



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

**STUDIO PRELIMINARE DELL'UTILIZZO DEL
LIDAR PER IL CONTROLLO DELLA
DISTRIBUZIONE DI FITOFARMACI IN VIGNETO**

**(PRELIMINARY STUDY OF THE USE OF LIDAR TO CONTROL
THE DISTRIBUTION OF PESTICIDES IN THE VINEYARD)**

TIPO TESI: (sperimentale)

Studente:

ARNALDO PIO MARINI

Relatore:

PROF.SSA. ESTER FOPPA PEDRETTI

Correlatore:

DOTT. ALESSIO ILARI

ANNO ACCADEMICO 2020-2021

INDICE

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| INDICE | 1 |
| ELENCO DELLE TABELLE | 2 |
| ELENCO DELLE FIGURE | 3 |
| CAPITOLO 1..... | 4 |
| 1.1 Cenni storici..... | 4 |
| 1.2 Agricoltura di precisione e sostenibilità | 5 |
| 1.3 Strumenti più utilizzati nell'agricoltura di precisione | 7 |
| 1.4 Il Lidar nell'agricoltura di precisione..... | 9 |
| CAPITOLO 2 SCOPO DELLA TESI..... | 11 |
| CAPITOLO 3 MATERIALI E METODI | 13 |
| 1.1 Prototipo | 13 |
| 1.2 Descrizione delle componenti..... | 14 |
| 1.3 Preparazione della prova | 16 |
| CAPITOLO 4 RISULTATI E DISCUSSIONI..... | 19 |
| 1.1 Risultati | 19 |
| 1.2 Discussioni | 24 |
| CONCLUSIONI..... | 26 |
| BIBLIOGRAFIA | 27 |

ELENCO DELLE TABELLE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabella 1: La tabella rappresenta le dimensioni dei bersagli conici utilizzati | 17 |
| Tabella 2: Nella tabella sono inserite le distanze e la velocità utilizzate per la prova 1 ... | 21 |
| Tabella 3: Nella tabella sono inserite le distanze e la velocità utilizzate per la prova 2 ... | 22 |

ELENCO DELLE FIGURE

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Immagine rappresentativa della costellazione di satelliti che circonda la terra .. | 7 |
| Figura2: L'immagine rappresenta un sensore lidar. | 9 |
| Figura 3: L'immagine rappresenta il prototipo studiato con tutte le sue componenti | 13 |
| Figura 4: L'immagine rappresenta il prototipo studiato | 13 |
| Figura 5: L'immagine rappresenta un Rplidar prodotto da SLAMTEC | 14 |
| Figura 6: L'immagine rappresenta un dispositivo IMU..... | 14 |
| Figura 7: L'immagine rappresenta un'antenna GPS Ag Leader GPS 1500 | 15 |
| Figura 8: L'immagine rappresenta un processore Raspberry Pi B+ | 15 |
| Figura 9: Bersagli costruiti per effettuare la prova | 17 |
| Figura 10: Nel grafico è rappresentata una scansione effettuata durante le prove e post- processata con software OCTAVE | 19 |
| Figura 11 | 20 |
| Figura 12: I grafici (11-12) rappresentano in che modo il LIDAR effettua le scansioni .. | 20 |
| Figura 13: Il grafico rappresenta l'immagine della scansione eseguita in | 21 |
| Figura 14: L'immagine rappresenta il luogo e il momento in cui si sono svolte le prove . | 21 |
| Figura 15: Il grafico rappresenta una scansione eseguita durante la prova2 | 22 |
| Figura 16 | 23 |
| Figura 17: Nei grafici (16-17) è rappresentat un'immagine con zoom sui bersagli per mettere in risalto le differenze tra le due forme..... | 23 |
| Figura 18: Il grafico rappresenta un'immagine dei bersagli scannerizzati dal LIDAR senza l'utilizzo di una parete di riferimento. | 23 |

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 Cenni storici

L'agricoltura è una delle attività più antiche e più importanti per l'uomo: elemento fondamentale per la civilizzazione e lo sviluppo della società. Già nel neolitico l'uomo impara a coltivare e proteggere le piante di cui si nutre, estirpando ed eliminando quelle non commestibili. Nel corso degli anni ci sono stati eventi che hanno cambiato e dato una svolta all'agricoltura tradizionale, uno di questi fu nel 1750 in Inghilterra, la prima rivoluzione agraria che rese possibile *"una coltivazione più razionale, pronta a recepire le esigenze del mercato agricolo."*¹. Questo nuovo modo di vedere l'agricoltura portò all'aumento di aree coltivate e portò quindi ad un cambiamento nelle modalità di coltivazione, venne così introdotta la rotazione quadriennale conosciuta come "sistema di Norfolk" che prevedeva la divisione in quattro parti delle aree coltivate e anziché lasciare annualmente una zona incolta, questa veniva coltivata con *"piante da foraggio come il trifoglio e le rape"*² così da favorire la rifertilizzazione del terreno e allo stesso tempo contribuire anche all'alimentazione del bestiame. Successivamente il settore primario fece un ulteriore balzo in avanti, in agricoltura venne introdotta *"l'utilizzazione delle macchine agricole, innanzitutto negli Stati Uniti, per la strutturale mancanza di manodopera rispetto alla vastità del territorio, e, per quanto riguarda l'Europa, in particolare da parte delle grandi aziende capitalistiche."*³

La grande svolta ci fu agli inizi degli anni Novanta quando negli Stati Uniti d'America per la prima volta venne nominata l'agricoltura di precisione (Precision Agriculture). Questa pratica

¹ Polcri-Giappichelli, Storia e analisi storica, Giunti, 1998.

² Giardina-Sabbatucci-Vidotto, Il mosaico e gli specchi, Laterza, 2007.

³ Gentile-Ronga-Rossi, l'Erodoto, La Scuola, 2012.

ha definitivamente cambiato l'approccio dell'agricoltura alle reali necessità dell'appezzamento grazie all'applicazione di tecnologie e strategie gestionali per ottimizzare le produzioni agricole (Pierce e Nowak 1999).

1.2 Agricoltura di precisione e sostenibilità

L'agricoltura di precisione, quindi, non è più un metodo di lavoro ma un sistema gestionale che utilizza tecniche e tecnologie che elaborano informazioni inerenti alle esigenze della coltura e alle caratteristiche chimico-fisiche e biologiche del suolo, allo scopo di migliorare le produzioni ottimizzando l'efficienza degli input e riducendo gli impatti ambientali ed economici (Godwin, 2003).

Negli ultimi decenni, come suddetto, l'agricoltura ha subito un notevole processo evolutivo, processo che continuerà in futuro per affrontare le difficili e molteplici problematiche che affliggono il panorama internazionale.

Le problematiche principali sono: la diminuzione delle risorse primarie (una su tutte l'acqua potabile), i cambiamenti climatici repentini, l'inquinamento ambientale, l'aumento dei costi di produzione e il calo dei prezzi di vendita dei prodotti agricoli. Tutto ciò ha portato dei cambiamenti al settore primario che passa da, un sistema basato sulla produzione per soddisfare le esigenze alimentari, a un sistema che ha come obiettivo quello di ottimizzare al meglio le risorse primarie salvaguardando l'ambiente e valorizzando i prodotti. Un ulteriore problema da affrontare è il sovrappopolamento, infatti, la FAO (Food and Agriculture Organization) stima che entro il 2050 la popolazione mondiale toccherà i 9 miliardi di persone, per tanto ci sarà un aumento del 60% circa del fabbisogno dei prodotti alimentari (Nikos Alexandratos and Jelle Bruinsma 2012).

Per far fronte a tutte queste problematiche, sono state introdotte tecnologie che mettono in relazione componenti spaziali, temporali e colturali, che rappresentano le variabilità che caratterizzano ogni singolo appezzamento (Sartori L., Basso B., Bertocco M. 2005).

L'impiego della tecnologia in agricoltura aiuta ad ottenere una serie di vantaggi agronomici e quindi economici, produttivi ed ambientali questo perché consente di utilizzare i fattori della produzione (fertilizzanti, acqua, prodotti fitosanitari) in modo mirato. Inoltre, è possibile monitorare in tempo reale lo stato di salute delle piante e quindi intervenire solo se necessario questo, grazie all'utilizzo di sensori. Un riscontro positivo è stato rilevato soprattutto per quanto riguarda una delle pratiche più diffuse ovvero le concimazioni azotate, infatti l'agricoltura di precisione ha permesso di evitare super dosaggi di azoto, portando benefici economici che derivano da un razionale utilizzo di azoto e un'efficienza migliore dello stesso e benefici ambientali in quanto, studi condotti sui nitrati hanno dimostrato come grazie a queste tecniche si ha circa il 75% in meno di azoto lisciviato e questo, ha effetto sulla qualità dell'acqua, del suolo e dell'aria (R. & Lowenberg-Deboer J., 2004). L'agricoltura di precisione inoltre, ha contribuito ad ottenere: riduzione dei tempi in molte operazioni, minor affaticamento degli operatori e riduzioni delle tare in terreni di forma irregolare, di conseguenza anche un risparmio di tempo, carburante e prodotti chimici (Sartori L. 2001). D'altro canto, bisogna evidenziare anche i punti di debolezza dell'agricoltura di precisione soprattutto in Italia, che presenta territori fortemente eterogenei e ciò rende difficile l'applicazione di determinate metodologie, altri punti deboli potrebbero riguardare le dimensioni ridotte delle aziende agricole.

1.3 Strumenti più utilizzati nell'agricoltura di precisione

Al giorno d'oggi vengono utilizzate tecnologie meccaniche, elettroniche ed informatiche suddivisibili in tecnologie per rilievi distali (satellite, UAV, ecc.) e tecnologie per rilievi prossimali (sensori a terra, fissi o mobili). Per quanto riguarda la prima categoria, queste tecnologie permettono di ottenere informazioni di un oggetto analizzando ed elaborando dati senza entrare in contatto diretto con esso (Lillesand T. M., Keifer R.W. 1994), tutte queste tecnologie hanno alla base un riferimento spaziale, in quanto, i dati inerenti di un appezzamento devono essere geo-referenziati per poter conferire delle informazioni utili di un appezzamento. Il sistema migliore per l'attribuzione di coordinate geografiche ad un oggetto sulla superficie terrestre è il sistema di posizionamento globale (GPS). La tecnologia del GPS è resa possibile grazie alla costellazione dei satelliti (es quello Americano GPS/NAVAS o il sistema della Russia GPS/GLONASS) che forniscono dei punti di riferimento globale per il

calcolo della posizione di un oggetto (Figura 1). I satelliti sono in continuo movimento e viaggiano ad alta velocità ma la loro posizione è nota in ogni istante con elevata precisione e grazie a un metodo chiamato trilaterazione, il ricevitore di terra determina la propria posizione nello spazio calcolando la distanza dai satelliti visibili in quel momento perché, come ci suggerisce la trigonometria, bastano tre misure per determinare la posizione di un oggetto nello spazio (F Bernardini - GEOmedia, 1998 - mediageo.it.pdf n.d.).

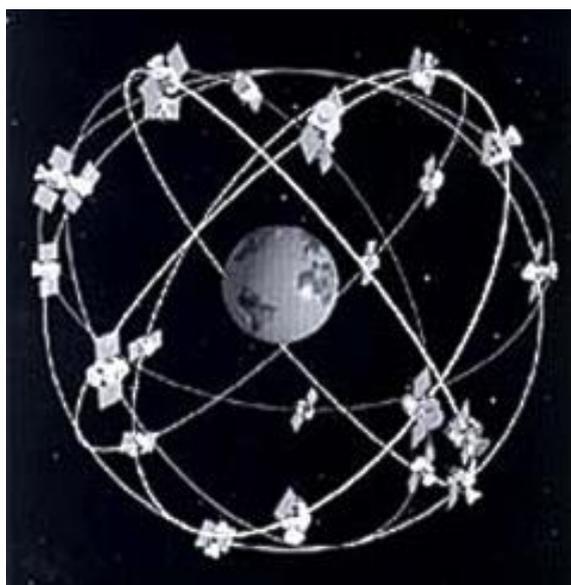


Figura 1: Immagine rappresentativa della costellazione di satelliti che circonda la terra.

Fonte: immagine di pubblico dominio

Per quanto riguarda la seconda categoria e quindi le tecnologie che comprendono strumenti per effettuare rilievi prossimali, questi si dividono in dispositivi in grado di definire vigoria e stato sanitario della vegetazione (sensori da terra fissi o mobili) e apparecchi in grado di definire strutturalmente in 3D la vegetazione che li circonda (ultrasuoni, lidar, sensori optoelettronici ecc). Nella prima classe, troviamo tecnologie che entrano in contatto con l'oggetto di studio mentre, nella seconda classe, troviamo dispositivi che non entrano in contatto con l'oggetto da analizzare ma lavorano a brevi distanze da esso. Attualmente in commercio è possibile trovare dispositivi optoelettronici e ad ultrasuoni, i primi permettono di captare le variazioni dei parametri ottici, come l'assorbanza, lunghezza d'onda o l'indice di rifrazione, questo per determinare la qualità della clorofilla presente all'interno delle foglie e determinare l'efficienza fotosintetica, lo stato di salute della pianta, il tutto correlato alla nutrizione della stessa. Per quanto riguarda i secondi, questi hanno una funzione diversa in quanto, sono in grado di stimare la distanza tra l'ostacolo che incontrano e il sensore emettendo ultrasuoni. Solitamente vengono utilizzati per misurare il volume della vegetazione e controllare l'irrorazione ma vanno tarati quasi ad ogni utilizzo (Doruchowski, Balsari, and Van De Zande 2009). Analogamente ai sistemi ad ultrasuoni, anche il lidar è in grado di misurare il volume della chioma, per farlo non utilizza ultrasuoni ma sfrutta un fascio di luce coerente, per questo rientra nella categoria degli optoelettronici.

1.4 Il Lidar nell'agricoltura di precisione

Il lidar (Light Detection And Ranging), è una tecnologia di telerilevamento che utilizza un impulso laser (Fig. 2) per misurare la distanza tra il sensore e gli oggetti che lo circondano molto rapidamente ottenendo in output una nuvola di punti che, in post processamento, possono essere sfruttati per la costruzione di un'immagine 3D. Attraverso l'applicazione di algoritmi appropriati, queste nuvole di punti possono essere utilizzate per ricostruire



Figura2: L'immagine rappresenta un sensore lidar.

Fonte: Foto propria

e descrivere digitalmente la struttura degli alberi con elevati livelli di precisione, inoltre, possono essere sia statici che applicazioni mobili. È ideale per rilevare e misurare oggetti non metallici o biologici (Bietresato et al. 2014), anche molto piccoli.

Dopo vari tentativi ed esperimenti possono essere utilizzati anche in agricoltura, ad es. per la determinazione della deriva durante il trattamento antiparassitario (Gil et al., 2013) ma la maggior parte degli esempi applicativi riguardano direttamente le colture (alberi, graminacee). Alcuni autori hanno concluso che un sistema LIDAR è in grado di misurare le caratteristiche geometriche delle piante da frutto con precisione sufficiente per poter beneficiare della maggior parte delle pratiche agronomiche (Rosell-Polo et al., 2009). Quindi, questa tecnologia può essere considerata particolarmente promettente per la realizzazione di mappe 3D di piante. La capacità di quantificare le variazioni spaziali, che è un aspetto importante della struttura della vegetazione, è un progresso significativo rispetto ad alcuni precedenti metodi. I sistemi LIDAR possono essere utilizzati per quantificare i cambiamenti nella struttura della chioma a

varie scale temporali. Possono fornire una valutazione dettagliata della crescita della chioma e della risposta di allocazione agli studi sul campo, la fertilizzazione, l'irrigazione e la protezione delle piante. Possono anche essere usati come strumento a lungo termine per studi sul cambiamento della vegetazione (Sanz-Cortiella et al. 2011). Questa tecnologia non viene ancora utilizzata del tutto in agricoltura ma è in fase di sperimentazione ed è proprio l'oggetto di studio di questa tesi che fa riferimento ad un progetto portato avanti nella facoltà di agraria dell'UNIVPM.

Come suddetto, LIDAR è una tecnologia di telerilevamento ampiamente utilizzata in molti campi. Sono state sviluppate molte tecniche per la classificazione dei dati che, una volta raccolti, in post-elaborazione vengono utilizzati software in grado di gestire i dati (coordinate cilindriche-cartesiane, deviazioni di percorso) ottenendo così le informazioni e le cifre desiderate. Uno dei software più utilizzati è OCTAVE, questa è un'applicazione compatibile con MATLAB e si occupa dell'analisi numerica. È formulato come un'unità convoluzionale che memorizza ed elabora le mappe delle caratteristiche in base alla distribuzione delle informazioni di frequenza elaborando separatamente le informazioni ad alta e bassa frequenza (Y. Chen 2019) e ciò ha il suo vantaggio nelle attività di classificazione delle immagini.

CAPITOLO 2

SCOPO DELLA TESI

Nei capitoli precedenti si è parlato di come l'agricoltura si sia evoluta trasformandosi in quella che oggi viene definita agricoltura di precisione o agricoltura 4.0, inoltre, sono stati accennati quelli che sono gli strumenti e quindi le tecnologie che oggi giorno caratterizzano il settore primario. È stato trattato, in particolar modo, il sensore LIDAR, uno strumento che sta prendendo piede nell'agricoltura di precisione.

Questa tecnologia potrebbe risolvere le problematiche legate ai sensori a ultrasuoni che si trovano attualmente in commercio in quanto questi, pur consentendo di ottenere informazioni sul volume della vegetazione e sulla variabilità della stessa lungo la fila, allo stesso tempo vengono fortemente influenzate dall'ambiente e dagli operatori perché richiedono frequenti tarature. Per cercare di porre rimedio a queste problematiche si sta tentando di applicare in agricoltura i sensori LIDAR. Questi sensori emettono un impulso laser, ovvero un fascio di luce coerente in grado di misurare il tempo che il raggio laser impiega per raggiungere un bersaglio. Il vantaggio di questa tecnica è che l'impulso emesso è molto concentrato, molto sottile e poco divergente tanto da essere considerato perfettamente rettilineo. Questo strumento grazie alla sua precisione dovrebbe essere in grado di dare informazioni dettagliate sulla struttura vegetativa delle piante, dati indispensabili per un'ottima gestione del vigneto e per quanto riguarda l'applicazione di fitofarmaci, potrebbe garantire uniformità nella distribuzione e un notevole risparmio del prodotto senza andare ad intaccarne l'efficienza.

L'obiettivo di questa tesi di laurea, dunque, è quello di fornire un'analisi preliminare sull'utilizzo del LIDAR per la distribuzione di fitofarmaci in vigneto. Lo studio è stato svolto in più prove, ognuna delle quali aveva degli obiettivi precisi. Quelle che riguardano questa tesi avevano l'obiettivo di studiare l'acquisizione delle immagini ovvero tridimensionalità e qualità riducendo il più possibile i margini di errore, il tutto utilizzando un sensore LIDAR collegato ad un ricevitore GPS e ad un inclinometro il tutto cercando di ridurre il più possibile i costi perché un altro obiettivo era quello di creare un prototipo funzionante ed efficiente ma allo stesso tempo economico e quindi accessibile a tutti.

Le acquisizioni delle immagini sono state effettuate utilizzando dei bersagli conici e triangolari costruiti appositamente per questa prova e quindi con misure ben specifiche.

Lo studio ha come base di riferimento un articolo “Evaluation of a LiDAR-based 3D-stereoscopic vision system for crop-monitoring applications” pubblicato nel 2016 da Elsevier editore mondiale nell’ambito scientifico. Nei capitoli successivi verranno descritti e commentati i materiali e i metodi utilizzati durante le varie prove.

CAPITOLO 3 MATERIALI E METODI

1.1 Prototipo

Per la prova, in sostituzione del sistema trattore-atomizzatore, è stato utilizzato un carrello trainato a mano con quattro ruote non sterzanti dotato di due pianali, uno superiore ed uno inferiore. Ad un'estremità del carrello è stato montato un profilato in alluminio scanalato verticale sul quale sono inseriti dall'alto verso il basso: antenna GPS, Sensore LIDAR, scheda Raspberry Pi ed un inclinometro, mentre sul pianale inferiore del carrello è stata posizionata una batteria BOSCH per l'alimentazione.

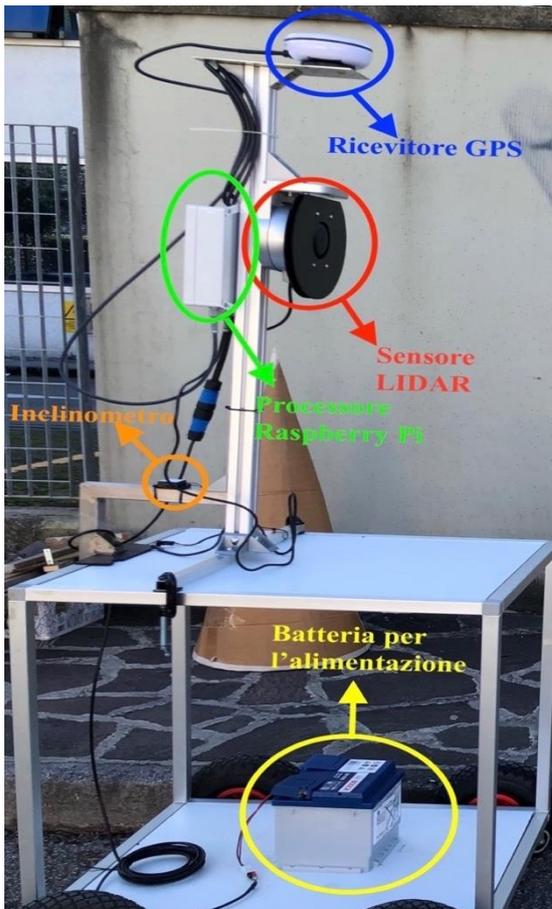


Figura 3: L'immagine rappresenta il prototipo studiato con tutte le sue componenti



Figura 4: L'immagine rappresenta il prototipo studiato

1.2 Descrizione delle componenti

Dal paragrafo precedente si può dedurre che per lo svolgimento delle prove non è stato necessario solo l'utilizzo del sensore LIDAR ma sono stati utilizzati anche altri strumenti, infatti, è proprio grazie alla combinazione di tali tecnologie che è possibile effettuare rilevamenti precisi ed utili per le varie applicazioni in campo.

In merito al sensore LIDAR, per la prova è stato utilizzato il modello Rplidar A3 della



Figura 5: L'immagine rappresenta un Rplidar prodotto da SLAMTEC

SLAMTEC (Foto 5). Questo sensore grazie alla sua frequenza di campionamento (16000 punti al secondo) può costruire mappe in modo rapido e preciso, inoltre, ha un raggio di portata di 25 metri, il che significa che riesce a raccogliere molte informazioni sulla struttura dell'ambiente circostante. Il suo nucleo (emettitore e ricevitore) ruota in senso orario eseguendo una scansione omnidirezionale a 360 gradi generando una mappa di punti che descrivono l'ambiente (Shanghai Slamtec

Co. n.d.) il suddetto LIDAR è 2D, ciò implica che ogni "spazzata" di punti in un giro completo apparirà come una serie di punti verticali (il LIDAR è inclinato di 90° quando montato sul profilato).



Figura 6: L'immagine rappresenta un dispositivo IMU

Un altro strumento che collabora al rilievo e che quindi fa parte del prototipo studiato è l'IMU (Inertial Measurement Unit) o piattaforma inerziale, questo è un sistema che controlla il sistema di navigazione inerziale di un oggetto (nel nostro caso il carrello). È costituito da sensori inerziali, come accelerometri e giroscopi che monitorano la dinamica tridimensionale di un mezzo in movimento permettendo, tramite un processore, di attuare eventuali correzioni. Questo strumento è fondamentale nell'applicazione in agronomia perché i terreni non sono mai omogenei e le superfici irregolari

producono oscillazioni rilevanti che potrebbero compromettere l'accuratezza dei rilevamenti eseguiti dal LIDAR.



Figura 7: L'immagine rappresenta un'antenna GPS Ag Leader GPS 1500

I dati raccolti dagli strumenti sopra elencati, per essere funzionali, devono essere geo-referenziati ovvero, ad ogni singolo punto va attribuita una posizione nello spazio e ciò è reso possibile grazie ad un ricevitore GPS. Per la prova è stato utilizzato il modello Ag Leader GPS 1500. Più precisamente Le coordinate generate dal GPS sono funzionali per trasformare i dati bidimensionali del LIDAR in dati

tridimensionali. La posizione del GPS opportunamente traslata verso le coordinate generate del punto determinato dal LIDAR (precedentemente trasformate) serve a creare la nuvola di punti. Il coordinamento dei punti di GPS e LIDAR è assicurato dal dato temporale (condiviso tra i diversi dispositivi) che esclude errori di riferimento spaziale e ridondanza.

Per quanto riguarda le elaborazioni dei dati raccolti dalla combinazione di tali strumenti, questa viene effettuata da un processore in grado di integrare i dati, effettuare eventuali correzioni ed infine costruire una mappa. Il processore utilizzato nella prova è il Raspberry Pi B+ prodotto dalla Raspberry Pi foundation.



Figura 8: L'immagine rappresenta un processore Raspberry Pi B+

Dunque, l'insieme di questi strumenti formano quello che è il sistema di rilevamento. Per capire meglio il funzionamento di questo sistema bisogna partire dall'antenna GPS che registra i dati di posizione sul sistema di posizionamento globale come latitudine e longitudine, oltre a questi due dati viene fornita anche l'ora di registrazione o meglio data ora e secondi grazie

all'orologio interno (che serve anche per sincronizzare i dati da satellite). L'IMU invece fornisce 4 dati, tre di questi sono gli angoli di inclinazione sul piano tridimensionale che verranno utilizzati per correggere le misure di GPS e lidar e un quarto dato è il tempo che serve a sincronizzare i dati con GPS e lidar. Il Lidar restituisce lo stesso 4 dati che sono inclinazione dell'impulso rispetto al piano orizzontale (posizione su asse verticale), distanza del punto registrato dall'emettitore (dal quale si ricava la distanza su asse orizzontale) tutto in coordinate polari, intensità di ritorno dell'impulso (dato non utilizzato) e il dato di tempo per la sincronizzazione. A questo punto entra in gioco la scheda Raspberry che fa una serie di trasformazioni (quasi tutte trigonometriche) per assegnare al punto del lidar delle coordinate cartesiane a partire dalle coordinate polari. Dopo di che, assegna a queste coordinate bidimensionali la coordinata tridimensionale che è data dalla posizione del GPS in quel preciso istante ma spostata di circa 1.4 metri (il GPS registra la posizione al centro dell'interfilare e la distanza tra la mezzeria dell'interfilare e il filare stesso è di 1.4 metri). A questo punto la scheda Raspberry genera un modello delle chiome che viene memorizzato nella memoria temporanea della scheda che verrà poi sovrascritta. Un ulteriore algoritmo calcola su questo modello il numero di punti che ricadono in una determinata superficie che può essere impostata. Se questi punti raggiungono una soglia prefissata allora la scheda Raspberry "master" (che è un processore) invierà ad una scheda "slave" (che è un controllore), il segnale di non fornire elettricità ad una o più elettrovalvole (del tipo sempre aperto) che sono quelle in corrispondenza dell'area citata in cui ricadono i punti individuati. Al contrario se nell'area non si registra il numero sufficiente di punti il processore comunica al controllore di fornire tensione elettrica e allora l'elettrovalvola si chiude.

1.3 Preparazione della prova

Per effettuare questa prova, è stato preso come riferimento l'articolo "Evaluation of a LiDAR-based 3D-stereoscopic vision system for crop-monitoring applications" pubblicato da ELSEVIER nel 2016.

Il presente studio confronta in un ambiente strutturato le prestazioni di un sistema di visione basato su LiDAR. È stato utilizzato un sistema a due sensori per eseguire la scansione di bersagli in ambiente controllato. Per lo studio sono stati utilizzati due sensori LIDAR SICK LMS 111 con una frequenza di scansione di 50 Hz (50.000 punti al secondo) con i quali sono

stati scansionati alcuni target ottici (coni, sfere) e le loro aree/volumi di sezione trasversale sono stati stimati attraverso semplici algoritmi (Bietresato et al. 2016).

L'idea è stata quella di utilizzare lo stesso sistema in un contesto agricolo per stimare il volume della chioma (e quindi il vigore) delle piante e per regolare automaticamente le macchine agricole in tempo reale ma utilizzando un solo sensore LIDAR, meno prestante rispetto a quello dello studio suddetto ma allo stesso tempo più economico.

Per la prova sono stati costruiti dei bersagli (Figura 9), nello specifico 5 coni di dimensioni differenti (Tabella 1) e 5 figure triangolari (equivalenti bidimensionali dei solidi di rotazione prima riportati). Sono state scelte queste figure per poter determinare in che modo il LIDAR riuscisse a distinguere le due figure e quindi, se nell'immagine risultasse la tridimensionalità dei coni. La prova è stata svolta in un luogo aperto e i rilievi sono stati effettuati posizionando i bersagli sul suolo e facendo transitare il LIDAR, veicolato da un carrello, in corrispondenza dei bersagli a distanze e velocità diverse per ogni rilevamento. Inoltre, sono stati fatti anche rilevamenti che prendevano in considerazione anche le radiazioni solari.

| Dimensioni dei bersagli conici | | | |
|--------------------------------|---------------|--------|----------|
| | \varnothing | h | l |
| Cono 1 | 24 cm | 50 cm | 51,41 cm |
| Cono 2 | 33,5 cm | 60 cm | 68,23 cm |
| Cono 3 | 33,5 cm | 60 cm | 68,23 cm |
| Cono 4 | 39,6 cm | 75 cm | 84,32 cm |
| Cono 5 | 45,5 cm | 100 cm | 109,4 cm |

Tabella 1: La tabella rappresenta le dimensioni dei bersagli conici utilizzati per la prova



Figura 9: Bersagli costruiti per effettuare la prova

Una volta effettuate le prove, i dati raccolti sono stati elaborati dagli ingegneri che hanno sviluppato il prototipo. L'elaborazione consiste in una sorta di pulizia delle informazioni eliminando i punti superflui in quanto, il Lidar, quando effettua le scansioni ha un raggio di 360° per questo, ad ogni scansione viene rilevato anche il suolo e il cielo, dati inutili per la prova e che causerebbero soltanto il sovraccarico del processore. Una volta effettuata la pulizia dei punti, tramite un software (Octave) vengono visualizzate le immagini dalle quali è possibile rilevare eventuali errori del sistema, come si potrà osservare di seguito.

CAPITOLO 4

RISULTATI E DISCUSSIONI

1.1 Risultati

L'acquisizione delle immagini permette di ottenere delle informazioni relative ai volumi e alle caratteristiche dei bersagli utilizzati, servono inoltre, per rilevare e risolvere eventuali errori andando a migliorare il funzionamento del sistema. Successivamente verranno illustrati e discussi i grafici delle prove eseguite.

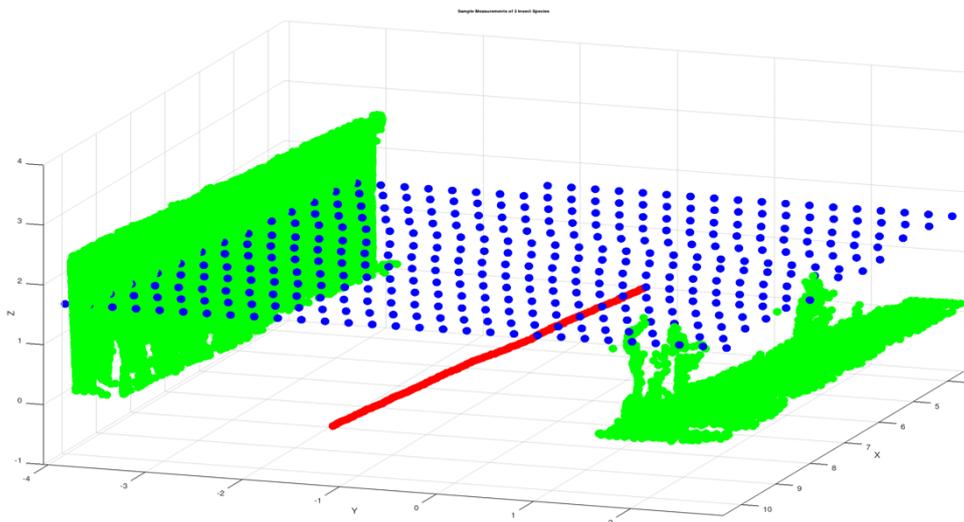


Figura 10: Nel grafico è rappresentata una scansione effettuata durante le prove e post-processata con software OCTAVE

Il grafico (Fig. 10) rappresenta l'immagine di una scansione effettuata con il sistema studiato. L'immagine, come si può notare, è formata da punti di diverso colore, ognuno dei quali rappresenta informazioni diverse. I punti verdi rappresentano i dati rilevati dal LIDAR e quindi descrivono l'ambiente esterno, i punti rossi invece rappresentano le informazioni fornite dal GPS e quindi indicano posizione e direzione percorsa dal mezzo (non il verso). Per quanto riguarda i punti blu, questi rappresentano i dati ottenuti dall'IMU, indicano il grado di

dislivello in terreni non omogenei e in più permette di traslare i dati del GPS verso i bersagli (per l'utilizzo in campo il GPS registra la posizione al centro dell'interfilare, l'IMU permette lo spostamento dei dati sul filare così da dare delle coordinate ai punti rilevati dal LIDAR).

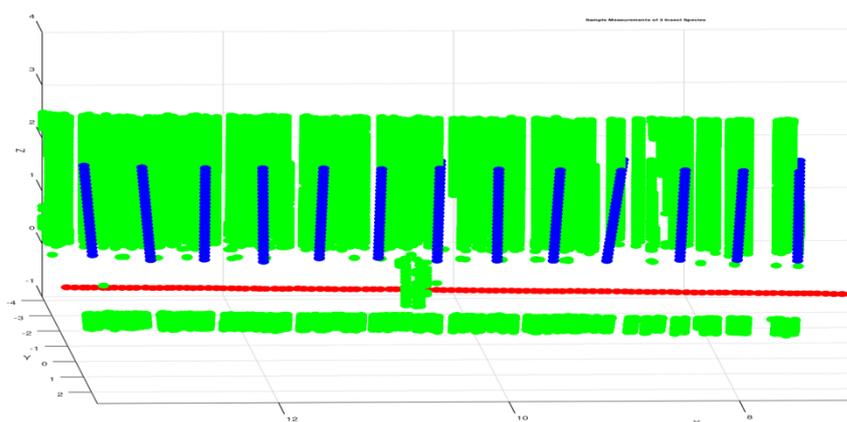


Figura 11

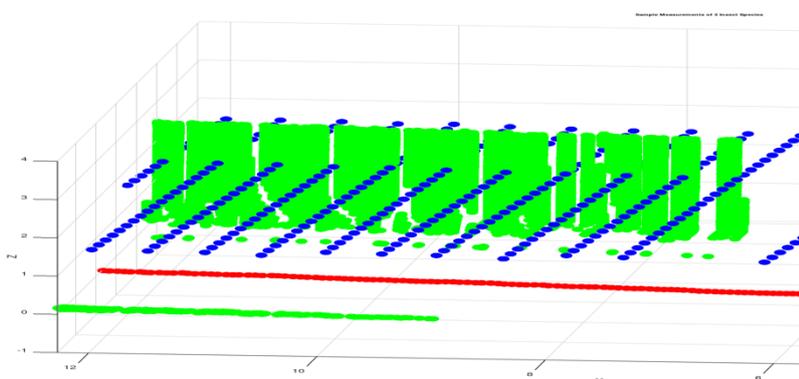


Figura 12: I grafici (11-12) rappresentano in che modo il LIDAR effettua le scansioni

Le immagini presenti in questi grafici (Fig. 11-12), visualizzate da queste angolazioni, sono visibilmente caratterizzate da delle “strisce”, queste sono dovute alla posizione di lavoro del LIDAR in questo sistema, in quanto, esso effettua delle spazzate di 360° in verticale. Dunque, possiamo affermare che ad ogni striscia corrisponde una spazzata.

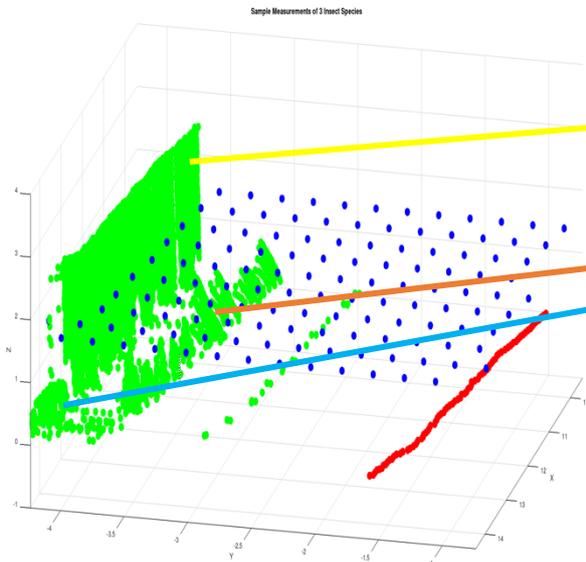


Figura 13: Il grafico rappresenta l'immagine della scansione eseguita in Fig.14 ed elaborata con software OCTAVE.



Figura 14: L'immagine rappresenta il luogo e il momento in cui si sono svolte le prove

| DATI PROVA 1 | |
|-------------------------------------|-----------|
| Distanza dei bersagli dal muro | 50 cm |
| Distanza tra i bersagli e il LAIDAR | 2,30 m |
| Distanza percorsa dal mezzo | 5.10 m |
| Velocità di avanzamento | 2.73 Km/h |

Tabella 2: Nella tabella sono inserite le distanze e la velocità utilizzate per la prova 1

In questo grafico (Fig. 13) è possibile osservare chiaramente l'immagine, infatti, sono ben visibili tutti i bersagli scansionati e la parete di riferimento (Fig.14)

In questa prova I bersagli sono stati posizionati a 50 cm da una parete di riferimento e la scansione è stata effettuata ad una velocità di 2.73 km/h (Tabella 2) Il dato più importante da tenere in considerazione è la velocità perché va ad influenzare la densità dei punti determinati, in questo caso la velocità di avanzamento è molto bassa rispetto a quelle che vengono utilizzate

durante le operazioni agricole. Per quanto riguarda le distanze, queste entro un certo range non vanno ad influenzare l'acquisizione in quanto il LIDAR utilizzato ha una portata di 25m.

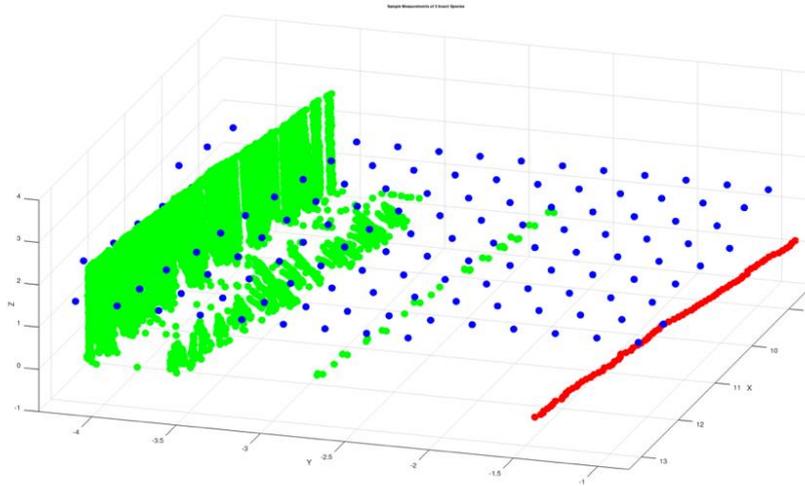


Figura 15: Il grafico rappresenta una scansione eseguita durante la prova 2

| DATI PROVA 2 | |
|-------------------------------------|-----------|
| Distanza dei bersagli dal muro | 1,30 m |
| Distanza tra i bersagli e il LAIDAR | 2,83 m |
| Distanza percorsa dal mezzo | 5,10 m |
| Velocità di avanzamento | 4.75 km/h |

Tabella 3: Nella tabella sono inserite le distanze e la velocità utilizzate per la prova 2

In questo caso la prova è stata effettuata a distanze e velocità maggiori (Tabella 3) rispetto alla prima ed è possibile notare come pur essendo leggermente diminuita la densità di punti, l'immagine resta fedele all'ambiente rilevato.

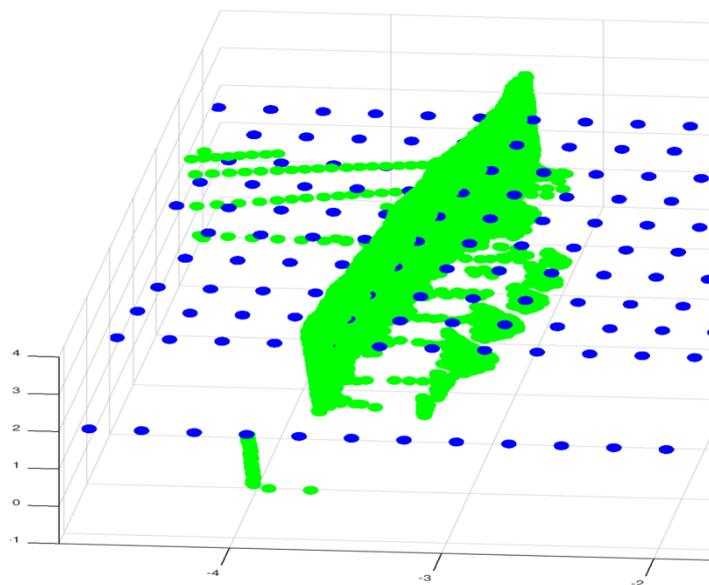


Figura 16

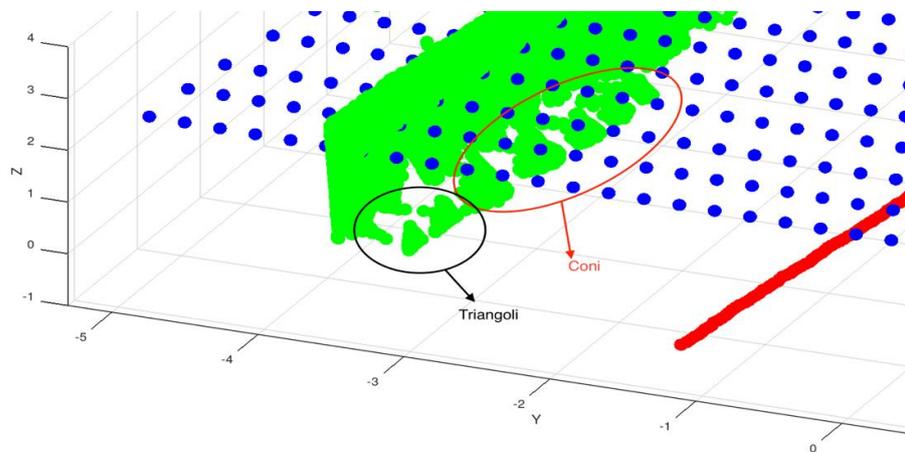


Figura 17: Nei grafici (16-17) è rappresentat un'immagine con zoom sui bersagli per mettere in risalto le differenze tra le due forme

In questi grafici (Fig. 16-17) invece, è possibile notare un elemento molto importante, ovvero, come il LIDAR sia in grado di distinguere le due forme e quindi, se pur parzialmente, di rilevare la tridimensionalità dei coni. Questo è un dato molto importante soprattutto se viene utilizzato per il controllo di attrezzi durante le operazioni agricole.

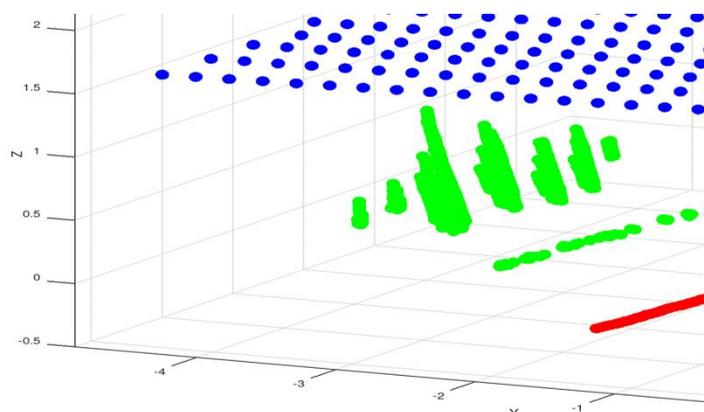


Figura 18: Il grafico rappresenta un'immagine dei bersagli scannerizzati dal LIDAR senza l'utilizzo di una parete di riferimento.

Bisogna specificare però, che il rilevamento visibile nei grafici precedenti (Fig. 13-15) è stato effettuato posizionando i bersagli di fronte ad un muro di riferimento (parete verde visibile nel grafico precedente) infatti, posizionando i bersagli in uno spazio ampio senza parete di riferimento, è possibile notare una riduzione delle differenze tra le due figure (Fig. 18)

1.2 Discussioni

Considerando quanto evidenziato nei risultati del lavoro possono essere avviate delle discussioni relative all'utilizzo del LIDAR.

Sulla base dei punti acquisiti, il sistema descritto è quindi in grado di generare una rappresentazione degli oggetti scansionati.

Come si può osservare dalle Fig. 13-15 gli oggetti sono chiaramente visibili e riconoscibili, sono distinguibili anche i volumi, nelle applicazioni in campo, la corrispondenza delle forme è molto importante soprattutto se queste informazioni vengono utilizzate per controllare

l'azione di un attrezzo appunto per graduare l'apertura delle valvole durante l'applicazione di fitofarmaci.

In generale quello che si può trarre da questo studio preliminare è che un sistema di visione basato su LIDAR è adatto a stimare il volume della chioma sia in termini di sezioni trasversali parallele che di volumi. Infatti, per i sistemi di visione da utilizzare in applicazioni sul campo, la corrispondenza della forma e della misura della vegetazione con la realtà sono parametri di prestazioni molto importanti: le uscite dei sensori possono essere utilizzate per graduare localmente la azione di un attrezzo automatico (es. apertura delle valvole degli ugelli in un'irroratrice robotizzata).

Tuttavia, utilizzando un sistema del genere in un ambiente non strutturato, potrebbero sorgere dei problemi legati ad una velocità di marcia non costante del veicolo o ad un complesso posizionamento relativo dei sensori rispetto alla vegetazione da scansionare con conseguenze (cioè distorsioni) sulle ricostruzioni 3D della vegetazione. I lavori futuri riguarderanno quindi la compensazione di eventuali variazioni di velocità e disallineamenti che possono verificarsi quando il veicolo che trasporta i sensori viaggia su un campo.

CONCLUSIONI

Lo studio svolto confronta in un ambiente controllato le prestazioni di un sistema preliminare di visione basato sulla tecnologia LIDAR utilizzando le acquisizioni per studiare in che modo fosse possibile applicare tale tecnologia in un contesto agricolo. I risultati ottenuti mostrano che il sistema utilizzato è stato in grado di rilevare i volumi dei bersagli sottoposti a scansione e che il sistema è poco influenzabile dalle condizioni di luce ambientale, ciò permetterebbe un libero utilizzo in campo.

La conclusione che si può trarre da questo studio preliminare è che il sistema studiato tramite le scannerizzazioni effettuate è stato in grado di fornire informazioni utili stimando i volumi dei bersagli, dato principale per l'utilizzo in campo, ad esempio, per la regolazione (apertura e chiusura) delle valvole degli ugelli per il controllo della distribuzione di fitofarmaci, difatti, successivamente a questo studio, è stata effettuata una prima prova in campo. Il sistema è stato fissato con la sua struttura nella zona anteriore di un atomizzatore ed è stato testato in vigneto per la regolazione delle valvole dell'atomizzatore. Anche in campo sono stati ottenuti gli stessi promettenti risultati, in quanto, il sistema ha svolto egregiamente il suo lavoro, i margini di errore rilevati sono stati al di sotto di ogni aspettativa e soprattutto compatibili in un contesto agricolo. Tale sistema, ad ogni modo, risulta essere ancora una tecnologia in fase di sperimentazione ed è quindi, per definizione, perfezionabile.

BIBLIOGRAFIA

- Bietresato, M., Boscarìol, P., Gasparetto, A., Mazzetto, F., Vidoni, R. 2014. “On the Design of a Mechatronic Mobile System for Laser Scanner Based Crop Monitoring. In: De Vin, L.J., Solis, J. (Eds.), 14th Mechatronics Forum International Conference. Karlstad, Sweden.”
- Bietresato, Marco et al. 2016. “Evaluation of a LiDAR-Based 3D-Stereoscopic Vision System for Crop-Monitoring Applications.” *Computers and Electronics in Agriculture* 124: 1–13.
- Doruchowski, G., P. Balsari, and J. Van De Zande. 2009. “Development of a Crop Adapted Spray Application System for Sustainable Plant Protection in Fruit Growing.” *Acta Horticulturae* 824: 251–60.
- “F Bernardini - GEOmedia, 1998 - Mediageo.It.Pdf.”
- Gil, E., Llorens, J., Llop, J., Fàbregas, X., Gallart, M. 2013. “Use of a Terrestrial LIDAR Sensor for Drift Detection in Vineyard Spraying.”
- Godwin R. J., 2003. “An economic analysis of the potential for precision farming in UK. *Godwin R. J., 2003. “An Economic Analysis of the Potential for Precision Farming in UK Cereal Production” Biosystems Engineering.*
- Lillesand T. M., Keifer R.W., 1994. 1994. “Remote Sensing and Image Interpretation.”
- Nikos Alexandratos and Jelle Bruinsma 2012. 2012. ““World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision,.”” *ESA Working Paper No. 12-03, U.N. Food and Agriculture Organization, June 2012.*
- Pierce F: J., Nowak P., 1999. “Aspects of precision agriculture”. *Advances in Agronomy.* “*Aspects of Precision Agriculture”.* *Advances in Agronomy.*
- R., Bongiovanni, and Lowenberg-Deboer J. (. 2004. “Precision Agriculture and Sustainability, Precision Agriculture.”
- Rosell-Polo, J.R., Llorens, J., Sanz-Cortiella, R., Arnó-Satorra, J., Ribes-Dasi, M., Masip, J., Escolà, A., Camp, F., Solanelles-Batlle, F., Gràcia, F., Gil, E., Val, L., Planas- Demartí, S., Palacin-Roca, J. 2009. . “. Obtaining the Three-Dimensional Structure of Tree Orchards from Remote 2D Terrestrial LIDAR Scanning.”

- Sanz-Cortiella, Ricardo et al. 2011. “Innovative LIDAR 3D Dynamic Measurement System to Estimate Fruit-Tree Leaf Area.” *Sensors* 11(6): 5769–91.
- Sartori L., Basso B., Bertocco M., 2005. 2005. ““Agricoltura Di Precisione. Concetti Teorici e Applicazioni Pratiche’. Edizioni L’Informatore Agrario.” *Edizioni L’Informatore Agrario*.
- Sartori L. 2001. “Guida Parallela Con GPS. L’Informatore Agrario.”
- Shanghai Slamtec Co., Ltd. “RPLIDAR-A3 Laser Range Scanner_ Robot Laser Range Scanner|SLAMTEC.” : <https://www.slamtec.com/en/Lidar/A3>.
- Y. Chen. 2019. “Drop an Octave: Reducing Spatial Redundancy in Convolutional Neural Networks with Octave Convolution,.”