

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA



*Corso di Laurea Triennale in  
Ingegneria Meccanica*

*Tecniche di intelligenza artificiale per l'associazione  
automatica di trattore ed implement in scenari di smart  
farming*

*Artificial intelligence techniques for the automatic  
association of tractor and implement in smart farming  
scenarios*

Relatore:  
PROF. MANCINI ADRIANO

Laureando:  
ASCENZI GIACOMO

Correlatore:  
DOTT. GALDELLI ALESSANDRO

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
1.1	Obiettivi . . . . .	7
1.1.1	Applicazione di monitoraggio . . . . .	7
1.1.2	Riduzione costi . . . . .	8
1.2	Struttura della Tesi . . . . .	8
<b>2</b>	<b>L'Agricoltura di Precisione</b>	<b>10</b>
2.1	Storia dell'Agricoltura di Precisione . . . . .	12
2.2	Agricoltura 4.0 . . . . .	13
2.2.1	IoT ("Internet of things") . . . . .	15
2.2.2	Big Data Analytics . . . . .	16
2.2.3	Intelligenza artificiale e robotica . . . . .	18
2.2.4	Mercato dell'Agricoltura 4.0 . . . . .	20
2.3	Intelligenza artificiale per l'associazione automatica di trattore ed implement in scenari di smart farming . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Tecnologie Utilizzate</b>	<b>24</b>
3.1	Python . . . . .	25
3.2	Visual Studio Code . . . . .	25
3.3	Teltonika FMC130 . . . . .	26
3.4	Teltonika Eye Beacon e Eye Sensor . . . . .	28
3.5	Traccar . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Sviluppo del Progetto e Realizzazione del Software</b>	<b>30</b>
4.1	Creazione Dataset . . . . .	32
4.2	Implementazione codice Python . . . . .	34
4.2.1	Passaggio Sistema di Riferimento . . . . .	34
4.2.2	Conversione coordinate da sistema decimale a gradi, primi e secondi . . . . .	36
4.2.3	Calcolo overlapping areas . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Considerazioni finali</b>	<b>42</b>
5.1	Sviluppi futuri . . . . .	42

**INDICE** **3**

---

5.2 Conclusioni . . . . .	43
<b>Bibliografia</b>	<b>44</b>
<b>Elenco delle figure</b>	<b>45</b>
<b>Ringraziamenti</b>	<b>46</b>

# Capitolo 1

## Introduzione

Negli ultimi anni, l'agricoltura è stata interessata da un crescente interesse verso l'utilizzo di sistemi tecnologici avanzati in grado di ottimizzare la produzione agricola e di ridurre i costi di gestione. In tale contesto un sistema di tracciamento o individuazione di un trattore in lavorazione rappresenta un importante contributo all'evoluzione del settore agricolo. Infatti, grazie alla creazione di una struttura digitale, è possibile individuare il trattore in tempo reale durante la lavorazione del campo e monitorare l'area già coltivata, prevenendo così la possibile rilavorazione della stessa zona di terreno (*overlapping areas*). Questo permette di ridurre i consumi di carburante e il tempo impiegato nella coltivazione, riducendo i costi di produzione. In questo lavoro di tesi, viene condotto uno studio approfondito circa il sistema di tracciamento del trattore in lavorazione e come risultato della sua applicazione otteniamo benefici nella coltivazione.

Questa tesi è strettamente legata all'*Agricoltura di Precisione*, una rivoluzione nell'agricoltura che offre soluzioni innovative per soddisfare la crescente domanda di prodotti agricoli. Grazie alle tecnologie digitali e all'uso di dati satellitari, sensori e robotica, è possibile ottenere una gestione precisa ed ottimizzata delle colture e la produzione risulterà più efficiente e sostenibile. La necessità di alimentare una popolazione sempre più numerosa e crescente rappresenta una sfida urgente a cui l'agricoltura di precisione può dare una risposta concreta, contribuendo a ridurre gli sprechi e garantendo una produzione alimentare di alta qualità e sempre più accessibile a tutti. La Food and Agriculture Organization (FAO) ne stima, infatti, un aumento pari al 60 per cento rispetto alla media annuale analizzata dal 2005 al 2007, in relazione alla previsione di crescita della popolazione mondiale stabilita in circa 9 miliardi entro il 2050 (Nikos e Bruinsma 2012).



---

Anche la Commissione per l'agricoltura e lo sviluppo rurale del Parlamento Europeo ha fornito la stessa stima (McIntyre 2015) dell'aumento della popolazione mondiale, sottolineando inoltre come la risposta, a livello globale, in aumento della superficie coltivabile aumenterà in misura trascurabile. Allo stesso tempo, i consumatori richiederanno prodotti di maggior qualità e salubrità in corrispondenza all'aumento della loro consapevolezza alimentare. Per questi motivi la domanda di alimenti sani e di una nutrizione ottimale costituisce una delle maggiori sfide future a livello mondiale.

Da questo scenario, emergono due potenziali domande a cui il settore agricolo potrebbe essere chiamato a rispondere:

1. un aumento in termini assoluti delle produzioni per gli aumentati fabbisogni dell'accresciuta popolazione con il minor impatto ambientale possibile;
2. il mantenimento di alti livelli produttivi con una maggior efficienza dell'uso dei fattori produttivi e, quindi, un minor impatto ambientale sia per minor emissione di gas serra sia per il contenimento dei nutrienti.

In ogni caso la richiesta si traduce in un aumento dell'efficienza d'uso dei fattori produttivi per cui certamente l'Agricoltura di Precisione<sup>1</sup> è oggi lo strumento principale a nostra disposizione (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, settembre 2017).

Per AdP sono state date numerose definizioni ma, come anche sostenuto da Raffaele Casa, docente del Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi della Tuscia, e Michele Pisante, docente alla Facoltà di Bioscienza e tecnologie agro-alimentari e ambientali, Università degli Studi di Teramo, una delle più conosciute definisce l'AdP come un approccio alla gestione del processo produttivo agricolo che permette di *“fare la cosa giusta, al momento giusto, al punto giusto”* (Gebbers e Adamchuk, 2010). Questa definizione riassume in maniera efficace i principi e gli obiettivi dell'Agricoltura di Precisione: tener conto della variabilità nel tempo e nello spazio dei fattori che influiscono sul processo produttivo agricolo, per migliorare l'efficienza degli input nella gestione dinamica del processo (Agricoltura di Precisione. Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali, a cura di Raffaele Casa, 2016).

---

<sup>1</sup>Agricoltura di Precisione, abbreviato **AdP**

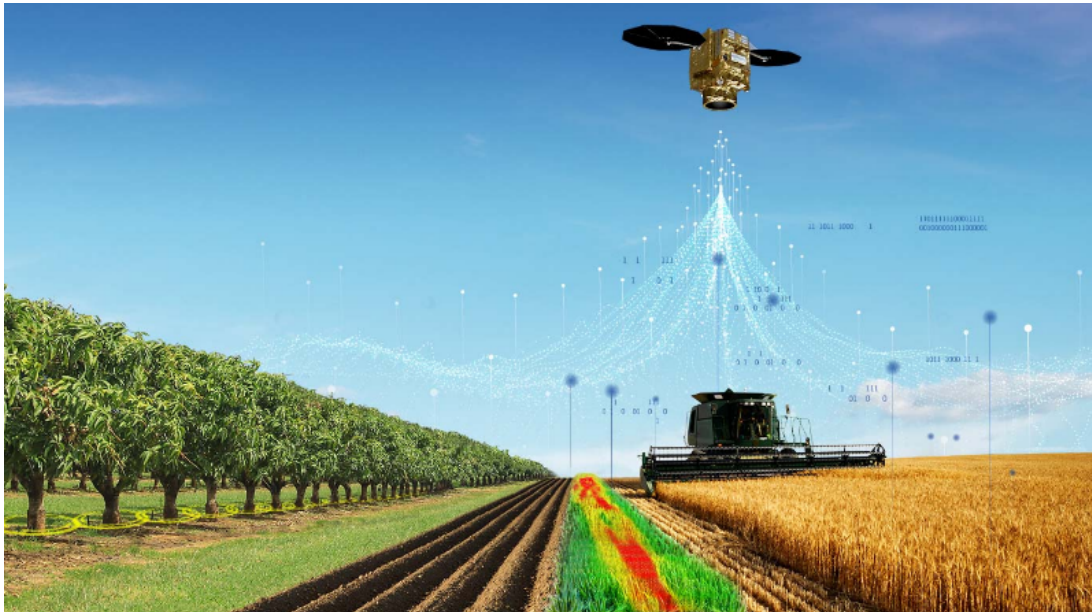


Figura 1.1: La figura mostra le fasi della lavorazione e le attrezzature solitamente utilizzate nell'*Agricoltura di Precisione*

Nella Figura 1.1 possiamo notare quelle che sono le tecnologie utilizzate nell'Agricoltura di Precisione e anche le fasi della lavorazione di un terreno agricolo. A partire da sinistra (dopo gli alberi) possiamo vedere una zona già lavorata del terreno.

Di seguito, invece, quella che è la struttura digitale che permette il monitoraggio del lavoro del trattore, ancora, troviamo un macchinario agricolo (mietitrebbia), in azione, guidata da satellite.

## 1.1 Obiettivi

L'obiettivo principale di questa tesi è sviluppare un' **applicazione di monitoraggio**, utilizzando il GPS, per trattori. Il sistema consentirà di raccogliere e analizzare dati in tempo reale relativi alle attività del trattore, fornendo informazioni dettagliate sulla sua posizione, velocità, rendimento e altre metriche pertinenti. L'obiettivo è fornire agli agricoltori uno strumento efficace per ottimizzare l'uso del trattore, migliorando l'efficienza e la precisione delle operazioni agricole.

Il secondo obiettivo di questa tesi riguarda il problema dell'*overlapping area*, ovvero la sovrapposizione delle aree già lavorate dal trattore e dall'attrezzo. L'obiettivo è sviluppare un algoritmo o un sistema integrato che permetta di rilevare e gestire in modo efficiente la sovrapposizione delle aree durante le operazioni agricole. Ciò contribuirà a ridurre lo spreco di risorse e a ottimizzare l'utilizzo dei fattori produttivi, migliorando l'efficienza complessiva dell'agricoltura di precisione.

Attraverso l'applicazione di tecnologie avanzate e l'analisi dei dati, si mira a migliorare l'efficienza delle operazioni agricole, ridurre gli impatti ambientali e soddisfare le crescenti esigenze di produzione agricola.

### 1.1.1 Applicazione di monitoraggio

Il primo obiettivo di questa tesi è sviluppare un **applicazione di monitoraggio**, utilizzando il GPS, per trattori e per raggiungerlo saranno necessarie diverse tecnologie e strumenti.

Python sarà il linguaggio di programmazione principale utilizzato nello sviluppo del sistema di monitoraggio. Grazie alla sua flessibilità e alla vasta gamma di librerie disponibili, Python sarà utilizzato per elaborare i dati, creare algoritmi e interagire con altri componenti del sistema.

Gli algoritmi verranno sviluppati in Visual Studio Code (VS Code), un ambiente di sviluppo integrato (IDE) scelto per la scrittura e la gestione del codice Python. Per il monitoraggio dei trattori, saranno utilizzati diversi dispositivi della famiglia Teltonika. I dispositivi si suddividono in unità di monitoraggio GPS, che individua la posizione geografica del trattore in tempo reale e dispositivi che forniscono informazioni ambientali e dati operativi aggiuntivi, come la rilevazione di ostacoli e i parametri del suolo.

È necessaria anche una piattaforma open-source di monitoraggio GPS, che viene utilizzata per gestire i dispositivi di controllo e visualizzare i dati di tracciamento. Ci consentirà di monitorare i trattori in tempo reale, generare report dettagliati e analizzare le prestazioni dell'intero sistema.

L'integrazione di queste tecnologie e strumenti permetterà lo sviluppo del sistema di monitoraggio, completo e accurato, per trattori. Il sistema fornirà agli agricoltori informazioni in tempo reale sulla posizione, la velocità e altri parametri

chiave dei trattori, consentendo un controllo più preciso delle operazioni agricole e una gestione ottimale delle risorse.

### 1.1.2 Riduzione costi

Il secondo obiettivo di questa tesi riguarda il problema dell'overlapping area, ovvero la sovrapposizione delle aree già lavorate dal trattore e dall'attrezzo. Questo fenomeno può causare uno spreco di risorse, sia in termini di tempo che di input agricoli, e ridurre l'efficienza complessiva delle operazioni agricole. Per affrontare questo problema, verrà sviluppato un sistema o un algoritmo che permetta di rilevare e gestire l'overlapping in modo efficiente. Saranno considerate diverse tecnologie e strategie, tra cui:

- *Rilevamento geografico*: Utilizzando dati di localizzazione GPS provenienti dal sistema di monitoraggio dei trattori, sarà possibile identificare le aree già lavorate e tracciarle su una mappa digitale. Questo consentirà di avere una panoramica visuale delle zone già trattate e di individuare eventuali sovrapposizioni.
- *Analisi dei dati*: Sfruttando i dati raccolti dal sistema di monitoraggio, sarà possibile analizzare le traiettorie di lavoro del trattore e calcolare l'area effettivamente coperta da ogni passaggio. Utilizzando algoritmi appropriati, si potranno individuare le aree che presentano sovrapposizioni e quantificarne l'entità.

L'obiettivo finale è quello di ridurre lo spreco di risorse e di ottimizzare l'utilizzo dei fattori produttivi nell'ambito dell'agricoltura di precisione. Affrontando il problema dell'overlapping area, si mira a migliorare l'efficienza complessiva delle operazioni agricole, ridurre l'impatto ambientale e massimizzare i rendimenti.

## 1.2 Struttura della Tesi

Il presente lavoro di tesi si struttura a partire dall'*introduzione*, dove viene fornita una panoramica del contesto della tesi, presenta gli obiettivi del lavoro e spiega l'importanza dell'applicazione di monitoraggio dei trattori e della gestione dell'*overlapping area* nell'ambito dell'agricoltura di precisione.

Di seguito vengono trattate le **tecnologie utilizzate** nello sviluppo dei due obiettivi. Vengono presentate informazioni sul linguaggio di programmazione Python, sull'ambiente di sviluppo Visual Studio Code e sui dispositivi Teltonika utilizzati per il monitoraggio. Inoltre, vengono spiegate le caratteristiche e le funzionalità di Traccar.

Sono poi sviluppati questi concetti e viene spiegato come sono stati utilizzati per **lo sviluppo del progetto e la realizzazione del software**. In particolare

questo capitolo rappresenta la parte centrale della tesi, in cui viene descritto il processo di sviluppo dell'applicazione di monitoraggio e della gestione dell'overlapping area. Vengono illustrati i passaggi di progettazione, implementazione e testing del software. Inoltre, vengono spiegati gli algoritmi utilizzati per rilevare l'*overlapping area*.

Per concludere vengono discusse le possibili **prospettive future di sviluppo e miglioramento** dell'applicazione e della gestione dell'overlapping, come l'integrazione di sensori aggiuntivi o l'implementazione di algoritmi di intelligenza artificiale.

## Capitolo 2

# L'Agricoltura di Precisione

L'Agricoltura di Precisione, definita anche come “*precision farming*” o “*precision agriculture*”, consiste in una serie di strategie e strumenti che permettono di ottimizzare e aumentare qualità e produttività del suolo attraverso una serie di osservazioni, misure e interventi mirati.

Ciò al fine di definire, dopo un'attenta analisi dei dati, un sistema di supporto decisionale per l'intera gestione aziendale, con l'obiettivo di una maggiore sostenibilità di tipo climatico e ambientale, economico, produttivo e sociale. In sintesi un sistema che fornisce gli strumenti per eseguire le giuste azioni, nel posto e al momento giusto.

Nel concreto grazie all'AdP è possibile ottenere vantaggi economici e ambientali come:

- ottimizzazione degli input utilizzati come fitofarmaci e fertilizzanti con conseguente miglioramento dell'acqua e dell'aria;
- riduzione dei volumi di acqua per l'irrigazione;
- impiego razionale dei fattori decisionali, agevolando gli operatori e riducendo la stanchezza fisica, i tempi di esecuzione dei lavori, i task ripetitivi e l'intensità, annullando errori e massimizzando il profitto (es. guida automatica);
- distribuzione controllata in base al reale fabbisogno della coltura (acqua, fertilizzanti, fitofarmaci);
- impiego di sensori per il monitoraggio in tempo reale dello stato di salute delle colture, controllo dell'insorgenza di fitopatogeni o condizioni ambientali;
- riduzione della pressione esercitata dai sistemi agricoli sull'ambiente;
- efficienza: riduzione delle operazioni colturali per unità di tempo e di superficie, incremento delle rese unitarie;

- tracciabilità avanzata (Infotracing) dalla produzione al consumo/vendita;
- storicizzazione e creazione di banche dati online (cloud computing) per lo sviluppo di Sistemi di supporto alle decisioni (SSD) a consultazione facilitata;
- riduzione infiltrazioni di sostanze chimiche nelle falde acquifere;
- ottimizzazione delle richieste energetiche necessarie;
- migliore logistica delle operazioni di pre e post-raccolta nonché razionalizzazione dei dati per unità di superficie.

(<https://www.agrifood.tech/precision-farming/agricoltura-di-precisione-cose-e-come-puo-aiutare-a-risolvere-le-sfide-alimentari-del-futuro/>)

## 2.1 Storia dell'Agricoltura di Precisione

Oggi si parla sempre più spesso di Agricoltura 4.0, cioè l'evoluzione, dei nostri tempi, del concetto di agricoltura. Quest'ultima sin dagli inizi del secolo scorso ha subito notevoli cambiamenti che possono essere descritti in differenti tappe evolutive (Figura 2.1), che identificano sistemi produttivi agricoli ben definiti, tra i quali:

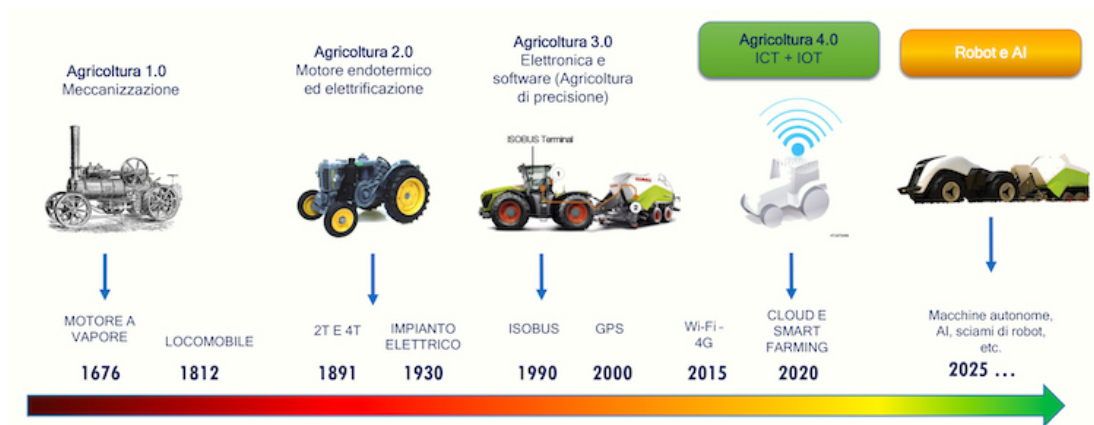


Figura 2.1: La figura mostra le tappe evolutive dell'Adp nel tempo.

- > **Agricoltura 1.0** inizia nel ventesimo secolo, si basa su un sistema produttivo ad elevato impiego di manodopera, di forza animale per lo svolgimento di molte attività, e caratterizzata da bassa produttività.
- > **Agricoltura 2.0** ha origine all'inizio degli anni Cinquanta con la famosa "rivoluzione verde". Vide il ricorso alla meccanica, ai fertilizzanti chimici ed agli agrofarmaci e ha permesso un aumento elevato della produttività, ma con impatti diretti, ed allora imprevedibili, sull'ambiente e sulla sostenibilità.
- > **Agricoltura 3.0** compare la vera e propria "Agricoltura di Precisione" a seguito dell'introduzione di strumenti di geolocalizzazione satellitare per raccogliere dati "spazializzati" (dati che si riferiscono a precise posizioni geografiche o spaziali sulla Terra) e assistenza alla guida delle macchine agricole.
- > **Agricoltura 4.0** o Smart Farming, in questa fase (ancora in pieno sviluppo) si assiste ad un aumento dell'utilizzo di internet e ad un sempre più accessibile e diffuso scambio di dati non più solo tra macchina-operatore o macchina-macchina, ma anche tra operatori diversi della filiera. Inoltre assistiamo anche al ricorso a tecniche di elaborazione computerizzate e l'uso di specifiche tecnologie di monitoraggio in campo.



## 2.2 Agricoltura 4.0

Questo tipo di agricoltura è caratterizzata dall'insieme di strumenti e strategie che consentono all'azienda agricola di impiegare in maniera sinergica e interconnessa, tecnologie avanzate di informazione e telecomunicazione (ICT) nell'agricoltura, con lo scopo di rendere più efficiente e sostenibile la produzione.

Con queste tecnologie si calcola in maniera precisa il fabbisogno idrico di una coltura evitando lo spreco di acqua, si monitorano le piante e si possono prevedere malattie o l'insorgere di parassiti, risparmiare sulle forniture, l'uso dei macchinari ecc, inoltre si può tracciare la filiera agroalimentare raccogliendo i dati e tenere sotto controllo ogni fase e passaggio della produzione, con l'obiettivo di ottenere un prodotto di qualità in maniera ecosostenibile.

Quindi l'Agricoltura 4.0 è una sinergia dell'utilizzo di diverse tecnologie digitali innovative come l'*Internet of Things* (IoT), *5G Radio*, i *Big Data Analytics*, l'*Intelligenza Artificiale* (AI) e la *Robotica* che danno la possibilità di ampliare l'approccio della valorizzazione dei dati a più funzioni aziendali (es. logistica, pianificazione, controllo di gestione) e, all'intera filiera agroalimentare, finalizzate a migliorare la resa e la sostenibilità dell'attività agricola, la qualità produttiva e di trasformazione, le condizioni sociali e l'impatto ambientale dell'intera filiera agroalimentare eccellenza del Made in Italy.



Figura 2.2: Agricoltura 4.0

Le potenzialità dell’Agricoltura 4.0 sono a beneficio delle aziende agricole in primis, ma anche dei fornitori dei consumatori, distributori, trasformatori, ecc. L’elaborazione intelligente dei dati (come, per esempio, il rilievo tramite sensori sul campo delle caratteristiche fisiche e biochimiche del suolo) è il valore aggiunto. Si parla di tracciabilità, di tecnologia blockchain, di raccolta di dati impiegati al servizio della filiera agroalimentare. Grazie a queste tecnologie digitali avanzate, siamo in grado di creare informazioni che possano essere utilizzate, per generare valore economico, ambientale e sociale con lo scopo di rendere più efficiente e sostenibile la produzione.

Il "core" dell’Agricoltura 4.0 è sicuramente rappresentato dall’**agricoltura digitale**, cioè quella dei dati, ovvero la confluenza di qualsiasi informazione raccolta in campo che permetta di aiutare l’imprenditore a:

1. predisporre tutta la documentazione necessaria per adempiere alle prescrizioni di legge;
2. prendere decisioni in base alle informazioni raccolte in campo (la cosiddetta “data driven decision”);
3. orientare l’innovazione in azienda (la cosiddetta “data driven innovation”).

Interessante, in questo ambito, il cosiddetto “**data sharing**”: una delle caratteristiche fondamentali dei dati è che non si consumano ma, se si condividono, rappresentano il fondamento per la crescita.

Grazie all’applicazione in campo dell’agricoltura digitale si può passare dal semplice concetto astratto che “sapere aiuta” all’efficacia reale della raccolta e valorizzazione dei dati.

Nasce qui il concetto di “**servitizzazione**”: si riferisce ai servizi che un’impresa fornisce per sostenere in modo ottimale i propri prodotti (in questo caso le materie prime agricole) che vende ai suoi clienti per accompagnarle con un set di dati che servono a dare valore alle merci stesse.

### 2.2.1 IoT ("Internet of things")

L'agricoltura è uno dei settori che maggiormente può beneficiare, e sta beneficiando, dell'utilizzo di innovazioni IoT.

Con "Internet of things" intendiamo una serie di apparecchi in grado di **autoalimentarsi**, sono **geolocalizzati** (ci permettono di conoscere la loro posizione), sono **dotati di numerosi sensori** che rilevano costantemente una serie di dati (geologici, ambientali, di contesto, di funzionamento...) e li trasferiscono attraverso la rete internet a server che li **archiviano** ed **elaborano**. (Ivano Valmori, Founder & Owner at AgroNotizie)

L'IoT prevede infatti la connessione di device, strumenti e software finalizzata all'ottimizzazione dei processi e, conseguentemente, di consumi e ricavi.

Nella Figura 2.3 sono riportati in maniera schematica tutti questi apparecchi e viene mostrato come questi possono sinergicamente collaborare e offrire all'agricoltore un efficiente sistema di controllo. Il campo agricolo si presta perfettamente all'integrazione di questo tipo di soluzioni, soprattutto in un periodo come quello che stiamo affrontando, in cui il contenimento dei costi sta diventando una necessità.



Figura 2.3: Smart Farming e IoT

La domanda però sorge spontanea, in che modo l'IoT può aiutarci nell'agricoltura? Un ruolo fondamentale quando si parla di "internet of things" viene svolto dai sensori. Un sensore è un dispositivo che permette di misurare determinati parametri e di comunicarli a un sistema gestionale.

In agricoltura sono tantissimi i fattori che è utile tenere sotto controllo per gestire al meglio enormi appezzamenti di terreno: pensiamo alla temperatura, all'umidità, alla quantità di calore assorbita dal terreno, alla mineralità della terra, alla

presenza di parassiti e via dicendo, sino ad arrivare ad analisi chimiche estremamente avanzate. Si capisce facilmente che avere una panoramica pressoché in tempo reale di tutti questi parametri possa aiutare notevolmente chi svolge questo lavoro.

Un semplice esempio: grazie all'IoT in agricoltura è possibile tenere costantemente sotto controllo il livello di umidità presente nel terreno e azionare l'irrigazione solamente quando necessario, permettendo le condizioni ottimali per i diversi tipi di coltivazioni e al contempo diminuendo notevolmente lo spreco di acqua. Ma l'IoT permette anche analisi più complesse: il monitoraggio della composizione chimica e dei cambiamenti nelle caratteristiche del terreno permette di utilizzare fertilizzanti ad hoc rispetto alle specifiche condizioni dei propri campi, in maniera tale da ottimizzare raccolti e produzione.

### 2.2.2 Big Data Analytics

L'analisi dei big data è un fenomeno globale in enorme espansione e riguarda il processo di raccolta, esame e analisi di grandi quantità di dati per scoprire tendenze di mercato, approfondimenti e modelli che possono aiutare le aziende a prendere decisioni aziendali migliori.



Figura 2.4: Agriculture analytics

Ovviamente l'analisi dei dati è applicabile anche al settore agricolo e prende il nome di *Agriculture analytics*.

La mole di dati nel settore agricolo sta crescendo in modo esponenziale. I dispositivi IoT che raccolgono dati dalle attrezzature agricole connesse (trattori

intelligenti, droni, ecc.) stanno diventando sempre più comuni. I coltivatori e i leader dell'agricoltura stanno pian piano riconoscendo il reale potenziale di queste nuove tecnologie e scoperte (quest'ultime nascoste nei "Big Data") rivoluzionarie sulla salute del suolo, la genomica delle piante, la gestione del bestiame.

La Figura 2.4 riportata precedentemente mostra alcuni alcuni dei dati oggetto della *data analysis* (analisi dei dati).

L'analisi dell'agricoltura o "*Agriculture analytics*" associata all'intelligenza artificiale integrata, consente:

- di estrarre informazioni e gestire i dati di ricerca sui prodotti per la salute di piante, suolo e animali;
- prestazioni dell'agricoltura di precisione;
- di fornire approfondimenti per il monitoraggio e la gestione del benessere del bestiame;
- lo sfruttamento dei dati in streaming dalla fattoria alla tavola;
- la trasparenza lungo tutta la filiera alimentare;
- di comprendere l'impatto e le prestazioni delle iniziative di sostenibilità. Il risultato di ciò è rappresentato da una produzione alimentare più efficiente, ma al tempo stesso richiede agli agricoltori e ai leader dell'agricoltura di sottoporsi a una trasformazione digitale, abbracciando l'intelligenza artificiale, l'IoT, i big data e le tecnologie analitiche per produrre approfondimenti che consentano decisioni valide e basate sui dati.

A tal proposito si è espresso Tony Vojslavsek, Chief Risk Officer del Gruppo Gaviion affermando: "Una comprensione completa del rischio è fondamentale per monitorare e gestire la nostra esposizione durante questi periodi molto volatili. Per servire i nostri stakeholder, dobbiamo gestire grandi volumi di dati e calcoli del rischio in tempo reale, nonché adattarci a nuovi casi d'uso nel tempo".



### 2.2.3 Intelligenza artificiale e robotica



Figura 2.5: Robot agricoli

Una delle maggiori sfide che attende la società moderna è sicuramente lo sviluppo di nuovi metodi e tecnologie per l'agricoltura sostenibile che dovrà nutrire oltre nove miliardi di persone entro il 2050 mantenendo, allo stesso tempo, la sostenibilità ambientale. In particolare, c'è una forte tendenza, dettata soprattutto dalla necessità, di sviluppare sistemi che rendano più autonomi i processi di coltivazione e che, al tempo stesso, ne aumentino la resa minimizzando l'utilizzo di sostanze chimiche come fertilizzanti, erbicidi e pesticidi.

In questo contesto i recenti sviluppi della robotica e dell'intelligenza artificiale possono trasformare in modo radicale diversi processi di produzione agricola. Coltivazioni in serra e in campo aperto potranno essere automatizzate mediante l'utilizzo di robot agricoli di nuova generazione che robotizzeranno attività come il monitoraggio dello stato delle piante la potatura, la raccolta, il diserbo.

Nelle Figure 2.5 e 2.6 sono riportati alcuni esempi di questi robot agricoli in opera.

La robotica e l'intelligenza artificiale sono attualmente considerati settori tecnologici ad elevato impatto sull'agricoltura per la possibilità che offrono di automatizzare e migliorare i processi di coltivazione con impatto positivo sulla qualità dei prodotti e sulla sostenibilità. D'altra parte, l'agricoltura è già un settore dove l'utilizzo dei robot è molto avanzato. Secondo la International Federation of Robotics (IFR), infatti, nel 2020 sono stati venduti fino a 25.000 robot agricoli (IFR World Robotics Report 2020), una cifra corrispondente al numero di robot utilizzato per scopi militari. Secondo MarketsandMarkets, si prevede che il mercato dei robot agricoli crescerà ulteriormente dai 4,6 miliardi di dollari registrati nel 2020 a 20,3 miliardi di dollari entro il 2025 con un tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 34,5

I robot agricoli di nuova generazione possono essere utilizzati per diversi impieghi nel corso delle diverse fasi della produzione, dalla lavorazione del terreno e la semina, fino alla raccolta. Li possiamo utilizzare nelle attività orticole come la potatura, il controllo degli infestanti, il diserbo, l'irrorazione ed il monitoraggio

della crescita e dello stato di salute delle piante. Di pari passo alla diffusione di questi robot anche lo sviluppo di metodi di intelligenza artificiale sta permettendo di automatizzare processi sempre più complessi. Sono infatti disponibili, sul mercato, tecnologie per il monitoraggio delle coltivazioni, la stima dello stato delle piante, la pianificazione delle lavorazioni, la previsione della resa, fino all'esecuzione autonoma e mirata di operazioni agricole garantendo la riduzione degli sprechi, l'impiego selettivo di sostanze inquinanti (fertilizzanti, erbicidi e pesticidi), e maggiore efficienza nella coltivazione.

Lo sviluppo di robot e IA ci permette di avere la possibilità di scegliere la tipologia della macchina agricola in funzione, ovviamente, delle esigenze dell'azienda. Troviamo infatti robot agricoli autonomi che possono essere aerei o terrestri, dedicati ad un solo compito o piattaforme generiche multiuso. Diffuso è anche l'utilizzo dei droni per il monitoraggio delle piantagioni e l'irrorazione selettiva di diserbanti e pesticidi, nonostante i vincoli sul carico e durata dei tempi di volo che ancora ne frenano la scalabilità. Tra i due (aerei e terrestri) i veicoli terrestri sono quelli che godono di una maggior autonomia, ma devono operare in condizioni difficili, in presenza di fango, pioggia, nebbia, umidità, basse e alte temperature, devono essere quindi piattaforme robuste con meccanismi di locomozione, manipolazione e percezione spesso molto dipendenti dal compito da svolgere. Ad esempio, operazioni come la potatura o la raccolta selettiva richiedono robot avanzati dotati di manipolatori robotici e sofisticate dotazioni sensoriali (RTK/GNSS, IMU, telecamere, laser scanner) a supporto sia della navigazione (es. per la localizzazione e la mappatura), sia della manipolazione (per la scansione, la localizzazione ed il riconoscimento di terreni, piante, frutti). (NetworkDigital360, Sostenibilità Ambientale E Smart City)

I sensori sono particolarmente rilevanti in un contesto come quello agricolo, possono essere impiegati dalle macchine agricole per localizzarsi e fare scansioni dei territori e delle colture, per riconoscere la tipologia della pianta e monitorarne lo stato in tempo reale acquisendo immagini e raccogliendo dati sensoriali come temperatura, umidità, o livello di pH del suolo. Notevolmente diffusi sono, anche, i metodi di visione artificiale che si basano su tecniche di Deep Learning, che garantiscono risultati incoraggianti nella classificazione e selezione dei frutti e nel rilevamento delle infestanti in ambienti non strutturati.

Si rendono necessari, inoltre, metodi di pianificazione, coordinazione e controllo in modo da garantire la sintonia nel lavoro di diversi robot agricoli e, parallelamente, gestiscono in maniera autonoma altri sistemi come l'irrigazione e l'irrorazione. Opportune interfacce, più o meno avanzate, possono fornire agli agricoltori lo stato delle colture segnalando eventuali anomalie nelle condizioni delle piante.

Per esempio, la Watson Decision Platform for Agriculture integra metodi di intelligenza artificiale e soluzioni cloud per l'agricoltura, fornendo servizi per identificare parassiti o malattie in base ad immagini, fornendo indicazioni per l'irrigazione, la semina, la concimazione, fino alla vendita. Un altro esempio può essere trovato nella piattaforma PlantVillage – sviluppata da FAO e Penn State Univer-

sity e pensata per i piccoli agricoltori africani – che fornisce applicazioni per la diagnosi in tempo reale delle malattie delle colture utilizzando algoritmi di intelligenza artificiale addestrati con immagini di piante malate. (NetworkDigital360, Sostenibilità Ambientale E Smart City)

In Italia attualmente sono attivi diversi gruppi di ricerca impegnati nella ricerca e nello sviluppo dei sistemi avanzati per l’Agricoltura di Precisione, alcuni di questi sono il progetto europeo Flourish, il progetto PANTHEON, il progetto SAGA, come loro anche molti altri.



Figura 2.6: Robot agricoli

### 2.2.4 Mercato dell’Agricoltura 4.0

Lo sviluppo e l’utilizzo di nuovi strumenti tecnologici “porterà anche più efficienza e trasparenza lungo la filiera produttiva e di mercato”, fa notare Fulvio Conti, responsabile Delivery in AlmavivA, “e tutto ciò porterà a un aumento della qualità finale dei prodotti”. Tra tecnologie che migliorano la qualità e la sostenibilità delle coltivazioni, soluzioni per la competitività delle aziende e innovazioni per la tracciabilità dei prodotti, il mercato italiano dell’Agricoltura 4.0 continua a crescere, raggiungendo nel 2019 un valore di 450 milioni di euro, per un +22% rispetto al 2018, il 5% per cento del mercato totale.

Ritroviamo questi dati nel grafico in Figura 2.7.

Con gran parte degli investimenti focalizzati in sistemi di monitoraggio e controllo delle attività (il 39% della spesa complessiva), software gestionali (20%) e macchinari connessi (14%). Seguiti da sistemi di monitoraggio da remoto dei terreni (10%), mappatura (9%) e di supporto alle decisioni (5%), secondo la nuova analisi dell’Osservatorio Smart Agrifood della School of Management del Politecnico di Milano.

<https://www.innovationpost.it/attualita/lagri-tech-in-crescita-22-e-in-cerca-di-sostenibilita-conoscenza-ed-efficienza/>



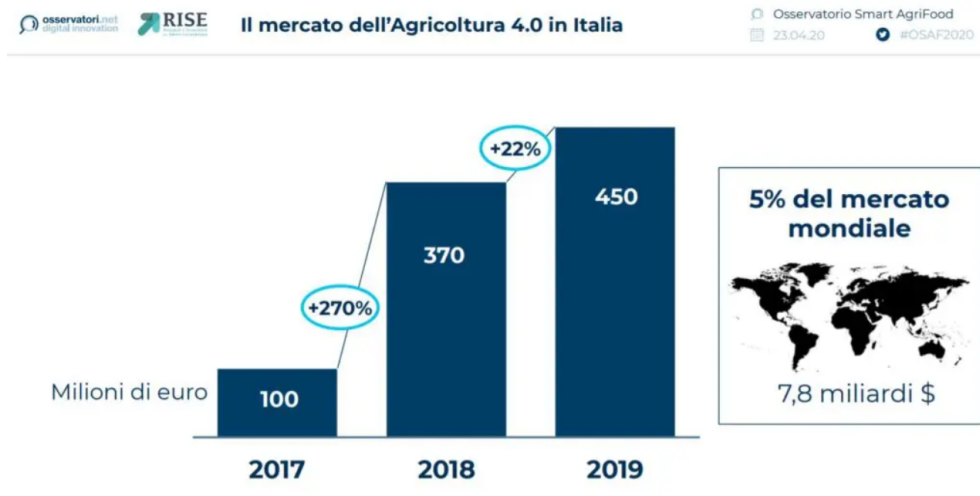


Figura 2.7: Mercato dell'Agricoltura in Italia, fonte: Osservatorio Smart Agrifood del Politecnico di Milano

## 2.3 Intelligenza artificiale per l'associazione automatica di trattore ed implement in scenari di smart farming

"Il settore agricolo si trova ad affrontare le sfide poste dalle tempistiche, dai costi, dalle finestre operative limitate e da una forza lavoro in diminuzione. Riteniamo che le tecnologie per l'automazione in futuro diventeranno parte integrante delle attività agricole apportando benefici concreti" annuncia Derek Neilson, presidente dell'Agriculture di CNH. La nuova soluzione che il settore agricolo sta già attuando è quella della guida senza conducente, *Driverless*, ovvero senza operatore nella cabina di comando della macchina agricola.

Le nuove soluzioni tecnologiche di guida driverless mettono a disposizione strutture tecnologiche che ne consentono l'azionamento e il controllo a distanza. La tecnologia necessaria affinché questo accada è quella del GPS, capace di tracciare lo spostamento dell'eventuale trattore e tenerne traccia; questo permette all'addetto di tenere costantemente sotto controllo l'andamento della lavorazione del terreno.

Bisogna tener conto anche delle condizioni in cui opera il nostro trattore, per questo bisogna avere anche sistemi di rilevamento che ci permettano di avere un quadro preciso delle condizioni del terreno. Questo avviene grazie all'utilizzo di satelliti o sensori da terra. L'agricoltore può, a questo punto, pianificare ed eseguire operazioni precise con risultati agronomici omogenei e monitorabili da qualsiasi luogo. Il risultato è una maggiore produttività con prestazioni costanti e analisi dei dati complete e approfondite. Quanto detto determina un minor spreco durante la raccolta.

Un esempio di una tecnologia attuale è quello del Sistema Driver Assist Harvest pensato per i trattori con rimorchio, sfrutta la tecnologia di raccolta di Case IH e i servizi di Raven per tracciare il percorso e la velocità del trattore accanto alla mietitrebbia durante un'operazione di scarico in movimento, riportato nella Figura 2.8.



Figura 2.8: Sistema Driver Assist Harvest trattore-mietitrebbia

Il sistema mantiene il trattore perfettamente sincronizzato con la mietitrebbia durante lo scarico, consentendo all'operatore di tenere costantemente sotto controllo il processo. In questo modo l'intera operazione risulta semplificata, efficiente e con una minore perdita di prodotto. Ne deriva anche un miglior utilizzo con un minore affaticamento per l'operatore.

Altra novità è il sistema Baler Automation per le BigBaler High Density di New Holland (in futuro disponibile anche per Case IH), visibile nella Figura 2.9, che utilizza un sensore Lidar per scansionare il terreno davanti al trattore rilevandone densità, volume e direzione. Il trattore tramite l'analisi immediata di questi input può controllare automaticamente lo sterzo, la velocità di avanzamento e le impostazioni della pressa, in modo da seguire con precisione il percorso tracciato.

Il risultato? Ottimizzazione della forma della balla, consumo di carburante ridotto, maggiore produttività e comfort dell'operatore. "Siamo sulla strada verso la piena autonomia. Ci stiamo concentrando nel fornire prodotti che si adattino a tutti i cicli di produzione delle colture: dalla preparazione del terreno, alla semina, fino alla raccolta e alla fienagione passando per trattamenti e concimazioni. Focalizzarsi sull'automazione non significa eliminare la figura dell'agricoltore, ma

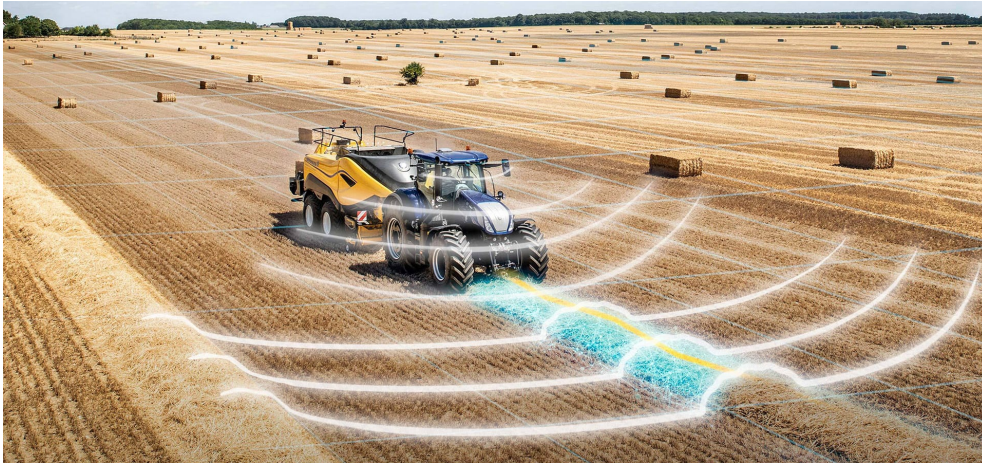


Figura 2.9: Sensore Lidar per scansionare il terreno

rendere le sue macchine più produttive" spiega Parag Garg, chief Digital Product officer di CNH.

"Il nostro obiettivo è rendere la tecnologia di precisione delle nostre macchine e attrezzature più intelligente, in modo che il cliente possa concentrarsi sulla sua azienda agricola e lasciare che CNH si occupi del resto" conclude Parag Garg.

# Capitolo 3

## Tecnologie Utilizzate

Si illustrano gli strumenti adottati per la realizzazione del progetto alla base di questo di lavoro di tesi:

- *Python*: linguaggio di programmazione
- *Visual Studio Code*: ambiente di sviluppo software
- *Teltonika FMC130*: per il rilevamento del movimento del corpo trattore-strumento
- *Teltonika EYE BEACON e EYE Sensor*: sensore di rilevamento di movimento
- *Traccar*: piattaforma di tracciamento GPS

## 3.1 Python

Python è il linguaggio di programmazione utilizzato.

Permette la scrittura di programmi per computer, la maggior parte dei linguaggi di programmazione sono di tipo testuale, ma possono essere anche grafici. Si tratta di un linguaggio informatico.

## 3.2 Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) è un editor di codice sorgente (testo di algoritmo scritto in un linguaggio informatico) che può essere usato con vari linguaggi di programmazione. Incorpora un insieme di funzioni che variano a seconda del linguaggio che si sta usando. VS Code offre strumenti di debugging e integrazione con sistemi di controllo di versione, facilitando lo sviluppo e il testing del sistema di monitoraggio. Permette, inoltre, la modifica del linguaggio di programmazione del documento che si sta modificando e di avviare il software.

Il servizio fornisce una macchina virtuale integrata e un ambiente già predisposto per l'esecuzione di codice.

Il grande vantaggio consiste nella possibilità di eseguire le istruzioni su unità di elaborazione dedicate come GPU<sup>1</sup> o acceleratori TPU<sup>2</sup>: unità progettata per l'esecuzione di operazioni tensoriali e ottimizzata nel consumo, fornisce tempi di computazione incredibilmente inferiori a calcolatori generici (come CPU).

Ciò consente di svincolare l'esecuzione del codice dalla potenza di calcolo del proprio computer, migliorando notevolmente il tempo di addestramento della rete neurale.

VS Code nello sviluppo della tesi è stato utilizzato per scrivere ed eseguire il codice che ci permette di calcolare l'*overlapping* delle aree di lavorazione, ovvero quelle aree dove il trattore, di conseguenza anche l'attrezzo, sono già passati.

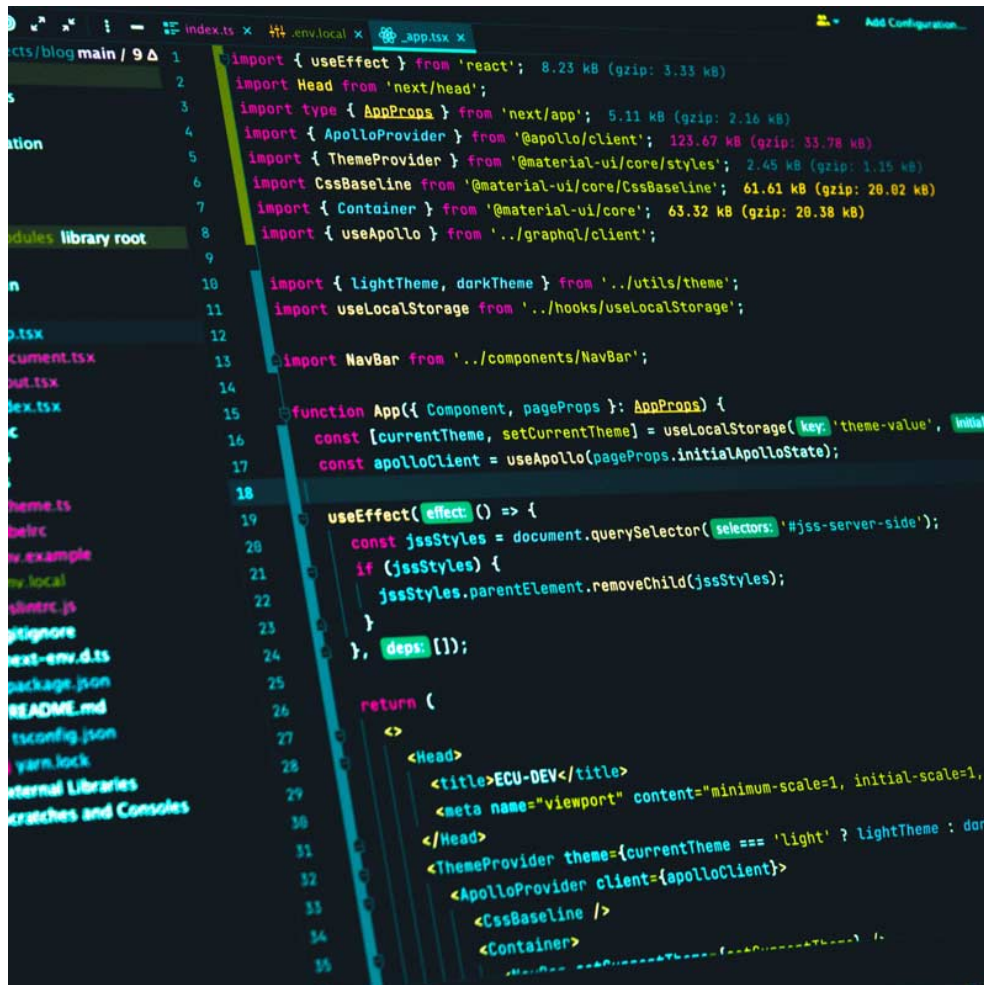
Con questo codice riusciamo quindi a calcolare l'area totale di sovrapposizione, tra tutte le zone di terreno lavorate, ma non solo, ci permette anche di graficare queste zone su visualizzatori geografici come *Geographic Information Systems Stack Exchange* (GIS SE).

---

<sup>1</sup>*Graphics Processing Unit*

<sup>2</sup>*Tensor Processing Unit*





```
1 import { useEffect } from 'react'; 8.23 kB (gzip: 3.33 kB)
2 import Head from 'next/head';
3 import type { AppProps } from 'next/app'; 5.11 kB (gzip: 2.16 kB)
4 import { ApolloProvider } from '@apollo/client'; 123.67 kB (gzip: 33.78 kB)
5 import { ThemeProvider } from '@material-ui/core/styles'; 2.45 kB (gzip: 1.15 kB)
6 import CssBaseline from '@material-ui/core/CssBaseline'; 61.61 kB (gzip: 20.02 kB)
7 import { Container } from '@material-ui/core'; 63.32 kB (gzip: 20.38 kB)
8 import { useApollo } from '../graphql/client';
9
10 import { lightTheme, darkTheme } from '../utils/theme';
11 import useLocalStorage from '../hooks/useLocalStorage';
12
13 import NavBar from '../components/NavBar';
14
15 function App({ Component, pageProps }: AppProps) {
16   const [currentTheme, setCurrentTheme] = useLocalStorage({ key: 'theme-value', initialValue: 'light' });
17   const apolloClient = useApollo(pageProps.initialApolloState);
18
19   useEffect(() => {
20     const jssStyles = document.querySelector(selectors: '#jss-server-side');
21     if (jssStyles) {
22       jssStyles.parentElement.removeChild(jssStyles);
23     }
24   }, []);
25
26   return (
27     <>
28     <Head>
29     <title>ECU-DEV</title>
30     <meta name="viewport" content="minimum-scale=1, initial-scale=1, maximum-scale=1" />
31     </Head>
32     <ThemeProvider theme={currentTheme === 'light' ? lightTheme : darkTheme} />
33     <ApolloProvider client={apolloClient} />
34     <CssBaseline />
35     <Container>
```

Figura 3.1: Interfaccia Visual Studio Code

### 3.3 Teltonika FMC130

FMC130 è un piccolo e professionale dispositivo di tracciamento in tempo reale con connettività Sistema satellitare globale di navigazione, in lingua inglese *Global Navigation Satellite System*, acronimo GNSS, è un sistema di georadiolocalizzazione e navigazione terrestre, marittima o aerea, che utilizza una rete di satelliti artificiali in orbita e pseudoliti, LTE/3G/GSM e batteria di backup.

Il dispositivo è dotato di moduli GNSS/Bluetooth e LTE, GNSS interno, LTE antenne, ingressi digitali, analogici e uscite digitali configurabili, ingressi negativi, impulsi. È perfettamente adatto per applicazioni in cui è necessaria l'acquisizione di oggetti remoti: gestione della flotta, società di noleggio auto, società di taxi, trasporti pubblici, società di logistica, auto personali e così via.

Questo dispositivo permette di monitorare e tracciare gli altri sensori (Telto-

nika EYE BEACON e Telkonika Eye Sensor) Telkonika in tempo reale, quindi ci permette di rilevare la posizione geografica, velocità, direzione e altre informazioni relative al trattore e attrezzo.

Consente, poi, la creazione di aree geografiche definite (geofence) per tracciare l'ingresso o l'uscita dei veicoli o delle risorse mobili da determinate zone permettendo di monitorare i confini geografici e ricevere notifiche quando un veicolo o una risorsa supera tali confini.

Il dispositivo supportando diverse opzioni di connettività dati, come GPRS, 3G, 4G LTE o connessione via cavo, è utilizzato anche per inviare le informazioni di tracciamento (posizione geografica, velocità, direzione) a un server o a un'applicazione di monitoraggio.



Figura 3.2: Dispositivo Teltonika FMC130

### 3.4 Teltonika Eye Beacon e Eye Sensor

Perfetti per casi d'uso di tracciabilità, tracciamento delle consegne, monitoraggio di vari oggetti mobili nella logistica (rimorchi, contenitori), l'agricoltura (attrezzi del trattore), e le costruzioni (strumenti e inventario). Inoltre, adatti per interni, come soluzioni di tracciamento per articoli in magazzini, ospedali, hub di trasporto e altri tipi di aree industriali.

I dispositivi sono completamente compatibili con il firmware Teltonika, piattaforma che fornisce funzionalità estese. Configurazione, scansione e aggiornamento in qualsiasi momento e ovunque con un'app mobile Teltonika dedicata.

Questi dispositivi sono gli strumenti che consentono di tracciare la loro posizione, velocità e le altre informazioni relative al trattore e all'attrezzo collegato.



Figura 3.3: Teltonika Eye Beacon e Eye Sensor



## 3.5 Traccar

Traccar è un moderno sistema di tracciamento GPS gratuito e open source che consente di monitorare la posizione e l'attività di veicoli, dispositivi mobili e altri asset. È un software che offre prestazioni e stabilità.

Perché Traccar funzioni correttamente e fornisca informazioni aggiornate sulla posizione e l'attività dei dispositivi di tracciamento, è necessario collegarlo a un server, per farlo si deve configurare correttamente il server Traccar che funge da punto centrale per la ricezione dei dati inviati dai dispositivi di tracciamento, elabora e archivia tali dati e fornisce un'interfaccia per la visualizzazione e l'amministrazione delle informazioni di tracciamento. In altre parole, il server Traccar costituisce il punto di connessione tra i dispositivi di tracciamento e il sistema di monitoraggio e gestione.

Traccar offre, inoltre, un'interfaccia web, sia per desktop che per dispositivi mobili o anche applicazioni mobili native per piattaforme Android e iOS. Fornisce anche una suite di applicazioni in grado di trasformare i dispositivi mobili in localizzatori GPS.

Ci consente di visualizzare la posizione in tempo reale dei dispositivi GPS senza alcun ritardo e con più opzioni di mappatura disponibili, incluse mappe stradali e immagini satellitari, scegliendo quella più adatta. In aggiunta, può gestire in modo efficiente una vasta gamma di sensori e dati forniti dalle unità GPS.

Nel nostro caso, questo software è utilizzato come sistema di tracciamento dei dati che gli vengono inviati dal dispositivo Teltonika FMC130 che monitora i sensori Eye Beacon o Eye Sensor.

## Capitolo 4

# Sviluppo del Progetto e Realizzazione del Software

L'obiettivo di questo progetto è quello di sviluppare un' **applicazione di monitoraggio**, utilizzando il sistema GPS, in grado di rilevare posizione, velocità e direzione del trattore e dell'attrezzo.

In questo modo è possibile determinare l'area lavorata dalla macchina agricola (trattore e attrezzo) rispetto all'area totale da lavorare. Se il sistema rileva che l'area lavorata è minore dell'area totale si dovrà continuare a lavorare il campo, altrimenti si è terminata l'attività.

Non solo, grazie al monitoraggio dello strumento, è possibile controllarne il funzionamento e calcolare le aree sovrapposte lavorate. In altre parole, i dati raccolti ci consentono di determinare se l'attrezzo, a causa dell'imprecisione del trattore, è passato più volte sulla stessa zona precedentemente lavorata. Nel caso ciò accada, possiamo calcolare l'estensione di quest'area e, con lo sviluppo di questo progetto, raggiungere anche sistemi di controllo e guida autonomi.

Siamo anche in grado, tramite l'elaborazione dei dati che vengono rilevati dai sensori e, con l'aggiunta di alcuni dati relativi all'altimetria del campo, che garantiscono un modello tridimensionale, di analizzare com'è stato lavorato il terreno. Questo si evince principalmente dal dato della velocità, se infatti, una parte del terreno è stata lavorata più velocemente di un'altra, a parità di altitudine, è ragionevole pensare che quel pezzo di terreno sia stato lavorato con minore attenzione e minor qualità.

La conseguenza di ciò è un raccolto inferiore per quantità e qualità.

Di seguito è riportata l'immagine satellitare di un terreno agricolo nei pressi di Bevagna, che è il caso di studio della tesi (Figure 4.1). Questa immagine fornisce una visualizzazione aerea del campo e può essere un utile strumento per comprendere meglio il contesto geografico e spaziale dello studio.

L'utilizzo di foto satellitari come quella mostrata può offrire numerosi vantaggi nella ricerca e nell'analisi geografica, infatti, permettono di esaminare l'area di studio da una prospettiva globale, identificare caratteristiche geografiche (fiumi, montagne o insediamenti urbani) e valutare i cambiamenti del paesaggio nel corso

del tempo.

Possiamo utilizzare questa immagine per effettuare analisi spaziali, come la mappatura di dati geografici o l'identificazione di relazioni tra le caratteristiche del territorio.



Figura 4.1: Immagine satellitare del campo nei pressi di Bevagna oggetto di studio

Nella Figura 4.2 è evidenziata l'area totale del campo, oggetto di studio, che equivale a 51476,893 m<sup>2</sup>.

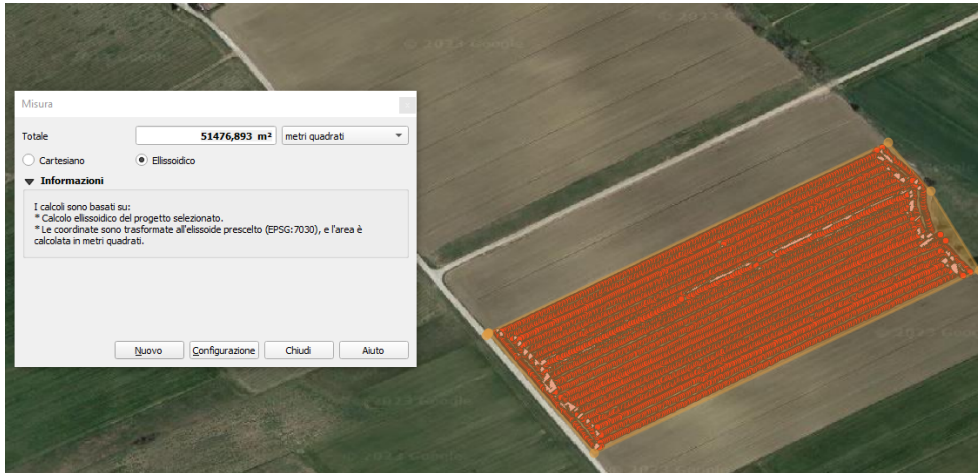


Figura 4.2: Area totale del campo oggetto di studio

## 4.1 Creazione Dataset

La raccolta dei dati necessari allo sviluppo del progetto avviene tramite i sensori (Teltonika Eye Sensor e Eye Beacon) che trasmettono a precisi intervalli informazioni riguardo la loro geolocalizzazione.

Il dispositivo Teltonika FMC130 (terminale di tracciamento), una volta collegato con i sensori, traccia e rileva le posizioni occupate dai sensori, quindi dall'attrezzo (la Figura 4.3 ci dà una rappresentazione semplificata di ciò che avviene).

Va specificato che il posizionamento dei dispositivi è il seguente:

- Teltonika FMC130 da posizionare nei pressi dei sensori, quindi viene posizionato sul trattore;
- Sensori Teltonika Eye Sensor o Eye Beacon posizioni sull'oggetto target, in questo caso sull'attrezzo.

Successivamente i dati vengono trasmessi al Software Traccar, dal dispositivo FMC130 così che possono essere immagazzinati e lavorati.



Figura 4.3: Raccolta dati, tracciamento trattore

Nella Figura 4.4 è invece riportato, in forma grafica, il dataset ricavato nel campo agricolo nei pressi di Bevagna.



Figura 4.4: Raccolta dati, campo nei pressi di Bevagna oggetto di studio

## 4.2 Implementazione codice Python

Il linguaggio informatico Python permette di scrivere strutture di programmi, nel nostro caso è stato realizzato step by step seguendo i seguenti punti:

1. Per prima cosa è stato elaborato il sistema di riferimento.
2. In secondo luogo sono state convertite le unità di misura delle coordinate.
3. Per concludere, sono state sfruttate le coordinate adeguate per andare a verificare se le zone lavorate dal trattore si sovrapponevano e ne è stata calcolata l'area totale di sovrapposizione.

### 4.2.1 Passaggio Sistema di Riferimento

Il WGS84 e l'UTM33N sono entrambi sistemi di riferimento geografici utilizzati per specificare le coordinate di una posizione sulla superficie terrestre.

Il **WGS84**, riconosciuto anche come *EPSG:4326*, è un sistema di riferimento geodetico globale, che utilizza una sfera di riferimento ellissoidale con un raggio di 6.378.137 metri per approssimare la forma della Terra.

Esso fornisce le coordinate geografiche di una posizione in termini di latitudine e longitudine.

L'**UTM33N**, d'altra parte, è un sistema di riferimento proiettato utilizzato per le carte topografiche e le applicazioni di navigazione.

Esso suddivide il pianeta in 60 fusi orari longitudinali di 6 gradi ciascuno, numerati da 1 a 60, e usa una proiezione cilindrica conforme di mercatore per trasformare le coordinate geografiche in coordinate cartesiane.

Per passare dal sistema WGS84 a UTM33N, occorre effettuare una proiezione cartografica delle coordinate geografiche, convertendo la latitudine e la longitudine in coordinate cartesiane X e Y utilizzando la formula di proiezione di Mercatore:

$$\int \sec \phi \, d\phi = \ln \left( \tan \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right)$$

Si sottrae, poi, il valore di falso est del fuso orario (500.000 metri) dalle coordinate X, e si applica anche un valore di falso nord (0 per la zona settentrionale). Il risultato è la posizione esatta espressa in coordinate UTM33N.

Questo passaggio è fondamentale perché consente di utilizzare un sistema di riferimento che utilizza coordinate metriche, il che facilita l'applicazione delle funzioni di calcolo dell'area e in conteggio dell'area totale di sovrapposizione del codice Python.

Se avessimo lasciato le coordinate nel sistema WGS84 le operazioni di calcolo del codice sarebbero state più complesse in quanto bisognava tener conto del sistema di riferimento geodetico globale utilizzato da EPSG:4326 che invece non considera la proiezione cartografica.

Di seguito, nella seconda immagine, Figura 4.6, è riportata la parte del codice che esegue quest'operazione, in particolare la funzione `coord_transform` prende le coordinate di latitudine (`lat`) e longitudine (`long`) e effettua una trasformazione delle coordinate da un sistema di riferimento cartografico (`crs_from`) a un altro sistema di riferimento cartografico (`crs_to`).

La prima immagine, Figura 4.5, mostra, invece, la funzione `polyWkt_transform` che prende una rappresentazione testuale (WKT) di un poligono (`wkt`) e esegue una trasformazione delle coordinate da un sistema di riferimento cartografico (`crs_from`) a un altro sistema di riferimento cartografico (`crs_to`).

```
def polyWkt_transform(wkt, crs_from, crs_to):  
  
    source = osr.SpatialReference()  
    source.ImportFromEPSG(crs_from)  
  
    target = osr.SpatialReference()  
    target.ImportFromEPSG(crs_to)  
    target.SetAxisMappingStrategy(osr.OAMS_TRADITIONAL_GIS_ORDER)  
  
    transform = osr.CoordinateTransformation(source, target)  
  
    geom = ogr.CreateGeometryFromWkt(wkt)  
    geom.Transform(transform)  
    return geom
```

Figura 4.5: Funzione `polyWkt_transform`

```
#funzione per trasformare un punto  
#da un sistema di coordinate ad un altro  
def coord_transform(lat, long, crs_from, crs_to):  
    transformer = Transformer.from_crs(crs_from, crs_to)  
    x, y = transformer.transform(lat, long)  
    return y, x
```

Figura 4.6: Funzione `coord_transform`



### 4.2.2 Conversione coordinate da sistema decimale a gradi, primi e secondi

La conversione delle coordinate da un sistema decimale a gradi, primi e secondi è necessaria quando si lavora con le coordinate geografiche, ad esempio per navigare in mare o per individuare la posizione di un punto sulla superficie terrestre. La conversione consiste nel dividere l'angolo solido tra il punto considerato, l'equatore e il meridiano di Greenwich in gradi, primi e secondi. Un grado corrisponde a 60 primi e un primo a 60 secondi.

Il vantaggio di utilizzare le coordinate in gradi, primi e secondi è che permette una più precisa localizzazione del punto rispetto alle coordinate metriche. Inoltre, le coordinate in gradi, primi e secondi sono utilizzate a livello internazionale e sono comprensibili da tutti i navigatori.

Lo svantaggio invece è che la conversione delle coordinate richiede maggior tempo e attenzione rispetto all'utilizzo delle coordinate decimali. Inoltre, è possibile commettere errori nella conversione, soprattutto se si utilizza attrezzatura inadeguata o se non si hanno le conoscenze necessarie. A seguire, nella Figura 4.7 è riportato il codice che permette la conversione delle coordinate sia dms(gradi, minuti e secondi) ad un sistema decimale e viceversa:

```
def dms_to_degrees(dms):
    degrees = dms["deg"] + float(dms["min"])/60 + float(dms["sec"])/3600
    if dms["dir"] in ["W", "w"]:
        degrees *= -1
    elif dms["dir"] in ["E", "e"]:
        degrees *= 1
    return degrees

def degrees_to_dms(degrees):
    decimal_degrees = abs(degrees)
    degrees = int(decimal_degrees)
    decimal_minutes = (decimal_degrees - int(decimal_degrees)) * 60.0
    minutes = int(decimal_minutes)
    seconds = (decimal_minutes - int(decimal_minutes)) * 60.0

    if degrees < 0:
        direction = "W" if degrees <= -180 else "E"
    else:
        direction = "E" if degrees >= 180 else "W"

    return {"deg": abs(degrees), "min": minutes, "sec": seconds, "dir": direction}
```

Figura 4.7: Struttura per convertire le unità di misura delle coordinate da gradi, primi e secondi a decimali e viceversa



### 4.2.3 Calcolo overlapping areas

È possibile creare una struttura di codice utilizzando il linguaggio di programmazione Python, che consenta di generare poligoni convessi (ad esempio, rettangoli) rappresentanti il trattore e l'attrezzo.

Come precedentemente detto il sensore Eye Beacon/Sensor verrà posizionato sull'utensile, mentre il dispositivo Teltonika FMC130 sul trattore. Quest'ultimo riceverà il segnale della posizione geografica dal sensore e lo invierà al software Traccar.

I sensori ci permettono di ottenere la posizione del centroide (ovvero, il punto centrale del rettangolo) del poligono dello strumento che insieme alle dimensioni dello stesso (larghezza e altezza) ci permettono il calcolo dei vertici del rettangolo.

Supponendo che il trattore si sposti all'interno del terreno da lavorare in un determinato intervallo di tempo, l'utilizzo dei sensori consente di rilevare la posizione dell'utensile per ogni intervallo di tempo prestabilito. Nel frattempo l'FMC130 ha tracciato lo spostamento del sensore e lo ha inviato al software.

È ora possibile calcolare i rettangoli, ciascuno per ogni centroide rilevato ad ogni intervallo di tempo, che rappresentano l'area lavorata dal gruppo macchina. In questo modo sarà possibile verificare se tali aree si intersecano ed eventualmente calcolarne l'area totale di sovrapposizione.

L'implementazione di tale codice, integrata con altri strumenti, può condurre ad un sistema di guida autonomo e intelligente per i trattori agricoli.

In questa prospettiva, il problema dell'*overlapping areas* diventa un elemento rilevante nell'evoluzione della tecnologia agricola, poiché consente di ridurre lo spreco di risorse e di aumentare l'efficienza della lavorazione del terreno.

Riporto di seguito, in Figura 4.8, il codice che definisce una funzione chiamata `calculate_area` che calcola l'intersezione tra due rettangoli. La funzione prende come input le coordinate dei vertici dei due rettangoli (`lat_1`, `long_1`, `lat_2`, `long_2`), l'altezza e la larghezza dei rettangoli (`altezza`, `larghezza`).

La funzione utilizza la libreria OGR (parte della libreria GDAL per l'elaborazione dei dati geospaziali) per creare due poligoni rappresentanti i rettangoli.

I punti dei rettangoli vengono ruotati utilizzando la funzione `rotatePoint` e vengono aggiunti al poligono tramite il metodo `AddPoint`. Successivamente, i poligoni vengono sottoposti a un'operazione di intersezione utilizzando il metodo `Intersection` della classe `ogr.Geometry`. Il risultato dell'intersezione viene restituito come output della funzione.

La funzione `rotatePoint` viene utilizzata per ruotare i punti dei rettangoli attorno a un punto centrale (`cx`, `cy`) di un angolo specificato (`degrees`), utilizzando la formula di rotazione in senso orario. La funzione restituisce le nuove coordinate (`new_x`, `new_y`) del punto ruotato. In sostanza, il codice riportato nella Figura 4.7 calcola l'area di intersezione tra due rettangoli ruotati.

La difficoltà nel calcolare correttamente l'area di sovrapposizione tra i rettangoli deriva dalla loro vicinanza causata da un intervallo di trasmissione del segnale o di raccolta dati troppo breve. A causa di ciò, i rettangoli che circondano i centroidi consecutivi possono sovrapporsi lungo il "lato lungo" a causa dell'elevata altezza dei rettangoli.

In altre parole, quando i rettangoli rappresentanti le aree di copertura dell'attrezzo sono molto vicini tra loro, l'area di sovrapposizione risultante potrebbe risultare errata a causa dell'eccessiva altezza dei rettangoli o dello strumento. Questo comporta una sovrapposizione significativa sul lato lungo dei rettangoli consecutivi.

Per risultare più chiaro possibile, immaginiamo il trattore e lo strumento che iniziano la lavorazione del campo (Figura 4.9), ad ogni intervallo di tempo il sensore invia al dispositivo FMC130 la sua posizione (posizione geografica del centroide) e a sua volta, quest'ultimo, la trasmette al software Traccar. Nella precedente Figura 4.4 sono evidenziati tutti i centroidi rilevati nel caso di studio di questa tesi.

Generalmente i trattori lavorano una dopo l'altra varie zone di campo (è possibile visualizzare quest'andamento nella Figura 4.4), ciò vuol dire che, una volta partito, il trattore giungerà al limite del campo e sarà costretto ad invertire la sua direzione passando così a lavorare la seconda fascia del terreno agricolo ancora non lavorata.

Per semplicità ipotizziamo che il campo da arare sia un rettangolo lungo un piano cartesiano che ha come assi di riferimento  $x$ ,  $y$ . Il trattore percorre strisce che si estendono di molti metri lungo la  $y$  e l'attrezzo lascerà alle sue spalle una "scia" di terreno lavorata.

Una volta che il trattore è giunto al limite del campo, lungo la direzione  $y$ , sarà costretto ad invertire il suo senso di marcia, ruoterà e si dirigerà verso il confine opposto del campo, sempre in direzione  $y$ , ma opposta. Nell'invertire il senso di marcia, però, il trattore si sposterà anche lungo la direzione  $x$  evitando di ripassare sopra la zona di campo appena lavorata.

Purtroppo spesso non si ha un'assoluta precisione nella manovra, è quindi molto probabile che l'utensile lavori nuovamente parte della zona già lavorata. Questo "lavorare una zona già lavorata" intende l'area di *overlapping*, cioè quell'area da calcolare e da minimizzare per ridurre costi, consumi e spreco di prodotti.

A questo punto chiariamo che la sovrapposizione da considerare è solo quella che si ha tra rettangoli di fasce lavorate differenti, (le fasce sono determinate dall'inversione del senso di marcia e dallo spostamento lungo l'asse  $x$ ) l'*overlapping* delle aree dei rettangoli (ovvero l'area lavorata dal gruppo macchina nell'intervallo di rilevamento del segnale) che si trovano sulla stessa fascia non vanno considerate. Nel caso analizzato del campo nei pressi di Bevagna le aree di sovrapposizione che risultano sono quelle riportate in verde nella Figura 4.10 e la loro somma è di 1483.016 m<sup>2</sup>, Figura 4.11.

```

def calculate_area(lat_1, long_1, lat_2, long_2, altezza, larghezza):

    # Creazione del poligono1 (rettangolo)
    ring = ogr.Geometry(ogr.wkbLinearRing)
    #rotazione del punto partendo dal punto pivot (centroide rettangolo)
    x,y = rotatePoint(float(long_1) - larghezza/2.0, float(lat_1) - altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    x,y = rotatePoint(float(long_1) + larghezza/2.0, float(lat_1) - altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    x,y = rotatePoint(float(long_1) + larghezza/2.0, float(lat_1) + altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    x,y = rotatePoint(float(long_1) - larghezza/2.0, float(lat_1) + altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    x,y = rotatePoint(float(long_1) - larghezza/2.0, float(lat_1) - altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    poly1 = ogr.Geometry(ogr.wkbPolygon)
    poly1.AddGeometry([ring])
    poly1.FlattenTo2D()

    # Creazione del poligono2 (rettangolo)
    ring = ogr.Geometry(ogr.wkbLinearRing)
    x,y = rotatePoint(float(long_2) - larghezza/2.0, float(lat_2) - altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    x,y = rotatePoint(float(long_2) + larghezza/2.0, float(lat_2) - altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    x,y = rotatePoint(float(long_2) + larghezza/2.0, float(lat_2) + altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    x,y = rotatePoint(float(long_2) - larghezza/2.0, float(lat_2) + altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    x,y = rotatePoint(float(long_2) - larghezza/2.0, float(lat_2) - altezza/2.0, long_1, lat_1, -45)
    ring.AddPoint(x,y)
    poly2 = ogr.Geometry(ogr.wkbPolygon)
    poly2.AddGeometry(ring)
    poly2.FlattenTo2D()
    intersection = poly1.Intersection(poly2)

    return intersection

#funzione per la rotazione del punto
def rotatePoint(x,y,cx,cy, degrees):
    theta = radians(degrees) # Convert angle to radians
    cosang, sinang = cos(theta), sin(theta)
    tx, ty = x-cx, y-cy
    new_x = ( tx*cosang + ty*sinang) + cx
    new_y = (-tx*sinang + ty*cosang) + cy

    return new_x, new_y

```

Figura 4.8: Struttura del codice per il calcolo dell'overlapping areas



Figura 4.9: Lavorazione campo su misura



Figura 4.10: Aree di sovrapposizione

Elemento	Valore
▼ <b>polygon</b>	
▼ Titolo	
▼ (Derivato)	
(coordinata X cliccata)	12.299663
(coordinata Y cliccata)	42.992810
Area (Cartesiana)	0,000 deg <sup>2</sup>
Area (Ellissoidica — EPSG:7...	1483,016 m <sup>2</sup>
ID elemento	1
Numero del vertice più vici...	29
Numero parte	452
Parti	519
Perimetro (Cartesiano)	0,042 deg
Perimetro (Ellissoidico — E...	3890,676 m
Vertice X più vicino	12.299671
Vertice Y più vicino	42.992808
Vertici	6118
X più vicino	12.299663
Y più vicino	42.992810

Figura 4.11: Totale della sovrapposizione di tutte le area

# Capitolo 5

## Considerazioni finali

### 5.1 Sviluppi futuri

Con uno sguardo alla situazione globale attuale e alle ricerche in questo campo possiamo affermare che in futuro le tecniche di intelligenza artificiale associate al mondo dell'agricoltura e al tracciamento dei trattori potranno riguardare:

1. *Maggiore precisione*: i sistemi di tracciamento GPS stanno diventando sempre più precisi grazie all'introduzione di tecnologie come la correzione differenziale e il GPS RTK. Ciò consente di monitorare con maggiore precisione la posizione del trattore, e può essere utile in applicazioni come la semina, la concimazione o la distribuzione di pesticidi, dove la precisione è fondamentale.
2. *Maggiore connettività*: i futuri sistemi potrebbero integrare una maggiore connettività con altre fonti di dati, come i dati meteo, i dati sulle colture o i dati sul territorio. Ciò consentirebbe di ottenere informazioni più dettagliate sull'ambiente in cui il trattore sta lavorando, migliorando la precisione delle decisioni operative.
3. *Automazione*: in futuro, i sistemi di tracciamento GPS potrebbero essere integrati con tecnologie di automazione per i trattori, come il controllo dell'autoguida o la pianificazione delle attività agricole. Ciò consentirebbe di ottenere un'elevata automazione dei processi agricoli, riducendo la necessità di intervento umano.
4. *Sicurezza*: i sistemi di tracciamento GPS potrebbero essere utilizzati per migliorare la sicurezza dei trattori e degli operatori. Ad esempio, il sistema potrebbe rilevare automaticamente la presenza di ostacoli e avvisare l'operatore, o monitorare il livello di affaticamento dell'operatore e avvisare quando è necessario prendere una pausa.

In sintesi, i sistemi di tracciamento GPS per i trattori sono destinati ad evolversi continuamente, grazie all'introduzione di nuove tecnologie e funzionalità che ne migliorano l'efficienza, la precisione e la sicurezza.

## 5.2 Conclusioni

Concludiamo questo lavoro di tesi ricordando come l'agricoltura 4.0 è un'evoluzione necessaria per migliorare l'efficienza, la sostenibilità e la qualità dei prodotti agricoli.

Il sistema di tracciamento GPS di un trattore è un esempio concreto di come la tecnologia possa essere utilizzata per semplificare e migliorare le attività agricole, permettendo all'agricoltore di monitorare l'avanzamento del lavoro, prevenire i problemi, ridurre i costi e aumentare la produttività.

Grazie a questo tipo di innovazioni, l'agricoltura può diventare sempre più moderna ed efficiente, ma è importante che sia accompagnata da una formazione adeguata e da una cultura digitale diffusa tra gli operatori del settore per massimizzarne il valore.

# Bibliografia

- [1] Sconosciuto. Satelliti e agricoltura di precisione: Airbus presenta agneo.
- [2] Lorenzo Quadri. Agricoltura 4.0: cosa c'è e cosa manca ancora.
- [3] Sconosciuto. Sistema agricoltura 4.0.
- [4] Roberta Caffaratti. L'agricoltore digitale è giapponese. come investire sulla terra smart.
- [5] Duccio Caccioni. Chi ha i dati ha il potere, anche in agricoltura.
- [6] Alberto Minazzi. La rivoluzione dell'agricoltura tra droni, robot, gps e sensori.
- [7] Alessandro Zorer. I farmbot e la diffusione dei robot in agricoltura.
- [8] Cultur-e. Il ruolo dei robot nell'agricoltura del futuro.
- [9] Sconosciuto. Con robot, droni e l'intelligenza artificiale rendiamo l'agricoltura più sostenibile.
- [10] Stefano Casini. L'agri-tech in crescita (+22%) e in cerca di sostenibilità, conoscenza ed efficienza.
- [11] Serena Giulia Pala. T8 con tecnologia raven, il posto in cabina è riservato ai monitor.
- [12] Ryan Gehm. Precision tech the 'backbone' to cnh's digital strategy.
- [13] R&R System. <https://svilupposoftwarebrescia.it/it/sviluppo-software-hardware/sviluppo-software-personalizzati/>.
- [14] R&R System. <https://www.assistconsulting.it/finanza-agevolata/aree-di-intervento/agricoltura-4-0/>.
- [15] Roberto Guidotti. Lavorazioni del terreno su misura.



# Elenco delle figure

1.1	La figura mostra le fasi della lavorazione e le attrezzature solitamente utilizzate nell' <i>Agricoltura di Precisione</i> . . . . .	6
2.1	La figura mostra le tappe evolutive dell'Adp nel tempo. . . . .	12
2.2	Agricoltura 4.0 . . . . .	13
2.3	Smart Farming e IoT . . . . .	15
2.4	Agriculture analytics . . . . .	16
2.5	Robot agricoli . . . . .	18
2.6	Robot agricoli . . . . .	20
2.7	Mercato dell'Agricoltura in Italia, fonte: Osservatorio Smart Agri-food del Politecnico di Milano . . . . .	21
2.8	Sistema Driver Assist Harvest trattore-mietitrebbia . . . . .	22
2.9	Sensore Lidar per scansionare il terreno . . . . .	23
3.1	Interfaccia Visual Studio Code . . . . .	26
3.2	Dispositivo Teltonika FMC130 . . . . .	27
3.3	Teltonika Eye Beacon e Eye Sensor . . . . .	28
4.1	Immagine satellitare del campo nei pressi di Bevagna oggetto di studio . . . . .	31
4.2	Area totale del campo oggetto di studio . . . . .	32
4.3	Raccolta dati, tracciamento trattore . . . . .	33
4.4	Raccolta dati, campo nei pressi di Bevagna oggetto di studio . . . . .	33
4.5	Funzione polyWkt_transform . . . . .	35
4.6	Funzione coord_transform . . . . .	35
4.7	Struttura per convertire le unità di misura delle coordinate da gradi, primi e secondi a decimali e viceversa . . . . .	36
4.8	Struttura del codice per il calcolo dell'overlapping areas . . . . .	39
4.9	Lavorazione campo su misura . . . . .	40
4.10	Aree di sovrapposizione . . . . .	40
4.11	Totale della sovrapposizione di tutte le area . . . . .	41

# Ringraziamenti

Ringrazio in modo particolare la mia famiglia, sono loro che mi hanno sempre spinto e accompagnato in ogni piccolo traguardo conquistato sin qui, ed è a loro che voglio dedicare il mio primo pensiero.

Ringrazio tutti i miei amici, ovunque siate, sparsi per l'Italia, per il mondo o qui accanto a me.

Desidero ringraziare anche tutte le persone che mi sono state vicine in questi anni di università, alcune per un breve periodo, altre per un tempo più lungo. Vi ringrazio perché ciascuno di voi, anche se in minima parte, ha lasciato qualcosa in me che, a posteriori, posso dire ha contribuito a farmi diventare la persona che sono oggi.

Un ringraziamento speciale va al professor Adriano Mancini e ad Alessandro Galdelli, che mi hanno aiutato nonostante le difficoltà incontrate e mi hanno accompagnato nell'ultima tappa del mio percorso triennale.