessivi. Le lavorazioni minime e lo strip tillage, tra diminuzione dei costi e aumento delle rese, consentono sempre di ottenere il reddito più elevato a parità di livello di AP.

7.4 - Considerazioni conclusive

7.4.1 - Conclusioni sui metodi di calcolo

Riguardo ai metodi di stima dei costi d'uso delle macchine, si può affermare che, in generale, questi apportano differenze visibili ma non sostanziali al risultato finale.

Va detto, tuttavia, che in certi casi diventa eclatante la differenza tra i metodi di stima lineari e a potenza dei costi di manutenzione e riparazione. Non disponendo di dati rilevati a consuntivo, si potrebbe asserire che i risultati forniti dai metodi a potenza sembrano più vicini a quanto il buon senso possa suggerire.

Per quanto riguarda i consumi di carburante e lubrificante, la differenza tra i metodi consiste più che altro nelle diverse possibilità di utilizzo e nella diversa oggettività della stima fornita. Infatti, ad esempio, il metodo "misurato" ha mostrato un'attendibilità in

linea con gli altri, salvo per la tesi MTO, dove si è rilevata un'anomalia. Inoltre, esso è oggettivo perché consiste in una misura e non in una stima ed è di semplice applicazione, ma può essere applicato solamente a consuntivo e soltanto in esperimenti in cui può essere realizzato il rifornimento alla fine di ogni operazione. Il metodo Sartori è di semplice applicazione ma, a causa della necessità di definire due coefficienti, in alcuni casi risente di bassi livelli di oggettività e dettaglio. Il metodo ASABE, a fronte di una maggiore difficoltà di utilizzo a causa dei dati sulle macchine richiesti, consente una certa oggettività e un buon dettaglio ed è utilizzabile anche a preventivo. In definitiva, in circostanze simili a quelle della presente sperimentazione, potendo disporre di un dato misurato questo andrebbe comunque rilevato, anche se sarebbe buona norma avere un riscontro con un metodo di stima ad elevato dettaglio come quello ASABE.

7.4.2 - Conclusioni sull'analisi economica

L'analisi dell'impatto dell'AP sui costi d'uso e sui redditi evidenzia un complessivo impatto positivo di queste tecnologie. Infatti, passando dal livello 0 al livello 1, si è osservata in certi casi una diminuzione dei costi d'uso delle macchine e sempre dei costi totali. A livello reddituale i risultati sono stati influenzati dalla diminuzione di resa riscontrata per il livello 1 rispetto al livello 0. Per il livello 2, i costi d'uso calcolati risultano in ogni caso superiori a quelli del livello 0, anche se di poco, ma il divario aumenta, nel mais, valutando la stessa differenza per le lavorazioni tradizionali rispetto a quelle minime. In tutti i casi, comunque, per il livello 2 si registra un aumento di resa tale da rendere la variazione di reddito comunque positiva.

Spicca inoltre il vantaggio dell'adozione delle lavorazioni minime su quelle tradizionali, comportando esse un aumento di resa e una forte diminuzione dei costi in entrambe le colture, con tutti i livelli di AP e in tutte le simulazioni condotte per l'analisi di sensitività.

Le analisi di sensitività condotte permettono di concludere che anche in aziende più piccole l'AP può portare a ridurre i costi. A proposito vale la pena di fare alcune considerazioni. In aziende più piccole, con utilizzo di macchine con potenza inferiore, i costi per carburanti, lubrificanti e lavoro per unità di superficie sono verosimilmente più elevati, quindi una riduzione di pari entità relativa consentita dall'AP si tradurrebbe in maggiori vantaggi assoluti. Inoltre, bisogna notare che i campi in cui è stata condotta la sperimentazione avevano forma molto regolare quindi è verosimile che, in campi con forme più irregolari, i vantaggi conseguibili con la guida parallela e la chiusura delle sezioni sarebbero maggiori. Si può concludere, quindi, che l'utilizzo annuo delle dotazioni di AP necessario affinché i costi di ammortamento siano sostenibili, anche inferiore alle 500 ore/anno per i sistemi di guida, è sufficientemente basso da consentire una riduzione dei costi anche in aziende più piccole e comunque per molte imprese di contoterzismo.

CAPITOLO OTTAVO

LE DIFFICOLTÀ NELL'IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNICHE DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE

Fin qui è stata condotta un'analisi dell'impatto delle tecnologie di agricoltura di precisione sui costi d'uso delle macchine. Tuttavia, le considerazioni fatte dagli agricoltori in ordine all'introduzione di queste tecnologie nella propria azienda non sono soltanto di tipo economico. Infatti, come si è visto, l'adozione dell'AP richiede il cambiamento dell'approccio al lavoro e un'informatizzazione, almeno parziale, dell'azienda. In questo capitolo si analizzano le difficoltà nell'implementazione dell'AP di natura diversa da quella economica.

8.1 - Dinamiche di introduzione dell'agricoltura di precisione

Per la prima volta nella storia, l'AP introduce tecnologie che sollevano l'uomo non solo dal lavoro di forza e meccanico ma, in parte, anche da quello intellettuale (Frascarelli, 2016). Gli animali prima e il motore endotermico poi hanno progressivamente alleviato la fatica fisica del lavoro dell'uomo in agricoltura, l'AP si propone, tra le altre cose, di ridurre la necessità di concentrazione e l'affaticamento mentale dell'operatore, finanche a semplificare o automatizzare anche la gestione direttiva e strategica dell'azienda (Lazzari et al., 2015). Il recepimento di tale cambiamento, permesso dall'AP, è, sotto certi aspetti, più arduo del precedente perché richiede un più radicale cambio di mentalità, sia dal punto di vista umano che imprenditoriale. È proprio il cambio di mentalità necessario uno dei maggiori ostacoli alla diffusione dell'AP.

L'impiego dell'AP necessita l'apprendimento di nozioni di informatica e la capacità di integrare le proprie capacità decisionali basate sull'esperienza con strumenti di supporto con basi scientifiche. Inoltre, deve essere appreso il concetto per cui il reddito aziendale deve derivare dall'ottimizzazione dei fattori della produzione e non più solo dall'apporto di quanta più manodopera familiare possibile e che, per giungere a ciò, riservare del tempo a una parte di lavoro intellettuale può avere una produttività molto maggiore dell'equivalente tempo utilizzato per il lavoro in campo.

In relazione a queste problematiche, l'approccio dell'agricoltore all'AP si risolve in tre diverse categorie di imprenditori (Bresciani, 2015):

- quelli completamente indifferenti all'AP;
- coloro che applicano soltanto le tecnologie base;
- quelli che ne sfruttano tutte le potenzialità, adottando un approccio che può essere definito *whole farm*.

Queste tre categorie riflettono in modo abbastanza fedele i livelli di AP presi in considerazione nella sperimentazione, nonché il percorso che un agricoltore normalmente segue nell'introdurre l'AP in azienda (Frascarelli, 2016). Infatti, l'introduzione dell'AP inizia normalmente con l'applicazione della guida assistita e, successivamente, di quella semi-automatica anche se, in certe realtà, il primo gradino è costituito dalla guida semi-automatica stessa. Solo successivamente le aziende tendono ad intensificare l'informatizzazione introducendo sistemi informativi aziendali, software GIS e il conseguente hardware necessario a realizzare la mappatura del terreno, delle produzioni e delle condizioni fisiologiche della coltura e la distribuzione degli input a rateo variabile.

Le aziende che, in Italia, ad oggi, rientrano nell'ultima fattispecie non sono che una piccolissima parte del totale. Tali aziende possono essere considerate pioniere di questo tipo di tecnologie, così dette *early adopters*. "Secondo una dinamica frequente in agricoltura, tali aziende all'avanguardia sono monitorate dalla grande maggioranza conservatrice delle aziende agricole. Solo a seguito di una lunga osservazione e di un giudizio positivo, questa parte numericamente cospicua si rivolgerà al mercato per innovare le proprie pratiche" (Lazzari et al., 2015).

8.2 - Difficoltà nell'introduzione dell'agricoltura di precisione

Nei capitoli precedenti, sono già state analizzate alcune criticità nell'introduzione dell'AP nelle aziende agricole italiane. In particolare, si è visto, nella ricerca bibliografica, come, dal punto di vista economico, lo scetticismo tende ad essere ingiustificato, sia per il complessivo aumento di reddito effettivamente reso possibile dall'AP (Lazzari et al., 2015) (Chiodini et al., 2018), sia per il fatto che l'investimento iniziale per introdurre l'AP ha un'incidenza estremamente limitata sul costo totale della meccanizzazione. Tuttavia, si è visto anche come le difficoltà non si riscontrano soltanto sul piano economico ma anche su quello socio-culturale, per via dell'arduo cambio di mentalità necessario.

Più in generale, si può affermare che le difficoltà nell'introduzione delle nuove tecnologie derivi dalla mancanza di consapevolezza dei benefici e dal fatto che la struttura delle aziende agricole italiane non è, mediamente, adatta all'introduzione dell'AP, per motivi di ordine dimensionale, organizzativo e socio-culturale (Frascarelli, 2016) (Martarello, 2018).

Per comprendere meglio la situazione, è utile osservare i risultati del censimento ISTAT dell'agricoltura del 2010 (ISTAT, 2010). Il censimento evidenzia la forte polverizzazione fondiaria presente in Italia. Infatti, la superficie media delle aziende con seminativi è di 8,46 ha e, anche se tale valore è influenzato dalla presenza di una miriade di aziende piccolissime, si può osservare come le aziende con più di 30 ha di SAU sono solo 72.741, cioè meno del 10% del totale. Volendo esaminare la propensione all'innovazione degli agricoltori, si può osservare la distribuzione per età e titolo di studio degli agricoltori italiani. Ne emerge che, nel 2010, soltanto il 9,98% delle aziende agricole italiane erano condotte da imprenditori con meno di 40 anni mentre il 49,99% degli imprenditori agricoli avevano più di 60 anni. Riguardo al titolo di studio, soltanto il 6,23% degli agricoltori italiani sono laureati e soltanto il 28,53% hanno un titolo di studio superiore alla licenza media. Questi dati aiutano a comprendere la bassa propensione all'innovazione e, in particolare, all'informatizzazione delle aziende. Inoltre, la polverizzazione fondiaria non permette la meccanizzazione in proprio né tantomeno l'acquisto di macchine innovative. A tal proposito un aiuto fondamentale all'AP deve derivare dal contoterzismo, che può consentire, grazie all'aggregazione delle superfici, di raggiungere utilizzi annui delle macchine sufficienti a determinarne la convenienza economica all'acquisto.

Ad ogni modo, i vantaggi dell'AP, come si è visto, non sono di facile visibilità, nonostante siano di entità rilevante e risulta quindi importante la divulgazione di tali vantaggi affinché i più scettici possano convincersi a investire tempo e denaro in queste tecnologie.

8.3 - Politiche per incentivare l'agricoltura di precisione

Come si è visto in precedenza, l'AP consente di ottenere, oltre ai vantaggi economici, anche vantaggi ambientali e risulta fondamentale per conseguire la così detta *Intensificazione Sostenibile*, risultante dall'apparentemente difficile compromesso tra produttività e sostenibilità. L'agricoltura deve e dovrà sempre di più venire incontro alla crescente richiesta di cibo ma tenendo conto delle richieste dei cittadini e della pressante necessità di diminuire il proprio impatto ambientale.

A riguardo, è stato osservato che l'AP, insieme alle lavorazioni minime, consente di ottenere produzioni quasi sempre uguali o maggiori delle tecniche tradizionali, ma utilizzando meno gasolio, lubrificante, fertilizzanti e prodotti fitosanitari (Chiodini, et al., 2018). Oltre al vantaggio economico esaminato in precedenza, tutto ciò porta alla riduzione delle emissioni e dell'inquinamento delle acque, riducendo le quantità di input distribuite proprio in quei punti dove, essendo doppia la dose per via della sovrapposizione, c'è un maggior rischio di lisciviazione.

Tutto ciò rientra pienamente nel concetto di intensificazione sostenibile e risulta in pieno accordo con le strategie della Politica Agraria Comune (Commissione Europea, 2012). D'altro canto, per supplire le difficoltà di introduzione prima esaminate, sono necessari investimenti, anche pubblici, in formazione, animazione e in beni materiali. A tale proposito sono state predisposte politiche adeguate nella programmazione 2014-2020 del secondo pilastro della PAC, la politica di sviluppo rurale (Frascarelli, 2016). La politica di sviluppo rurale si articola in Italia con 21 Programmi di Sviluppo Rurale (PSR) regionali e due nazionali. Innanzitutto, un priorità della politica di sviluppo rurale è il trasferimento delle conoscenze dal "sistema della conoscenza", composto da università, centri di ricerca e servizi di consulenza, al mondo delle imprese agricole.

Per fare ciò è stata predisposta la misura 1 dei PSR, che si articola in tre tipologie di interventi, corrispondenti alle tre sottomisure:

- 1.1 - Formazione professionale ed acquisizione di conoscenze;
- 1.2 - Attività dimostrative ed azioni di informazione;
- 1.3 - Scambi interaziendali di breve durata e visite alle aziende agricole e forestali.

Nella programmazione 2014-2020 è stata inoltre introdotta una nuova metodologia di azione, la cooperazione a supporto del trasferimento delle innovazioni, che si articola in due strumenti:

- Il PEI, Partenariato europeo per l'innovazione;
- le misure dei PSR 16.1 e 16.2.

Esistono più PEI settoriali, quello del settore agricolo ha per tema "*Produttività e sostenibilità dell'agricoltura*" (PEI-Agri o EIP-Agri) ed è stato lanciato dalla commissione europea nel 2012 (Commissione Europea, 2012). Il PEI-Agri si attua mediante la misura 16.1 dei PSR, tramite lo strumento dei gruppi operativi (GO). I GO sono gruppi costituiti da soggetti come agricoltori, ricercatori, consulenti e imprenditori dell'industria agroalimentare, tutti selezionati in modo da essere rappresentativi del settore in oggetto, che sviluppano un progetto di innovazione su temi di comune interesse. Lo scopo è quello di avvicinare la ricerca alle imprese in tutti i settori e, tra questi, è incluso quello dell'AP. La misura 16.1 prevede un contributo in conto capitale per la copertura dei costi della cooperazione. I costi di realizzazione dei progetti innovativi vengono coperti dalle altre sottomisure, come la 16.2.

Per introdurre l'AP nelle aziende, sono necessari, oltre alle conoscenze, anche investimenti aziendali nelle apposite macchine, che sono sostenuti dalla misura 4.1 "*Investimenti nelle imprese agricole*". L'obiettivo è il sostegno a investimenti materiali e immateriali che migliorino le prestazioni e la sostenibilità globali dell'azienda agricola. L'aiuto è concesso in conto capitale come percentuale del totale dell'investimento.

CAPITOLO NONO

CONCLUSIONI

Per tutta la sua storia, l'agricoltura è stata caratterizzata dal progressivo aumento della produttività dei fattori terra e lavoro, tanto che, dalle origini della civiltà umana ad oggi, grazie al progresso tecnico nei settori più diversi, le produzioni ottenibili dall'unità di superficie sono enormemente aumentate e la richiesta di manodopera si è ridotta a non più di una piccola frazione di quella delle origini. In tutto questo processo, l'agricoltura è diventata sempre più capace di produrre cibo a sufficienza, nonché di permettere all'umanità di dedicarsi a bisogni di altro genere mediante la specializzazione del lavoro che ne è conseguita. Tuttavia, la sua sostenibilità ambientale non ha sempre seguito la stessa tendenza all'aumento e, anzi, di pari passo con molti altri settori, negli ultimi decenni se n'è osservato un tracollo. Ora diventa quindi più urgente che mai fare sì che, al continuo aumento di produttività dei fattori, si accompagni un aumento di sostenibilità ambientale, perseguendo il concetto di *intensificazione sostenibile*.

Le tecnologie per l'agricoltura di precisione nascono per venire incontro a questa necessità. Oltre che sul piano ambientale, esse hanno un impatto positivo anche dal punto di vista economico e, in particolare, sui costi d'uso delle macchine agricole. La conoscenza dell'entità di tale impatto è fondamentale per capire se alla sostenibilità ambientale si accompagna anche quella economica. L'analisi del suddetto impatto è stata l'obiettivo di questa tesi. In questo capitolo sono esposte le conclusioni del presente lavoro, seguendo lo schema logico su cui esso è stato sviluppato.

9.1 - Le tecnologie di AP per i seminativi

Le tecnologie per l'agricoltura di precisione e le tecniche che permettono di sfruttarle stanno subendo un'evoluzione velocissima, supportate dalla ricerca in tutte le discipline, dalla chimica, all'ingegneria mecatronica fino all'informatica, passando per il contributo fondamentale dei settori aerospaziale e delle telecomunicazioni. Il presente lavoro ha trattato e descritto le più recenti tecniche applicabili al settore dei seminativi.

Una parte importante è stata dedicata ai sistemi GNSS che stanno alla base del concetto stesso di AP, dal momento che non esiste gestione della variabilità spaziale senza georeferenziazione dei dati misurati. Dei sistemi GNSS si è trattato in modo approfondito il funzionamento, le tipologie disponibili in commercio, le relative possibilità di applicazione e i sistemi di guida che per mezzo di essi funzionano.

La variabilità spatio-temporale, oltre a essere collocata, deve poter essere misurata e, a tal fine, la sensoristica sta facendo importanti passi avanti. Qui sono state descritte le tecnologie che permettono il *remote* e il *proximal sensing*, nonché i sensori di campo che permettono il monitoraggio in continuo delle variabili micro-climatiche.

La mole di dati rilevata dalla fase di misurazione deve essere analizzata perché possa tradursi in informazione funzionale alle decisioni. A questo scopo servono strumenti matematici e informatici e modelli di simulazione che mettano il decisore nelle condizioni di fare scelte ponderate. Questi strumenti sono stati approfonditamente descritti e si è visto come, ad oggi, la fase più critica è quella che consiste nella sistematica traduzione dei dati di variabilità in informazioni utili alle decisioni operative e direttive, che risente della scarsità di modelli di simulazione universalmente validi per la gestione delle varie componenti di variabilità.

Una volta prese le decisioni, servono macchine innovative in grado di adattare il proprio funzionamento e la distribuzione degli input alla variabilità in precedenza descritta. Sono state descritte tutte le macchine che, nel settore dei seminativi, consentono lo sfruttamento delle tecnologie GNSS per la riduzione dei tempi di lavoro, degli input distribuiti e per la gestione sito-specifica delle coltivazioni.

9.2 - Obiettivi della tesi e metodologia seguita

L'obiettivo del lavoro di tesi è stato quello di valutare l'impatto dell'agricoltura di precisione e delle minime lavorazioni sul costo d'uso delle macchine. Per quantificare l'effetto in questione, si è resa necessaria la definizione di una metodologia di stima dei costi d'uso delle macchine. L'altro obiettivo della tesi è stato quindi quello di identificare una metodologia di stima dei costi d'uso con sufficiente attendibilità e che consentisse di apprezzare le differenze tra le varie tesi.

Il lavoro sperimentale è cominciato con una ricerca bibliografica che ha consentito di capire su quali componenti di costo e ricavo l'AP ha degli effetti, la tendenza, all'aumento o alla diminuzione, di questi effetti e qual è la loro entità stimata finora da altri autori.

In una seconda fase, sono stati proposti vari metodi di stima delle componenti di costo d'uso delle macchine e ne sono stati esaminati vantaggi e svantaggi, in termini di attendibilità, oggettività, dettaglio e riconoscibilità dei risultati. Dalla combinazione dei diversi procedimenti di stima per le varie componenti di costo, sono emersi quattro metodi che permettono di giungere in modo diverso al costo d'uso totale.

La terza fase, la più importante, è consistita nell'analisi dei dati provenienti da una sperimentazione in campo in cui sono stati messi a confronto, per due colture, tre livelli di

AP e tre tipi di lavorazione del terreno. Il livello 0, che non prevedeva nessun sistema di AP, è stato confrontato con il livello 1, che prevedeva la guida semi-automatica con il controllo delle sezioni, e con il livello 2, che aggiungeva anche la distribuzione degli input a dose variabile. In questa fase è stata anche definita la metodologia di raccolta dei dati, oltre che di analisi degli stessi.

I dati della sperimentazione sono stati elaborati secondo la metodologia definita in precedenza per giungere al confronto dei valori di costo d'uso tra le varie tesi. al termine, è stata condotta un'analisi di sensitività che ha permesso di ricondurre il giudizio di convenienza anche a circostanze aziendali diverse da quelle in cui si è svolta la sperimentazione, senza però intaccare l'impalcatura metodologica e senza sostituire alcun dato proveniente dalla sperimentazione ma soltanto quelli arbitrariamente assunti per l'esecuzione dei calcoli.

9.3 - Risultati

I risultati che emergono dalla sperimentazione sono coerenti con quanto atteso analizzando la bibliografia in materia e definiscono nuovi importanti aspetti. Analizzando le variazioni dei costi d'uso delle macchine tra le varie tesi emerge che l'eventuale riduzione dei tempi consentita dal livello 1 di AP non è sempre sufficiente a coprire i maggiori costi fissi e questo comporta, nel mais, costi d'uso maggiori per il livello 1 rispetto allo 0. Si è visto come l'investimento richiesto per il livello 1 di AP sia piuttosto ridotto, mentre quello per il livello 2 è di gran lunga più cospicuo. L'andamento dei costi di ammortamento riflette, naturalmente, questo trend e ciò fa sì che per il livello 2 i costi d'uso delle macchine siano sempre superiori ai livelli inferiori di AP. L'integrazione dei dati sul costo d'uso con quelli sui ricavi e sugli altri costi già esposti in altre pubblicazioni, ha permesso di evidenziare un vantaggio reddituale consistente per il livello 2, mentre qualche dubbio ricade sul livello 1, che, nonostante la complessiva riduzione dei costi, ha sempre fatto registrare rese più basse del livello 0. Come si è visto, questo è probabilmente dovuto al livello di concimazione subottimale e questo aspetto necessiterebbe probabilmente di ulteriori indagini. Tuttavia, questa circostanza non ha implicazioni sulla determinazione del costo d'uso.

In ogni caso, si è visto, anche attraverso la bibliografia esaminata, come l'agricoltura di precisione consenta la riduzione dei consumi di carburante, di lubrificante, di concimi e di prodotti fitosanitari, con ovvie ricadute positive, oltre che dal punto di vista economico, anche sotto il profilo ambientale. Le lavorazioni minime del terreno consentono, dal canto loro, una riduzione dei consumi di carburante prossima al dimezzamento, con vantaggi anche ambientali di grandi proporzioni.

Altre preziose informazioni sono derivate dall'analisi di sensitività e, in particolare, da quella rispetto all'utilizzo annuo, la quale ha evidenziato che, per osservare riduzioni dei costi d'uso delle macchine anche consistenti, non è strettamente necessario che l'azienda sia di grandissime dimensioni ma è sufficiente garantire un utilizzo annuo che un'azienda mediamente strutturata o un'impresa di contoterzismo possono facilmente raggiungere.

Per quanto riguarda i metodi di stima dei costi d'uso, si è concluso che i risultati forniti dai vari metodi non presentano differenze sostanziali e la scelta dell'uno o dell'altro deve essere principalmente basata sulle necessità del caso e sulle finalità della stima. La differenza più importante è stata osservata tra i metodi di stima dei costi di manutenzione e riparazione basati su modelli lineari e quelli basati su una potenza.

9.4 - Sviluppi futuri della ricerca

Affinché i risultati di questo lavoro possano assumere maggiore autorevolezza, la sperimentazione andrebbe ripetuta in annate e/o località diverse, cercando al contempo di mettere a punto alcune questioni nell'impostazione della sperimentazione e nella raccolta dei dati.

Come si è visto, l'utilizzo di appezzamenti di forma molto regolare ha svantaggiato senza dubbio le tesi che fanno uso di AP. Questa fattispecie rappresenta sicuramente la realtà di molte aziende italiane e ha quindi una sua importante validità, tuttavia sarebbe interessante valutare la risposta delle tecnologie di AP come la guida parallela e la chiusura automatica delle sezioni in campi di forma irregolare, come d'altronde presenti in molte aziende italiane.

Si è parlato anche di come i risultati sarebbero stati diversi utilizzando macchine di potenza e dimensione inferiore. Ripetere l'analisi con un parco macchine più vicino alla realtà media italiana sarebbe altresì interessante.

Per quanto riguarda le lavorazioni del terreno, sarebbe importante osservare gli effetti della minima lavorazione anche a lungo termine, anche su altri tipi di terreno e in altre annate a diverso andamento meteorologico e il conseguente impatto della combinazione tra tecnica di lavorazione e livello di AP al mutare delle condizioni.

In definitiva, dal presente lavoro sono stati ottenuti risultati significativi che consentono, compatibilmente con gli obiettivi posti, di avere dati certi su cui basare un giudizio di convenienza per l'eventuale investimento nell'agricoltura di precisione e nella minima lavorazione del terreno. Ulteriori sviluppi potrebbero derivare dall'applicare una metodologia uguale o simile in altre condizioni pedologiche, climatiche e, soprattutto, di struttura aziendale.

Bibliografia

Agricare (2017), Tecnologia a Rateo Variabile, venetoagricoltura.org - <http://www.venetoagricoltura.org/upload/pubblicazioni/LIFE%20AGRICARE/6%20TECNOLOGIA%20A%20RATEO%20VARIABILE.pdf>.

Anne Naveen J.P. [et al.] (2014), Modeling soil parameters using hyperspectral image reflectance in subtropical coastal wetlands, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 33, p. 47–56.

ASAE (1999), Agricultural Machinery Management Data ASAE D497.4.

Balsari Paolo, Airoldi Gianfranco e Casa Raffaele (2016), *Trattamenti fitosanitari in agricoltura di precisione*, in "Agricoltura di precisione, metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali", aut. libro Casa Raffaele, Edagricole.

Bartolini Roberto (2017), Il Nuovo Agricoltore <http://www.ilnuovoagricoltore.it/limpegno-di-dekalb-e-kverneland-sulla-precisione-98-euro-ha-con-le-dosi-variabili/>.

Bartolini Roberto (2015), *La nuova agricoltura*, Edagricole.

Bartolini Roberto (2016), La slitta che ci fa conoscere meglio il terreno per mettere in campo l'agricoltura di precisione, Il Nuovo Agricoltore, <http://www.ilnuovoagricoltore.it/la-slitta-che-ci-fa-conoscere-meglio-il-terreno-per-mettere-in-campo-lagricoltura-di-precisione/>.

Basso B. [et al.] (2001), Spatial validation of crop models for precision agriculture, *Agricultural Systems*, 68. - p. 97-112.

BeiDou Navigation Satellite System System (2018), BeiDou Navigation Satellite System. - <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>.

Bellvert J. [et al.], (2015), Seasonal evolution of crop water stress index in grapevine varieties determined with high-resolution remote sensing thermal imagery, *Irrigation Science*, 2015. - Vol. 33. - p. 81-93.

Berge Therese With, Fykse Haldor e Aastveit Are H. (2007), Patch spraying of weeds in spring cereals: Simulated influences of, *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 57. - p. 212-221.

Bresciani Rino (2015), Agricoltori attratti dalle tecnologie satellitari, *Terra e Vita*, 40. - p. 36-38.

Burrough P. A. (1986), *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment*, Oxford Science Publications.

Calcante Aldo, Fontanini Luca e Mazzetto Fabrizio (2013), Coefficients of repair and maintenance costs of self-propelled combine harvesters in Italy, *CIGR Journal*, 3 : Vol. 15.

Calcante Aldo, Fontanini Luca e Mazzetto Fabrizio (2013), Repair and maintenance costs of 4WD tractors and self propelled combine harvesters in Italy, *Journal of Agricultural Engineering*, (s2):e70 : Vol. XLIV.

Calcante Aldo, Lazzari Massimo e Sartori Luigi (2016), *Sistemi di posizionamento globale e sistemi di guida delle macchine agricole* in "Agricoltura di Precisione, Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali", aut. libro Casa Raffaele, Edagricole.

Casa Raffaele [et al.] (2016), *Il telerilevamento in agricoltura di precisione* in "Agricoltura di precisione, Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza dei sistemi colturali", aut. libro Raffaele Casa, Edagricole.

Casa Raffaele e Morani Francesco (2016), *La fertilizzazione di precisione* in "Agricoltura di precisione, Metodi e tecnologie per aumentare l'efficienza dei sistemi colturali", aut. libro Casa Raffaele, Edagricole.

Case IH (2016), Case IH presenta in anteprima il suo nuovo Concept Vehicle al Farm Progress Show, Caseih.com, <https://www.caseih.com/emea/it-it/News/Pages/2016-08-30-Case-IH-presenta-in-anteprima-il-suo-nuovo-Concept-Vehicle-al-Farm-Progress-Show.aspx>.

Castrignanò Annamaria e Buttafuoco Gabriele (2016), *La gestione della variabilità spaziale e temporale nell'agricoltura di precisione. Introduzione alla geostatistica* in "Agricoltura di precisione, Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali", aut. libro Casa Raffaele, Edagricole.

Chiodini Gabriele e Frascarelli Angelo (2018), Impatto economico dell'agricoltura di precisione nel mais , *Quali vantaggi dall'agricoltura di precisione? - Insetto di Terra e Vita*.

Chiodini Gabriele e Frascarelli Angelo (2018), Impatto economico dell'agricoltura di precisione nel frumento, *Quali vantaggi dall'agricoltura di precisione? - Insetto di Terra e Vita*.

Cillis Donato, Pezzuolo Andrea e Sartori Luigi (2015), La gestione "precisa" parte dallo studio della variabilità, *L'informatore agrario*, luglio 2015, 27. - p. 38-41.

Commissione Europea (2012), Produttività e sostenibilità dell'agricoltura, Bruxelles.

Dobermann A. (2005), Nitrogen use efficiency - State of the art, *Proceedings of the International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*, Frankfurt : International Fertilizer Industry Association.

Emery X. (2001), *Géostatistique linéaire*, Paris : école des Mines de Paris.

ENAC (2018), ENAC, FAQ 2018,

https://www.enac.gov.it/La_Regolazione_per_la_Sicurezza/Sistemi_Aeromobili_a_Pilotaggio_Remoto_%28Droni%29/FAQ/index.html.

European GNSS Agency Programme (2018), European Global Navigation Satellite System Agency, <https://www.gsa.europa.eu/galileo/programme>.

EZ lab (2018), AGRIOPENDATA - Tecnologia Blockchain: maggior tracciabilità e trasparenza per prodotti certificati e un mercato più sano, <https://www.ezlab.it/it/i-nostri-progetti/agriopendata-progetto/>.

Frascarelli Angelo (2016), *Economia e politica agraria - dispensa per gli studenti (bozza)*.

Frascarelli Angelo (2016), *Valutazione economica dell'agricoltura di precisione* in "Agricoltura di precisione - Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali", aut. libro Casa Raffaele, Edagricole.

Gebbers R. e Adamchuck V. (2010), Precision agriculture and food security, *Science*, 327. - p. 828-831.

Gmur Stephan [et al.] (2012), Hyperspectral Analysis of Soil Nitrogen, Carbon, Carbonate, and Organic Matter Using Regression Trees, *Sensors*, 12. - p. 10639-10658.

Godwin R. J. [et al.] (2003), An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production, *Biosystem Engineering*, 84. - p. 533-545.

GPS.GOV (2017), www.gps.gov - <https://www.gps.gov/systems/>.

Grisso Robert [et al.] (2010), Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption, Virginia Polytechnic Institute and State University, PUBLICATION 442-073.

Gualandi Eros (2015), La diffusione su scala reale e i possibili risparmi operativi, *Speciale agricoltura di precisione, Terra e Vita*, 40. - p. 32-34.

Gualandi Eros (2011), Quanto si può risparmiare nelle operazioni colturali, *Speciale agricoltura di precisione, Terra e Vita*, 46. - p. 30-36.

INEA (2014), Gestione Aziendale delle Imprese Agricole - Tabelle macchine, attrezzi, impianti ed attrezzature.

Information and analysis center for positioning, navigation and timing GLONASS constellation status (2018), Information and analysis center for positioning, navigation and timing, <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>.

ISTAT (2010), Censimento dell'agricoltura 2010.

Knight Stuart, Miller Paul e Orson Jim (2009), An up-to-date cost/benefit analysis of precision farming techniques to guide growers of cereals and oilseeds, *Research Review*, HGCA, 71.

Kverneland Italia (2017), La mappatura del suolo alle Colombaie per realizzare le mappe di prescrizione per le dosi variabili, *Il Nuovo Agricoltore*.

<http://www.ilnuovoagricoltore.it/la-mappatura-del-suolo-alle-colombaie-per-realizzare-le-mappe-di-prescrizione-per-le-dosi-variabili/>.

Kverneland Kultistrip, brochure prodotto.

Kverneland (2018), *Quali vantaggi economici dall'agricoltura di precisione? - Insetto di Terra e Vita*.

Larson James A. [et al.] (2016), Effect of field geometry on profitability of automatic, *Precision Agriculture*, Crossmark, 17.

Lazzari Massimo [et al.] (2016), *I sistemi di mappatura delle produzioni*, in "Agricoltura di precisione, metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza dei sistemi colturali", aut. libro Casa Raffaele, Edagricole.

Lazzari Massimo, Longoni Ambra e Beretta Ernesto (2015), *Indagine e messa a punto di un modello di valutazione sulle tecniche di agricoltura di precisione per l'incremento ...*, Milano, CQCB.

Linsley C.M. e Bauer F.C. (1929), Test your soils for acidity, *University of Illinois*, Circular 346.

Malavolti Alessandro (2018), Agricoltura di Precisione e Sostenibilità, *Forum Cdo Agroalimentare 2018 - "LA METAFORFOSI DELL'AGROALIMENTARE: salute, filiera, innovazione e marketing"*, Milano Marittima (RA).

Martarello Simone (2018), Agricoltura 4.0, Italia al top per tecnologia disponibile, ma i campi non sono smart, *Novagricoltura*, <https://novagricoltura.edagricole.it/agricoltura-4-0/agricoltura-4-0-italia-tecnologia-campi-smart/>.

Martello Marco, Berti Antonio e Morani Francesco (2016), Irrigazione di precisione: efficiente se ben gestita, *L'informatore Agrario*, 05. - p. 51-54.

Martino Gaetano (2014), *Dispense del corso di Estimo*.

Masin R., Otto R. e Zanin G. (2017), Diserbo di precisione, il punto di vista malerbologico, *L'informatore agrario*, 18.

Mazzetto Fabrizio, Riedl Michael e Sacco Pasqualina (2016), *Sistemi informativi aziendali ed agricoltura di precisione*, in "Agricoltura di Precisione - Metodi e tecnologie per

migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali" aut. libro Casa Raffaele, Edagricole.

MIPAAF (2017), *Linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia*.

NASA (2014) Global Positioning System, www.nasa.gov,
<https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS.html>.

Negri Valeria (2017), *Slide del corso di "Gestione e conservazione della biodiversità vegetale"*, Università degli Studi di Perugia.

Nino Pasquale, Vanino Silvia e Vuolo Francesco (2015), L'innovazione tecnologica per un uso sostenibile della risorsa idrica in agricoltura, 41.

NTTL Test Reports (2018), <https://tractortestlab.unl.edu/testreports>.

Prasannakumar N.R. [et al.] (2013), Assessment of Brown Planthopper, (*Nilaparvata lugens*) [Stål], damage in rice using hyperspectral remote sensing, *International Journal of Pest Management*, Vol. 59, p. 180-188.

Priori Simone [et al.] (2016), *Sensori e metodi per rilievi prossimali delle proprietà del suolo e della coltura*, in "Agricoltura di precisione, Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza dei sistemi colturali", aut. libro Casa Raffaele, Edagricole, 2016.

Sartori L. e Rizzo S. (2000), Lavorazioni conservative del terreno a intensità variabile (variable-intensity conservation tillage), *Atti del Convegno Internazionale Produzioni Alimentari e Qualità della Vita*, Sassari, Vol. 1. - p. 445-452.

Sartori Luigi [et al.] (2016), *Lavorazioni variabili del terreno e semina a dose variabile* in "Agricoltura di precisione - Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali" aut. libro Casa Raffaele.

Sartori Luigi (2015), *Dispense del corso di Tecnologie digitali e meccanizzazione in agricoltura*, Padova.

Sinka Annet e Mesterházi Péter àkos (2014), Effects of precision farming in large scale farming practice, *Journal of central european green innovation*, 4. - p. 119-128.

Tamagnone M., Balsari P. e Marucco P. (2003), Use and performance of electronic devices in machinery for rice cultivation in Italy, *Atti di convegno XXXCIOSTA-CGR V Congress Proceedings*, 2003. - Vol. 2.

Vincini Massimo e Morari Francesco (2016), *Irrigazione di precisione*, in "Agricoltura di Precisione, metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali" aut. libro Casa Raffaele, Edagricole.

Vizzari Marco (2017), *Dispense del corso di "Rilevamento e Rappresentazione del Territorio"*, Università degli studi di Perugia.

Yara (2017), N-Sensor transformed our business, Yara.co.uk,
<http://www.yara.co.uk/crop-nutrition/Tools-and-Services/n-sensor/n-sensor-transformed-our-business/>.

Zhang M. [et al.] (2003), Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 4. - p. 295-310.

Zhang N., Wang M. and Whang N. (2002), "Precision agriculture - a worldwide overview", *Computers and electronics in agriculture*, 36. - pp. 113-132.