

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Agronomia Animali Alimenti Risorse naturali e
Ambiente

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Viticole ed Enologiche

**USO DEI SISTEMI DI NAVIGAZIONE
SATELLITARE NELLA GESTIONE DELLE
OPERAZIONI COLTURALI IN VIGNETO**

(Use of satellite navigation systems in managing of
cultural operation in vineyard)

Relatore
Prof. Luigi Sartori
Correlatore
Dott. Ing. Francesco Marinello

Laureando
Calderara Nicola
Matricola n. 1002082

ANNO ACCADEMICO

2013/2014

SOMMARIO

SOMMARIO	3
RIASSUNTO	7
ABSTRACT	8
Capitolo 1	9
INTRODUZIONE	9
1.1 IL SISTEMA NAVSTAR-GPS.....	10
1.2 MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO DEL GPS	11
1.2.1 La misurazione del tempo trasmesso dal satellite	11
1.2.2 Caratteristiche del segnale	12
1.2.3 Le cause di errore del segnale	12
1.2.4 Sfasamento degli orologi satellitari	13
1.2.5 Cambiamenti delle orbite satellitari	13
1.2.6 Riduzione della precisione.....	13
1.2.7 Atmosfera terrestre.....	14
1.2.8 Errori di traiettoria del segnale	15
Capitolo 2	17
SISTEMI DI CORREZIONE.....	17
2.1 Correzione differenziale	17
2.2 Correzione differenziale in tempo reale basata su satellite (DGPS).....	18
2.3 Correzione differenziale in tempo reale cinematica (RTK DGPS)	18
2.4 Reti dinamiche GNSS e servizi di posizionamento	19
2.5 Servizi in Post-Processamento	20
2.6 Servizi in Tempo Reale	20
2.6.1 Proprietà e concetti del segnale di correzione.....	22
2.6.2 Stabilità del segnale.....	22
2.6.3 Accuratezza del dato di posizionamento	22
2.6.4 Ripetibilità del dato di posizionamento	23
2.7 Il ricevitore e le antenne.....	23
2.7.1 Caratteristiche dell'antenna	23

2.7.2	Caratteristiche del ricevitore	24
2.7.3	Numero di canali.....	24
2.7.4	Tempo di acquisizione	24
2.7.5	Protocollo di comunicazione	25
2.7.6	Scelta del ricevitore	25
2.8	Il sistema GLONASS	25
2.9	Il sistema EGNOS	26
Capitolo 3.....		29
SISTEMI DI NAVIGAZIONE.....		29
3.1	La barra di guida	29
3.2	La guida assistita.....	30
3.3	La guida semi automatica	31
Capitolo 4.....		33
ATTREZZATURE IMPIEGATE		33
4.1	Obiettivo della tesi.....	33
4.2	Vantaggi e problematiche connesse delle operazioni combinate	34
4.3	Metodologia di prova	36
4.3.1	Descrizione degli attrezzi.....	36
4.3.2	Descrizione del trattore.....	41
4.3.3	Descrizione del sistema di guida	41
4.3.4	Descrizione del sistema RTK Leica Mojo.....	43
4.3.5	Descrizione del RTK Trimble	43
Capitolo 5.....		45
ANALISI SPERIMENTALI.....		45
5.1	Impostazione delle prove	45
5.1.1	Planimetria dell'appezzamento e rilevazione dei pali.....	46
5.1.2	Individuazione delle linee di riferimento degli interfilari	46
5.1.4	Analisi dei tempi	48
5.2	Analisi economica	48
5.2.1	Calcolo del costo di esercizio delle macchine.....	48
5.2.2	Le spese fondamentali annue.....	49
5.2.3	Le spese orarie di utilizzazione	50
5.3	Confronto funzionale tra operazioni separate e riunite	52
5.3.1	Confronto funzionale tra operazioni di trinciatura e diserbo meccanico	54
5.3.2	Confronto funzionale tra operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e spollonatura	54

5.3.3 Confronto funzionale tra operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e cimatura	55
5.3.4 Considerazioni funzionali conclusive sulle prove	56
5.4 Confronto economico tra operazioni separate e riunite	56
5.4.1 Confronto economico tra operazioni di trinciatura e diserbo meccanico	57
5.4.2 Confronto economico tra operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e spollonatura	58
5.4.3 Confronto economico tra operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e cimatura	59
5.4.4 Considerazioni economiche conclusive sulle prove	59
5.5 Considerazioni conclusive sulle prove	63
Capitolo 6	65
ANALISI DELLE TRAIETTORIE	65
6.1 Performance sul posizionamento	65
6.1.1 Deviazioni medie	65
6.1.2 Deviazioni periodiche	69
6.1.3 Andamento globale della traiettoria	71
6.1.4 Spazi di assestamento	77
6.2 Performance sulle svolte	80
Capitolo 7	83
CONCLUSIONI	83
BIBLIOGRAFIA	85
RINGRAZIAMENTI	87

RIASSUNTO

USO DEI SISTEMI DI NAVIGAZIONE SATELLITARE NELLA GESTIONE DELLE OPERAZIONI COLTURALI IN VIGNETO

In un'ottica della riduzione dei costi e del fabbisogno di manodopera, la viticoltura moderna necessita di strategie/mezzi che consentano agli operatori di razionalizzare le operazioni colturali ed aumentare l'efficienza dei fattori produttivi anche attraverso la meccanizzazione.

La guida assistita dal satellite o automatica può rispondere a questo tipo di esigenza perché aumenta la superficie dominabile da un singolo operatore e consente di effettuare le operazioni meccanizzate con cantieri riuniti in modo da combinare in un'unica passata varie operazioni che con la guida manuale non potrebbero essere eseguite.

L'obiettivo della tesi è di indagare, con prove/esperimenti in campo, la possibilità di utilizzare la guida assistita in ambiente confinato come il vigneto, valutando le prestazioni tecniche (precisione) le prestazioni operative ed economiche dei sistemi di guida nel vigneto.

ABSTRACT

USE OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS IN MANAGING OF CULTURAL OPERATION IN VINEYARD

In a perspective of reduction of cost and labor requirements, modern viticulture need strategies and means allowing to operators to rationalize operations of cultivations and increase the efficiency of inputs also through mechanization.

The GNSS and automatic assisted steering systems can solve this kind of need, because it increases the area dominated by a single operator and it allows to make mechanized operations with united yards in order to combine various operations in a single pass that with the manual driving could not be performed.

The aim of this thesis is to examine, considering the existing literature and the experiments, the possibility to use the assisted steering system in a confined environment like the vineyard, evaluating technical and economic performance (accuracy) of drive steering systems in the vineyard.

Capitolo 1

INTRODUZIONE

Un sistema di posizionamento è un metodo generale per identificare e registrare anche dinamicamente la posizione di un oggetto o di una persona sulla superficie terrestre, in aria o nello spazio.

I sistemi di posizionamento (Global Navigation Satellite Systems - GNSS) e navigazione satellitari ad oggi disponibili ed utilizzati per scopi militari o nelle attività civili sono i 3 seguenti:

- Sistema globale di posizionamento e navigazione americano (**NAVSTAR-GPS**);
- Sistema globale di navigazione satellitare russo (**GLONASS**);
- Servizio europeo di posizionamento (**EGNOS-GALILEO**).

La maggior parte dei sistemi opera mediante un ricevitore GNSS collegato al trattore agricolo o alla mietitrebbiatrice permettendo l'identificazione in tempo reale della posizione. Il sistema di guida automatica agisce direttamente sullo sterzo dove il GPS mantiene esattamente parallele le passate con una minima sovrapposizione portando come benefici un minore stress per l'operatore, risparmio di tempo e di sprechi inferiori. Il sistema di guida assistita invece prevede un computer palmare sul quale è schematizzata la dimensione del campo da trattare e la forma del trattore; vengono inoltre visualizzate le passate appena eseguite. Nel momento in cui l'operatore va ad effettuare delle sovrapposizioni il palmare segnala l'evento, generalmente tramite segnale acustico. Naturalmente, l'impostazione essenziale è che l'operatore vada a definire la larghezza di lavoro dell'attrezzo agricolo accoppiato al trattore.

1.1 IL SISTEMA NAVSTAR-GPS

Il sistema di navigazione e posizionamento globale americano basato su satellite, definito dall'acronimo NAVSTAR-GPS (NAVigation System Time and Ranging Global Positioning System), meglio conosciuto come GPS, è stato creato e reso operativo a partire dalla fine degli anni '70, con il lancio nello spazio del primo satellite nel 1978 da parte del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, al quale ne compete il controllo, anche se il suo utilizzo civile è stato consentito solamente a partire dal 27 aprile 1995.

Esso consiste di un insieme di 24 satelliti che orbitano a 20.180 km attorno alla superficie terrestre e compiono un giro completo attorno ad essa circa ogni 12 ore (11 ore e 58 minuti). Sono suddivisi in 6 percorsi orbitali (4 satelliti per ciascun percorso), inclinati di 55° sull'equatore, matematicamente definiti e conosciuti, così da garantire che almeno 4 satelliti siano potenzialmente ricevibili per 24 ore da un ricevitore posizionato in un qualsiasi punto della superficie terrestre.

Ciascun satellite, identificato dal numero di veicolo spaziale (SVN), è equipaggiato di orologi atomici, dispositivi alimentati ad energia solare ed in grado di misurare il tempo con elevatissima precisione, sulla base delle oscillazioni periodiche naturali dell'atomo presente all'interno del meccanismo. In ogni satellite sono presenti 2 orologi al cesio e 2 al rubidio, per assicurare che almeno uno di essi sia sempre funzionante. Gli orologi misurano il tempo con la scala temporale universale messa a punto per gli orologi atomici dal Bureau International de l'Heure de Paris, esprimendolo nel sistema in adozione all'Osservatorio Navale degli Stati Uniti.

Il funzionamento e la precisione degli orologi infatti rappresenta un elemento critico del sistema, in quanto sta alla base dell'utilizzo dei satelliti per la determinazione della posizione e la navigazione. All'interno di ogni satellite inoltre è presente un emettitore di onde radio, trasmesse di continuo ad una frequenza variabile da 1.200 a 1.500 MHz e viaggianti attraverso l'atmosfera terrestre ad una velocità di poco inferiore a quella della luce nel vuoto (300.000 km/s). Tale dispositivo di emissione è in grado anche di funzionare da ricevitore, così da captare i segnali provenienti dalle stazioni di controllo a terra. L'utilizzo di un ricevitore GPS consente all'utente di captare il segnale emesso dai satelliti visibili sull'orizzonte e di conoscere la propria posizione, espressa come coordinate (X, Y, Z) di un sistema cartesiano tridimensionale di riferimento, avente l'origine corrispondente al centro della terra (sistema geocentrico) e conosciuto come WGS84, acronimo di World Geodetic System '84. A tale sistema di riferimento è associato un ellissoide (ellissoide GRS80), avente la stessa origine del sistema

cartesiano: le coordinate cartesiane X ed Y fornite dal sistema GPS possono perciò essere convertite in coordinate geografiche (latitudine e longitudine) riferite a tale ellissoide.

1.2 MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO DEL GPS

Il sistema GPS viene utilizzato per la determinazione della posizione di un qualsiasi punto sulla superficie terrestre mediante il calcolo della distanza del ricevitore stesso da un numero minimo di 4 satelliti, utilizzando il tempo di percorrenza che il segnale radio emesso da ciascun satellite impiega per raggiungere il ricevitore posizionato sul punto di cui si vuole conoscere la posizione.

1.2.1 La misurazione del tempo trasmesso dal satellite

Si basa sul fatto che sia il ricevitore (appena acceso) che ciascun satellite generano in continuo dei codici ad impulsi e che il momento in cui ciò avviene è misurabile grazie alla sincronizzazione degli orologi presenti a bordo del satellite ed all'interno del ricevitore. Il segnale trasmesso da un satellite viene captato dal ricevitore con un certo ritardo a causa del tempo che il segnale, viaggiando a velocità costante, impiega per arrivare al punto in cui è posizionato il ricevitore. La misurazione del ritardo (espresso in centesimi di secondo) consente di calcolare la distanza che separa il ricevitore dal satellite. I segnali generati dal satellite e dal ricevitore appaiono infatti come un'insieme di impulsi che si ripetono ogni millisecondo, e nel momento in cui il segnale del satellite raggiunge il ricevitore esso viene confrontato con quello emesso dallo stesso ricevitore: la conoscenza della durata di un singolo impulso, nota a priori, e della velocità con la quale viaggia il segnale consentono perciò di risalire a tale ritardo e quindi alla distanza che separa il ricevitore dal satellite. Successivamente, nota la posizione attuale del satellite e la distanza dal satellite, allora anche la posizione del ricevitore GPS è conosciuta e si trova sulla superficie di una sfera con centro nella posizione del satellite e raggio uguale alla distanza calcolata tra il satellite e il ricevitore. Tale procedura viene ripetuta per ciascun segnale captato dal ricevitore e proveniente da differenti satelliti e consente di determinare la posizione teorica del ricevitore (pseudo range) in quanto risultante da un'operazione di stima soggetta ad errori di varia origine.

1.2.2 Caratteristiche del segnale

Il segnale generato da ciascuno dei 24 satelliti appartenenti al GPS viene trasmesso su due differenti frequenze radio portanti, denominate L1 e L2, le quali hanno una frequenza data da un multiplo di una frequenza fondamentale f_0 , uguale a 10,23 MHz, e rispettivamente pari a 1.575,42 MHz e 1.227,60 MHz.

Il segnale proveniente da ciascuno dei satelliti in orbita consiste in un messaggio di dati contenenti le informazioni sulla propria posizione, la lettura del tempo dell'orologio satellitare presente al suo interno e le condizioni generali (posizione relativa all'interno della costellazione, parametri della costellazione, ecc.).

Il segnale trasmesso su entrambe le frequenze è inoltre modulato secondo due codici differenti, a seconda dell'utilizzazione. In particolare, il segnale inviato sulla frequenza L1 è utilizzato per la determinazione della posizione ed utilizza i codici definiti rispettivamente P (Codice Preciso o Codice Protetto) in grado di dare una precisione assoluta di posizionamento di ± 30 metri ed è reso inaccessibile ai ricevitori di utilizzo comune per la trasmissione di segnali ad utilizzo militare, e C/A (Codice destinato ad uso civile) in grado di dare una precisione assoluta di posizionamento di ± 100 metri. Il segnale trasmesso sulla frequenza L2 utilizza solamente il codice P. Il sistema disponibile per gli utenti civili ha accesso solo al segnale L1 e al codice C/A ed è conosciuto come Servizio di Posizione Standard (SPS). Esiste, comprensibilmente una differenza tra l'accuratezza posizionale prodotto dai due sistemi. Il più preciso PPS produce stime di accuratezza della posizione del ricevitore entro 22 metri in orizzontale (latitudine e longitudine) e 27.7 metri verticale (altitudine) per il 95% del tempo. Il meno preciso SPS stima la posizione di un ricevitore solo entro 100 metri orizzontali e 156 metri verticali. L'uso di entrambi le frequenze portanti, L1 e L2, e dei loro codici costituisce invece la base del Servizio di Posizione Precisa (PPS), inizialmente disponibile solo ai militari USA e ai loro alleati, a certe agenzie governative USA e ad alcuni utenti civili appositamente autorizzati.

1.2.3 Le cause di errore del segnale

Sebbene la tecnologia di cui si avvale il GPS sia molto sofisticata e costosa, l'accuratezza del dato di posizione è influenzata da molte cause di errore, alcune delle quali intrinseche al sistema e perciò inevitabili, quali ad esempio:

- sfasamento degli orologi satellitari o del ricevitore;
- cambiamenti delle orbite satellitari;

- riduzione della precisione ;
- atmosfera terrestre;
- errori di traiettoria del segnale;
- ricevitori GPS

Un'altra causa di errore del segnale, completamente eliminata a partire dal mese di maggio 2002, era la disponibilità selettiva, indicata con S/A. Essa consisteva nella creazione artificiale di errori a carico del segnale ed era utilizzato per motivi di sicurezza dal Dipartimento della Difesa Nord Americano.

1.2.4 Sfasamento degli orologi satellitari

Gli orologi atomici montati sui satelliti sono dotati di un elevato grado di precisione, ma possono comunque commettere errori di misura, che, pur se all'apparenza insignificanti, possono avere un'influenza significativa sulla determinazione della posizione. Ad esempio, un errore di un millisecondo sul tempo totale impiegato dal segnale radio per arrivare a terra può tradursi in un errore di posizione pari a 300 km. Tale errore viene corretto mediante il ricorso a procedure differenziali da parte delle stazioni di monitoraggio a terra.

Nel caso in cui l'orologio del ricevitore non sia perfettamente sincronizzato con gli orologi satellitari si produce un errore nella determinazione della distanza e quindi della posizione del punto a terra: in questo caso però l'impiego di un numero minimo di 4 satelliti consente di calcolare ed eliminare tale sfasamento.

1.2.5 Cambianti delle orbite satellitari

Alcuni fenomeni naturali (es. asimmetria del campo gravitazionale terrestre, forze gravitazionali della luna e del sole, pressione della radiazione solare, ecc.) sono in grado di apportare minime modifiche alle orbite dei satelliti (altitudine, posizione e velocità), errori che se non corretti possono diventare significativi con il passare del tempo. A tal proposito si utilizzano delle procedure di correzione differenziale dalle stazioni di monitoraggio a terra.

1.2.6 Riduzione della precisione

Si intende la perdita di precisione a seguito della dislocazione geometrica dei satelliti sull'orizzonte del ricevitore durante l'esecuzione dell'osservazione. Tale decremento può interessare sia la posizione dei satelliti nelle tre dimensioni dello spazio che il tempo di percorrenza del segnale emesso dai satelliti: tanto minore è il valore del

decremento e tanto maggiore è la precisione del segnale. In generale si definisce favorevole una dislocazione geometrica in cui i satelliti si trovano a distanze confrontabili tra di loro, in quanto l'intersezione tra le sfere immaginarie descritte da ciascun satellite è più agevole da definire se i satelliti sono distanziati, mentre viene definita sfavorevole la dislocazione geometrica in cui i satelliti siano molto ravvicinati tra di loro nell'orizzonte del ricevitore.

In particolare si possono distinguere le seguenti componenti del decremento geometrico:

- Decremento di precisione nella determinazione della posizione interessa le tre dimensioni dello spazio (X, Y, Z) e fa riferimento alla determinazione della posizione nel suo complesso. In generale maggiore è il valore e minore è la precisione, a causa di un maggiore errore nella stima della posizione, mentre una buona geometria con la ricezione del segnale consente di avere un valore di basso, per una complessiva variazione di tale parametro tra 1 (valore ottimo) e 10 (valore pessimo);
- Decremento di precisione nella determinazione della posizione sul piano orizzontale interessa la latitudine (X) e la longitudine (Y);
- Decremento di precisione nella determinazione della posizione sul piano verticale interessa la quota altimetrica o elevazione (Z);
- Decremento di precisione nella determinazione del tempo

Tra gli aspetti che influiscono sul Decremento di Precisione esercita un ruolo di notevole importanza il numero e l'elevazione dei satelliti che si trovano sull'orizzonte del ricevitore. Con un elevato numero si ha una maggiore affidabilità nella determinazione della posizione e se l'elevazione di ciascun satellite sull'orizzonte risulta inferiore a 15° si possono avere delle difficoltà nella determinazione precisa della posizione.

1.2.7 Atmosfera terrestre

Il segnale proveniente dai satelliti subisce un rallentamento più o meno marcato della velocità di propagazione nell'attraversamento dell'atmosfera terrestre, a causa delle particelle dotate di carica elettrica presenti nell'atmosfera e dei vapori (es. vapore acqueo).

Tale errore può essere accuratamente quantificato e minimizzato confrontando i diversi rallentamenti di velocità di segnali aventi frequenze differenti, così da ricavare

l'incidenza dell'errore e consentire la correzione differenziale del segnale. A tal proposito possono essere utilizzati i segnali L1 e L2 trasmessi dai satelliti.

1.2.8 Errori di traiettoria del segnale

Gli errori di traiettoria insorgono quando il segnale GPS non arriva direttamente al ricevitore a causa di ostacoli di vario genere presenti lungo il percorso in particolare ostacoli fisici quali montagne, fabbricati, alberature molto alte o anche stagni, laghi tetti metallici che impediscono la traiettoria del segnale, con una parte del segnale che arriva direttamente all'antenna del ricevitore ed un'altra che viene captata/riflessa. Ciò causa un disturbo, sia a livello della percezione di una maggiore distanza percorsa sia a livello del tempo impiegato: in questo caso si può minimizzare l'errore prolungando il tempo di osservazione e quindi di ricezione.

Capitolo 2

SISTEMI DI CORREZIONE

2.1 Correzione differenziale

A causa degli errori sistemici che interessano il sistema di posizionamento, nessun ricevitore è in grado di produrre valori di posizione caratterizzati da una precisione assoluta. Anche se i ricevitori più evoluti (e costosi) sono comunque dotati dei migliori orologi e di una elevata precisione matematica nell'elaborazione del segnale ricevuto, con la possibilità di individuare e correggere anche gli errori di bassa entità, la determinazione della posizione di un punto sulla superficie terrestre risulta comunque affetta da un'accuratezza di circa 20÷30 metri.

Nelle applicazioni agricole, ciò si traduce nella possibilità di individuare un punto discriminando tra differenti appezzamenti o di determinarne la posizione relativa in maniera grossolana, ma non è sufficiente per consentirne l'esatta posizione all'interno del campo.

Con la correzione differenziale si migliora l'accuratezza del segnale. La correzione differenziale si ottiene sfruttando le informazioni di un secondo ricevitore non in movimento, definito **stazione di base** e situato in un punto di cui sono conosciute le coordinate geografiche e la posizione reale rispetto ai singoli satelliti. La stazione base è in grado quindi di calcolare continuamente la sua distanza da ciascun satellite e di stabilire l'entità dello scarto tra la distanza reale e quella misurata.

Nel nostro caso la correzione differenziale è in tempo reale; la correzione viene trasmessa al ricevitore durante il suo utilizzo. In questo caso il ricevitore deve essere

predisposto per la contemporanea ricezione del segnale proveniente dai satelliti e di quello inviato dalla stazione di base.

Nel caso in cui si debba eseguire la correzione differenziale di un ricevitore in movimento, è necessario che la stazione di base ed il ricevitore abbiano contemporaneamente gli stessi satelliti nei rispettivi orizzonti, così che il ricevitore sia in grado di dedurre la correzione differenziale appropriata della distanza stimata da ogni satellite, migliorando l'accuratezza della posizione.

2.2 Correzione differenziale in tempo reale basata su satellite (DGPS)

Lo strumento più diffuso per la trasmissione del segnale di correzione è rappresentato da un sistema di stazioni base e un satellite geo-stazionario. Le stazioni base presenti a terra calcolano il dato di correzione e lo trasmettono ad un satellite geo-stazionario, che, a sua volta, lo trasmette agli utilizzatori a terra. Tale sistema consente di coprire un'area molto ampia, mentre la posizione fissa del satellite di correzione consente di evitare gli sbarramenti rappresentati dagli ostacoli a terra, quali edifici o alberature, migliorando l'accuratezza del segnale ad un livello sub-metrico. L'impiego della correzione differenziale può consentire una tale accuratezza solamente per quanto riguarda il posizionamento orizzontale(X,Y). Il servizio ad oggi è gestito da alcune aziende specializzate (OMNISTAR, LANDSTAR, ecc.) che offrono la correzione in cambio del pagamento di un canone.

2.3 Correzione differenziale in tempo reale cinematica (RTK DGPS)

Il sistema di correzione differenziale cinematica in tempo reale, conosciuto come RTK (Real Time Kinematic), si basa sull'utilizzo, come segnale di correzione, del segnale inviato al ricevitore via radio modem da una stazione di base presente al massimo ad una distanza di qualche chilometro (mediamente da 3 a 5 km) dal punto in cui si sta operando con il ricevitore. La lettura del segnale proveniente dai satelliti viene integrata con la determinazione della distanza attraverso il calcolo del numero di cicli dell'onda portante, con una precisione che nel caso di ricevitori a singola frequenza è inferiore ai 20 centimetri, mentre nel caso di ricevitori a doppia frequenza migliora ulteriormente fino a scostamenti di pochi centimetri su tutte e tre le dimensioni dello spazio.

Se i segnali ricevuti e la correzione contengono codice+fase la tecnica prende il nome di RTK (Real Time Kinematic) e raggiunge accuratze dell'ordine di alcuni centimetri. Questa tecnica è molto rapida e produttiva e viene applicata frequentemente in rilievi di

dettaglio, tracciamenti, operazioni catastali e in tutti i casi in cui si richieda un posizionamento rapido con accuratezza < 5 cm.

E' possibile effettuare rilievi RTK in due modi alternativi:

RTK Base-Rover: è necessaria una coppia di ricevitori. Un ricevitore (base) viene posto su un punto di coordinate note (ad es. un vertice di una rete statica come la IGM95 o il suo raffittimento regionale), e invia all'altro ricevitore mobile (rover) la correzione RTCM per mezzo di una coppia di radio modem (distanze $< 1-2$ km, e a vista) oppure mediante un telefono o modem GSM;

NRTK (Network RTK): l'utente necessita di un solo ricevitore (rover) che riceve la correzione RTCM da una rete di stazioni permanenti GNSS, di norma mediante un telefono o modem GSM/GPRS/UMTS che si connette al sito web della rete e acquisisce la correzione mediante un protocollo di comunicazione denominato Ntrip. Normalmente il collegamento è bidirezionale: il rover invia alla rete la propria posizione (mediante un messaggio NMEA) e la rete risponde inviando all'utente una correzione personalizzata e ottimizzata per la sua posizione.

2.4 Reti dinamiche GNSS e servizi di posizionamento

Una stazione permanente GNSS è un'installazione fissa dotata di un ricevitore e un'antenna di tipo geodetico, che acquisisce con continuità tutti i segnali (codice+ fase, tutte le frequenze) emessi dai satelliti visibili, 24 ore su 24 per tutti i giorni della settimana. Le stazioni permanenti vengono anche dette CORS (Continuously Operating Reference Station). Ogni stazione trasmette i dati acquisiti a un centro di controllo della rete che rende i dati accessibili all'utenza fornendo diversi servizi di posizionamento.

A partire dagli anni 1990 sono state realizzate le prime reti di stazioni permanenti GNSS (reti dinamiche GNSS), dalla scala nazionale a quella mondiale, con finalità prevalentemente scientifiche (definizione dei datum globali, studio dei movimenti della crosta terrestre, ...).

Oggi vengono realizzate anche reti di stazioni permanenti GNSS su scala regionale, con interdistanze tra le stazioni dell'ordine di alcune decine di chilometri, con finalità tecniche. Queste reti hanno infatti lo scopo di distribuire il datum all'utenza in maniera diffusa, erogando diversi servizi di posizionamento, ed hanno portato a un notevole incremento delle prestazioni e della produttività rispetto alle metodologie topografiche e GNSS che si appoggiavano alle sole reti statiche.

I Servizi di Posizionamento erogati: I principali servizi di posizionamento che una rete di stazioni permanenti GNSS è in grado di erogare sono i seguenti:

2.5 Servizi in Post-Processamento

Nell'area coperta da una rete di stazioni permanenti, l'utente può eseguire rilevamenti in posizionamento relativo (statico o cinematico) con un solo ricevitore, con evidente beneficio economico e di tempo. Dal sito web della rete vengono scaricati i files dei dati grezzi (raw data) acquisiti dalle stazioni permanenti della rete (in formato binario o RINEX) e le monografie delle stazioni stesse (che contengono le coordinate in vari sistemi di riferimento). Con un proprio software di post-processamento l'utente calcola le baselines che collegano le stazioni della rete ai punti rilevati, esegue l'eventuale calcolo di compensazione della rete di baselines ed ottiene infine le coordinate dei punti rilevati (o i tracciati nel caso cinematico) con accuratezza che raggiunge l'ordine dei centimetri. A scopo di controllo, l'utente può occupare con il proprio ricevitore alcuni punti di posizione nota appartenenti a reti statiche (IGM95 o raffittimento regionale).

Alcuni gestori di reti di stazioni permanenti offrono, su richiesta, anche un servizio di calcolo delle posizioni o tracciati dell'utente, che può essere eseguito in modo automatico o manuale.

Un altro utile servizio per il post-processamento è la fornitura di files RINEX virtuali calcolati dal software della rete per una posizione definita dall'utente (ad es. per emulare una stazione fissa nell'area di un cantiere, o in prossimità del rilevamento da eseguire)

2.6 Servizi in Tempo Reale

Nell'area coperta da una rete di stazioni permanenti, l'utente può eseguire rilevamenti in tempo reale con un solo ricevitore "rover" mediante la tecnica del posizionamento differenziale, ricevendo dalla rete una correzione RTCM.

La correzione viene ricevuta di norma mediante accesso GSM (GPRS o UMTS) a Internet connettendosi con il Caster (indirizzo web che trasmette correzioni 24 ore su 24) della rete attraverso il protocollo Ntrip (il software necessario all'utente può essere scaricato gratuitamente). Il caster mette a disposizione diversi Data Stream, ovvero flussi di dati che possono riguardare il solo codice o il codice più la fase.

Tecnica DGPS. Utilizzando il solo codice si utilizza di solito la correzione proveniente da una sola stazione della rete (possibilmente la più vicina, ma il metodo funziona anche

con distanze > 100 km) e si raggiunge un'accuratezza di posizionamento dell'ordine del metro.

Tecnica NRTK: Utilizzando codice + fase le modalità oggi più utilizzate per il calcolo delle correzioni sono le seguenti:

- VRS (Virtual Reference Station): l'utente invia alla rete la propria posizione approssimata mediante un messaggio NMEA. Il centro di controllo genera e gli invia una correzione personalizzata, calcolata in base alla posizione del rover, che emula una stazione (detta per questo virtuale) posta in prossimità dell'utente, ad es. a pochi km di distanza dall'area del rilievo. La correzione VRS è calcolata a partire dai dati delle stazioni circostanti l'utente, ma per il software del ricevitore viene vista come se provenisse da una sola stazione base. Si richiede un collegamento bidirezionale (rete ↔ rover).
- FKP (Flächen Korrektur Parameters): il centro di controllo della rete invia agli utenti correzioni sotto forma di parametri che esprimono i gradienti di correzione nella rete, da cui vengono ricavate per interpolazione le correzioni da applicare al rover. A differenza del caso precedente, la comunicazione bidirezionale rete ↔ rover non è indispensabile: FKP è infatti utilizzabile con o senza NMEA, ma la disponibilità della posizione approssimata dell'utente attraverso lo NMEA permette al sistema di inviargli parametri FKP più appropriati per la sua posizione.
- MAC (Master-Auxiliary Concept): il centro di controllo invia al rover le correzioni di una stazione master e le differenze (rispetto alla stazione master) delle correzioni di alcune stazioni ausiliarie. Le stazioni vengono scelte in base alla cella della rete dove si trova l'utente. Le informazioni vengono "impacchettate" in modo compatto. Non è il centro di controllo della rete bensì il software del ricevitore rover a elaborare i dati ricevuti, nella maniera ritenuta più opportuna. È un approccio più flessibile dei precedenti, in quanto non utilizza modelli predefiniti ma lascia libertà all'utente. Richiede l'impiego del formato RTCM nella versione 3.0 o successive, e può funzionare anche con comunicazione unidirezionale (per determinare la cella ci sono metodi alternativi all'invio di un messaggio NMEA).

- Nearest: viene inviata all'utente la correzione RTCM proveniente da una sola stazione, la più vicina; questo approccio non è un "vero" NRTK ma piuttosto un RTK base-rover in cui la base è una stazione della rete, per cui non vengono sfruttati i maggiori vantaggi del servizio a rete, come invece viene fatto con le tecniche più evolute sopra descritte.

2.6.1 Proprietà e concetti del segnale di correzione

Il segnale proveniente dai satelliti e captato dal ricevitore può presentare caratteristiche differenti a seconda delle condizioni in cui si esegue il rilievo o delle stesse strumentazioni che si impiegano nell'esecuzione del rilievo stesso. A questo proposito è opportuno, durante l'utilizzazione in campo agricolo e per la scelta oculata del ricevitore, introdurre i concetti di **stabilità** del segnale e di **ripetibilità** e **accuratezza** del dato di posizionamento.

2.6.2 Stabilità del segnale

Il dato di posizionamento visualizzato sul display è soggetto a continue variazioni, soprattutto se il ricevitore è in movimento, a seguito del continuo cambiamento di posizione rispetto ai satelliti presenti sul proprio orizzonte. La stabilità del segnale si riferisce perciò alla condizione in cui il dato di posizionamento non subisce variazioni per un certo intervallo di tempo a patto che anche l'antenna rimanga ferma. Quindi, durante i rilievi è consigliabile attendere qualche minuto dopo l'accensione del GPS per consentire al ricevitore di sintonizzarsi con i satelliti in orbita: in proposito si parla di tempo di acquisizione, ossia l'intervallo di tempo necessario perché un ricevitore riesca ad individuare ed agganciare i satelliti in orbita. Durante le misurazioni in campo invece, è comunque consigliabile sostare alcuni minuti sul punto da registrare per avere una maggiore stabilità del segnale e quindi aumentare l'affidabilità del dato.

2.6.3 Accuratezza del dato di posizionamento

Rappresenta il parametro di riferimento per la comprensione della bontà dei dati di posizionamento rilevati. In particolare, una misura dell'accuratezza talvolta usata per situazioni stazionarie è la probabilità di errore circolare, la quale si riferisce a stime di errori orizzontali e si definisce come il più piccolo raggio di una circonferenza che racchiude il 50% delle posizioni GPS: ad esempio, se il 50% delle posizioni registrate dal GPS cadono all'interno di un raggio di 3 m, l'accuratezza sarà di 3 m .

2.6.4 Ripetibilità del dato di posizionamento

Rappresenta l'aspetto più importante per l'agricoltura di precisione, in quanto se l'accuratezza assoluta del dato di posizionamento non è indispensabile dal momento che comunque il sistema aziendale di riferimento è un sistema relativo rispetto al sistema geografico di riferimento in cui vengono espresse le coordinate, e quindi l'errore o l'imprecisione rimangono costanti all'interno della stessa azienda, la possibilità di poter ritornare su un punto a distanza di tempo rappresenta in generale un elemento di cruciale importanza per questa tesi visto l'ambito confinato dai filari del vigneto.

2.7 Il ricevitore e le antenne

Un ricevitore GPS è costituito da un'antenna, incorporata o esterna rispetto al ricevitore, per la ricezione del segnale proveniente dai satelliti e da un'apparecchiatura più o meno complessa costituita da un orologio atomico, un generatore di codici di frequenza ed un sistema per la parziale elaborazione e l'eventuale temporanea memorizzazione dei dati. Questi devono poi essere scaricati su computer per la successiva elaborazione o esportati su dispositivi portatili per l'elaborazione o comunque per una visualizzazione già in fase di rilievo in campo.

2.7.1 Caratteristiche dell'antenna

La ricezione del segnale di correzione differenziale avviene grazie ad una seconda antenna, la quale può essere separata o integrata con l'antenna per la ricezione del segnale trasmesso dai satelliti, così da parlare di singola o doppia antenna, comunque racchiuse in un unico dispositivo. L'antenna può essere a sua volta esterna al ricevitore o integrata con esso.

E' importante ricordare che l'antenna, in fase di allestimento del veicolo (es. mietitrebbiatrice per la mappatura; trattrice per l'applicazione variabile dei fattori colturali), deve essere installata nella posizione più elevata e perfettamente simmetrica rispetto alla carreggiata (sul tettuccio esterno della cabina), al fine di rilevare un dato perfettamente baricentrico rispetto alla larghezza dell'area di lavoro (es. larghezza di taglio della barra in fase di raccolta; larghezza di lavoro di operatrice per il dosaggio variabile). Inoltre deve essere collocata in posizione visibile e sicura al fine di evitare che componenti del veicolo costituiscano un ostacolo alla ricezione del segnale.

2.7.2 Caratteristiche del ricevitore

I principali aspetti da considerare nella scelta del ricevitore in campo agricolo sono legati al tipo di utilizzazione prevista.

Singola o doppia frequenza

La capacità di captare l'una o l'altra o entrambe le frequenze (L1 ed L2) portanti il segnale inviato dai satelliti condiziona la precisione del dato di posizione: per la correzione differenziale è sufficiente un ricevitore a singola frequenza mentre per correzioni di tipo cinematico è necessaria la doppia frequenza.

2.7.3 Numero di canali

Il numero di canali rappresenta la quantità di segnali provenienti dai satelliti in orbita che possono essere captati. I canali rappresentano infatti il circuito necessario al ricevitore per ricevere il segnale dai satelliti e poiché possono essere visibili al massimo 12 satelliti (la norma è pari a 8) nell'orizzonte, il ricevitore può essere di tipo *seriale* o *parallelo*: un *ricevitore seriale* presenta numero di canali basso (2-6) e di conseguenza per captare il segnale di almeno 4 satelliti deve rilevare i satelliti in sequenza, ossia deve passare continuamente da un satellite all'altro in tempi molto brevi per riceverne il segnale. Questo penalizza l'accuratezza del dato di posizionamento, soprattutto se il ricevitore è in movimento. I *ricevitori in parallelo* invece, detti anche multi-canali o continui, utilizzano 8-12 canali, ognuno dedicato alla ricezione del segnale emesso da un satellite che viene seguito in continuazione, così da poter rintracciare fino ad un massimo di 12 satelliti simultaneamente. L'incremento dell'accuratezza del dato è evidente in quanto nell'elaborazione dei segnali possono essere selezionati differenti serie di satelliti e quindi di minimizzare gli errori nel calcolo della posizione, alcuni ricevitori, sono in grado di ricevere il segnale proveniente da satelliti appartenenti a costellazioni differenti, ossia da satelliti del sistema NAVSTAR o del sistema GLONASS, e ciò consente di incrementare ulteriormente il numero di satelliti visibili all'orizzonte del ricevitore aumentando l'accuratezza del dato di posizionamento;

2.7.4 Tempo di acquisizione

E' il tempo necessario al ricevitore per rilevare i satelliti presenti nella sua orbita e di riceverne il segnale quando viene acceso (inizializzazione). Esso può variare da qualche secondo, se dal punto in cui si trova sono facilmente visibili i satelliti, fino a qualche minuto se all'orizzonte non sono visibili i satelliti in numero tale da consentire l'elaborazione del dato di posizionamento. In proposito, i ricevitori in parallelo sono

dotati di un tempo di acquisizione inferiore proprio per la capacità di captare il segnale da un numero maggiore di satelliti. Nel caso infine di ricevitori a doppia frequenza per la ricezione del segnale di correzione RTK, è necessaria al momento dell'accensione, la ricezione del segnale di almeno 5 satelliti, con un tempo di acquisizione superiore rispetto alla ricezione del segnale di correzione differenziale;

2.7.5 Protocollo di comunicazione

Ciascuna casa costruttrice utilizza un protocollo di comunicazione, spesso in formato binario per la trasmissione di dati (es.: dati relativi ai segnali radio delle portanti dei satelliti, la fase delle portanti, ecc.) relativi alle informazioni di posizionamento o comunque utilizzabili per ricavare dai segnali radio ricevuti una accuratezza superiore. Accanto a tali protocolli specifici, per interfacciare un ricevitore con altre apparecchiature (es.: unità di controllo dell'operatrice abbinata all'operatrice), viene però utilizzato il **protocollo standard di comunicazione NMEA serie 0183**. Tale standard è definito e gestito dalla National Marine Electronics Association americana, un'associazione di produttori, distributori, rivenditori, scuole ed altri enti che operano nel settore dell'elettronica applicata al campo nautico.

2.7.6 Scelta del ricevitore

La scelta del ricevitore più adatto rappresenta una fase di cruciale importanza, sia per la possibilità di poter svolgere le operazioni di campo con la precisione e l'accuratezza necessarie, sia perché il costo di un ricevitore satellitare può risultare molto variabile, da poche centinaia a parecchie migliaia di euro, e quindi la scelta della giusta apparecchiatura si riflette poi sulla convenienza economica delle operazioni di campo che devono essere portate a termine. Al momento della scelta di un ricevitore i parametri che maggiormente devono essere tenuti in debita considerazione in agricoltura sono l'accuratezza, la quale varia a seconda dell'operazione da svolgere e delle esigenze dell'utilizzatore, e la ripetibilità, soprattutto nel caso in cui i dati di posizionamento riferiti ad un'operazione colturale vengano impiegati in un secondo momento per gli interventi successivi.

2.8 Il sistema GLONASS

Il sistema globale di navigazione russo, definito dall'acronimo GLONASS, è per molti aspetti simile al GPS per quel che riguarda le modalità di funzionamento, ed è stato

creato all'inizio degli anni '80 e viene gestito dalle Forze spaziali russe per conto del Governo Federale russo. Il sistema è ufficialmente operativo dal 24 Settembre 1993, anche se solo dal 1996 è disponibile per usi civili. Il GLONASS consiste di una flotta di 24 satelliti (di cui 22 operativi) che orbitano a 19.100 km attorno alla superficie terrestre e compiono un giro completo attorno ad essa circa ogni 12 ore (11 ore e 16 minuti). Sono suddivisi in 3 percorsi orbitali (8 satelliti per ciascun percorso), inclinati di 64.8° sull'equatore, così da garantire che almeno 5 satelliti siano potenzialmente ricevibili per 24 ore da un ricevitore posizionato in un qualsiasi punto della superficie terrestre. I satelliti trasmettono ognuno con una propria frequenza specifica all'interno della banda L, utilizzando due basi portanti pari a 1.602 MHz (L1) e a 1.246 MHz (L2), che vanno poi moltiplicate per una costante e per un coefficiente diverso per ciascun satellite. Il segnale inoltre può essere espresso secondo due codifiche: il segnale standard di precisione di navigazione (SP), ed il segnale di navigazione ad alta precisione (HP). Il primo è designato quale segnale di posizione e tempo disponibile con continuità per tutti gli utenti nel mondo che utilizzino il sistema GLONASS. Esso ha un'accuratezza di posizione orizzontale pari a 50-70 m (99.7 % del tempo) e un'accuratezza verticale pari a 70 m (99.7 % del tempo). Le accuratezze posizionali possono essere migliorate con l'uso di tecniche di correzione differenziale. Il secondo invece viene utilizzato esclusivamente dal Dipartimento della Difesa per scopi militari.

A differenza di quanto avviene con il sistema GPS, la posizione determinata con il sistema GLONASS viene riferita al sistema PZ-90 (Russian Parameters of Earth, 1990), ossia un sistema parametri russo.

Possono essere disponibili dei ricevitori settati per poter captare simultaneamente il segnale inviato dai satelliti appartenenti al sistema GPS ed al sistema GLONASS, con una migliore prestazione nella determinazione della posizione, in quanto l'uso di entrambi i sistemi accresce il numero di satelliti disponibili nell'orizzonte del ricevitore.

2.9 Il sistema EGNOS

EGNOS, acronimo di European Geostationary Navigation Overlay Service, è la versione europea, sviluppata dall'Agenzia Spaziale Europea, dei sistemi americano WAAS, utilizzabile negli USA per l'Agricoltura di Precisione. Si tratta dell'integrazione dei sistemi di navigazione americano (GPS) e russo (GLONASS) già esistenti basata su tre elementi:

- 1) una rete di tre satelliti geo-stazionari, tra i quali un satellite (AOR) per la copertura del continente europeo ed uno (IOR) per la copertura del continente asiatico;
- 2) una rete terrestre di stazioni di elaborazione dei dati relativi ai ritardi del segnale emesso dai satelliti del sistema GPS a causa della ionizzazione dell'atmosfera, distribuite sul territorio europeo: ciascuna stazione elabora l'errore sulla base di procedure differenziali per la propria zona di competenza;
- 3) una rete di stazioni centrali a terra che raccolgono i dati elaborati dalle precedenti.

I fattori di correzione così elaborati vengono inviati ai satelliti del sistema per essere ritrasmessi ad un qualsiasi ricevitore a terra utilizzando la frequenza di trasmissione L1 del sistema GPS.

Il ricevitore, appositamente predisposto, grazie ad uno speciale software in grado di elaborare i dati ricevuti, seleziona i fattori di correzione dei punti a terra ad esso più vicini e li utilizza per la correzione dei segnali ricevuti, con una precisione nella determinazione della posizione che oggi risulta variabile nel range di 2÷3 metri.

Ad oggi il sistema è in fase di messa a punto con una parte dei satelliti già in orbita ed è sottoposto ai test di validazione, che terminerà nel 2018 con il sistema completo e pienamente operativo; di conseguenza esso non è attualmente in grado di garantire la stabilità del servizio, mentre negli intervalli di tempo in cui esso è attivo la copertura delle regioni europee è eseguita quasi esclusivamente (90% dei casi) dal satellite IOR, il quale si trova basso all'orizzonte di un ricevitore utilizzato nelle nostre zone, con una conseguente cattiva ricezione del segnale.

Nel momento in cui il sistema risulterà operativo a tutti gli effetti, esso conterà di 30 satelliti in orbita (27 operativi e 3 di riserva), stazionati su tre orbite terrestri ad un'altezza di 23.222 km e con un'inclinazione di 56° rispetto all'equatore, mentre il funzionamento del satellite destinato alla copertura delle regioni europee consentirà di aumentare la precisione del dato di posizione.

In questo modo, EGNOS-GALILEO si inserisce in maniera perfettamente complementare nei sistemi dedicati alla navigazione globale già esistenti, consentendo l'integrazione dei segnali ed il loro utilizzo senza necessità di correzione differenziale: nel caso della navigazione all'interno dell'appezzamento l'utilizzo del sistema EGNOS-GALILEO infatti porterebbe ad una differenza significativa tra la traiettoria attesa e

quella reale, ma sarebbe comunque in grado di garantire una precisione superiore a quella del dato privo di correzione.

Capitolo 3

SISTEMI DI NAVIGAZIONE

3.1 La barra di guida

Una serie di led luminosi o un display aiutano l'operatore a mantenere il veicolo in traiettoria è il sistema più economico, viene utilizzato per le distribuzioni di prodotti chimici solidi o liquidi. L'accuratezza varia in genere da 15 a 30 cm in funzione del sistema utilizzato e dalle condizioni operative (velocità di avanzamento, visibilità, condizioni meteorologiche, ecc.).

Alcune ricerche hanno dimostrato che con la barra di guida è possibile aumentare del 13% la velocità di avanzamento rispetto ai normali tracciatori utilizzati oppure ridurre gli errori di distribuzione fino al 10%.



Figura 3.1: Display del sistema barra di guida

3.2 La guida assistita

I sistemi di guida assistita dei mezzi agricoli non interessano le fasi di voltata, durante le quali è richiesto l'intervento dell'operatore che agendo sullo sterzo disattiva il dispositivo di controllo automatico della direzione. L'impiego di tali sistemi comporta un incremento nella precisione del posizionamento, ma si accompagna a costi iniziali notevolmente più elevati rispetto alla barra di guida.

Si tratta di un sistema installabile su qualsiasi tipologia di trattore e basato sull'impiego di un ricevitore a doppia frequenza (12 canali) con correzione differenziale da una stazione base (RTK) posizionata nelle vicinanze (distanza massima 3-4 km), così da garantire una precisione di ± 2 centimetri. Il fatto che il dato di correzione differenziale venga generato in loco consente di avere una maggiore precisione e un'elevata ripetibilità, così da poter memorizzare i tracciati di un'operazione colturale (es. semina) per poterli poi impiegare negli interventi agronomici successivi (es. sarchiatura) con la stessa accuratezza nel posizionamento.

Il sistema di guida assistita EZ-Steer è un sistema che si colloca tra la barra di guida e la guida semi automatica, aziona il volante direttamente ed è di semplice installazione applicabile su tutte le trattori.



Figura 3.2: Kit del sistema EZ-Steer

Dal punto di vista costruttivo si tratta di:

Un antenna, un ricevitore che fa da monitor e da barra di guida e un motore elettrico del sistema EZ-Steer montato sul piantone dello sterzo che agisce sul volante azionandolo e mantenendo la traiettoria giusta, si attiva con un pulsante e nel momento in cui l'operatore agisce sul volante, come accade ad esempio nelle fasi di voltata, il sistema

viene disinserito istantaneamente per essere nuovamente attivato terminata la manovra.

3.3 La guida semi automatica

I sistemi di guida semi-automatica non interessano le fasi di voltata, durante le quali è richiesto l'intervento dell'operatore che agendo sullo sterzo disattiva il dispositivo di controllo automatico della direzione. L'impiego di tali sistemi comporta un incremento nella precisione del posizionamento, ma si accompagna a costi iniziali notevolmente più elevati rispetto alla barra di guida e alla guida assistita.

I sistemi attualmente disponibili per la guida semi-automatica sono gli stessi della guida assistita e si possono distinguere sulla base dell'accuratezza e delle ripetibilità del dato di posizionamento, a loro volta legate alla modalità di correzione differenziale. In un primo caso, il sistema di navigazione semi automatica è di serie sulle operatrici e si basa sull'impiego di un DGPS oppure un ricevitore a doppia frequenza (12 canali) con correzione differenziale da satellite in grado di garantire una precisione di ± 5 centimetri. Una terza tipologia prevede un sistema installabile su qualsiasi tipologia di trattore e basato sull'impiego di un ricevitore a doppia frequenza (12 canali) con correzione differenziale da stazione base(RTK) posizionata nelle vicinanze (distanza massima 3-4 km), così da garantire una precisione di ± 2 centimetri. Il fatto che il dato di correzione differenziale venga generato in loco consente di avere una maggiore precisione e un'elevata ripetibilità, così da poter memorizzare i tracciati di un'operazione colturale (es. semina) per poterli poi impiegare negli interventi agronomici successivi (es. sarchiatura) con la stessa accuratezza nel posizionamento.



Figura 3.3: Kit dell'impianto di guida automatica

Dal punto di vista costruttivo, è composta da le seguenti componenti:

- unità di controllo e data logger, per la gestione dei dati di posizionamento ed il controllo della traiettoria seguita dalla trattrice;
- display montato in cabina, in cui viene visualizzata la posizione relativa della trattrice rispetto alla traiettoria da seguire ed alle passate contigue;
- sensore di sterzata, collegato all'assale anteriore del mezzo in grado di rilevare l'angolo formato dall'assale stesso con la retta perpendicolare alla direzione di avanzamento;
- valvola per il controllo elettro-idraulico della pressione dell'olio in mandata presente nel circuito idraulico del sistema di direzione.

Nel momento in cui l'operatore agisce sul volante, come accade ad esempio nelle fasi di voltata, il sistema viene disinserito istantaneamente per essere nuovamente attivato terminata la manovra.

Capitolo 4

ATTREZZATURE IMPIEGATE

4.1 Obiettivo della tesi

L'obiettivo della presente tesi è quello di approfondire le conoscenze e valutare la funzionalità della guida assistita dal satellite in confronto con la guida manuale in varie operazioni colturali nel vigneto. In particolare si vuole valutare in quali condizioni e con quali operazioni l'uso della guida assistita da satellite può dare un ritorno economico all'operatore. Per questo motivo nell'ambito della presente tesi sono state seguite sperimentazioni in campo con attività di:

- diserbo meccanico;
- trinciatura e raccolta erba interfilare;
- spollonatura;
- cimatura.

Il diserbo meccanico è un'operazione svolta ai fini di controllare e contenere le infestanti al di sotto della spalliera o in zone dove non è possibile tagliare l'erba agevolmente.

Questa operazione inoltre mantiene smosso il terreno evitando l'asfissia del suolo e rompe la capillarità riducendo così l'evaporazione d'acqua.

Il diserbo meccanico va ripetuto più volte (almeno 5-6 volte) per migliorare l'efficacia dell'intervento.

La trinciatura dell'erba interfilare è un'operazione svolta ai fini di contenere la proliferazione della vegetazione sul soprasuolo per aumentare la salubrità del vigneto. Infatti l'erba alta rappresenta una fonte di sviluppo e riparo per diversi insetti

fitopatogeni. È da aggiungere poi che erba troppo vigorosa tende a togliere sostanza nutritiva alla vite riducendone la qualità e lo sviluppo. La trinciatura dell'erba oltre a ridurre i suddetti problemi aiuta a creare un microclima più asciutto e più adatto per la vite.

La spollonatura è un'operazione che mira a togliere i germogli (polloni) emessi dalla vite nella parte bassa del tronco che non è in grado di controllare con il fenomeno della dominanza apicale alla ripresa vegetativa primaverile, facendo così in modo da controllare la crescita vegetativa favorendo i germogli della parte produttiva della pianta. Per via meccanica, attraverso flagelli flessibili in materiale plastico, i polloni vengono percossi e staccati dalla pianta, senza danno per la stessa.

La cimatura è un'operazione eseguita per contenere la proliferazione della vegetazione in modo da evitare che questa invada gli interfilari, così da permettere il passaggio inostacolato di mezzi agricoli nel vigneto; la cimatura inoltre contiene o riduce il vigore fogliare per un più corretto rapporto foglie/frutti.

Alcune delle suddette operazioni e sperimentazioni collegate sono ancora in corso, per cui le analisi riportate nel seguito si concentrano in particolare sulle prime tre operazioni descritte sopra (diserbo, trinciatura e spollonatura).

4.2 Vantaggi e problematiche connesse delle operazioni combinate

Le operazioni descritte sopra come la maggior parte delle operazioni colturali vengono spesso tradizionalmente condotte singolarmente con attrezzature semoventi o con attrezzi installati di volta in volta su trattrici.

Molto alto è negli ultimi anni l'interesse per condurre operazioni combinate. Fatto salvo l'investimento iniziale per una trattrice in grado di utilizzare più attrezzi contemporaneamente, l'impiego di operazioni combinate è sicuramente un vantaggio dal punto di vista economico per la riduzione dei costi di ogni singolo intervento: infatti con un'unico passaggio si possono combinare due o tre operazioni con un conseguente aumento della capacità di lavoro e riduzione di tempi e costi.

Senza dubbio l'utilizzo di operazioni combinate può comportare degli svantaggi (vedi Figura 4.1). Dal punto di vista operativo, ad esempio la combinazione di più attrezzi può porta ad avere un cantiere di lavoro molto lungo e ingombrante che può determinare maggiori difficoltà di manovrabilità. Nel caso di lavorazioni in vigneto questo si può tradurre in tempi di svolta in capezzagna molto più lunghi rispetto ad un cantiere con un singolo attrezzo. Come conseguenza la combinazione di varie operazioni può richiedere

delle capezzagne più ampie e libere da ostacoli al fine di permettere il completamento delle manovre. C'è da notare in ogni caso che questo non risulta sempre necessario. Infatti non solo l'allungamento del cantiere di lavoro dipende dalle dimensioni degli attrezzi specifici installati, ma anche l'allungamento del cantiere può essere compensato usando strategie di ingresso e uscita dal filare più convenienti quali ad esempio la lavorazione a file alterne.

Per quanto riguarda la guida all'interno del filare il fatto di combinare più operazioni può comportare uno svantaggio per la diversa collocazione spaziale dei vari attrezzi. Infatti avendo contemporaneamente attrezzi installati anteriormente, ventralmente e posteriormente al trattore, questi non solo possono essere difficilmente accessibili visivamente da parte dell'operatore, ma anche non possono essere controllati simultaneamente neanche a mezzo di telecamere. Tutto ciò determina la richiesta di una maggior attenzione da parte dell'operatore: questo infatti oltre a tenere il veicolo in traiettoria all'interno del filare, deve anche seguire alternativamente e contemporaneamente il lavoro dei vari attrezzi ed eventualmente correggerli. Questo può portare a due importanti conseguenze:

- il maggiore affaticamento fisico e mentale del conducente;
- una riduzione della precisione di lavoro per minore tempo dedicato ai singoli attrezzi e alla direzione di guida e per maggior stanchezza del conducente.

La perdita di precisione di direzione o di lavoro di un utensile può portare danni importanti alle piante: si pensi a solo titolo d'esempio al caso in cui un operatore si avvicini troppo con la barra di taglio della cimatrice eccedendo nel taglio dei germogli o addirittura rovinando il sistema tutore del filare e barra di taglio della cimatrice.

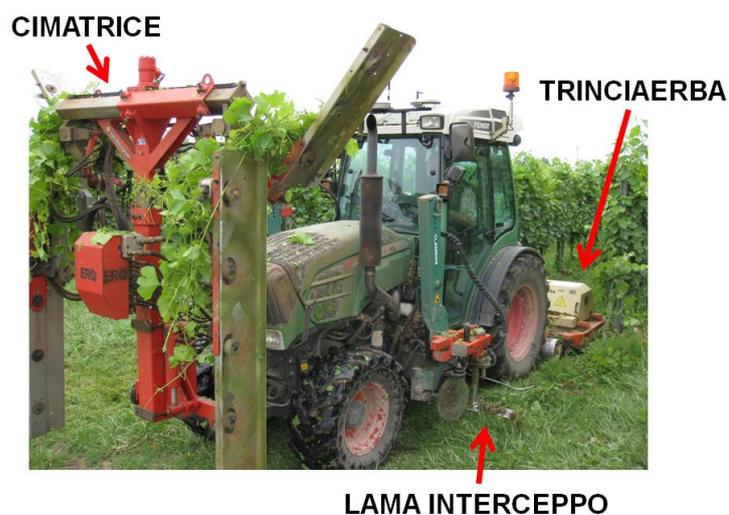


Figura 4.1: Esempio di macchina con più attrezzi combinati

4.3 Metodologia di prova

Le attività di prova sono state condotte presso l'azienda agricola Cescon. L'azienda si trova a Fossalta Maggiore in comune di Chiarano (TV). Il proprietario è Cescon Giuseppe ed è condotta dallo stesso con l'ausilio del padre e occasionalmente da coadiuvanti esterni per la potatura. L'azienda è ad ordinamento misto zootecnico-vitivinicolo ma con netta prevalenza della viticoltura. L'azienda gestisce 30 ha di proprietà a vigneto di varie cultivar (Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Riesling, Raboso piave, Pinot grigio, Pinot bianco, Chardonnay con diversi sesti d'impianto) di cui ne vinifica il 30% della produzione nella restaurata cantina aziendale mentre la restante parte viene venduta ad una cantina privata della zona, mentre l'allevamento ormai conta non più di 20 capi totali.

La politica aziendale visti gli svariati fronti di lavoro cerca la possibilità di meccanizzare ed automatizzare il più possibile le operazioni, in modo che il titolare sia in grado di dominare il più possibile le superfici ed i lavori.

L'azienda inoltre adotta delle tecnologie volte al rispetto o comunque ad un ridotto impatto ambientale quali il diserbo meccanico in alternativa a quello chimico o l'utilizzo dei residui di potatura (sarmenti) come riscaldamento per gli utilizzi domestici ed aziendali.

4.3.1 Descrizione degli attrezzi

Le attrezzature usate sono quelle possedute dall'azienda Cescon.

La trinciaerba è ad asse verticale: si tratta di un attrezzo Braun ALPHA sensor.

Tale trinciaerba ad asse verticale è dotato di 2 lame/coltelli controrotanti alternati che girano perpendicolarmente al terreno in modo da aumentare la precisione di taglio rispetto ai trinciaerba convenzionali ad asse orizzontale dotati di tamburo porta mazze.

Il modello dell'azienda Cescon è il Braun 180-220 variabile: la larghezza di lavoro può dunque variare da 180 cm quando l'attrezzo è tutto ristretto, fino a 220 cm di lavoro in caso di allargamento totale. Questo permette di adattare l'attrezzo in maniera ottimale all'utilizzo nei vari vigneti dell'azienda con differenti misure di sesto d'impianto (vedi Figura 4.2).

La regolazione della larghezza di lavoro è regolata da un pistone idraulico regolabile dalla cabina a mezzo di una presa idraulica del trattore.

Questa caratteristica di larghezza di lavoro variabile è unica dei trinciaerba ad asse verticale, abbinata ad un altro pregio, quello di non avere grandi differenze tra la

larghezza di lavoro e quella di ingombro dovuto all'assenza delle cinghie di traino del tamburo.

Infatti il moto viene trasmesso ai coltelli a mezzo di una coppia conica che fa ruotare un asse telescopico parallelo a terra che termina in altre 2 coppie coniche (una per coltello) che azionerà un asse solidale ai coltelli provocandone la rotazione.



Figura 4.2: Trinciaerba utilizzato nelle prove

Il diserbo meccanico è fatto usando delle lame interceppo. Si tratta di un attrezzo costituito da una lama parallela al terreno, che in base al sesto d'impianto del vigneto o alla fascia che si vuol passare, può avere dimensioni variabili tra i 370 e i 620 mm. L'attrezzo funziona grazie ad un albero portalama perpendicolare a terra, un motore idraulico che fa ruotare l'albero portalama, un tastatore ostacoli che aziona il comando di rientro della lama e una o due ruote dentate poste davanti e dietro la lama interceppo.

La funzione di questa macchina è quella di controllare le infestanti sotto la spalliera del vigneto in alternativa al diserbo chimico riducendo l'impatto ambientale e riducendo la perdita d'acqua del terreno per rottura della capillarità, evitando anche il fenomeno spesso presente nei vigneti di asfissia del terreno.

Questa macchina funziona facendo passare la lama parallela al terreno ad una profondità di circa 2-3 cm e comunque mai superiore ai 5 cm, in modo da recidere o compromettere le radici della flora infestante (a questa profondità non sono presenti importanti radici della vite).

Il funzionamento dell'attrezzo è garantito dalla pressione idraulica del circuito idraulico del trattore. Durante il lavoro nel momento in cui il tastatore dell'attrezzo incontra un ostacolo (che può essere un palo tutore, un tirante o un ceppo di vite), questo aziona una valvola del motore idraulico che fa rientrare la lama; una volta superato l'ostacolo il motore idraulico comandato dal tastatore che non trova più ostacoli fa riuscire la lama in posizione di lavoro.

La profondità di lavoro è garantita da un pistone comandato dalla cabina inoltre può essere regolata dalle ruote dentate che aiutano a tenere una profondità costante oltre che rompere il cotico erboso e determinare una netta distinzione tra la fascia lavorata e quella non lavorata.

Questo tipo di macchina può essere montato frontalmente, ventralmente o posteriormente al trattore da un lato oppure su ambo i lati.

Il modello dell'azienda Cescon è un Clemens RADIUS SL montato con un telaio fisso ventralmente al trattore su ambo le parti. Un controllo idraulico determina oltre alla profondità e al sollevamento da terra dell'attrezzo anche il distanziamento dal trattore per l'adattamento ai vari sestri d'impianto dei vigneti aziendali (vedi Figura 4.3).

L'attrezzo richiede durante il lavoro una portata tra gli 8 e i 12 l/min di olio per ogni apparecchio, ad una pressione fino a 175 bar.

Il peso dichiarato di ogni apparecchio è di circa 33 kg, e la velocità sopportata è fino a 10 km/h.



Figura 4.3: Lama intercetto utilizzata nelle prove

Come spollonatrice è stata impiegata una macchina costituita da un telaio attaccato frontalmente al trattore che permette il sollevamento e lo spostamento laterale di un ulteriore telaio pendulo a cui sono attaccati ambo le parti la testata ruotante.

La funzione di questa macchina è di spollonare cioè togliere i germogli emessi in primavera nella parte bassa del tronco di vite.

Il principio di funzionamento è la rotazione dei 6 bozzoli (3 per lato) a cui sono attaccati i flagelli in gomma che con la rotazione dei bozzoli creano un movimento circolare staccando i polloni.

Il funzionamento della macchina è interamente garantito dalla pressione idraulica del trattore, dove da cui tramite un joystick si comanda interamente la macchina.

Sotto le due testate di lavoro è situata una slitta a telaio trapezoidale che serve per la regolazione della profondità, infatti ad essa è collegato un sensore che all'allontanarsi della slitta dai bozzoli in rotazione aziona il pistone del telaio pendulo abbassandolo, o nel caso contrario all'avvicinarsi della slitta ai bozzoli lo fa accorciare alzando da terra la testata di lavoro, tale sistema permette di adattare l'altezza di spollonatura in base all'andamento del terreno anche in pendio o in caso di ostacoli-buche.

Il modello dell'azienda Cescon è un AVA Tordable ECOLO montato su sollevatore frontale, dotato di un unico telaio scavallante destro.



Figura 4.4: Spollonatrice utilizzata nelle prove

La cimatrice usata dall'azienda Cescon è l'Ero Elite a coltelli rotanti a profilo arrotondato. Si tratta di una macchina costituita da un telaio attaccato frontalmente al trattore che permette il sollevamento e lo spostamento laterale di due moduli di taglio collocati bilateralmente al telaio principale. I coltelli da 355 mm di diametro sono montati

su due telai a L rovesciata bilaterali. Ogni modulo a L è provvisto di tre coltelli montati sulla barra orizzontale e di cinque coltelli sulla barra verticale. La macchina ha una larghezza di lavoro, regolabile a seconda del sesto d'impianto, compresa da 100 a 195 cm e un'altezza di taglio regolabile idraulicamente con una corsa di 800 mm con la possibilità di regolazione dell'angolo della barra di taglio orizzontale.

La funzione di questa macchina è di cimare, cioè di contenere la vegetazione tagliandola, in modo che questa non invada gli interfilari così da non ostacolare la meccanizzazione, alleggerire la vite e permettere una maggiore esposizione dei grappoli.

Il principio di funzionamento è la rotazione dei coltelli che grazie alla loro rigidità e alla loro inerzia mantengono i germogli in posizione durante il taglio, anche in relazione all'elevatissima velocità di rotazione impressa ai coltelli. Durante il lavoro è possibile la regolazione idraulica dell'altezza di taglio, garantita dalla pressione idraulica del trattore, mentre le regolazioni della larghezza di lavoro devono essere fatte manualmente all'inizio dell'operazione di cimatura. La velocità di lavoro di questa macchina è correlata alla quantità di vegetazione e alle condizioni del terreno; pendenze, presenza di buche possono causare spostamenti o oscillazioni della cimatrice che possono provocare danni durante il taglio.



Figura 4.5: Cimatrice utilizzata nelle prove

4.3.2 Descrizione del trattore

Come trattore è stato utilizzato un Fendt Vario 211v, con motore AGCO Sisu Power, 3 cilindri 3300cc, potenza massima (ECE R24) 81kw (110cv).

La trasmissione è a variazione continua CVT: cambio Fendt Vario (a 2 gamme).

L'impianto idraulico è dotato di sollevatore a gestione elettronica con compensatore di oscillazioni, 6 distributori idraulici a doppio comando con portata di 0-40 l/min (0-65 l/min per il 3° distributore).

L'impianto frenante è pneumatico con inserimento automatico delle 4 RM in frenata.

Il peso a vuoto è di circa 3210 kg, per una lunghezza di 3,7m, una larghezza di 1,07m, ed un'altezza di 2,5m.

Il trattore dell'azienda Cescon è dotato di sollevatore anteriore per la possibilità di lavorare in operazioni combinate (vedi Figura 4.5).

Si tratta di un trattore che viste le caratteristiche tecnico-dimensionali è una macchina adattissima alla moderna viticoltura praticata nell'azienda inoltre si adatta alla guida assistita grazie alla predisposizione in cabina di vari attacchi per prese elettriche necessarie per il funzionamento della guida satellitare.

L'elettronica inoltre fornisce dati sui consumi in tempo reale, utile per la valutazione dei costi di esercizio.



Figura 4.6: Trattore utilizzato nelle prove

4.3.3 Descrizione del sistema di guida

EZ-Steer è un sistema di guida assistita, costituito da un motore elettroattuato che agisce sul volante sterzando automaticamente, un controller di sterzo dotato di inclinometro, cablaggi e staffe per il collegamento al piantone dello sterzo. L'EZ-Steer

utilizza un motore elettrico, incernierato nella staffa, dotato di una rotella nella parte superiore rivestita di materiale plastico; quando si sposta manualmente in posizione di lavoro, tramite lo sgancio di un fermo, una molla, tarabile nella pressione, tiene premuta la rotella alla corona del volante di modo che venga azionato in modo saldo e senza slittamenti che ne pregiudicherebbero la precisione.

Per innestare il sistema EZ-Steer bisogna avvicinarsi alla linea che si intende percorrere in modo da evitare, nel caso si fosse troppo lontani dalla linea prestabilita, le continue correzioni del sistema. Per ottimizzare questa condizione si deve impostare, in base alla lavorazione che si sta eseguendo, la velocità di correzione che permette di lavorare ad in condizioni ottimali. Un'eccessiva velocità di correzione impostata nel sistema rischia di provocare continue ed inutili correzioni, perciò bisogna tarare questo parametro in base alla lavorazione che si sta eseguendo.

Il motore elettrico applicabile al piantone dello sterzo ha un peso di 4,1 kg e viene alimentato con 12V DC nominale (16 V DC massima), e opera a temperature comprese tra -20 C° a +60 C°. L'installazione avviene nelle seguenti fasi: montaggio della staffa sul piantone e successivo fissaggio del motore elettrico alla stessa, posizionamento del controller di sterzo sulla piattaforma del trattore e dell'antenna al centro del tettuccio della cabina, collegamento di tutti i cablaggi e della rete elettrica tramite la presa dell'accendisigari.



Figura 4.7: Esempio di sistema EZ-Steer montato su trattore

La fase successiva è stata quella della misurazione delle quote (altezza e centratura) dell'antenna, la larghezza dei filari (quindi l'interasse delle passate), la distanza dell'organo lavorante dal ricevitore GPS per poter fare una corretta taratura dell'apparecchio, taratura che è proseguita in campo per impostare l'inclinometro e la velocità di risposta dell'attuatore elettrico.

Oltre al motore elettrico a fianco al volante il sistema EZ-Steer prevede un antenna AG25 che combinata con il monitor FM-1000 è compatibile con i segnali GPS, GLONASS e RTK. Questa deve essere montata possibilmente al centro del trattore o in posizione più elevata possibile al fine di rendere meno disturbato il segnale in ricezione. Infine una centralina NAVIGATION CONTROLLER II rileva i dati sulla posizione trasmessi dal ricevitore DGPS e invia istruzioni precise al motore EZ-Steer per la traiettoria da seguire, mantenendolo in rotta anche su terreni accidentati e con dislivelli.

4.3.4 Descrizione del sistema RTK Leica Mojo

Il sistema Leica Mojo installato sul trattore per la guida assistita sfrutta un sistema di correzione basato su una rete di antenne permanenti distribuite nel territorio. Tali antenne georeferenziate rilevano il segnale da un numero di satelliti e confrontano il segnale rilevato con la posizione nota in cui sono stallate. Il confronto delle posizioni teorica e rilevata è necessario per costruire una matrice di coefficienti di correzione.

Tali coefficienti, ricalcolati per le varie antenne distribuite nel territorio, creano una rete di correzioni che vengono inviate agli utilizzatori locali per mezzo delle comuni antenne per comunicazione cellulare (GPRS - General packet radio service). I coefficienti di correzione inviati agli utilizzatori servono dunque per correggere, con la velocità e la flessibilità consentita da una comunicazione GPRS, il posizionamento rilevato dall'antenna GPS installata sul trattore.

4.3.5 Descrizione del RTK Trimble

I dati di posizionamento rilevati durante la guida manuale e durante la guida assistita mediante sistema Leica sono stati rilevati attraverso il sistema RTK Trimble. Lo stesso sistema è stato utilizzato per rilevare la posizione di tutti i pali dei filari utilizzati per le sperimentazioni descritte nella presente tesi.

Il sistema RTK con trasmissione radio utilizza una rete di stazioni base in associazione a segnali di correzione via radio per poter trasmettere entro un raggio di 12,87km dalla stazione base, quando non siano presenti ostacoli dovuti ai dislivelli del terreno. Il sistema RTK utilizza la rete di telefoni mobile per localizzare ed emettere segnali di correzione in tempo reale.

La stazione base RTK comprende un'antenna, un ricevitore e un collegamento radio, in modo tale da fornire i segnali di correzione RTK al sistema di guida. La stazione base può ricevere dai sistemi GPS e GLONASS e ha un raggio d'azione fino a 15 km. La

stazione base può essere montata stabilmente in un determinato luogo oppure può essere spostata a seconda delle esigenze.



Figura 4.8: Stazione base RTK utilizzata nelle prove su punto fiduciale aziendale

Il display FM-1000 è costituito da uno schermo touchscreen da 30,7 cm, una barra luminosa di guida esterna al monitor, la possibilità di avere fino a 4 ingressi per le telecamere, una porta USB per il trasferimento dei dati, una radio interna per la ricezione della correzione RTK e un doppio ricevitore integrato in grado di ricevere i sistemi GPS e GLONASS per avere una massima precisione. Tale display è in grado di gestire tutto ciò che serve nella guida sterzata e mappatura delle produzioni consentendo una precisione tra la varie passate tra i 20 cm e 2,5 cm ripetendolo nel tempo.



Figura 4.9: Display FM1000 e display Leica utilizzato nelle prove

Capitolo 5

ANALISI SPERIMENTALI

5.1 Impostazione delle prove

Su un appezzamento coltivato con varietà Chardonnay dell'estensione di circa 2 ha con interfilare di 2,2 m, è stata selezionata una serie di filari che sono stati trattati sempre allo stesso modo per quanto riguarda il sistema di guida (guida manuale e guida assistita). All'interno di questi filari si sono effettuate, in vari periodi, prove di trinciatura dell'erba abbinata con il diserbo meccanico interfilare e prove di spollonatura in combinazione con l'operazione precedente ed in modo separato. Sono state quindi ottenute le tesi riportate nella tabella 5.1.

Tabella 5.1: Piano di lavoro

TESI	OPERAZIONE	Guida manuale	Guida assistita
1	Trinciatura	X	
	Diserbo meccanico	X	
	Spollonatura	X	
	Cimatura	X	
2	Trinciatura + diserbo meccanico	X	
	Spollonatura	X	
	Cimatura	X	
3	Trinciatura + diserbo meccanico		X
	Trinciatura + diserbo meccanico + spollonatura		X
	Trinciatura + diserbo meccanico + cimatura		X

Nell'appezzamento di prova è stata eseguita una planimetria con rilevazione di tutti i pali con il sistema RTK Trimble, che è stato utilizzato anche come rilevazione di controllo delle traiettorie per tutte le tesi eseguite.

5.1.1 Planimetria dell'appezzamento e rilevazione dei pali

Nel vigneto oggetto della prova sono stati rilevati tutti i pali singolarmente posizionando l'antenna del ricevitore satellitare sopra il palo e tracciandolo come punto/ostacolo con coordinate precise, una volta terminato questo lavoro i punti rilevati sono stati inseriti in un file GIS per poterli visualizzare e manipolare.

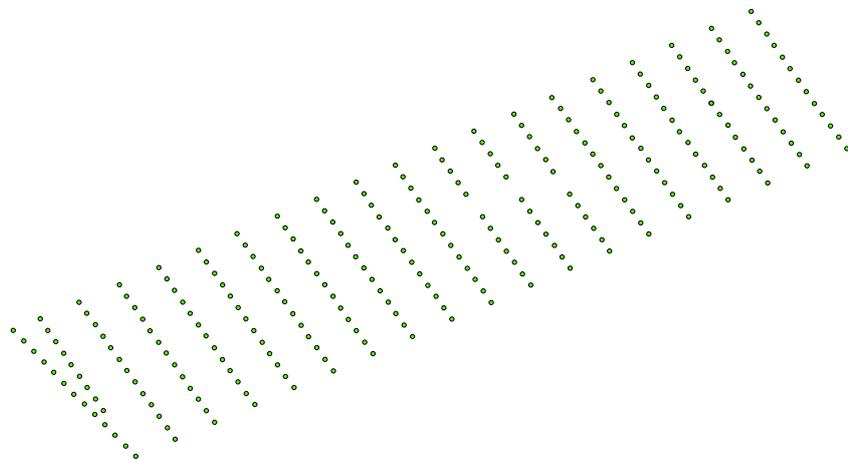


Figura 5.1: Pali rilevati al GIS

5.1.2 Individuazione delle linee di riferimento degli interfilari

Rilevate le coordinate e messe sul GIS è stato possibile tracciare al pc delle linee perfette di mezzeria per ogni singolo filare permettendo così di sapere la reale lunghezza del filare.

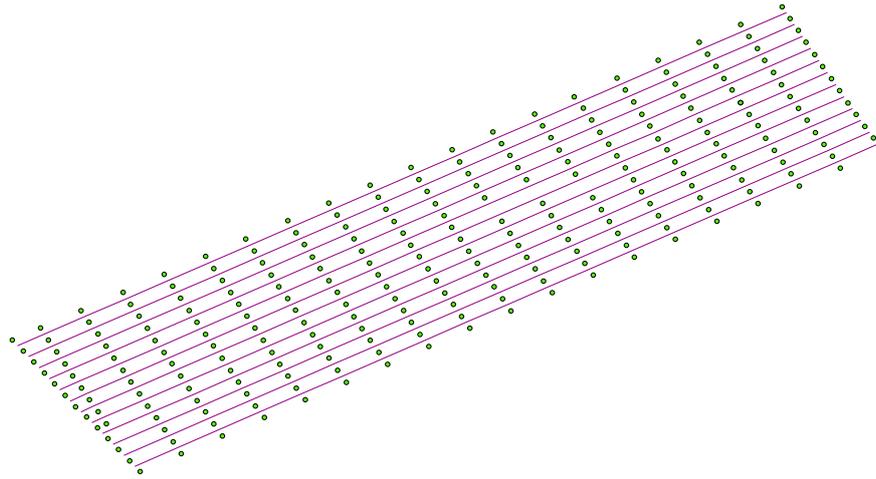


Figura 5.2: Linee di mezzeria tracciate al GIS

Una volta rilevate le coordinate dei pali il file è stato inserito su un programma GIS il ArcGIS della Esri per la visualizzazione delle coordinate su display, dove da lì è possibile misurare la distanza reale tra i filari e la lunghezza degli stessi, inoltre è stato possibile tracciare una linea perfetta di mezzeria del filare per ciascun filare in modo da creare una linea ipotetica di guida su cui il trattore dovrebbe navigare.

5.1.3 Determinazione degli scostamenti dei vari passaggi rispetto alla linea teorica

Durante tutti i passaggi nelle varie operazioni sono stati registrati con frequenza di 1 Hz le coordinate, i tempi e le velocità assunte dalle attrezzature. Tali posizioni sono state poi confrontate con le linee di riferimento tracciate per ogni filare.

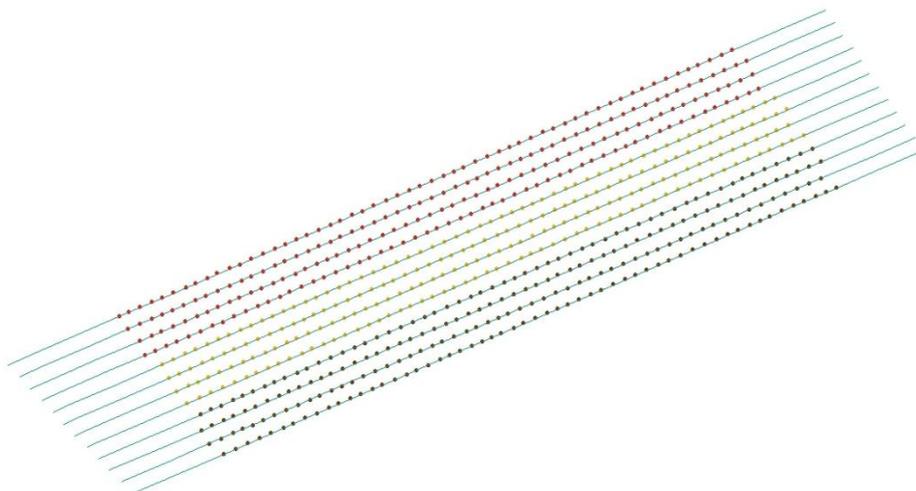


Figura 5.3: Rilevamento dei punti reali percorsi rispetto la linea ideale

5.1.4 Analisi dei tempi

Sono stati rilevati nelle prove e per ogni passaggio con le macchine i seguenti tempi:

- TE tempo effettivo di lavoro netto o utile calcolato in secondi
- TAV tempo accessorio per svolte e manovre a fine campo calcolato in secondi
- Ce Capacità effettiva di lavoro calcolato in ettari lavorati per ora

$$Ce = Ve * Le * 0,1$$

dove Ve = velocità effettiva (km/h), Le = larghezza del filare (m)

- Ro Rendimento operativo della macchina risulta un indice

$$Ro = TE / TO$$

dove TO = tempo operativo (s) = TE + TAV

- Co Capacità operativa di lavoro calcolata in ettari ora

$$Co = Ce * Ro$$

- Consumi medi misurati in litri per ora
- Consumi unitari misurati in litri per ettaro

5.2 Analisi economica

L'analisi economica include il costo di esercizio delle macchine, le spese fondamentali annue e le spese di utilizzazione, come descritto nel seguito.

5.2.1 Calcolo del costo di esercizio delle macchine

Il costo di esercizio di una macchina agricola è composto dalla somma di due aliquote: quella delle spese fondamentali, detta spesa fissa, e quella delle spese di utilizzazione, chiamata anche variabile. La prima voce è fissa in quanto sussiste anche in assenza di impiego del mezzo, ma è determinato dalla sua presenza in azienda; la seconda è proporzionale al livello di utilizzazione della macchina.

La distinzione fra queste due componenti risulta molto utile sia per il processo di allocazione dei costi delle macchine ai vari processi produttivi aziendali, sia per la soluzione di diversi problemi concernenti la meccanizzazione aziendale.

Costituiscono le spese fondamentali (Cfa):

- a) la quota annua di reintegro del capitale investito dalla macchina (Qa);
- b) la quota annua degli interessi passivi del capitale (Qi);
- c) la quota annua delle spese varie (Qv), suddivisibili in:
 - 1) spese per ricovero (Qri);
 - 2) spese per assicurazione (Qs);
 - 3) spese per tasse (Qt);

4) spese varie per direzione, contabilità ecc. inerenti l'esercizio della macchina (Qd).

Costituiscono le spese di utilizzazione (Cuh):

1) le spese per le riparazioni e manutenzione (Qr);

2) le spese per i consumi di materiali (Qc);

3) le spese per la manodopera addetta alla guida e al servizio della macchina (Qo).

5.2.2 Le spese fondamentali annue

La quota delle spese fondamentali (Cfa) della macchina considerata, dipende soprattutto dal prezzo d'acquisto della macchina stessa, completa del corredo necessario per realizzare il predisposto programma di lavoro nell'azienda, e dalla durata o periodo di vita della medesima.

Quota annua di reintegra del capitale investito

L'accantonamento della quota di reintegra (Qr) consente di avere a disposizione, al termine della vita della macchina, il capitale necessario per finanziare la sostituzione.

La quota di reintegra definisce anche il deprezzamento annuale del mezzo sulla base di quello che si presume si realizzi nell'arco di tutta la sua vita economica in azienda.

Per calcolare la quota di reintegrazione si utilizza la cosiddetta quota lineare, che si presuppone una perdita di valore costante ogni anno:

$$Q_r = (V_i - V_f) / n,$$

dove n è la durata prevista, ossia la vita economica del mezzo in azienda; V_i è il valore iniziale; V_f è il valore finale o residuo o di recupero.

Quota annua dell'interesse del capitale impiegato

L'interesse rappresenta il costo annuo del capitale investito nella macchina agricola considerata.

La quota annua per gli interessi (Q_i) sul capitale, viene determinata, nei calcoli preventivi, supponendo un deprezzamento lineare della macchina durante tutto il periodo di utilizzazione. Pertanto, fissato un appropriato saggio di interesse medio annuo (i), si ha:

$$Q_i = r (V_i + V_f) / 2$$

dove Q_i sono gli interessi annui e r è il saggio di interesse che rappresenta il costo opportunità del capitale posseduto dall'imprenditore e da lui investito in macchine agricole, ossia è quel saggio di interesse che l'imprenditore percepirebbe se, anziché effettuare l'investimento nella macchina in oggetto, destinasse il capitale corrispondente ad un investimento alternativo di rischiosità analoga.

In linea di massima tale interesse attualmente può venire fissato al 5% ($i = 0,05$);

V_i = valore iniziale della macchina.

Quota annua delle spese varie

La quota annua delle spese varie (Q_v) tiene conto delle spese per ricovero (Q_{ri}), per assicurazioni (Q_s), per tasse (Q_t), per spese varie di direzione, contabilità, ecc. (Q_d). Si ha cioè:

$$Q_v = Q_{ri} + Q_s + Q_t + Q_d$$

5.2.3 Le spese orarie di utilizzazione

Le spese orarie di utilizzazione, nei calcoli preventivi, si possono considerare costanti rispetto all'età della macchina e sono riferite ad una condizione media di uso della macchina, sia per quanto riguarda il carico di lavoro, sia per quanto riguarda tutto l'arco rappresentante il periodo di vita della macchina.

Viceversa in qualche caso possono essere invece considerate variabili in funzione alla vetustà del mezzo, soprattutto per quanto riguarda le riparazioni e i consumi.

Esse dipendono principalmente da: a) riparazioni e manutenzioni; b) consumi di combustibile, di lubrificanti e di altri materiali, come spago, filo di ferro ecc.; c) manodopera addetta alla guida ed al servizio della macchina.

Spese per le riparazioni e manutenzioni

Le spese di riparazione vengono calcolate sulla base di un coefficiente di riparazione (r), variabile a seconda del tipo di macchina e dell'ambiente di impiego; in questo caso la quota oraria delle spese per le riparazioni e sostituzioni ordinarie (Q_{rs}) sarà data dalla relazione:

$$Q_{rs} = \alpha V_0 / N_h$$

Le spese per le manutenzioni ordinarie vengono invece calcolate sulla base del numero medio di ore lavorative di operaio riferite all'unità di lavoro eseguito dalla macchina,

necessarie orientativamente per il lavoro di preparazione, pulizie, lubrificazioni, rifornimenti ecc.

La spesa oraria per la manutenzione (Q_m) è data quindi dalla relazione:

$$Q_m = \beta \cdot M$$

dove con β si indica la frazione di ora di operaio addetto alla manutenzione e con M la mercede oraria dell'operaio addetto alla manutenzione.

Per la manutenzione si possono frequentemente assumere valori medi varianti da 1/10 a 1/2 ora di operaio per ora di lavoro di macchina.

Spese per la manodopera

In questa voce sono compresi la retribuzione del conducente del trattore o dell'operatrice semovente e la retribuzione di eventuali altri operatori coinvolti nell'operazione cui la macchina è adibita.

Nella tabella 5.2 sono riportati i parametri utilizzati per il calcolo dei costi di esercizio delle macchine, attrezzature e strumenti utilizzati nelle prove. Gli anni di ammortamento sono fissati a 10 per le macchine agricole e a 7 e 5 rispettivamente per il ricevitore satellitare e il sistema di guida. I coefficienti di riparazione e manutenzione sono quelli tipici delle attrezzature meccaniche usate in viticoltura veneta.

La tabella 5.3 riporta invece il dettaglio delle varie voci di costo sostenute per le attrezzature utilizzate con in evidenza i costi di esercizio espressi su base oraria.

La conoscenza dei singoli costi orari delle macchine consente di determinare i costi di esercizio su base oraria e unitaria (€/ha) dei vari cantieri utilizzati.

Tabella 5.2: Parametri utilizzati per il calcolo dei costi di utilizzo delle attrezzature

	trattore F211	lama diserbo	trinciatore	spollonatrice	cimatrice	ricevitore satellitare	sistema di guida
utilizzazione annua (h)	700	230	230	117	44	700	700
vita utile (h)	10000	3000	3000	2000	2000		
anni di ammortamento	10	10	10	10	10	7	5
saggio interesse (%)	5	5	5	5	5	5	5
prezzo gasolio (€/kg)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9		
prezzo olio (€/kg)	4	4	4	4	4		
coeff. Riparazione	0,6	0,5	0,7	0,8	0,7		
coeff. Manutenzione	0,1	0,05	0,1	0,1	0,15	0,05	0,05
costo manodopera (€/h)	17						

Tabella 5.3: Costi di manodopera e costi fondamentali

	trattore 211V	lama diserbo	trinciatore	spollonatrice	cimatrice	ricevitore satellitare	sistema di guida
valore iniziale (€)	73000	9000	12000	10000	15000	9000	5000
Ammortamento (€/anno)	6205	765	1020	850	1275	1286	1000
Interessi (€/anno)	2099	259	345	288	431	225	125
spese varie (€/anno)	840					1000	
costi fondamentali annui (€/anno)	9143	1024	1365	1138	1706	2511	1125
riparazioni e manutenzioni (€/h)	6,08	1,50	2,80	4,00	5,25	0,85	0,85
Manodopera (€/h)	17,00						
costi di utilizzo orario (€/h)	23,08	1,50	2,80	4,00	5,25	0,85	0,85
costi totali orari (€/h)	36,14	5,95	8,73	13,75	44,25	4,44	2,46

5.3 Confronto funzionale tra operazioni separate e riunite

Tabella 5.4: Dati ricavati dallo svolgimento delle operazioni con diversi sistemi di guida

cantieri di lavoro	operazioni separate				operazioni riunite con guida manuale			operazioni riunite con guida assistita		
	trattore+ lama	trattore + trinciatrice	trattore+ spollonatrice manuale	trattore+ cimatrice manuale	trattore+ lama+ trinciatore manuale	trattore+ spollonatrice manuale	trattore+ cimatrice manuale	trattore+ lama+ trinciatore guida	trattore+ lama+ trinciatore+ spollonatrice guida	trattore+ lama+ trinciatore+ cimatrice guida
uso annuo operatrici (h)	205	210	109	57	217	109	57	43	113	93
uso annuo trattore op separate (h/anno)	782									
uso annuo trattore 2 combi (h/anno)	583									
uso annuo trattore 3 combi (h/anno)	449									
velocità effettiva (km/h)	4,5	4,5	3,6	8	4,5	3,6	8	4,5	3,6	4,5
capacità effettiva (ha/h)	0,99	0,99	0,79	1,76	0,99	0,79	1,76	0,99	0,79	0,99
tempi di voltata (s)	13	15	23	20	18	23	20	18	28	25
ro	0,86	0,84	0,81	0,69	0,82	0,81	0,69	0,82	0,78	0,76
capacità operativa (ha/h)	0,85	0,83	0,64	1,22	0,81	0,64	1,22	0,81	0,62	0,75

* Per superficie di 35 ha, larghezza filari di 2,2 m e lunghezza di 100 m.

5.3.1 Confronto funzionale tra operazioni di trinciatura e diserbo meccanico

Il confronto tra le prove di trinciatura e diserbo meccanico, in maniera separata e ,combinando le due operazioni insieme con entrambe le guide, ha fornito differenze funzionali solo in termini di rendimento operativo in quanto, combinando le due operatrici, è aumentata la difficoltà nell' eseguire le voltate, a causa del maggior ingombro del cantiere combinato, aumentandone quindi il tempo di voltata e conseguentemente abbassando Ro di 0,4 punti in entrambi i sistemi di guida.

Nel confronto delle operazioni combinate con la guida manuale e con quella assistita non è emersa alcuna differenza in termini funzionali. Infatti le velocità, le capacità di lavoro, effettiva e operativa e i tempi di manovra sono risultati gli stessi. Questo dipende dal fatto che la velocità di avanzamento è stata preimpostata dall'operatore a 4,5 km/h ed è stata mantenuta inalterata anche con la guida assistita. Nonostante la possibilità di aumentare l'andatura grazie al sistema di guida, si è ritenuto opportuno non oltrepassare questo limite per consentire alla lama interceppo di lavorare in modo ottimale senza danneggiamenti al tronco delle piante.

5.3.2 Confronto funzionale tra operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e spollonatura

L'uso di sistemi di guida assistita nel vigneto offre la possibilità di eseguire più operazioni in un solo passaggio perché libera il trattorista dall'impegno di condurre il mezzo lungo la corretta traiettoria all'interno dei filari: ha quindi la possibilità di seguire meglio il funzionamento di tutte le macchine operatrici anche se sono disposte in entrambi i lati del filare. E' questo il caso della spollonatrice che, senza la guida assistita, non potrebbe essere abbinata ad altre operatrici dal momento che richiede particolare attenzione durante il lavoro per non arrecare danni ai filari.

Per questo motivo il confronto tra i sistemi di guida nelle operazioni riunite di trinciatura, diserbo meccanico e spollonatura è stato fatto tra la guida assistita con tutte e tre le operazioni eseguite contemporaneamente e la guida manuale che ha previsto una prima passata con trinciatore e lama diserbatrice e una seconda passata solo con la spollonatrice.

I risultati funzionali sono riportati nella tabella 5.4. Con entrambi i sistemi di guida stata mantenuta costante e fissata preventivamente una velocità della spollonatrice di 3,6 km/h, la stessa usata nel cantiere di sola spollonatura, considerando il fatto che a

velocità maggiore i rotori non eseguivano correttamente il lavoro. Nel cantiere riunito di trinciatura, diserbo e spollonatura la velocità, sia con guida manuale che con quella assistita, è sempre limitata alla velocità di spollonatura a discapito di quella di trinciatura e diserbo. Tale limitazione della velocità influenza la capacità effettiva di lavoro dei cantieri quando è coinvolta la spollonatura, mentre l'operazione di trinciatura e diserbo è stata mantenuta una velocità di 4,5 km/h.

L'operazione combinata con tre operatrici ha richiesto anche un maggior tempo di voltata a causa della maggior difficoltà del cantiere riunito ad imboccare e uscire dai filari.

Nel complesso, comunque, considerando le capacità operative del cantiere riunito con guida assistita e quello separato con guida manuale, si evidenziano migliori prestazioni con il cantiere riunito con capacità operative di 0,62 ha/h contro 0,36 dei cantieri separati.

5.3.3 Confronto funzionale tra operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e cimatura

L'uso di sistemi di guida assistita nel vigneto offre la possibilità di seguire meglio il funzionamento di tutte le macchine operatrici anche se sono disposte in entrambi i lati del filare. E' questo il caso della cimatrice che, senza la guida assistita, non potrebbe essere abbinata ad altre operatrici dal momento che richiede particolare attenzione durante il lavoro per non arrecare danni ai filari.

Il confronto tra i sistemi di guida nelle operazioni riunite di trinciatura, diserbo meccanico e cimatura è stato fatto tra la guida assistita con tutte e tre le operazioni eseguite contemporaneamente e la cimatura con guida manuale.

I risultati funzionali sono riportati nella tabella 5.4. Nella cimatura con guida manuale è stata mantenuta costante e fissata preventivamente una velocità della cimatrice di 8,0 km/h in quanto a velocità maggiore si possono verificare tagli non netti con conseguenti strappi alla vegetazione. La velocità effettiva nelle tre operazioni combinate, con guida assistita, è stata limitata a 4,5 km/h in modo da consentire alla lama intercetto di lavorare in modo ottimale senza danneggiamenti al tronco delle piante, come già visto in precedenza. Tale limitazione influenza ancora la capacità effettiva di lavoro del cantiere di cimatura portandola a 0,99 contro 1,76 della cimatura singola con guida manuale. Anche in questo caso nel cantiere riunito di cimatura, trinciatura e diserbo i tempi di voltata sono aumentati a causa del maggior ingombro.

Nel complesso, considerando le capacità operative del cantiere riunito con guida assistita e quello separato con guida manuale, si evidenziano migliori prestazioni con il cantiere riunito con capacità operative di 0,75 ha/h contro 0,5 ha/h dei cantieri separati.

5.3.4 Considerazioni funzionali conclusive sulle prove

Nelle varie prove svolte in campo non si è avuto modo di apprezzare tutti i reali vantaggi dell'utilizzo della guida assistita. Infatti uno dei vantaggi principali della guida assistita consiste nell'aumento della velocità di lavoro aumentandone la capacità effettiva di lavoro ma che invece è stata vincolata in tutte le prove dall'utilizzo del trinciaerba la cui velocità critica di 4,5 km/h ne limita l'aumento abbassando i vari indici di capacità e produttività. Stesso discorso per la spollonatrice che non permette di superare i 3,5 km/h.

È stato invece utile e addirittura determinante l'utilizzo della guida assistita nella prova di spollonatura, trinciatura/diserbo meccanico e cimatura, trinciatura/diserbo meccanico in cui si sono apprezzati i vantaggi della navigazione sui filari ma soprattutto di riuscire a combinare le operazioni non combinabili separatamente. Questo ha permesso di ridurre l'uso annuo del trattore passando da 782 ore per le operazioni svolte singolarmente, 583 ore per due operazioni combinate e 449 ore effettuando tre operazioni contemporaneamente con la guida assistita, portando così dei vantaggi economici che verranno analizzati nel paragrafo successivo.

5.4 Confronto economico tra operazioni separate e riunite

Tabella 5.5: confronto dei costi unitari tra operazioni svolte con guida manuale e assistita

confronto guida manuale/ assistita	costi unitari (€/ha)		
	operazioni separate	operazioni riunite con guida manuale	operazioni riunite con guida assistita
diserbo	48,45		
trinciatura	52,88		
spollonatura	76,47	82,47	
cimatura	57,23	60,50	
diserbo + trinciatura		66,95	79,45
diserbo+trinciatura+ spollonatura			126,49
diserbo+trinciatura+ cimatura			116,46

Tabella 5.6: confronto della manodopera tra operazioni svolte con guida manuale e assistita

confronto guida manuale/ assistita	manodopera (h/ha)		
	operazioni separate	operazioni riunite con guida manuale	operazioni riunite con guida assistita
diserbo	1,17		
trinciatura	1,20		
spollonatura	1,55	1,55	
cimatura	0,82	0,82	
diserbo + trinciatura		1,24	1,24
diserbo+trinciatura+spollonatura			1,62
diserbo+trinciatura+cimatura			1,33

Tabella 5.7: confronto dei consumi tra operazioni svolte con guida manuale e assistita

confronto guida / manuale	consumi (kg/ha)		
	operazioni separate	operazioni riunite con guida manuale	Operazioni riunite con guida assistita
diserbo	5,99		
trinciatura	8,16		
spollonatura	9,24	9,24	
cimatura	3,98	3,98	
diserbo + trinciatura		8,73	8,73
diserbo+trinciatura+spollonatura			11,95
diserbo+trinciatura+cimatura			10,03

5.4.1 Confronto economico tra operazioni di trinciatura e diserbo meccanico

Se i risultati funzionali non hanno fatto registrare alcuna differenza, l'analisi economica evidenzia un maggior costo unitario per le operazioni eseguite con la guida assistita per effetto dei maggiori costi di investimento per allestire e rendere operativo il sistema di guida. Si fa riferimento quindi sia al costo di acquisto del ricevitore satellitare (€ 9.000) e di quello del sistema di guida (€ 5.000), ma anche dell'abbonamento annuo per le correzioni RTK e l'assistenza della ditta fornitrice. Per questo motivo le operazioni

combinata di diserbo e trinciatura eseguite con il sistema di guida hanno un costo maggiore di circa 12 €/ha rispetto alla guida manuale (tabella 5.5).

Il vantaggio della guida satellitare quindi, in questo contesto, perde la sua valenza economica, mantenendo però sempre il vantaggio del minore stress a carico dell'operatore, non quantificato in questa sede.

5.4.2 Confronto economico tra operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e spollonatura

I risultati operativi si ripercuotono sull'analisi economica perché (tabella 5.5), nonostante i maggiori costi per l'allestimento dei sistemi di guida, la riunione delle operazioni in un solo passaggio permette la riduzione di costi unitari grazie al consistente risparmio di manodopera e di combustibile. Se singolarmente i costi unitari delle operazioni eseguite con la guida manuale sono inferiori, la loro somma risulta maggiore dei costi unitari dell'operazione con cantieri riuniti resi possibili della guida assistita. Si passa da 150 €/ha nella guida manuale a 126 €/ha nella guida assistita con risparmi di 24 €/ha pari al 16%.

L'analisi economica ha esplorato se ci sia una qualche influenza della lunghezza del filare sui costi unitari, dal momento che i tempi di voltata nel cantiere riunito sono stati leggermente maggiori rispetto a quelli del cantiere separato con guida manuale.

La figura 5.5 evidenzia come l'effetto del maggiore tempo di voltata non sia evidente quanto invece quello della lunghezza del filare che minimizza i tempi accessori e quindi riduce i costi unitari per entrambi i cantieri: passando da lunghezze di 100 m a 400 m i costi unitari si riducono di circa 20 €/ha.

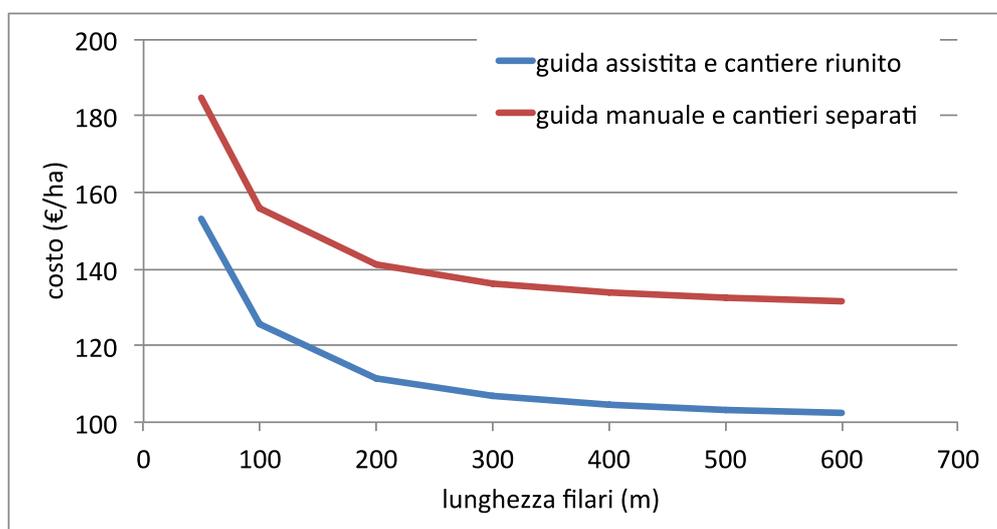


Figura 5.4: andamento dei costi unitari per i due sistemi di guida in funzione della lunghezza dei filari

5.4.3 Confronto economico tra operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e cimatura

L'analisi economica delle operazioni di trinciatura, diserbo meccanico e cimatura evidenzia come i maggiori costi per l'allestimento dei sistemi di guida siano giustificati dalla riduzione dei costi unitari dovuti alla riunione delle tre operazioni in un solo passaggio con un conseguente ulteriore risparmio nella manodopera e nei consumi.

La somma dei costi unitari (tabella 5.5) delle operazioni svolte singolarmente con guida manuale risulta 127 €/ha a differenza dei 116 €/ha nelle operazioni riunite con guida assistita ottenendo così un risparmio di 11 €/ha pari al 9%.

La figura 5.6 evidenzia come la variazione della lunghezza del filare, anche per l'operazione di cimatura, minimizzi i tempi accessori e quindi riduca i costi unitari per entrambi i cantieri: passando da lunghezze di 100 m a 400 m i costi unitari si riducono di circa 20 €/ha.

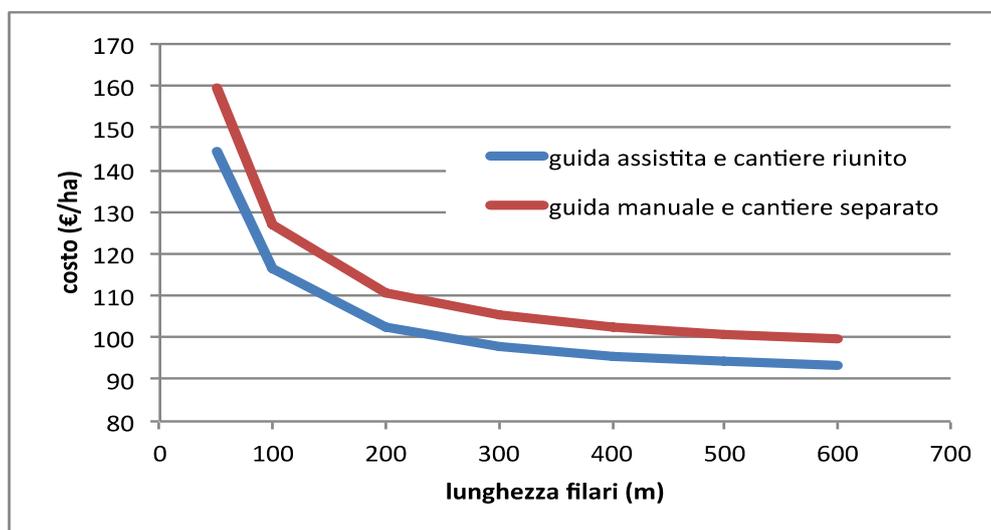


Figura 5.5: andamento dei costi unitari per i due sistemi di guida in funzione della lunghezza dei filari

5.4.4 Considerazioni economiche conclusive sulle prove

Nell'ambito delle cure colturali della vite le varie operazioni si ripetono più volte nel corso dell'anno e quindi se l'obiettivo è quello di valutare la convenienza economica dell'adozione di un sistema di guida assistita rispetto alla guida manuale, occorre conoscere il numero di interventi delle operazioni di diserbo, trinciatura, spollonatura e

cimatura nell'ipotesi che siano solo queste le operazioni interessate. In realtà questo non è vero perché, una volta installato, il sistema di guida viene adottato anche per tutte le altre operazioni meccanizzate.

Conteggiando solo le operazioni considerate in questo lavoro, possiamo ipotizzare un numero di 5 sfalci nella stagione, di 2 operazioni di spollonatura e di altre 2 di cimatura. Utilizzando i risultati emersi dall'analisi funzionale ed economica si ottengono i valori della tabella 5.8

Tabella 5.8: numero di operazioni annuali con guida manuale e assistita

confronto guida manuale/ assistita	numero di operazioni all'anno		
	operazioni separate	operazioni riunite con guida manuale	operazioni riunite con guida assistita
diserbo	5		
trinciatura	5		
spollonatura	2	2	
cimatura	2	2	
diserbo + trinciatura		5	1
diserbo+trinciatura+ spollonatura			2
diserbo+trinciatura+ cimatura			2
somma	14	9	5

Nella situazione considerata, l'adozione della guida assistita comporta la possibilità di effettuare più operazioni colturali in un'unica passata e di ridurre il numero di entrate in campo da 14 a 5. Viene ridotto di conseguenza anche il pericolo di compattamento del terreno, fenomeno particolarmente dannoso nel vigneto.

Tabella 5.9: confronto economico annuale tra operazioni svolte con guida manuale e assistita

confronto guida manuale/assistita	costi unitari (€/ha)			manodopera (h/ha)			consumi (kg/ha)		
	operazioni separate	operazioni riunite con guida manuale	operazioni riunite con guida assistita	operazioni separate	operazioni riunite con guida manuale	operazioni riunite con guida assistita	operazioni separate	operazioni riunite con guida manuale	operazioni riunite con guida assistita
diserbo	242			6			30		
trinciatura	264			6			41		
spollonatura	153	153		3	3		18	18	
cimatura	114	114		2	2		8	8	
diserbo+trinciatura		335	79		6	1		44	9
diserbo+trinciatura+spollonatura			253			3			24
diserbo+trinciatura+cimatura			233			3			20
somma	774	602	565	16,6	10,9	7,1	97,2	70,1	52,7

La tabella 5.9 mostra come all'adozione dei sistemi di guida, combinando tre operazioni, consegua annualmente una riduzione dei costi unitari di circa 209 €/ha, una riduzione del fabbisogno di manodopera di 9,5 h/ha e una riduzione di consumi pari a 44,5 kg/ha.

Pur non essendo l'ipotesi ottimale, comunque l'adozione di sistemi di navigazione satellitare porta a una riduzione di costi che potrebbe essere ancora più sensibile qualora venissero estesi anche ad altre operazioni come la sfogliatura.

Considerando i valori trovati in questo lavoro, il tempo di ritorno dell'investimento è visualizzato nella figura 5.7 che dimostra come l'acquisto della strumentazione per allestire la guida assistita si ripaga in 10 anni con una superficie di 23 ha, se le operazioni con cantieri riuniti e guida assistita vengono sostituite alle operazioni riunite con guida manuale, e in 3 anni sempre con una superficie di circa 23 ha, se le operazioni con cantieri riuniti e guida assistita vengono sostituite alle operazioni con cantieri separati. Ovviamente la situazione migliora ulteriormente quando vengono eseguite anche altre operazioni combinate e all'aumentare della superficie coltivata.

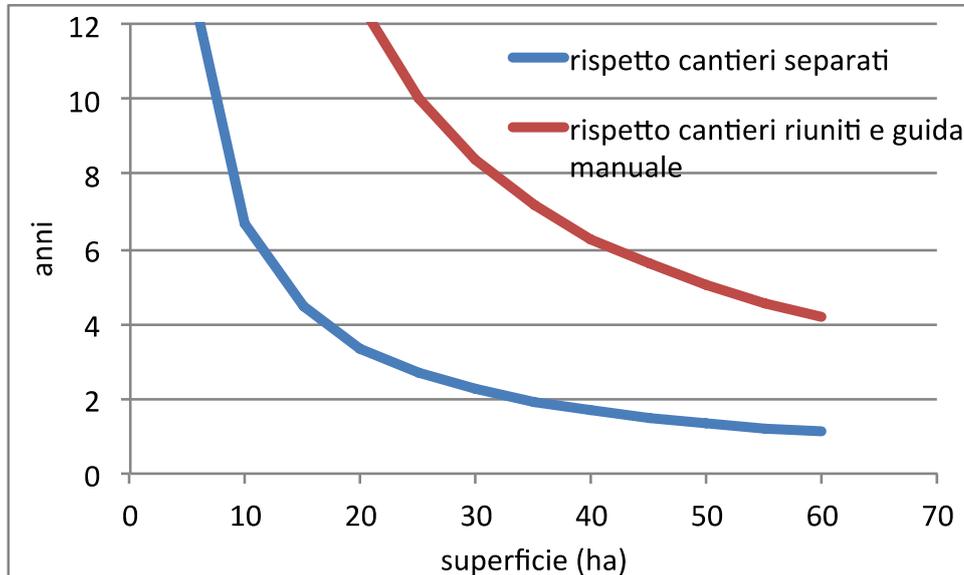


Figura 5.6: Tempo di ritorno dell'investimento della guida assistita rispetto ai cantieri separati e rispetto ai cantieri riuniti con guida manuale

5.5 Considerazioni conclusive sulle prove

Nelle varie prove svolte in campo non si è avuto modo di apprezzare tutti i reali vantaggi dell'utilizzo della guida assistita. Infatti uno dei vantaggi principali della guida assistita consiste nell'aumento della velocità di lavoro aumentandone la capacità effettiva di lavoro ma che invece è stata vincolata in tutte le prove dall'utilizzo del trinciaerba la cui velocità critica di 4,5 km/h ne limita l'aumento abbassando i vari indici di capacità e produttività. Stesso discorso per la spollonatrice che non permette di superare i 3,5 km/h.

È stato invece utile e addirittura determinante l'utilizzo della guida assistita nella prova di spollonatura e trinciatura/diserbo meccanico interceppo e cimatura, trinciatura/diserbo meccanico in cui si sono apprezzati i vantaggi della navigazione sui filari ma soprattutto di riuscire a combinare le operazioni non combinabili separatamente. Questo ha permesso di ridurre i costi delle operazioni, limitare i consumi di gasolio e il fabbisogno di manodopera.

Capitolo 6

ANALISI DELLE TRAIETTORIE

6.1 Performance sul posizionamento

In questo capitolo vengono presentate analisi sui dati raccolti durante le prove in campo. Obiettivo di queste analisi sperimentali è quello di confrontare i sistemi di guida manuale e guida assistita con sistema Leica.

L'analisi ha preso in considerazione molteplici parametri, utili per una comprensione più completa dei comportamenti:

- deviazioni medie
- deviazioni periodiche
- spazi di assestamento

Nei prossimi paragrafi i parametri sono analizzati singolarmente.

6.1.1 Deviazioni medie

Al fine di analizzare la precisione di posizionamento, è stata verificata la linearità del movimento all'interno dei filari.

Mentre infatti idealmente il trattore dovrebbe seguire un percorso esattamente lineare tra due filari, nella realtà, sia tale percorso ha un andamento condizionato da molte variabili, sia il segnale trasmesso può essere in vario modo distorto.

I principali fattori da prendere in considerazione sono:

- precisione del sistema di posizionamento del trattore: in cui si possono avere tutte le problematiche connesse alla perdita del segnale (ostacoli nella traiettoria del segnale, atmosfera terrestre, sfasamento dei satelliti ecc...)
- sconnesione del terreno: durante la navigazione nei filari possono esserci delle buche o degli avvallamenti che possono far cambiare la posizione del trattore dovuta all'inclinazione dell'antenna posta nel punto più alto del trattore e quindi nel punto più sensibile ad una minima inclinazione della macchina.
- correzione di direzione: può capitare un ritardo del segnale dal satellite e quindi un ritardo nella correzione della direzione che porta ad avere una linea di navigazione non rettilinea.
- sistema di guida: se presenti laschi o giochi nel sistema di sterzo del trattore oppure uno slittamento del sistema EZ-Steer sul volante, le correzioni del satellite non coincidono con la reale correzione.

Nell'immagine sotto (Figura 6.1) si può notare come la guida manuale non sia caratterizzata da una retta ma da una poligonale aperta sovrapposta approssimativamente alla linea di mezzzeria del filare.

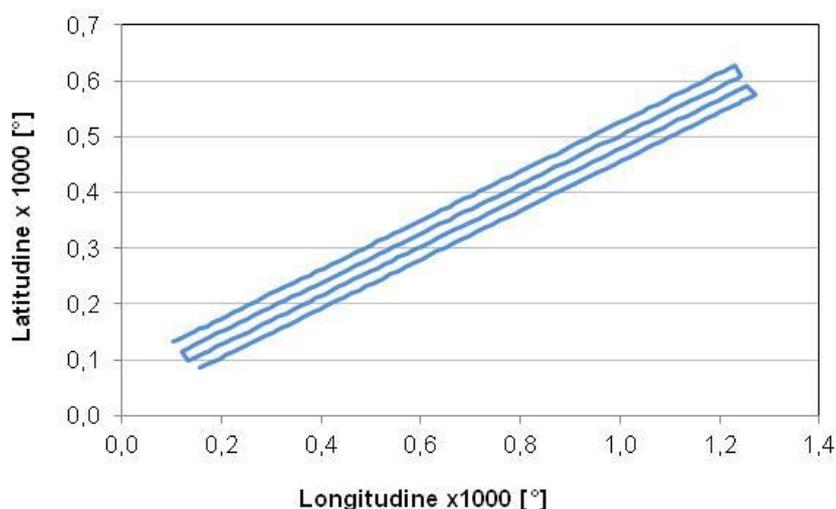


Figura 6.1: Esempio di segnale rilevato durante un test di guida manuale

I dati in latitudine e longitudine sono poco leggibili e poco interpretabili quindi è molto utile convertire il percorso di ogni filare in un grafico in cui in ascissa si riporta l'avanzamento nel filare in metri, ed in ordinata la deviazione dalla linea ideale (in centimetri), escludendo le svolte. Come linea ideale di riferimento è stata considerata

una linea poligonale ideale definita attraverso le posizioni di tutti i pali dei filari, rilevate attraverso il sistema Trimble descritto sopra.

Nel grafico qui sotto (Figura 6.2) riguardante il primo filare con guida manuale si può notare la deviazione dalla linea ideale in cui i numeri positivi riguardano le deviazioni a destra rispetto alla linea di mezzzeria, mentre quelli negativi riguardano le deviazioni a sinistra.

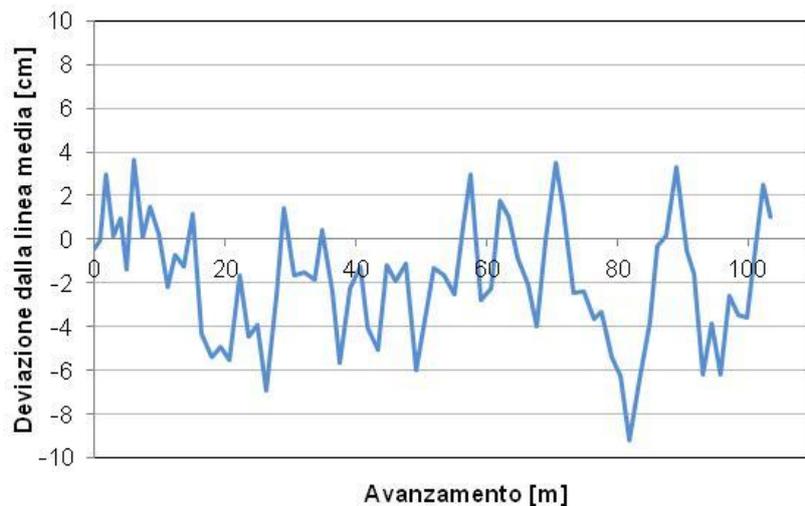


Figura 6.2: Esempio di deviazioni del segnale rilevato della traiettoria rispetto alla linea ideale, in un test di guida manuale

Per valutare meglio la linearità del percorso fatto dal trattore è stata calcolata la media delle deviazioni assolute e la media delle deviazioni quadratiche, il calcolo è stato fatto sulla parte centrale dei filari in modo da eliminare le parti di ingresso e d'uscita dal filare eliminando così le parti più distorte.

La posizione riportata in valori positivi e negativi significa, come sopra, l'andamento a stare a sinistra (negativi) o destra (positivi) rispetto la linea di mezzzeria del filare.

I dati delle deviazioni medie calcolati sui 4 filari per ogni tipo di guida (manuale e assistita con sistema Leica) sono riportati nella tabella qui sotto.

L'alternanza di segno nelle tabelle sta ad indicare che il trattore devia in modo simmetrico a destra quanto a sinistra.

Possiamo osservare come nei due tipi di guida ci siano in ogni caso valori abbastanza simili.

Tabella 6.1: Confronto delle deviazioni media tra guida manuale e guida assistita

	Guida manuale		Guida assistita Leica	
Filare	Media [cm]	Media quadratica [cm]	Media [cm]	Media quadratica [cm]
1°	-1,84	3,30	-2,70	4,56
2°	-2,03	2,48	2,01	4,51
3°	0,37	2,76	-1,55	3,46
4°	1,47	2,89	2,79	4,34
Media	-0,51	2,85	0,14	4,22
Dev. st.	1,71	0,34	2,67	0,51

	Guida manuale Spollonatura		Guida assistita Leica Spollonatura	
Filare	Media [cm]	Media quadratica [cm]	Media [cm]	Media quadratica [cm]
1°	1,98	3,40	4,35	5,28
2°	8,61	8,84	12,41	12,50
3°	4,51	5,06	-1,28	4,79
4°				
Media	5,04	5,77	5,16	7,52
Dev. st.	3,34	2,78	6,88	4,32

	Guida manuale Trincia+Diserbo		Guida manuale Cimatrice		Guida assistita Leica Trincia+Diserbo+Cimatrice	
Filare	Media [cm]	Media quadratica [cm]	Media [cm]	Media quadratica [cm]	Media [cm]	Media quadratica [cm]
1°	3,17	4,97	2,48	4,10	-2,70	4,56
2°	-2,95	3,74	-2,41	3,16	2,01	4,51
3°	2,04	2,99	5,15	6,26	-1,55	3,46
4°	-3,57	5,56	-1,87	3,02	2,79	4,34

Media	-0,33	4,31		1,74	4,51		0,14	4,22
Dev. st.	3,43	1,16		3,83	1,59		2,67	0,51

Nella guida manuale è stata riscontrata una buona linearità dell'andamento all'interno dei filari, con una tendenza a stare leggermente a sinistra (infatti la media ha valore negativo) in media di 0.51 cm con una deviazione standard di circa 1,7 cm. Questo può considerarsi certamente un buon risultato merito della bravura dell'operatore. Va tenuto conto però che i test sono stati fatti di mattina quando l'operatore non era ancora stanco di una giornata di lavoro: è da domandarsi (e questo non è stato verificato nell'ambito della tesi) se il dato mantenga una buona ripetibilità durante il giorno anche in seguito all'aumento di stanchezza, calo di attenzione, possibili riduzione della luce e quindi riduzione della visibilità, ecc...

Nella guida assistita con sistema Leica è stata rilevata una deviazione media di appena a 0.14 cm a destra dalla linea ideale: un valore quasi trascurabile che indica una buona capacità del sistema a mantenere la linea di guida. In media questo sistema di guida si è discostato in maniera minore rispetto a quello manuale, ma va tuttavia osservato come in realtà la deviazione standard sia maggiore, arrivando a ben 2,67cm. Si può dire dunque che in media il sistema di guida assistita Leica tenda a seguire la traiettoria ideale, senza comportamento tendenziale a destra o sinistra rispetto alla direzione di avanzamento, tuttavia dimostra deviazioni locali relativamente alte, segno di un comportamento ancora non perfettamente controllato localmente.

Questa differenza è amplificata dai valori delle medie quadratiche, in cui non viene considerato il segno della deviazione. Si nota come quanto detto poco sopra è visibile attraverso una media quadratica tendenzialmente più alta nel caso della guida assistita con la strumentazione Leica.

6.1.2 Deviazioni periodiche

Un'ulteriore analisi sulla precisione di posizionamento, ha preso in considerazione oltre alle medie anche le "lunghezze d'onda". Come già detto precedentemente, durante la guida (sia manuale che assistita) il trattore tende a seguire una traiettoria che oscilla sulla linea ideale a destra e a sinistra rispetto alla direzione di avanzamento. Questi piccoli sbandamenti (dell'ordine di pochissimi centimetri o millimetri) visibili sui grafici delle deviazioni sembrano avere "lunghezze d'onda" caratteristiche. Per questo motivo

è stata condotta un'analisi delle lunghezze d'onda dominanti attraverso una Trasformata di Fourier.

È stata quindi eseguita un'analisi di frequenza attraverso una funzione di trasformata di Fourier (FFT, Fast Fourier Transform). Tale funzione permette di verificare e riconoscere la presenza di armoniche caratteristiche su un segnale, con la possibilità di valutarne anche la lunghezza d'onda e l'ampiezza.

I risultati sono presentati nei grafici sotto, sia con l'indicazione classica della frequenza, sia con l'asse aggiunto della lunghezza d'onda (Figura 6.2). Si noti che i valori con lunghezza superiore a 25 m sono poco significativi, in quanto inferiori a un quarto della lunghezza del filare, e così pure le lunghezze d'onda inferiori ai 2 metri non sono analizzabili in quanto troppo vicine alla risoluzione del segnale (pari a circa un metro).

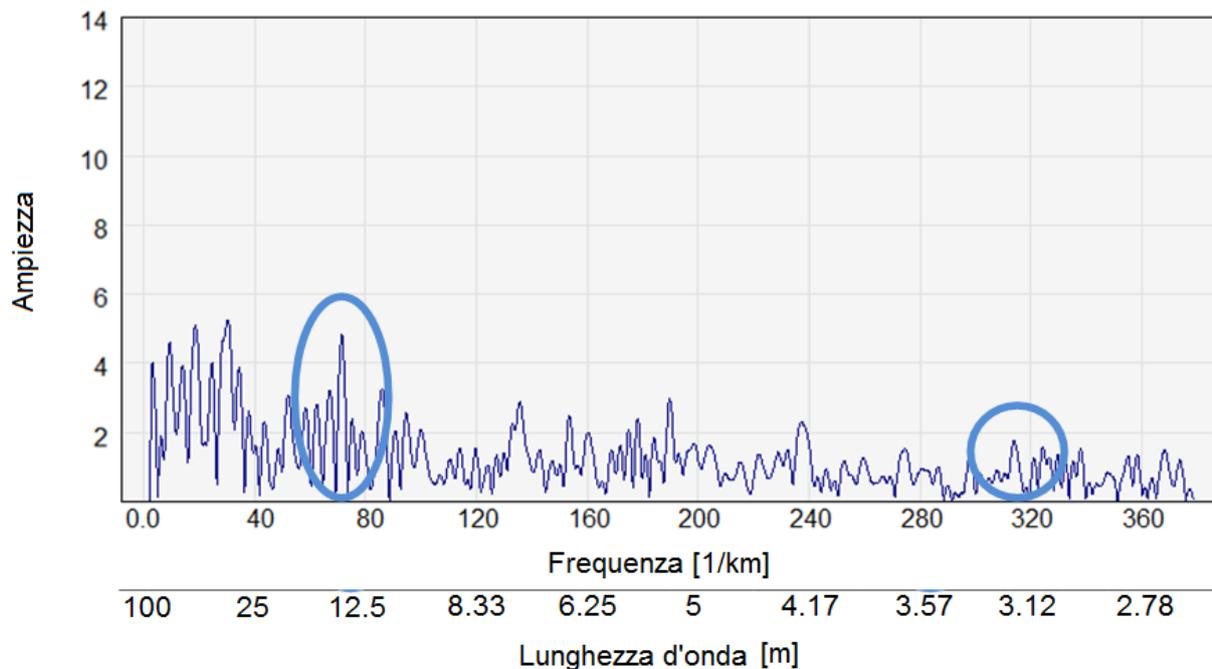


Figura 6.3: Trasformata di Fourier per il segnale acquisito in modalità di guida manuale. Nella FFT della guida manuale si vedono tanti picchi a tutte le frequenze, indicando la mancanza di una lunghezza d'onda nettamente dominante, in ogni caso si può notare un picco delineato in modo più nitido degli altri sui 14 metri circa. Si nota poi un secondo picco intorno ai 3,2 metri: data la vicinanza di questo valore al passo del trattore si può forse associare questo valore alle oscillazione che si ripetono ogni qual volta si susseguono prima le ruote anteriori e poi le ruote posteriori su uno stesso avvallamento o su uno stesso dosso.

Nella guida assistita con sistema Leica (Figura 6.3), esclusa come prima la parte iniziale, si notano dei picchi a scendere fino a stabilizzarsi in una serie uniforme, tranne nuovamente alla distanza di 3,5 metri circa e uno poco percettibile tra i 12 e 14 metri.

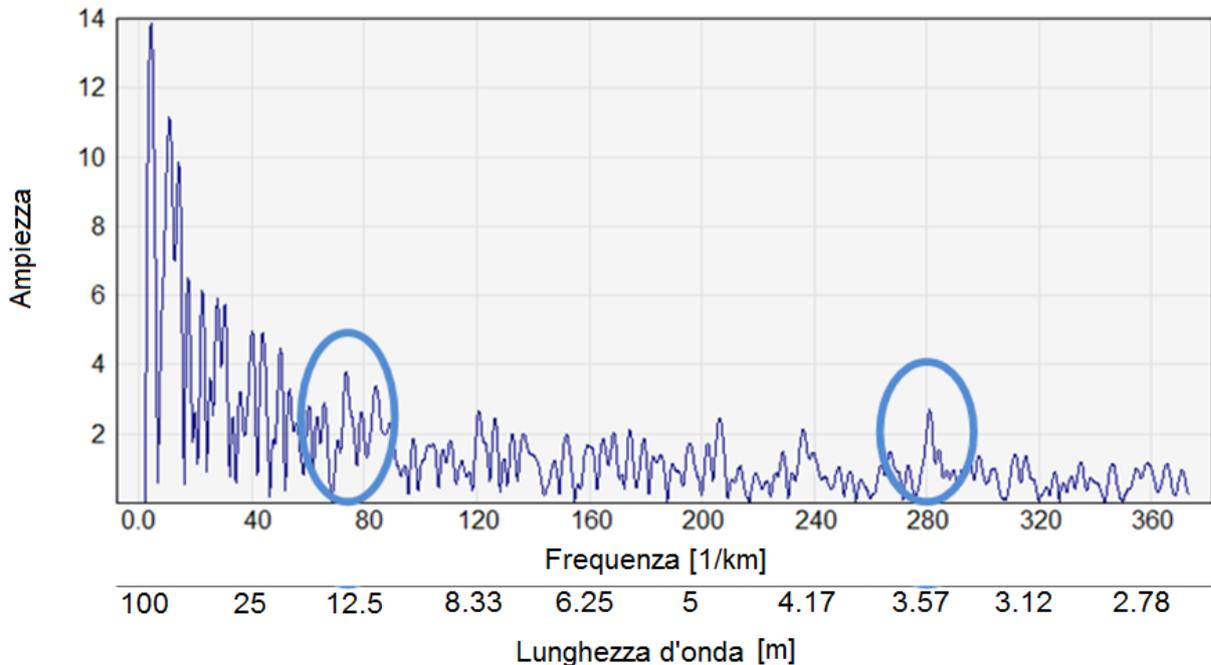


Figura 6.3: Trasformata di Fourier per il segnale acquisito in modalità di guida assistita

Esclusa la lunghezza d'onda caratteristica intorno ai 3 metri, probabilmente collegata come detto al passo del trattore, resta un comportamento che sembra essere più marcato nel caso manuale (picco a sinistra più nitido in Figura 6.3), e meno definito nel caso di guida assistita. In entrambi i casi tuttavia le correzioni sembrano ripetersi ogni circa 12-14 metri: si tratta dunque di 6-7 correzioni di direzione rilevanti fatte per ogni filare percorso.

Il fatto che il sistema di guida assistita non determini picchi più evidenti di lunghezze d'onda dominanti indica dunque un comportamento tendenzialmente non peggiore (o anzi migliore) rispetto alla guida manuale.

6.1.3 Andamento globale della traiettoria

Oltre alla stima della deviazione media, è stata fatta un'analisi sui grafici di deviazione, analizzando la linea di tendenza che meglio descrive la deviazione ideale.

È stato osservato nelle prove eseguite che il filare può essere diviso in tre sezioni:

- all'ingresso del trattore nei filari risulta esserci una fase di assestamento della direzione che devia più sensibilmente dalla linea media,
- una parte centrale in cui il trattore naviga in maniera uniforme nel filare sovrapponendosi con una certa precisione alla linea ideale,
- una fase d'uscita in cui si ha un' allontanamento dalla traiettoria ideale.

Il verificarsi di questo andamento si è notato con tutti i sistemi di guida quindi con una certa ripetibilità tanto che per valutare i tempi di assestamento del trattore all'interno del filare è stato utile suddividere i percorsi nei vari filari in parti come riscontrato nelle prove, appunto in tre fasi : ingresso, parte centrale e uscita (Figura 6.4).

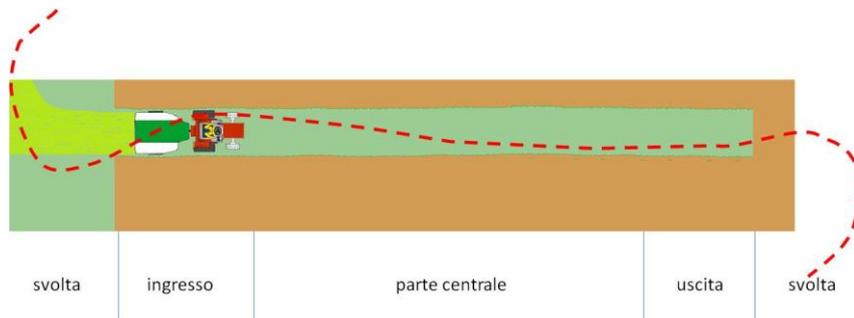


Figura 6.4: Schema in cui è stato suddiviso il filare

I ripetuti test in campo hanno mostrato che l'andamento del trattore ha un comportamento che può essere approssimato tramite una curva di terzo grado.

È stata così condotta un'analisi utilizzando linee polinomiali di terzo grado: ogni traiettoria (quindi ogni percorso su filare) è stata approssimata per questo tramite metodo dei minimi quadrati con una funzione cubica del tipo:

$$y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$$

Nel grafico sotto, a titolo d'esempio, è riportata una traiettoria rilevata con la funzione cubica che meglio approssima il percorso rilevato.

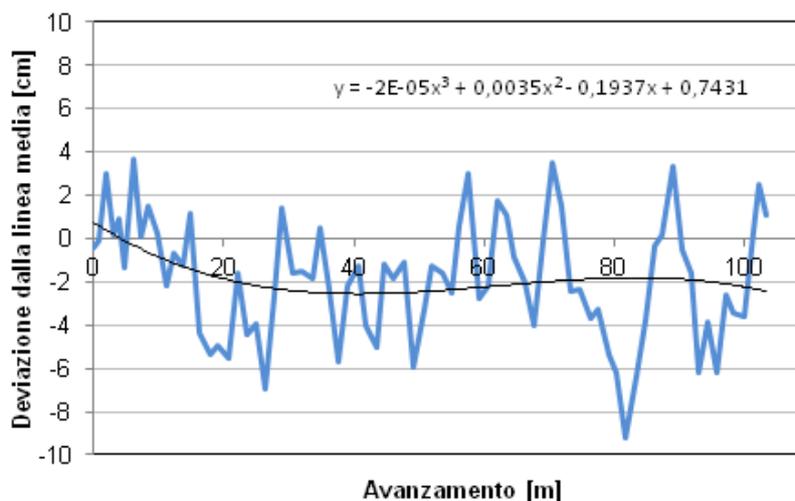


Figura 6.5: Esempio di traiettoria rilevata con la funzione cubica approssimata con metodo dei minimi quadrati

I parametri calcolati per ogni traiettoria sui filari nei due casi (manuale e guida assistita) sono riportati sulle tabelle sotto.

Per ogni tabella e per ogni parametro della funzione cubica sono riportati anche la media e la deviazione standard in percentuale, calcolate escludendo per ogni tipo di guida il filare che presentava valori più fuori tendenza (evidenziato in giallo).

Tale esclusione è accettabile se si pensa che molto spesso durante la guida avvengono eventi imprevisti a modificare la traiettoria del trattore (quali inceppamenti, distrazioni dell'operatore, momentanea perdita del segnale, slittamento del sistema EZ-Steer sul volante, ecc.).

Tabella 6.2: Parametri di approssimazione attraverso polinomio di terzo grado nel caso di guida manuale

Guida manuale				
	a	b	c	d
1° filare	-0,00002	0,0035	-0,19	0,74
2° filare	0,00003	-0,0049	0,21	-3,46
3° filare	0,00005	-0,0067	0,20	-0,48
4° filare	0,00003	-0,0053	0,26	-1,02
Media	0,00004	-0,006	0,22	-1,66
Dev. st. relativa	31%	17%	15%	96%

Tabella 6.3: Parametri di approssimazione attraverso polinomio di terzo grado nel caso di guida assistita

Guida assistita				
	a	b	c	d
1° filare	9,00E-05	-0,0149	0,72	-10,99
2° filare	7,00E-05	-0,0091	0,21	4,87
3° filare	-1,00E-05	0,0035	-0,27	3,77
4° filare	3,00E-05	-0,0045	0,19	1,49
Media	0,00006	-0,010	0,38	-1,55
Dev. st. relativa	48%	55%	80%	540%

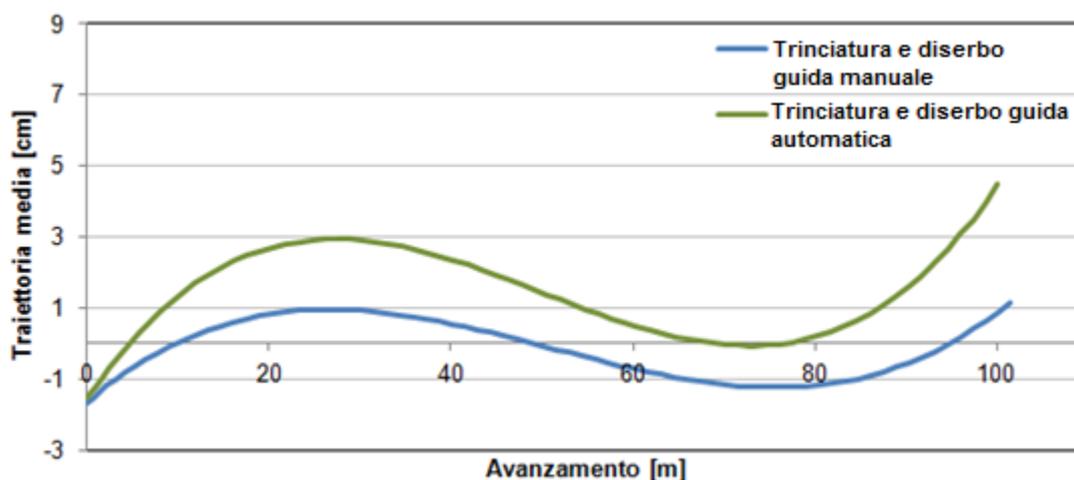
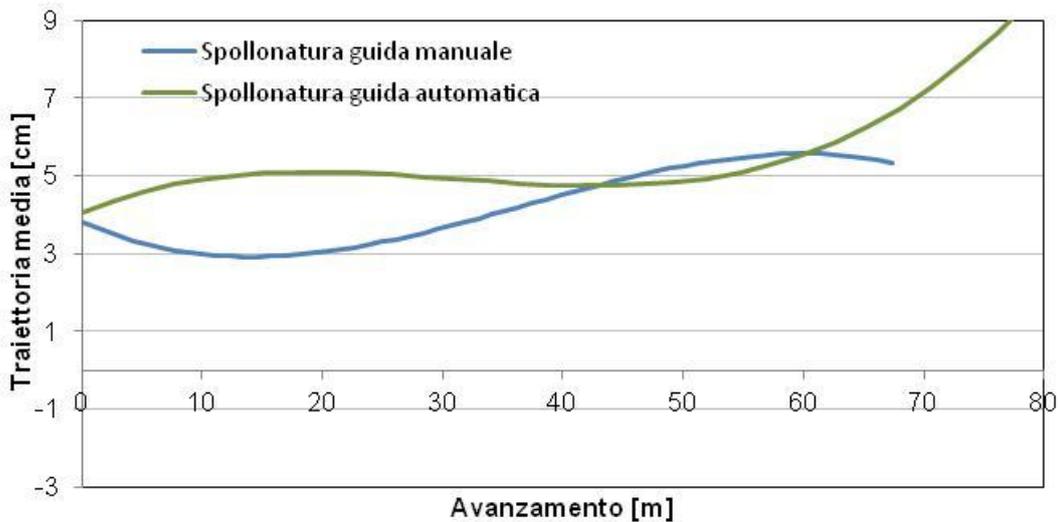


Figura 6.6: Polinomi di terzo grado medi calcolati nei casi di trinciatura e diserbo con guida manuale e guida assistita

Guida assistita Leica: Spollonatura				
	a	b	c	d
1° filare	9,00E-05	-0,01	0,2275	5,4338
2° filare	6,00E-05	-0,0064	0,1789	11,755
3° filare	5,00E-06	0,002	-0,0264	-4,9928
4° filare				
Media	5,17E-05	-0,0048	0,126667	4,065333
Dev. st. relativa	83%	128%	106%	208%

Guida manuale: Spollonatura				
	a	b	c	d
1° filare	-8,00E-05	0,0081	-0,1653	1,2622

2° filare	3,00E-05	-0,0039	0,1313	7,9584
3° filare	-7,00E-05	0,0095	-0,3496	7,4529
4° filare				
Media	-0,00004	0,004567	-0,12787	5,557833
Dev. st. relativa	152%	161%	190%	67%



Polinomi di terzo grado medi calcolati nei casi di guida manuale con cimatrice, guida manuale con trincia e diserbo meccanico e di guida assistita con trinciatura, diserbo meccanico e cimatura.

Guida assistita Leica: Trincia+Diserbo+Cimatrice				
	a	b	c	d
1° filare	-0,00008	0,0101	-0,4224	9,3711
2° filare	-0,00004	0,0061	-0,2745	0,0459
3° filare	0,00004	-0,0034	0,0738	-0,7779
4° filare	-0,0001	0,0107	-0,1719	-1,3942
Media	-0,00007	0,00897	-0,2896	2,674
Dev. st. relativa	42%	28%	43%	219%

Guida manuale: Trincia+Diserbo				
	a	b	c	d
1° filare	-0,00005	0,0057	-0,1278	2,4498
2° filare	-0,00004	0,0064	-0,2352	-1,107

3° filare	0,00006	-0,0058	0,0616	7,4372
4° filare	0,00001	-0,0122	0,258	-1,0812
Media	-0,00003	-0,00003	-0,03500	0,08720
Dev. st. relativa	121%	31627%	741%	2346%

Guida manuale: Cimatrice				
	a	b	c	d
1° filare	-0,00010	0,0123	-0,1236	-0,5521
2° filare	0,000006	0,0008	-0,1004	-1,2972
3° filare	-0,000005	0,0026	-0,1648	3,7516
4° filare	0,00020	-0,0144	0,1612	1,0702
Media	-0,00003	0,00523	-0,12960	0,63410
Dev. st. relativa	177%	118%	25%	430%



Si osservano che i valori sono molto ripetibili per ogni sistema di guida: nelle deviazioni standard percentuali i valori non si discostano molto tra i vari sistemi di guida nelle rispettive parti del percorso, a indicare un comportamento mediamente simile tra guida manuale e guida assistita. Solo per il parametro d si rileva una elevata variabilità: questo tuttavia non deve sorprendere. Infatti il termine noto d definisce lo spostamento sull'asse y del polinomio: tale parametro dunque è descrittivo delle deviazioni medie, che come già era stato evidenziato nel paragrafo precedente denotano una certa variabilità, passando ripetutamente tra valori positivi e valori negativi (vedi Tabella 6.1).

6.1.4 Spazi di assestamento

L'analisi sullo spazio d'assestamento risulta importante nel determinare quando ha senso usare il sistema con guida assistita, perché dimostrando in quanto spazio si assesta si possono quantificare i vantaggi o gli svantaggi che apporta questo sistema.

Nel momento in cui ci siano filari corti e lunghi spazi d'assestamento o che lo spazio d'assestamento nella guida assistita sia superiore a quello con guida manuale non si ha una reale miglione della lavorazione. Al contrario, nel caso in cui si hanno filari molto lunghi o brevi spazi d'assestamento è certamente da tenere in considerazione l'uso di sistemi con guida assistita.

Per verificare lo spazio di assestamento della traiettoria del trattore sono state analizzate le deviazioni medie quadratiche (in modo da avere valori sempre positivi) sui 4 filari percorsi per ogni sistema di guida (manuale e guida assistita).

Come si può notare dal grafico (Figura 6.6) il risultato delle deviazioni quadratiche, pur mediato su 4 filari, è affetto da molto rumore .

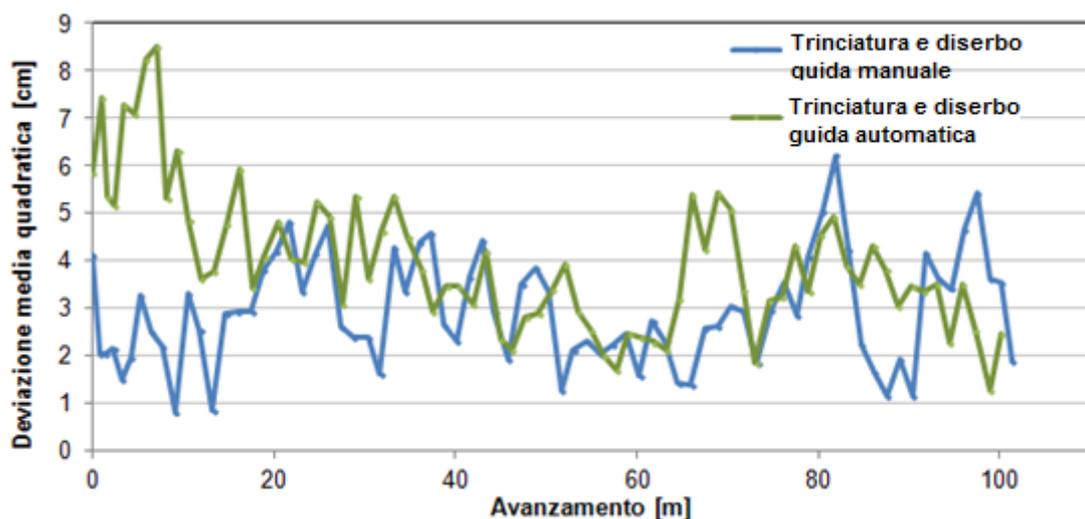
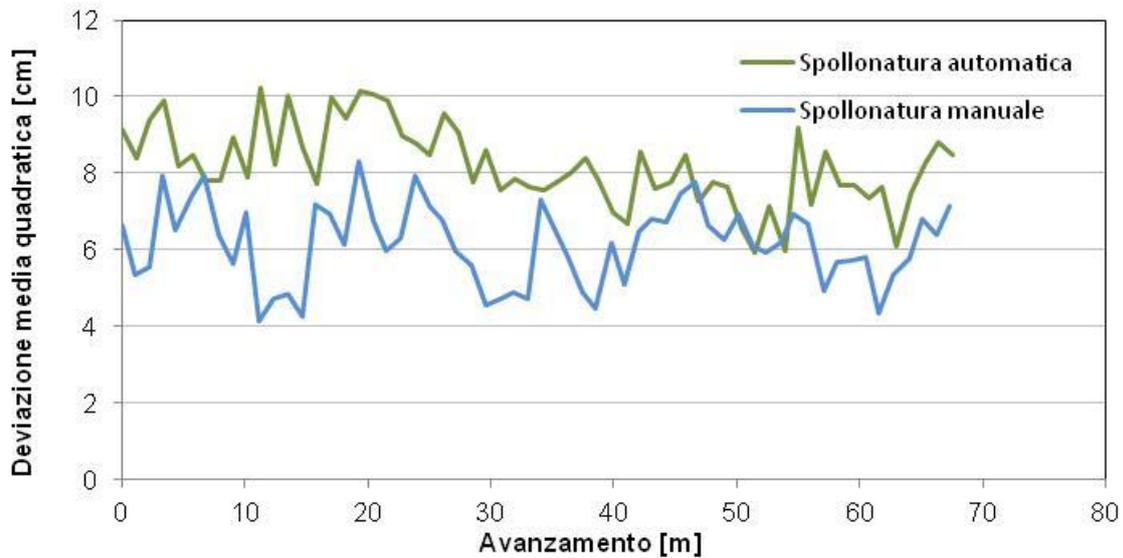
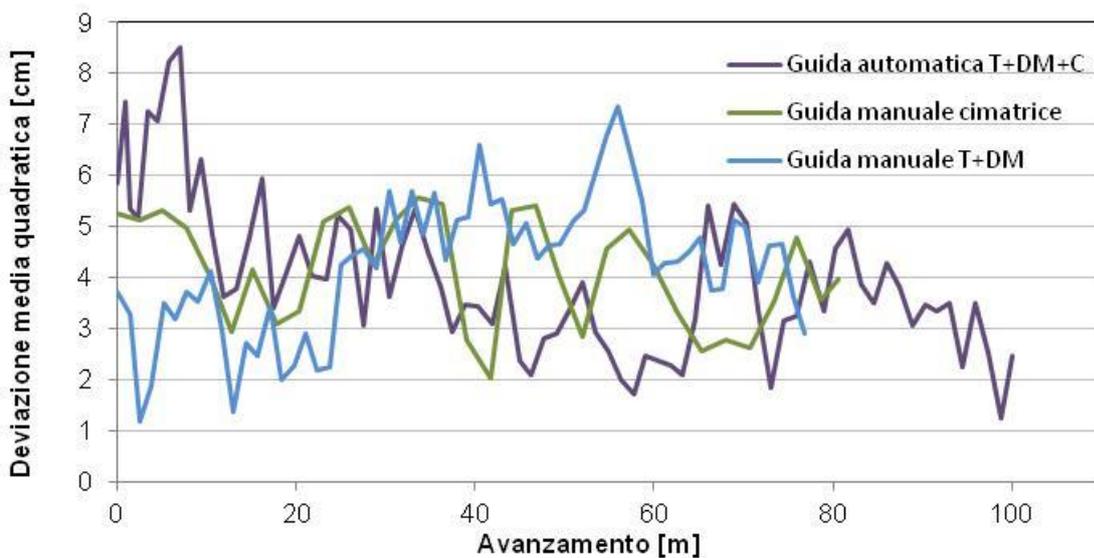


Figura 6.7: Deviazioni medie quadratiche mediate su 4 filari, calcolate nei casi di guida manuale e di guida assistita



Deviazioni medie quadratiche mediate su 3 filari, calcolate nei casi di guida manuale e di guida assistita durante operazione di spollonatura



Deviazioni medie quadratiche mediate su 4 filari, calcolate nei casi di guida manuale con cimatrice, guida manuale con trincia e diserbo meccanico e di guida assistita con trinciatura, diserbo meccanico e cimatura.

Per rendere più comprensibile le informazioni del grafico è stato fatto sullo stesso un filtraggio tramite applicazione di una media mobile con lunghezza di media pari a 4

metri. Il risultato è riportato nel grafico successivo (Figura 6.8) e risulta essere molto più leggibile ed analizzabile.

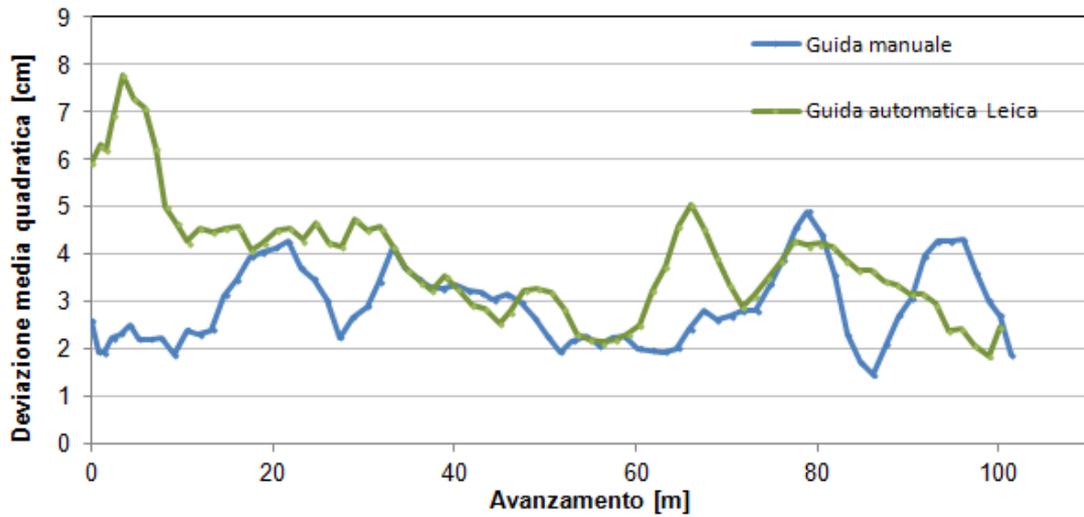
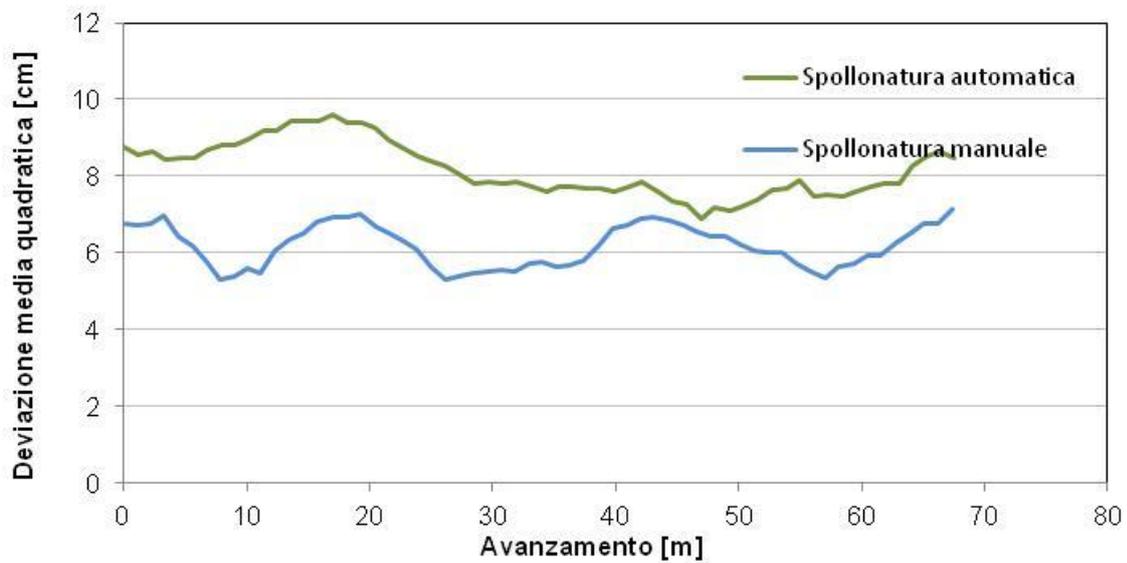
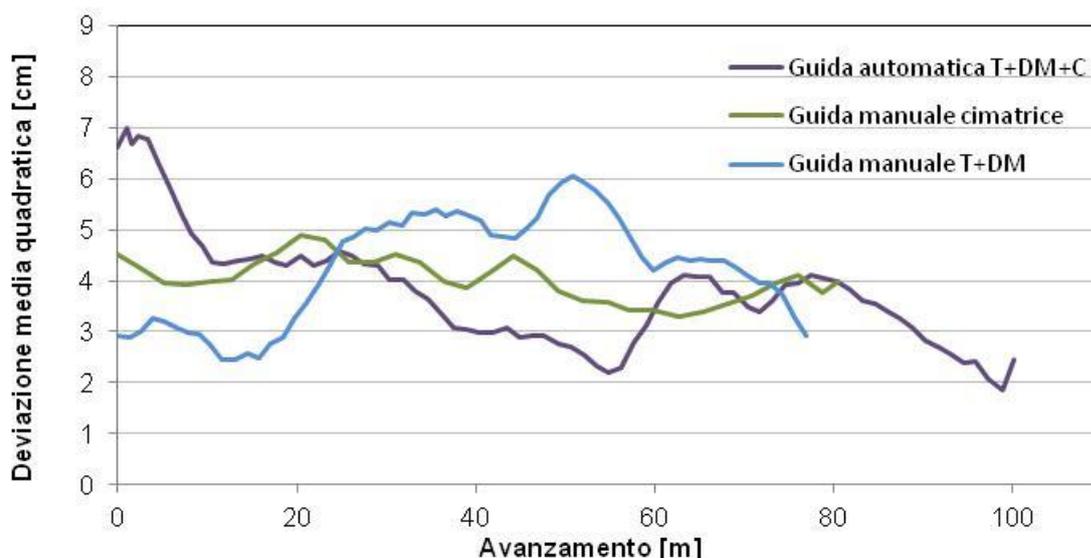


Figura 6.8: Deviazioni medie quadratiche mediate su 4 filari e filtrate tramite media mobile, calcolate nei casi di guida manuale e di guida assistita



Deviazioni medie quadratiche mediate su 3 filari e filtrate tramite media mobile, calcolate nei casi di guida manuale e di guida assistita con spollonatura



Deviazioni medie quadratiche mediate su 4 filari e filtrate tramite media mobile, calcolate nei casi di guida manuale con cimatrice, guida manuale con trincia e diserbo meccanico e di guida assistita con trinciatura, diserbo meccanico e cimatura.

Si può osservare dal grafico che il sistema con guida assistita si ha un picco iniziale evidente con una dimensione massima di circa 7-8 cm nei primissimi metri ma con un assestamento che avviene già dopo la prima decina di metri.

Il sistema con guida manuale non risulta avere picchi iniziali, e dopo un paio di metri pare essere già assestato.

In generale sembrerebbe che il sistema con guida manuale sia il più veloce ad assestarsi, ma in ogni caso con lunghezze di assestamento più che accettabili anche per il sistema di guida assistita.

Dal grafico si nota anche che entrambi i sistemi di guida presentano delle deviazioni che crescono tra i 60 e i 90 metri: queste deviazioni sono difficilmente spiegabili e ancora non del tutto chiarite.

6.2 Performance sulle svolte

Il fatto di riuscire a combinare più operazioni sullo stesso trattore porta ad avere un cantiere di lavoro più lungo. La sola aggiunta di un attrezzo anteriormente o posteriormente causa un aumento della lunghezza di 1,5/2 m; nel caso in cui vi sia l'aggiunta di due attrezzi, sia anteriormente che posteriormente, l'aumento di lunghezza può aumentare fino a 3-4 m.

Nelle prove svolte il trattore conta singolarmente una lunghezza di 3,7 m, con un attrezzo (trinciaerba) montato posteriormente arriva a 5,30 m di lunghezza, mentre con

due attrezzi (trinciaerba posteriore e spollonatrice o cimatrice anteriore) la lunghezza raggiunge i 6,5 m.

Le dimensioni di un cantiere così lungo comportano delle svolte più difficoltose così come l'accesso e l'uscita dai filari con dei tempi maggiori rispetto ad un singolo attrezzo montato.



Figura 6.8: Momenti di svolte con attrezzo singolo e doppio

PROVA	TAV (s)
guida assistita trinciatura, diserbo e spollonatura	28
guida assistita trinciatura, diserbo e cimatura	25
guida manuale trincia e diserbo	18
guida manuale spollonatura	23
guida manuale cimatura	20

Durante tutti i test sono stati rilevati quindi i tempi di svolta. I dati sono certamente influenzati dalla posizione, dalla larghezza della capezzagna e dalla presenza di ostacoli, ma in generale si può stimare che il tempo di svolta aumenta di un 50% passando da operazioni singole a operazioni riunite. Sono stati quindi rilevati:

- valori compresi tra i 25 e i 30 secondi nel caso di operazioni riunite e guida assistita
- valori compresi tra i 15 e i 25 secondi nei casi di guida manuale e operazioni singole (svolte più rapide in media tra i 15 e i 20 secondi nel caso di trinciatura e diserbo meccanico e tra i 20 e i 25 secondi nel caso di operazioni di spollonatura e cimatura).

I cantieri ad operazioni combinate in vigneto sono sicuramente un risparmio economico e anche di tempo, ma per abbassare i tempi di svolta si dovrebbe prendere in considerazione la possibilità di lavorare su filari alternati in modo da avere in capezzagna spazi di manovra più lunghi. Quando questo non è possibile resta il controllo di dover aumentare lo spazio in capezzagna riducendo la lunghezza dei filari, eliminando gli ostacoli quali alberature, ecc. così determinando una riduzione della SAU (superficie agraria utilizzata).

Capitolo 7

CONCLUSIONI

I risultati delle prove affrontate in questa tesi portano alla conclusione che l'utilizzo della guida assistita sia utile e vantaggiosa, sia funzionalmente ma soprattutto economicamente quando si utilizzino cantieri combinati in grado di svolgere più operazioni in un unico passaggio.

Nel caso in cui si utilizzi il sistema di guida assistita in un cantiere con attrezzi singoli come nella prova eseguita con sola trinciatura e diserbo meccanico, dai risultati delle analisi funzionali ed economiche emerge come non ci siano dei reali apprezzamenti, dal momento che non è stato possibile aumentare la velocità d'avanzamento durante il lavoro perché il trinciaerba ne limita la possibilità a 4,5 km/h, condizione utilizzata normalmente anche con il sistema di guida manuale, quindi nessun aumento di produttività o di superficie dominabile, mentre i vantaggi operativi (che non sono stati misurati in questa tesi) sono il minor affaticamento del conducente e la possibilità di estendere il lavoro per più ore al giorno ecc.

Anche dalle analisi economiche risulta essere svantaggioso il sistema di guida assistita utilizzato su cantiere con attrezzi singoli (come nel caso sopra citato). L'impossibilità di apprezzare i vantaggi operativi porta a ripercussioni economiche negative, in quanto bisogna imputare un ulteriore costo della meccanizzazione riguardante appunto il

sistema di guida assistita(del valore di 14.000€) e canone annuale della stazione di correzione.

Nel caso invece, in cui si utilizzi il sistema di guida assistita in un cantiere ad operazioni combinate con attrezzi montati frontalmente, ventralmente e posteriormente, come nella prova eseguita con spollonatura o cimatura, diserbo meccanico e trinciatura, i risultati delle analisi funzionali portano ad apprezzare vantaggi quali: la possibilità di combinare l'operazione di spollonatura o cimatura con quella di trinciatura/diserbo meccanico non combinabile senza l'ausilio della guida assistita senza apportare danno ai filari o agli attrezzi per l'impossibilità di controllarli singolarmente e contemporaneamente; la possibilità di ridurre il numero passaggi su singolo vigneto e di conseguenza di svolte e di tempo; la possibilità di aumentare la superficie dominabile con le stesse operatrici tra l'altro apportando delle lavorazioni più precise ed uniformi e magari più tempestive.

Dal lato delle analisi economiche i risultati dimostrano che, a fronte di un investimento di un trattore in grado di combinare più operazioni e del sistema di guida assistita in grado di guidarlo, si ha un risparmio di 34 €/ha per ogni passaggio risparmiato in termini di ore, gasolio, usura ecc; scelta oculata come nel caso dell'azienda sito delle prove che conduce 35 ha a vigneto, superficie più che sufficiente all' acquisto di questo sistema di guida.

Inoltre si può concludere che la maggiore spesa d'acquisto per il sistema di guida assistita unita alla possibilità di operare con attrezzature combinate ad un unico passaggio è valida nel momento in cui si conduca una superficie superiore ai 20 ha per avere dei tempi di ritorno dell'investimento inferiori ai suoi tempi di durata economica.

BIBLIOGRAFIA

- Fendt/italia website
- Clemens/website
- Ero/website
- Tordable machinè per la viticultur website
- Braun macchine agricole website
- Leica geostistem website
- Trimble-agricolture website
- “The precision farming guide for agriculturist” edit publication 1997
- Balsari P., Tamagnone M., 1999. Un sistema automatico di guida del trattore e di gestione delle attrezzature. In: L'innovazione tecnologica per l'agricoltura di precisione e la qualità produttiva. Atti del Convegno Nazionale AIIA. 22-23 giugno 1999, Grugliasco, Torino, Italia: 87-94.
- Calcante A., 2005. I sistemi di guida assistita. *Macchine e Motori Agricoli*, 5: 42-44
- Ehsani R.M., Sullivan M., Walker J.T., Zimmerman T.L., 2002. A method of evaluating different guidance systems. ASAE Paper 02-1155, ASAE, St. Joseph, Michigan, USA.
- Mazzetto F., Calcante A., Landonio S., Salvi M., 2001. Proposta di un protocollo di prova per la verifica delle prestazioni di funzionamento dei ricevitori GPS in ambiente agricolo. In: *Ingegneria agraria per lo sviluppo dei Paesi mediterranei. Atti del VII Congresso Nazionale di Ingegneria Agraria* (Cavalli R., Sartori L., eds.). 11-14 settembre 2000, Vieste, Foggia, Italia.
- Morgan M., Ess D., 1997. *The Precision farming guide for agriculturist – An Agricultural Primer Series created by Deere & Company*. John Deere Publishing, Illinois, USA.
- Sartori L., 2001. Guida parallela con GPS. *L'Informatore Agrario*, 30: 55-60.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il professor Luigi Sartori, l'ingegnere Francesco Marinello, l'azienda Cescon Giuseppe e tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione di questa tesi, oggetto per me di grande interesse.

Ringrazio anche tutte le persone, professori e non, incontrate in questi anni che mi hanno arricchito di esperienze, consigli ed aiuti, rendendomi più competente in questo ambito.

Un ringraziamento va anche ai miei genitori per avermi sempre sostenuto ed incoraggiato e per avermi permesso di intraprendere questo percorso universitario che mi ha dato la possibilità di studiare in un ambito che mi ha sempre affascinato.

