



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse  
Naturali e Ambiente

Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie

**Valutazione della piattaforma informatica gestionale  
“MyEasyCarbon” per il monitoraggio e il calcolo dei crediti di  
carbonio in un’azienda cerealicola.**

Relatore  
Prof. Luigi Sartori  
Correlatore  
Marco Sozzi  
Francesco Bettucci

Laureando  
Ilario Nardi  
Matricola n  
209248

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

# Indice

## Sommario

Riassunto .....	4
Abstract .....	5
1. Introduzione .....	6
2. Crediti di carbonio.....	10
2.1 Cos'è un credito di carbonio e come viene generato.....	10
2.2 Legislazione attuale .....	15
2.3 Mercato attuale crediti di carbonio in Europa.....	24
3. MyEasyFarm e MyEasyCarbon come strumenti di agricoltura di precisione .....	30
3.1 MyEasyFarm come FMIS e cosa permette di fare .....	30
3.2 Gestione e monitoraggio dei costi.....	32
3.3 MyEasyCarbon: cos'è e come si posiziona sul mercato.....	34
4. Obiettivo della tesi .....	52
5. Materiali e metodi .....	53
5.1 L'azienda agricola .....	53
5.2 Dati raccolti per il calcolo dell'impronta carbonica iniziale.....	55
5.3 Elaborazione ed uso di varie mappe utilizzate.....	63
5.4 Dimostrazione e spiegazione dei dati ottenuti dai DSS.....	70
5.5 Piani di concimazione elaborati con diversi impatti ambientali .....	72
5.6 Campionamenti reali di suolo eseguiti in campo .....	83
5.7 Analisi tempi delle lavorazioni e rendicontazione costi macchine agricole.....	88
6. Il report di MyEasyCarbon .....	93
7. Valutazione dello strumento MyEasyCarbon rispetto ai dati bibliografici e ai dati di campo ..	97

7.1 Valutazione delle tonnellate equivalenti di CO <sub>2</sub> prodotte con l'utilizzo di cover crops .....	97
7.2 Valutazione delle tonnellate equivalenti di CO <sub>2</sub> prodotte con l'utilizzo di prodotti fitosanitari .....	98
7.3 Valutazione delle tonnellate equivalenti di CO <sub>2</sub> prodotte con l'utilizzo di concimi chimici .....	99
7.4 Analisi dei dati riguardanti le analisi puntuali in campo .....	100
8. Rendicontazione economica dei crediti di carbonio di diverse strategie di coltivazione.....	107
8.1 Analisi costi-ricavi sulla produzione dei crediti di carbonio da parte dell'agricoltore .....	107
8.2 Conclusioni personali .....	115
9. Appendice .....	118
11. Ringraziamenti.....	124

## **Riassunto**

Secondo le direttive Europee e i regolamenti approvati, l'Unione Europea ha l'obiettivo di abbattere le proprie emissioni di carbonio del 55% entro il 2030 e del 100% entro il 2050. In ambito agricolo, la Politica Agricola Comunitaria (2023-2027), pone dei macro obiettivi il cui fine è ridurre l'impatto ambientale del settore primario. Per sopperire a queste esigenze, e non solo, negli ultimi anni si è verificata una grossa digitalizzazione di tutto il settore primario attraverso l'adozione e il finanziamento di tecnologie per l'agricoltura di precisione. L'agricoltura di precisione permette, se utilizzata correttamente, di ridurre l'uso di input agronomici, di raccogliere e interpretare al meglio i dati raccolti dalle macchine agricole, massimizzando allo stesso tempo le rese colturali e riducendo i costi produttivi per ettaro. Nel complesso queste pratiche portano ad una maggiore sostenibilità. Sull'onda di questa forte spinta Europea di diventare carbon neutral, sono nati i crediti di carbonio che possono rappresentare un'entrata positiva nel bilancio dell'azienda agricola. Questo perché i crediti di carbonio generati dalle aziende del settore primario possono essere acquistati da aziende del settore secondario per ridurre le proprie emissioni interne. MyEasyFarm rappresenta una piattaforma che rientra nella categoria dei cosiddetti FMIS, cioè "Farm Management Information System", che permette all'agricoltore di gestire e monitorare la propria azienda agricola, comunicando con le varie macchine agricole; e sfruttare gli eventuali sistemi di agricoltura digitale di cui dispone.

La tesi condotta ha previsto il monitoraggio agronomico di due appezzamenti di 17 ettari ciascuno dedicati a colture estensive, in una azienda agricola situata a Rovigo, con l'obiettivo di validare la piattaforma per quanto concerne la stima delle emissioni e gli stoccaggi di carbonio nelle diverse pratiche agronomiche adottate.

Inoltre, durante i due anni di sperimentazione, sono stati effettuati campionamenti del suolo in ogni appezzamento tra una coltura e l'altra, per valutare se la differenza di carbonio organico rilevata in laboratorio era simile ai dati forniti dal modello, valutandone quindi l'accuratezza.

## **Abstract**

Following the approval of the European directives and regulations by the European Union, there is a need to reduce carbon emissions by 100% by the year 2050, and by 55% by the year 2030. As far as agriculture is concerned, the Common Agricultural Policy (2023-2027) has set some macro-objectives to reduce the carbon emissions of the primary sector. In order to achieve these objectives, during recent years a lot of subsidies have been released to improve the digital transition of the primary sector. The so-called Precision agriculture allows, if it is used in a correct way, to reduce the chemical input, collect data from machineries and work with them and at the same time to maximize crops yield and reduce costs production. These bring to a more sustainable production and a carbon credits production which can represent for the farmer a new income in the economic farm balance. This because farmers can sell these carbon credits in the market to secondary market companies.

MyEasyfarm is a software (on the market is called an FMIS “farm management information system”) that allows the farmer to check and control his farm through the possibility of communicating with machinery and use precision farming tools as much as possible.

The thesis have been based on a agronomic consulting of two fields in a pilot farm located in Rovigo (Italy) to evaluate the digital tool call MyEasyCarbon. MyEasyFarm has been used like FMIS with an DSS (decision support system) to follow the water balance in the soil during the crop growth period. The fields used for the thesis produce cereals and oil crops, one is managed in an organic cultivation system and the other in a conventional way. Each field is about seventeen hectares.

The MyEasyCarbon is explained and carbon footprints are evaluated starting from different crops rotation and different tillage methods.

Moreover, during the two years of research, real soil samples have been used to evaluate the changing of organic carbon presence in the soil. With MyEasyCarbon we also see if the data from the samples are similar to the data shown by the software. Soil analysis in laboratory have been done by samples burning and the fields samples have been collected with the undisturbed sampler.

## 1. Introduzione

Il Green Deal europeo è un pacchetto di iniziative strategiche che mira a portare l'Europa sulla strada di una transizione verde, con l'obiettivo ultimo di raggiungere entro il 2050 una neutralità climatica. Il Green Deal è stato approvato dal Consiglio Europeo nel maggio 2021 con l'obiettivo di trasformare l'Europa in una società equa e prospera con un'economia moderna e competitiva, mettendo in evidenza la necessità di un approccio olistico e intersettoriale in cui tutti i settori strategici pertinenti contribuiscano all'obiettivo ultimo in materia di clima. Il pacchetto comprende iniziative riguardanti clima, ambiente, energia, trasporti, industria, agricoltura e finanza sostenibile; tutti settori fortemente interconnessi. (*Il Green Deal Europeo , n.d.*)

L'applicazione pratica in legge di queste ideologie è stata tradotta nel pacchetto normativo nominato "Pronti al 55%": questo pacchetto si riferisce all'obiettivo dell'Europa di ridurre le emissioni nette di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030. La dissociazione della crescita economica dall'uso delle risorse naturali e il passaggio a sistemi circolari di produzione e consumo sono fondamentali per conseguire la neutralità climatica dell'Europa entro il 2050. Il piano d'azione prevede oltre 30 punti d'azione sulla progettazione di prodotti sostenibili, circolarità nei processi produttivi e l'opportunità di dare ai consumatori e agli acquirenti pubblici la possibilità di operare scelte informate. Riguarda settori come l'elettronica, le batterie, gli imballaggi, la plastica, i prodotti tessili, la costruzione e l'edilizia, e i prodotti alimentari. (*Pronti per Il 55%, n.d.*)

Anche la Politica Agricola Comune (PAC) è stata coinvolta dagli obiettivi primari del Green Deal, e i macro-obiettivi su cui si è basata l'Unione Europea per redimere la PAC 2023-2027 sono i seguenti:

- garantire la sicurezza alimentare di fronte alle incertezze geopolitiche, ai cambiamenti climatici e alla perdita di biodiversità
- ridurre l'impronta ambientale e climatica del sistema alimentare dell'UE
- rafforzare la resilienza del sistema alimentare dell'UE
- guidare la transizione globale verso la sostenibilità competitiva dal produttore al consumatore

(*The CAP Reform's Compatibility with the Green Deal's Ambition, n.d.*)

Questi macro-obiettivi sono stati la base per definire la nuova Politica Agricola Comune entrata in vigore a gennaio 2023. Partendo da questi obiettivi, ne sono stati stilati in maniera mirata altri dieci, questi ultimi coprono diversi ambiti quali: il settore sociale, l'economico e il settore ambientale. In linea con gli obiettivi del Green Deal, il loro scopo è quello di far contribuire l'agricoltura Europea in maniera attiva verso le pratiche del cambiamento climatico, migliorando la gestione delle risorse naturali, dell'ambiente e della biodiversità senza tralasciare la sostenibilità economica delle aziende agricole. (*L'agricoltura e Il Green Deal, n.d.*)

I dieci obiettivi sono:

- garantire un reddito equo agli agricoltori
- aumentare la competitività
- migliorare la posizione degli agricoltori nella filiera alimentare
- agire per contrastare i cambiamenti climatici
- tutelare l'ambiente
- salvaguardare il paesaggio e la biodiversità
- sostenere il ricambio generazionale
- sviluppare aree rurali dinamiche
- proteggere la qualità dell'alimentazione e della salute
- promuovere le conoscenze e l'innovazione

In questa nuova Politica Agricola Comune ritornano molti degli impegni obbligatori previsti per l'ottenimento del premio (condizionalità obbligatoria), già presenti nella precedente programmazione, ma la grossa novità riguarda il rafforzamento della suddetta condizionalità obbligatoria e l'aggiunta degli eco-schemi. Da ricordare inoltre che ogni Stato Membro ha l'obbligo di presentare al Parlamento Europeo un piano di spesa dei fondi PAC, dividendo questi fondi sulla base degli obiettivi sopra riportati. Inoltre, lo Stato Membro, deve fornire periodicamente dei report sullo stato di avanzamento dei progetti finanziati e l'eventuale non raggiungimento degli obiettivi di spesa verrà sanzionato con l'impossibilità di accedere a nuovi fondi in futuro. (*Principali Obiettivi Strategici Della PAC 2023-2027, n.d.*)

Allineandosi a questi nuovi obiettivi su cui si basa la PAC 2023-2027, si sono insediate o affermate nuove tecniche colturali e di lavorazione del suolo che puntano ad una rigenerazione dello stesso. Una nuova tecnica colturale è rappresentata dall'agricoltura rigenerativa che si basa sulla costante copertura del suolo e su minime lavorazioni. (Rehberger et al., 2023) Le maggiori pratiche che si usano nell'agricoltura rigenerativa riguardano: minimizzare l'uso di input agronomici minerali; diversificare la produzione aziendale; adottare tecniche di minima lavorazione; eseguire la rotazione colturale; preferire input organici; coltivare dove possibile colture perenni (fig. 1).

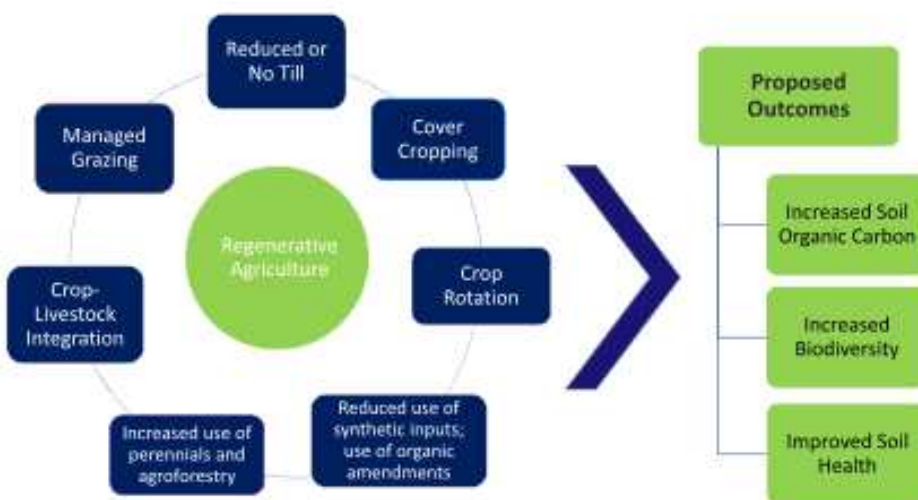


Figure 1 Pratiche agricole coinvolte nel sistema di Agricoltura rigenerativa ed obiettivi annessi (Rehberger et al., 2023).

Nella figura sono rappresentate varie pratiche alla base dell'agricoltura rigenerativa. Attraverso queste pratiche lo scopo è quello di cercare di aumentare la sostanza organica nei suoli, il contenuto di carbonio e la biodiversità. Riguardo l'allevamento sono da ricordare l'adozione di sistemi silvopastorali e la corretta gestione dei pascoli.

La maggior parte delle pubblicazioni scientifiche riportano che con queste pratiche si verifica un miglioramento della salute del suolo dato da un maggior contenuto di carbonio e il relativo sequestro del carbonio dall'atmosfera. (Newton et al 2020). Alcune definizioni e pratiche colturali variano in funzione delle specificità regionali legate alla tessitura e struttura del suolo e al contesto sociale. Si deduce quindi che un sistema di coltivazione non può essere sostenibile se causa danno ambientale. (Karaca & Ince, 2023)



Quando si parla di sostenibilità di un sistema agricolo si fa riferimento all'obiettivo di preservare e migliorare tutti gli elementi naturali come aria, acqua, suolo e di utilizzarli al meglio nel ciclo produttivo. Sono stati sviluppati molti sistemi colturali e tecniche di coltivazione per poter adottare una gestione completamente sostenibile in agricoltura, ma è necessario riconoscere che questi devono essere utilizzati in combinazione tra di loro, perché presentano vantaggi e svantaggi. La chiave per un'agricoltura sostenibile è trovare il corretto equilibrio tra la domanda e l'offerta che è in grado di fornire l'azienda agricola, e contemporaneamente riuscire a mantenere inalterato l'ecosistema ambientale. *(Karaca & Ince, 2023)*

Ad oggi, comunque, gran parte dei sistemi produttivi gestiti con il metodo convenzionale seguono una direzione produttiva spinta, focalizzata sulla sempre maggiore produzione di alimenti per coprire la domanda mondiale sempre maggiore. *(Karaca & Ince, 2023)*

## 2. Crediti di Carbonio

### 2.1 Cos'è un credito di carbonio e come viene generato

Diverse sono le pratiche colturali che vengono promosse nell'ambito del carbon farming per incrementare il carbonio nel suolo, riducendo contemporaneamente il rilascio in atmosfera di gas serra (greenhousegases).

I crediti di carbonio sono emissioni ridotte, certificate, derivanti da progetti ambientali di sostenibilità anch'essi certificati. Questi progetti hanno come obiettivi la riduzione o l'eliminazione delle emissioni di gas serra. I progetti, per essere approvati da agenzie terze, devono seguire dei criteri rigorosi ed essere revisionati da un pool di esperti in quanto devono attenersi a standard di certificazione come quelli posti da "Verra's Verified Carbon Standard" o "The Gold Standard". In maniera indiretta grazie ai progetti di sostenibilità, vengono prodotte anche esternalità positive "secondarie" come la salvaguardia degli ecosistemi, la riforestazione ed un minor utilizzo di combustibili fossili. (*Cariappa et al., 123 C.E.*) (*What Are Carbon Credits and How Do They Work?, n.d.*) In merito al carbon farming non esiste uno standard di approccio, esistono infatti diverse misure di mitigazione ognuna associata a diverse pratiche colturali e in funzione dei diversi sistemi colturali presenti nelle varie aree europee, è possibile integrare diverse pratiche di carbon farming più o meno specifiche. Cover-crops, le rotazioni colturali, il mantenimento delle torbiere, incentivare la agro forestazione sono tutte pratiche che hanno a che fare con processi naturali dell'agro-ecosistema (*Mcdonald et al., n.d.*). L'applicazione di pratiche colturali come queste appena citate, permettono di diminuire l'uso di input colturali e ridurre l'intensità produttiva per ettaro e in secondo luogo queste pratiche possono apportare molti benefici secondari per l'ambiente e la sostenibilità del comparto agricolo (*Mcdonald et al., n.d.*). Si possono individuare delle macro aree su cui basare diverse pratiche colturali del carbon farming:

- Gestione delle torbiere

Le torbiere si identificano nell'ecosistema come terre allagate con un alto contenuto di sostanza organica e di carbonio. Queste terre una volta prosciugate, hanno liberato nel tempo tutto il carbonio in esse contenuto sotto forma di gas serra (soprattutto protossido di azoto).

Queste, ad oggi, potrebbero essere gestite in tre diverse maniere: mantenere le torbiere esistenti allagate per evitare ulteriori emissioni, riallagare le torbiere preesistenti o gestire le torbiere esistenti che non si possono allagare nuovamente.

Rimane presente un rischio associato al riallagamento di queste terre per evitare danni ecologici all'ambiente circostante.

Da stime eseguite attraverso il riallagamento di torbiere si andrebbero ad evitare in cinque anni emissioni pari a circa 29 tonnellate di CO<sub>2</sub> per ettaro. Attraverso la metodologia di calcolo di MoorFutures a seconda della condizione finale ed iniziale della torbiera si potrebbe fissare al suolo dalle 3,5 alle 24 tonnellate annue di CO<sub>2</sub>.

Sebbene allagare nuovamente una torbiera porterebbe a breve termine maggiori emissioni di metano, dei grossi quantitativi di CO<sub>2</sub> verrebbero poi immagazzinati negli anni nel suolo.

- Agro forestazione

L'agro forestazione è un sistema colturale che si può adattare a qualsiasi sistema agricolo presente in Europa, con grosse possibilità di espansione nei paesi dove sono presenti vaste superfici adibite a prati permanenti o colture estensive.

È un sistema finanziato a partire dalla riforma PAC 2014-2020 ma presenta degli ostacoli dati da diversi fattori: primo su tutti lo stravolgimento del paesaggio associato a forti variazioni riguardo i sistemi di coltivazione, sia da un punto di vista pratico, sia economico. A questo sistema indubbiamente vengono associate pratiche colturali più complesse da attuare che richiedono maggiore conoscenza culturale da parte dell'agricoltore.

Studi eseguiti hanno affermato che l'agro forestazione applicata a livello europeo bloccherebbe nel suolo tra le 0,3 e le 27 tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub> all'anno per ettaro di superficie (questi valori calcolati non comprendono il carbonio organico, quindi sono da ritenersi sottostimati).

- Mantenere ed aumentare la sostanza organica nei suoli

Le pratiche che permettono di mantenere e aumentare la sostanza organica nei suoli comprendono: la coltivazione di cover-crops; migliorare le rotazioni colturali inserendo colture azotofissatrici; evitare arature e rotazioni colturali nei prati; convertire suoli coltivati in prati stabili; gestire correttamente i pascoli (adeguato carico del numero di capi per ettaro).

Da stime eseguite annualmente per ogni ettaro di terreno coltivato si potrebbero immagazzinare dalle 9 alle 58 Mt di CO<sub>2</sub> equivalenti.

Un aspetto da non sottovalutare riguarda il fatto che gran parte dei suoli sono minerali e, se non vengono modificate le metodologie di gestione colturale si verificherà ugualmente una perdita continua di CO<sub>2</sub>. Ad oggi i suoli argillosi e quelli con basso contenuto di sostanza organica rappresentano grosse fonti di stoccaggio.

L'uso del biochar è possibile per incrementare la sostanza organica nel suolo: questo è un composto prodotto tramite pirolisi ad alto contenuto di carbonio; dagli studi eseguiti esso, ha dimostrato però effetti molto variabili e incerti, oltre che effetti negativi sulla vitalità del suolo dati dalla presenza di contaminanti. Alcune limitazioni riguardo le matrici utilizzabili per incrementare la sostanza organica nei suoli dovrebbero essere poste riguardo l'uso del biochar e l'uso di compost da scarti urbani per rischio di contaminazione.

#### Gestione dei reflui zootecnici

Gli allevatori possono cercare di attuare diverse pratiche per ridurre le emissioni derivanti dalla gestione dei reflui zootecnici. Le pratiche possono essere rivolte a ridurre l'emissione agendo direttamente sulla ruminazione (in razione inserire maggiori alimenti facilmente digeribili con alto tasso di assimilazione) o migliorando la gestione dei reflui in azienda (digestioni anaerobiche per biogas, biometano o cover crops).

Gli allevatori possono aumentare di molto il contenuto di carbonio nei suoli anche attraverso la corretta gestione di prati e pascoli.

Nel 2019 il metano prodotto dalla ruminazione diretta degli animali e dai reflui zootecnici in Europa è stato di 220 megatonnellate di CO<sub>2</sub>. Ricerche internazionali eseguite su allevamenti pilota dimostrano che nel 2030 seguendo le pratiche sopra citate ci potrebbe essere una riduzione del 12-30% delle emissioni.

È importante sottolineare che la CO<sub>2</sub> prodotta dagli allevamenti fa parte di un ciclo dove le emissioni in allevamento diretto vengono compensate da altre pratiche colturali interne al sistema di allevamento. Nei sistemi industriali invece la CO<sub>2</sub> prodotta non fa parte di un ciclo. Nulla toglie che gli allevamenti abbiano ugualmente un certo impatto ambientale ma non comparabile con quello del settore secondario.

Gestione corretta dei fertilizzanti e dei reflui animali per ridurre le perdite in emissioni di protossido di azoto.

Focalizzandosi nello specifico sui fertilizzanti di sintesi chimica, le principali soluzioni riguardano il miglioramento e la migliore gestione dei piani di concimazione, dei piani di rotazione colturale e delle epoche di intervento in campo. Inoltre un grosso aiuto potrebbe arrivare dall'impiego di batteri azotofissatori.

Tutto questo si traduce in un insieme di tecniche di coltivazione agronomiche atte ad aumentare la CO<sub>2</sub> nel suolo.

Da studi eseguiti considerando una migliore gestione degli input chimici, sono state stimate 19 megatonnellate di CO<sub>2</sub> per ettaro annue che potenzialmente potrebbero essere stoccate nel suolo (sono state considerate emissioni dirette e indirette di N<sub>2</sub>O oltre che la CO<sub>2</sub> derivante dalla produzione industriale). Un aspetto molto importante riguarda il fatto che con la sola diminuzione e l'efficientamento nell'uso di fertilizzanti non si riuscirà a ridurre le emissioni in maniera sostanziale. Per garantire una diminuzione delle emissioni attraverso l'uso consapevole di input chimici è necessario l'impiego di sistemi digitali che permettano di monitorare l'uso dei fertilizzanti e la loro gestione su tutta la superficie aziendale. (Mcdonald et al., n.d.)

Nella figura sottostante viene mostrato come tra sud-est Europa e nord-ovest Europa possono prendere piede in maniera più o meno significativa le diverse pratiche legate al carbon farming.

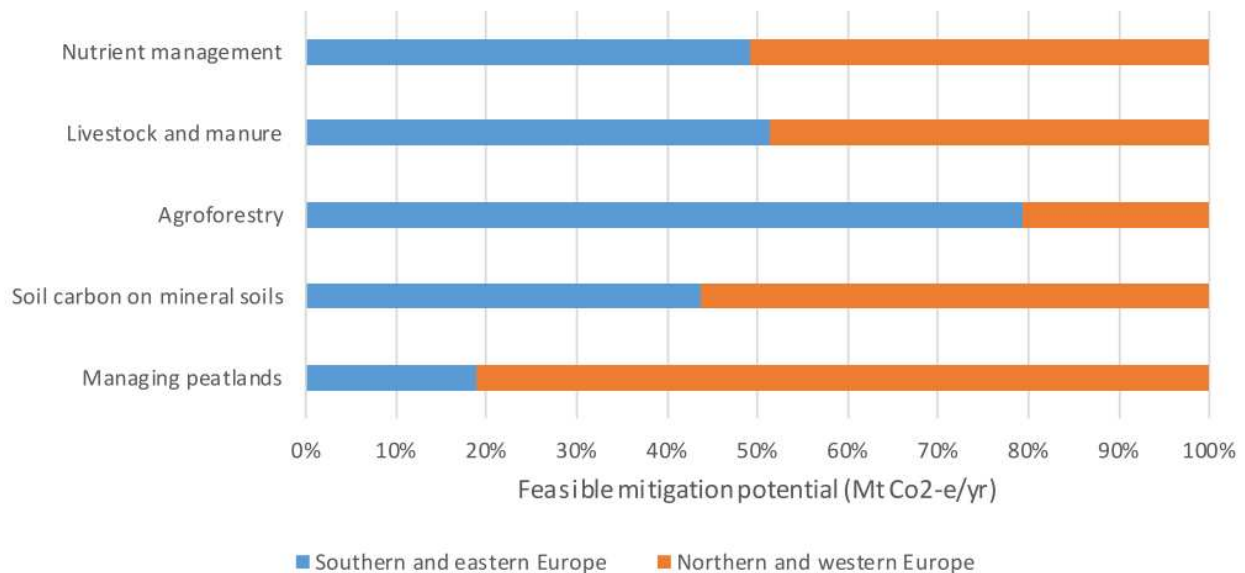


Figure 2 Possibile applicazione in sud est Europa e nord ovest Europa di diverse pratiche di carbon farming (Mcdonald et al., n.d.).

Per assicurarsi che le pratiche di carbon farming abbiano un impatto positivo sul clima, bisogna poter misurare in modo sicuro i loro effetti ed avere dati precisi. Tutto questo avviene attraverso il monitoraggio, la reportistica e la verifica, cioè attraverso un MRV (monitoring, reporting, verification). Infatti il monitoraggio riguarda la misurazione in aumento o diminuzione del sequestro di carbonio, la reportistica serve per comunicare i risultati, e la verifica è necessaria da parte di enti terzi per garantire la totale franchezza dei risultati ottenuti.

Avere un solido MRV è necessario per dimostrare che queste azioni verso la mitigazione dei gas serra portino fatti reali, misurabili, permanenti, evitando errori nel conteggio dei crediti di carbonio. (*Mcdonald et al., n.d.*)

Ovviamente cercare di avere forti MRV porta con sé delle problematiche quali l'accuratezza e lo studio dello strumento e in secondo luogo i costi necessari al funzionamento. Gli alti costi (in termini di tempo speso per il settaggio dello strumento e costi finanziari di utilizzo) possono incidere fortemente sui benefici netti finali che riceverebbe l'agricoltore dalle pratiche del carbon farming. Questo aspetto può rappresentare una forte barriera per l'agricoltore nell'attuare le pratiche volontarie di carbon farming o anche per le associazioni nell'incentivare determinate pratiche con sovvenzioni.

Il monitoraggio con l'MRV può essere eseguito attraverso dei modelli digitali con misurazioni reali e con modelli ibridi. Per ogni metodologia sono presenti vantaggi e svantaggi: con misurazioni periodiche reali dei gas serra e in campo, del carbonio organico nel suolo e nelle colture, si riescono ad avere dati precisi e puntuali, ma di contro ci sono altissime spese.

Il modello digitale attraverso la combinazione di dati stabiliti con studi scientifici fornisce i valori dei vari parametri, tra cui il contenuto di carbonio. Molto importanti sono gli studi preliminari per stabilire le relazioni tra gli input immessi e i valori stimati di emissioni e sequestro di CO<sub>2</sub>.

Il modello digitale presenta maggiore incertezza nei dati forniti rispetto al modello puntuale che prevede misurazioni reali ma permette costi di produzione minori.

È fondamentale che gli MRV con modello digitale siano quanto più precisi possibile e che considerino nelle diverse pratiche colturali tutte le emissioni dei gas serra implicati nei processi produttivi e colturali. Risulta fondamentale la capacità di un modello digitale nello stimare tutti gli impatti derivanti dalle singole pratiche agricole. (*Mcdonald et al., n.d.*)

## 2.2 Legislazione Attuale

Nei primi anni per produrre crediti di carbonio vennero identificate due metodologie di certificazione e produzione: una era il (CDM) "Clean Development Mechanism" per progetti non autocreati dai singoli paesi, e l'altra il (JI) "Joint Implementation" per progetti di sostenibilità autocreati dal paese.

Il sistema JI stimolò molto interesse verso i singoli paesi per progetti autogestiti il cui obiettivo era produrre crediti di carbonio. Questo sistema permise ai singoli stati membri di acquisire conoscenze e tecniche produttive in merito ai crediti di carbonio, portando ogni paese a realizzare il proprio sistema MRV con standard propri.

La produzione di crediti di carbonio attraverso progetti con metodo JI era possibile in due modi: il primo metodo prevedeva che i singoli stati membri creassero le proprie regole per l'approvazione e la verifica dei progetti di sostenibilità (comunque sempre seguiti da supervisori internazionali), questa strada implicava per il singolo stato membro la creazione e il mantenimento di registri nazionali delle emissioni ed anche di sistemi affidabili per il monitoraggio dei gas serra; (Cevallos et al., 2019) il secondo metodo prevedeva la creazione di un corpo di supervisione chiamato JISC ("Joint Implementation Supervision Committee"), che seguiva la parte legislativa e di monitoraggio delle emissioni stabilite nei progetti di sostenibilità.

Solo il 2% delle emissioni ridotte in quegli anni vennero seguite da progetti JI con metodo JISC e gran parte degli stati membri seguirono la prima metodologia perché la ritenevano più semplice. L'adozione di sistemi autogestiti permise ai singoli paesi di acquisire varie nozioni sul mercato del carbonio e di creare dei legami interni molto forti con i buyer dei crediti di carbonio. Un esempio è rappresentato dalla Francia che tra il 2008 e 2012 creò il "Label Bas Carbone" cioè una struttura interna di autocertificazione dei progetti. Il "Label bas carbone" è una certificazione francese per monitorare e gestire i progetti di sostenibilità sul territorio nazionale; fornisce regole chiare e trasparenza verso il mercato volontario dei crediti di carbonio introducendo procedure di lavoro (MRV) per permettere la realizzazione di progetti. Ad oggi Germania, Olanda e Spagna sono orientate nello sviluppo di sistemi interni di autocertificazione. (Cevallos et al., 2019) In molti paesi europei la fine della gestione dei progetti con metodo JI portò ad uno stop per i progetti "fai da te". Inoltre, i pochi enti di certificazione presenti (enti privati), non lavoravano sul mercato europeo e questo portò ad un ritardo nell'approvazione e certificazione di progetti europei di sostenibilità seguendo standard internazionali. Nella figura vengono mostrate le distribuzioni

mondiali dei progetti di sostenibilità e degli acquirenti dei crediti di carbonio nel 2016, cioè negli anni antecedenti il Green Deal. Si può notare come gran parte dei progetti di sostenibilità non fossero locati in Europa ma allo stesso tempo l'Europa si identificasse come maggiore acquirente di crediti di carbonio (Cevallos et al., 2019).

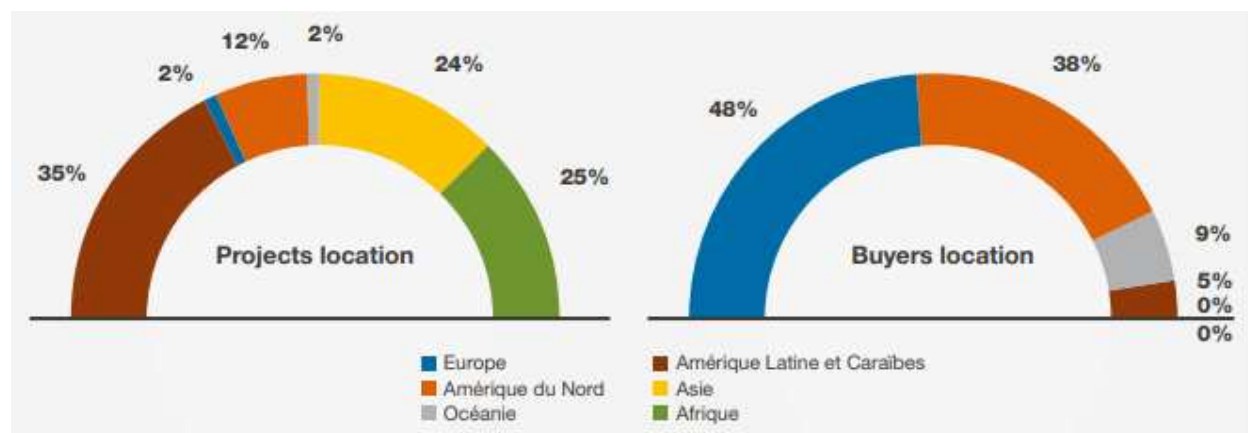


Figure 3 Distribuzione mondiale nel 2016 dei buyer di crediti di carbonio e dei progetti di sostenibilità presenti Source: Hamrick & Galland, 2017, Regional Analysis

Queste iniziative interne hanno creato dei conflitti di interesse tra il singolo stato membro e la singola azienda, portando sfaccettature diverse per ogni paese, ciascuno col proprio sistema di certificazione e i diversi progetti di sostenibilità.

In Francia il “Label Bas Carbone” è tutt’oggi utilizzato: la politica francese lo ha ristretto all’uso per enti non statali, rivendicando la loro ideologia che l’applicazione di questi sistemi ad enti non-statali è sufficiente per garantire l’integrità ambientale.

Nel Regno Unito, è stato creato nel 2011 il “Woodland Carbon Code” per certificare progetti di forestazione.

In Spagna, un fondo chiamato “FES CO<sub>2</sub>” è stato creato per acquistare crediti derivanti da fondi non europei.

In Germania i progetti si sono focalizzati soprattutto sulle torbiere e la loro rigenerazione.

In Italia si lavorò molto negli anni precedenti, fino ad oggi, verso progetti di forestazione cercando di far risultare i progetti sotto il protocollo di Kyoto per scoraggiare la formazione di iniziative autogestite.

Le iniziative hanno riguardato:

- la creazione di un codice forestale del carbonio che non prevedeva però una certificazione



- la creazione di progetti forestali volti al carbonio ma senza certificazioni di vendita dei crediti di carbonio
- lo sviluppo di progetti forestali certificati con sistemi forestali (Forest Stewardship Council) piuttosto di certificazioni basate sul sequestro di gas serra. *(Cevallos et al., 2019)*

Queste emissioni certificate, anche se vendute, rientrano a far parte delle emissioni totali trattenute a livello nazionale per coprire gli obiettivi di sostenibilità interni al paese.

Le emissioni certificate vengono tracciate su registri ufficiali per evitare che i crediti vengano contati due volte o che lo stesso credito venga rivenduto più volte. *(You & Delerce, 2023)*

Dal lancio del “Label bas carbone” nel 2018 fino ad oggi, più di quaranta organizzazioni, tra cui trenta grosse aziende, sono diventate finanziatrici di questo sistema portando introiti pari a 2,5 milioni di euro.

A gennaio 2023 sono stati raggiunti i 376 progetti di sostenibilità dai quali ci si aspetta una riduzione di 1.431.819 tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub>; un ammontare pari a quanto assorbito in tre anni da 143 milioni di alberi.

La Francia non è il solo paese in Europa ad avere uno standard di certificazione propria per regolamentare il mercato dei crediti di carbonio, altri paesi attualmente si stanno muovendo per avere uno standard di certificazione a livello locale o nazionale.

Lo standard di certificazione francese sviluppato nel corso degli ultimi dieci anni rappresenta un punto di partenza da cui prendere spunto per tutti i paesi interessati.

Ora a livello italiano si sta scrivendo uno standard di certificazione nazionale per i crediti di carbonio e l’ente incaricato per la stesura è il CREA (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria). *(You & Delerce, 2023)*

*<https://hal.science/hal-02503313/document>*

Table 1 Progetti di sostenibilità attuati dai singoli paesi europei nel 2019 <https://hal.science/hal-02503313/document>

Country	Name	Sector	Methods	non-permanent risk management	Additionality	Co-benefit	Management of double-claiming	guidelines for external communication
Austria	Kalndorf Ecoregion	Forestry and land-use change	Farming practices favouring carbon in agricultural soil	Retain part of the income	Not Mentioned	✓	N/A	Not known
France	Low-carbon Label	Forest, agriculture, buildings, transports so far, but all sectors out of EU-ETS can be included	Afforestation Restoration of degraded forests Carbone Agri (livestock) Planting of orchards Hedgerow SOBAC'ECO-TMM Croplands Ecomethane (cattle feeding) Rural co-working Renovation of buildings	Reduction discount	✓	✓	Uploaded to a national registry, no risk of double claiming	Yes
Germany	Moorfutures	Peatlands	Greenhouse Gas Emission Site Type (GEST)	Retain part of the income	✓	✓	Release certification	No
Italy	CarboMark	Forest and land use change	Sustainable forest management Urban forest Wood products Biochar	Reduction Discount	N/A	N/A	N/A	N/A
The Netherlands	Green Deal	Forestry and land-use change; renewable energy; and other sectors not covered by policies	Peatland management Riethermia to substitute natural gas in heating public	N/A	✓	✓	Double counting is not considered an issue for the voluntary carbon market in the Netherlands	N/A
Spain	Registro Huella de carbono	Forest and land use change	Afforestation/ reforestation Restoring forest areas degraded by fires	Reduction discount	Not mentioned	✓	No official position on this matter	Partly

Nella tabella vengono mostrati quali sono nei paesi Europei gli standard di calcolo per i crediti di carbonio in fase di creazione o già creati. Per ogni paese vengono dichiarati gli ambiti di carbon farming sui quali si sta lavorando con progetti di sostenibilità e contemporaneamente se eseguono controlli sul doppio conteggio dei crediti di carbonio. I dati presenti risalgono a dicembre 2019.

A livello europeo il 16 dicembre 2022 è stata emanata una direttiva chiamata CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) coinvolta nell'ambito del Green Deal; essa impone l'obbligo di redigere il bilancio di sostenibilità, ottenendo così una fotografia completa della realtà aziendale.

Il bilancio di sostenibilità è un documento che consente di comunicare ai clienti, ai produttori, agli

investitori e ai dipendenti le scelte aziendali in termini di sostenibilità economica, ambientale e sociale (*Corporate Sustainability Reporting, 2024*).

La rendicontazione del bilancio risulta obbligatoria e dovrà attenersi ai regolamenti di tassonomia UE uguali per tutte le aziende con standard uguali per tutti (*CSRD: La Direttiva Europea Sul Bilancio Di Sostenibilità, 2024*). Ogni stato membro dispone di 18 mesi per recepire la direttiva nelle legislazioni interne al paese e in funzione della tipologia di azienda sono previste tempistiche di pubblicazione differenti dei bilanci di sostenibilità come illustrato nella tabella sottostante. (*CSRD: La Direttiva Europea Sul Bilancio Di Sostenibilità, 2024*)

*Table 1 Tempistiche pubblicazione bilancio di sostenibilità per tipologia di azienda*

<b>Anno di pubblicazione (entro il 1 gennaio)</b>	<b>Tipologia di azienda</b>
2025	Grandi imprese già soggette alla rendicontazione non finanziaria
2026	Grandi imprese con più di 250 dipendenti e/o 50 milioni di euro di fatturato
2027	Le piccole-medie imprese quotate (meno di 250 dipendenti e con un fatturato annuo inferiore a 50 milioni di euro, oppure un totale di bilancio annuo non superiore a 43 milioni di euro)

Il sistema di tassonomia UE è un sistema di classificazione che stabilisce un elenco di attività economiche ecosostenibili ed è importante ricordare che dall'1 gennaio 2023 sono state inserite come attività ecosostenibili anche quelle del gas e del nucleare. Questa classificazione risulta essere molto importante perché per attuare progetti e attività sostenibili si deve avere chiara la definizione di ciò che è sostenibile dal punto di vista ambientale. In questo modo si dovrebbe creare sicurezza per gli investitori privati, indirizzando gli investimenti verso progetti e attività sostenibili e proteggendo gli stessi investitori da quelle attività che sembrano sostenibili ma non lo sono, il cd greenwashing, l'ambientalismo di facciata (*Tassonomia Dell'UE: Classificazione Attività Economiche Ecosostenibili, 2024*).

Le aziende coinvolte dalla direttiva CSRD sono tutte le grandi imprese che superino uno dei seguenti limiti:

- 1) numero di dipendenti superiore a 250;
- 2) stato patrimoniale non inferiore a 20 milioni all'anno;

3) ricavi netti per un minimo di 40 milioni di euro.

Sono escluse dalla direttiva le microimprese mentre per le imprese con capogruppo extra-UE il limite da considerare sono i 150 milioni di ricavi netti annui (*CSRD: La Direttiva Europea Sul Bilancio Di Sostenibilità, 2024*).

Per redigere il bilancio di sostenibilità risulta necessario comunicare i fattori ESG (Environmental, Social and Governance) i quali permettono di quantificare un'attività come sostenibile. La parte "Environmental" valuta il comportamento dell'azienda nei confronti dell'ambiente, la parte "Social" esamina il rapporto tra azienda e comunità mentre la parte "Governance" analizza le buone pratiche e principi etici. Sono attualmente presenti agenzie specializzate che permettono la valutazione con relativo punteggio della sostenibilità in azienda valutando i fattori ESG, è importante però sottolineare al momento mancano standard internazionali condivisi per la valutazione della *sostenibilità* (*Guida Completa Agli ESG: Significato e Importanza, 2024*). Il principio della neutralità carbonica risulta essere fortemente coeso a questa direttiva e i prospetti legati alla rendicontazione dei bilanci di sostenibilità implicano una maggiore richiesta di aziende in grado di monitorare, valutare e migliorare le emissioni aziendali, e in grado di associare l'acquisizione di crediti di carbonio.

Studiando il mercato dei crediti di carbonio a livello internazionale, si è notato come Giappone, Cina e i paesi dell'America Latina sono maggiormente predisposti e preparati a questo mercato.

I paesi dell'America Latina come Messico, Cile, Colombia, Argentina e Brasile si stanno affacciando a questo mercato dove al momento per ogni giurisdizione sono presenti delle tassazioni a livello nazionale.

Le tassazioni sul carbonio impongono un costo per le emissioni di gas serra, incentivando così le aziende ad investire verso soluzioni meno impattanti e più sostenibili sui sistemi produttivi e ad efficientare l'uso di energie rinnovabili. Le tasse sulle emissioni di carbonio aboliscono le accise sui combustibili fossili e accelerano le iniziative rivolte alla transizione ecologica. Dal 2021 sono state aggiunte quattro accise federali e tre regionali sulla base dell'ETS (Emission Trading System). (*Blanton et al., 2024*)

Il primo sistema in America Latina di monitoraggio delle emissioni (ETS) è stato rilasciato dal Messico nel gennaio 2020; quest'ultimo assegna delle quote alle emissioni dirette di CO<sub>2</sub> da fonti fisse nei settori dell'energia e dell'industria che emettono almeno 100.000 tonnellate di CO<sub>2</sub> all'anno. Queste rappresentano circa il 40% delle emissioni nazionali di gas serra e il 90% delle

emissioni riportate nel Registro nazionale delle emissioni. Le quote vengono assegnate in base alle emissioni storiche. (*Mexican Emissions Trading System, n.d.*)

Le foreste tropicali situate in America Latina rappresentano uno dei più grandi luoghi di stoccaggio di carbonio, esse sequestrano potenzialmente 121,03 giga tonnellate di carbonio; la foresta amazzonica da sola immagazzina 31,5 gigatonnellate di carbonio. A causa delle continue deforestazioni in atto si rischia però in futuro di non riuscire più a raggiungere questi valori e di non riuscire ad azzerare le emissioni nel 2050 (*Blanton et al., 2024*). È per questo che queste foreste hanno un ruolo fondamentale nei futuri progetti di sostenibilità.

Solitamente riguardo le foreste si applicano tre tipologie di progetti di sostenibilità; questi possono prevedere la riforestazione, una migliore gestione delle foreste o evitare la deforestazione.

I paesi dell'America Latina sono i secondi produttori globali di crediti di carbonio e i loro progetti di sostenibilità sono incentrati su REDD+ (Riduzione delle emissioni da deforestazione e degrado forestale, conservazione, gestione sostenibile delle foreste e incremento degli stock di carbonio) o su pratiche di efficientamento nell'uso di energie rinnovabili.

Attualmente risulta obbligatorio per le aziende eseguire e valutare il proprio ETS. Già nel 2020 l'America Latina per un possibile mercato del carbonio aveva ricevuto valutazioni per ottocento miliardi di dollari. (*Blanton et al., 2024*)

Brasile e Perù non hanno ancora creato dei sistemi di monitoraggio delle emissioni ma nel paese sono presenti dei mercati volontari dei crediti di carbonio. Questi paesi hanno prodotto nel 2021 rispettivamente 16 e 14 milioni di crediti di carbonio. I crediti sono per la maggior parte prodotti da progetti REDD+ e assieme alla Colombia producono 80% dei crediti totali prodotti in America Latina. Al momento tutti i governi stanno promuovendo l'adozione di sistemi digitali per il monitoraggio dei crediti di carbonio, inoltre Cile, Argentina e Colombia hanno introdotto tassazioni sul carbonio e stanno costruendo il loro ETS. (*Blanton et al., 2024*)

I dati presenti in figura risalgono a Febbraio 2024. Nella mappa è possibile vedere come per ogni paese dell'America Latina viene riportata la situazione legislativa in merito al calcolo dell'ETS, alla produzione di crediti di carbonio e alle tassazioni. Dalla figura si evince come Messico, Colombia e Brasile sono gli stati nei quali ad oggi è già presente un mercato volontario dei crediti di carbonio, e che nella maggior parte degli stati sono presenti tassazioni sulle emissioni.



Figure 4 Carbon taxes e mercati volontari di crediti di carbonio ad oggi presenti in America Latina (Blanton et al., 2024)

L'America latina diventerà uno dei più grandi produttori e player sul mercato dei crediti di carbonio grazie alla sua superficie e alle risorse naturali presenti (carbon sink). (Blanton et al., 2024)

### **2.3 Mercato attuale crediti di carbonio in Europa**

L'ETS è presente anche in Europa come "European Union Emissions Trading System". Il sistema europeo di scambio di quote di emissione di gas ad effetto serra è il principale strumento adottato dall'Unione Europea per raggiungere gli obiettivi di riduzione della CO<sub>2</sub> nei principali settori industriali e nel comparto dell'aviazione. Il sistema è stato introdotto e disciplinato nella legislazione europea dalla Direttiva 2003/87/CE (*Direttiva ETS*). Il meccanismo è di tipo cap & trade ovvero fissa un tetto massimo complessivo alle emissioni consentite sul territorio europeo nei settori interessati (cap) cui corrisponde un equivalente numero "quote" (una tonnellata di CO<sub>2</sub> equivalente = 1 quota) che possono essere acquistate o vendute su un apposito mercato (trade). Ogni operatore industriale o aereo attivo nei settori coperti dallo schema europeo deve "compensare" su base annuale le proprie emissioni effettive (verificate da un soggetto terzo indipendente) con un corrispondente quantitativo di quote. La contabilità delle compensazioni è tenuta attraverso il Registro Unico dell'Unione, mentre il controllo su scadenze e rispetto delle regole del meccanismo è affidato alle Autorità Nazionali Competenti (ANC). Le quote possono essere allocate a titolo oneroso o gratuito: nel primo caso vengono vendute attraverso aste pubbliche alle quali partecipano soggetti accreditati che acquistano principalmente per compensare le proprie emissioni, ma possono in questo modo alimentare il mercato secondario del carbonio. Indipendentemente dal metodo di allocazione, il quantitativo complessivo di quote disponibili per gli operatori (cap) diminuisce nel tempo, imponendo di fatto una riduzione delle emissioni di gas serra nei settori ETS. Nel 2030, il meccanismo garantirà un calo del 43% rispetto ai livelli del 2005. L'ETS in tutta Europa, interessa oltre 11.000 impianti industriali e circa 600 operatori aerei. In Italia sono disciplinati più di 1200 soggetti che coprono circa il 40% delle emissioni di gas serra nazionali. (*Emission Trading System EU, n.d.*)

I crediti o quote di carbonio vengono quindi acquistati da soggetti industriali, ma come fanno gli agricoltori a guadagnare attraverso questi sistemi di carbon farming?

Nei primi anni gli agricoltori venivano pagati attraverso i pagamenti base, cioè in cambio di un pagamento eseguivano determinate pratiche agricole e producevano indirettamente esternalità positive per il territorio. Questa tipologia di pagamenti si applica solitamente nella Politica Agricola Comune. Sono pagamenti semplici che richiedono bassa frequenza di monitoraggio. Questa tipologia di pagamento seppure semplice porta con sé incertezze, una su tutte è che il pagamento avviene indipendentemente dal risultato ottenuto, questo implica che per adottare

questi pagamenti nel carbon farming bisognerebbe conoscere, quantificare e valutare i risultati ottenuti investendo in sistemi MRV; inoltre i pagamenti su base annua derivano da fondi pubblici e quindi possono assumere valori annui variabili in funzione dei soldi annualmente destinati al bilancio e in funzione delle domande recapitate.

Attualmente i modelli di mercato su cui si possono intraprendere progetti attraverso i crediti di carbonio possono essere di diverse tipologie; i modelli si differenziano in funzione del soggetto che pagherà l'agricoltore, in che forma lo pagherà e soprattutto per il livello di MRV richiesto (*Mcdonald et al., n.d.*).

In funzione della complessità del modello e dell' MRV (monitoraggio, report, verifica) richiesti, varia il costo dell'intera operazione. Maggiore è il costo, maggiori possono essere i dati che l'agricoltore deve fornire e anche i costi associati alla burocrazia (*Mcdonald et al., n.d.*).



Nella figura sottostante vengono spiegati i diversi modelli di mercato dei crediti di carbonio che sono stati normati. Un aspetto da considerare, riguarda il fatto che più ci si sposta verso il modello “exchange based” più complesso diventa il tipo di pagamento per l’agricoltore.

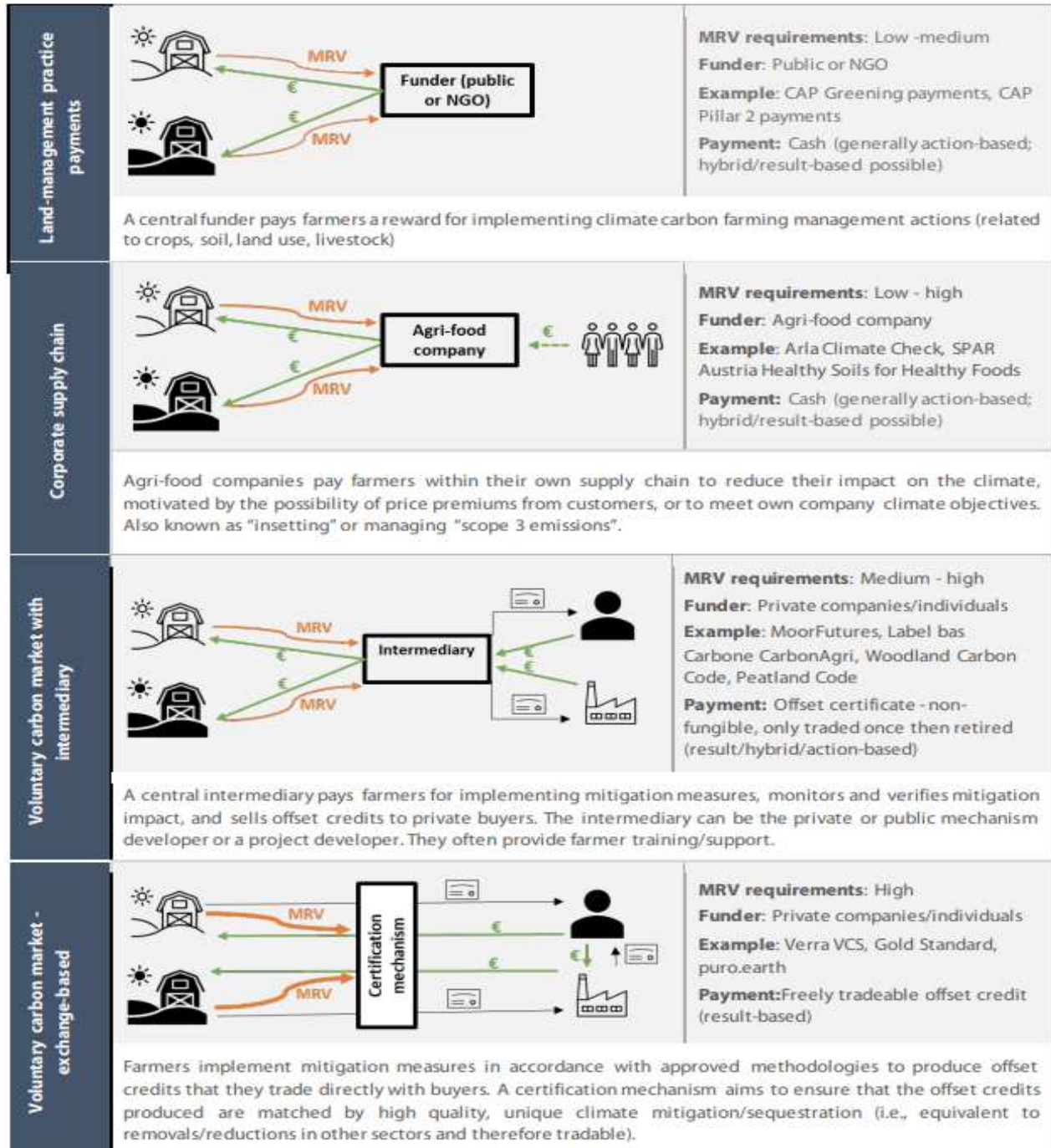


Figure 5 Metodologie di mercato dei crediti di carbonio (McDonald et al., n.d.)

Riguardo i primi due meccanismi di pagamento, uno prevede la vendita diretta del credito, l'altro prevede un'interlocuzione e un accordo commerciale diretto tra l'azienda trasformatrice e l'azienda agricola (supply-chain). Quest'ultimo modello sfrutta la capacità della azienda trasformatrice nell'influenzare le scelte degli agricoltori che le conferiscono il prodotto. Questo viene facilitato ulteriormente se l'azienda ha già dei contatti di riferimento con i singoli agricoltori o tutti gli agricoltori conferenti vengono seguiti da un team di agronomi dell'azienda conferente. La difficoltà in questo modello è data dalla necessità di avere soluzioni MRV molto strutturate e nel riuscire ad essere il più trasparenti possibile portando metodologie agronomiche testate e sicure.

Ad oggi i mercati volontari dei crediti di carbonio sono in rapida crescita, con un andamento di mercato che ha mosso un volume di 178 mega tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub> nel 2020 (+80% rispetto il 2019) e che aveva posto previsioni di mercato per il 2021 pari a un miliardo di dollari. Gran parte dei mercati volontari presenti, si focalizzano su agroforestazione ed energie rinnovabili, mentre a livello europeo una grossa spinta arriva dalle pratiche agronomiche di carbon farming rivolte alle colture estensive.

All'interno del mercato volontario troviamo però due tipologie di mercato:

- Mercato volontario di scambio (exchange based)

Vengono applicati gli stessi sistemi di monitoraggio su più aziende; sono sistemi generalmente permissivi come tipologia di aziende analizzate ma richiedono strumenti di MRV rigorosi. Si pensa inoltre che i crediti creati siano equivalenti (fungibili) in termini economici ai crediti generati da agro forestazione o pratiche simili e quindi possono essere gestiti in uguale misura. Bisogna considerare però che questo sistema presenta diversi svantaggi: in primis con alti costi di gestione dell' MRV, e a fronte di un mercato variabile, si ha solitamente un abbassamento di quelli che sono i valori di vendita del credito finale. Questo porta ad un minor introito per l'agricoltore e permette l'accesso a questo tipo di mercato solamente alle aziende agricole ben strutturate e diversificate.

- Mercato volontario con intermediario

Questo mercato prevede una collaborazione stretta tra l'intermediario e gli agricoltori partecipanti; i crediti di carbonio generati possono essere venduti una sola volta e non sono considerati fungibili a differenza del mercato exchange based (derivano da una sola pratica di carbon farming).

L'intermediario garantisce un prezzo fisso all'agricoltore per ogni credito di carbonio e a fronte di questo, verso l'acquirente, l'intermediario funge da garante. Oltretutto non sono richiesti sistemi MRV troppo rigorosi. L'intermediario si appoggia a consulenti agricoli ed ha un ruolo molto importante. Sono mercati difficili da scalare ma permettono costi minori di accesso per gli agricoltori riscuotendo così maggiore partecipazione di questi ultimi.

Un aspetto molto importante da considerare riguarda i costi di sviluppo iniziali degli amministratori: gli investimenti iniziali sono significativi e i finanziamenti privati potrebbero non essere disponibili per coprire completamente questi costi, soprattutto nei primi anni quando le entrate derivanti dalla vendita dei crediti di carbonio sono ridotte; il sostegno pubblico può quindi avere un ruolo nel far decollare i progetti. Tali progetti, finanziati congiuntamente da attori pubblici e privati, sono sempre più comuni, ma necessitano di salvaguardie per evitare il doppio finanziamento, il doppio conteggio dei crediti di carbonio (greenwashing) o il finanziamento pubblico che esclude il capitale privato. Per far fronte a queste problematiche il Parlamento europeo e il Consiglio Europeo hanno raggiunto un accordo sul regolamento CSRD, che istituisce il primo quadro volontario a livello Europeo per la certificazione dell'eliminazione del carbonio dall'atmosfera, del carbon farming e dello stoccaggio del carbonio nei prodotti generati in Europa (*Azione per Il Clima: Consiglio e Parlamento Convengono Di Istituire Un Quadro Di Certificazione Dell'UE per Gli Assorbimenti Di Carbonio, 2024*). Il regolamento stabilisce i criteri di qualità dell'Unione Europea e delinea i processi di monitoraggio e rendicontazione al fine di facilitare gli investimenti nelle tecnologie innovative di rimozione del carbonio, affrontando al contempo il problema del greenwashing.

Le attività prese in considerazione dal regolamento di certificazione riguardano:

- assorbimento permanente di carbonio;
- stoccaggio temporaneo di carbonio in prodotti a lunga durata per almeno 35 anni (progetti riguardanti gli edifici in legno o materiali sostenibili);
- stoccaggio temporaneo del carbonio nei suoli agricoli;
- riduzione delle emissioni legate alla gestione agronomica nei suoli.

I progetti per ridurre le emissioni o aumentare lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> nel suolo agricolo devono avere durata minima di cinque anni per ricevere una certificazione, mentre le attività che non comportano assorbimenti di carbonio o riduzione delle emissioni nel suolo, come le attività

finalizzate a evitare la deforestazione o i progetti in materia di energie rinnovabili, non sono incluse nell'ambito di applicazione del regolamento.

Le attività di assorbimento del carbonio per ottenere una certificazione al momento solo volontaria, devono soddisfare i seguenti criteri: quantificazione, addizionalità, stoccaggio a lungo termine e sostenibilità. In merito alle unità di carbonio certificate e prodotte dai vari progetti in ambito agrario, il regolamento CRCF dichiara che le unità di carbonio possono essere utilizzate solo per gli obiettivi climatici dell' Unione Europea e per il contributo determinato a livello nazionale (NDC), non possono contribuire agli NDC di paesi terzi e a regimi di conformità internazionali (*Azione per Il Clima: Consiglio e Parlamento Convengono Di Istituire Un Quadro Di Certificazione Dell'UE per Gli Assorbimenti Di Carbonio, 2024*). Entro il 2026 l' Unione Europea vuole redigere un registro elettronico ufficiale Europeo al fine di rendere pubbliche e accessibili le informazioni sulla certificazione, sulle unità di carbonio, i certificati di conformità e le sintesi delle relazioni sui controlli di certificazione.

In merito ai costi dei crediti è presente molta confusione e variabilità. Questi variano molto in funzione del meccanismo di produzione adottato, della tipologia di carbon framing su cui si lavora (sistema agroforestale o estensivo), e sulla base di misure specifiche implementate. Al netto dei costi burocratici, operativi e gestionali cui devono fare carico sia la persona intermediaria (se presente) sia l'agricoltore; si possono poi aggiungere costi esterni che molte volte vengono poco considerati. Questi ultimi per l'agricoltore vengono rappresentati dai tempi di istruzione e rischio d'impresa associato agli investimenti da fare per le pratiche di carbon farming; mentre per l'intermediario sono le conoscenze, le capacità amministrative e l'incertezza dei risultati dell'MRV (*Mcdonald et al., n.d.*).

### 3. MyEasyFarm e MyEasyCarbon come strumenti di agricoltura di precisione

#### 3.1 MyEasyFarm come FMIS e cosa permette di fare

Il Farm Management Information System (FMIS) è un sistema informatico che permette la raccolta di dati da diversi macchinari e attrezzature aziendali, consentendone poi, quando possibile, l'elaborazione. Negli anni questi sistemi si sono sempre più evoluti e attualmente possono interagire con sistemi di supporto alle decisioni (DSS) e sistemi di gestione per la qualità dei prodotti (QMS). Grazie ad un FMIS si cerca di acquisire informazioni da diversi dispositivi o sensori per consentire decisioni aziendali più puntuali, precise ed efficienti (*Papadopoulos et al., 2024*).

MyEasyFarm è un'azienda francese fondata nel 2017 che fornisce un software FMIS; essa permette di raccogliere e gestire dati da varie macchine operatrici e nello specifico di gestire e monitorare i confini dei propri appezzamenti, salvare e ri-utilizzare linee guida delle macchine agricole, monitorare con mappe NDVI da satellite i propri appezzamenti, programmare in anticipo le campagne colturali, comunicare coi propri macchinari ed inviare le mappe di prescrizione dei lavori. Inoltre per ogni appezzamento si possono salvare diversi dati come mappe di resa, mappe di prescrizione e analisi del suolo. È stato recentemente implementato anche un quaderno di campagna compilabile in formato digitale e una sezione dedicata ai resoconti di spesa.



Figure 6 Mappa di prescrizione di semina del mais

Campagna 2023											
CAMPO	AREA, HA	COLTURA	VARIETÀ	COLTURE PERENNI	DATA DI SEMINA	DATA DI RACCOLTA	RESA	YIELD UNIT	PRODOTTI ORGANICI	RESIDUI COLTURALI	
<input type="checkbox"/> arquà polesine	3.882	Grano duro	LG Belakis	×	2022-10-14	2023-06-22	48	q/ha	×	—	
<input type="checkbox"/> CAMPO MARTA	0.994	—	—	×	—	—	—	—	×	—	
<input type="checkbox"/> concadrame 1	3.834	Soia	P21T45	×	2023-04-13	2023-10-02	4.5	q/ha	✓	Interrati	
<input type="checkbox"/> congregazione	13.828	Soia	—	×	—	—	—	—	×	Interrati	
<input type="checkbox"/> congregazione	13.828	Soia	P21T45	×	2023-04-13	2023-10-02	4.5	q/ha	✓	Interrati	
<input type="checkbox"/> congregazione	13.828	Soia	—	×	—	—	—	—	×	Interrati	
<input type="checkbox"/> luca16	2.605	Soia	P21T45	×	2023-06-01	2023-10-06	4	q/ha	×	Interrati	
<input type="checkbox"/> luca28	3.388	Soia	P21T45	×	2023-06-01	2023-10-06	4	q/ha	×	Interrati	
<input type="checkbox"/> luca 1	0.28	Soia	P21T45	×	2023-06-01	2023-10-07	4	q/ha	×	Interrati	
<input type="checkbox"/> luca 2	0.515	Soia	P21T45	×	2023-06-01	2023-10-07	4	q/ha	×	Interrati	
<input type="checkbox"/> luca 3	0.813	Soia	P21T45	×	2023-06-01	2023-10-07	4	q/ha	×	Interrati	

Figure 7 Informazioni digitali campagna colturale 2023

Tramite lo scambio dati tra il gestionale e la macchina operatrice avviene una comunicazione continua di informazioni e compiti di lavoro. Il requisito fondamentale per far avvenire lo scambio dati è che la macchina operatrice sia dotata di SIM telefonica connessa ad internet e che ci sia il collegamento diretto, o attraverso drive terzi (come Agrirouter), al gestionale. I dati acquisiti dalla lavorazione derivano dai sensori situati sulla macchina operatrice e sulla motrice, i quali forniscono informazioni che viaggiano nel corpo macchina tramite collegamenti CAN-BUS e ISO-BUS. La foto sottostante mostra nel resoconto ISO-BUS i numerosi dati che vengono registrati da ogni lavorazione. Tra i dati più importanti si trovano le linee guida della macchina, i consumi reali e geolocalizzati di gasolio, i giri motore, la profondità di lavoro dell'attrezzo e tutti i tempi effettivi e tempi morti di lavoro.

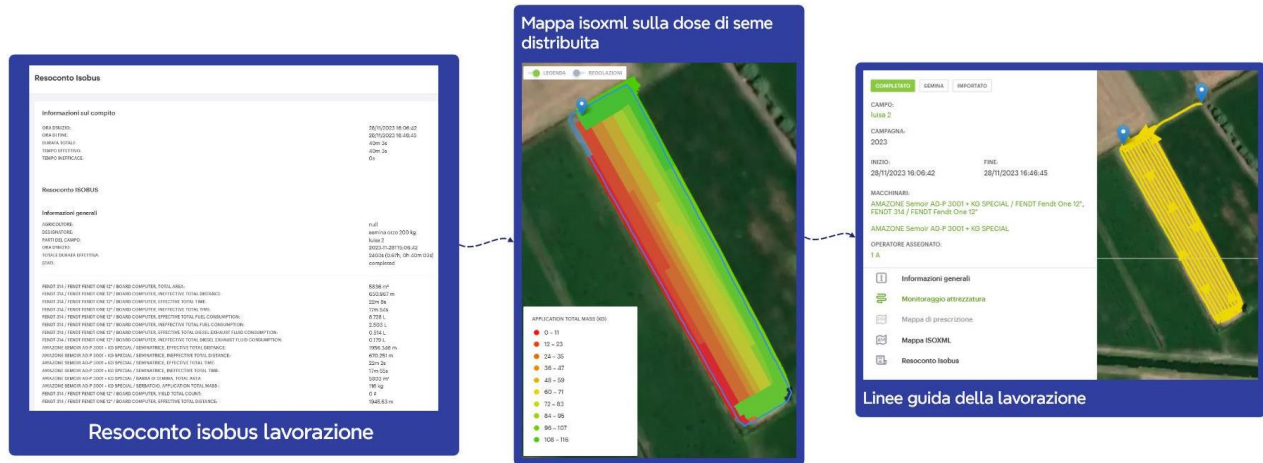


Figure 8 Diverse tipologie di dati trasmessi da una sola lavorazione

### 3.2 Gestione e Monitoraggio dei costi

È noto che le aziende agricole redigono con difficoltà il proprio bilancio di spesa; le cause vengono attribuite alla mancanza di dati o personale e all'ampia variabilità dei prezzi delle materie prime. La mancata consapevolezza dello stato del proprio bilancio economico è spesso la causa di arretratezza tecnologica e impedisce la programmazione di investimenti futuri. A tal proposito, nel gestionale di MyEasyFarm si è cercato di portare un sistema che fornisca una rendicontazione delle spese sostenute basandosi sui dati reali importati dallo scambio dati delle macchine agricole. Per far questo risulta necessario inserire manualmente i costi orari o per ettaro di lavoro, per ciascuna macchina. Durante il periodo di sperimentazione sono stati ricavati tutti i prezzi d'acquisto delle operatrici e trattrici. Per ogni macchina operatrice sono state applicate le formule teoriche di calcolo per determinare i costi fissi annuali e i costi variabili orari, calcolati sui 170 ettari totali dell'azienda agricola. Per determinare i costi fissi annui delle macchine motrici si è risalito alle ore annuali di lavoro effettive, attraverso piattaforme digitali di telemetria, se le macchine erano connesse, in caso contrario è stata eseguita una stima delle ore lavorate annualmente. Nel calcolo dei costi variabili orari sono stati utilizzati dei coefficienti per la manutenzione e il consumo di olio, mentre per il consumo gasolio sono stati utilizzati i dati reali derivanti dal report di telemetria.

Grazie a questi sistemi digitali di telemetria, si possono verificare da remoto tutti i dati e i parametri di lavoro della macchina in tempo reale e non, come mostrato nella figura sottostante (vedi fig. 9). Tutte le voci di costo calcolate insieme al prezzo al litro del gasolio e al costo orario della manodopera, sono state inserite nel gestionale, ottenendo così dei resoconti economici delle

lavorazioni; come mostrato nella figura sottostante (vedi fig. 10). Le rendicontazioni delle spese possono essere calcolate per singolo campo, o per la singola lavorazione, o per singolo periodo dell'anno. Inoltre, possono essere aggiunti manualmente i costi dei vari input agronomici utilizzati, come semi o concimi.

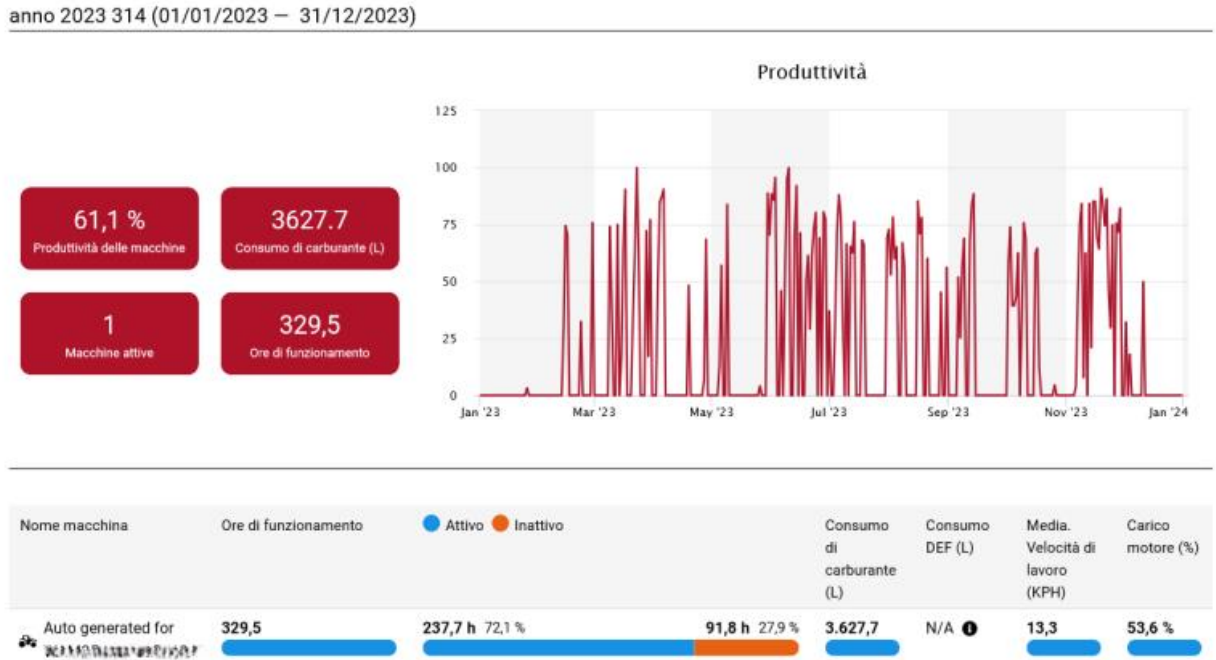


Figure 1 Resoconto anno 2023 macchina motrice





Figure 2 Resoconto spese delle lavorazioni esclusi i costi per sementi e concimi

### 3.3 MyEasyCarbon: cos'è e come si posiziona sul mercato

MyEasyCarbon è un sottoprodotto dell'azienda francese MyEasyFarm: è un MRV che permette di monitorare, redigere, verificare e calcolare le emissioni e gli stoccaggi di carbonio nel suolo, derivanti dalle pratiche colturali e dalle scelte agronomiche attuate nell'azienda agricola. La metodologia di lavoro con questo MRV digitale consiste in un calcolo iniziale delle emissioni e degli stoccaggi di carbonio nel suolo, al fine di ottenere una base di partenza; per farlo vengono inseriti i seguenti dati: contenuto di carbonio nel suolo; contenuto di argilla, azoto e  $\text{CaCO}_3$  nel suolo; pH del suolo e tutte le rotazioni colturali eseguite nel triennio precedente l'anno di inizio studio. Per ogni coltura inserita devono essere dichiarate le rese ottenute e tutte le lavorazioni del suolo eseguite, le concimazioni e i trattamenti. In merito alle condizioni climatiche, vengono inclusi i dati riguardanti le temperature annuali medie, sia massime che minime, e le precipitazioni medie annuali.

Una volta eseguita l'analisi, il software permette di generare delle simulazioni di rotazioni colturali ipotetiche di durata quinquennale; ad ogni simulazione vengono dichiarate nuovamente le rese ipotetiche per coltura e le modalità di lavorazione del suolo, insieme a tutte le concimazioni e i trattamenti. Prima di impostare le rotazioni colturali, vengono attivate delle leve: queste svolgono un ruolo molto importante perché la loro attivazione comporta un impegno da parte dell'azienda nell'eseguire concretamente le pratiche agricole selezionate, ai fini di migliorare il contenuto di carbonio nel suolo, produrre crediti di carbonio reali e ottenere la certificazione per permetterne la vendita. È importante che le leve vengano scelte a seconda delle strategie colturali che l'azienda

vuole intraprendere nei successivi cinque anni. Qui sotto sono elencati i vari ambiti agronomici per i quali si trovano diversi tipi di leve:

- 1) migliorare l'efficienza delle concimazioni azotate e minerali: le leve riguardano l'uso di inibitori della nitrificazione, rotazioni colturali di specie azotofissatrici, utilizzare DSS, impiegare tipologie di concimi a lento rilascio, adottare sistemi di concimazione rateo-variabili, interrare i concimi distribuiti, adattare le concimazioni da eseguire in funzione delle condizioni climatiche presenti e somministrare le corrette dosi di input in funzione delle asportazioni reali avute;
- 2) migliorare i consumi energetici delle lavorazioni: le leve afferiscono l'adozione di pratiche di semina diretta o minima lavorazione, l'utilizzo di sistemi di guida automatici per ridurre i consumi e le sovrapposizioni, la riduzione dei consumi derivanti da sistemi di irrigazione e dai sistemi di essiccazione, monitorare l'umidità del prodotto in campo per eseguire raccolte col minore tasso di umidità possibile;
- 3) migliorare lo stoccaggio di carbonio: le leve adottate concernono la restituzione dei residui colturali, l'inserimento di prati permanenti, l'utilizzo o l'incremento di ammendanti organici, la produzione elevata di biomassa delle cover crop.

L'impiego di MyEasyCarbon sul mercato è possibile in tre ambiti di mercato:

- 1) permette il monitoraggio delle emissioni dalle cooperative agroalimentari o industrie del settore secondario, consentendo all'azienda di ottenere anche una tracciabilità del prodotto e di fare stime produttive;
- 2) come piattaforma MRV per monitorare le emissioni in progetti di agricoltura rigenerativa;
- 3) viene utilizzato per generare crediti di carbonio reali e verificabili, compatibili con diversi sistemi di certificazione come: Verra, Gold Standard, Label bas Carbone. I crediti di carbonio calcolati vengono generati solo se dalle simulazioni di MyEasyCarbon si ha uno stoccaggio maggiore di carbonio nel suolo, rispetto l'analisi iniziale. Questi crediti vengono valutati in tonnellate equivalenti per ettaro di CO<sub>2</sub>.

Come mostrato nella figura sottostante, nel 2024, sui mercati nazionali e internazionali, sono numerose le aziende che lavorano nel settore del carbon farming.

## CarbonAg/RegenAg landscape



Figure 11 Aziende presenti sul mercato che lavorano col carbon farming e agricoltura rigenerativa

### 3.4 L' algoritmo di lavoro di MyEasyCarbon

Il modello di calcolo di MyEasycarbon si basa sul documento del LabelBasCarbone (Soenen, n.d.)- Baptiste Soenen, Morgane Henaff, Hélène Lagrange, Edouard Lanckriet, Anne Schneider, Remy Duval, Jean-Louis Streibig, 2021. Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures (version 1.0). 133p. Una premessa importante riguarda la sigla RE la quale, nei calcoli sottostanti, si riferisce alle quantit  di gas serra di cui si sono evitate le emissioni o per la quale sono avvenuti sequestri o riduzioni. In questa prima formula viene mostrato il calcolo delle emissioni generali di gas serra attraverso la sommatoria delle emissioni create selezionando le leve.

$$RE = RE_{emissions} + RE_{stockage} + RE_{aval}$$

- Le emissioni RE, sono quelle derivanti dalle riduzioni delle emissioni di processi produttivi a monte della coltivazione (in teqCO<sub>2</sub>);
- Le emissioni RE (stockage) di stoccaggio riguardano le riduzioni delle emissioni associate allo stoccaggio di carbonio nel suolo (in teq CO<sub>2</sub>);
- Le emissioni RE a valle (aval), sono le emissioni indirette a valle dell'azienda che riguardano l'essiccazione (in teq CO<sub>2</sub>e);

Per ogni parametro RE possono essere applicati degli sconti in %, questi dipendono dal metodo di raccolta dei dati e dalla necessità di precisione.

Nella riga sottostante si trova l'equazione che spiega il calcolo delle RE a monte della produzione (RE emissions):

$$RE_{emissions} = RE_{fertilisation} + RE_{combustibles} + RE_{séchage\ stockage}$$

Un aspetto da non sottovalutare riguardo le RE di stoccaggio e le RE di emissione è il fatto che queste possono essere positive o negative e devono essere calcolate in ogni caso: questo perché la somma di RE stoccaggio e RE emissioni permette di stimare il bilancio netto delle riduzioni delle emissioni (stoccaggio di carbonio + emissioni RE). Tuttavia, il calcolo del RE a valle risulta facoltativo. Le emissioni RE riguardano le emissioni trattenute dalla leva denominata “fertilizzazioni minerali e organici”, la quale comprende anche i combustibili fossili associati a macchinari, irrigazione, impianti di essiccazione e stoccaggio.

- RE fertilisation riguarda le RE derivanti dalle concimazioni
- RE combustibles riguarda le RE da combustibili fossili delle macchine e dall'irrigazione
- RE séchage/stockage riguarda le RE trattenute dai consumi energetici di stoccaggio

Se l'azienda non utilizza la leva riguardante la riduzione delle emissioni da stoccaggio queste possono essere seguite manualmente o il parametro può essere annullato. Sottostanti sono presenti le singole formule per il calcolo di ciascun parametro:

$$RE_{fertilisation} = \sum_{i=1}^n * \sum_{k=1}^p * (Emissions\_ha\_ferti\_ref_i - Emissions\_ha\_ferti\_Projet_{i,k})$$

$$Emissions\_ha\_ferti\_ref_i = \left[ \sum_{k=3}^{-1} = \frac{EGES\_fertilisation_{i,k}}{Surf_{i,k}} \right] * \frac{1}{3}$$

$$Emissions\_ha\_ferti\_Projet_{i,k} = \frac{EGES\_fertilisation_{i,k}}{Surf_{i,k}}$$

- $Emissions\_ha\_ferti\_ref_i$ : emissioni di gas serra (dirette e indirette) per ettaro di SAU del sistema colturale nella simulazione (teqCO<sub>2</sub>/ha);
- $Emissions\_ha\_ferti\_Projet_{i,k}$ : emissioni di gas serra (dirette e indirette) per ettaro di SAU del sistema colturale dell'anno in corso (teqCO<sub>2</sub>/ha);
- $Surf_{i,k}$ : la superficie agricola utilizzata dal sistema colturale nella simulazione di progetto;

- n: il numero di sistemi colturali presenti in azienda (intesi come gruppo di campi differenti o tipologia di coltivazione);
- p: durata del progetto (5 anni);
- $EGES\_fertilisation_{i,k}$ : le emissioni di gas serra (dirette e indirette) associate alla fertilizzazione del sistema colturale nell'anno considerato. Comprendono le emissioni dirette di N<sub>2</sub>O nel campo e le emissioni indirette di N<sub>2</sub>O come volatilizzazione e la lisciviazione, nonché le emissioni associate alla produzione e al trasporto degli input per la fertilizzazione delle colture (teqCO<sub>2</sub>);
- k: l'anno di calcolo.

Il calcolo di EGES fertilisation (emissioni di gas a effetto serra nell'anno k) è il seguente:

$$\begin{aligned}
 & EGES\_fertilisation_{i,k} \\
 &= \left[ \left[ (N_2O\_directes_{i,k} + N_2O\_volatilisation_{i,k} + N_2O\_lixiviation_{i,k}) * \frac{44}{28} \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. * PRG_{N_2O} \right] + CO_2\_directes_{i,k} + GES\_amont\_min_{i,k} + GES\_amont\_org_{i,k} \right] \\
 & \quad /1000
 \end{aligned}$$

Le emissioni dirette di N<sub>2</sub>O sono associate alla concimazione minerale, alla concimazione organica, ai residui colturali e all'azoto mineralizzato del suolo. Vengono espresse in kg N<sub>2</sub>O-N e l'equazione è la seguente:

$$\begin{aligned}
 & N_2O\_directes_{i,k} \\
 &= [(QN\_min_{i,k} + (QN\_inhib_{i,k} * C\_inhibiteur)) * EF1\_min] \\
 & \quad + ((QN\_org_{i,k} + (QN\_org\_inhib_{i,k} * C\_inhibiteur) + QN\_résidus_{i,k} \\
 & \quad + QN\_minéralisé_{i,k}) * EF1\_org)] * C\_chaulage_{i,k}
 \end{aligned}$$

- $QN\_min_{i,k}$ : la quantità di azoto fornita dai fertilizzanti minerali (senza inibitori della nitrificazione) nel sistema colturale i nell'anno k in kg di azoto;
- $QN\_inhib_{i,k}$ : la quantità di azoto fornita dai fertilizzanti minerali combinati con inibitori della nitrificazione nel sistema colturale i nell'anno k in kg di azoto;
- $QN\_org_{i,k}$ : la quantità totale di azoto fornita da fertilizzanti organici nel sistema colturale nell'anno k in kg di azoto;
- $QN\_org\_inhib_{i,k}$ : la quantità totale di azoto fornita da fertilizzanti organici con l'aggiunta di inibitori della nitrificazione nel sistema colturale i nell'anno k in kg di azoto;

$-QN\_résidus_{i,k}$ : la quantità di azoto fornita dai residui colturali fuori suolo e sotto suolo nel sistema colturale i nell'anno k (in kg di N). I residui colturali dell'anno K vengono calcolati sommando i residui colturali annuali e quelli delle colture intermedie come mostrato nella formula sottostante:

$$QN\_résidus_{i,k} = QN\_résidus\_CA_{i,k} + QN\_résidus\_CI_{i,k} + QN\_résidus\_CD_{i,k} - QN\_résidus\_CA_{i,k}$$

$QN\_résidus\_CA_{i,k}$ : quantità di azoto contenuta nei residui della coltura annuale del sistema colturale i nell'anno in corso k; vengono calcolate nel seguente modo:

$$QN\_résidus\_CA_{i,k} = \sum_{j=1}^m * [AG\_DM_{j,i,k} * (1 - FRAC\_export_j) * N\_AG_i + (RDT_{j,i,k} + AG\_DM_{j,i,k}) * RS_j * N\_BG_i] * Surf_{j,i,k}$$

- m: il numero di colture annuali nel sistema colturale nell'anno k;

$-AG\_DM_{j,i,k}$ : la quantità di sostanza secca nei residui aerei della singola coltura in kg DM/ha;

$-FRAC\_export_j$ : la frazione di residui aerei esportati dalla coltura considerata (j). Ad esempio, per il grano, se i residui rimangono sull'appezzamento  $FRAC\_export = 0$ , se vengono esportati, allora  $FRAC\_export = 50\%$ ;

$-N\_AG_i$ : il contenuto di azoto dei residui aerei della coltura j in % della sostanza secca;

$-RS_j$ : il rapporto tra i residui delle colture radicali e la biomassa fuori terra della coltura considerata (j) (si vedano le tabelle nell'Appendice 4);

$-N\_BG_i$ : il contenuto di azoto dei residui sotterranei della coltura considerata J (si vedano tabelle in Appendice 4);

$-Surf_{j,i,k}$ : la superficie della coltura j coltivata nel sistema colturale i nell'anno in corso k.

In merito ai residui colturali bisogna ricordare due casi particolari:

1) barbabietole e patate, dove la quantità di azoto nei residui è fissata a 140 kg N/ha per le barbabietole e 40 kg N/ha per le patate (*fonte: GES'TIM+, 2020*);

2) colture consociate, dove la coltura maggioritaria raccolta è considerata l'unica coltura annuale presente nell'appezzamento; la resa associata alla coltura associata deve quindi corrispondere alla resa cumulativa delle due colture se vengono raccolte separatamente

-  $QN\_résidus\_CI_{i,k}$ : rappresenta la quantità di azoto contenuta nei residui colturali delle colture intermedie, del sistema colturale i nell'anno in corso k (in kg N) e vengono calcolati così:

$$QN\_résidus\_CI_{i,k} = \sum_{j=1}^m * [BIOM_{j,i,k} * N_{AG_{j,i,k}} * Coef_{Racinaire_j} * 1000] * Surf_{j,i,k}$$

- m: il numero di specie di colture intermedie nel sistema colturale i nell'anno in corso k;

-  $BIOM_{j,i,k}$ : la biomassa in sostanza secca prodotta dalla specie considerata (j) nel sistema colturale i nell'anno in corso k (in tonnellate di DM/ha).

Nei casi in cui i dati non siano direttamente accessibili o conosciuti in tonnellate di sostanza secca, si suggerisce di adottare il Metodo MERCI che permette di convertire la sostanza verde asportata (MV in g/unità di superficie) in sostanza secca (DM in tonnellate/ha) in base alla durata della coltivazione della coltura intercalare.

-  $N_{AG_{j,i,k}}$ : il contenuto di azoto della specie considerata (j) nel sistema colturale i nell'anno in corso k (in %). Il contenuto di azoto delle specie varia in base alla quantità di biomassa prodotta dalla specie;

-  $Coef_{Racinaire_j}$ : il coefficiente di correzione dell'azoto radicale per la specie j (nessuna unità);

-  $Surf_{j,i,k}$ : la superficie della specie j seminata nel sistema colturale i nell'anno k (in ettari).

-  $QN\_résidus\_CD_{i,k}$ : è la quantità di azoto contenuta nei residui delle colture intercalari o delle colture utilizzate a fini energetici, nel sistema colturale i nell'anno in corso k (in kg N); essa è determinata secondo la seguente equazione :

$$QN\_résidus\_CD_{i,k} = \sum_{j=1}^m * [AG\_DM_{j,i,k} * (1 - FRAC\_export_j) * N\_AG_i + (RDT_{j,i,k} + AG\_DM_{j,i,k}) * RS_j * N\_BG_j] * Surf_{j,i,k}$$

-  $FRAC\_export_j$ : la frazione di residui aerei esportati dalla coltura considerata (j);

-  $N\_AG_i$ : il contenuto di azoto dei residui aerei della coltura, j in % della sostanza secca (si vedano tabelle in Appendice 4);

-  $RS_j$ : il rapporto tra i residui delle colture radicali e la biomassa fuori terra della coltura j (si vedano le tabelle in nell'Appendice 4);

- $N_{BG_j}$ : il contenuto di azoto dei residui sotterranei della coltura j, in % (si vedano tabelle in Appendice

- $Surf_{j,i,k}$ : la superficie della coltura j, coltivata nel sistema colturale i nell'anno in corso k.

$QN_{minéralisé_{i,k}}$  è la quantità di azoto mineralizzato dalla perdita di carbonio organico nei suoli minerali (legata a un cambiamento di uso del suolo o ad una modifica delle pratiche colturali), nel sistema colturale i nell'anno in corso k (in kg N). Questo termine dell'equazione viene calcolato solo nei casi in cui la perdita di carbonio organico sia basata sul sistema colturale utilizzando il metodo per calcolare lo stoccaggio di RE. In questo caso

$QN_{minéralisé_{i,k}} = QC_{minéralisé_{i,k}} * 1/R * 1000$  (IPCC, 2019), con  $QC_{minéralisé_{i,k}}$  pari alla perdita media annuale di carbonio dal sistema colturale (in ton C/anno), e R come il rapporto C/N della materia organica del suolo. R=10 viene considerato nel caso di perdite di carbonio legate a cambiamenti nelle pratiche colturali (IPCC 2019).

$C_{inhibitor}$  rappresenta il coefficiente di riduzione per le emissioni associate agli inibitori della nitrificazione, con un valore teorico di 0,8 (secondo Pellerin et al., 2013). Secondo una meta-analisi sugli inibitori dove sono state eseguite misurazioni effettuate in diversi mesi nell'anno dopo l'applicazione dei fertilizzanti, si ottiene una maggiore riduzione pari a circa il 50% del potenziale delle emissioni dirette di  $N_2O$  (da -55% a -42%), (Akiyama et al., 2010).

-  $EF1_{min}$ : il fattore di emissione per le fonti di azoto minerale;  $EF1_{min} = 0,016$  kg  $N_2O$ -N/kg

-  $EF1_{org}$ : il fattore di emissione per le fonti di azoto organico;  $EF1_{org} = 0,006$  kg  $N_2O$ -N/kg N

-  $C_{chaulage_{i,k}}$ : il coefficiente di riduzione per le emissioni dirette di  $N_2O$  sul sistema colturale studiato nell'anno in corso k, nel caso di mobilitazione della leva "Liming acid soils (initial pHwater < 6,8 to reach pHwater=6,8)" deve essere utilizzata un'altra formula.

$N_2O_{volatilisation_{i,k}}$  indica le emissioni indirette di protossido di azoto associate alla volatilizzazione sotto forma di  $NH_3$  sul sistema colturale nell'anno in corso k (kg di  $N_2O$ -N). Queste vengono calcolate nel seguente modo:

$$N_2O_{volatilisation_{i,k}} = \sum_{l=1}^o * \left[ \left( (QN_{min_{l,i,k}} + QN_{inhib_{l,i,k}}) * Frac_{GAZF_l} \right) + (Q_{org_{l,i,k}} * Frac_{GAZM_l}) \right] * EF4$$



-  $QN_{min_{l,k}}$ : quantità di azoto fornita dai fertilizzanti minerali l (esclusi gli inibitori della nitrificazione), sul sistema colturale i nell'anno k (in kgN)

-  $QN_{inhib_{l,i,k}}$ : quantità di azoto fornita dai concimi minerali l (compresi inibitori della nitrificazione), sul sistema colturale i nell'anno in corso k (in kgN)

-  $Frac_{GAZF_l}$ : tasso di volatilizzazione e rideposizione dei fertilizzanti minerali l (in kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizzati/kg di N fornito); questo tasso dipende dal tipo di fertilizzante applicato e da eventuali metodi di interrimento del fertilizzante. La tabella di riferimento utilizzata per definire  $Frac_{GAZF_l}$  in base al tipo di fertilizzante è riportata nell'Appendice 3.

-  $Q_{org_{l,i,k}}$ : la quantità di fertilizzante organico l applicato al sistema colturale i nell'anno k (in tonnellate o m<sup>3</sup>);

-  $Frac_{GAZM_l}$ : tasso di volatilizzazione e rideposizione dei prodotti organici l (in kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizzati/kg di input N). Questo tasso dipende dal contenuto di azoto ammoniacale dell'input organico i (TAN), dal suo fattore di volatilizzazione e dalle condizioni di spandimento (attrezzature e al tempo di interrimento):

$$Frac_{GAZM_l} = TAN_l \times F_{volatilizzazione_l} \times FA_{materiale/ritardo_l}$$

-  $F_{volatilizzazione_l}$ : fattore di volatilizzazione dell'apporto organico l (in kg N-NH<sub>3</sub>/TAN);

-  $FA_{matériale/ritardo_l}$ : fattore di abbattimento associato al metodo di spargimento e di interrimento e al tempo di interrimento;

- EF4: fattore di emissione dovuto alla deposizione atmosferica di azoto su suoli e superfici acquatiche; viene proposto di default dall'IPCC 2019, ovvero EF4 = 0,01 kg N<sub>2</sub>O-N/kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizzato.

$N_2O_{leaching_{i,k}}$  sono le emissioni indirette di protossido di azoto associate alla lisciviazione dell'azoto sotto forma di NO<sub>3</sub> sul sistema colturale i nell'anno in corso k (kg N<sub>2</sub>O-N) e sono determinate secondo la seguente equazione:

$$N_2O_{lixiviation_{i,k}} = \left( QN_{min_{i,k}} + QN_{inhib_{i,k}} + QN_{org_{i,k}} + QN_{résidus_{i,k}} + QN_{minéralisé_{i,k}} \right) * Frac_{LESS} * EF5$$

-  $QN_{min_{i,k}}$ : la quantità di azoto fornita dai fertilizzanti minerali, sul sistema colturale i nell'anno in corso k (in kgN);

- $QN_{org_{i,k}}$ : la quantità di azoto fornita dai fertilizzanti organici, sul sistema colturale i nell'anno in corso k (in kgN).

- $QN_{résidus_{i,k}}$ : la quantità di azoto fornita dai residui colturali nel sistema colturale i nell'anno in corso k (in kgN).

- $QN_{minéralisé_{i,k}}$ : la quantità di azoto fornita dalla mineralizzazione basale del suolo sul sistema colturale i nell'anno in corso k (in kgN).

-  $Frac\_LESS$ : tasso di lisciviazione dell'azoto nel suolo con  $FRAC\_LESS = 0,24$  kg N lisciviato / kg N fornito (valore predefinito proposto dall'IPCC 2019). Gli sviluppatori dei progetti possono utilizzare un tasso di lisciviazione diverso, sulla base dei dati provenienti dagli strumenti di supporto alle decisioni implementati nell'azienda agricola o utilizzando la griglia COMIFER (2001), che valuta il rischio di lisciviazione in funzione della coltivazione.

-EF5: fattore di emissione per la lisciviazione dell'azoto.  $EF5 = 0,011$  kg N<sub>2</sub>O-N/kg di lisciviazione di  $NCO_{2directes_{i,k}}$  sono le emissioni dirette di anidride carbonica associate all'applicazione di prodotti a base di  $CaCO_3$  sul sistema colturale i nell'anno in corso k (kg eq CO<sub>2</sub>), determinate secondo la seguente equazione:  $CO_{2directes_{i,k}} = D_{p_{i,k}} * t_C * FC_C - CaCO_3 * FC_{CO_2} - C$

- $D_{p_{i,k}}$ : dose di carbonato di calcio ( $CaCO_3$ ) applicata al sistema colturale i nell'anno in corso k (in kg);

- $t_C$ : contenuto di carbonio del prodotto applicato che rimane nel suolo,  $t_C = 0,75$  (sintesi tra IPCC e West et al. al. suggerita da IPCC 2019 = 2006);

-  $FC_C - CaCO_3$ : indica il fattore di conversione  $CaCO_3$ - $CaCO_3$ ,  $FC_C - CaCO_3 = 12/100$ ;

-  $FC_{CO_2} - C$ : il fattore di conversione da C a CO<sub>2</sub>,  $FC_{CO_2} - C = 44/12$ .

Il calcolo delle emissioni dirette di CO<sub>2</sub> associate all'applicazione di prodotti a base di  $CaCO_3$  è facoltativo e deve essere inserito nella simulazione solo se è attivata la leva "Calcicare sui suoli acidi", in caso contrario l'applicazione di prodotti a base di  $CaCO_3$  non cambierà.

-GHG\_amont\_min i,k: emissioni associate alla produzione di fertilizzanti minerali ed ammendanti calcarei, alle loro materie prime e al loro trasporto(kg eq CO<sub>2</sub>). Sono determinate secondo la seguente formula:

$$\begin{aligned}
&GES\_amont\_min_{i,k} \\
&= \sum_{l=1}^o * [(Q\_engrais\_simple_{l,i,k} * FE_l) + (QN\_engrais\_bin_{l,i,k} * FE_{N_l}) \\
&+ (QP\_engrais\_bin_{l,i,k} * FE_{P_l}) + (QK\_engrais\_bin_{l,i,k} * FE_{K_l}) \\
&+ (Q\_VN_{l,i,k} * FE_{VN_l})]
\end{aligned}$$

- $Q\_engrais\_simple_{l,i,k}$ : quantità di nutrimento fornita dal concime minerale semplice l sul sistema colturale i nell'anno in corso k (in kg di nutrimento);

- $FE_l$  fattore di emissione associato al fertilizzante minerale semplice l per kg di nutrimento per una fornitura media ad ettaro (vedi tabella in Appendice);

- $QN\_engrais\_bin_{l,i,k}$ : quantità di nutriente N fornita dal fertilizzante minerale binario o ternario l sul sistema colturale i nell'anno in corso k (in kg di sostanza nutritiva);

-  $FE_{N_l}$ : fattore di emissione associato al fertilizzante minerale binario o ternario l per kg di elemento N (si veda tabella in Appendice 3);

- $QP\_engrais\_bin_{l,i,k}$ : quantità di nutrimento  $P_2O_5$  fornita dal concime minerale binario o ternario l sul sistema colturale i nell'anno in corso k (in kg di nutrimento);

- $FE_{P_l}$ : fattore di emissione associato al concime minerale binario o ternario l per kg di  $P_2O_5$ (si veda tabella in Appendice 3);

- $QK\_engrais\_bin_{l,i,k}$ : la quantità di nutriente  $K_2O$  apportata dal fertilizzante binario o ternario l sul sistema colturale;

- $FE_{K_l}$ : fattore di emissione associato al fertilizzante minerale binario o ternario l per kg di  $K_2O$ ;

- $Q\_VN_{l,i,k}$ : quantità di valore neutralizzante fornito dall'ammendante di base l (calce viva, carbonato di calcio) o da alcuni prodotti organici (fanghi di zuccherificio), sul sistema colturale nell'anno in corso k (in kg di valore neutralizzante). Il calcolo di  $Q\_VN_{l,i,k}$  è opzionale e viene calcolato nell'analisi e nella simulazione solo se è attivata la leva "Calcare i terreni acidi".

- $FE_{VN_l}$ : fattore di emissione associato all'emendamento di base l per kg di valore neutralizzante.

GHG\_ amont\_ org i,k sono le emissioni associate alla produzione di fertilizzanti organici, compresa la generazione di materie prime (come compost o fertilizzanti); la produzione del concime organico non viene presa in considerazione nelle emissioni assieme al trasporto, trattamento e

stoccaggio, che sono considerate rifiuti, sul sistema colturale i nell'anno in corso k (kg eq CO<sub>2</sub>). Inoltre non vengono incluse le emissioni tra il luogo di produzione e l'appezzamento agricolo in cui viene sparso il letame.

$$ES_{\text{amont\_org}_{i,k}} = \sum_{l=1}^o * [Q_{\text{org}_{l,i,k}} * FE_{\text{MAFOR}_l}]$$

-  $Q_{\text{org}_{l,i,k}}$ : quantità di fertilizzante organico l applicato al sistema colturale i nell'anno in corso k (in tonnellate o m<sup>3</sup>);

-  $FE_{\text{MAFOR}_l}$ : fattore di emissione associato al fertilizzante organico per tonnellata o m<sup>3</sup> di prodotto grezzo; tratto dal progetto MAFOR LCA (Avadi et al., 2020).

Il RE dei combustibili corrisponde alla riduzione delle emissioni tramite le leve “combustibili fossili” per i macchinari e l'irrigazione.

$$RE_{\text{combustibles}} = \sum_{k=1}^p * (\text{Intensité}_{\text{comb ref}} - \text{Intensité}_{\text{comb Projet}(k)}) * \text{Surf}(k)$$

$$\text{Intensité}_{\text{comb ref}} = \left[ \sum_{k=-3}^{-1} * \frac{(EGES_{\text{combustibles}(k)})}{\text{Surf}(k)} \right] * \frac{1}{3}$$

$$\text{Intensité}_{\text{comb Projet}(k)} = \frac{EGES_{\text{combustibles}(k)}}{\text{Surf}(k)}$$

-  $\text{Intensité}_{\text{comb ref}}$ : emissioni di gas serra (dirette e indirette) associate ai combustibili fossili (macchinari e irrigazione) per ettaro di SAU aziendale (teq CO<sub>2</sub>/ha);

-  $\text{Intensité}_{\text{comb Projet}(k)}$ : emissioni di gas serra (dirette e indirette) associate ai combustibili fossili (macchinari e irrigazione) nell'anno in corso k della SAU dell'azienda agricola (teq CO<sub>2</sub>/ha);

- Surf (k): la superficie agricola utile dell'azienda nell'anno in corso k del progetto;

- p: durata del progetto, p=5;

-  $EGES_{\text{combustibles}(k)}$ : emissioni di gas serra (dirette e indirette) associate ai combustibili fossili (macchinari e irrigazione) dell'azienda agricola nell'anno in corso k (in teq CO<sub>2</sub>);

- k: l'anno del calcolo.

La voce EGES combustibili raggruppa le emissioni associate all'utilizzo e alla produzione di combustibili fossili nell'azienda. Questa include il combustibile utilizzato per le macchine agricole e il combustibile utilizzato per il funzionamento dell'impianto di irrigazione. Le emissioni associate a combustibili utilizzati per il funzionamento degli impianti di essiccazione o di

stoccaggio sono valutate separatamente. Le emissioni associate al consumo di combustibili fossili possono essere valutate utilizzando diversi metodi di calcolo in base al tipo di operazione e alla sua capacità di isolare “facilmente” il consumo effettivo di combustibili (carburante, olio motore). I metodi B e C prevedono uno sconto da applicare alle RE dei carburanti per la maggiore incertezza dei dati di input, inoltre con questi metodi i dati di consumo sono ricavati da stime basate su consumi misurati o dichiarazioni di interventi. Il metodo basato sul consumo effettivo di combustibili fossili (metodo A) viene utilizzato in situazioni in cui l'azienda agricola dispone solo di un'unica unità di produzione di colture in campo, e in cui il consumo effettivo registrato nell'azienda (in base alle fatture) corrisponde al consumo di carburante reale consumato. Il metodo basato sul consumo effettivo di combustibili fossili (metodo A) viene utilizzato in situazioni in cui l'azienda agricola dispone solo di un'unità di produzione di colture in campo e in cui il consumo effettivo registrato nell'azienda (in base alle fatture) corrisponde al consumo totale di carburante. Il calcolo delle emissioni di gas a effetto serra nell'anno in corso  $k$  associate al carburante e all'irrigazione (t CO<sub>2</sub> eq) segue la formula sottostante:

$$EGES_{combustibles}(k) = \sum_{i=1}^n * [(Consumption(i) - Q_{pour tiers}(i) + Q_{presentations}(i)) * FE(i)]$$

-  $n$ : numero di combustibili fossili utilizzati nel sistema di coltivazione per i macchinari e l'irrigazione (ad esempio, gasolio non stradale per i macchinari e olio combustibile per le pompe termiche);

-  $Consumption(i)$ : consumo di combustibile fossile  $i$  nell'anno in corso  $k$  per macchinari e irrigazione (litri/anno);

-  $Q_{pour tiers}(i)$ : la quantità di combustibile fossile  $i$  nell'anno in corso  $k$  associata a operazioni effettuate per conto di terzi (litri RNG/anno);

-  $Q_{presentations}(i)$ : la quantità di combustibile fossile  $i$  nell'anno in corso  $k$  associata agli interventi effettuati sul sistema colturale da parte di terzi (litri RNG/anno);

-  $FE(i)$ : fattore di emissione diretta e indiretta del combustibile fossile  $i$  (teq CO<sub>2</sub>/litro).

Il metodo B si applica alle aziende agricole non specializzate in seminativi; per queste aziende agricole, il consumo effettivo di carburante registrato in azienda non corrisponde al consumo legato alla coltivazione dei seminativi; la tracciabilità degli interventi non è disponibile per gli anni

passati, il che rende impossibile ricalcolare il consumo storico sulla base degli interventi. In questo caso, si consiglia di utilizzare il metodo illustrato nella guida GES"TIM+, che sulla base dei rapporti e dei consumi totali di carburante registrati in azienda, isola la quota legata al consumo di carburante legati ai seminativi.

Il metodo C viene applicato alle aziende agricole non specializzate in seminativi. Tuttavia, per queste aziende agricole è disponibile la tracciabilità delle operazioni per gli anni passati e per gli anni del progetto, il che consente di isolare i consumi legati ai seminativi. Il calcolo delle emissioni di gas a effetto serra nell'anno in corso  $k$  associate al combustibile e all'irrigazione per il sistema colturale  $i$ , (t CO<sub>2</sub> eq), è il seguente:

$$EGES_{combustibles}(k) = EGES_{combustibles_{engins}}(k) + EGES_{combustibles_{irrigation}}(k)$$

$EGES_{combustibles_{engins}}(k)$ : le emissioni legate al consumo di combustibili fossili da parte delle macchine agricole nell'anno in corso  $k$  per il sistema colturale (in teq CO<sub>2</sub>/anno);

$EGES_{combustibles_{irrigation}}(k)$ : le emissioni legate al consumo di energia per l'irrigazione nell'anno in corso  $k$  (in teq CO<sub>2</sub>/anno).

L'RE essiccazione/stoccaggio corrisponde alle riduzioni delle emissioni dirette e indirette di gas serra rese possibili dal minore consumo energetico per l'essiccazione (sèchage) e lo stoccaggio (stockage) dei prodotti agricoli. Il calcolo di questo termine è facoltativo e deve essere effettuato solo se l'azienda agricola mette in atto leve per ridurre il consumo energetico.

$$RE_{sèchage/stockage} = RE_{sèchage\ ferme} + RE_{stockage\ ferme}$$

Le RE per l'essiccazione in azienda corrispondono alle riduzioni delle emissioni dirette e indirette di gas serra insieme alle emissioni indirette di gas serra a monte della produzione, ottenute implementando le leve "Combustibili fossili" dell'essiccazione. La seguente equazione spiega come avviene il calcolo delle RE per l'essiccazione:

$RE_{séchage\ ferme}$

$$= \sum_{j=1}^m * \left[ \sum_{k=1}^p * \left[ \left( Intensité\ séchage_{ref\ j} * FE_{énergie_{ref}} * tonnage\ séché_j(k) \right) - Conso\ séchage_{Projet\ j}(k) * FE_{énergie_{Projet}} \right] \right]$$

- j: la coltura nel calcolo;

- m: il numero di colture essiccate nell'azienda del progetto (tutte le colture essiccate nell'azienda devono essere incluse nel calcolo);

- k: l'anno del calcolo;

- p: la durata del progetto;

- p=5 massimo;

-  $Intensité\ séchage_{ref\ j}$ : consumo di energia per l'essiccazione della coltura j, per quintale di grano (in unità di energia / quintale di grano bagnato). Questo indicatore è calcolato nei tre anni precedenti sulla base di tutte le tonnellate essiccate:

-  $FE_{énergie_{ref}}$ : il fattore di emissione (diretto e indiretto) dell'energia utilizzata per l'essiccazione del grano in simulazione (in teq CO<sub>2</sub>/unità di energia);

-  $tonnage\ séché_j(k)$ : volume di produzione essiccato per la coltura j nell'anno in corso k (in quintali umidi);

-  $Conso\ séchage_{Projet\ j}(k)$ : consumo di energia per l'essiccazione della produzione della coltura j nell'anno in corso k (in unità energetiche);

-  $FE_{énergie_{Projet}}$ : il fattore di emissione diretto e indiretto per l'energia utilizzata per l'essiccazione dei grani (in teq CO<sub>2</sub>/unità di energia);

Le RE di stoccaggio in azienda corrispondono alle riduzioni delle emissioni dirette e indirette di gas serra associate agli impianti di stoccaggio in azienda in teq CO<sub>2</sub>.

$RE_{stockage\ ferme}$

$$= \sum_{j=1}^m * \left[ \sum_{k=1}^p * \left[ \left( Intensité\ stockage_{ref\ j} * FE_{énergie_{ref}} * tonnage\ stocké_j(k) \right) - Conso\ stockage_{Projet\ j}(k) * FE_{énergie_{Projet}} \right] \right]$$

- j: la coltura nel calcolo; m: il numero di colture immagazzinate nell'azienda (tutte le colture immagazzinate nell'azienda devono essere incluse nel calcolo);

- k: l'anno del calcolo;

- p: la durata del progetto;

- p=5 massimo;

-  $Intensité\ stockage_{ref\ j}$ : consumo energetico per lo stoccaggio della coltura j per quintale di produzione (in unità di energia/quintale). Questo indicatore è calcolato sui tre anni precedenti sul totale delle tonnellate stoccate;

-  $FE_{énergie_{ref}}$ : il fattore di emissione (diretto e indiretto) dell'energia utilizzata per stoccare la produzione per i 3 anni precedenti (in teqCO2/unità di energia);

-  $tonnage\ stocké_j(k)$ : volume di produzione stoccato nell'anno in corso k (in quintali);

-  $Conso\ stockage_{Projet\ j}(k)$ : consumo di energia per lo stoccaggio della produzione del raccolto j nell'anno in corso k (in unità energetiche);

-  $FE_{énergie_{Projet}}$ : fattore di emissione diretta e indiretta dell'energia utilizzata per lo stoccaggio delle emissioni (in teq).

Calcolo delle RE a valle dell'azienda agricola:

I RE a valle corrispondono alle riduzioni delle emissioni indirette di gas a effetto serra legate a valle dell'azienda agricola. Ad ora vengono coinvolte solo le leve che interessano la riduzione delle emissioni derivanti dallo stoccaggio, ma in un secondo momento verranno proposti aggiornamenti per includere l'effetto di utilizzo della biomassa nei biomateriali e la produzione di materie ricche di proteine per l'alimentazione animale. Riguardo la leva dello stoccaggio vengono premiati maggiormente gli agricoltori che raccolgono le loro colture con un contenuto di umidità il più



possibile vicino al parametro di riferimento, al fine di limitare il consumo di energia per l'essiccazione.

$$RE_{aval} = RE_{séchage OS}$$

$$RE_{séchage OS} = \sum_{j=1}^m * \left[ \sum_{k=1}^p * [(Conso\_séchage_{ref j} - Conso\_séchage_{projet j}(k)) * tonnage séché_j(k) * FE_{gaz naturel}] \right]$$

- j: la coltura per il calcolo;
- m: il numero di colture essiccate dalle O.d.S;
- k: l'anno del calcolo;
- p: la durata del progetto, p=5 massimo;
- $Conso\_séchage_{ref j}$ : consumo energetico per l'essiccazione delle colture della coltura j per tonnellata di grano bagnato nello scenario di riferimento (in unità di kWh);
- $Conso\_séchage_{projet j}(k)$ : consumo energetico per l'essiccazione della produzione della coltura j per tonnellata di grano bagnato nell'anno in corso k (in unità di kWh);
- $tonnage séché_j(k)$ : volume della produzione essiccata del raccolto j nell'anno in corso k (in tonnellate umide);
- $FE_{gaz naturel}$  : fattore di emissione diretto e indiretto per il gas naturale (teqCO2/kg di gas naturale).

Lo scopo della stima delle RE di stoccaggio è quello di determinare lo stoccaggio di carbonio dall'atmosfera, per ciascuno dei sistemi colturali valutati. Per valutare questo effetto, vengono studiate le differenze di stoccaggio di carbonio tra la simulazione e l'analisi di riferimento.

$$RE_{stockage} = Delta\_StockC * a$$

- $RE_{stockage}$ : valore della riduzione delle emissioni dallo stoccaggio del carbonio nel suolo; valore positivo o negativo, espresso in ton eq CO<sub>2</sub>;
- $Delta\_StockC$ : valutazione della variazione del contenuto di carbonio rispetto all' analisi (in tonnellate di C);

- a: fattore di conversione tonnellate di C in  $\text{teqCO}_2$ ;  $a = 44/12$  (IPCC, 2019).  
Il gruppo di lavoro nello studio di (Yogo et al, INRAE, 2020) permette di stimare e tenere conto delle diverse quantità di carbonio stoccate in funzione delle leve attivate (Delta\_StockC).

Appendice 3: LBC\_Methode GC\_Annexe03\_referentiel engrais.xlsx

Appendice 4: LBC\_Methode GC\_Annexe04\_referentiel cultures.xlsx

## 4. Obiettivo della tesi

Con il presente lavoro si è inteso valutare l'efficienza di calcolo e di utilizzo del prodotto digitale MyEasyCarbon (prodotto interno dell'azienda MyEasyFarm). Sono state poi svolte delle valutazioni agronomiche ed economiche sull'impronta carbonica e sulla produzione di crediti di carbonio dei singoli appezzamenti dell'azienda presa in esame; all'interno di questa azienda sono stati analizzati e comparati due sistemi colturali (sistema colturale biologico e convenzionale).

Per questo studio sono stati eseguiti monitoraggi di dati agronomici per più di un anno in un'azienda agricola estensiva nel rodigino, in due appezzamenti di 17 ettari ciascuno, uno condotto con metodo biologico e uno con metodo convenzionale. Inoltre, tra un ciclo colturale e l'altro sono stati effettuati dei campionamenti reali di suolo, per poter verificare tramite analisi in laboratorio, se i valori di carbonio organico rilevati dal software fossero attendibili e congrui con quelli reali. Con questo studio si è voluto fornire possibili indicazioni preliminari per eventuali futuri approfondimenti.

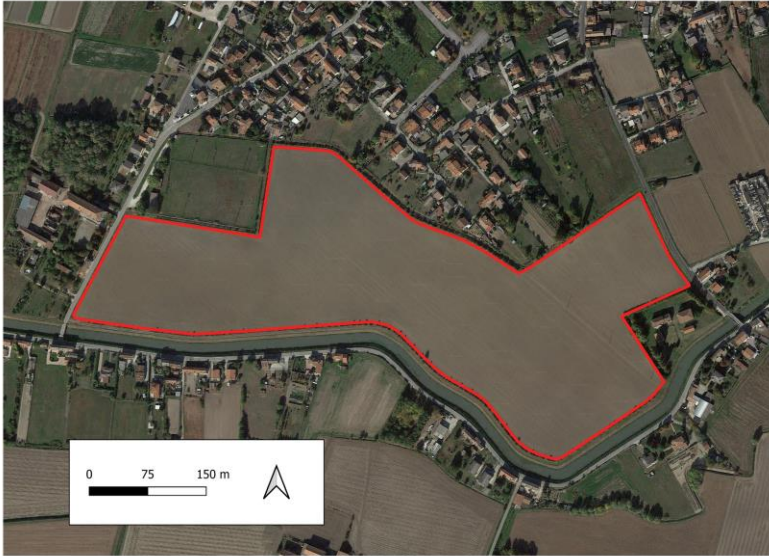
Il software MyEasyFarm è stato utilizzato per monitorare le lavorazioni e utilizzare i diversi sistemi di agricoltura di precisione nell'azienda; inoltre sono state implementate funzioni inerenti la stima dei costi delle lavorazioni e l'analisi dei tempi di lavoro.

## **5. Materiali e metodi**

### **5.1 L'azienda Agricola**

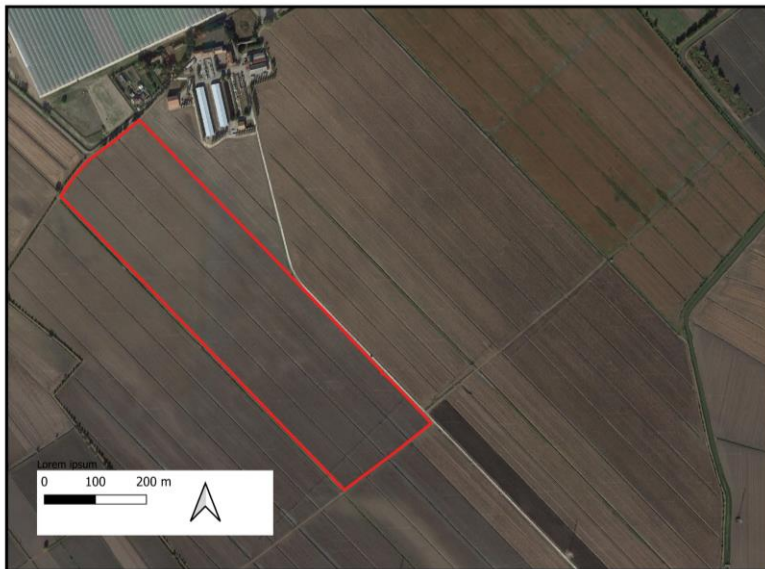
L'azienda agricola Geremia San Marco viene gestita da Luca Geremia, il titolare, ed insieme a lui collaborano nell'azienda tre operai. L'azienda è di tipo estensivo atta alla produzione di cereali, i cui terreni interamente di proprietà, si estendono per una superficie totale di 170 ettari di cui 17 condotti con metodo biologico. Gran parte di questi terreni sono locati a Boara Polesine (RO) dove sono accorpati in un blocco unico con sistemazione idraulico agraria alla ferrarese. Ogni parcella varia in lunghezza tra i 500 e gli 800 metri lineari e in larghezza tra i 40 e 55 metri lineari. Inoltre tutti i terreni dell'azienda agraria sono irrigabili attraverso sistemi semoventi quali ranger o irrigatori semoventi a naspo. I cereali prodotti sono orzo, grano tenero, colza, soia e mais da granella. Negli ultimi anni l'azienda si sta orientando anche verso l'affitto di terreni a ditte sementiere per prove parcellari di nuove varietà di mais.

Riguardo le rotazioni adottate, solitamente viene eseguita un rotazione triennale con cereale autunno vernino, seguita da una coltura da rinnovo ed infine una leguminosa. Negli ultimi cinque anni ci si è orientati verso l'impiego di colture di copertura come la senape bianca. Grazie al vasto e moderno parco macchine cui dispone l'azienda vengono raccolti ed elaborati molti dati di diverse lavorazioni, e solo la trebbiatura viene eseguita da contoterzisti. Fino a dicembre 2023, per dieci anni, tutti i terreni presenti a Boara Polesine venivano gestiti solamente in minima lavorazione (agricoltura blu) ma ad ora, sotto scelta dell'agricoltore, verranno eseguite lavorazioni periodiche se necessario.



*Figure 12* Appezamento coltivato con metodo biologico

Nell'immagine viene raffigurato il confine dell'appezzamento condotto con metodo biologico. Situato nella frazione di Concadirame (RO), si estende per circa 15 ettari e presenta una tessitura fortemente sciolta di costituzione sabbiosa-limosa.



*Figure 13* Appezamento coltivato con metodo convenzionale

Nell'immagine viene raffigurato il confine dell'appezzamento situato nel blocco unico a Boara Polesine. I quattro appezzamenti presi in esame presentano tessitura molto variabile: a nord un impasto argillo-limoso del suolo e verso sud un impasto prettamente limoso.

## 5.2 Dati raccolti per il calcolo dell'impronta carbonica iniziale

Per entrambi i sistemi colturali (biologico e convenzionale) sono state calcolate le emissioni e gli stoccaggi iniziali di carbonio nel suolo per avere così un punto di partenza. I dati raccolti e inseriti in MyEasyCarbon hanno riguardato il triennio precedente all'anno di inizio sperimentazione, nello specifico dall'anno 2020 al 2022. I dati riguardavano:

- dati meteorologici sulle precipitazioni annuali, la temperatura media dell'aria e valori indicativi di evapotraspirazione totale annuale;
- la tessitura dei terreni, il contenuto di sostanza organica, pH medio, contenuto di carbonio e di azoto;
- i piani di concimazione;
- i cicli colturali;
- tutte le lavorazioni colturali e trattamenti fitosanitari registrati.

Per risalire ai dati riguardanti i cicli colturali e i piani di concimazione sono stati utilizzati i registri di concimazione e le domande PAC eseguite. Riguardo le lavorazioni del suolo sono stati recuperati i dati presenti nel gestionale MyEasyFarm, mentre per la analisi del suolo sono state esaminate delle analisi eseguite nel 2019. I dati meteorologici sono stati recuperati grazie ad una capannina meteorologica situata lungo il confine aziendale, di proprietà dell'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto).

Analizzando i dati meteorologici relativi alle precipitazioni si è riscontrata nel triennio una piovosità media annua di circa 470 mm. Eccetto l'anno 2022, nei mesi primaverili-estivi si sono sempre registrate precipitazioni con quantitativi modesti di acqua, come mostrato nella figura 14. Inoltre si identifica per l'anno 2020, come si siano verificate abbondanti piogge estive a differenza del 2022, quest'ultimo però caratterizzato da abbondanti precipitazioni nei mesi invernali. In merito alle precipitazioni medie annue (fig. 15) è da considerare che, seppure l'annata 2022 sia stata molto scarsa nelle precipitazioni estive, a livello cumulativo abbia rispettato i massimali di zona. I dati rilevati sulle temperature hanno dimostrato che un aspetto da non sottovalutare è il trend positivo che si percepisce osservando le temperature minime medie nel 2022. Quasi sempre sono state superiori rispetto le temperature minime medie del 2020 e 2021 (fig. 16). Lo stesso trend

si può notare nella figura sottostante (fig. 17) che raffigura l'andamento nel triennio delle temperature medie massime.

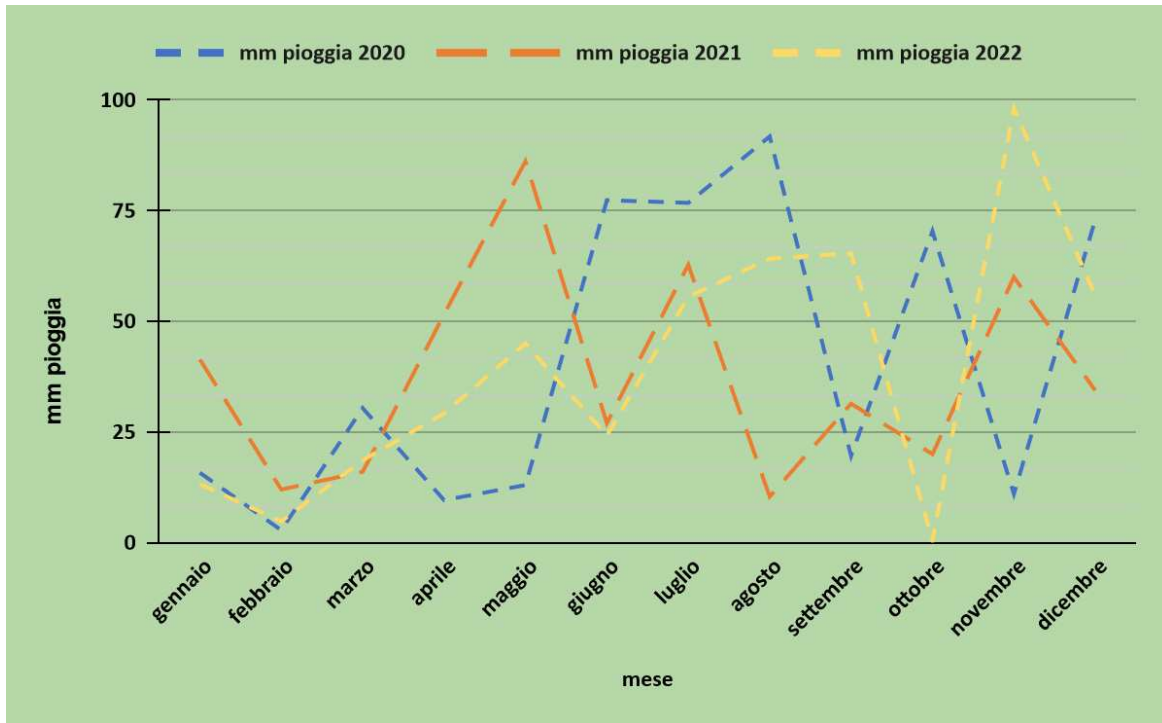


Figure 3 Precipitazioni registrate nel triennio 2020-2022 (Dati Meteorologici ARPAV, n.d.)

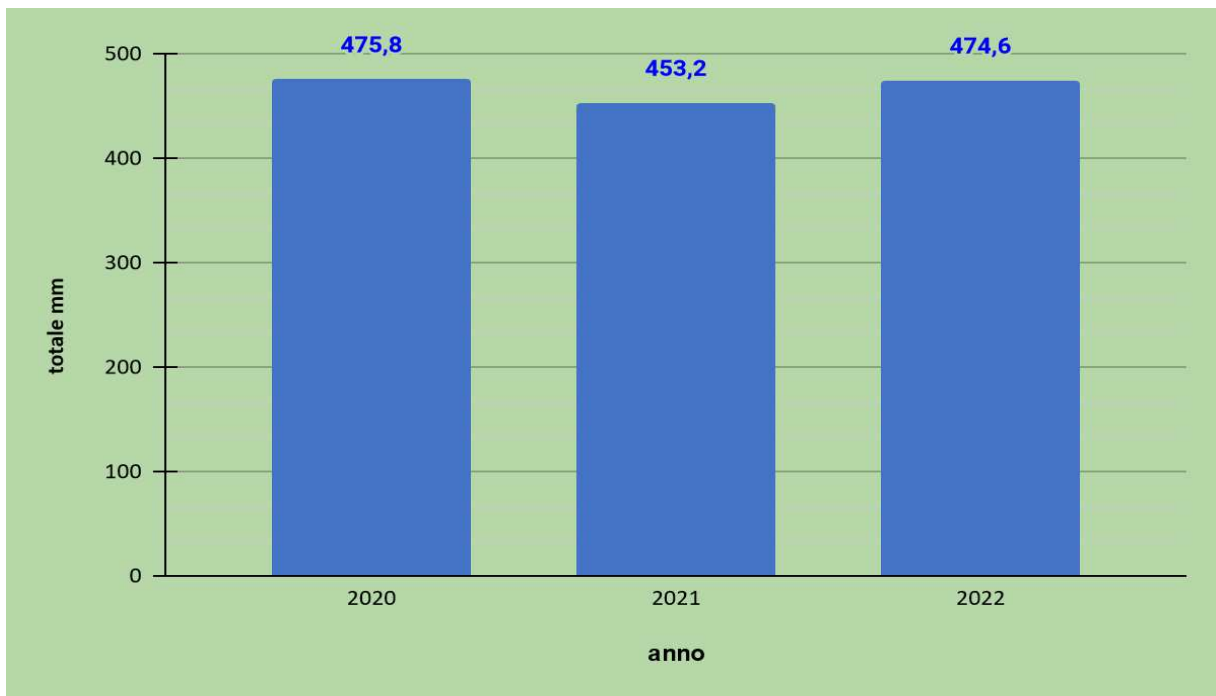


Figure 4 Comparazione della media annua delle precipitazioni nel triennio 2020-2022 (Dati Meteorologici ARPAV, n.d.)

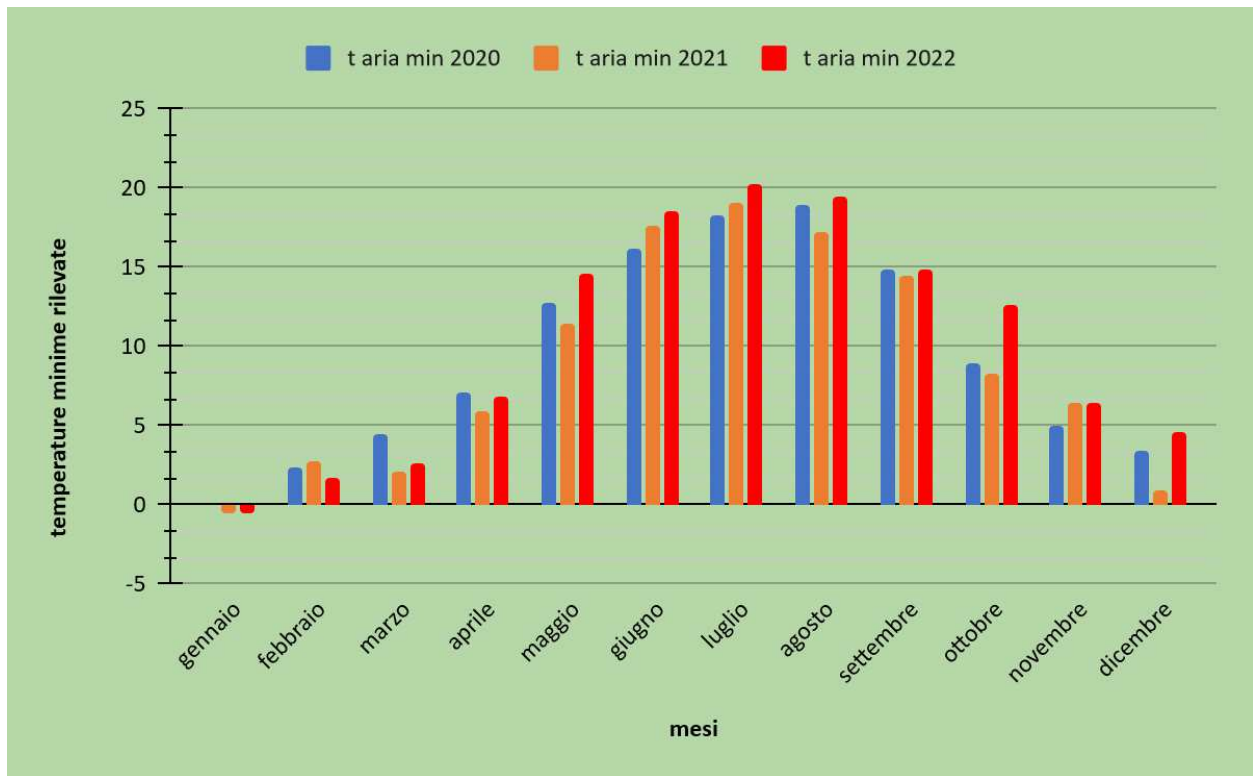


Figure 16 Grafico delle temperature minime del triennio 2020-2022 per ogni mese.(Dati Metereologici ARPAV , n.d.)

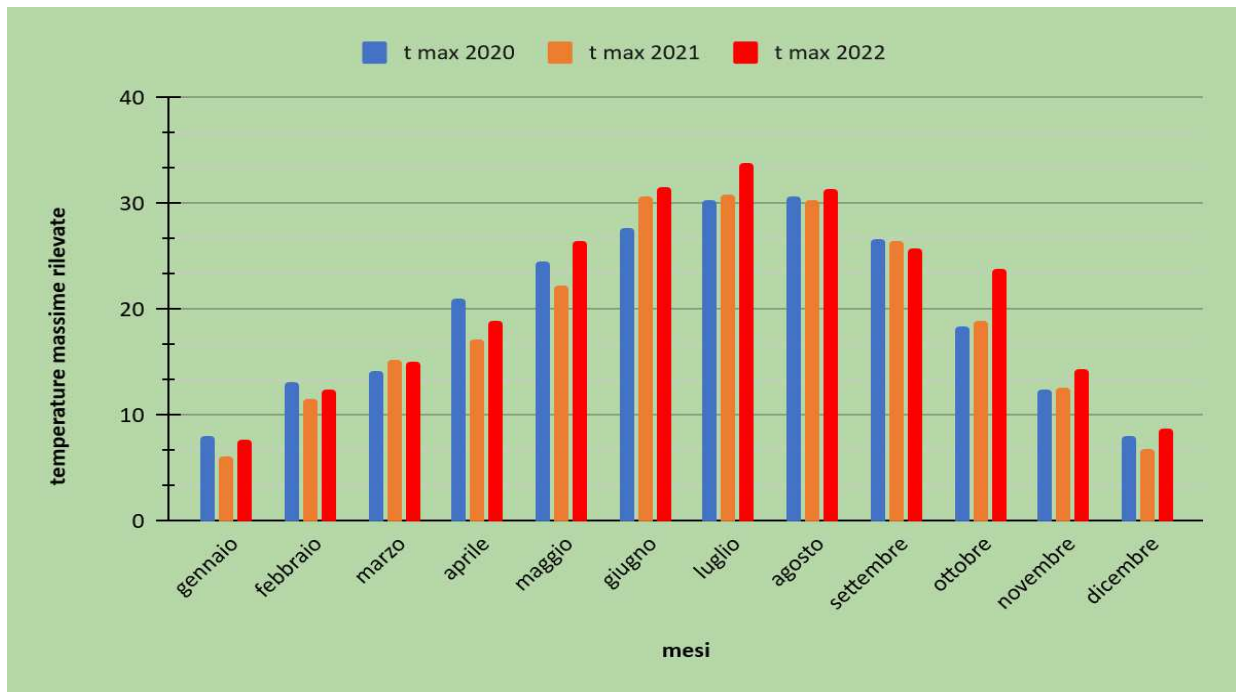


Figura 17 Grafico che raffigura le temperature massime del triennio 2020-2022 per ogni mese



Riguardo il suolo, i parametri valutati dalle analisi in possesso sono stati i seguenti:

1) La sostanza organica nei suoli ha un ruolo fondamentale. Il contenuto viene espresso in % e nei terreni coltivati odierni si presenta con valori massimi del 2-3%. La sostanza organica è un componente che, anche in piccole dosi, è capace di modificare enormemente le proprietà del suolo, influenzandone le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche. Il mantenimento di un buon livello di sostanza organica nei terreni coltivati è essenziale per conservare la fertilità. (*SOSTANZA ORGANICA, n.d.*)

La sostanza organica incrementa fisicamente la porosità dei terreni, la loro struttura e la loro capacità di trattenuta idrica. Chimicamente apporta micro e macro elementi migliorandone il potere tampone, mentre, da un punto di vista biologico presenta un ruolo essenziale per favorire l'attività dei microrganismi che mineralizzano la sostanza organica nel suolo. (*SOSTANZA ORGANICA, n.d.*)

Nell'appezzamento, come visibile in figura 18, la sostanza organica non segue una distribuzione omogenea. A sud-ovest troviamo quantitativi di molto superiori rispetto alle quantità dichiarate nell'area a nord, con una decrescita costante da nord verso sud. Se si volesse operare con concimazioni organiche rateo variabili, il cui fine sarebbe quello di correggere la variabilità presente, questa mappa potrebbe rappresentare un ottimo punto di partenza per l'analisi dati. Anche il contenuto di carbonio organico e l'argilla seguono la stessa tipologia di distribuzione della sostanza organica, questo perché i tre parametri sono fortemente correlati fra loro (vedi fig. 19 e 20).

## Sostanza organica (%)

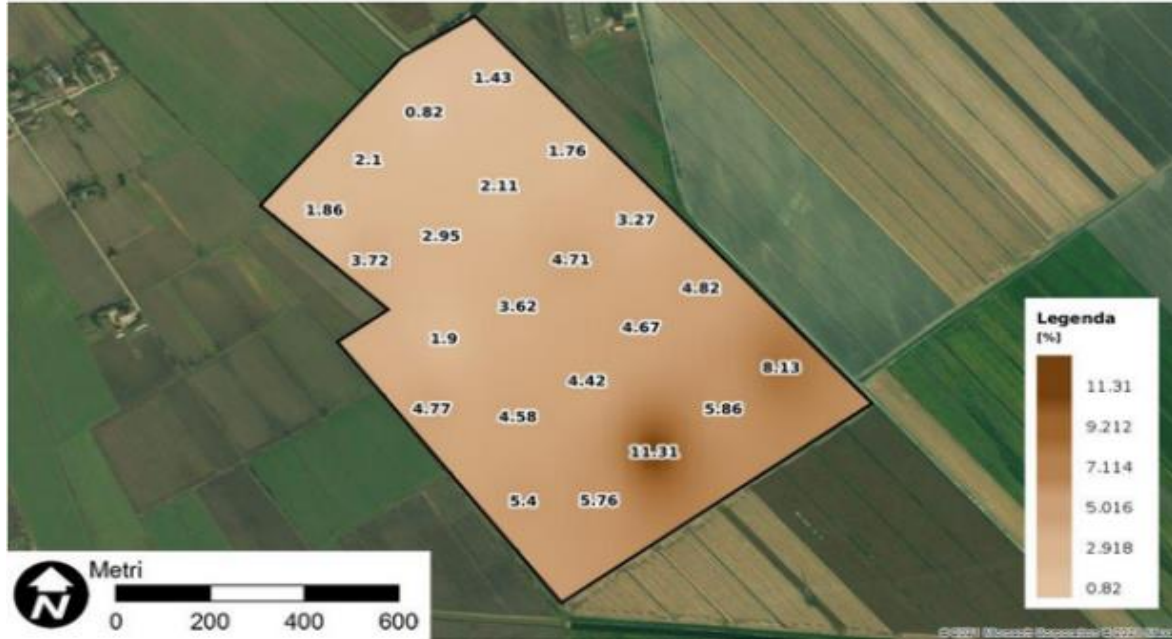


Figure 18 Mappa raffigurante la sostanza organica rilevata

2) Il carbonio nei suoli costituisce circa il 58% della sostanza organica presente. Esiste una correlazione diretta tra la quantità di sostanza organica nei suoli e la quantità di carbonio presente. Inoltre, attraverso la fotosintesi viene fissata nel suolo la  $CO_2$  in atmosfera attraverso i residui vegetali e gli essudati radicali che si degradano poi nel suolo come sostanza organica più o meno umidificata. (*Carbonio Organico, n.d.*)

Carbonio organico (%)



Figure 19 Mappa raffigurante il contenuto % di carbonio rilevato

3) Combinazioni differenti di argilla e limo nel suolo possono portare ad alterazioni della tessitura e delle proprietà chimiche, fisiche e biologiche del suolo. In natura l'argilla possiede forti proprietà colloidali e le singole particelle presentano alta carica elettrica permettendo così buona capacità di scambio cationico ed un buon contenuto nel suolo degli elementi minerali. Di contro, i suoli ricchi di argilla presentano maggiore asfissia e maggiore tenacità nelle lavorazioni. (*Terreno\_università, n.d.*)

Argilla (%)

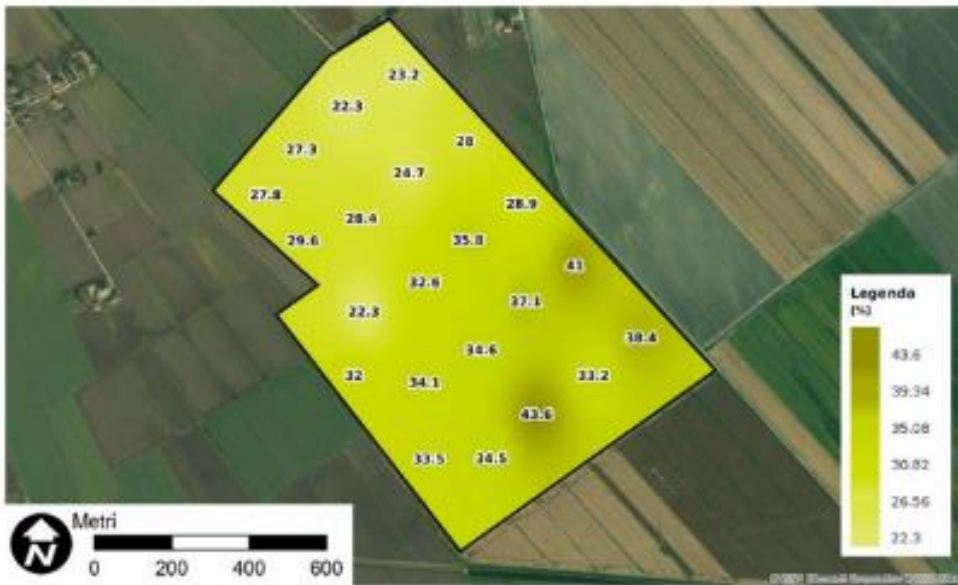


Figure 20 Mappa raffigurante il contenuto di argilla rilevato

Le analisi presenti hanno permesso l'acquisizione di dati solo dell'appezzamento condotto con metodo convenzionale. I dati del suolo relativi all'appezzamento condotto con metodo biologico, sono stati acquisiti basandosi su questo sito: <https://3msozzi.users.earthengine.app/view/ndvi--soil> non avendo a disposizione uno storico di analisi del suolo (*Earth Engine*, n.d.).

Attraverso le domande PAC si è risalito alle rotazioni colturali eseguite per ogni appezzamento. Nell'appezzamento condotto con metodo convenzionale si è coltivato mais e soia come cash crop e senape bianca come cover crop. Nell'appezzamento condotto con metodo biologico si sono susseguite in ordine: orzo, soia in secondo raccolto, soia di primo raccolto e colza. Di norma, le lavorazioni del suolo eseguite hanno interessato tutte pratiche associabili alla minima lavorazione.

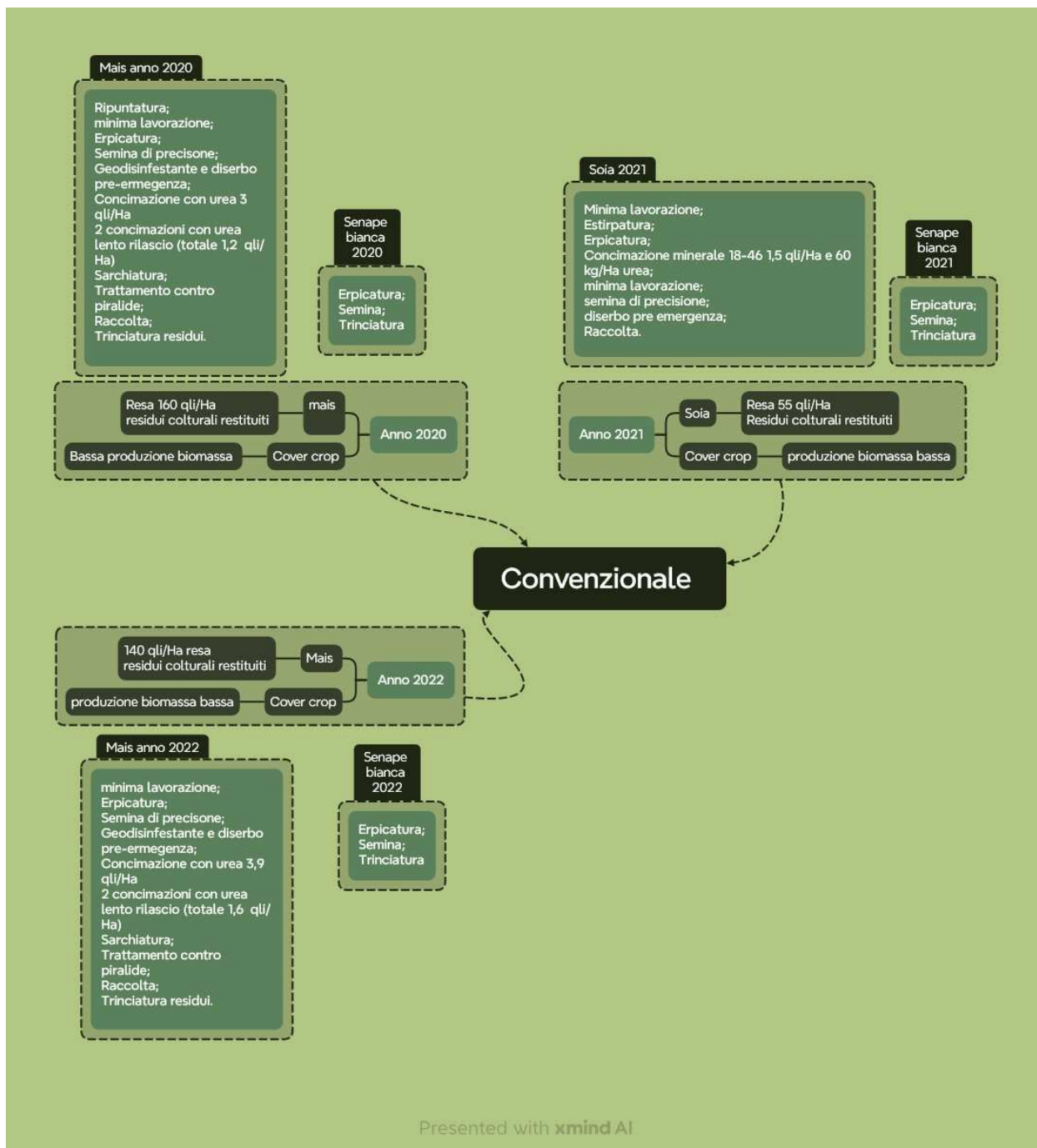
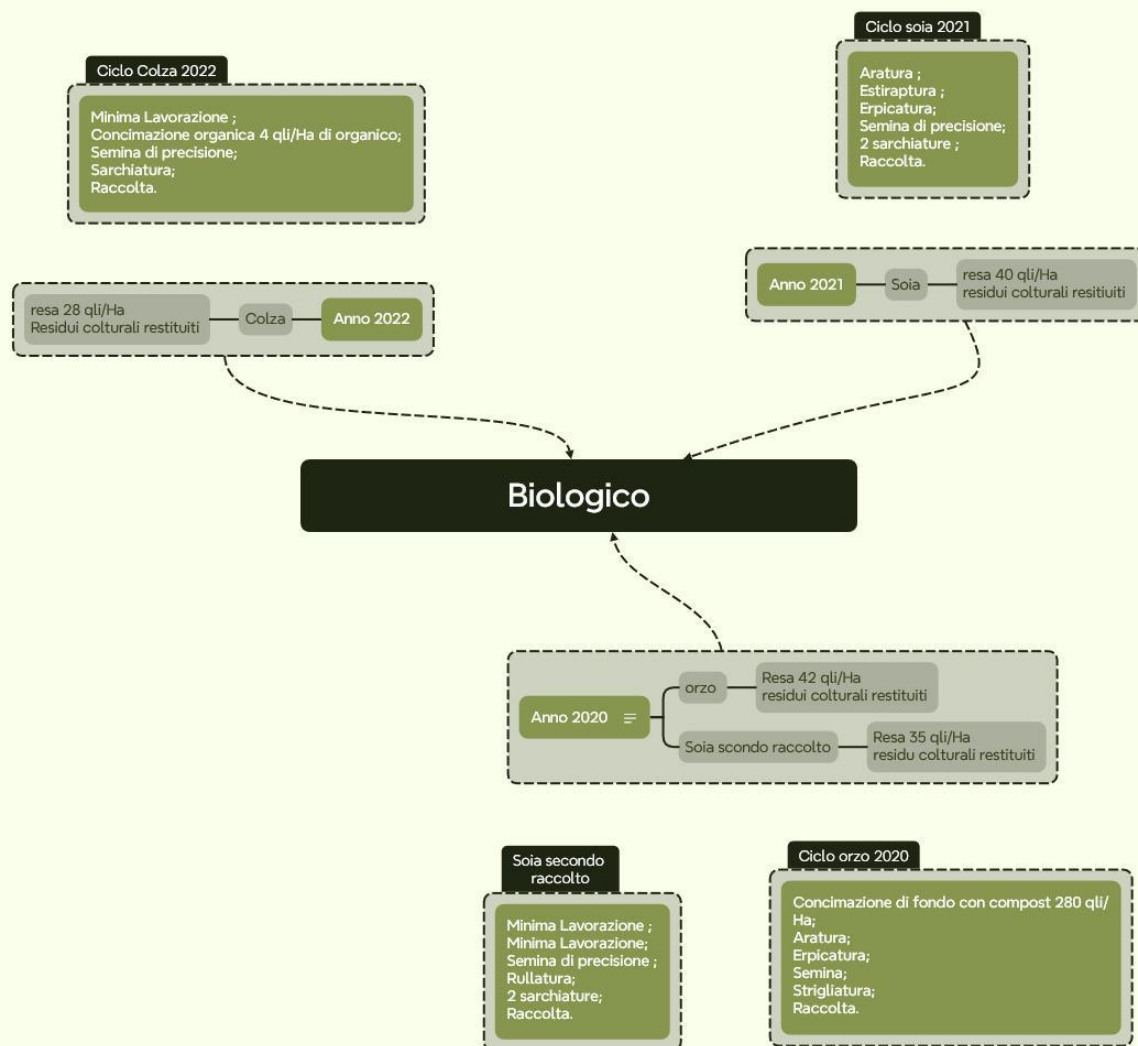


Figure 21 Graffico raffigurante tutte le operazioni, cicli colturali e rese nel triennio 2020-2022 in convenzionale

Nella figura sovrastante vengono raffigurate per ogni coltura le varie lavorazioni colturali, concimazioni ed eventuali trattamenti fitosanitari eseguiti. Come input chimico nel convenzionale prevale un uso massiccio di urea associato nei mesi invernali alla coltivazione di cover anche per contenere eventuali dilavamenti di azoto.



Presented with **xmind AI**

Figure 22 Grafico raffigurante tutte le operazioni, cicli colturali e rese nel triennio 2020-2022 in biologico

### 5.3 Elaborazione ed uso di varie mappe utilizzate

Per poter seguire al meglio le colture in campo nell'annata agraria 2023 e studiare la variabilità degli appezzamenti, da satellite sono state valutate periodicamente mappe di vigoria NDVI e a fine anno sono stati elaborate le mappe di resa.

L'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) è un indice ottenuto da dei sensori di tipo ottico che sfruttano l'energia elettromagnetica riflessa da vari oggetti e ne misurano le lunghezze d'onda riflesse. A seconda del numero di lunghezze d'onda che il sensore è in grado di recepire, i sensori ottici possono essere multispettrali o iperspettrali in funzione della loro precisione ed utilizzo (sensori multispettrali usati sulle macchine mentre gli iperspettrali su satelliti, droni o altro). Per ogni output energetico una parte dell'energia viene riflessa, una parte assorbita e una parte trasmessa, a seconda della superficie analizzata o dello stadio fenologico della pianta. Come illustrato nella figura 23, a seconda della fase fenologica e stato della foglia, si hanno risposte diverse di riflessione per ogni lunghezza d'onda (ad ogni lunghezza d'onda corrisponde uno spettro visivo differente).

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

### Vegetation Reflectance



Figure 53 Intensità delle singole lunghezze d'onda riflesse dalla foglia a diversi stadi fenologici

<https://www.agricolus.com/indici-vegetazione-ndvi-ndmi-istruzioni-luso/>

L'NDVI sulle colture viene calcolato facendo il rapporto della differenza tra le lunghezze d'onda responsabili del rosso e del vicino infrarosso. Più il valore è tendente ad 1 maggiore è la vigoria della coltura. Questo indice, permette di determinare la quantità di biomassa presente, e, in funzione della vigoria rilevata, si può andare a studiare la variabilità presente nell'appezzamento per poi creare mappe di prescrizione (solitamente per concimazioni di copertura). Attraverso l'analisi della vigoria presente si riesce a valutare la coltura anche per altre problematiche come lo stress idrico o attacchi di patogeni. Nelle figure 24 e 25 vengono rappresentati i grafici dell'NDVI della stagione 2023 di ogni appezzamento, ottenuti dal gestionale di MyEasyFarm. Durante l'annata venivano periodicamente monitorate le singole mappe NDVI per valutare la vigoria

colturale e monitorare possibili attacchi su soia di ragnetto rosso (*Panonychus ulmi*).

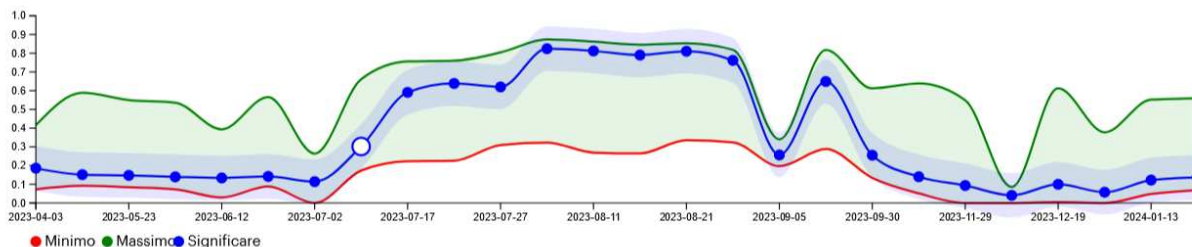


Figure 24 Grafico dell'NDVI rilevato da Sentinel 2, della coltura di soia, nel campo condotto con metodo biologico

In data 05/09 viene rilevato un abbassamento improvviso dell'NDVI, si pensa sia associato ad uno stress idrico.

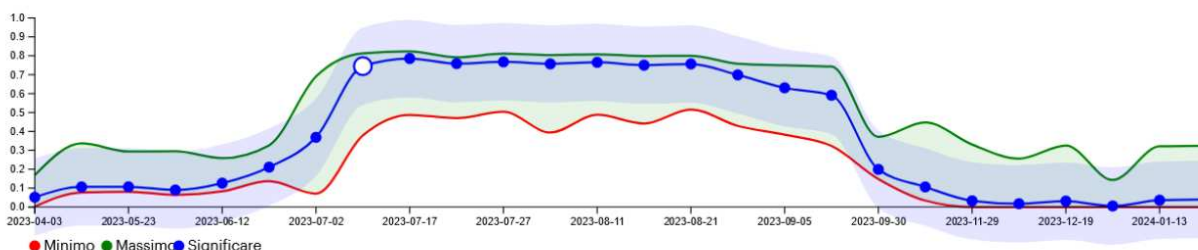


Figure 25 Grafico dell'NDVI rilevato da Sentinel 2, della coltura di soia, nel campo condotto con metodo convenzionale

In Ottobre la raccolta della soia è avvenuta tramite una macchina raccoglitrice in grado di elaborare mappe di resa. La raccolta è avvenuta in data 5/10/2023 con mietitrebbia John Deere s670i. La macchina raccoglitrice era dotata di:

- 1) sensore per il rilevamento dell'umidità della granella posizionato all'estremità di una catenaria a palette. È un sensore di tipo capacitivo che misura attraverso due piastre, la quantità di corrente che attraversa la granella. Maggiore è l'umidità della granella maggiore sarà il passaggio di corrente. (*Deere & Works, n.d.*)
- 2) sensori per la misura della larghezza effettiva di lavoro e il funzionamento della testata anteriore. Per misurare la larghezza effettiva di lavoro vengono comunemente installati sensori ad ultrasuoni mentre per il funzionamento della testata sono presenti dei sensori che rilevano la posizione dei pistoni che sollevano e abbassano la testata di raccolta.
- 3) sensore a piastre per determinare la resa della granella posizionato lungo il percorso per arrivare in tramoggia. È un sensore ad impatto che misura l'energia d'urto prodotta della granella sulla



piastra. La forza sulla piastra di impatto, varia in funzione della quantità di granella che attraversa la catenaria della granella pulita dalle calibrazioni.

4) sensore per misurare la velocità di avanzamento della macchina. Viene sfruttato il segnale GNSS che rileva la posizione della macchina periodicamente. Il software a bordo macchina applica la formula:  $\text{velocità} = \text{spazio}/\text{tempo}$  e riesce così a calcolare la velocità di avanzamento. In alternativa possono essere utilizzati sensori di tipo prossimale posti sulla ruota della raccogliitrice che però non considerano gli slittamenti.

La portata della granella, il valore di umidità e i dati GPS sono registrati una volta ogni secondo. Questi dati sono utilizzati per generare un punto dati sulla mappa della resa. (Deere & Works, n.d.) Tutti i dati di resa sono stati poi raccolti in uno “shapefile” come mostrato nella figura 20.

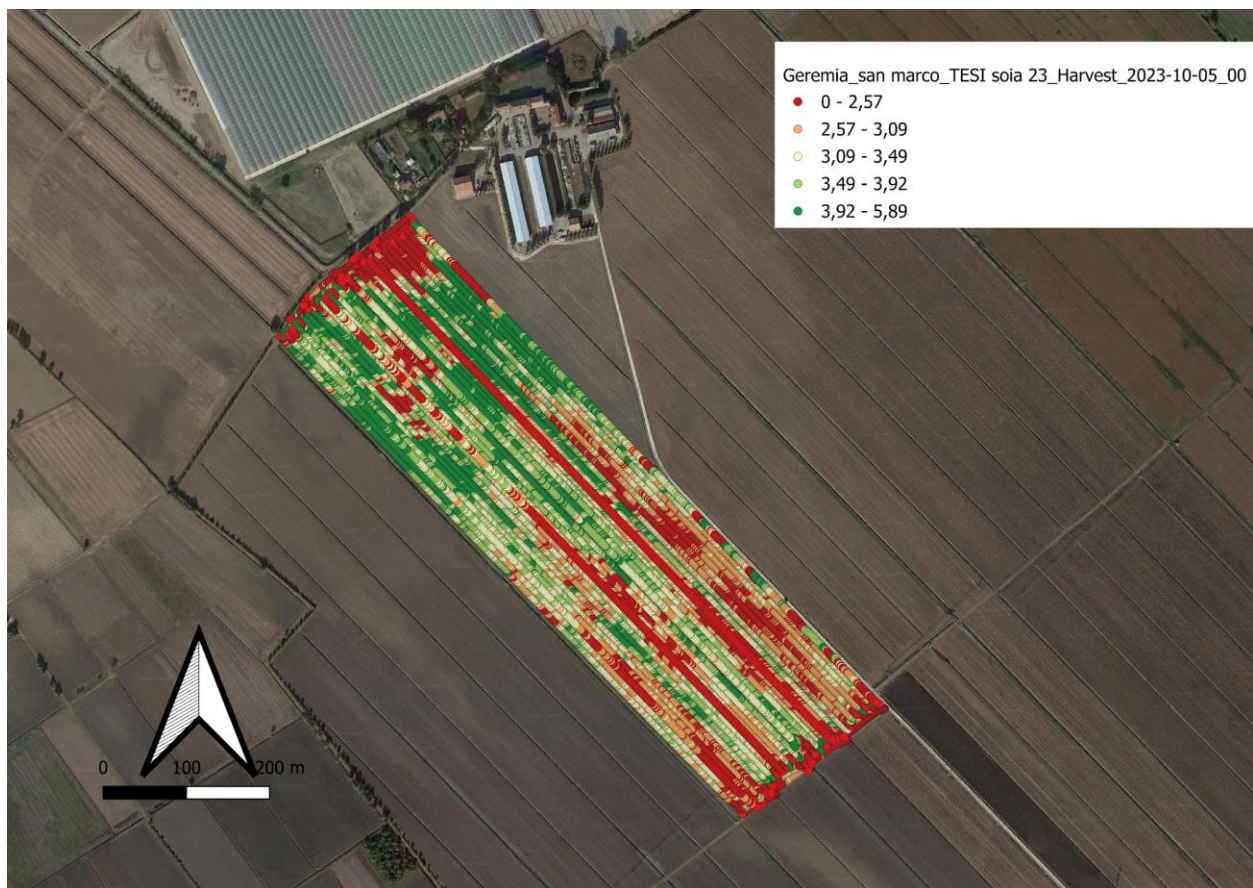


Figure 26 Mappa con dati di resa grezzi

Nella legenda i dati sono da intendersi in tonnellate ad Ha. In post processing si è poi elaborata la mappa con Qgis per ottenere una mappa di resa pulita, omogenea eliminando i dati outlier. Tramite i sensori di resa vengono acquisiti e geolocalizzati col GNSS moltissimi dati. Vengono quindi generate migliaia di osservazioni spaziali sulla resa, pronte per essere utilizzate nel processo

decisionale. Sebbene questo volume considerevole di dati sia fondamentale per la gestione del campo e il processo decisionale, questi set di dati devono essere utilizzati con grande cautela. Essi contengono infatti molte osservazioni difettose o errori tecnici che devono essere eliminati per garantire la qualità dei dati. (*Arslan and Colvin, 2002; Blackmore and Moore, 1999*); (*Cleaning Yield Maps, n.d.*)

Sono state identificate quattro categorie di errori durante la fase di raccolta:

1) Errori dati dalle dinamiche di raccolta

Al loro interno rientrano soprattutto errori “indiretti” che ritroviamo soprattutto nelle testate degli appezzamenti. Questi errori possono essere generati da ritardi di misurazione se si parla di inizio raccolta o misurazioni ripetute se si parla di tempi morti o tempi di scarico.

2) Errori nella misurazione della resa e di umidità della granella. Per ridurre il più possibile questi errori risulta fondamentale la taratura dei sensori, (*Cleaning Yield Maps, n.d.*) in particolare del sensore di resa. La calibrazione permette di assicurare una corretta corrispondenza tra la produzione in campo e i dati di resa rilevati. Se nel monitor, possono essere inseriti più valori di resa, vengono eseguite prove di raccolta specifiche per far variare i flussi di materiale raccolti e raccogliere quindi dati diversi dal sensore di resa. Per far questo, può essere eseguita una raccolta a diverse velocità di avanzamento con massima larghezza di lavoro oppure a velocità di avanzamento costante ma con diverse larghezze di lavoro. (*CalibrateYourYieldMonitorUWExtension, n.d.*) Se il monitor accetta solo singoli valori di resa, una volta eseguita la raccolta di una parcella e scaricata tutta la tramoggia, si risale tramite pesata al singolo dato di resa. (*Michael, n.d.*) Si consiglia una calibrazione annuale per i sensori di umidità, mentre per i sensori di resa ad ogni cambio di coltura raccolta. Molto importante rimane la manutenzione e la pulizia stessa dei sensori. (*CalibrateYourYieldMonitorUWExtension, n.d.*)

3) Errori di geolocalizzazione generati da un ritardo nella trasmissione dei dati rilevati e la geolocalizzazione di quest’ultimi. Altre volte si può verificare anche la perdita del segnale GNSS.

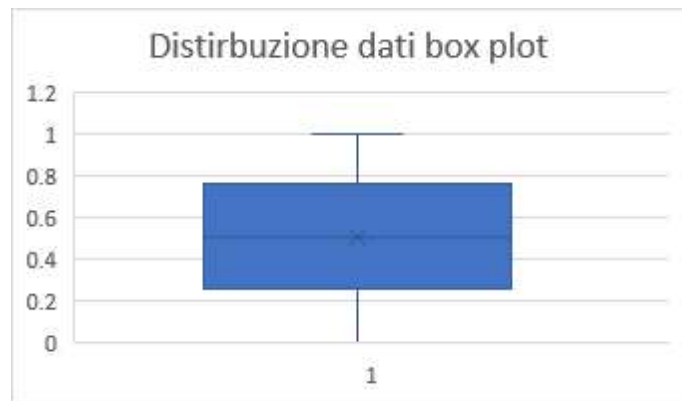
4) Errori manuali dell’operatore soprattutto legati a variazioni di velocità durante la raccolta o sovrapposizioni durante la raccolta. (*Cleaning Yield Maps, n.d.*)

Per la pulizia dei dati errati, una prima vagliatura è stata eseguita eliminando visivamente i dati che nella mappa non avevano una corretta georeferenziazione. Aprendo poi la tabella degli attributi, sono stati eliminati i dati la cui larghezza di lavoro dichiarata differiva di molto dalla larghezza di lavoro effettiva della mietitrebbia. Infine, i dati rimasti sono stati inseriti nel modello

della distanza interquartile il cui foglio di calcolo permette di ottenere due valori limite outlier (massimo e minimo). Successivamente, per i dati maggiori ed inferiori ai valori outlier si è proceduto all'eliminazione manuale. Nella tabella sottostante vengono mostrati i dati reali ottenuti dal modello interquartile e i limiti outlier superiori ed inferiori per i quali si è poi proceduto alla eliminazione dei dati.

Table 2 Elaborazione dati con metodo interquartile

Min	0.000193
Max	0.999414
Mediana	0.505051
1° quart	0.255744
3° quart	0.761112
Dist. Interquartile	0.505368
extreme sup	1.519164
extreme inf	-0.50231
outlier sup	2.277216
outlier inf	-1.26036



Dopo la pulizia dei dati si è proseguito con l'interpolazione. Prima di eseguire l'interpolazione dei dati è necessario fare l'analisi del Kriging dalla quale si ottiene un semi vario gramma. Grazie al tipo di semi vario gramma ottenuto si riesce a capire se i dati sono idonei all'interpolazione e se è presente una corretta variabilità dei dati. Tutto il processo di interpolazione è stato eseguito col programma Vesper e i dati sono stati interpolati creando tre zone omogenee. Le zone omogenee sono zone dell'appezzamento nelle quali si riscontro la stessa variabilità e vengono indicate con colori differenti. Dalla mappa e dalla legenda nella figura 28 si può intuire come nella parte a nord dell'appezzamento si siano rilevate rese maggiori rispetto l'appezzamento a sud. Si possono identificare 3 zone omogenee principali identificate coi colori verde, bianco e rosso.

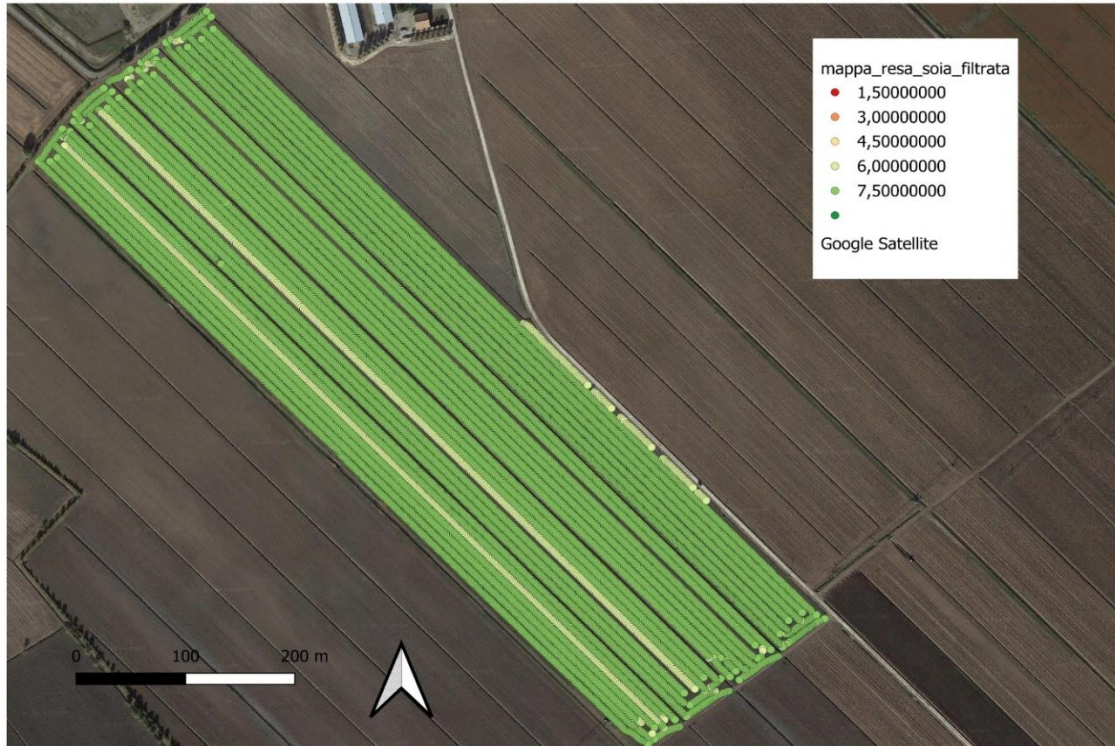


Figure 27 Mappa con dati di resa puliti

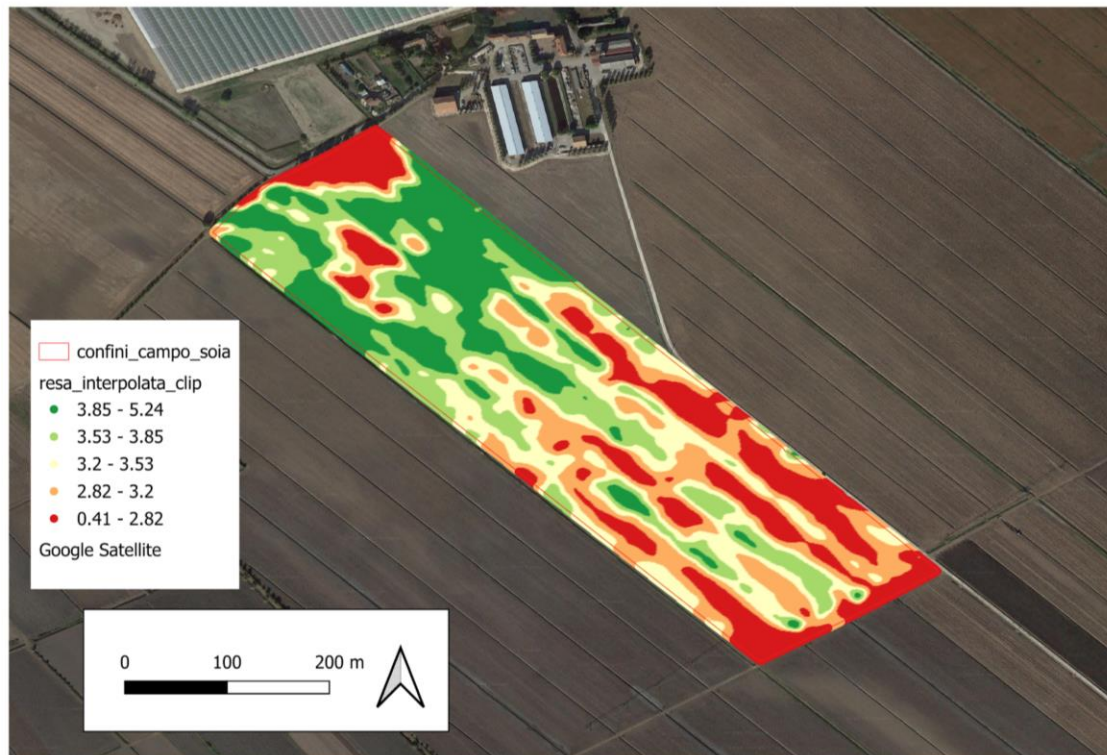


Figure 28 Mappa di resa interpolata e finita

## 5.4 Dimostrazione e spiegazione dati ottenuti dai DSS

I DSS (decision support system) sono software di supporto che assistono e aiutano nelle decisioni l'agricoltore. Questo DSS chiamato "Wagoo" ha permesso il monitoraggio durante l'annata dello stato idrico della coltura. Questo DSS lavora prettamente attraverso immagini satellitari e necessita di un settaggio iniziale dell'appezzamento. Una volta dichiarata la tipologia di terreno e la coltura presente in campo bisogna poi inserire manualmente tutte le precipitazioni ed irrigazioni che si verificano.

Come mostrato nell'immagine sottostante, il DSS permette di monitorare la capacità utile di acqua presente nel suolo, la riserva idrica totale e indica eventuali rischi di stress idrico. In caso di stress idrico, viene dichiarato il quantitativo necessario in mm per colmare lo stress.

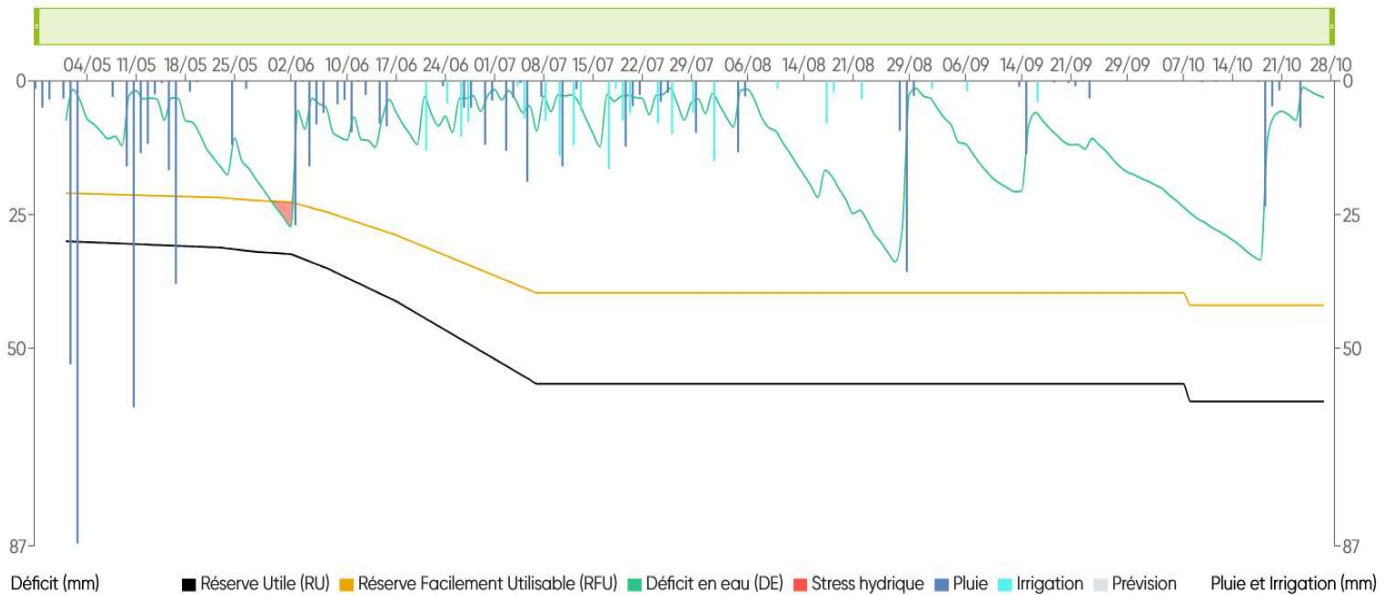


Figure 29 Bilancio idrico soia annata 2023

Attraverso questo DSS si massimizza l'efficienza irrigua e l'uso di acqua, intervenendo solo quando necessario. È possibile confrontare a fine anno l'evapotraspirazione reale avuta contro quella teorica proposta dal software per capire come è stata gestita la coltura ed eventualmente capire su che aspetti si può migliorare nella gestione dell'acqua.

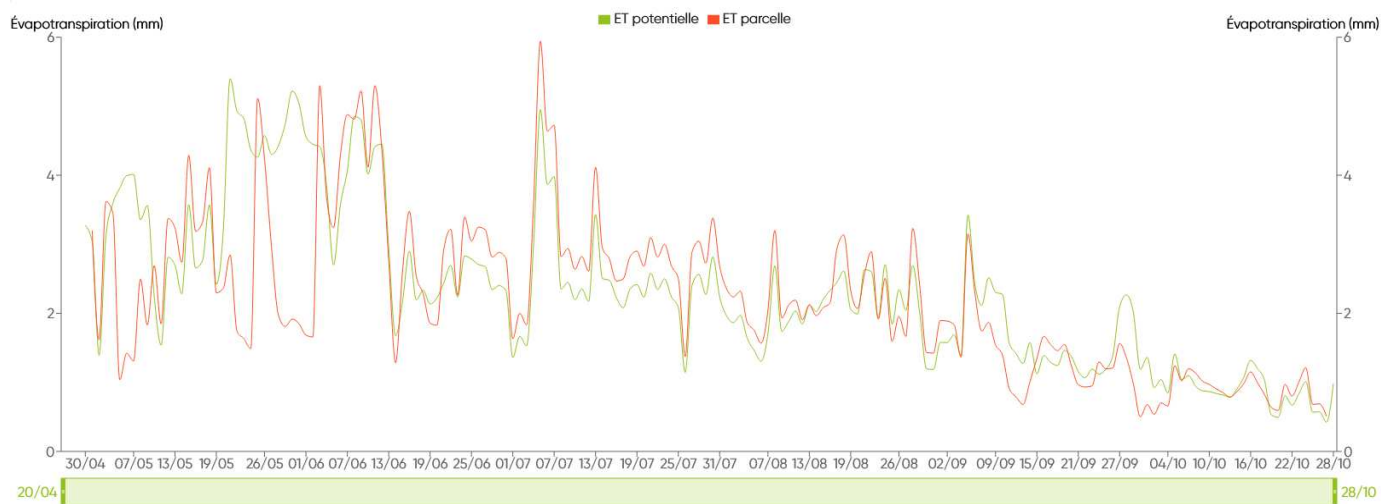


Figure 30 Confronto tra l'evapotraspirazione reale della coltura e quella teorica calcolata dal software

## **5.5 Piani di concimazione elaborati con diversi impatti ambientali**

Per il quinquennio 2023-2027 per gli appezzamenti a biologico e convenzionale sono stati creati ed elaborati dei piani colturali e di concimazione. Per l'appezzamento condotto in convenzionale è stata ipotizzata una rotazione di mais-frumento e soia. Riguardo gli apporti per ettaro di azoto, conoscendo la posizione geografica dell'azienda, la quale rientra in Zona vulnerabile ai nitrati, (ZVN) si è tenuto in considerazione di poter apportare al massimo 170kg/N per ettaro all'anno come media aziendale. Per il mais, secondo la normativa MAS, si può arrivare fino a 280 kg/Ha di azoto. Nella figura sottostante vengono riportate le ipotetiche lavorazioni colturali che verranno eseguite per ogni coltura. Non sono state inserite nelle lavorazioni gli importi specifici dei piani di concimazione perché ne sono stati ipotizzati diversi variando gli input agronomici. I piani di concimazione ipotizzati sono i seguenti :

- piano di concimazione con rese standard usando solo input chimici;
- piano di concimazione con rese standard usando input chimici e letame;
- piano di concimazione con rese standard usando il digestato dove possibile, per coprire i fabbisogni di N;
- piano di concimazione con rese standard usando solo input chimici ma applicando dove possibile semina su sodo;
- piano di concimazione con rese inferiori a quelle standard, usando input chimici ed organici;
- piano di concimazione con rese inferiori usando in maggioranza input organici;

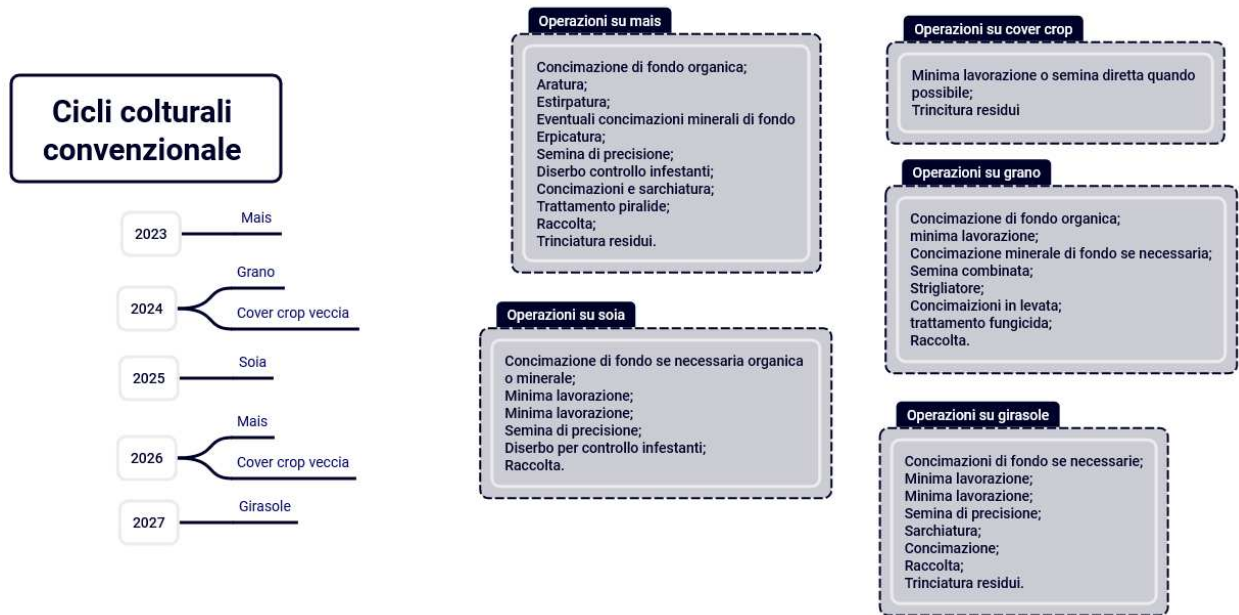


Figure 31 Lavorazioni dei cicli colturali impostati nel quinquennio 2023-2027 nei campi condotti con metodo convenzionale

Nei piani di concimazione calcolati si è tenuto conto anche di eventuali lisciviazioni e delle asportazioni dei nutrienti date dalla coltura precedente. I contenuti di NPK considerati nelle matrici organiche sono i seguenti:

- 1) S.S letame maturo 25%; N 1,6; P 0,8; K 3,2.
- 2) per il digestato 4 kg/m<sup>3</sup> di N; 2 kg/m<sup>3</sup> di P; 3 kg/m<sup>3</sup> di K.

Per ogni matrice è stata considerata una percentuale del 60% di assorbimento dei nutrimenti. Inoltre sono stati considerati 50 Kg di N apportati al suolo dalla soia ed eventuali cover crop di specie leguminose.

Nelle tabelle riguardanti i kg di elementi apportati, sulla prima riga del mais gli apporti di P e K sono elevati perché si sono volute coprire le esportazioni della soia dell'anno precedente. Nei piani di concimazione dove è stato impiegato il digestato, grazie alle elevate concentrazioni di P e K, in molte colture si è scelto di non eseguire concimazioni di fondo in quanto il suolo presentava sufficienti valori di nutrienti. La scelta di proporre dei piani di concimazione basati su colture con rese inferiori a quelle standard è stata eseguita per valutare successivamente (vedi capitolo 8) se si ha un ritorno maggiore in termini di carbonio stoccato nel suolo grazie ad un minor uso di input agronomici.



Table 3 Asportazioni per ogni coltura su rese/Ha standard

Asportazioni da coprire in funzione della resa, residui colturali in precessione e nutrienti già presenti	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Mais	240	152	167
Frumento	148	81	33
Soia	315	70	103
Mais	190	96	80
Girasole	111	59	399

**Rese standard e solo input chimici**

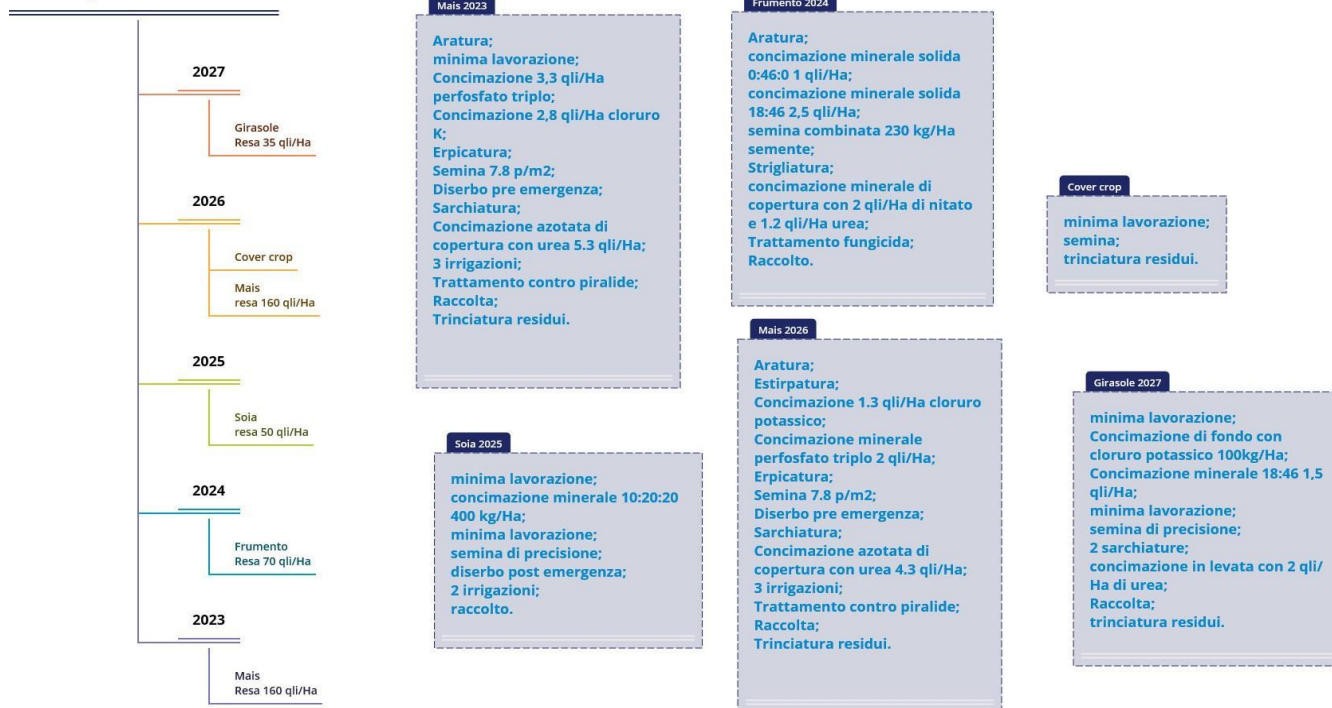


Figure 32 Piano di concimazione con rese standard e solo input chimici

Table 4 *Quantità per ettaro di NPK apportati nel piano di concimazione con soli input chimici*

Elementi apportati	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Mais	243	161	168
Frumento	158	92	50
Soia	0	69	102
Mais	197	92	78
Girasole	119	69	60

**Rese standard con input chimico e letame**

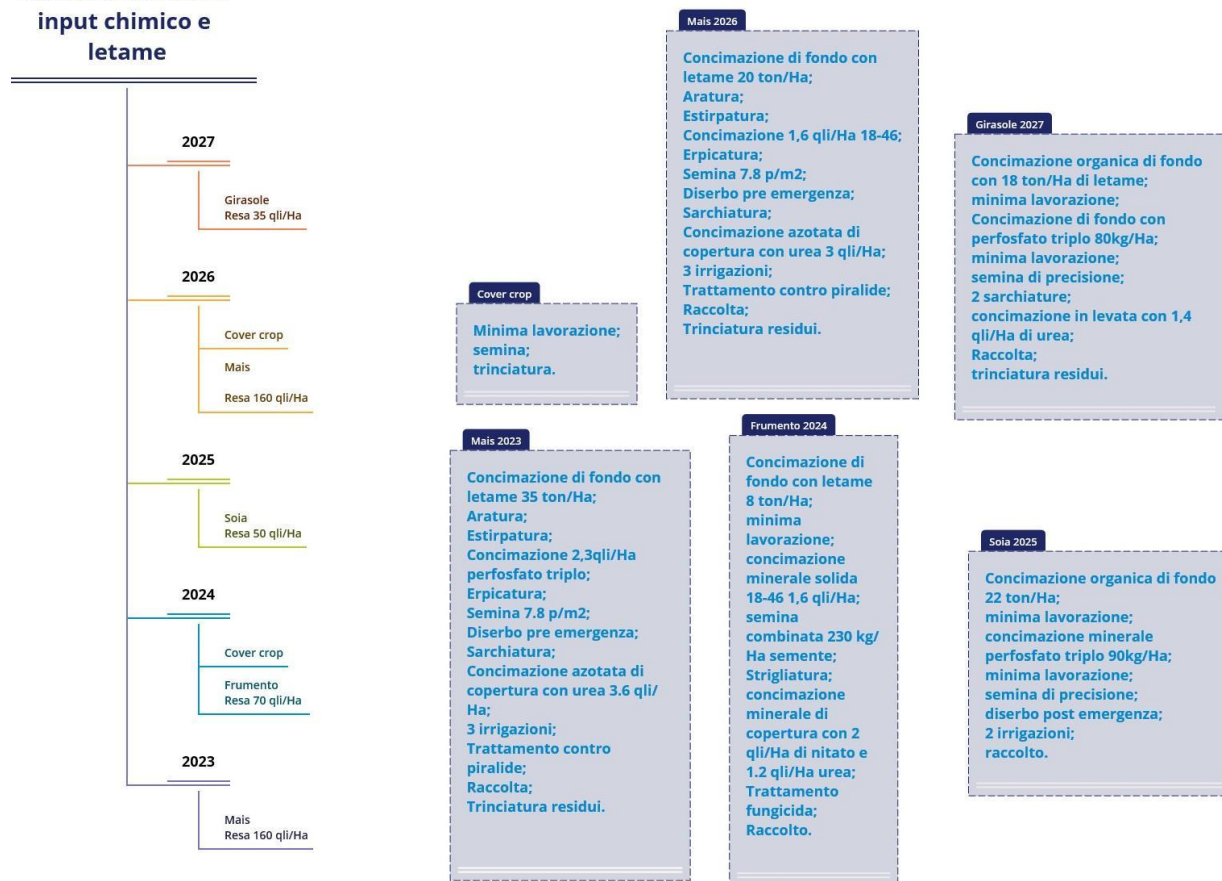


Figure 33 *Piano di concimazione con rese standard ed uso di concimi chimici e letame*

Table 5 *Quantità per ettaro di NPK apportati nel piano di concimazione*

Elementi apportati	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Mais	249	147	168
Frumento	156	82	40
Soia	52	67	105
Mais	214	97	96
Girasole	107	58	86

### Rese standard con uso di digestato in copertura

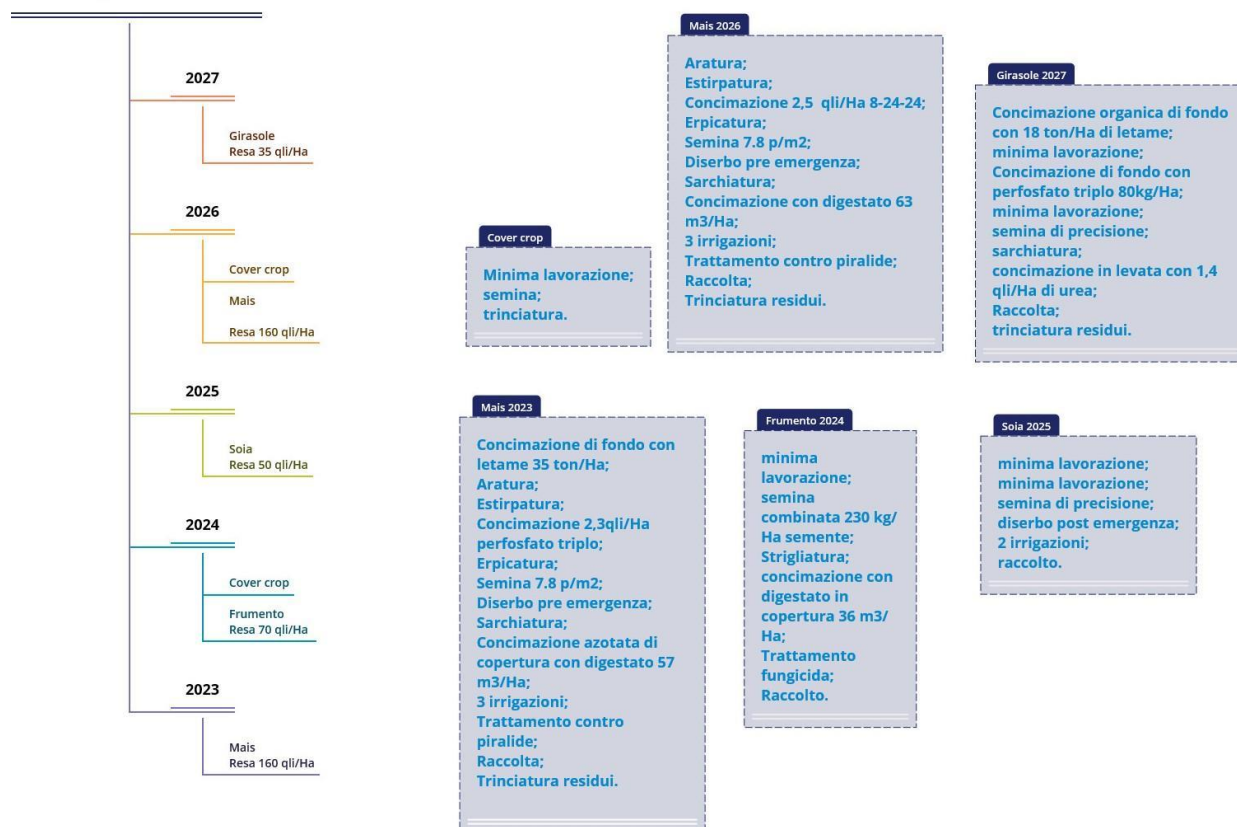


Figure 34 *Piano di concimazione con rese standard e uso di digestato*

In questo piano di concimazione si è scelto l'uso del digestato per coprire i fabbisogni di azoto delle colture.

Table 6 Quantità per ettaro di NPK apportati nel piano di concimazione

Elementi apportati	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Mais	249	262	341
Frumento	158	72	108
Soia	0	0	0
Mais	200	60	60
Girasole	107	58	86

**Rese standard con uso di input chimici e semina su sodo quando possibile**

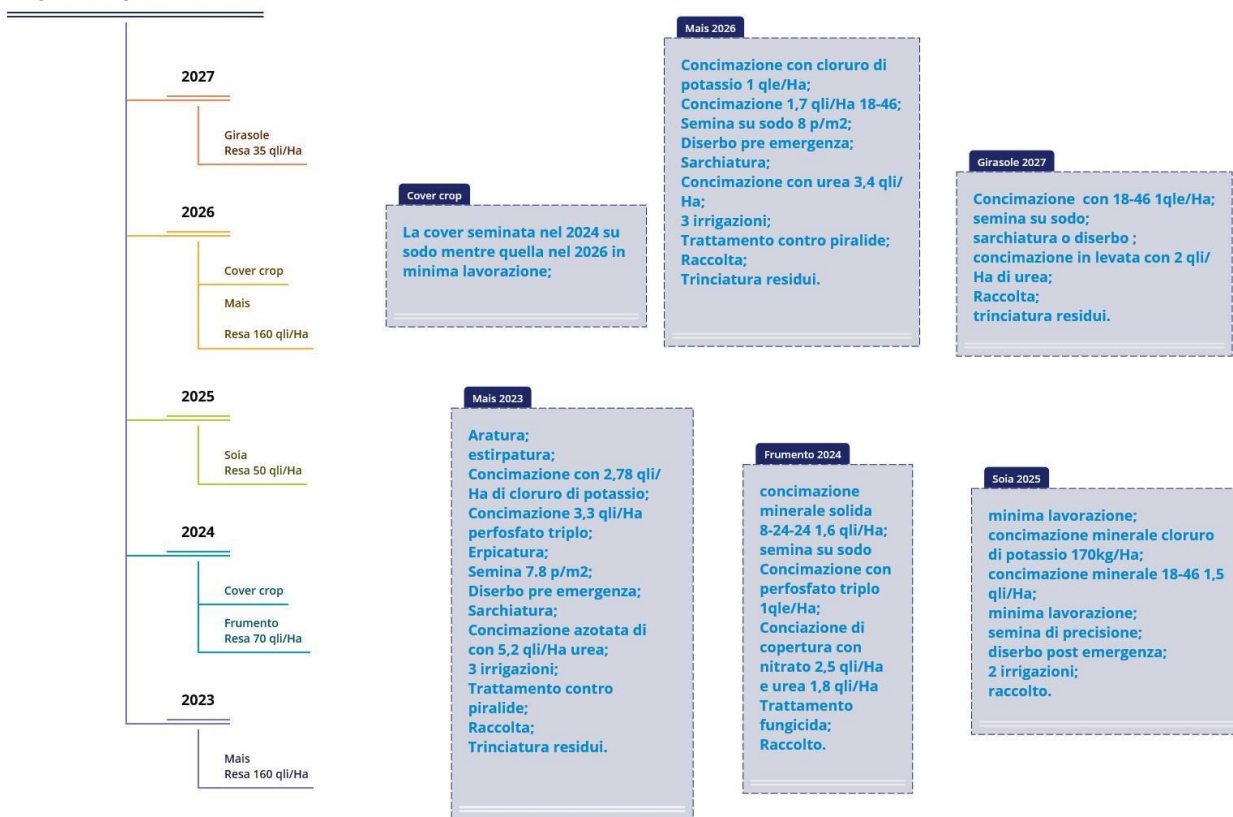


Figure 35 Piano di concimazione con rese standard usando solo input chimici ma applicando dove possibile semina su sodo

La maggior parte delle concimazioni in pre-semina si assume vengano fatte utilizzando una seminatrice su sodo dotata di tramoggia per il concime e che permetta quindi la distribuzione vicino al seme.

Table 7 *Quantità per ettaro di NPK apportati nel piano di concimazione*

Elementi apportati	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Mais	240	152	166
Frumento	163	84	38
Soia	27	69	102
Mais	187	78	60
Girasole	107	58	0

Table 8 *Asportazione per ogni coltura su rese/Ha inferiori a quelle standard*

Asportazioni da coprire in funzione della resa, residui colturali in precessione e nutrienti già presenti	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Mais	210	140	156
Frumento	127	70	28
Soia	220	49	24
Mais	170	84	70
Girasole	115	42	80

## Rese inferiori con uso di concimi chimici e letame

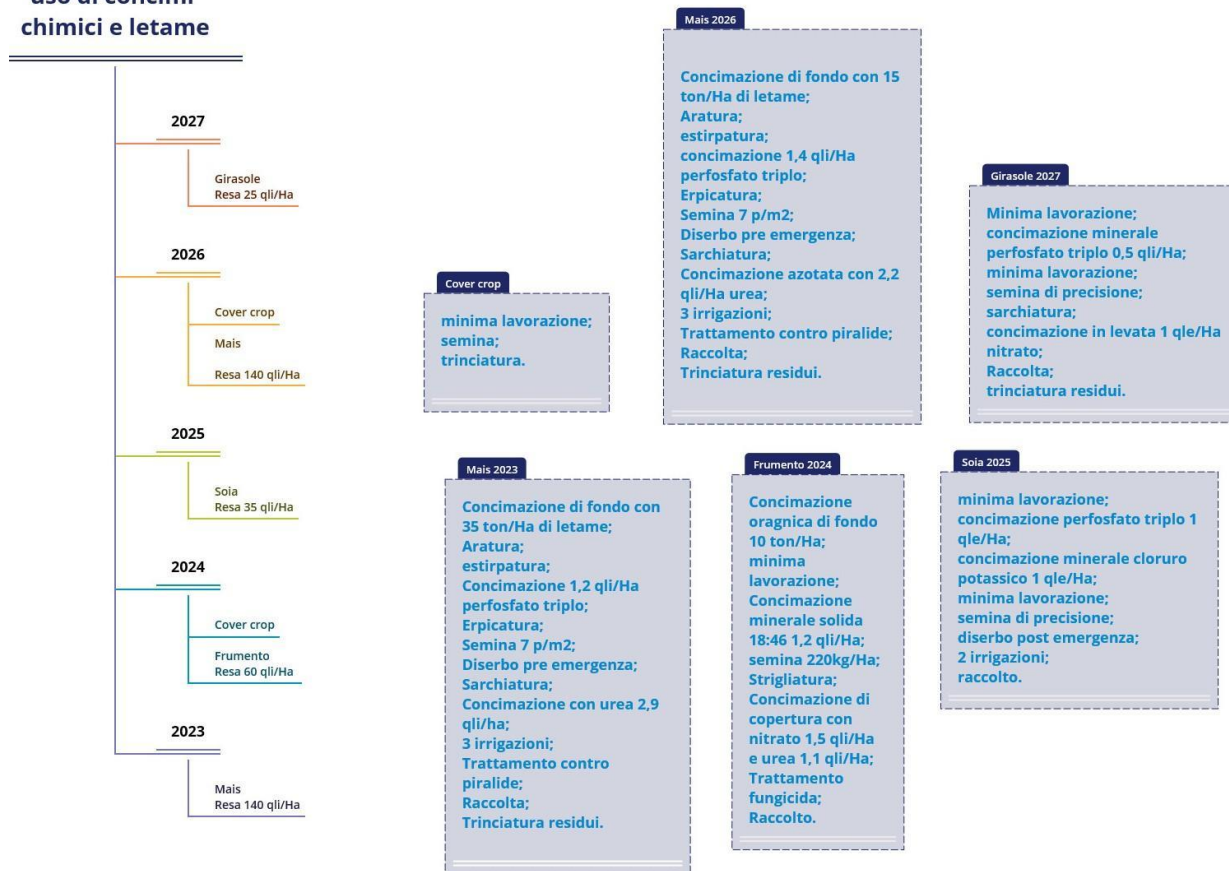


Figure 36 Piano di concimazione con rese inferiori a quelle standard, usando input chimici ed organici

Table 9 Quantità per ettaro di NPK apportati nel piano di concimazione

Elementi apportati	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Mais	217	139	168
Frumento	136	67	48
Soia	0	30	46
Mais	137	82	72
Girasole	67	43	81

## Rese inferiori e solo uso di unput organici

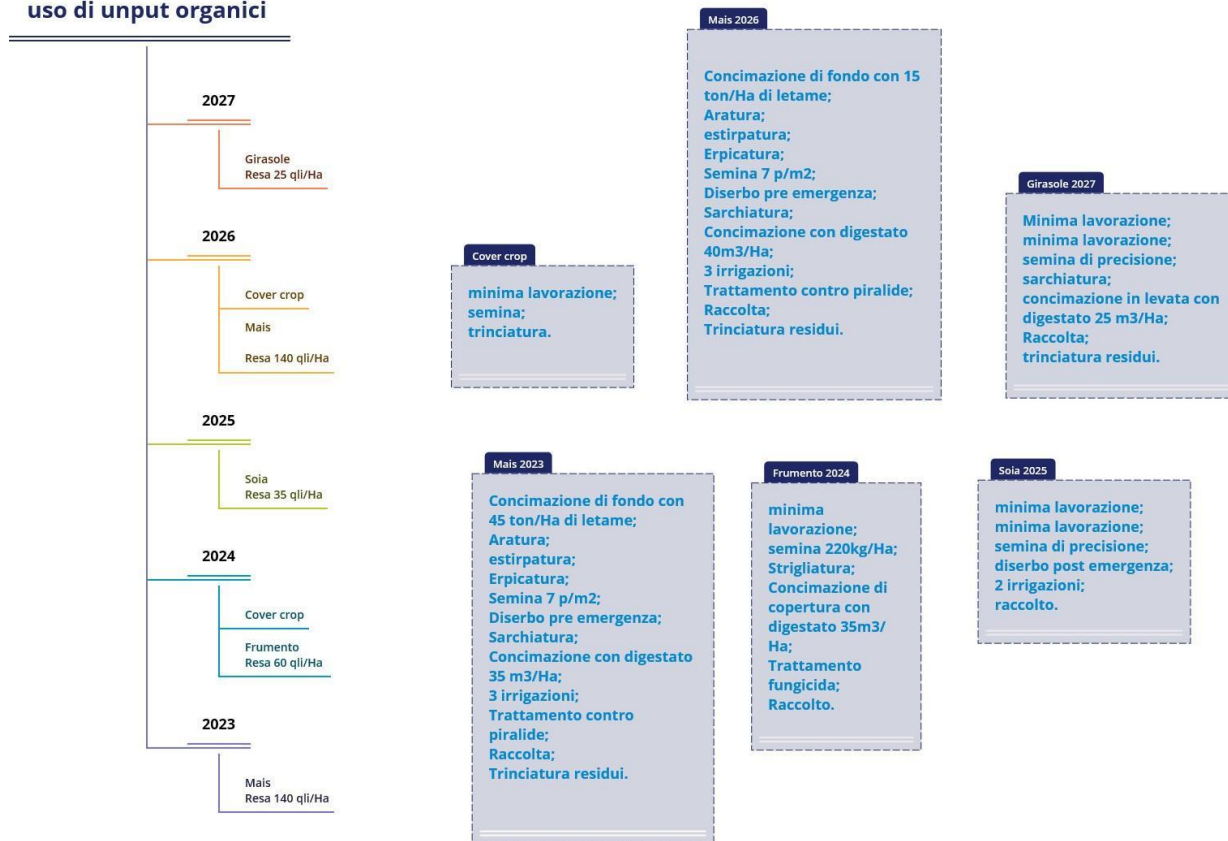
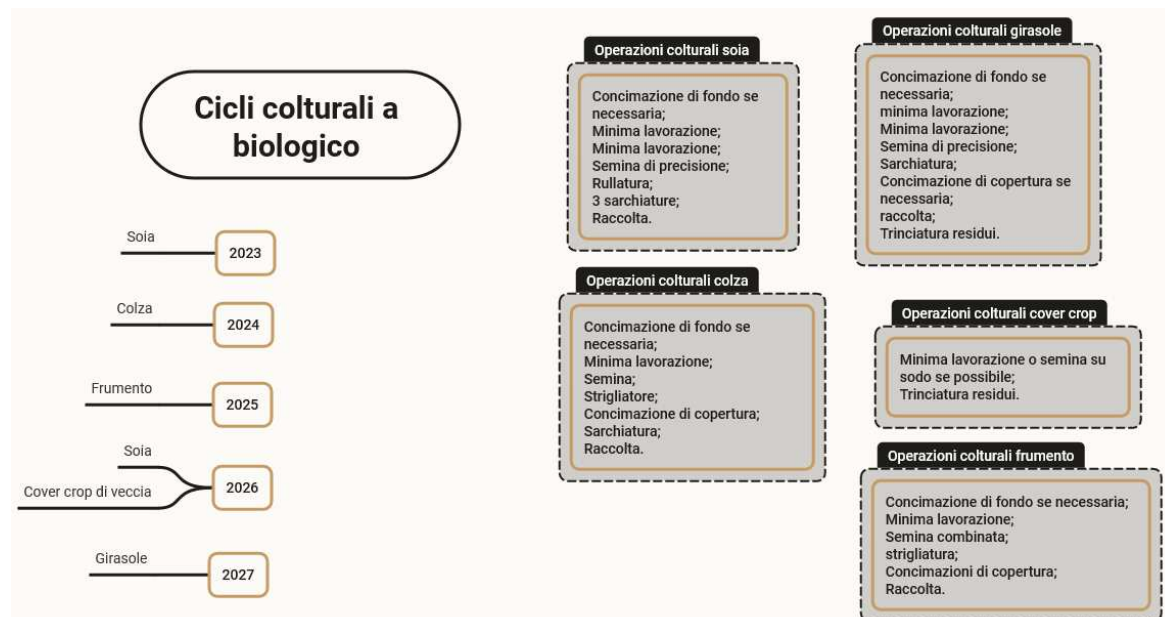


Figure 37 Piano di concimazione con rese inferiori ed uso di soli concimi organici

Table 10 Quantità per ettaro di NPK apportati nel piano di concimazione

Elementi apportati	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Mais	228	114	306
Frumento	120	60	90
Soia	0	0	0
Mais	168	84	171
Girasole	84	42	63

In questo piano di concimazione si ottiene al termine della rotazione un alto contenuto residuo di potassio nel suolo. Apportando grandi quantità di matrice organica nel mais, non risulta necessario apportare concimi in pre-semina per il frumento. Per la soia, visti i grossi quantitativi residui di potassio e vista la sua capacità azotofissatrice si è scelto di non eseguire alcuna concimazione. Per ciascun piano di concimazione verranno poi calcolati in singoli impatti ambientali, la produzione di crediti di carbonio e ne verrà valutata anche la convenienza economica. Nell'appezzamento condotto a biologico, si è ipotizzata una rotazione quinquennale con soia-colza-frumento-soia e girasole. Per l'annata 2024 era stata prevista colza anziché soia, ma, per motivazioni agronomiche quali forti attacchi di meligete (*Meligethes aeneus*) e scarsa germinazione, si è deciso di interrarla e considerare la colza come cover crop.



Figure

38 Lavorazioni dei cicli colturali impostati nel quinquennio 2023-2027 nei campi condotti con metodo biologico

Le lavorazioni condotte con metodo biologico portano e costringono ad un maggiore numero di lavorazioni del suolo per poter eseguire un controllo efficace delle infestanti. Inoltre questo terreno si presenta con alto contenuto di sabbia e questo permette un facile controllo delle infestanti e una minore tenacità del terreno.

Segue una tabella raffigurante le asportazioni calcolate per ogni coltura sulla base della resa da sostenere considerando le restituzioni di elementi e gli elementi già presenti nel suolo.



Table 11 Asportazioni per ogni coltura su rese/Ha in coltivazione biologica

Asportazioni da coprire in funzione della resa, residui colturali in precessione e nutrienti già presenti	N kg/Ha	P kg/Ha	K kg/Ha
Soia	189	42	65
Colza	70	97	115
Grano	220	49	24
Soia	170	84	70
Girasole	115	42	80

### Piano concimazione in biologico

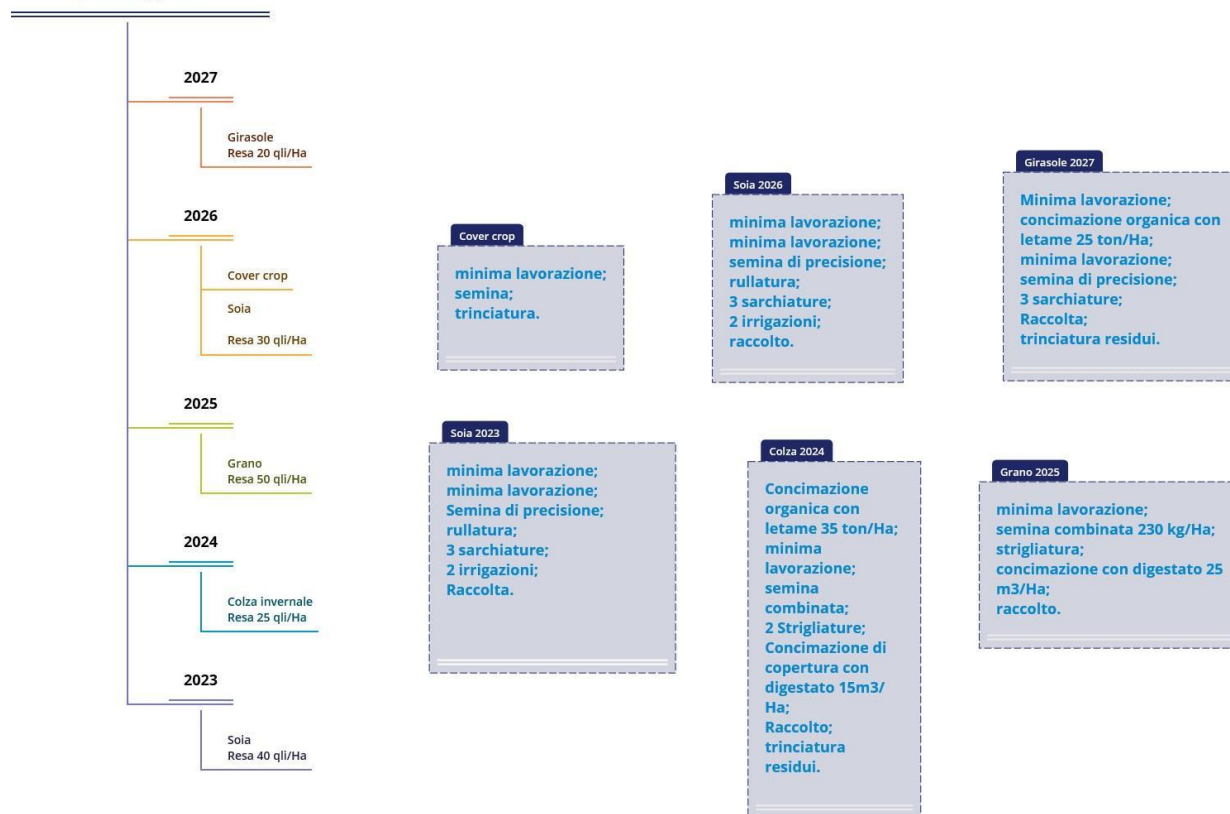


Figure 39 Piano di concimazione per le colture condotte con metodo biologico

Nel piano di concimazione per il ciclo biologico non sono state inserite concimazioni sulla soia perché si è voluto sfruttare la sua capacità azotofissatrice. Dalle concimazioni organiche eseguite su colza si hanno giacenze sul suolo di azoto e potassio in valori sufficienti per poter coprire i fabbisogni iniziali del frumento riducendo così le concimazioni necessarie.

*Table 12* Quantità per ettaro di NPK apportati nel piano di concimazione

<b>Elementi apportati</b>	<b>N kg/Ha</b>	<b>P kg/Ha</b>	<b>K kg/Ha</b>
Soia	0	0	0
Colza	120	60	195
Grano	60	30	45
Soia	0	0	0
Girasole	60	30	120

## **5.6 Campionamenti reali di suolo eseguiti in campo**

Durante i due anni di sperimentazione sono stati eseguiti dei campionamenti di suolo negli appezzamenti interessati dagli studi per poter valutare variazioni in merito al contenuto di carbonio totale, carbonio organico e azoto totale. I punti di prelievo sono stati identificati valutando l'indice NDVI delle mappe di coltivazione e determinando quindi delle aree omogenee. Per i campionamenti si è utilizzato un carotatore a manica interna costituito di un alloggiamento per una manica interna di metallo che raccoglie il campione di suolo in modo indisturbato, e di un corpo esterno il cui bordo tagliente ha il compito di penetrare nel terreno. Il campionatore presenta un diametro di circa 8 centimetri e un'altezza di 4 centimetri (corrispondenti ad un volume compreso tra 154 e 200 cm<sup>3</sup>). Per poter eseguire il campionamento in modo corretto, una volta affondato il carotatore nel suolo è necessario scavare con un coltello o altri attrezzi (spatole) intorno al carotatore per liberarlo. Questo perché risulta molto importante prelevare il cilindro con il volume di suolo sporgente nella parte inferiore per non indurre deformazioni nel prelievo (vedi fig. 39). Il campione viene poi ridotto alle dimensioni del cilindro con l'uso di coltellini o spatole, e deposto in un sacchetto di plastica. In laboratorio verrà determinato il contenuto idrico iniziale pensando tramite bilancia analitica il peso lordo e sottraendolo al peso secco, quest'ultimo calcolato dopo 24 ore in stufa a 105° C. Con questi calcoli si può giungere al calcolo del volume del suolo dal momento che il valore della massa volumica apparente è lo stesso del volume del suolo.



Figure 40 Suolo appena prelevato nel cilindro del carotatore

Per calcolare la densità del suolo i metodi comunemente adottati sono il metodo del carotaggio, dell'escavazione e della zolla (*METODI UFFICIALI DI ANALISI FISICA DEL SUOLO*, 1997). In totale sono stati prelevati 14 campioni ad una profondità di circa 20 cm ed i prelievi sono stati ripetuti ad un anno di distanza. Tramite l'ausilio di sistemi GPS i singoli punti campionati sono stati rilevati per poter essere correttamente rintracciati l'anno successivo.

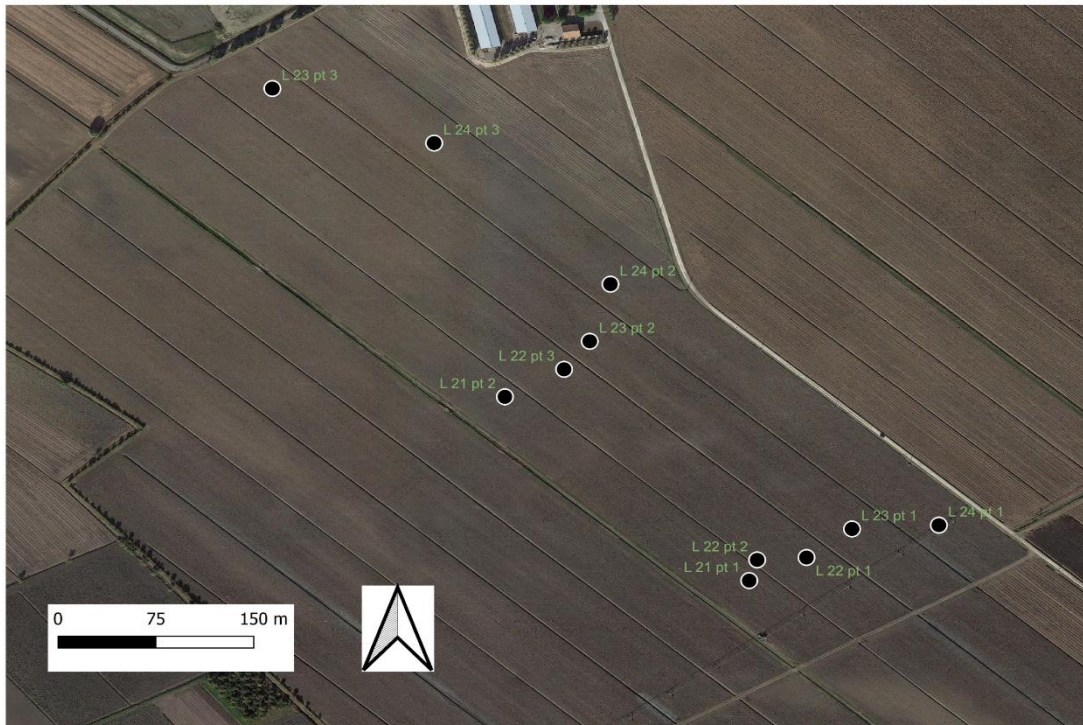


Figure 41 Punti di campionamento nell'appezzamento condotto con metodo convenzionale



Figure 42 Punti di campionamento nell'appezzamento condotto con metodo biologico

In laboratorio i campioni una volta essiccati in stufa, sono stati pestellati al mortaio e setacciati con rete da 2mm. Per la determinazione del carbonio organico e dell'azoto nel suolo si è utilizzato l'analizzatore elementare (Vario Macro Elementar CNS). Questo strumento permette di determinare, in una sola analisi, il contenuto percentuale di C, O<sub>2</sub>, H, N e S in svariate matrici. L'analisi si basa sulla determinazione dei gas di combustione del campione dopo essere stato posto ad una temperatura di 1150°C.

Per effettuare l'analisi, da ogni campione sono stati pesati circa 100 mg di suolo su un foglio di argento piegato a formare un cilindro. Il foglio di argento contenente il campione pesato viene sigillato con l'ausilio di una pressa manuale, formando una pastiglia. Questo passaggio viene eseguito per eliminare tutta l'aria presente nel campione. L'analizzatore elementare si basa sul metodo Dumas (1831) che prevede una completa combustione del campione ad una temperatura di 1150°C sotto un continuo ingresso di ossigeno (per questo viene chiamato anche "metodo della combustione"). I gas liberati dal campione sono essenzialmente CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>. I gas di combustione vengono a questo punto trasportati al rilevatore TCD (Thermal Conductivity Detector) mediante un flusso di Ar (gas carrier) dove avviene la determinazione del contenuto percentuale dell'elemento di interesse rispetto alla massa iniziale del campione. Vi è una colonna di riduzione nella quale tutto l'O<sub>2</sub> viene bloccato dal Cu ridotto che, cedendo e<sup>-</sup> all'ossigeno, forma

CuO; in seguito vi sono le colonne di bloccaggio per H<sub>2</sub>O, C e S. L'N<sub>2</sub> non ha una colonna di bloccaggio e fuoriesce per primo al detector. Le anse di bloccaggio vengono poi scaldate per far separare C,S ed H al detector. Una successiva analisi mediante uno strumento chiamato Skalar Primacs series ha poi permesso di ottenere separatamente, la percentuale di carbonio organico (TOC) e di carbonio inorganico (TIC) presente nel campione di suolo, garantendo l'integrazione dei risultati ottenuti dall'analisi con l'analizzatore elementare. La combustione del campione avviene in questo caso in due step: per ottenere la percentuale di carbonio organico, la camera di combustione viene portata ad una temperatura di 400 °C, successivamente la temperatura raggiunge i 900° C per la determinazione del carbonio inorganico.

### **5.7 Analisi tempi lavorazioni e rendicontazione costi macchine agricole**

Utilizzando i dati ISO-BUS registrati delle lavorazioni del suolo, dalle concimazioni e dalla semina è stata eseguita un'analisi in merito ai rendimenti operativi delle singole lavorazioni. Come mostrato nella tabella sottostante i rendimenti operativi (Ro) per singola operazione permettono di capire l'efficienza di lavoro delle macchine e se apportare modifiche aziendali per efficientare le operazioni. Il rendimento operativo del cantiere è stato ottenuto considerando i tempi morti e i tempi effettivi (nei tempi morti vengono conteggiati anche i tempi di svolta); quest'ultimo non deve mai essere maggiore di 1, solitamente per le operazioni senza rifornimenti si attende un valore tra 0,75-0,90; mentre per le lavorazioni con rifornimenti come la semina o la concimazione attorno 0,6.

Table 13 Calcolo del rendimento operativo per singola lavorazione

<b>Tempo totale</b>	<b>Tempo morto</b>	<b>Tempo effettivo</b>	<b>Ro (T.effettivo/ T.totale)</b>	<b>Superficie lavorata Ha</b>	<b>Lavorazione</b>
2 h e 33 minuti	14 minuti	2h e 8 minuti	0,89	4,05	Erpicatura
1h e 48 minuti	46 minuti	1h e 1 minuto	0,68	4,05	Minima lavorazione
25 minuti	12 minuti	13 minuti	0,52	3,86	Concimazione
2h 56 minuti	54 minuti	2 h	0,78	4,05	Semina

Grazie all'impiego di macchinari evoluti ed efficienti, superfici di coltivazione con sistemazioni idraulico agrarie in grado di massimizzare i cantieri di lavoro e da validi operatori, ad oggi si hanno buoni rendimenti. L'Ro risulta ad oggi assente nei report di lavoro di MyEasyFarm ed avendo una grossa importanza per poter studiare e capire le prestazioni generali di lavoro sarebbe buona cosa implementarlo.

In merito ai costi, come spiegato nel capitolo tre, sono stati calcolati manualmente i dati di costo orario o ad ettaro per singola macchina motrice ed operatrice; ad oggi in MyEasyFarm non vi è modo di calcolare in automatico questi costi essenziali. Come mostrato nella tabella sottostante, per singolo attrezzo sono stati utilizzati diversi parametri teorici per calcolare le quote di reintegra, la durata fisica della macchina, gli interessi, le quote varie, il consumo di gasolio, le spese di manutenzione e il consumo di olio.

Nelle tabelle 16 e 17 sono raffigurati i costi totali ottenuti dai vari calcoli in merito alle singole macchine; questi sono stati successivamente inseriti nel gestionale di MyEasyFarm insieme al prezzo al litro del gasolio e il costo orario della manodopera per poter calcolare le spese.

Table 14 Dati teorici utilizzati per calcolare i costi fissi e variabili delle macchine motrici

Motrice	Modello	Quota di reintegra	Interessi	Quote varie	Manutenzione	Manodopera per fare la manutenzione	Consumo olio	Consumo gasolio Lt/h
FENDT	211	N teorico 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,6; beta= 0,1	9 euro/h	cs= 0,001 kg/ Kwh; prezzo olio 7 euro/Lt e densità 0,9	32,66
FENDT	280 S	N teorico 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,6; beta= 0,1	9 euro/h	cs= 0,001 kg/ Kwh; prezzo olio 7 euro/Lt e densità 0,9	21
FENDT	314	N teorico 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,6; beta= 0,1	9 euro/h	cs= 0,001 kg/ Kwh; prezzo olio 7 euro/Lt e densità 0,9	12,84
FENDT	FARMER 309	N teorico 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,6; beta= 0,1	9 euro/h	cs= 0,001 kg/ Kwh; prezzo olio 7 euro/Lt e densità 0,9	23,33
FENDT	930 GEN7	N teorico 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,6; beta= 0,1	9 euro/h	cs= 0,001 kg/ Kwh; prezzo olio 7 euro/Lt e densità 0,9	70

Table 15 SEQ Table \\* ARABIC 156 Dati teorici utilizzati per calcolare i costi fissi e variabili delle macchine operatrici

Operatrice	Modello	quota reintegra	interessi	quote varie	manutenzione	larghezza lavoro in mt effettiva	RU	velocità di lavoro in KM/h	CU= HA/h {RU*L*Vel*0,1}	h/ha
DISSODATORE	ALPEGO SRL	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,8; beta= 0,6	3,1	0,7	5,38	1,16746	0,8565603961
ERPICE ROTANTE	ALPEGO SRL	Nh: 10	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =10; alfa= 1,3; beta= 0,5	4	0,7	2,7	0,756	1,322751323
ERPICE ROTANTE	ALPEGO SRL	Nh: 10	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =10; alfa= 1,3; beta= 0,5	6	0,7	3,12	1,3104	0,7631257631
SEMINATRICE MONTATA PNEUMATICA	AMAZONE	Nh: 8	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =8; alfa= 0,8; beta= 0,12	3	0,5	3,29	0,4935	2,026342452
SEMINATRICE ELETTRICA	MONOSEM	Nh: 8	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =8; alfa= 0,8; beta= 0,12	4,5	0,5	6,4	1,44	0,6944444444
FERTILIZZATORE PNEUMATICO 1000 LT. (spandiconcime frontale)	BENATI	Nh: 10	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =10; alfa= 1; beta= 0,5	4,5	0,5	6,4	1,44	0,6944444444
SPANDICONCIME	SULKI BUREL SA	Nh: 10	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =10; alfa= 1; beta= 0,5	24	0,5	9,8	11,76	0,08503401361
PREPARATORE	BEDNAR	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 1; beta= 0,06	4	0,7	8,55	2,394	0,417710944
TAGLIAERBA	BERTI MACCHINE AGRICOLE SPA	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,8; beta= 0,5	2,2	0,7	9	1,386	0,7215007215
TRINCIATRICE	BERTI MACCHINE AGRICOLE SPA	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,8; beta= 0,5	1,6	0,7	6	0,672	1,488095238
TRINCIATOCCHI - TRINCIA ARGINI	BERTI MACCHINE AGRICOLE SPA	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,8; beta= 0,5	3,2	0,7	6	1,344	0,744047619
TRINCIATOCCHI	ZILLI SRL	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,8; beta= 0,5	2,3	0,7	10	1,61	0,6211180124
MACCHINA IRRORATRICE	BERTHOUD	Nh: 10	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =10; alfa= 0,8; beta= 0,03	21	0,5	12	12,6	0,07936507937
POLVERIZZATORE TRAINATO	CAFFINI SPA	Nh: 10	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =10; alfa= 0,8; beta= 0,03	21	0,5	12	12,6	0,07936507937
SARCHIATRICE	CAVALLERETTI STAMPAGGIO SRL	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 1,3; beta= 0,06	6	0,7	8	3,36	0,2976190476
DECESPUGLIATRICE IDRAULICA	FERRI SRL	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,8; beta= 0,5	1,2	0,7	6	0,504	1,984126984
PREPARATORE DEL TERRENO	KONGSKILDE	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 1; beta= 0,06	4	0,7	9,24	2,5872	0,3865182437
STRIGLIATORE	EINBOCK GMBH	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,5; beta= 0,06	9	0,7	10	6,3	0,1587301587
ARATRO	LEMKEN	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 1,2; beta= 0,25	2,25	0,7	7,54	1,18755	0,8420698076
COLTIVATORE AD ANCORE	LEMKEN	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 1; beta= 0,06	3	0,7	6,08	1,2768	0,7832080201
FRANGIZOLLE ANTERIORE	OFFICINA PASTO'	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 1; beta= 0,06	4,5	0,7	8	2,52	0,3968253968
RIPUNTATORE	OFFICINA PASTO'	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,8; beta= 0,06	2,5	0,7	5	0,875	1,142857143
RULLO COMPATTATORE A 3 SEZIONI	HE-VA APS	Nh: 12	4,50%	0,8% valore odierno	Nh =12; alfa= 0,5; beta= 0,06	6,3	0,7	15	6,615	0,1511715797

Table 16 Costi di lavoro calcolati in merito alle macchine motrici

Motrice	Modello	ore annuali lavorate	Costi fissi annui totali in euro	costi variabili orari euro/h	costo orario medio motrice euro/h
FENDT	211	256,5	9546,77	52,67	89,89
FENDT	280 S	300	7500,46	35,6	60,6
FENDT	314	329,5	11240	34,36	68,48
FENDT	FARMER 309	500	1624	35,51	38,76
FENDT	930 GEN7	378,5	15081,69	97,83	137,67

Table 17 SEQ Table\\* ARABIC 16 Costi di lavoro calcolati in merito alle macchine operatrici

Operatrice	Modello	Costi fissi annui totali in euro	costi variabili orari euro/h	costo orario medio operatrice euro/h	Costo euro /Ha
DISSODATORE	ALPEGO SRL	1219,98	3,6	12,13	10,39
ERPICE ROTANTE	ALPEGO SRL	863,82	10,84	14,75	19,51
ERPICE ROTANTE	ALPEGO SRL	2525,23	17,15	37,37,00	28,21
MINATRICE MONTATA PNEUMATI	AMAZONE	6324,6	24,76	43,45	88,05
SEMINATRICE ELETTRICA	MONOSEM	5890,7	23,14	73,93	51,34
FERTILIZZATORE PNEUMATICO 1000 LT. (spandiconcime frontale)	BENATI	2210,93	16,57	35,63	24,74
SPANDICONCIOME	SULKI BUREL SA	2911,63	16,33	221,36	18,82
PREPARATORE	BEDNAR	627,14	3,28	12,27	5,12
TAGLIAERBA	BERTI MACCHINE AGRICOLE SPA	899,21	7,14	14,63	10,56
TRINCIATRICE	BERTI MACCHINE AGRICOLE SPA	613,88	6,23	8,7	12,97
TRINCIASTOCCHI - TRINCIA ARGIN	BERTI MACCHINE AGRICOLE SPA	1277,13	8,11	18,39	13,68
TRINCIASTOCCHI	ZILLI SRL	570,84	6,74	12,24	7,6
MACCHINA IRRORATRICE	BERTHOUD	4696,59	14,91	369,26	29,3
POLVERIZZATORE TRAINATO	CAFFINI SPA	5636,21	30,33	455,57	36,15
SARCHIATRICE	CAVALLERETTI STAMPAGGIO SRLU	1373,29	8,08	35,71	10,63
DECESPUGLIATRICE IDRAULICA	FERRI SRL	485,9	5,94	7,41	14,7
PREPARATORE DEL TERRENO	KONGSKILDE	809,47	3,79	16,33	6,31
STRIGLIATORE	EINBOCK GMBH	993,85	2,98	40,47	6,42
ARATRO	LEMKEN	4459,72	25,67	57,38	48,32
COLTIVATORE AD ANCORE	LEMKEN	720,05	3,69	9,19	7,2
FRANGIZOLLE ANTERIORE	OFFICINA PASTO'	929,1	4,6	18,62	7,39
RIPUNTATORE	OFFICINA PASTO'	469,2	2,18	4,64	5,3
MULLO COMPATTATORE A 3 SEZION	HE-VA APS	743,28	2,16	31,6	4,77



## 6. Il report di MyEasyCarbon

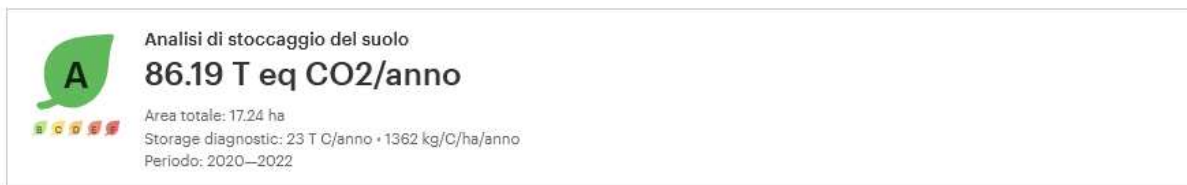
MyEasyCarbon permette, come spiegato precedentemente, di ottenere un calcolo della quantità di carbonio stoccato e un valore in merito alle emissioni di CO<sub>2</sub> prodotte. Entrambi i parametri vengono quantificati in tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub> per ettaro. Dall'analisi del triennio 2020-2022, sono stati ottenuti due report per ciascuno dei due appezzamenti (biologico e convenzionale) dai quali si riesce a comprendere la situazione di partenza in termini di emissioni e stoccaggio di tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub>.

Per ogni report prodotto vengono mostrati i seguenti dati:

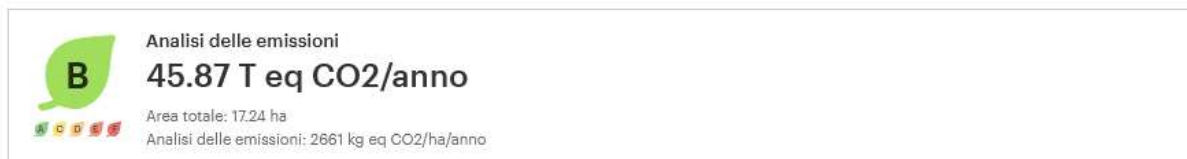
- 1) lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> nel suolo per ettaro o sul totale annuale della superficie interessata; il sistema di coltivazione a biologico dall'analisi mostra una minore capacità di stoccaggio di carbonio rispetto al convenzionale, dovuto in particolare ai bassi apporti di sostanza organica nel suolo, alle maggiori lavorazioni del suolo e alla tessitura del suolo in prevalenza sabbiosa.
- 2) vengono forniti dati riguardo le emissioni globali di CO<sub>2</sub> prodotte che vengono poi analizzate singolarmente. In questo caso il sistema condotto in biologico influisce in maniera minore rispetto al convenzionale, principalmente per l'assenza di prodotti chimici di sintesi impiegati.



Figure 43 Stoccaggio di carbonio nel suolo ed emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dall'analisi iniziale dell'appezzamento condotto con metodo biologico



Analisi



Analisi



Figure 44 Stoccaggio di carbonio nel suolo ed emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dall'analisi iniziale dell'appezzamento condotto con metodo convenzionale

I parametri delle emissioni di CO<sub>2</sub> vengono poi analizzati singolarmente in un istogramma (si veda fig. 44); questi parametri sono: la produzione di fertilizzanti minerali; la produzione di fertilizzanti organici; il carburante; i semi; i prodotti fitosanitari; la calcinazione; le emissioni dirette e le emissioni indirette. Ad ogni parametro le emissioni vengono misurate come kilogrammi equivalenti di CO<sub>2</sub> per ettaro all'anno; inoltre come riportato nella tabella sottostante, per ciascuno vengono anche indicate le emissioni relative a CH<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub>.

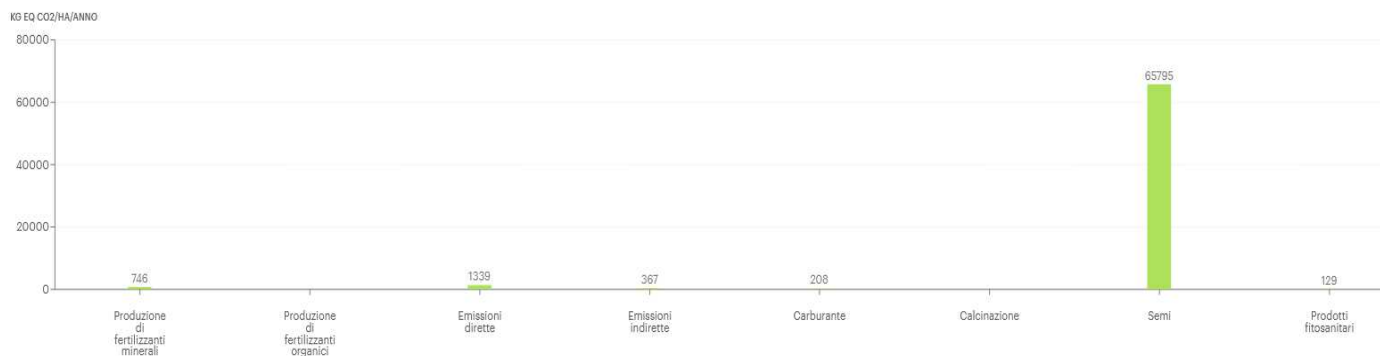


Figure 45 Istogramma raffigurante i singoli parametri di emissione di CO<sub>2</sub> nell'analisi del sistema biologico

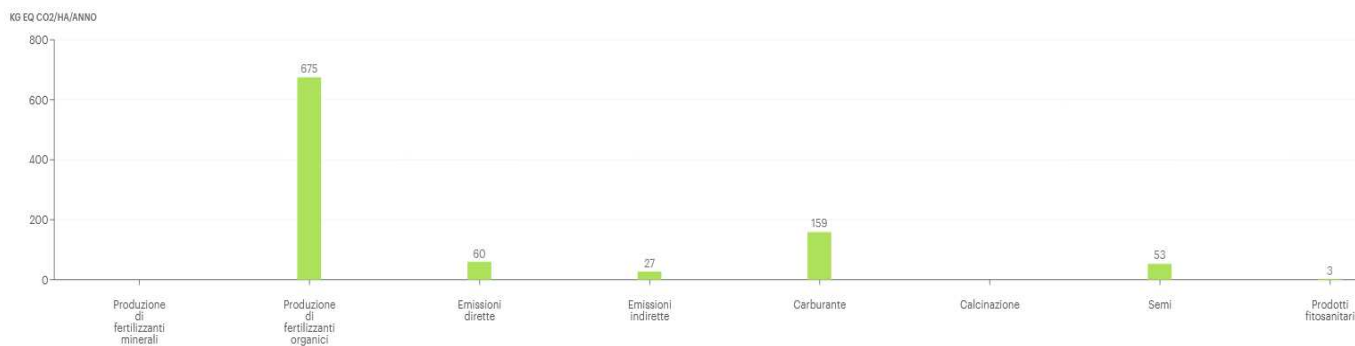


Figure 46 Istogramma raffigurante i singoli parametri di emissione di CO<sub>2</sub> nell'analisi del sistema convenzionale

Nelle emissioni riguardanti il metodo di coltivazione a biologico risulta rilevante la quota di CO<sub>2</sub> emessa dalla produzione di fertilizzanti organici. Questo perché come osservato da alcuni studi (He et al., 2023) l'eccessiva presenza di sostanza organica nei suoli può portare ad un eccesso di N<sub>2</sub>O promuovendo i processi di denitrificazione. Vi sono anche numerosi fattori che influenzano questi processi come l'attuazione di corrette pratiche agronomiche, il pH del suolo, il contenuto di azoto nel suolo, la tipologia di coltura, la CSC del suolo e il rapporto C/N (He et al., 2023). È stato dimostrato come nei suoli con pH inferiore ad 8 le emissioni di CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> aumentano, mentre diminuiscono quelle di N<sub>2</sub>O; inoltre, in diverse colture coltivate, eccetto il mais, si è notato un aumento delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'impiego dei composti organici per sostituire i concimi azotati (He et al., 2023).

Le emissioni dirette e indirette analizzate nel report riguardano le emissioni di N<sub>2</sub>O derivanti dai fertilizzanti azotati e dall'utilizzo di ammendanti organici. Nei fertilizzanti azotati, come per gli ammendanti organici, si trova una quota di N<sub>2</sub>O diretta e indiretta. Nelle emissioni dirette di N<sub>2</sub>O (protossido di azoto), rientrano le emissioni derivanti dalla degradazione dei residui colturali nel suolo; mentre per la lisciviazione dei nitrati vengono considerate emissioni dirette di NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e per la volatilizzazione emissioni dirette di NH<sub>3</sub>.

Le emissioni di CO<sub>2</sub> riguardano i combustibili fossili, le perdite del processo di mineralizzazione e le emissioni per la produzione di fertilizzanti minerali e organici. Per il metano vengono considerate le emissioni derivanti dalla maturazione e fermentazione dei reflui zootecnici, da eventuali combustioni di biomassa e dalla produzione di metano derivante da processi anaerobici di terreni sommersi.

Per ogni coltura inserita nella rotazione colturale, il software di MyEasyCarbon riesce a fornire singolarmente le emissioni di CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> derivanti dalle voci di analisi precedentemente

menzionate. Così facendo si è in grado di capire quale coltura risulta essere più impattante ed eventualmente apportare modifiche alle rotazioni colturali.

Nella seconda parte del report vengono mostrati parametri quali: l'impatto dei prodotti fitosanitari, le emissioni di ammonio in kg di  $\text{NH}_3$  per ettaro, l'erosione del suolo, la lisciviazione dei nitrati come  $\text{NO}_3$  per ettaro, il consumo di acqua in  $\text{m}^3$  per ettaro e consumo di fosforo in kg di  $\text{P}_2\text{O}_5$  per ettaro. Tutti questi parametri rientrano come co-benefici o esternalità positive indirette citate nella direttiva EU CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)*, 2024).

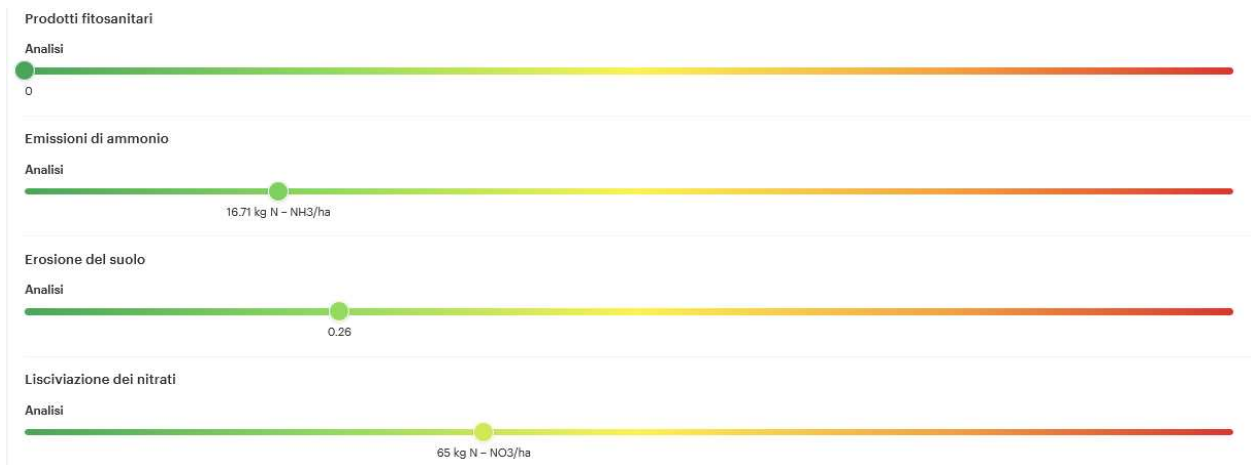


Figure 47 Alcuni degli indici di impatto delle esternalità positive nel sistema condotto in biologico

## **7. Valutazione dello strumento MyEasyCarbon rispetto ai dati bibliografici e ai dati di campo**

### **7.1 Valutazione delle tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub> prodotte con cover crops**

Per poter valutare se il modello di calcolo di MyEasyCarbon lavori correttamente e riporti dati attendibili, sono state eseguite delle comparazioni tra i valori designati dal modello e i valori riportati in bibliografia in merito alla coltivazione delle cover crops, all'uso dei prodotti fitosanitari e dei concimi di sintesi chimica.

Inizialmente è stata redatta un'analisi basata su una tipica rotazione colturale di mais, grano e soia, adottando tecniche colturali convenzionali con concimazioni esclusivamente minerali; successivamente è stata programmata una simulazione quinquennale basata sulle stesse colture da reddito dell'analisi insieme a due cicli di cover crops come colture a perdere. Nelle simulazioni eseguite le pratiche colturali e le quantità di input agronomici sono rimaste invariate. Una prima considerazione sui dati dell'analisi, mostra che i dati di stoccaggio e di emissione di CO<sub>2</sub> nel suolo sono molto validi (vedi tabella 15).

Nella prima simulazione i dati forniti dall'RMV sulle cover crops sono stati coerenti con i dati teorici, dichiarando in media 1 tonnellata equivalente di CO<sub>2</sub> stoccata nel suolo attraverso un ciclo di cover crops.

Per verificare questo dato è stato utilizzato come riferimento bibliografico il seguente studio *Poepflau & Don, 2015* nel quale sono stati valutati gli effetti di varie cover crops e i benefici apportati al suolo. Come mostrato nel seguente grafico, gran parte delle cover crop studiate riescono ad immagazzinare quantitativi variabili tra 0 e 1 tonnellate di carbonio equivalente; a riguardo le specie erbacee utilizzate, il clima e il rapporto C/N rimangono sempre pesanti variabili in grado di condizionare la quantità di carbonio immagazzinata nel suolo e la velocità di degradazione del substrato.

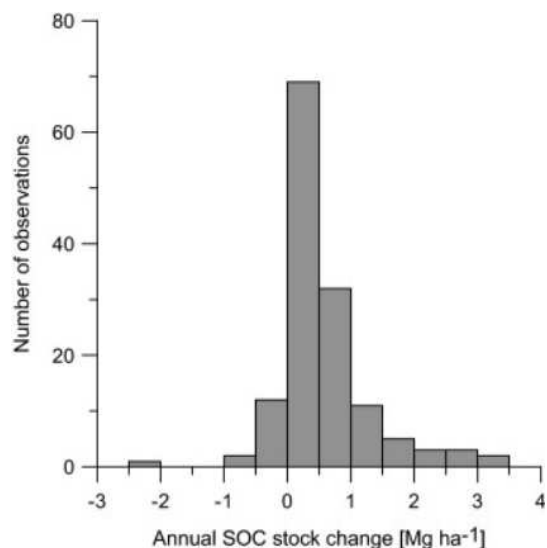


Figure 48 *Quantità media di carbonio fissata e stoccata dalle cover crops nel suolo*

## 7.2 Valutazione delle tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub> prodotte con prodotti fitosanitari

Per analizzare i dati in merito all'impiego di prodotti fitosanitari è stata redatta una simulazione senza prodotti fitosanitari, per compararla con un'analisi iniziale. Nello specifico sono stati ommessi dei diserbici di post emergenza, i prodotti geo-disinfestanti, gli insetticidi impiegati su mais e i fungicidi del grano.

I risultati ottenuti da MyEasyCarbon non hanno riportato differenze rispetto l'analisi iniziale riguardo lo stoccaggio di carbonio, ma hanno mostrato una differenza positiva riguardo le emissioni dei prodotti fitosanitari (vedi tabella 15). Infatti i prodotti fitosanitari non influiscono direttamente sul carbonio del suolo ma rappresentano una fonte di inquinamento indiretta nel mondo agricolo, in quanto le loro emissioni coinvolgono direttamente il settore secondario. Il consumo di combustibile fossile rappresenta invece una fonte di inquinamento diretto. Come riportato nel documento *“Programma Di Formazione Dei Consulenti Che Operano o Intendono Operare Nell’ambito Della Misura 2 Del PSR 2014-2020 Del Veneto “Servizi Di Consulenza, Di Sostituzione e Di Assistenza Alla Gestione Delle Aziende Agricole,” n.d.*” i prodotti fitosanitari impattano sull'ambiente attraverso la deriva, la volatilizzazione, il ruscellamento e la lisciviazione; essi non interferiscono direttamente col contenuto di carbonio del suolo ma esclusivamente sulle emissioni di CO<sub>2</sub>.

### **7.3 Valutazione delle tonnellate equivalenti di CO<sub>2</sub> prodotte con concimi chimici**

Per calcolare l'impatto dei concimi chimici di sintesi è stata redatta una simulazione uguale all'analisi, nella quale però le concimazioni minerali necessarie alle colture non sono state inserite. I concimi ommessi sono: l'urea, il perfosfato triplo; (8:24:24), il cloruro potassico e il 0:20:20. Come per i prodotti fitosanitari, i concimi di sintesi influenzano positivamente la diminuzione delle emissioni, ma lo stoccaggio di carbonio nel suolo rimane invariato (vedi tabella 18). Gran parte delle emissioni a carico dei fertilizzanti sono associate al protossido di azoto più che per la CO<sub>2</sub>, soprattutto per i fertilizzanti azotati.

I concimi minerali sono prodotti sintetici costituiti principalmente da nutrienti inorganici come azoto, fosforo e potassio (NPK) i quali vengono efficacemente resi disponibili alle piante, ma non aggiungono direttamente materia organica al suolo, senza contribuire significativamente all'accumulo di carbonio organico nel suolo. L'impatto sul sequestro di carbonio organico dipende dalla quantità di residui vegetali che rimangono e si decompongono nel suolo. In assenza di un aumento significativo della materia organica l'effetto sul sequestro di carbonio è limitato. I concimi organici, come il letame, sono invece costituiti da materiali di origine biologica e contengono una combinazione di nutrienti carboniosi in grado di aumentare la materia organica già presente nel suolo. L'aggiunta di letame o residui vegetali o altre biomasse contenenti carbonio, inducono ad un incremento nel terreno di carbonio organico grazie al processo di decomposizione. Questo carbonio organico può essere incorporato nel suolo e, con il tempo, può stabilizzarsi sotto forma di humus, contribuendo al sequestro del carbonio. Il processo di decomposizione del letame e di altri fertilizzanti organici rilascia gradualmente nutrienti e aumenta la biodiversità del suolo migliorandone la struttura, la porosità, la fertilità e la capacità di trattenere carbonio nel lungo periodo.

Table 18 Resoconto emissioni e stoccaggio di CO2 dei singoli parametri analizzati

Ton Eq/ CO2 anno	Analisi	Simulazione con cover crop	Simulazione al netto dei prodotti fitosanitari	Simulazione al netto dei concimi chimici
Stoccaggio di CO2	67.3	1.9	0	0
Emissioni di CO2	32.44	-0.36	0.12	21.45

#### 7.4 Analisi dei dati riguardanti le analisi puntuali in campo

Dai dati riguardanti i campionamenti del suolo sono state eseguite diverse elaborazioni. Inizialmente è stata creata una prima tabella raffigurante i contenuti idrici di ciascun campione sia per l'anno 2023 sia per il 2024. Dalla tabella è stato sviluppato il grafico in figura 49 dal quale si evince che, eccetto per un campione, non sono presenti differenze elevate tra i due anni nel contenuto idrico dei campioni prelevati. Nel grafico in figura 50 sono state paragonate le densità apparenti dei campioni prelevati nel biennio; si rileva che la densità apparente segue direttamente il contenuto idrico nel suolo e lo si può apprezzare molto bene osservando i dati del campione "CONGREG PT 3". I singoli valori di densità apparente ottenuti dai campioni oscillano tra 0.8 e 2 kg /dm<sup>3</sup>, in linea con i dati teorici.



Figure 49 Grafico che mette a confronto i contenuti idrici di ciascun campione prelevato nei due anni di sperimentazione





Figure 50 Grafico che mette a confronto la densità apparente di ciascun campione prelevato nei due anni di sperimentazione

La tabella sottostante (si veda tabella 19) mostra i dati di laboratorio per singolo campione riguardo il contenuto di azoto, di carbonio organico, di carbonio totale, di zolfo totale e sostanza organica per l'anno 2023 e 2024.

Come spiegato nel capitolo 4, lo scopo dell'analisi è quello di valutare al netto delle concimazioni eseguite, le variazioni avute da un anno all'altro del contenuto di carbonio organico, carbonio totale e sostanza organica nel suolo. Come si evince dallo studio dei grafici 51 e 52, non si sono manifestate differenze significative tra un ciclo colturale e il successivo riguardo la sostanza organica e il carbonio organico. Fra i due campionamenti è intercorsa una coltivazione di soia e sono state eseguite delle concimazioni con perfosfato triplo e cloruro potassico negli appezzamenti gestiti con metodo convenzionale; invece, nell'appezzamento condotto con metodo biologico, è stata eseguita una concimazione con del concime organico. I quantitativi distribuiti in media ad ettaro nell'appezzamento convenzionale sono stati di 2,8 qli /Ha per il cloruro potassico e 3,3 di perfosfato triplo; le concimazioni sono state eseguite con mappe di prescrizione in modalità rateo-variabile cercando di correggere la variabilità presente data dalle zone omogenee create dall'analisi della mappa di resa (vedi fig.52). Nella mappa in figura 53 nelle aree di colore verde si è scelto di distribuire 2 qli/Ha di cloruro potassico e 2,8 qli/Ha di perfosfato triplo, nelle zone in giallo 1

qle/Ha di cloruro e 1,8 qli/Ha di perfosfato e nelle zone in rosso 3 qli/Ha di cloruro e 3,5 qli/Ha di perfosfato. In sostituzione alla concimazione minerale poi eseguita successivamente, si sarebbe voluta ultimare una concimazione organica di fondo, ma a causa di considerazioni economiche del titolare dell'azienda agricola e a causa delle continue piogge primaverili che hanno ritardato le lavorazioni, non è stato possibile effettuarla. Nella figura 54 è rappresentata la mappa di prescrizione per la concimazione organica di fondo impiegata nell'appezzamento condotto con metodo biologico.

Le differenze non significative tra i dati studiati indicano che per ottenere nel tempo variazioni significative del contenuto di sostanza organica e carbonio nel suolo, sono necessari diversi anni di gestioni agronomiche corrette e specifiche. I microrganismi del suolo necessitano di alcuni anni per attuare processi di mineralizzazione utili alla produzione di humus, di sostanze nutritive utili, per incrementare il rapporto C/N e creare un ambiente più fertile, più stabile e ricco in sostanza organica.

Table 19 Insieme dei dati rilevati dai campioni analizzati

Campione	2023	2024	2023	2024		2023	2024		2023	2024
	N tot	N tot	Ctot 2023	Ctot 2024	Delta C tot	Corg 2023	Corg 2024	Delta C org	SOST. ORG	SOST. ORG
L21_pt1	0,32	0,30	4,72	4,64	-0,08	3,62	3,49	-0,13	6,24	6,02
L21_pt2	0,34	0,10	4,90	4,84	-0,06	3,65	3,72	0,07	6,29	6,41
L22_pt1	0,32	0,08	4,71	4,60	-0,11	3,60	3,45	-0,15	6,21	5,95
L22_pt2	0,15	0,32	3,46	4,99	1,53	1,45	1,57	0,12	2,50	2,71
L22_pt3	0,16	0,14	3,66	3,58	-0,08	1,74	2,12	0,38	3,00	3,65
L23_pt1	0,38	0,09	2,62	2,54	-0,08	1,25	0,87	-0,38	2,16	1,50
L23_pt2	0,17	0,18	3,49	3,78	0,29	1,70	2,12	0,42	2,93	3,65
L23_pt3	0,10	0,13	3,04	3,38	0,34	0,92	1,57	0,65	1,59	2,71
L24_pt1	0,36	0,34	5,27	5,37	0,10	4,13	4,23	0,10	7,12	7,29
L24_pt2	0,13	0,31	4,85	4,78	-0,07	3,53	3,74	0,21	6,09	6,45
L24_pt3	0,11	0,10	3,17	2,92	-0,25	0,92	1,22	0,30	1,59	2,10
Congregazione_pt1	0,09	0,34	2,42	2,53	0,11	0,66	0,89	0,23	1,14	1,53
Congregazione_pt2	0,11	0,11	2,76	3,01	0,25	0,72	1,51	0,79	1,24	2,60
Congregazione_pt3	0,13	0,09	2,92	2,45	-0,47	0,91	0,91	0,00	1,57	1,57



Figure 51 Grafico che mette in comparazione il contenuto di carbonio organico



Figure 52 Grafico che mette in comparazione il contenuto di sostanza organica



Figura 53 Mappa di prescrizione per la concimazione di fondo nell'appezzamento condotto con metodo convenzionale



Figure 54 Mappa di prescrizione per la concimazione di fondo nell'appezzamento condotto con metodo di coltivazione biologico

## **8. Rendicontazione economica dei crediti di carbonio di diverse strategie di coltivazione**

### **8.1 Analisi costi-ricavi sulla produzione dei crediti di carbonio da parte dell'agricoltore**

Per ciascuno piano di concimazione redatto, è stata impostata un'analisi di bilancio economico. Ad ogni piano di concimazione sono state apportate modifiche riguardo le quantità e la tipologia di input chimici e di matrici organiche somministrate. I prezzi inerenti le sementi, i concimi e i prodotti fitosanitari sono stati stabiliti confrontando i listini di vendita di due rivenditori locali nel Veneto; mentre per i costi riferiti alle lavorazioni meccaniche si è fatto affidamento ad un tariffario del 2023 della regione del Veneto (*TARIFE, n.d.*) e al listino 2023 della Borsa Merci Bologna per i prezzi di vendita dei cereali (*Anno\_2023\_prezzi\_bologna, n.d.*). Le spese associate all'irrigazione sono state ottenute da stime di calcolo con valori pari a 1200 euro/Ha per il mais e 1000 euro/Ha per la soia (*Mais o Soia: Quale Conviene per Il Secondo Raccolto?, 2024*). I costi delle concimazioni organiche ad ettaro, al netto del prodotto utilizzato, sono stati calcolati sul numero di viaggi necessari per soddisfare le quantità/ha da distribuire e quindi sulle ore totali di lavoro ipotizzando un tempo per singolo viaggio. Tutte le tabelle riguardanti le singole voci di spesa sono presenti in appendice.

Nella tabella 21 sono raffigurate le spese/ha totali che bisognerebbe sostenere nel quinquennio per ciascuno piano di concimazione redatto. Un punto interessante riguarda il quarto piano di concimazione nel quale si attua la semina su sodo; analizzandolo si ottiene un utile per Ha maggiore, anche se di poco, rispetto ad altri piani di concimazione. Nella tabella 20 gli utili per Ha sono stati ottenuti sottraendo dai ricavi della vendita dei cereali le spese calcolate precedentemente; sono stati computati insieme agli utili annuali per Ha, anche i contributi della Politica Agricola Comune (PAC): per i contributi è stato fissato un valore medio di 180 euro /Ha per il contributo base in quanto l'azienda agricola in esame nei terreni in regime convenzionale non aderisce a nessun eco-schema. La tabella 22 mostra gli introiti ad Ha derivanti dalla vendita annuale dei crediti di carbonio calcolati attraverso l'RMV MyEasyCarbon per ogni piano di concimazione.

Table 20 SEQ Table\\* ARABIC 19 Ricavi/Ha nei cinque anni per ogni piano di concimazione in convenzionale

<b>RICAVI/HA CONVENZIONALE</b>									
	Riacavi/Ha Mais	Riacavi/Ha Grano	Riacavi/Ha Soia	Riacavi/Ha Girasole	Ricavi totali per piano di concimazione /Ha in 5 anni	Spese / Ha in 5 anni	Utile / Ha in 5anni	utile/Ha anno	Utile con introiti Ha per contributi pac
Rese st. e solo input chimico	6380	2030	2400	1015	11825	10092,5	1732,5	346,5	526,5
Rese st. e letame con input chimico	6380	2030	2400	1015	11825	10190	1635	327	507
Rese st. e letame, input chimico e digestato	6380	2030	2400	1015	11825	9677	2148	429,6	609,6
Rese st. e input chimico con semina su sodo	6380	2030	2400	1015	11825	9271,6	2553,4	510,68	690,68
Rese inferiori e input chimico e organico	5588	1740	1680	725	9733	9335,5	397,5	79,5	259,5
Rese inferiori e solo input organico	5588	1740	1680	725	9733	9034	699	139,8	319,8

Table 21 SEQ Table\\* ARABIC 20 Spese/Ha nei cinque anni per ogni piano di concimazione nel sistema convenzionale

<b>SPESE/HA CONVENZIONALE</b>												
	Mais euro/ Ha	Grano	Soia	Mais	Girasole	Cover crop	Irrigazione	Concimi organici	Concimi minerali	Prodotti fitosanitari	Sementi	Totale spesa/ Ha per i 5anni
Rese st. e solo input chimico	871	522	430	871	496	380	3400	0	1728.5	183	1211	10092.5
Rese st. e letame con input chimico	871	467	430	871	531	380	3400	920	906	183	1211	10190
Rese st. e letame, input chimico e digestato	751	382	395	786	481	380	3400	1358	350	183	1211	9677
Rese st. e input chimico con semina su sodo	871	437	430	541	381	340	3400	0	1444.6	183	1244	9271.6
Rese inferiori e input chimico e organico	824	446	421	824	490	380	3400	535	695.5	183	1137	9335.5
Rese inferiori e solo input organico	739	376	386	739	390	380	3400	1304	0	183	1137	9034

Table 22 SEQ Table \\* ARABIC 21 Introito/Ha per piano di concimazione dei crediti di carbonio in convenzionale

## INTROITO CREDITI DI CARBONIO CONVENZIONALE

	Stoccaggio CO2/anno	Emissioni CO2/anno	Crediti carbonio totali prodotti/anno	Crediti /Ha prodotti	Valore vendita singolo credito	Ricavo Ha/ anno dalla vendita del credito	% della vendita che ottiene l'agricoltore	Utile Ha/anno dalla vendita del credito
Rese st e solo input chimico	12,99	-0,91	12,09	0,711	30 euro/credito	21.33529412	70	14.93470588
Rese st e letame con input chimico	13,03	5,03	18,06	1,06	30 euro/credito	31.87058824	70	22.30941176
Rese st e letame, input chimico e digestato	-25,85	-2,49	-28,34		30 euro/credito		70	
Rese st e input chimico con semina su sodo	9,77	3,66	13,43	0,79	30 euro/credito	23.7	70	16.59
Rese inferiori e input chimico e organico	-3,72	13,86	10,14	0,59	30 euro/credito	17.89411765	70	12.52588235
Rese inferiori e solo input organico	-3,72	6,87	3,15	0,18	30 euro/credito	5.558823529	70	3.891176471

Analizzando la tabella 22 i migliori piani di concimazione con maggiore produzione di crediti di carbonio sono i seguenti: produzioni standard impiegando input organici e chimici; produzioni standard con solo concimazione chimica; produzioni standard adottando la semina su sodo quando possibile.

I due piani di concimazione con rese inferiori alle rese standard hanno prodotto meno crediti di carbonio rispetto ai piani con rese standard, questo perché l'investimento di piante per Ha risulta minore e quindi si ha anche un minore apporto di residui al suolo e un minore stoccaggio di CO<sub>2</sub> per Ha di superficie.

Bisogna sottolineare che non sempre l'apporto al suolo di ammendanti organici in grosse quantità riflette un aumento progressivo e costante di carbonio nel suolo; infatti fatto 100 il carbonio nel suolo se ne trova un 70% in forma immobile ed un 30% in frazione mobile. Quest'ultima è la frazione su cui ci si focalizza, attraverso le pratiche di carbon farming, per aumentare il contenuto di carbonio. La sostanza organica che viene introdotta nel suolo risulta essere sostanza organica

morta che, una volta interrata, viene aggredita e decomposta da batteri autoctoni ma anche da batteri zimogeni. Questi batteri zimogeni sono batteri che persistono nel suolo solo ad alte concentrazioni di carbonio e dopo averne consumato gran parte di quello apportato se ne vanno senza aver incrementato la microflora, il rapporto C/N e il contenuto di carbonio effettivo nel suolo, causando nel tempo degli squilibri di umificazione. La respirazione batterica porta alla produzione di CO<sub>2</sub> e di catene carboniose circolari dalle quali si producono protoni; questi vengono eliminati dai batteri utilizzando ossigeno ed elettroni con reazioni di ossidazione (producendo CO<sub>2</sub>); gran parte della respirazione però viene eseguita da batteri zimogeni perdendo il carbonio prodotto e riguarda tutte le matrici organiche presenti nel suolo. Riguardo il digestato viene considerata anche una quota di emissioni maggiorate associata alla maggiore concentrazione di N<sub>2</sub>O, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub>; inoltre avendo alte concentrazioni di azoto prontamente disponibili si ha maggiore rischio di lisciviazione ottenendo nei piani di concimazione studiati valori di produzione di crediti di carbonio negativi o bassi.

Il piano di concimazione impostato solo su concimazioni chimiche ha prodotto, rispetto all'analisi, emissioni di CO<sub>2</sub> leggermente negative ma grazie alle cover crop inserite si ha una buona produzione di crediti di carbonio; anche la semina su sodo ha portato ad un'ottima produzione di crediti di carbonio a fronte di basse spese di coltivazione per Ha.

Un aspetto da considerare riguarda la percentuale che riceve l'agricoltore sul valore totale dalla vendita del singolo credito di carbonio. Come mostrato nella figura 55, in un progetto di sostenibilità vengono coinvolte diverse figure. Alla base di tutto vi è un organismo certificatore come per esempio: Verra Carbon Standard, Label Bas Carbone, ISO 14064-2 e a seconda dell'ente certificatore i prezzi di vendita dei crediti di carbonio e il prezzo iniziale del progetto variano. L'ente certificatore delega la verifica del progetto ad un comitato che si interfaccia a sua volta con i tecnici o gli agronomi che seguono le aziende agricole e gestiscono lo strumento MRV, come MyEasyCarbon. Per ogni progetto di sostenibilità troviamo tre attori principali: gli agricoltori, i broker e gli acquirenti dei crediti di carbonio. Gli agricoltori seguono ed attuano concretamente le varie pratiche di carbon farming sotto la supervisione e l'aiuto del project manager, riportando tutte le operazioni eseguite nello strumento MRV sulla base di quanto deciso con la simulazione. I broker si occupano di vendere i crediti di carbonio sul mercato e collaborano col project manager che fa da tramite tra gli agricoltori e i broker, mentre gli acquirenti dei crediti sono in maggioranza le aziende del settore secondario che comprano i crediti di carbonio per essere in regola coi propri



bilanci di sostenibilità e sopperire alla quota di emissioni negative prodotte. Generalmente le percentuali trattenute dai broker e dal project manager sono del 10-15% del valore di vendita del credito e ad oggi un progetto di sostenibilità ha un costo iniziale di avviamento pari a 2500 euro per progetto. Molto spesso in funzione del progetto redatto, se si lavora tramite cooperative agricole (come avviene in Francia), il project manager e i broker provengono entrambi dalla stessa cooperativa, altrimenti i singoli ruoli di project manager e broker vengono rappresentati da persone terze.

ISO 14064-2 è uno standard di conformità al quale i crediti devono sottostare per essere venduti, specifica i vari requisiti legislativi e fornisce le linee guida per la quantificazione, il monitoraggio e la rendicontazione delle attività nel progetto di sostenibilità. Lo standard ISO 14064-2 etichetta quindi progetti di ogni tipo e non applica criteri specifici per i progetti agricoli (*Funzionamento\_mercato\_crediti\_francia\_quotazioni*, n.d.). L'ente di certificazione del Label Bas Carbone è invece un ente pubblico mentre Verra o Gold Standard sono enti privati; inoltre il Label Bas Carbone lavora esclusivamente sul territorio nazionale francese a differenza di Verra e Gold Standard che operano a livello internazionale.

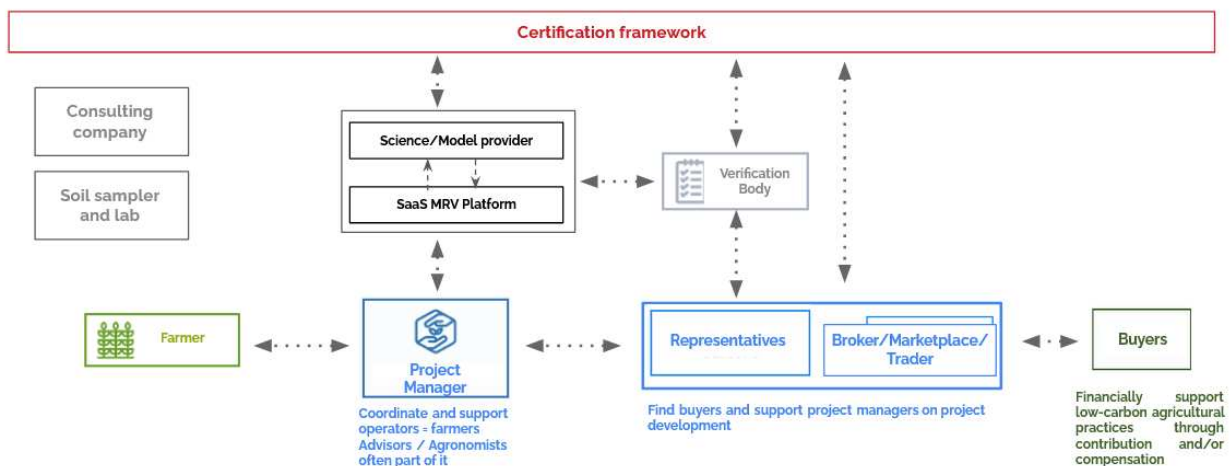


Figure 55 Attori coinvolti in un progetto di sostenibilità volto alla produzione di crediti di carbonio

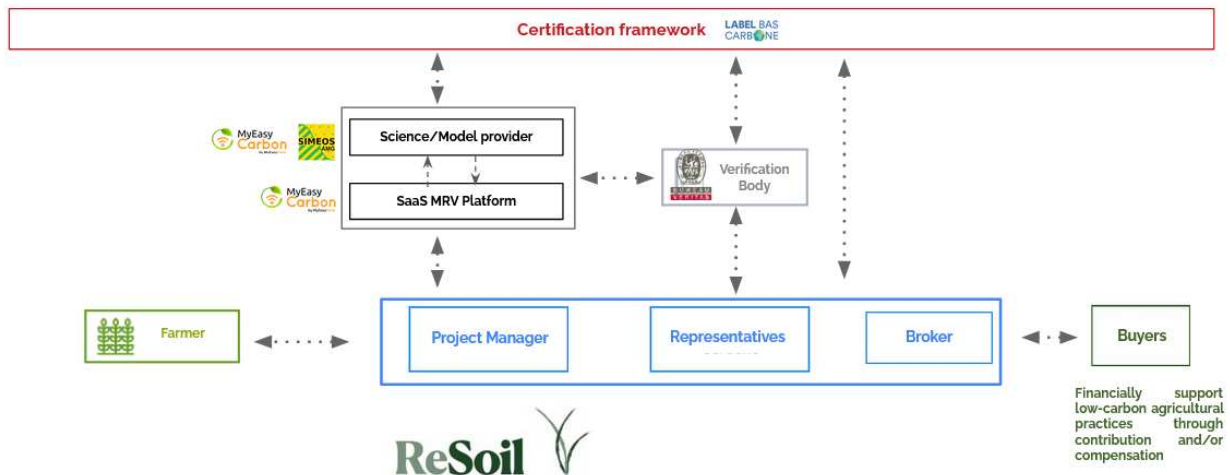


Figure 56 Progetto di sostenibilità nel quale una ditta segue tutta la parte di broker e project manager

Un progetto di agricoltura rigenerativa coinvolge invece un numero minore di attori. Innanzitutto non sono coinvolti il project manager, i broker e il comitato di verifica; nei progetti di agricoltura rigenerativa sono spesso coinvolte aziende alimentari la cui volontà è quella di creare e dimostrare di avere sul mercato un prodotto valido, concreto e realmente sostenibile agli occhi del consumatore. Gli agricoltori si interfacciano direttamente con la cooperativa di conferimento (per esempio un molino) dalla quale ricevono indicazioni agronomiche tramite agronomi terzi alla cooperativa o agronomi interni ad essa. Tra gli agricoltori e la cooperativa vi è una continua interlocuzione e tutte le pratiche agronomiche devono essere registrate su un sistema MRV per poi ottenere una certificazione dall'ente di certificazione scelto. Il prodotto finito arriva alla ditta finale tramite grossisti o tramite vendita diretta.

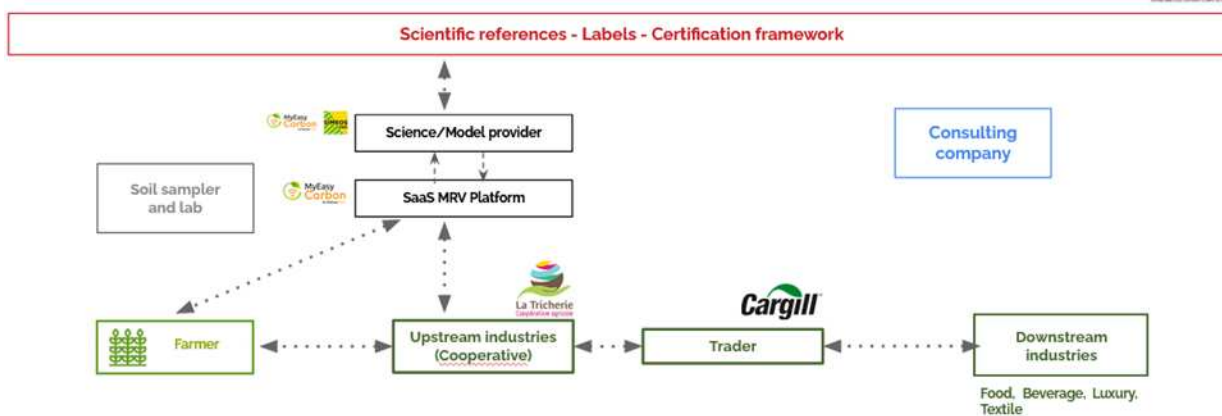


Figure 57 Attori coinvolti in un progetto di agricoltura rigenerativa

Table 23 SEQ Table\\* ARABIC 24 Spese/Ha per piano di concimazione nel sistema biologico

<b>SPESA/HA BIOLOGICO</b>												
	Soia Euro/HA	Colza	Grano	Soia	Girasole	Cover crop	Irrigazione	Concimi organici	Concimi minerali	Prodotti fitosanitari	Sementi	Totale spesa/ Ha per i 5anni
<b>Biologico</b>	529	395	330	523	537	185	2000	765	0	0	874	6138

Table 24 SEQ Table\\* ARABIC 23 Ricavi/Ha per il piano di concimazione nel sistema a biologico

<b>RICAVI/HA BIOLOGICO</b>										
	Soia	Colza	Grano	Soia	Girasole	Ricavi totali per piano di concimazione /Ha in 5 anni	Spese / Ha in 5 anni	Utile /Ha in 5anni	utile/Ha anno	Utile con introiti Ha per contributi pac
<b>Biologico</b>	2280	1400	1600	1710	980	7970	6138	852	170.4	460.4

Table 25 SEQ Table\\* ARABIC 22 Introito/Ha pe rpiano di concimazione dai crediti di carbonio nel sistema a biologico

<b>INTROITO CREDITI DI CARBONIO BIOLOGICO</b>								
	Stoccaggio CO2/anno	Emissioni CO2/anno	Crediti carbonio totali prodotti/anno	Crediti /Ha prodotti	Valore vendita singolo credito	Ricavo Ha/anno dalla vendita del credito	% della vendita che ottiene l'agricoltore	Utile Ha/anno dalla vendita del credito
<b>Biologico</b>	22,19	-117,46	-95,28	-6.8	30 euro/credito		70	

Per il sistema di coltivazione in biologico è stata redatta una solo simulazione (si veda capitolo 5) nella quale si è deciso di coltivare prettamente cereali autunno vernini, leguminose, specie oleifere, eseguendo rispetto al sistema convenzionale un ciclo di cover crop in meno. Osservando le tabelle sottostanti 23 e 24 si deduce che il sistema biologico, a fronte di una maggiore quotazione media dei cereali, presenti un utile netto all'Ha comparabile con il sistema convenzionale nonostante una minore produzione Ha. In questo caso i contributi assegnati dalla Politica Agricola Comunitaria nell'azienda agricola raggiungono i 290 euro/Ha per gli appezzamenti condotti con sistema biologico grazie agli eco-schemi adottati.

Analizzando la tabella 25 si ottengono per lo stoccaggio valori di carbonio elevati rispetto l'analisi, mentre il vasto impiego di ammendanti organici ha portato ad un aumento molto elevato delle

emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto l'analisi ottenendo una negativizzazione del valore totale di CO<sub>2</sub> stoccata. Nell'analisi del triennio 2020-2022 era stata eseguita una sola fertilizzazione organica e di conseguenza i valori inerenti le emissioni di CO<sub>2</sub> nell'analisi erano inizialmente molto positivi. Dai risultati ottenuti si può affermare che il sistema condotto in biologico risulta essere in negativo per produrre crediti di carbonio a causa dell'apporto costante ed elevato di ammendanti organici a fronte di terreni con contenuti iniziali di sostanza organica bassi. Sebbene secondo la simulazione eseguita i valori di stoccaggio siano negativi, eseguendo delle concimazioni organiche, ipoteticamente nell'arco di 5 anni il contenuto di sostanza organica nel suolo dovrebbe stabilizzarsi ed aumentare riducendo così le concimazioni organiche necessarie per future simulazioni e generare quindi crediti di carbonio. È risaputo che incrementando la sostanza organica con ammendanti o tramite tecniche di agricoltura rigenerativa si ottiene un aumento della capacità di scambio cationico, della capacità del suolo di trattenere micro e macro nutrienti, della porosità del suolo. Tutto questo porta ad una maggior fertilità intrinseca e ad una minore necessità di apportare ammendanti organici per sostenere le produzioni future. L'evoluzione della sostanza organica influenza inoltre il quantitativo di carbonio stoccabile nel suolo; un aspetto da ricordare è che all'aumentare degli input di carbonio nel suolo, il contenuto di carbonio in esso non aumenterà progressivamente ma tenderà ad un livello di saturazione. La sostanza organica nel suolo viene influenzata da diversi fattori: il tipo di suolo in funzione al contenuto di limo e argilla, il clima, gli input di carbonio apportati, l'attività microbica e non nel suolo, la lisciviazione della sostanza organica e l'effetto priming. L'effetto priming porta ad una variazione nel breve periodo della sostanza organica data dall'apporto di biomassa fresca o di azoto minerale, si induce quindi un'accelerazione della mineralizzazione della sostanza organica creando squilibri microbici e intaccando anche le sostanze umiche a ciclo lento (*Programma Di Formazione Dei Consulenti Che Operano o Intendono Operare Nell'ambito Della Misura 2 Del PSR 2014-2020 Del Veneto "Servizi Di Consulenza, Di Sostituzione e Di Assistenza Alla Gestione Delle Aziende Agricole," n.d.*).

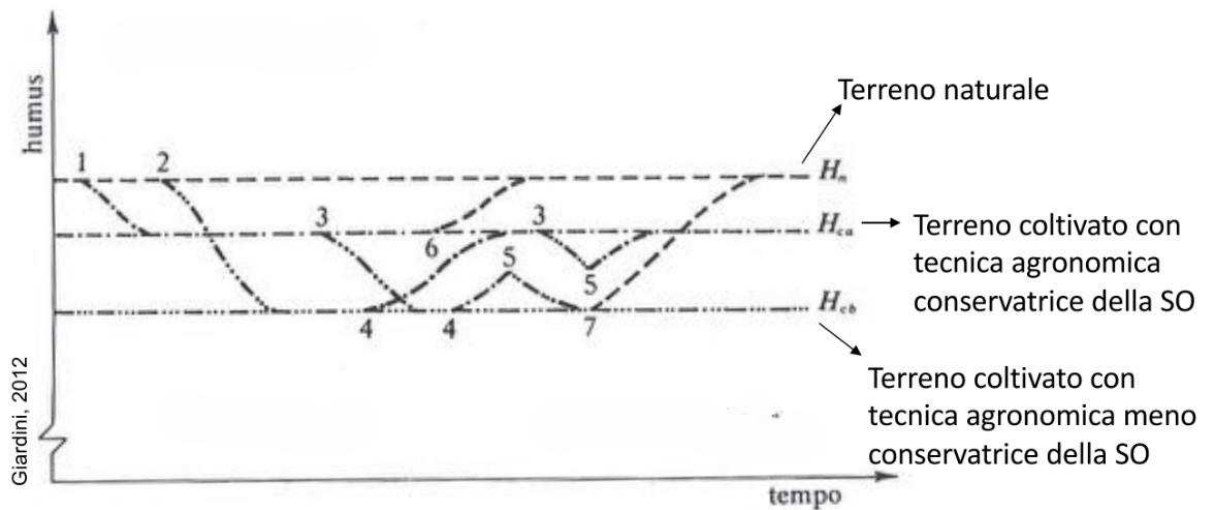


Figure 58 Trasformazioni nel terreno e influenza agronomica sulla fertilità del suolo

## 8.2 Conclusioni personali

Attraverso questa tesi si è voluto testare, verificare e spiegare lo strumento MRV MyEasyCarbon per calcolare le diverse produzioni di crediti di carbonio in un'azienda agricola a seconda delle diverse tecniche agronomiche. Delle buone pratiche colturali che tutti noi conosciamo e delle pratiche inerenti il carbon farming si è parlato molto e, tra le due, vi è una netta differenza. Questo perché lo stoccaggio del carbonio è dovuto a numerosi fattori come la tessitura del suolo, il contenuto iniziale di nutrienti nel suolo, le colture e gli avvicendamenti adottati. Un credito di carbonio equivale a 1000 tonnellate di CO<sub>2</sub> immagazzinate nel suolo e per produrle bisogna innanzitutto definire nell'azienda quali sono le pratiche agronomiche inerenti il carbon farming realmente attuabili, le rotazioni colturali adatte e i piani di concimazione (*Agricoltura Rigenerativa: Principi e Tecnologie per La Conservazione Del Suolo e Il Sequestro GHG, n.d.*). Allo stesso tempo deve però ottenere utili positivi dalle varie produzioni per far fronte alle spese colturali, senza dimenticare che i sistemi di agricoltura di precisione possono in minima o larga parte, ridurre i costi di coltivazione.

L'analisi iniziale del triennio in merito alle emissioni e gli stoccaggi di CO<sub>2</sub> dell'azienda agricola rappresenta una prima valutazione molto importante dalla quale ci si prefigge diversi obiettivi da raggiungere, sulla base delle proprie forze produttive ed esigenze aziendali. Tutto questo si traduce nella corretta scelta delle "leve" (vedi capitolo 3) prima di redigere una simulazione. Se l'azienda dall'analisi risulta già avere una buona sostenibilità produttiva in termini di crediti di carbonio,

può anche mantenere il proprio regime colturale e di lavoro invariato integrando all'utile totale annuale la quota della vendita dei crediti di carbonio.

Ritengo che MyEasyCarbon, come strumento MRV, possa rappresentare un punto di forza e di aiuto nel futuro per tutte le aziende agricole. Questo strumento permette alle aziende di aumentare il proprio reddito ma allo stesso tempo di far conoscere al consumatore quanto poco realmente impatta il comparto primario rispetto il comparto secondario e terziario in termini di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Alcuni aspetti critici di questo strumento e dei progetti di sostenibilità che vengono attuati riguardano la vasta incertezza nel pianificare e certificare progetti di avvicendamenti colturali di cinque anni. Infatti il modello di calcolo basato sul Label bas carbone risulta essere creato sulle caratteristiche pedologiche e agronomiche francesi (risulta essere molto strutturato, ben formato e considera tutti i parametri utili per calcolare le varie emissioni e stoccaggi di CO<sub>2</sub> (*Clivot et al., 2019*)). Per questo motivo dovrebbe essere adattato alle varie condizioni pedologiche italiane, seppure i metodi di coltivazione e i cereali coltivati siano gli stessi tra i due paesi.

Un ulteriore aspetto critico riguarda la fattibilità economica nell'attuare un progetto di sostenibilità: considerando un'azienda agricola italiana media, risulterebbe insostenibile far fronte ad una spesa iniziale del progetto di sostenibilità di 2500 euro, oltre che gli investimenti per eseguire pratiche di carbon farming (per esempio nuovi macchinari per la lavorazione del suolo e la gestione delle cover crop). Per ammortizzare e rientrare delle spese risulta necessario creare progetti di sostenibilità su superfici di 1500-2000 Ha e quindi bisogna coinvolgere un numero vasto di aziende agricole per poter raggiungere determinate superfici. Il secondo aspetto economico si rifà al prezzo di vendita del singolo credito di carbonio.

Il prezzo varia molto in funzione dell'organismo di certificazione, della qualità del progetto e della difficoltà e specificità nel reperire i dati. È molto importante dimostrare che il dato registrato dalla piattaforma RMV sia reale, attendibile e trasparente. Ad oggi, se dovessimo prendere in considerazione il prezzo del mercato comune volontario Europeo dei crediti di carbonio, si supererebbe faticosamente 1 euro per credito rendendo qualsiasi progetto insostenibile (*Live Carbon Prices Today, 2024*). Altri enti di certificazione come il Label bas carbone riescono a raggiungere quotazioni superiori ai 40 euro per credito, con Gold Standard circa 20 euro, Verified Carbon Standard 10 euro e ISO 14064 circa 30 euro per credito (*Funzionamento\_mercato\_crediti\_francia\_quotazioni, n.d.*). La produzione media di crediti di

carbonio si aggira tra 1-1,2 crediti per Ha all'anno e considerando un possibile utile netto per ettaro di circa 25 euro per credito ad ettaro, ad oggi, sono necessari prezzi di vendita superiori agli attuali per poter ottenere un utile dalla vendita che permetta all'azienda una sostenibilità economica aziendale, una sostenibilità del progetto e di progredire sempre più verso pratiche di carbon farming. Grazie alla direttiva CSRD si prospetta un aumento dei prezzi di vendita dei crediti di carbonio entro il 2026 a fronte delle sempre maggiori richieste del mercato di crediti di carbonio in relazione ad un ulteriore obbligo per le aziende di redigere un bilancio di sostenibilità. Un aspetto da non sottovalutare riguarda l'assenza, ancora ad oggi, di una direttiva di certificazione italiana che dovrebbe, tuttavia, essere deliberata entro dicembre 2024. Ritengo infine che nel mondo del carbon farming vi sia ancora molto margine di mercato, sviluppo ed innovazione. MyEasyCarbon rappresenta sicuramente un valido MRV nel panorama agrario Europeo e se si verificheranno grossi movimenti di mercato con conseguente innalzamento di prezzo dei crediti di carbonio si avrà un margine di crescita sul mercato Italiano.

## 9. Appendice

Capitolo 3:

Appendice 3: LBC\_Methode GC\_Annexe03\_referentiel engrais.xlsx

Appendice 4: LBC\_Methode GC\_Annexe04\_referentiel cultures.xlsx

Capitolo 8:

*Table 26 SEQ Table \\* ARABIC 25 Tabella riguardante i prezzi di acquisto degli input agronomici considerati per il bilancio economico*

Prodotto	Prezzo euro/q	Prezzo euro/Lt	Prezzo euro/dose
Adengo		140	
Decis		37	
Bismark		23	
Amistar		46	
Cloruro K	45		
Perfosfato	50		
Urea	45		
nitrato 27%	34		
10:20:20	65		
18:46	70		
8:24:24	60		
Mais			95 (25000s)
Soia			55 (115000s)
Girasole			110 (65000s)
Frumento	70		
Cover	500		
Colza bio			220
Grano bio	90		
Soia bio			55
Girasole bio			100



Table 27 Tabella raffigurante i prezzi delle lavorazioni agricole utilizzati per redigere il bilancio economico

Lavorazioni	Euro/HA
aratura	130
minima lavorazione	70
concimazione	35
diserbo	40
tratt. piralide	50
semina	65
semina combinata	80
raccolta	120
trasporto raccolta	0,6/qle
sarchiatura	50
trinciatura residui	50
strigliatore	30
rullo	30
trasporto spandiletame	80 euro/h
trasporto botte liquame	70 euro/h
Impiego semovente varvet	4 euro/m3

Table 28 Tabella riguardante i prezzi di vendita dei cereali per redigere il bilancio economico

Prodotto	Prezzo vendita euro/qle
Mais	22
Soia	48
Girasole	29
Frumento di forza	29
colza bio	56
grano bio di forza	32
soia bio	57
girasole bio	49

## 10. Bibliografia

Agricoltura Rigenerativa: principi e tecnologie per la conservazione del suolo e il sequestro GHG. (n.d.). <https://orcid.org/0000-0001-6437-3402>

Anno\_2023\_prezzi\_bologna. (n.d.).

Azione per il clima: Consiglio e Parlamento convengono di istituire un quadro di certificazione dell'UE per gli assorbimenti di carbonio. (2024, July 26). <https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2024/02/20/climate-action-council-and-parliament-agree-to-establish-an-eu-carbon-removals-certification-framework/>

Blanton, A., Mohan, M., Galgamuwa, G. A. P., Watt, M. S., Montenegro, J. F., McTavish, F., Carlsen, S. C. H., Valasquez-Camacho, L., Bomfim, B., Pons, J., Broadbent, E. N., Kaur, A., Direk, S., de-Miguel, S., Ortega, M., Abdullah, M., Rondon, M., Wan Mohd Jaafar, W. S., Silva, C. A., ... Ewane, E. B. (2024). The status of forest carbon markets in Latin America. *Journal of Environmental Management*, 352, 119921. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.119921>

CalibrateYourYieldMonitorUWExtension. (n.d.).

Carbonio organico. (n.d.). Retrieved June 29, 2024, from <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/suoli/proprietà-e-qualità-dei-suoli/carbonio-organico>

Cariappa, A. A. G., Konath, N. C., Sapkota, T. B., & Krishna, V. V. (123 C.E.). Evaluating the potential and eligibility of conservation agriculture practices for carbon credits. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59262-6>

Cevallos, G., Grimault, J., & Bellassen, V. (2019). Domestic carbon standards in Europe-Overview and perspectives Domestic carbon standards in Europe Overview and perspectives. <https://hal.science/hal-02503313>

Cleaning Yield Maps. (n.d.). Retrieved June 29, 2024, from <https://www.aspexit.com/filtering-cleaning-yield-maps/>

Clivot, H., Mouny, J. C., Duparque, A., Dinh, J. L., Denoroy, P., Houot, S., Vertès, F., Trochard, R., Bouthier, A., Sagot, S., & Mary, B. (2019). Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model. *Environmental Modelling & Software*, 118, 99–113. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2019.04.004>

Corporate sustainability reporting. (2024, July 26). [https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting\\_en#legislation](https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en#legislation)

Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD). (2024, July 25). [https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/corporate-sustainability-reporting-directive\\_en](https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/corporate-sustainability-reporting-directive_en)

CSRD: la Direttiva Europea sul Bilancio di sostenibilità. (2024, July 26). <https://blog.3bee.com/csrd-la-direttiva-europea-sul-bilancio-di-sostenibilita/#paragraph-5383>

Dati meteorologici ARPAV . (n.d.). Retrieved June 29, 2024, from <https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/dati-storici>

Deere, J., & Works, H. (n.d.). S-Series Combine and Front End Equipment Optimization “Ready To Harvest” Yield Accuracy.

Earth Engine . (n.d.). Retrieved July 2, 2024, from <https://3msozzi.users.earthengine.app/view/ndvi--soil>

Emission Trading System EU. (n.d.). Retrieved June 15, 2024, from <https://www.mase.gov.it/pagina/emission-trading>

Funzionamento\_mercato\_crediti\_francia\_quotazioni. (n.d.).

Guida completa agli ESG: significato e importanza. (2024, July 26). <https://blog.3bee.com/Guida-ESG-significato-importanza/>

He, Z., Ding, B., Pei, S., Cao, H., Liang, J., & Li, Z. (2023). The impact of organic fertilizer replacement on greenhouse gas emissions and its influencing factors. *Science of The Total Environment*, 905, 166917. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.166917>

Il Green Deal Europeo . (n.d.). Retrieved May 25, 2024, from <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/#what>

Karaca, M., & Ince, A. G. (2023). Revisiting sustainable systems and methods in agriculture. In *Sustainable Agriculture and the Environment* (pp. 195–246). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90500-8.00004-X>

L'agricoltura e il Green Deal. (n.d.). Retrieved May 25, 2024, from [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/agriculture-and-green-deal\\_it](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/agriculture-and-green-deal_it)

Live Carbon Prices Today. (2024, August 12). <https://carboncredits.com/carbon-prices-today/>

Mais o soia: quale conviene per il secondo raccolto? (2024, August 8). <https://www.ilnuovoagricoltore.it/mais-o-soia-quale-conviene-per-il-secondo-raccolto/>

Mcdonald, H., Frelh-Larsen, A., Lóránt, A., Duin, L., Andersen, S. P., Costa, G., & Bradley, H. (n.d.). Carbon farming Making agriculture fit for 2030 Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies Directorate-General for Internal Policies.

METODI UFFICIALI DI ANALISI FISICA DEL SUOLO , Approvazione dei “Metodi ufficiali di analisi fisica del suolo”. (097A6592) (GU Serie Generale n.204 del 02-09-1997 - Suppl. Ordinario n. 173) (1997).

Mexican Emissions Trading System. (n.d.). Retrieved June 15, 2024, from <https://icapcarbonaction.com/en/ets/mexican-emissions-trading-system>

Michael. (n.d.). Precision Agriculture: Grain Combine Yield Monitor Calibration. <https://www.clemson.edu/extension/co/index.html>

Papadopoulos, G., Arduini, S., Uyar, H., Psiroukis, V., Kasimati, A., & Fountas, S. (2024). Economic and environmental benefits of digital agricultural technologies in crop production: A review. *Smart Agricultural Technology*, 8, 100441. <https://doi.org/10.1016/J.ATECH.2024.100441>

Poeplau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>

Principali obiettivi strategici della PAC 2023-2027. (n.d.). Retrieved May 25, 2024, from [https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27\\_it](https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27_it)

Programma di formazione dei consulenti che operano o intendono operare nell’ambito della Misura 2 del PSR 2014-2020 del Veneto “Servizi di consulenza, di sostituzione e di assistenza alla gestione delle aziende agricole.” (n.d.).

Pronti per il 55%. (n.d.). Retrieved May 25, 2024, from <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/fit-for-55/>

Rehberger, E., West, P. C., Spillane, C., & McKeown, P. C. (2023). What climate and environmental benefits of regenerative agriculture practices? an evidence review. *Environmental Research Communications*, 5(5), 052001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/acd6dc>

Soenen, B. (n.d.). Méthode LBC Grandes Cultures (version 1.1) LABEL BAS-CARBONE Méthode Grandes Cultures. <https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone>

SOSTANZA ORGANICA. (n.d.).

T A R I F F E. (n.d.).

Tassonomia dell'UE: classificazione attività economiche ecosostenibili. (2024, July 26). <https://europedirect.comune.fi.it/blog/tassonomia-dellue-classificazione-attivita-economiche-ecosostenibili>

terreno\_università. (n.d.).

The CAP reform's compatibility with the Green Deal's ambition. (n.d.). Retrieved May 25, 2024, from [https://agriculture.ec.europa.eu/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-05-20\\_en?prefLang=it](https://agriculture.ec.europa.eu/news/cap-reforms-compatibility-green-deals-ambition-2020-05-20_en?prefLang=it)

What are carbon credits and how do they work? (n.d.). Retrieved June 10, 2024, from <https://www.southpole.com/sustainability-solutions/carbon-credits-frequently-asked-questions>

You, M., & Delerce, S. (2023). The low-carbon label A French approach to improving the voluntary market for emissions reductions and removals. <https://tinyurl.com/2p8necs7>

## **11. Ringraziamenti**

Spero con tutto me stesso che questo lavoro possa essere una fonte di ispirazione e studio per diverse persone e permetta di far la realtà dei crediti di carbonio a livello nazionale.

Un pensiero speciale lo rivolgo personalmente a mio nonno materno e mia nonna materna. Grazie a loro fin da piccolo mi è stata trasmessa una dirompente passione per il mondo dell'agricoltura la quale negli anni mi ha portato e spinto a raggiungere numerosi traguardi fino a raggiungere grosse soddisfazioni personali.

Ringrazio tutte le persone che negli anni mi hanno insegnato molto nel mondo del lavoro nei diversi ambiti agrari ed anche per avermi dato l'opportunità di provare con mano diversi lavori, studiarli, imparare moltissimo e capirne per ciascuno i vantaggi e svantaggi mettendo in pratica tutto quello ho studiato.

Nello specifico ringrazio l'azienda MyEasyFarm e tutti i colleghi, oltre che l'azienda agricola Luca Geremia per avermi dato la possibilità di imparare, sperimentare e raggiungere dei risultati che sinceramente non credevo possibili. Ringrazio inoltre il prof. Luigi Sartori, il prof. Marco Sozzi e il dottorando Francesco Bettucci per avermi seguito nella stesura dell'elaborato.

Grazie a tutta la mia famiglia che mi ha sostenuto, anche economicamente, durante tutti questi anni di studio e mi ha sempre incoraggiato e spronato a fare del mio meglio.

Ai miei amici e a tutte le persone a me vicine dico grazie per essermi stato vicino ed essere stati per me fino ad ora sempre un punto di confronto, svago, divertimento e sostegno reciproco. Infine rivolgo personalmente un ringraziamento speciale a Sonia per essermi stata vicino in questo periodo ed avermi incoraggiato, sopportato e sostenuto ogni giorno; senza di lei tutto questo lavoro non sarei riuscito a concluderlo.