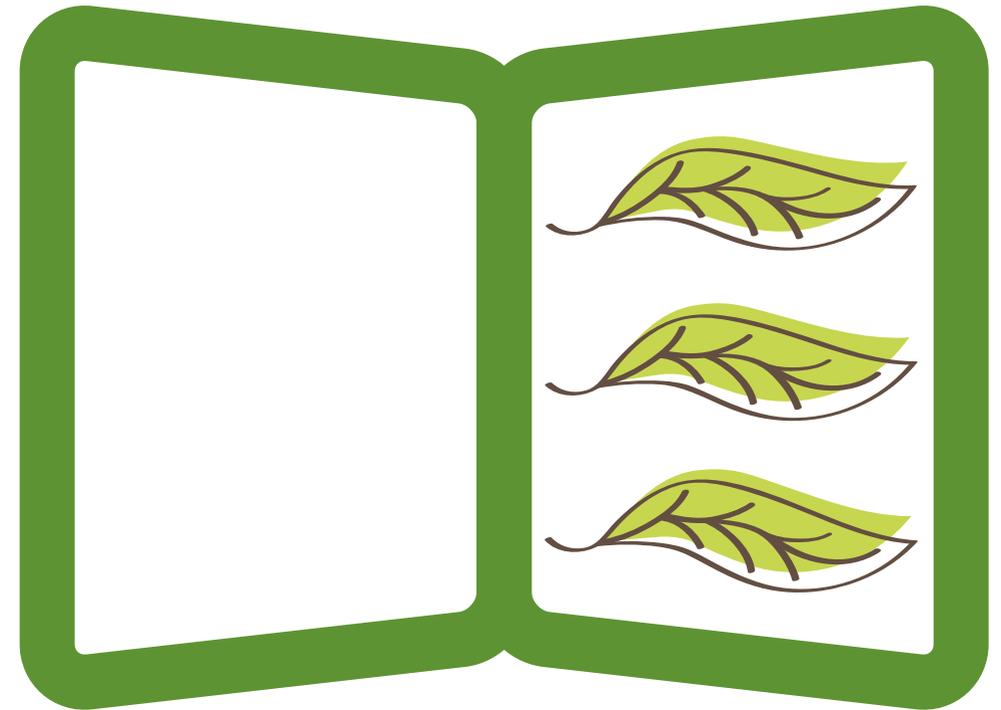




**CarboNostrum**  
CLIMATE-SMART AGRICULTURE IN A CHANGING WORLD



# Manuale

 Cofinanziato dal programma Erasmus+ dell'Unione europea

Questo progetto 2021-1-PT01-KA220-VET-000033188 è stato finanziato con il sostegno della Commissione europea. L'autore è il solo responsabile di questo volantino e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in esso contenute.

CarboNostrum Partnership:





KA220-VET - Cooperation partnerships in vocational education and training

# **Manuale per l'adattamento dell'agricoltura mediterranea al cambiamento climatico**

## **CarboNostrum**

Agreement N° 2021-1-PT01-KA220-VET-000033188

### **Manuale CarboNostrum**

#### **AUTORI:**

Gonzalo Barberá, Carlos Álvaro e Henrique Cerqueira

#### **Recensione di:**

Francesca Poggi

Márcia Silva, Graça Gonçalves, Guilherme Bastos, Samuel Oliveira

#### **Graphic Design**

Carlota Flieg



## Sommario

<b>Abstract</b> .....	8
<b>Introduzione</b> .....	9
<b>Aspetti generali</b> .....	13
Agricoltura: tendenze, impatti e benefici.....	14
Cambiamento climatico: cosa sta succedendo e come influisce l'agricoltura nel Mediterraneo.....	22
Desertificazione nel Mediterraneo.....	33
Agroecosistemi e i paesaggi circostanti.....	37
Intensificazione agricola ed ecologica.....	40
Il ciclo del carbonio nei sistemi agricoli.....	43
Mitigazione degli impatti e agricoltura intelligente dal punto di vista climatico (CSA).....	46
Comprendere la politica agricola comune.....	49
<b>Pratiche di gestione</b> .....	51
Gestione dei residui colturali.....	52
Siepi e boschi cedui.....	61
Rotazione e alternanza delle colture.....	75
Lavorazione minima, nessuna lavorazione del terreno e maggese.....	83
Lavorazione del contorno.....	91
Strisce vegetali.....	100
Colture associate.....	107
Colture di copertura.....	114
<b>Sequestro del carbonio in suoli poveri e degradati</b> .....	125
Pratiche di gestione e sequestro del carbonio.....	129
Mobilizzazione del suolo.....	132
Gestione dei rifiuti.....	135
Colture superficiali.....	137
Fecondazione naturale e artificiale.....	139
Gestione dei maggese.....	141
Sistemi integrati: agroforestazione, pascolo, e pratiche agrosilvopastorali.....	143
Strumenti per l'implementazione e monitoraggio.....	146
Servizi ecosistemici e mercati del carbonio.....	154
<b>Conclusione</b> .....	160
<b>Riferimenti</b> .....	164

## Abstract

Questo manuale esamina la complessa interazione tra agricoltura, cambiamento climatico e desertificazione nel Mediterraneo, sottolineando l'urgente necessità di pratiche agricole trasformative. La guida fornisce un'esplorazione approfondita dell'agricoltura intelligente per il clima (CSA), una metodologia incentrata sul sostegno della produttività agricola, sulla costruzione della resilienza al cambiamento climatico e sulla riduzione al minimo delle emissioni di gas serra. Il manuale approfondisce ulteriormente varie pratiche agricole sostenibili, quadri politici come la politica agricola comune (PAC) dell'Unione europea e strumenti come i sistemi di informazione geografica (GIS) per il suo monitoraggio e attuazione efficace. Nonostante i potenziali ostacoli, come i costi iniziali e le competenze tecniche, viene sottolineata l'importanza del coinvolgimento della comunità e dello sviluppo delle capacità. Fornendo indicazioni pratiche e approfondimenti teorici, questo manuale mira a fornire agli agricoltori e ai gestori del territorio nella regione mediterranea gli strumenti per adottare pratiche sostenibili, contribuendo a un futuro più resiliente e responsabile dal punto di vista ambientale per l'agricoltura.

**Parole chiave:** agricoltura intelligente dal punto di vista climatico, desertificazione, agricoltura mediterranea, pratiche sostenibili, politica agricola.

## Introduzione

Negli ultimi 12.000 anni, l'agricoltura è stata la spina dorsale della civiltà, a partire dal Neolitico. Nel corso della storia, gli agricoltori hanno continuamente evoluto le loro pratiche per garantire la crescita e la produzione delle colture, svolgendo un ruolo fondamentale nel mantenimento della produttività della terra. Tuttavia, è fondamentale rimanere vigili sulla sostenibilità a lungo termine di queste pratiche e sul loro impatto ambientale. Questo capitolo esaminerà i potenziali effetti negativi di alcune pratiche agricole e l'urgente necessità di alternative sostenibili. Inoltre, approfondiremo il nesso critico tra agricoltura e cambiamenti climatici, che richiede nuove prospettive e approcci.

Prove schiaccianti confermano che il cambiamento climatico è una realtà, in gran parte influenzata dalle attività umane, in particolare dall'emissione di gas serra (GHG), con la CO<sub>2</sub> che è il contributo più significativo. La comunità scientifica globale è fortemente d'accordo con questa correlazione, che ha immense implicazioni sia per la biosfera che per l'umanità. Il cambiamento climatico incide profondamente sul sistema agroalimentare, compresa la produzione agricola. Le fluttuazioni del clima hanno un impatto diretto sulla produttività delle colture, portando a una riduzione dei raccolti durante la siccità e altri eventi meteorologici estremi. Inoltre, i cambiamenti dell'agricoltura e dell'uso del suolo contribuiscono a circa il 24% delle emissioni totali di gas serra umani, con un ulteriore 10% proveniente da attività all'interno del sistema agroalimentare, come il trasporto e l'imballaggio. Pertanto, l'agricoltura contribuisce in modo significativo e vittima dei cambiamenti climatici, sottolineando l'urgente necessità di sostenibilità agricola.

La regione mediterranea, caratterizzata dal suo clima caratteristico e dalla biodiversità, si estende su 24 paesi ed è caratterizzata da estati calde e secche e inverni miti e umidi. Sebbene questo modello climatico abbia facilitato lo sviluppo di una ricca biodiversità e di pratiche agricole specifiche, presenta anche sfide significative. Questi vanno dalla limitata disponibilità di acqua, a causa di siccità ricorrenti e precipitazioni irregolari, a terreni fragili suscettibili di erosione, desertificazione e degrado. Questi ecosistemi unici e diversificati affrontano gravi minacce sotto il peso dei cambiamenti climatici. Le attuali proiezioni climatiche suggeriscono che la regione sperimenterà ondate di calore intensificate, periodi di siccità prolungati e una maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi. Questi cambiamenti pongono gravi rischi per la stabilità degli ecosistemi, dell'agricoltura e delle società umane che dipendono da queste risorse. In particolare per l'agricoltura, questo cambiamento climatico potrebbe portare a cambiamenti nelle stagioni di crescita delle colture, diminuzione dei raccolti e aumento della prevalenza di parassiti e malattie. Insieme ai problemi di scarsità d'acqua esistenti, questi impatti potrebbero esacerbare la già precaria situazione agricola nella regione. Data la potenziale gravità di questi impatti del cambiamento climatico, adottare misure proattive per mitigare questi rischi è fondamentale.

Per affrontare queste questioni urgenti, è emerso il concetto di Climate-Smart Agriculture (CSA), collocando l'agricoltura e le attività correlate nel contesto dei cambiamenti climatici. L'Organizzazione per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) ha introdotto il CSA nel 2009, delineando tre pilastri principali: aumento sostenibile della produttività e dei redditi agricoli, adattamento e rafforzamento della resilienza al cambiamento climatico e

riduzione o prevenzione delle emissioni di gas serra. Mentre CSA ha guadagnato un'attenzione significativa, è importante notare che la sua definizione e applicazione hanno affrontato sfide, spesso legate a conversazioni più ampie sulla sostenibilità agricola. Un quadro concettuale formale e strumenti di implementazione sono stati sviluppati in seguito, ma il termine CSA aveva già guadagnato un uso diffuso, portando a varie interpretazioni e controversie. Nel 2013, la FAO ha pubblicato un libro che delinea due principi chiave della CSA: aumentare l'efficienza delle risorse nei sistemi agricoli e migliorare la resilienza dei sistemi e delle persone coinvolte nel settore agricolo.

Questo manuale si concentra principalmente sulle pratiche agricole sostenibili nella regione mediterranea, sebbene possa anche fornire informazioni utili per altri contesti climatici aridi. Il termine "Mediterraneo" si riferisce sia a un'area geografica che a un tipo di clima caratterizzato da una siccità estiva. L'area mediterranea, comprese regioni come la California, il Cile centrale, parti del Sudafrica e l'Australia sud-occidentale, affronta sfide significative in termini di vegetazione, suolo e agricoltura a causa della limitata disponibilità di acqua. La zona temperata amplifica gli effetti dannosi della siccità, creando un ambiente fragile in cui mantenere la produttività della terra a lungo termine è particolarmente impegnativo e instabile. Date queste circostanze, l'adozione di pratiche sostenibili diventa ancora più critica quando si considera l'impatto imminente dei cambiamenti climatici, che aggraverà problemi esistenti come la disponibilità di acqua, la qualità del suolo e gli eventi meteorologici estremi.

Il manuale è organizzato in tre sezioni principali. La sezione 1 fornisce una panoramica degli aspetti generali, con l'obiettivo di stabilire il contesto più ampio dell'agricoltura moderna, i suoi impatti ambientali e il suo rapporto con il paesaggio circostante. Questa comprensione è fondamentale per apprezzare

la descrizione, lo scopo e l'efficacia delle pratiche agricole sostenibili. La sezione 2 approfondisce le descrizioni dettagliate delle pratiche sostenibili nel contesto mediterraneo, con particolare attenzione alla CSA. Mentre molte di queste pratiche traggono ispirazione dalle tecniche tradizionali utilizzate per secoli, sono raffinate e adattate per incorporare nuove prospettive come il ciclo del carbonio, il cambiamento climatico e l'importanza della biodiversità. Ogni pratica segue un formato strutturato, che copre aspetti quali il nome, il tipo, la descrizione, le illustrazioni, gli effetti sulla conservazione del suolo e sulla biodiversità, le condizioni di attuazione, le risorse necessarie, la progettazione e l'esecuzione, la relazione al cambiamento climatico, la relazione con la politica agricola comune dell'Unione europea e i riferimenti. La sezione 3 si soffermerà sul sequestro del carbonio nei suoli poveri e degradati e mira ad evidenziare alcune delle tecniche intelligenti per il clima, che associano i tassi di sequestro del carbonio e altri impatti sull'attività agricola. Questa sezione tratterà la quantificazione e il monitoraggio del carbonio, nonché introdurrà il concetto di mercati del carbonio.

Esplorando e implementando pratiche sostenibili su misura per le sfide uniche del Mediterraneo, possiamo coltivare sistemi agricoli che non sono solo resilienti ma anche responsabili dal punto di vista ambientale.



# ASPETTI GENERALI

## Agricoltura: tendenze, impatti e benefici

L'agricoltura risale a circa 12.000 anni fa, segnando un cambiamento significativo nelle società umane da stili di vita nomadi di cacciatori-raccoglitori a comunità agricole stanziali. Si ritiene che l'avvento dell'agricoltura sia stato guidato da diversi fattori, tra cui il cambiamento climatico, i progressi culturali e la necessità di fonti alimentari stabili e affidabili. Fin dal suo inizio, l'agricoltura è cresciuta in importanza, plasmando il tessuto sociale e culturale delle civiltà a livello globale e continua a svolgere un ruolo fondamentale nel mondo moderno.

Si pensa che l'agricoltura abbia avuto origine in modo indipendente in più parti del mondo, tra cui la Mezzaluna fertile del Medio Oriente, la Cina, il sud-est asiatico, gli altopiani etiopi e gli altopiani andini in Sud America. Queste prime società agricole annunciarono una transizione da stili di vita transitori a quelli sedentari, segnando l'alba di un'era caratterizzata dalla creazione di abitazioni permanenti e dallo sviluppo di strutture sociali sempre più complesse.

La pratica dell'agricoltura ha catalizzato significativi progressi sociali, tra cui la specializzazione del lavoro e l'innovazione tecnologica. Inizialmente, gran parte della popolazione mondiale era direttamente coinvolta nell'agricoltura. Tuttavia, nel corso del tempo, l'aumento dell'efficienza e l'intensificazione delle pratiche agricole hanno portato a un minor numero di persone che hanno bisogno di coltivare. Al giorno d'oggi, nonostante la dipendenza globale dai prodotti agricoli, gli agricoltori costituiscono solo circa un settimo della forza lavoro globale.

Nel contesto europeo, la regione mediterranea è di interesse specifico. Le prime testimonianze di pratiche agricole in questa regione risalgono all'8500 a.C. circa. Il clima unico del Mediterraneo, caratterizzato da estati calde e secche

e inverni miti e umidi, ha modellato i sistemi agricoli che hanno prosperato su queste condizioni, portando alla coltivazione di colture come olive, uva, fichi e cereali vari.

Questi sistemi agricoli sono parte integrante del quadro agricolo europeo, contribuendo in modo significativo all'approvvigionamento alimentare e all'economia della regione. Rappresentano un mosaico diversificato di sistemi colturali, pastorizia e agroforestazione, sostenuti da migliaia di anni di storia agricola e tradizioni culturali. Questa regione è un notevole esempio di come l'agricoltura possa modellare le strutture e i paesaggi sociali, con effetti di vasta portata al di là della produzione alimentare, come plasmare il patrimonio culturale, contribuire alla biodiversità e svolgere un ruolo chiave nelle dinamiche socio-economiche della regione.

## IMPRONTA E INTENSIFICAZIONE DEL SUOLO

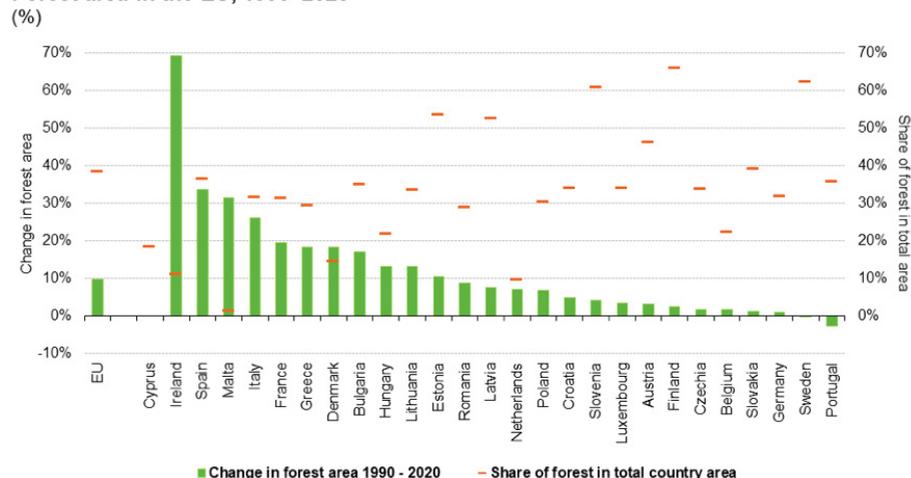
L'estensione spaziale e l'influenza dell'agricoltura sul nostro pianeta sono profonde. Le stime attuali suggeriscono che le attività agricole, comprese le coltivazioni agricole e pastorali, occupano quasi cinque miliardi di ettari di terra a livello globale. Questo rappresenta un sorprendente 38% della superficie terrestre totale della Terra, mostrando la notevole impronta delle pratiche agricole.

Questa area agricola si è espansa notevolmente negli ultimi due secoli, con la conversione degli ecosistemi naturali in terreni agricoli o pascoli che si verificano a un ritmo accelerato. Abbiamo assistito a un aumento di quasi tre volte della terra destinata all'agricoltura dal 18° secolo, alterando significativamente paesaggi ed ecosistemi in tutto il mondo.

Tuttavia, un notevole cambiamento si è verificato nell'ultimo mezzo secolo. Mentre la popolazione mondiale è più che raddoppiata, aumentando di oltre il 100%, la superficie totale utilizzata per l'agricoltura e il pascolo è aumentata di meno del 10%. Questa apparente disconnessione tra la crescita della popolazione e l'espansione dei terreni agricoli può essere attribuita principalmente all'intensificazione agricola.

L'intensificazione agricola comporta l'aumento della produzione di prodotti agricoli, come colture o bestiame, dalla stessa area di terra. Questo aumento è spesso ottenuto attraverso un uso più efficiente dei fattori di produzione, tecnologie avanzate e migliori pratiche agricole. Consentendo un aumento della produzione alimentare su meno terra, l'intensificazione agricola è stata fondamentale per soddisfare la crescente domanda globale di cibo, anche se l'impronta fisica dell'agricoltura cresce più lentamente.

### Forest area in the EU, 1990–2020



Note: Data for 2020 are estimates. Data for Cyprus for 1990 are not available. Data for France refer to metropolitan France. Source: FAO, Eurostat (online data codes: for\_area\_efa and reg\_area3)



**Figura 1.** Aumento della superficie forestale in Europa (1990–2020). Fonte: Eurostat (2021)

Nel contesto delle regioni mediterranee ed europee, l'uso e l'intensificazione dei terreni agricoli rivelano una narrazione distinta. Negli ultimi decenni, la regione mediterranea ha visto un significativo spostamento verso l'intensificazione agricola, guidata dalla domanda di aumentare la produttività e soddisfare le crescenti esigenze alimentari.

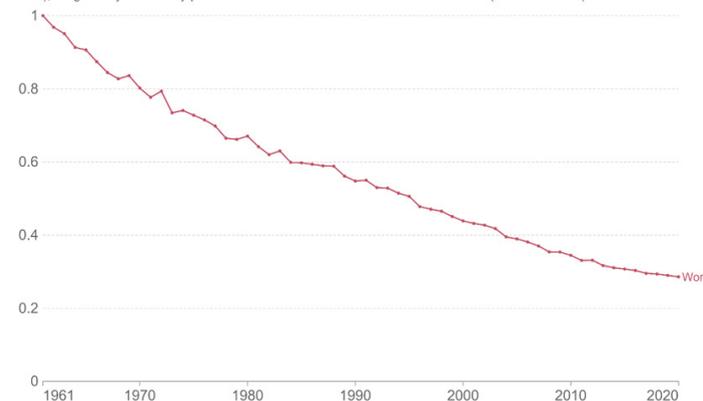
L'intensificazione agricola, sebbene strumentale nel soddisfare la domanda alimentare globale, ha portato a una serie di conseguenze ambientali di crescente preoccupazione. Il processo di intensificazione comporta in genere la semplificazione degli agroecosistemi tradizionali e la crescente dipendenza da input esterni come fertilizzanti sintetici, pesticidi e risorse energetiche. Mentre queste pratiche hanno aumentato la produttività delle colture e svolto un ruolo significativo nell'alleviare la scarsità di cibo, hanno anche innescato una serie di sfide ambientali.

Una di queste conseguenze è l'eccessivo consumo di risorse. I sistemi di agricoltura intensiva tendono a richiedere quantità significative di acqua, energia e prodotti chimici per l'agricoltura. Questi requisiti possono portare a un'estrazione eccessiva delle risorse idriche, contribuendo alla scarsità d'acqua e all'uso eccessivo di energia, spesso associati a emissioni di gas serra. Inoltre, l'uso massiccio di fertilizzanti e pesticidi può portare al degrado del suolo e all'inquinamento delle acque a causa del deflusso, compromettendo sia la qualità dell'ambiente che la sostenibilità delle pratiche agricole.

Inoltre, l'intensificazione agricola comporta spesso un cambiamento nelle pratiche agricole e nei modelli di utilizzo del suolo, compresa l'agricoltura monocolturale e la semplificazione del paesaggio. Questi cambiamenti possono interrompere la biodiversità locale e alterare la struttura e la funzione degli ecosistemi. Con il declino della biodiversità, diminuisce anche la resilienza degli ecosistemi, portando potenzialmente a una minore produttività e stabilità a lungo termine.

### Arable land needed to produce a fixed quantity of crops, 1961 to 2020

Arable land needed to produce a fixed quantity of crops is calculated as arable land divided by the crop production index (PIN). The crop production index (PIN) here is the sum of crop commodities (minus crops used for animal feed), weighted by commodity prices. This is measured as an index relative to 1961 (where 1961 = 1).



Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations

OurWorldInData.org/land-use - CC BY

**Figura 2.** Seminatori necessari per produrre un'unità di produzione agricola (1961 = 1; 1961–2014). Fonte: ourworldindata.org, sulla base dei dati della FAO (2023).

Questi problemi sono particolarmente rilevanti nella regione mediterranea, dove il paesaggio agricolo è già teso a causa della limitata disponibilità di acqua, dei suoli fragili e della crescente variabilità climatica. L'intensificazione agricola della regione ha spesso portato all'uso eccessivo delle risorse, al degrado del suolo e alla perdita di pratiche agricole tradizionali rispettose della biodiversità.

Inoltre, l'adozione diffusa di monoculture, in particolare in alcune parti dell'Europa meridionale, ha semplificato i paesaggi e disturbato la ricca biodiversità della regione. Ciò non solo mette a repentaglio la flora e la fauna locali, ma mina anche la resilienza agroecologica della regione, rendendola più vulnerabile a parassiti, malattie e condizioni climatiche estreme.

Bilanciare le richieste di aumento della produzione agricola con l'urgenza della conservazione ambientale e della resilienza è un compito complesso. Richiede una profonda comprensione dei contesti locali e del pensiero sistemico. Questo manuale approfondisce questa questione cruciale, concentrandosi sulle strategie per promuovere un futuro agricolo sostenibile, resiliente e produttivo nel Mediterraneo e in altre regioni alle prese con sfide simili.

## IL VALORE DEI SERVIZI ECOSISTEMICI

I servizi ecosistemici sono parte integrante del benessere umano, con i loro benefici che si estendono a vari aspetti della nostra vita. Questi servizi sono prodotti, condizioni e processi che gli ecosistemi naturali forniscono, a beneficio degli esseri umani direttamente o indirettamente. Possono essere classificati in quattro grandi tipi: supporto, regolazione, fornitura e servizi culturali (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

- I servizi di supporto sono le funzioni ecologiche fondamentali che sono alla base di tutti gli altri servizi ecosistemici. Includono il ciclo dei nutrienti, la formazione del suolo e la produzione primaria, fornendo la produttività dell'ecosistema di base da cui dipendono tutte le specie, compresi gli esseri umani.
- I servizi di regolazione si riferiscono ai processi naturali regolati dagli ecosistemi, come la regolazione del clima, il controllo delle inondazioni, la regolazione delle malattie e la purificazione delle acque. Ad esempio, le foreste regolano il clima assorbendo CO<sub>2</sub>, un gas serra, e rilasciando ossigeno (Foley et al., 2005).
- I servizi di approvvigionamento includono prodotti tangibili forniti dagli ecosistemi, come cibo, acqua dolce, legno, fibre e piante medicinali. L'agricoltura è un esempio primario di un servizio di approvvigionamento, che fornisce vari prodotti alimentari in tutto il mondo.
- Infine, i servizi culturali comprendono i benefici immateriali che le persone ottengono dagli ecosistemi. Questi includono il godimento estetico, la realizzazione spirituale, lo sviluppo intellettuale, la ricreazione e le opportunità di ecoturismo (Daniel et al., 2012).

In uno studio seminale di Costanza et al. (1997), il valore globale totale di questi servizi ecosistemici è stato stimato superiore al prodotto nazionale lordo globale (PNL), sottolineando il loro enorme significato economico.

Tuttavia, questi inestimabili servizi ecosistemici sono minacciati a causa di fattori associati all'intensificazione agricola. L'uso eccessivo di prodotti agrochimici può degradare la qualità dell'acqua e la salute del suolo, influenzando negativamente sia i servizi di approvvigionamento che quelli di regolamentazione (Matson et al., 1997). Inoltre, la semplificazione del paesaggio – una caratteristica comune dei sistemi agricoli intensificati – può portare alla perdita di biodiversità, degradando così i servizi di supporto e culturali (Tscharntke et al., 2005).

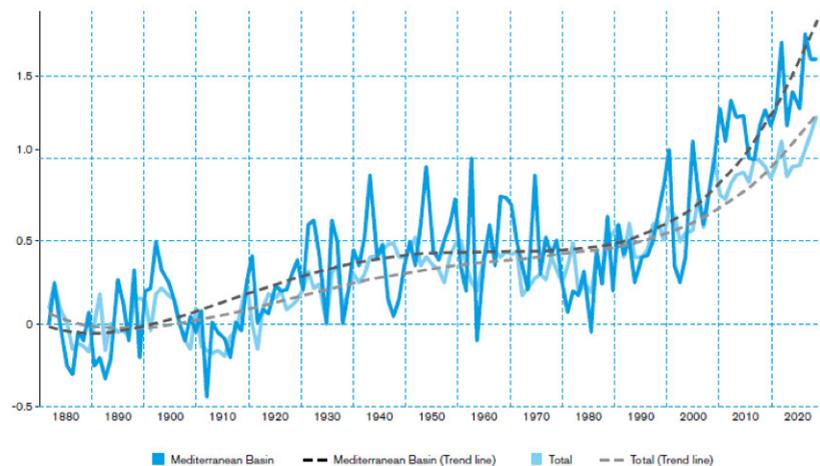
Proteggere e migliorare i servizi ecosistemici non è solo una questione ambientale, ma una necessità per una produzione agricola sostenibile e il benessere generale della società. Pertanto, la necessità di un'agricoltura che rispetti e sfrutti i servizi ecosistemici piuttosto che degradarli è più urgente che mai

## Cambiamento climatico: Cosa sta succedendo e come influisce l'agricoltura nel Mediterraneo

Il cambiamento climatico, sostenuto da un consenso tra gli scienziati, è una realtà che sta accadendo ora e si prevede che peggiorerà in futuro, anche con tagli aggressivi alle emissioni di gas serra. A livello globale, le temperature del terreno sono aumentate di circa 1,2 °C dalla fine del 19° secolo, con l'aumento più significativo che si è verificato negli ultimi quattro decenni. La maggior parte di questo riscaldamento è avvenuto negli ultimi quattro decenni, dimostrando che le nostre attività industriali hanno intensificato il ritmo del cambiamento climatico, esacerbando l'effetto serra naturale dell'atmosfera terrestre.

L'aumento della temperatura non è stato uniforme in tutto il mondo, con alcune regioni che hanno registrato aumenti più gravi di altre. Un esempio calzante è la regione mediterranea, che sta sopportando più intensamente il peso degli effetti del cambiamento climatico. Le temperature in questa zona sono salite a circa 1,7 °C più alte rispetto alla fine del 19° secolo.

Il tasso di riscaldamento della regione mediterranea è più veloce della media globale, il che è motivo di grave preoccupazione in quanto porta già, e continuerà a causare, gravi impatti sociali, economici ed ecologici. Il caldo sta causando ondate di calore e incendi più lunghi e intensi, riducendo la disponibilità di acqua, minacciando l'agricoltura e causando danni diffusi all'ecosistema.



**Figura 3.** Variazione della temperatura superficiale globale sulla Terra e nel bacino del Mediterraneo (1880-2020). Fonte: Cramer et al. (2018)

I cambiamenti nella temperatura globale e nei modelli atmosferici causato dal cambiamento climatico hanno un impatto critico su fattori come le precipitazioni, la temperatura e la frequenza e la gravità degli eventi meteorologici estremi, che a loro volta influenzano la produttività delle colture e la sicurezza alimentare.

Un effetto significativo del cambiamento climatico sull'agricoltura riguarda la desertificazione nelle regioni aride. Attività umane come il pascolo eccessivo, la deforestazione e pratiche agricole inappropriate degradano il suolo e la copertura vegetale, portando all'espansione di condizioni simili al deserto. Inoltre, l'aumento delle temperature globali può intensificare i tassi di evaporazione, contribuendo ulteriormente al prosciugamento di queste aree.

Se le temperature globali continuano ad aumentare senza un corrispondente aumento delle precipitazioni, il fenomeno dell'aridità (il grado in cui un clima manca di umidità efficace e che promuove la vita) sarà intensificato. Questa crescita porterà all'espansione delle aree aride e semiaride, mettendo più regioni

a rischio di desertificazione. Questa espansione può ridurre la superficie adatta all'agricoltura, minacciando così la sicurezza alimentare.

Inoltre, è probabile che il cambiamento climatico alteri la distribuzione e l'intensità delle precipitazioni a causa dei cambiamenti nei modelli atmosferici. Queste alterazioni possono portare a un insieme più complesso di modelli di aridificazione a livello globale. Alcune aree possono sperimentare siccità più frequenti e gravi, mentre altre possono affrontare precipitazioni irregolari e intense, entrambe le quali possono influire negativamente sulla produttività agricola.

Tali cambiamenti nei modelli delle precipitazioni e l'aumento delle temperature potrebbero rendere gli attuali adattamenti delle colture inadatti alle rispettive regioni. Diverse colture hanno requisiti climatici diversi per una crescita ottimale e questi requisiti si basano sul clima attuale. I cambiamenti nella temperatura e nei modelli di precipitazione potrebbero significare che le colture che una volta erano adatte a una particolare area potrebbero non prosperare più nelle nuove condizioni climatiche.

Gli agricoltori potrebbero dover passare a varietà di colture più resilienti o a colture completamente diverse, pratiche che comportano costi e rischi significativi. Ciò solleva anche lo spettro di perdere la diversità delle colture se le varietà tradizionali diventano insostenibili nelle nuove condizioni climatiche. Inoltre, tali cambiamenti aumentano anche la probabilità di epidemie di parassiti e malattie, poiché le mutevoli condizioni climatiche possono alterare i cicli di vita di insetti e agenti patogeni.

Oltre alla produzione agricola, il cambiamento climatico pone anche sfide significative all'allevamento del bestiame. L'aumento delle temperature può causare stress da calore negli animali, riducendo la produttività e aumentando i tassi di mortalità. I cambiamenti nella disponibilità e nella qualità dei mangimi

dovuti a modelli di precipitazioni alterati possono anche influire sulla salute e sulla produttività del bestiame.

## IL CLIMA MEDITERRANEO E LE SUE VULNERABILITÀ

Il clima mediterraneo è caratterizzato in modo distintivo dalle sue estati calde e secche e dagli inverni miti e umidi, che deve alla sua posizione tra l'alta pressione subtropicale e il fronte polare. Le precipitazioni annuali sono in genere basse e il clima vede un'elevata variabilità interannuale, il che significa che ci possono essere variazioni significative nelle precipitazioni e nella temperatura da un anno all'altro.

Mentre la maggior parte delle regioni mediterranee, come la California meridionale, la Spagna, l'Australia, il Cile e l'Italia settentrionale, sopportano condizioni prevalentemente asciutte, alcune aree sono soggette a forti precipitazioni, in particolare durante l'inverno. Queste forti piogge periodiche possono portare a una rapida crescita della vegetazione, che poi si asciuga nei mesi estivi caldi e secchi, portando spesso ad un aumento del rischio di incendi.

Le condizioni di siccità durante i caldi mesi estivi sono un fenomeno comune nel clima mediterraneo. Ciò rende lo stress idrico un fattore critico che colpisce sia gli ecosistemi naturali che le pratiche agricole. Le piante e gli animali della regione si sono evoluti per sopravvivere con una limitata disponibilità di acqua durante l'estate, ma siccità persistenti e gravi possono ancora causare danni ecologici significativi.

Le recenti tendenze climatiche hanno indicato una diminuzione generale delle precipitazioni annuali in queste regioni mediterranee. Ad esempio, alcune aree stanno persino sperimentando piogge ridotte durante l'estate. Questo, combinato con le alte temperature caratteristiche delle estati mediterranee, potrebbe esacerbare la scarsità d'acqua, portando a gravi siccità agricole e ad una

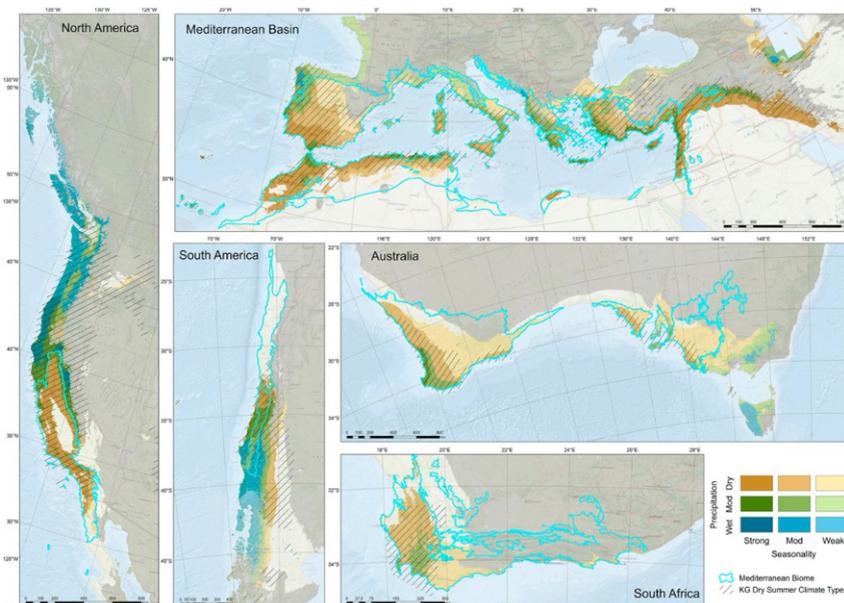
maggior vulnerabilità agli incendi.

Il cambiamento climatico aggiunge un altro livello di complessità alla situazione. Si prevede che il riscaldamento globale dovuto alla crescente concentrazione di gas serra nell'atmosfera intensificherà l'aridità del clima mediterraneo. L'aumento delle temperature porta ad un aumento dei tassi di evaporazione, che può ridurre ulteriormente la disponibilità di riserve di acque superficiali e sotterranee. Ciò renderebbe le estati già secche ancora più secche e potenzialmente estenderebbe la stagione secca nei mesi invernali tipicamente più umidi.

Oltre all'aumento delle temperature, si prevede che anche il cambiamento climatico influenzerà i modelli delle precipitazioni. Mentre la tendenza generale è verso la riduzione delle precipitazioni, la distribuzione delle precipitazioni potrebbe anche diventare più irregolare, con eventi di pioggia più intensi separati da periodi di siccità più lunghi. Questa maggiore stagionalità delle precipitazioni può portare ad inondazioni più frequenti e gravi durante i periodi umidi e siccità più intense durante i periodi di siccità.

Questo cambiamento climatico sta esacerbando la vulnerabilità delle terre mediterranee alla desertificazione, un processo in cui le terre fertili diventano sempre più aride e perdono la loro produttività. Ciò potrebbe avere gravi implicazioni per l'agricoltura, la biodiversità e gli insediamenti umani nella regione.

Le vulnerabilità della regione mediterranea al cambiamento climatico evidenziano l'urgente necessità di strategie di adattamento e mitigazione. Questi potrebbero includere una migliore gestione dell'acqua, lo sviluppo di colture resistenti alla siccità, la riforestazione per prevenire l'erosione del suolo e la riduzione delle emissioni di gas serra. Inoltre, vi è la necessità di una rigorosa modellizzazione del clima per prevedere i cambiamenti futuri e pianificarli di conseguenza.



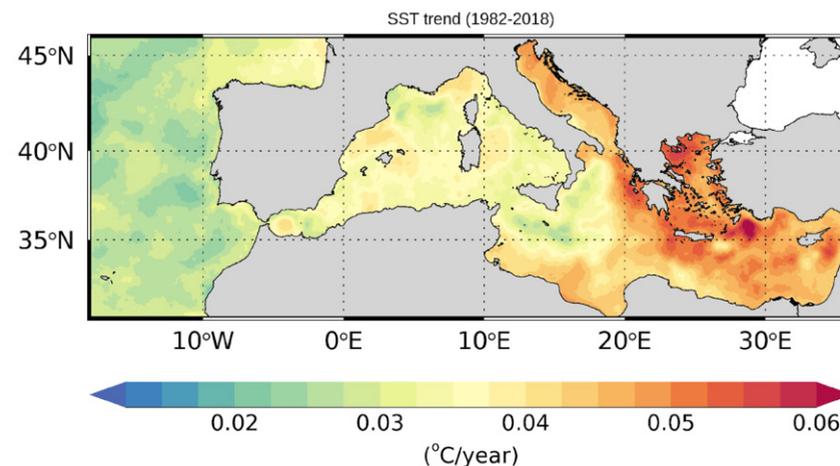
**Figura 4.** Distribuzione dei climi mediterranei a livello globale. La linea blu definisce i biomi mediterranei, con le linee trasversali che indicano le aree di estate secca. I colori indicano il regime delle precipitazioni e l'intensità del colore rappresenta la stagionalità. Fonte: Deitch et al. (2017)

Il Mar Mediterraneo, come molti altri ecosistemi marini in tutto il mondo, sta subendo gli effetti negativi dei cambiamenti climatici. I dati osservativi dal 1982 al 2018 indicano un costante aumento della sua temperatura di circa  $0,04^{\circ}\text{C}$  all'anno. Anche se questo incremento potrebbe sembrare banale, ha portato il mare a diventare più caldo di oltre  $1,5^{\circ}\text{C}$  di quanto non fosse nei primi anni 1980. Questo riscaldamento costante è consequenziale al delicato equilibrio ecologico del Mar Mediterraneo, che colpisce la biodiversità, le industrie della pesca e il clima regionale.

Un aspetto notevole di questa tendenza al riscaldamento è la disparità geografica attraverso il Mar Mediterraneo. Il Mediterraneo orientale si sta riscaldando più rapidamente della parte occidentale, che è collegata all'Oceano

Atlantico. Questa variabilità spaziale nei tassi di riscaldamento può influenzare la distribuzione delle specie marine, con un potenziale impatto sugli ecosistemi locali e sull'industria della pesca. Alcune specie potrebbero spostarsi verso le regioni occidentali più fredde, mentre altre potrebbero non essere in grado di sopravvivere affatto all'aumento delle temperature, portando a cambiamenti nella biodiversità locale.

La temperatura del Mar Mediterraneo esercita un'influenza significativa sui modelli meteorologici regionali. Uno di questi esempi sono le forti piogge autunnali tipicamente sperimentate nella regione. Più caldo è il mare, maggiore è l'evaporazione e questa umidità aggiunta può alimentare piogge più pesanti. Queste intense precipitazioni, in particolare dopo i mesi estivi secchi, possono portare a una grave erosione del suolo, danneggiando i terreni agricoli e aumentando il rischio di frane nelle zone collinari.



**Figura 5.** Tendenze al riscaldamento nel Mar Mediterraneo. Fonte: Pisano et al. (2020)

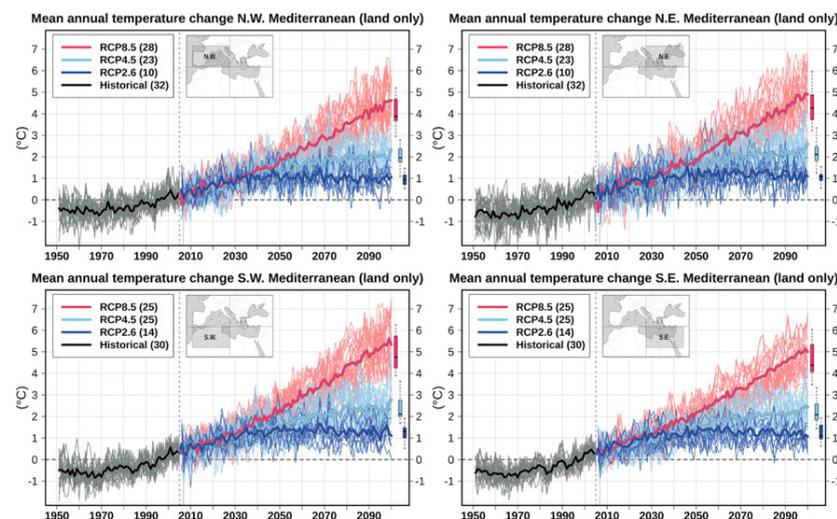
I modelli climatici forniscono approfondimenti sul potenziale impatto del cambiamento climatico sull'attività agricola. La regione mediterranea è

particolarmente vulnerabile a causa delle sue caratteristiche climatiche uniche e della forte dipendenza dall'agricoltura. Come citato dall'Institut Europeu de la Mediterrània nel 2018, le previsioni prevedono che anche con gli sforzi di riduzione delle emissioni, la temperatura media nel Mediterraneo potrebbe aumentare di 2 °C entro la metà del secolo (RCP 4.5). Tuttavia, uno scenario "business as usual" più allarmante suggerisce un potenziale aumento di 3,5 °C -4 °C (RCP 8,5).

RCP sta per Percorsi di concentrazione rappresentativi. Sono scenari che la comunità di ricerca sul clima utilizza per proiettare il potenziale futuro delle concentrazioni di gas serra nella nostra atmosfera. Questi scenari, o percorsi, sono definiti in base alla loro forzante radiativa totale (misurata in watt per metro quadrato) entro l'anno 2100 rispetto ai valori preindustriali.

- **RCP 4.5** rappresenta uno "scenario di stabilizzazione" in cui vengono messe in atto politiche per stabilizzare il forcing radiativo poco dopo l'anno 2100, portando ad un aumento di 4,5 W/m<sup>2</sup> (watt per metro quadrato) alla fine del secolo. In questo scenario, le emissioni di gas serra raggiungono il picco intorno al 2040, quindi diminuiscono. È spesso considerato uno scenario intermedio, in quanto presuppone considerevoli riduzioni delle emissioni ma è meno ambizioso di alcuni degli altri RCP.
- **RCP 8.5** è uno scenario "business as usual" senza politiche specifiche per ridurre le emissioni di gas serra. Rappresenta la più alta traiettoria di concentrazione di gas serra tra gli RCP. Il valore di forzatura radiativa raggiunge 8,5 W/m<sup>2</sup> entro il 2100. In questo scenario, le emissioni di gas serra continueranno ad aumentare per tutto il 21° secolo e le concentrazioni di CO<sub>2</sub> atmosferica raggiungeranno circa 950 parti per milione (ppm) entro il 2100, più del doppio della concentrazione di circa 400 ppm nel 2015. than double the concentration of about 400 ppm in 2015.

Questi percorsi sono utilizzati nei modelli climatici per proiettare i possibili impatti dei cambiamenti climatici, tra cui l'aumento della temperatura, i cambiamenti delle precipitazioni, l'innalzamento del livello del mare e altri fattori, in diversi scenari di emissioni. Aiutano i responsabili politici e gli scienziati a comprendere la gamma di possibili futuri e pianificare diversi potenziali risultati climatici.



**Figura 6.** Variazioni previste della temperatura media annuale nelle terre che circondano il Mediterraneo. RCP2.6 è uno scenario di rigoroso controllo delle emissioni; RCP4.5 aumentare le emissioni fino al 2040 e poi diminuire; RCP8.5 è "business as usual" senza alcun controllo delle emissioni. Fonte: Zittis et al. (2019)

Questo cambiamento di temperatura non è un fenomeno isolato. Si prevede inoltre che i modelli di precipitazione subiranno una notevole trasformazione. In particolare, sono previste riduzioni delle precipitazioni invernali. Regioni come il Maghreb e il Mediterraneo orientale sono particolarmente preoccupanti, dove una significativa diminuzione delle precipitazioni potrebbe avere conseguenze disastrose per la disponibilità di acqua, l'umidità del suolo e la produttività agricola.

Le estati più calde e secche nel Mediterraneo, a causa dei cambiamenti climatici, pongono una serie di sfide per l'agricoltura. Le colture di base nella regione, come olive, uva e cereali vari, possono affrontare stress da ondate di calore e acqua insufficiente. La ridotta disponibilità di acqua influisce non solo sulla resa, ma anche sulla qualità dei prodotti. Inoltre, l'aumento della frequenza di eventi meteorologici estremi come la siccità può erodere il suolo, diminuendo la sua fertilità nel tempo.

È interessante notare che, mentre alcune regioni potrebbero assistere a una diminuzione delle precipitazioni, il ciclo idrologico globale dovrebbe intensificarsi, il che significa che alcune aree potrebbero subire un aumento delle precipitazioni. Tuttavia, ciò potrebbe significare precipitazioni più concentrate e abbondanti per il Mediterraneo piuttosto che piogge costanti e benefiche distribuite nel tempo. Tali eventi di pioggia sporadici e intensi potrebbero portare a inondazioni improvvise, che possono lavare via il terriccio e danneggiare le colture invece di reintegrare le riserve idriche.

Gli effetti sulla dinamica delle colture hanno implicazioni per le rese e l'idoneità delle colture nel Mediterraneo. Ad esempio, le simulazioni suggeriscono che la coltivazione del girasole in alcuni tipi di suolo nel sud della Spagna potrebbe diventare parzialmente inadatta, portando a una riduzione della produzione agricola entro il 2100. Anche la coltivazione dell'olivo deve affrontare sfide, con riduzioni della resa previste fino al 45% nell'Europa occidentale a causa dell'aumento delle temperature e della diminuzione delle precipitazioni. I vigneti e le olive, altre colture vitali del Mediterraneo, possono subire cambiamenti negli eventi fenologici, influenzando sia la quantità che la qualità.

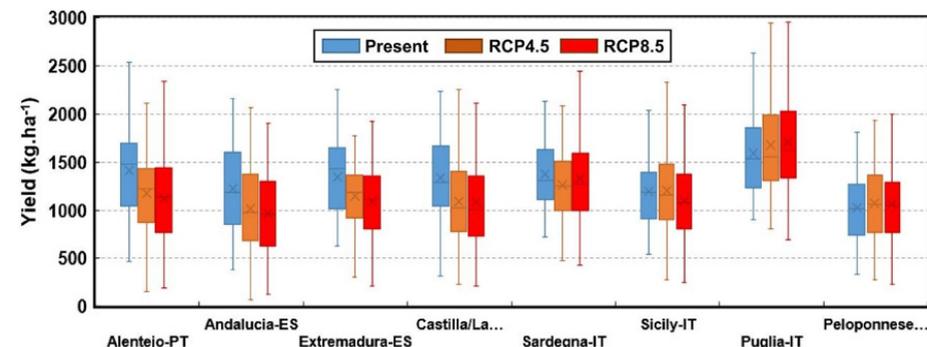


Figura 7. Le rese delle olive in diversi scenari di cambiamento climatico in tutto il Mediterraneo. Fonte: Fraga et al. (2019)

Inoltre, gli impatti sul ciclo idrologico influenzeranno l'offerta e la domanda di acqua, portando a sfide per l'agricoltura irrigua poiché la siccità sarà un fenomeno più frequente. In aggiunta a questo e intensificato dai cambiamenti climatici, il Mediterraneo è anche altamente suscettibile alla desertificazione, che aggrava ulteriormente gli impatti del cambiamento climatico e delle attività agricole nel Mediterraneo.

## Desertificazione nel Mediterraneo

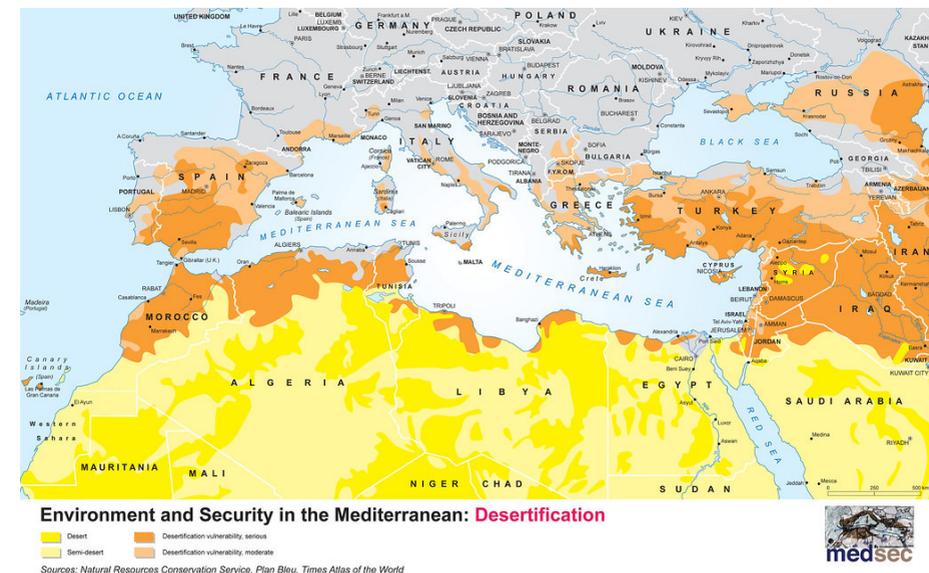
La desertificazione è il degrado del suolo nelle regioni aride, semi-aride e sub-umide secche a causa di vari fattori, tra cui le variazioni climatiche e le attività umane. Colpisce circa un terzo della superficie terrestre mondiale e oltre un miliardo di persone a livello globale. Contrariamente alla credenza popolare, la desertificazione non si riferisce all'espansione dei deserti esistenti, ma piuttosto alla creazione di condizioni desertiche in aree precedentemente non desertiche. Si verifica a causa di uno squilibrio a lungo termine tra la domanda e l'offerta di servizi ecosistemici, con conseguente diminuzione della produttività del suolo.



**Figura 8.** Esempio di un'area critica di suscettibilità alla desertificazione nella Serra de Mértola, Alentejo, Portogallo – Credit: Henrique Cerqueira

## VULNERABILITÀ DEL MEDITERRANEO ALLA DESERTIFICAZIONE

Il bacino del Mediterraneo, con il suo clima unico caratterizzato da inverni umidi ed estati calde e secche, è uno dei più vulnerabili alla desertificazione della regione. Circa il 75% del territorio dell'Europa meridionale, secondo l'Agenzia europea dell'ambiente (AEA, 2008), è soggetto a desertificazione. Gli studi indicano un aumento del rischio di desertificazione nel Mediterraneo negli ultimi decenni, principalmente a causa del cambiamento climatico e di fattori indotti dall'uomo come lo sfruttamento eccessivo del suolo, il pascolo eccessivo e la deforestazione. Questi fattori contribuiscono all'erosione del suolo, alla perdita di copertura vegetale e al degrado del suolo, favorendo il processo di desertificazione.



**Figura 9.** Vulnerabilità alla desertificazione nel bacino del Mediterraneo. Fonte: Emmanuelle Bournay e Matthias Beilstein, Zoi Environment Network (2013).

## INDICATORI E IMPATTI DELLA DESERTIFICAZIONE

Riconoscere i primi segni di desertificazione è fondamentale per mitigarne gli impatti. Gli indicatori chiave includono i cambiamenti della vegetazione, il degrado della qualità del suolo, la scarsità d'acqua, i modelli climatici alterati e gli indicatori socioeconomici come il declino della produttività agricola e l'aumento della povertà rurale. La desertificazione nella regione mediterranea ha diverse implicazioni, tra cui:

- 1. Produttività agricola:** la desertificazione ha un impatto significativo sulla produttività agricola. Il degrado del suolo e la scarsità d'acqua portano a un calo dei raccolti. Gli uliveti, i vigneti e la produzione di grano, che sono vitali per la regione mediterranea, sono particolarmente a rischio. La diminuzione della produttività agricola può causare insicurezza alimentare e instabilità economica, data l'importanza del settore per l'economia della regione.
- 2. Perdita di biodiversità:** il bacino del Mediterraneo è un hotspot di biodiversità, che ospita un numero significativo di specie vegetali, molte delle quali sono uniche nella regione. La desertificazione minaccia la biodiversità, portando alla perdita di specie e incidendo sulla salute e sulla resilienza degli ecosistemi.
- 3. Scarsità d'acqua:** la riduzione delle precipitazioni e l'aumento dei tassi di evaporazione dovuti alle temperature più elevate contribuiscono alla scarsità d'acqua. Ciò influisce sull'uso agricolo dell'acqua e sulla disponibilità di acqua potabile, aggravando lo stress idrico esistente nella regione.
- 4. Conseguenze socio-economiche:** la diminuzione della produttività agricola e l'aumento dei costi causati dalla scarsità d'acqua e dall'infertilità del suolo possono portare alla disoccupazione rurale, all'aumento della

povertà e, potenzialmente, alla migrazione forzata mentre le persone cercano mezzi di sussistenza altrove. Le conseguenze socioeconomiche della desertificazione sono significative e possono avere impatti duraturi sulle comunità locali.

## STRATEGIE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO

La desertificazione non è inevitabile e possono essere adottate misure per mitigarne gli impatti. Le pratiche di gestione sostenibile del territorio, come l'agricoltura rigenerativa, l'agroforestazione e le pratiche di irrigazione sostenibile, possono aiutare a ripristinare le terre degradate e migliorare la resilienza alla desertificazione. I sistemi di allarme rapido e le strategie di adattamento, compresa la coltivazione di colture resistenti alla siccità e una gestione efficiente dell'acqua, possono aiutare gli agricoltori a far fronte alle mutevoli condizioni.

La desertificazione rappresenta una minaccia significativa per la regione mediterranea, con il cambiamento climatico e le attività umane che aggravano il rischio. Riconoscere gli indicatori della desertificazione e attuare adeguate strategie di mitigazione e adattamento sono essenziali per preservare la produttività agricola, la biodiversità e la stabilità socio-economica del Mediterraneo. La promozione di pratiche di gestione sostenibile del territorio e l'adozione di approcci agricoli resilienti possono mitigare gli impatti della desertificazione e costruire un futuro più sostenibile per la regione.

## Agroecosistemi e i paesaggi circostanti

Gli agroecosistemi sono ecosistemi unici progettati e gestiti intenzionalmente dall'uomo per scopi agricoli. Questi sistemi comprendono vari componenti, tra cui colture, bestiame, suoli, acqua, clima e diversi organismi viventi all'interno dell'ambiente. A differenza degli ecosistemi naturali, che operano in modo indipendente, gli agroecosistemi sono attentamente strutturati per ottimizzare la produttività e il profitto economico. La figura 10 mostra, a sinistra, un paesaggio moderatamente snello. Sulla destra c'è un paesaggio ampiamente aerodinamico. Il coinvolgimento umano emerge come un'influenza chiave nel rimodellare il quadro spaziale dell'ambiente. Quando l'attività è moderata, viene promossa la diversificazione del paesaggio, mentre un intenso coinvolgimento umano porta a una maggiore semplificazione.



**Figura 10.** Gestione del paesaggio agricolo di due ecosistemi agricoli nel nord della Spagna.  
Fonte: G. Clemente-Orta (2019).

## L'IMPORTANZA DEGLI AGROECOSISTEMI

Gli agroecosistemi svolgono un ruolo cruciale nel sostenere la vita umana e sostenere lo sviluppo socio-economico. Sono responsabili della produzione della maggior parte del cibo mondiale, comprese le colture di base come cereali, frutta e verdura e fonti proteiche essenziali come carne, latte e uova. Oltre alla produzione alimentare, gli agroecosistemi offrono una vasta gamma di servizi ecosistemici, tra cui la purificazione dell'acqua, il sequestro del carbonio, la creazione di habitat per la biodiversità e paesaggi visivamente accattivanti. Inoltre, gli agroecosistemi facilitano l'agricoltura, fornendo lavoro a oltre un miliardo di persone in tutto il mondo e contribuendo in modo significativo allo sviluppo economico globale e alla riduzione della povertà.

Gli agroecosistemi non esistono isolatamente: interagiscono e sono influenzati dagli ecosistemi naturali circostanti in vari modi. I paesaggi agricoli spesso fungono da habitat per la fauna selvatica e il miglioramento della diversità degli habitat all'interno degli agroecosistemi può sostenere gli sforzi di conservazione della biodiversità. Gli agroecosistemi influenzano anche i cicli dei nutrienti e dell'acqua all'interno dei loro paesaggi circostanti, influiscono sulla regolazione del clima sequestrando il carbonio nel suolo e nella vegetazione, si basano sui servizi di impollinazione dagli habitat naturali circostanti e contribuiscono alla connettività del paesaggio, facilitando il movimento della fauna selvatica e il flusso genico.

Comprendere le intricate relazioni tra gli agroecosistemi e gli ecosistemi circostanti è fondamentale per un'efficace pianificazione e gestione a livello di paesaggio. Trovando un equilibrio tra produzione agricola e conservazione dell'ambiente e della biodiversità, possiamo promuovere un'agricoltura sostenibile. Ciò comporta l'adozione di pratiche agricole sostenibili, la

conservazione della biodiversità, la valorizzazione del patrimonio culturale e la garanzia della resilienza e della produttività a lungo termine degli agroecosistemi salvaguardando al contempo l'ambiente naturale.

Mentre gli agroecosistemi offrono numerosi vantaggi, è importante affrontare i compromessi associati all'agricoltura non sostenibile. Le pratiche associate al degrado del suolo, alla perdita di biodiversità e all'inquinamento ambientale possono avere effetti dannosi sulla redditività a lungo termine degli agroecosistemi. Pertanto, la chiave per raggiungere sia la sicurezza alimentare che la conservazione ambientale risiede nella gestione sostenibile di questi sistemi.

La regione mediterranea è rinomata per i suoi diversi agroecosistemi, modellati dal suo clima unico, dalla topografia e dalle ricche influenze storico-culturali. Il Mediterraneo ospita un ricco patrimonio agricolo, dai pittoreschi uliveti, vigneti e agrumeti lungo le coste ai campi di cereali produttivi, ai pascoli e ai sistemi di allevamento nell'interno. In particolare, gli agroecosistemi tradizionali come il Dehesa in Spagna o il Montado in Portogallo, caratterizzati da una combinazione di agricoltura, silvicoltura e pratiche pastorali, sono riconosciuti a livello globale per la loro elevata biodiversità e valore culturale.

Negli ultimi decenni, gli agroecosistemi mediterranei hanno affrontato sfide significative. L'urbanizzazione, l'abbandono delle terre, l'intensificazione dell'agricoltura, il cambiamento climatico e la desertificazione hanno posto minacce alla sostenibilità di questi sistemi. Una transizione verso pratiche agricole più sostenibili è indispensabile per superare queste sfide. Questa transizione comporta la conservazione della biodiversità e del patrimonio culturale unici del Mediterraneo, garantendo al contempo la sicurezza alimentare e il benessere delle comunità locali.

## Intensificazione agricola ed ecologica

L'intensificazione agricola ed ecologica sono due approcci contrastanti per migliorare la produttività agricola. L'intensificazione agricola si concentra sulla massimizzazione dei rendimenti attraverso maggiori input e tecnologie avanzate. Al contrario, l'intensificazione ecologica mira a ottenere guadagni di produttività riducendo al minimo gli impatti ambientali negativi ottimizzando i servizi ecosistemici e promuovendo la biodiversità.

Nella regione mediterranea, l'intensificazione agricola è stata prevalente a causa della crescente domanda di cibo e della ricerca di una maggiore redditività. Ciò ha portato a un passaggio dai tradizionali sistemi agricoli a basso input a pratiche monocolturali più intensive fortemente dipendenti da input sintetici e meccanizzazione. Tuttavia, le conseguenze negative dell'intensificazione agricola, come la perdita di biodiversità, il degrado del suolo, l'inquinamento delle acque e le emissioni di gas serra, hanno spinto uno spostamento verso l'intensificazione ecologica.



**Figura 11.** Produzione di olive super intensiva nella regione di Alqueva, Alentejo.  
Fonte: Miguel Manso (2019), Público.

L'intensificazione è guidata dalla necessità di nutrire una popolazione in crescita, dai progressi tecnologici, dalle forze di mercato e dalle politiche governative. Tuttavia, mentre la produzione alimentare aumenta, provoca anche danni ambientali significativi.

L'intensificazione ecologica offre un'alternativa più sostenibile concentrandosi sulla conservazione della biodiversità, sul miglioramento della salute del suolo e sulla riduzione degli input chimici. Questo approccio si allinea con diversi obiettivi di sviluppo sostenibile, tra cui la sicurezza alimentare, la mitigazione del cambiamento climatico e la conservazione della biodiversità.



**Figura 12.** Coltivazione di colture di copertura nell'olivicoltura in Turchia. Fonte: Fondazione turca per la lotta all'erosione del suolo, per il rimboschimento e la protezione degli habitat naturali, TEMA (n.d).

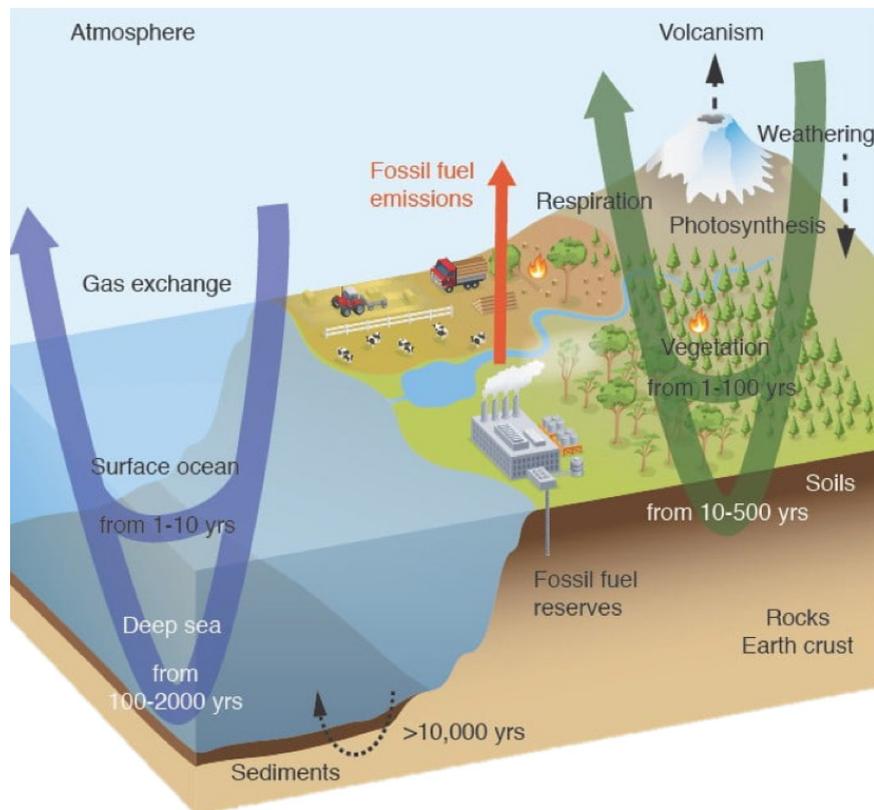
La differenza fondamentale tra l'intensificazione agricola ed ecologica risiede nei loro approcci per aumentare la produttività. L'intensificazione agricola dipende fortemente da input esterni, portando al degrado ambientale, mentre l'intensificazione ecologica sfrutta i processi ecologici per migliorare la produttività e la sostenibilità. Tuttavia, l'intensificazione ecologica deve affrontare sfide come il cambiamento delle pratiche agricole, una maggiore comprensione dei processi ecologici e il supporto politico per incentivare approcci sostenibili.

Nella regione mediterranea, l'intensificazione ecologica offre numerosi vantaggi. Ottimizzando i servizi ecosistemici e promuovendo la biodiversità, migliora la resilienza degli agroecosistemi di fronte al cambiamento climatico e ai fattori di stress ambientale. Preserva inoltre l'agrobiodiversità della regione e i paesaggi culturali modellati dalle pratiche agricole tradizionali. Inoltre, riducendo l'uso di input sintetici, l'intensificazione ecologica aiuta a mitigare l'inquinamento ambientale e i rischi per la salute associati ai residui chimici negli alimenti.

Abbracciando l'intensificazione ecologica, la regione mediterranea può ottenere sia una maggiore produttività agricola che una sostenibilità ambientale. Questa transizione richiede un approccio olistico che integri principi ecologici, conoscenze degli agricoltori e politiche di supporto per creare un sistema agricolo resiliente e sostenibile per il futuro.

## Il ciclo del carbonio nei sistemi agricoli

Il ciclo del carbonio è un processo fondamentale che coinvolge lo scambio di carbonio tra la biosfera, la geosfera, l'idrosfera e l'atmosfera della Terra. Svolge un ruolo vitale nella regolazione del clima terrestre e nel sostenere la produttività dell'ecosistema. Comprendere e sfruttare il ciclo del carbonio nei sistemi agricoli è fondamentale per migliorare la fertilità del suolo, mitigare il cambiamento climatico e costruire la resilienza.



**Figura 13.** Schema semplificato del ciclo globale del carbonio che mostra il fatturato tipico Scale temporali per i trasferimenti di carbonio attraverso i principali giacimenti. Fonte: IPCC (2013)

Il ciclo del carbonio inizia con la fotosintesi, dove piante verdi e fitoplancton convertono l'anidride carbonica in composti organici utilizzando l'energia solare. Questo processo costituisce la base della catena alimentare, con il carbonio trasferito dai produttori primari agli erbivori e ai carnivori. Quando gli organismi muoiono, i loro corpi si decompongono, rilasciando carbonio nell'atmosfera attraverso la respirazione da parte dei microbi. La combustione, sia naturale che indotta dall'uomo, rilascia anche anidride carbonica nell'atmosfera.

Attività umane come la deforestazione, la combustione di combustibili fossili e i cambiamenti nell'uso del suolo interrompono il ciclo del carbonio, portando ad un aumento delle concentrazioni di anidride carbonica nell'atmosfera e contribuendo al cambiamento climatico. I sistemi agricoli, in particolare, possono essere colpiti da queste interruzioni. Pratiche come il pascolo eccessivo, la lavorazione eccessiva e la coltivazione monocolturale possono ridurre il carbonio organico del suolo e degradare la salute del suolo. Queste pratiche non solo influiscono sulla fertilità del suolo, ma aumentano anche le emissioni di anidride carbonica.

Il ciclo del carbonio svolge un ruolo significativo negli agroecosistemi migliorando la fertilità del suolo e mitigando i cambiamenti climatici. Il carbonio è un componente chiave della materia organica del suolo, che migliora la struttura del suolo, la ritenzione idrica e il ciclo dei nutrienti. Inoltre, gli agroecosistemi possono agire come pozzi di assorbimento del carbonio se gestiti in modo appropriato.

La promozione di un ciclo del carbonio sano negli agroecosistemi contribuisce alla loro resilienza di fronte ai cambiamenti ambientali. I terreni ricchi di carbonio organico possono trattenere meglio l'acqua, riducendo la vulnerabilità alla siccità. Questi terreni tamponano anche le perdite di nutrienti, mantenendo la produttività in condizioni mutevoli.

Diverse strategie possono essere implementate per sfruttare il ciclo del carbonio negli agroecosistemi. Il sequestro del carbonio nei suoli può essere ottenuto attraverso pratiche come la coltivazione di copertura e la lavorazione conservativa. L'agroforestazione, che integra gli alberi nei paesaggi agricoli, non solo sequestra il carbonio, ma fornisce anche ulteriori benefici come l'ombra e l'habitat per le specie benefiche. Le pratiche di agricoltura biologica, tra cui il compostaggio e il concime verde, migliorano il contenuto di carbonio organico del suolo e riducono la dipendenza dai fertilizzanti sintetici. La diversificazione e la rotazione delle colture contribuiscono alla salute del suolo e aumentano il sequestro del carbonio.

## Mitigazione degli impatti e agricoltura intelligente dal punto di vista climatico (CSA)

Climate-Smart Agriculture (CSA) è un approccio olistico che affronta la complessa interazione tra sviluppo agricolo, reattività climatica e riduzione delle emissioni. È orientato alla trasformazione e al riorientamento dei sistemi agricoli per sostenere lo sviluppo sostenibile e garantire la sicurezza alimentare nelle nuove realtà del cambiamento climatico. Dati gli innegabili impatti del cambiamento climatico sull'agricoltura mediterranea – aumento delle temperature, diminuzione delle precipitazioni ed eventi meteorologici estremi più frequenti e intensi – i principi di CSA sono altamente pertinenti.

Esempi di successo di pratiche sostenibili esistono già in paesaggi come il "montado" in Portogallo, la "dehesa" in Spagna e le tradizionali pianure alluvionali irrigate nella Spagna orientale. Mentre coltivati, questi paesaggi mantengono alti livelli di servizi ecosistemici, tra cui il sequestro del carbonio, la filtrazione dell'acqua e la conservazione della biodiversità. Servono come modelli di come l'agricoltura può essere compatibile con la conservazione ambientale e la resilienza.

L'adozione di pratiche CSA può aiutare a mitigare gli impatti ambientali dell'agricoltura in vari modi:

- **Adattamento al cambiamento climatico:** CSA promuove l'adattamento dei sistemi agricoli alle mutevoli condizioni climatiche. Ciò comporta lo sviluppo e l'implementazione di nuove pratiche agricole, varietà di colture e tecnologie resilienti agli estremi climatici, come varietà di colture resistenti alla siccità, sistemi di irrigazione di precisione e sistemi agroforestali.

- **Mitigazione dei gas serra:** CSA cerca di ridurre le emissioni di gas serra provenienti dall'agricoltura, che contribuiscono in modo significativo al riscaldamento globale. Ciò può essere ottenuto implementando pratiche come l'uso efficiente di fertilizzanti, la gestione integrata dei parassiti, la lavorazione conservativa e l'agricoltura biologica.
- **Intensificazione sostenibile della produzione alimentare:** CSA mira ad aumentare la produzione alimentare per soddisfare la crescente domanda globale riducendo al minimo gli impatti ambientali negativi. Ciò può essere ottenuto attraverso pratiche come l'agricoltura di precisione, la consociazione e l'agroecologia, che aumentano la resa per unità di terra mantenendo o addirittura migliorando la salute del suolo e la biodiversità.

Oltre a questi tre pilastri, CSA sottolinea l'importanza di un ambiente politico favorevole e di istituzioni forti che possano facilitare l'adozione di pratiche CSA. Ciò include politiche che incentivano pratiche agricole sostenibili, programmi di sviluppo delle capacità per gli agricoltori e solidi sistemi di ricerca e divulgazione agricola.

Nel complesso, Climate-Smart Agriculture fornisce un quadro completo e flessibile per affrontare le sfide poste dal cambiamento climatico all'agricoltura mediterranea. Adottando pratiche CSA, è possibile garantire la resilienza e la sostenibilità dell'agricoltura in questa regione, contribuendo allo stesso tempo agli sforzi globali per mitigare il cambiamento climatico. Ciò coinvolgerà non solo gli agricoltori, ma tutte le parti interessate nel sistema alimentare, dai responsabili politici e ricercatori ai consumatori. La transizione alla CSA è sia una necessità ambientale che un'opportunità per l'innovazione, il miglioramento della produttività e lo sviluppo rurale sostenibile. Adottando queste pratiche CSA,

gli agricoltori possono contribuire alla mitigazione del cambiamento climatico migliorando al contempo la produttività e la sostenibilità dei loro agroecosistemi. Comprendere e sfruttare il ciclo del carbonio, la relazione tra i diversi componenti degli agroecosistemi e le sfide che li riguardano è essenziale per ottenere benefici sia ambientali che agricoli.

## Comprendere la politica agricola comune

La politica agricola comune (PAC) svolge un ruolo cruciale nel plasmare l'agricoltura nell'Unione europea (UE) e ha subito riforme per affrontare le sfide e le priorità in evoluzione. Mentre la PAC si è tradizionalmente concentrata sulla garanzia di un tenore di vita equo per gli agricoltori, sulla stabilizzazione dei mercati e sulla garanzia dell'approvvigionamento alimentare, vi è stato un crescente riconoscimento della necessità di integrare le considerazioni ambientali e promuovere pratiche agricole sostenibili.

Il cambiamento climatico e la desertificazione sono emersi come sfide urgenti con implicazioni significative per la sostenibilità dell'agricoltura nell'UE. In risposta, la PAC ha integrato obiettivi ambientali e climatici nel suo quadro. È stato introdotto il concetto di "inverdimento", che prevede la fornitura di pagamenti diretti agli agricoltori a condizione che aderiscano a varie pratiche agricole rispettose dell'ambiente e del clima. Queste pratiche includono la diversificazione delle colture, il mantenimento di prati permanenti e l'assegnazione di una certa percentuale di terreni coltivabili a elementi benefici per l'ambiente, noti come "aree di interesse ecologico".

Inoltre, la PAC finanzia lo sviluppo rurale, che comprende misure volte alla mitigazione del cambiamento climatico e all'adattamento ad essi, nonché alla lotta contro la desertificazione. Iniziative come l'agricoltura biologica, l'agroforestazione e una migliore gestione delle risorse idriche sono supportate nell'ambito di questi programmi. L'obiettivo è incentivare gli agricoltori ad adottare pratiche che riducano le emissioni di gas serra, migliorino il sequestro del carbonio, migliorino l'efficienza idrica e promuovano la sostenibilità ambientale complessiva.

Le misure della PAC mirano a promuovere pratiche di gestione sostenibile del territorio nelle regioni particolarmente vulnerabili alla desertificazione, come l'Europa meridionale e il Mediterraneo. Ciò è essenziale per prevenire il degrado del suolo, mantenere la biodiversità e proteggere ecosistemi preziosi. Incoraggiando pratiche come l'agroforestazione, l'agricoltura conservativa e le colture di copertura, la PAC cerca di migliorare la salute del suolo, conservare le risorse idriche e migliorare la resilienza complessiva degli agroecosistemi in queste regioni.

Negli ultimi anni, c'è stato un crescente interesse per gli approcci agricoli emergenti, come l'agricoltura rigenerativa e l'agricoltura intelligente dal punto di vista climatico. Questi approcci enfatizzano la costruzione di materia organica del suolo, il ripristino della biodiversità del suolo, l'aumento del sequestro del carbonio e il miglioramento della resilienza ai cambiamenti climatici. Mentre la PAC ha compiuto progressi nel sostenere pratiche sostenibili attraverso le sue misure agro-climatico-ambientali (AECM), i critici sostengono che l'attuale struttura e l'obiettivo della PAC sono ancora carenti nel promuovere tali pratiche nella misura necessaria.

Per rispondere a queste preoccupazioni, è necessaria un'ulteriore evoluzione della PAC per allinearsi meglio ai principi di sostenibilità e resilienza. Ciò include una maggiore enfasi sul sostegno agli approcci agroecologici, incoraggiando l'adozione di tecnologie e pratiche innovative e fornendo incentivi agli agricoltori per la transizione verso sistemi agricoli più sostenibili e resilienti al clima. Adottando questi cambiamenti, la PAC può contribuire allo sviluppo di sistemi agricoli più sostenibili e rispettosi dell'ambiente, garantendo un equilibrio tra produzione alimentare, protezione dell'ambiente e benessere degli agricoltori e delle comunità rurali.



# PRATICHE DI GESTIONE

## Gestione dei residui culturali

**NOME DELLA TECNICA:** Triturazione dei residui culturali

**ALTRI NOMI:** Gestione dei residui culturali, gestione dei residui di potatura, pacciamatura, copertura organica

**TIPO:** Gestione delle colture

### DESCRIZIONE:

Questa tecnica, nota come triturazione dei residui delle colture, è stata utilizzata in agricoltura per molti anni. Fa parte dell'agricoltura conservativa, che è ampiamente praticata in varie regioni del mondo, in particolare nelle Americhe, dove vengono coltivate estese colture erbacee come cereali, girasoli, mais e soia. La tecnica prevede la triturazione o il taglio dei materiali vegetali rimanenti sulla superficie del campo e la loro distribuzione sul terreno. Questi residui comprendono le parti di piante erbacee rimaste dopo la raccolta e i rami e i piccoli tronchi rimasti dopo la potatura delle colture legnose. È importante notare che i rifiuti organici generati all'interno del sistema agricolo non dovrebbero essere considerati residui ma piuttosto un sottoprodotto che può essere reintrodotta nel sistema di produzione agricola.

In Spagna, i produttori di agrumi e alberi da frutto, soprattutto nella regione di Murcia, hanno adottato sempre più queste tecniche nelle loro principali aree di produzione. Pratiche simili sono impiegate anche per specie legnose come gli ulivi in Andalusia e i residui di vite, offrendo un'alternativa alla combustione degli scarti di potatura. Nel corso del tempo, quando lasciati sulla superficie del terreno,

questi residui si decompongono e formano uno strato di materiale organico noto come pacciame. Lo spessore del pacciame può variare a seconda delle specie arboree e della loro età, con limoneti maturi e aranceti che raggiungono fino a 20 cm di spessore. Questa tecnica è spesso combinata con una lavorazione minima o nulla, come praticato nelle Americhe. I vantaggi dell'utilizzo di questi residui sono ulteriormente migliorati se combinati con altre tecniche come la lavorazione del contorno, la lavorazione minima, la lavorazione ridotta, la semina diretta e le coperture vegetali.

L'obiettivo principale della triturazione dei residui vegetali è aiutare gli agricoltori a superare la sfida di gestire questi materiali di scarto ed evitare di bruciarli. La combustione di residui di colture legnose, come mandorli, agrumi, alberi da frutto, viti e viti, ha causato preoccupazioni nella società spagnola, anche se il volume di residui bruciati è relativamente piccolo e si verifica principalmente in operazioni agricole su piccola scala in cui l'accesso ai sistemi di triturazione o ai gestori dei residui è limitato. Di conseguenza, negli ultimi anni sono stati attuati cambiamenti significativi nella legge, che hanno portato al divieto pratico o alla combustione fortemente limitata dei rifiuti agricoli, evidenziando così l'importanza della triturazione dei residui per l'incorporazione del suolo.

Il pacciame creato con questa tecnica funge da strato protettivo per il terreno e agisce come un ammendante organico ricco di componenti cellulósici. Questa tecnica ha guadagnato importanza negli ultimi 15 anni, in particolare nell'agricoltura biologica, che si sta rapidamente espandendo nella regione di Murcia. È diventata una pratica comune nei moderni frutteti di agrumi e drupacee, anche in operazioni di piccole dimensioni. In regioni come la Valle del Guadalentín e il Campo de Cartagena, dove le colture orticole sono prevalenti, i residui verdi rimanenti sono spesso utilizzati come mangime per il bestiame. Le parti rimanenti

del tronco e della radice vengono quindi tritate e aggiunte al terreno. Tuttavia, questa pratica può comportare solo una piccola quantità di residui lasciati nel terreno, diminuendo così i benefici della pacciamatura.

In alcuni casi, è possibile combinare l'uso di residui colturali con fertilizzanti verdi o coperture verdi annuali. Tuttavia, l'impatto può essere limitato a causa dell'effetto soppressivo dello strato organico esistente. Pertanto, è necessario prendere in considerazione adeguamenti nelle pratiche di gestione e i risultati potrebbero non essere efficaci come quando la tecnica viene applicata in modo indipendente.



**Figura 14:** Pacciamatura residua sulla superficie, i residui delle colture possono essere incorporati o trattenuti per proteggere il suolo dall'erosione e dal disturbo. Fonte: Ghasal et al., 2016.

## **IMPATTO SULLA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E SULLA BIODIVERSITÀ:**

La triturazione dei residui colturali ha diversi impatti sul suolo: Effetti fisici: Lo strato di pacciamatura, quando raggiunge uno spessore minimo di circa 5cm, fornisce una protezione significativa al terreno. Riduce l'impatto delle gocce di pioggia sulle particelle del suolo, riducendo al minimo la loro tendenza a rompersi. Inoltre, lo strato di legno tritato agisce come una spugna, trattenendo l'acqua dalle precipitazioni iniziali. Una volta saturo, rallenta il flusso dell'acqua, controllando il deflusso e riducendo l'erosione del suolo.

Miglioramenti nelle proprietà del suolo: Nel corso del tempo, la continua aggiunta e decomposizione di materia organica crea un gradiente di sostanze umiche all'interno del profilo del suolo. Questo migliora le proprietà del suolo in vari modi. Fisicamente, migliora la permeabilità del suolo e la stabilità degli aggregati del suolo. Chimicamente, restituisce alcuni dei nutrienti estratti dalle colture nel terreno, che devono essere considerati quando si calcola il bilancio dell'azoto. L'aumento delle sostanze umiche e la loro interazione con le particelle minerali del suolo migliora anche la capacità di scambio cationico del suolo. Inoltre, la presenza di pacciami aiuta il terreno a trattenere o abbattere eventuali residui fitosanitari utilizzati nella coltura, impedendone il movimento nelle fonti d'acqua.

Riduzione dell'evaporazione dell'acqua: La pacciamatura, in particolare questo tipo, riduce l'evaporazione dell'acqua creando sacche d'aria all'interno dello strato di pacciamatura che limitano la perdita di vapore acqueo nell'atmosfera. Le proprietà isolanti dello strato di pacciamatura contribuiscono anche a una temperatura del suolo più stabile, riducendo improvvise fluttuazioni di temperatura.

Miglioramento dell'attività biologica: la pacciamatura favorisce una comunità diversificata di microrganismi, organismi saprofiti e artropodi decompositori,

creando un habitat favorevole per loro simile a un ambiente forestale. Ciò aumenta i livelli trofici e le interrelazioni all'interno dell'ecosistema, a beneficio della salute generale del raccolto. La presenza di questi organismi compete anche con gli agenti patogeni, limitando la loro espansione e fornendo un effetto antagonista che aiuta a proteggere il raccolto.

Soppressione delle piante avventizie: un effetto imprevisto ma desiderabile della pacciamatura, in particolare con strati più spessi, è la soppressione della crescita delle erbe infestanti. Lo strato di pacciamatura funge da barriera, rendendo difficile l'emergere di piante indesiderate. Inoltre, l'uso del pacciami migliora le proprietà fisiche del terreno, rendendolo più adatto a macchinari e lavoratori, anche dopo forti piogge.

## **CONDIZIONI DI APPLICAZIONE CONSIGLIATE:**

La triturazione o il taglio dei residui vegetali può essere applicato in terreni con pendenze lievi o moderate, ma è necessario di più per pendenze ripide. Su pendii ripidi, il flusso di acqua piovana potrebbe potenzialmente trasportare questi residui al di fuori dei campi agricoli. In questi casi, è necessario combinare questa tecnica con altri sistemi che riducono il flusso d'acqua e aiutano a mantenere la copertura organica. Non ci sono limitazioni per quanto riguarda il tipo di suolo, poiché questo materiale organico migliora significativamente la struttura, la coesione e la porosità del suolo.

Ci sono, tuttavia, limitazioni operative da considerare. La disposizione del raccolto, le dimensioni del frutteto o della piantagione e l'accessibilità possono porre sfide per l'uso di attrezzature necessarie come trituratori o trinciatorino. Ad esempio, piantagioni o frutteti stretti o irregolarmente distanziati, così come piccoli orti situati in aree difficili da raggiungere, possono presentare difficoltà.

Forse il fattore più cruciale che potrebbe limitare o scoraggiare questa tecnica è la presenza di malattie fungine o batteriche che potrebbero avere un grave impatto sul raccolto. Le malattie trasmesse dal legno, i cui cicli riproduttivi e di dispersione potrebbero essere favoriti dai residui organici, destano particolare preoccupazione. In questi casi, la pacciamatura è fortemente sconsigliata dal punto di vista fitosanitario. La combustione controllata per l'eliminazione immediata sarebbe l'azione raccomandata in questi casi specifici, nonostante le preoccupazioni di alcuni settori. Sfortunatamente, si possono trovare numerose malattie fungine e, in misura minore, malattie batteriche. Gli esempi includono *Esca ed Eutypa lata* nelle viti, *gommosi* negli agrumi, *funghi batterici* nelle pere, *molinia* e *Fusicoccum* nelle mandorle e nelle drupacee, tra gli altri. Inoltre, vari artropodi potrebbero non essere efficacemente eliminati o dispersi quando questa pratica non viene eseguita adeguatamente (ad esempio, coleottero della pera o piralide).

Un'altra alternativa riguardante il suddetto problema è l'immediata incorporazione di residui appena tritati nel terreno utilizzando una seminatrice o un coltivatore. Tuttavia, questo approccio comporterebbe la perdita di alcune proprietà protettive fornite dalla coperta organica. Prima di scegliere questa opzione, è importante raccogliere informazioni sufficienti sulla malattia specifica in questione per valutarne la vitalità.

Dal punto di vista normativo, i codici di buone pratiche agricole per prevenire la contaminazione dell'acqua con nitrati provenienti da fonti agricole raccomandano questa pratica a causa del divieto di bruciare i residui delle colture.

## RISORSE RICHIESTE:

Quando si lavora con colture legnose, è essenziale utilizzare un tritratore o un tritratore di legno potato. Mentre sono possibili attrezzature statiche simili a quelle utilizzate nei giardini cittadini e nelle aree verdi, queste non sono pratiche o convenienti per le normali operazioni agricole. Tali attrezzature richiederebbero il doppio del lavoro, prima raccogliendo i residui e poi triturandoli prima di distribuirli sul campo. L'uso più efficiente di questa apparecchiatura sarebbe nel compostaggio insieme ad altri residui organici come il letame animale, ma ciò comporterebbe una tecnica diversa.

Le attrezzature mobili offrono una maggiore flessibilità, con gli attrezzi montati sul trattore che sono i più comunemente usati. A seconda del tipo di coltura e delle caratteristiche del legno, sono disponibili varie larghezze di lavoro e sistemi di triturazione (martelli, spazzatrici, denti, ecc.). È importante selezionare l'attrezzatura che meglio si adatta all'operazione specifica, garantendo una triturazione fine dei pezzi potati per evitare problemi di parassiti e facilitare la loro successiva decomposizione. Alcune apparecchiature includono anche sistemi di distribuzione o di guida per la raccolta o la collocazione dei residui. Inoltre, se l'intenzione è quella di incorporare i residui nel suolo, dovrebbero essere selezionate attrezzature adatte a tale compito, in linea con la strategia generale di conservazione del suolo.

D'altra parte, la necessità di macchinari specializzati per le colture erbacee dipende dalla specie e dalle caratteristiche delle stoppie prodotte. In alcuni casi, la lavorazione convenzionale può essere sufficiente per tritare adeguatamente il residuo. Tuttavia, in altri casi, possono essere necessarie attrezzature specifiche, come un rotavator o un attrezzo simile, per raggiungere il grado necessario di triturazione.

## PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E MANUTENZIONE::

Per quanto riguarda il design, c'è poco da aggiungere, se non che per le colture legnose in piantagioni di nuova costituzione, è importante considerare l'attrezzatura che verrà utilizzata per tritare i futuri residui di potatura. Ciò contribuirà a ottimizzare l'operazione in termini di costi e prestazioni, considerando che le spese saranno associate al raccolto.

Durante l'esecuzione, l'obiettivo è quello di ottenere una tritatura accurata e fine dei residui, con diametri tipicamente compresi tra 1-3 cm. I pezzi più piccoli facilitano una decomposizione più rapida. Nelle colture di agrumi c'è la considerazione aggiuntiva delle spine nel legno, rendendo fondamentale un'adeguata tritatura per evitare il rischio di forature di pneumatici o danni agli operatori.

La pratica abituale è quella di lasciare i residui di potatura nella fila centrale, dove vengono successivamente tritati da trituratori di passaggio, e quindi il pacciame viene distribuito in tutto il campo. I trucioli di legno possono essere sepolti utilizzando una mietitrice o macchinari simili per affrontare i problemi dei parassiti.

In termini di manutenzione, due aspetti dovrebbero essere notati. In primo luogo, potrebbe essere necessario incorporare i residui accumulati nel suolo dopo diversi anni, in particolare per alcune specie e piantagioni mature. Questo può essere realizzato utilizzando una mietitrice o attrezzature simili. In secondo luogo, con le piantagioni giovani con biomassa limitata, può essere necessario integrare con l'applicazione di erbicidi per controllare la crescita di piante avventizie vicino agli alberi giovani fino a quando lo strato residuo diventa sufficiente per un efficace controllo delle erbe infestanti.

## POTENZIALE DI MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI:

Il suo effetto sul clima è duplice. In primo luogo, la lavorazione ridotta o eliminata associata a questa tecnica contribuisce al sequestro del carbonio nel suolo. Lo stoccaggio stabile del carbonio nei residui per un lungo periodo supporta ulteriormente questo. In secondo luogo, va riconosciuto che la tritatura stessa richiede molta energia. Tuttavia, rispetto all'alternativa della combustione, che rilascia CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, il bilancio è positivo nonostante l'uso di carburante. La stessa considerazione vale quando si confronta con il trasporto e lo smaltimento dei residui verso centri di compostaggio o discariche, soprattutto se le distanze in gioco sono notevoli a causa del grande volume occupato da questi residui.

Oltre agli effetti diretti sulle emissioni di CO<sub>2</sub> e sullo stoccaggio, dovrebbero essere considerati gli effetti indiretti della tecnica sulla fertilità del suolo, sul recupero dei nutrienti per la coltura e sulla riduzione dell'erosione. Questi fattori possono potenzialmente ridurre la necessità di fertilizzazione e migliorare le prestazioni complessive.

## COLLEGAMENTO CON LA POLITICA AGRICOLA COMUNE:

La politica agricola comune (PAC) vieta esplicitamente la combustione di residui come requisito previsto dai requisiti generali "Buone condizioni agronomiche e ambientali (BCAA)". Questo divieto è incluso anche negli ultimi piani della PAC, compresa la nuova PAC 2023-2027 nell'ambito della "Condizionalità rafforzata". Si applica a tutti gli agricoltori o coltivatori che ricevono pagamenti diretti, indipendentemente dai finanziamenti della PAC.

## Siepi e boschi cedui

**NOME DELLA TECNICA:** Siepi e cedui

**ALTRI NOMI:** Barriere vegetali, recinti viventi, strutture di conservazione delle piante, recinti viventi, cedui e confini

**TIPO:** Struttura dell'impianto

### DESCRIZIONE:

Le siepi sono strutture vegetali lineari, spesso formate sia da specie naturali che coltivate, solitamente legnose (alberi o arbusti). Tuttavia, possono essere incorporate anche specie erbacee più grandi. Tradizionalmente, le siepi sono disposte lungo i bordi dei terreni agricoli o dei singoli appezzamenti di coltivazione. In passato, specialmente nel sud-est della Spagna, era comune piantare specie di frutta come gelso, fico, mela cotogna, nespola, pera, mela, prugna, albicocca, limone, arancia e altri come ulivi o mandorli. Sono state piantate anche palme da dattero, fico d'india, alloro, piante aromatiche come citronella, rosmarino, salvia e specie ornamentali come cespugli di rose e alcune specie forestali (pioppi, cipressi, pini, salici, ecc.). Lo scopo di queste siepi varia: possono servire come frangivento, barriere fisiche o semplicemente per l'abbellimento. Al giorno d'oggi, queste siepi sono anche piantate tra le colture (consociate) per un controllo più efficace dell'erosione o per attirare insetti utili.

Nell'agricoltura tradizionale spagnola, strette strisce di terra, spesso ai margini di appezzamenti di coltivazione, bordi delle strade che attraversano la fattoria, argini terrazzati, colline, ecc., Dove l'agricoltura o la lavorazione non

viene tipicamente eseguita, sono indicati come pendii. Questi pendii pullulano di vegetazione erbacea arbustiva e piccola xerofitica. A causa della loro origine e specie, sono più allineati con questa categoria rispetto alle strisce, che sono specificamente create con specie erbacee per uno scopo distinto.

D'altra parte, i cedui sono strutture vegetali irregolari composte da specie spontanee o forestali, che possono essere simili ad alberi, arbustive o erbacee. Di solito si trovano lungo fiumi, letti di fiumi asciutti, canali di irrigazione o drenaggio o qualsiasi altro corso d'acqua, i boschi cedui sono spesso disposti longitudinalmente nella direzione del pendio o, per essere più precisi, in linea con il flusso d'acqua. Appaiono comunemente in valli o burroni, a volte formando piccole foreste. In primo luogo, la loro funzione è quella di proteggere questi margini o banche. Tuttavia, servono anche come importanti rifugi, aree di alimentazione e riproduzione per la fauna selvatica, fungendo da corridoi ecologici.

Molte di queste siepi, in particolare i boschi cedui lungo il fiume, sono resti della vegetazione arborea e arbustiva naturale della zona, lasciata indietro dopo secoli di disboscamento per la coltivazione. Questi boschi cedui sono stati conservati principalmente come separatori tra aziende agricole o a causa dell'inadeguatezza dei terreni per l'agricoltura (ad esempio, alto rischio di inondazioni o terreni rocciosi). In alcuni casi, derivano dalla crescita spontanea della vegetazione sui bordi delle colture, sui margini, sui pendii o sulle differenze di altitudine tra terreni agricoli e terrazze.

Storicamente, molte siepi e boschi cedui nelle aree rurali sono andate perse a causa dell'intensificarsi delle pratiche agricole, principalmente a causa della meccanizzazione, che ha reso la terra più uniforme e più facile da coltivare. Tale approccio incentrato sulla produttività era così diffuso che una volta queste aree erano considerate ammissibili ai pagamenti diretti agli agricoltori.

Fortunatamente, questa tendenza si è invertita significativamente negli ultimi anni, principalmente a causa del riconoscimento da parte dell'UE di queste aree come componenti chiave del paesaggio che svolgono un ruolo cruciale nella conservazione del suolo e dell'acqua e nella conservazione della biodiversità. Al giorno d'oggi, la politica agricola comune (PAC) li riconosce come aree di interesse ecologico, spesso incluse nei calcoli degli aiuti agli agricoltori, o come beneficiari diretti di aiuti specifici per la conservazione e la promozione (Fernández, M.A., 2015).

Dal punto di vista della gestione integrata dei parassiti, siepi e boschi cedui vengono riconosciuti come elementi cruciali dell'agroecosistema, contribuendo alla conservazione e al miglioramento della biodiversità degli artropodi delle colture. Questo, a sua volta, migliora la gestione integrata dei parassiti nelle aziende agricole. I pionieri dell'agricoltura biologica hanno riconosciuto i benefici di questi elementi del paesaggio in vari aspetti della produzione agricola, in particolare la loro capacità di attirare insetti utili.

Oggi, le siepi sono spesso impiegate in tutto il mondo per controllare il deflusso e la perdita di suolo nelle aree in pendenza. Per questo, dovrebbero essere stabiliti il più perpendicolarmente possibile alla linea di massima pendenza, seguendo le curve di livello. I boschi cedui, d'altra parte, sono tipicamente utilizzati per correggere problemi idrologici quando si verifica un'intensa erosione nelle aziende agricole o per mitigare la contaminazione diffusa dall'uso di prodotti agrochimici nelle colture. Nonostante i loro benefici, queste strutture viventi sono ancora limitate o cautamente adottate da tecnici e agricoltori, principalmente a causa della mancanza di comprensione o fiducia nei loro vantaggi. Analogamente alla precedente esitazione verso il rilascio di nemici naturali per il controllo biologico, queste strutture sono ora considerate uno strumento integrale nella protezione delle colture.



**Figura 15:** Siepi che fungono da frangivento per proteggere il campo. Fonte: Michael Patterson (2006)

### **IMPATTO SULLA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E SULLA BIODIVERSITÀ:**

In primo luogo, questa tecnica migliora significativamente la diversità sia vegetale che animale. Inizialmente, la varietà di specie vegetali aumenta a causa delle piante introdotte dall'agricoltore. Nel corso del tempo, le specie spontanee locali aumentano man mano che sfruttano queste superfici del suolo indisturbate. Alla fine, gli animali (sia vertebrati che invertebrati) colonizzano questi mini-ecosistemi alla ricerca di nuovi terreni di alimentazione, ripari o aree di riproduzione. Come tale, vi è un sostanziale aumento della diversità delle specie nelle aziende agricole in cui queste strutture sono stabilite rispetto al loro stato precedente.

Un altro aspetto critico è il loro ruolo di elementi di collegamento tra gli spazi naturali esistenti (corridoi ecologici), in particolare per i boschi cedui presenti nei corsi d'acqua. Inoltre, queste siepi sono ampiamente utilizzate come strutture vegetali di conservazione nelle strategie di gestione integrata dei parassiti grazie

alla loro eccellente capacità di ospitare artropodi benefici (nemici naturali delle piante o impollinatori).

In termini di conservazione del suolo, la creazione di queste strutture viventi offre vantaggi significativi:

In primo luogo, controllano efficacemente il deflusso, riducendo l'erosione del suolo fertile, in particolare dei nutrienti e della materia organica. Allo stesso modo, il loro apparato radicale e il rallentamento del flusso delle acque superficiali possono trattenere parte di questi nutrienti e l'acqua circolante in eccesso, in gran parte assorbita da queste piante. Riducono anche la contaminazione diffusa da prodotti fitosanitari attraverso la deriva e il deflusso. Infine, queste aree diventano siti in cui viene prodotta abbondante biomassa, parte della quale viene restituita al suolo. Questo, unito all'assenza di trattamenti e lavorazione del terreno in queste aree, favorisce la proliferazione di microrganismi in decomposizione e simbionti vegetali.

### **CONDIZIONI DI APPLICAZIONE CONSIGLIATE:**

Queste strutture stabili possono essere utilizzate in tutti i tipi di terreni e colture. I principali limiti sono i fattori economici (costo di implementazione) e la disponibilità di spazio per il loro stabilimento.

In effetti, l'uso di queste barriere è molto vantaggioso quando la terra ha pendenze ripide e altre tecniche legate alla lavorazione del terreno sono insufficienti per controllare il deflusso.

Infine, questa tecnica può essere facilmente combinata con altri metodi di conservazione del suolo (come terrazze e lavorazione del contorno, tra gli altri).

### **RISORSE NECESSARIE:**

Il primo requisito sono i semi o le piante per la siepe o il bosco ceduo. La quantità di queste piante è fondamentale. A volte, la specie può non essere facilmente disponibile nei vivai, rendendo difficile ottenere le quantità necessarie. Pertanto, è fondamentale pianificare in anticipo per acquisire questi impianti. Richiedere una fornitura confermata quando necessario è una buona strategia, anche se si raccomanda loro di acclimatarsi alle condizioni ambientali locali prima del trapianto.

In alcuni casi, le aziende agricole possono avere materiali vegetali adatti alla propagazione nelle siepi. Questa pratica comune può portare a notevoli risparmi sui costi. Tuttavia, è essenziale garantire che le piante di origine siano sane.

Per quanto riguarda le attrezzature, possiamo utilizzare strumenti già disponibili in azienda per applicare questa tecnica. Ad esempio, un aratro versoio con spazzate può essere utilizzato per creare un solco profondo per preparare il terreno, che è fondamentale per un buon sviluppo delle radici.

Durante la preparazione del terreno, se possibile, sarebbe utile applicare emendamenti organici o anche fertilizzanti profondi.

Nelle regioni più calde con scarse precipitazioni, può essere necessaria un'irrigazione supplementare. Ciò può essere ottenuto utilizzando una linea di irrigazione a goccia laterale, se disponibile o, in alternativa, distribuendo l'acqua con un serbatoio.

Nelle fasi iniziali può essere necessaria la gestione di specie spontanee che potrebbero competere con quelle piantate. Per questo, potrebbe essere utilizzato un tosaerba a corda, o il diserbo manuale potrebbe essere fatto se l'area non è troppo grande. Opzionalmente, è possibile utilizzare pacciame di plastica biodegradabile, facendo piccoli fori per le piantine, anche se questo non è in genere richiesto.

Lastly, depending on the species planted, it may be necessary to manage the growth of the plants. This could be done through manual pruning or, more efficiently, with a saw or a specialized mechanical hedge trimmer

### **PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E MANUTENZIONE:**

La progettazione delle strutture impiantistiche offre una vasta gamma di opzioni. In primo luogo, è essenziale determinare gli obiettivi principali di queste strutture. A seconda che lo scopo sia quello di piantare siepi come frangivento, ridurre il deflusso e prevenire l'erosione del suolo, attuare la gestione integrata dei parassiti, migliorare il paesaggio agricolo, creare corridoi ecologici, ottenere una produzione aggiuntiva per l'autoconsumo o semplicemente definire confini di proprietà o recinti per il bestiame, i requisiti di progettazione varieranno in modo significativo. Mentre è possibile integrare più obiettivi, fattori come l'area superficiale, la disposizione, la geometria, la scelta delle specie e le densità differiranno considerevolmente. Pertanto, non è possibile fornire linee guida specifiche in questa scheda tecnica sintetica. Tuttavia, è fondamentale analizzare queste informazioni in anticipo e consultare la letteratura disponibile per esempi specifici che possono aiutare nella progettazione di siepi personalizzate. Questa tecnica consente un'ampia personalizzazione basata su preferenze e criteri personali, utilizzando concetti fondamentali.

Tipicamente, diversi tipi di siepi sono posizionati intorno all'azienda agricola o alle singole parcelle, con particolare attenzione ai lati che attraversano i pendii per controllare corsi d'acqua o piccoli letti fluviali asciutti. In questi casi, la loro funzione primaria è quella di fungere da confini di proprietà economici e duraturi, agire come frangivento per proteggere le colture, migliorare il paesaggio o promuovere l'autoconsumo. Per i terreni agricoli terrazzati, le siepi sono poste

in cima alle terrazze per facilitare la conservazione di queste strutture. Le radici della vegetazione piantata svolgono un ruolo cruciale nella stabilizzazione e nell'ancoraggio del terreno circostante, prevenendo l'erosione causata dal deflusso. Per massimizzare la diversità e la quantità di nemici naturali o insetti utili come gli impollinatori, oltre a ridurre al minimo l'erosione del suolo, le siepi dovrebbero essere stabilite non solo lungo il perimetro ma anche all'interno degli appezzamenti di coltivazione. È importante determinare la distanza appropriata tra le siepi per un efficace controllo biologico, considerando la coltura, le specie vegetali selezionate per la siepe e la gamma di movimento o bersaglio dei nemici naturali che abitano le siepi. L'obiettivo è consentire a questi insetti di controllare parassiti specifici. Pertanto, si consiglia di optare per un mix diversificato di specie e mantenere distanze tra siepi che vanno da 20 a un massimo di 50 metri.

In termini di controllo dell'erosione idrica, le siepi dovrebbero idealmente essere piantate a intervalli specifici lungo le curve di livello. L'intervallo appropriato dipende da diversi fattori chiave, tra cui il tipo di coltura, le specie vegetali scelte, la larghezza della siepe, la pendenza e la lunghezza. Questi intervalli influenzano l'effetto cumulativo dell'energia cinetica dell'acqua durante il deflusso. Sono disponibili cifre indicative a titolo indicativo. Una superficie effettiva più ampia coperta da queste strutture produce effetti più significativi. Per la lotta biologica, la siepe occupa circa il 5-7% della superficie. Tuttavia, per il controllo dell'erosione, è consigliabile iniziare con una copertura minima di questa percentuale, che può aumentare fino al 50% per pendenze ripide. In questi casi, si consiglia di terrazzare l'area.

Un altro aspetto fondamentale da considerare è la densità di semina e/o semina. Un'alta densità di impianto è necessaria per stabilire rapidamente siepi funzionali. Tuttavia, alcune specie di grandi dimensioni non dovrebbero essere

piantate troppo vicine tra loro per evitare la concorrenza per lo spazio e le risorse, che può portare a problemi di redditività o favorire parassiti e malattie dannosi.

Per quanto riguarda la larghezza della siepe, le siepi più strette da 1 a 2 metri sono adatte per promuovere nemici naturali, utilizzando specie erbacee e arbustive. Ai fini del controllo dell'erosione, sono preferite siepi leggermente più larghe che vanno da 2 a 4 metri, utilizzando specie più grandi, compresi gli alberi.

Quando si selezionano le specie vegetali, è essenziale condurre studi preliminari o raccogliere informazioni per determinare caratteristiche importanti. Queste caratteristiche includono la profondità e il tipo di radice, lo sviluppo (diametro e altezza), il tasso di crescita, l'adattamento al clima locale (resistenza), il tempo di fioritura, la produzione di frutti e semi e la potenziale invasività. Deve essere presa in considerazione anche la capacità delle specie di ospitare nemici naturali e potenziali parassiti che colpiscono la coltura. La ricerca e i test in corso mirano ad identificare le specie e le loro relazioni mutualistiche con questi insetti. A tale scopo sono disponibili applicazioni Web e app mobili. Generalmente, viene utilizzata una miscela di almeno cinque specie diverse, incorporando specie legnose con arbusti o specie erbacee. Tuttavia, nelle colture orticole, la selezione solo di specie arbustive ed erbacee è comune, escludendo gli alberi per evitare problemi come l'ombreggiamento eccessivo, la caduta delle foglie nelle colture o lo spazio limitato per i macchinari. Il processo di selezione delle specie è cruciale a causa delle numerose opzioni disponibili. Fare una scelta inappropriata può portare a difficoltà di manutenzione o all'ingresso di parassiti che potrebbero danneggiare il raccolto per un periodo prolungato.

È importante valutare il potenziale impatto negativo di specie selezionate, in particolare quando una specie funge da ospite ideale per un parassita o una malattia che colpisce la coltura. I siti web specializzati sui parassiti possono fornire

indicazioni su questo argomento. Per ridurre al minimo questo problema, evitare di piantare specie della stessa famiglia botanica o anche dello stesso genere della coltura, in quanto potrebbero condividere parassiti o malattie comuni. Utilizzando un mix diversificato di specie piuttosto che fare affidamento su una singola specie, è possibile impedire a qualsiasi specie di dominare la struttura. Considera che affinché i nemici naturali prosperino in queste siepi, una piccola popolazione di parassiti stessi o specie simili deve essere presente per sostenere questi insetti durante i periodi in cui il raccolto non è infetto.

Determinare la disposizione delle piantagioni sul terreno spesso comporta seguire schemi di piantagione impostati, con un certo ordine o modulo di piantagione ripetuto in tutta la siepe. Ad esempio, un modulo continuo può consistere nel piantare ripetutamente tre rosmarino, un oleandro, un atriplex e un mastice. Tuttavia, si consiglia di creare un mix casuale a meno che una giustificazione tecnica non richieda un modello specifico. Questo approccio si traduce in un risultato più naturale e favorevole.

Uno scenario unico prevede la progettazione di siepi come frangivento. In questo caso, i venti prevalenti e il rischio di gelo dovuto all'inversione dovrebbero essere analizzati per prevenire danni da freddo alla coltura. La disposizione dei frangivento non deve fungere da barriera all'aria fredda che si accumula durante l'inversione termica, ad esempio alla fine di un pendio di montagna. Pertanto, l'orientamento dei frangivento può differire significativamente da altri tipi di siepi. Inoltre, deve essere preso in considerazione il grado di protezione o l'area di influenza fornita dai frangivento, determinato dall'altezza massima degli alberi piantati (che in genere è circa dieci volte la loro altezza). Quando si selezionano le specie vegetali per i frangivento, è essenziale concentrarsi sugli alberi con un noto effetto protettivo. Inoltre, la densità di impianto dovrebbe essere appropriata per le specie scelte,

considerando le loro dimensioni finali. Il frangivento non deve essere eccessivamente compatto, consentendo all'aria di passare attraverso in modo controllato per evitare effetti negativi causati da forti vortici sul lato sottovento della siepe.

Per i boschi cedui lungo il fiume o la valle, la semina irregolare con specie alternate è l'ideale per creare un aspetto più naturale. Per migliorare le loro funzioni di filtraggio e protezione delle sponde, le specie erbacee dovrebbero essere posizionate a monte, seguite dagli arbusti, con alberi più vicini alla riva. Nel corso del tempo, la vegetazione naturale ricolonizzerà parti di questi margini, con conseguente aspetto tipico delle foreste lungo i fiumi. Tuttavia, nei casi in cui è necessaria la correzione idrologica locale a causa di calanchi o corsi d'acqua incontrollati nell'azienda, sono necessari interventi ingegneristici. Questi interventi, accompagnati da piantagioni per ottenere maggiore stabilità e naturalezza attraverso i cedui, esulano dallo scopo di questo manuale.

Una corretta preparazione del terreno è fondamentale quando si piantano siepi. Ciò comporta un'accurata coltivazione del terreno per eliminare qualsiasi hardpan. A seconda delle specie da piantare, la preparazione può essere effettuata attraverso trincee piantate continuamente utilizzando strumenti appropriati come spazzatura, versoio o ribassatore. In alternativa, è possibile creare singoli fori di impianto utilizzando una terna o una coclea. È consigliabile aggiungere materia organica e applicare profondamente fertilizzante minerale. Infine, il terreno è tumulato e compattato. Lasciare un lato delle siepi piantate sotto la piantagione (a monte) o creare un piccolo fossato parallelo può migliorare la ritenzione dell'acqua piovana durante le prime fasi della semina. In alternativa, un piccolo tumulo parallelo alla siepe a valle può servire allo stesso scopo. In alcuni casi, la siepe può essere elevata più in alto del terreno, creando un piccolo

altopiano o collina per migliorare il controllo dell'erosione, in particolare durante i primi anni di sviluppo delle piante.

Nelle aree estremamente aride, può essere necessario un ulteriore supporto per l'irrigazione a seconda della stagione di semina e della resistenza delle specie selezionate. I sistemi di irrigazione temporanei o i serbatoi d'acqua possono fornire acqua supplementare. Tuttavia, è fondamentale ridurre o eliminare gradualmente l'irrigazione per consentire un corretto insediamento delle radici e l'autosufficienza nella stabilizzazione del suolo.

Per quanto riguarda la manutenzione, la potatura periodica e la rimozione dei rami possono essere necessarie per mantenere la dimensione desiderata della siepe senza invadere la coltura o per sostituire le piante invecchiate. È importante sottolineare che queste superfici non dovrebbero essere sottoposte a concimazioni o trattamenti successivi, specialmente quando le siepi sono stabilite per promuovere e conservare la fauna benefica (nemici naturali), poiché tali trattamenti possono essere dannosi per la loro sopravvivenza.

La raccolta di informazioni sugli aspetti legali è altamente raccomandata per garantire una corretta progettazione ed evitare battute d'arresto future. Ad esempio, ai sensi dell'articolo 5 della legge forestale spagnola, dopo un certo periodo (in genere dieci anni o meno per i boschi cedui), le superfici arbustive o boschive possono essere classificate come foreste superficiali. Queste aree sono considerate "enclavi forestali su terreni agricoli" dall'autorità forestale della Comunità autonoma. Tale classificazione può imporre limitazioni in futuro, incidendo sugli aiuti relativi al paesaggio o alla biodiversità, e può richiedere un'autorizzazione specifica per la rimozione.

## POTENZIALE DI MITIGAZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO:

L'uso di queste strutture vegetali offre due vantaggi chiave per il cambiamento climatico. In primo luogo, contribuiscono a migliorare la fertilità del suolo riducendo le perdite di suolo e di nutrienti. Inoltre, possono immagazzinare quantità significative di CO<sub>2</sub> attraverso la generazione di biomassa. Questa capacità di stoccaggio può essere particolarmente elevata quando sono coinvolti alberi, raggiungendo livelli paragonabili alle foreste. Inoltre, l'area influenzata dalla siepe subisce un sostanziale aumento del contenuto di sostanza organica, superando l'effettiva larghezza della struttura.

Inoltre, le ridotte perdite di fertilizzanti e l'aumento localizzato di sostanza organica derivante dalla presenza di queste strutture possono contribuire in una certa misura a ridurre la dipendenza dai fertilizzanti. Inoltre, la loro semina, soprattutto se intervallata all'interno della piantagione, porta ad una diminuzione della lavorazione del terreno, con conseguente risparmio di carburante nel tempo, seppur modesto.

Nel complesso, queste strutture vegetali hanno un impatto positivo sul sequestro del carbonio, rendendole preziose come pozzi di assorbimento del carbonio.

## COLLEGAMENTO CON LA POLITICA AGRICOLA COMUNE:

In passato, gli aspetti multifunzionali di questi elementi nel panorama agricolo non erano adeguatamente riconosciuti all'interno del modello della politica agricola comune (PAC) dell'UE. Di conseguenza, gli importi pagati agli agricoltori per queste aree sono stati ridotti, considerandoli "non produttivi". Fortunatamente, le autorità europee ora riconoscono l'importanza di questi elementi come componenti integranti delle diverse aree rurali in tutta Europa. Riconoscendo i loro benefici per la biodiversità e i cambiamenti climatici, sono

ora fortemente integrati nei requisiti per i pagamenti diretti agli agricoltori (condizionalità rafforzata) e gli aiuti di pagamento di base.

Inoltre, molte regioni hanno già incluso misure relative a questi elementi nei loro precedenti programmi di sviluppo rurale, sia per la loro conservazione che per i nuovi impianti, rendendoli un requisito obbligatorio per ricevere aiuti agroambientali (Fernández, M.A., 2015).

Infine, vale la pena ricordare che i costi associati alla piantumazione di queste strutture vegetali di conservazione possono essere compensati attraverso i fondi operativi delle organizzazioni di produttori di prodotti ortofrutticoli (OPFH). Queste strutture sono considerate parte delle misure ambientali obbligatorie da attuare nell'ambito di questi fondi.

## Rotazione e alternanza delle colture

**NOME DELLA TECNICA:** Rotazione e alternanza delle colture

**TIPO:** Gestione delle colture

### DESCRIZIONE:

La rotazione delle colture è un metodo tradizionale utilizzato fin dall'antichità per preservare la fertilità naturale del suolo e salvaguardare le colture agricole, in particolare le varietà orticole, da problemi fitosanitari indesiderati derivanti dal ripetuto impianto delle stesse colture.

Questo approccio è incentrato sulla creazione di una sequenza o rotazione delle colture sullo stesso pezzo di terra per un periodo specifico, di solito da 1 a 3 anni. Questa durata dipende dall'intensità e dalla durata di ogni coltura. Il metodo prevede l'utilizzo di specie vegetali che possono coesistere per un certo periodo pur avendo caratteristiche uniche. Queste caratteristiche distinte consentono loro di interrompere il ciclo di vita di parassiti specifici, attingere a vari profili del suolo, possedere diversi sistemi di radici, aumentare la fissazione dell'azoto atmosferico e offrire altri tratti utili.

Si raccomanda di includere almeno due, idealmente tre, colture o varianti all'interno di questa rotazione. Questi potrebbero comportare periodi di maggese (tempi di riposo per il terreno) o l'uso di sovescio. Questa tecnica può anche essere abbinata a una gestione sensata del bestiame. I residui delle colture o alcune piante da pascolo benefiche per il bestiame possono persino essere incorporati nel ciclo di rotazione delle colture.

Nonostante i numerosi vantaggi offerti dalla rotazione delle colture, l'intensificazione dell'agricoltura — caratterizzata dall'avvento di fertilizzanti e prodotti fitosanitari e dall'attenzione ad alcune colture orientate all'esportazione in regioni specifiche come Campo de Cartagena o la Valle di Guadalest — ha portato al declino di questa pratica. Ciò si è verificato perché la diversificazione delle colture ha reso difficile la gestione delle aziende agricole a causa delle piccole dimensioni di molte aziende agricole. Ciò non è stato favorevole per le aziende ortofrutticole che richiedono grandi volumi di un prodotto specifico tutto l'anno per soddisfare la domanda commerciale.

Tuttavia, la crescente popolarità dell'agricoltura biologica nella regione di Murcia, l'emergere di alcuni problemi fitosanitari con misure di controllo limitate e nuovi requisiti normativi stanno iniziando a spostare questa tendenza. Di conseguenza, molte grandi aziende agricole, insieme ai produttori su piccola scala, hanno iniziato a incorporare una qualche forma di rotazione o alternanza nel loro ciclo di produzione. Ciò include l'uso di periodi di maggese temporanei, cereali, fagioli, girasoli, patate e altro, che si alternano ad alcune delle colture più comunemente coltivate della regione.

Negli Stati Uniti e altrove nelle Americhe, le rotazioni delle colture servono anche allo scopo di preservare il suolo. Raggiungono questo obiettivo introducendo specie specifiche in grado di migliorare la resilienza del sistema suolo-pianta contro l'erosione causata dal vento o dall'acqua.



**Figura 16:** Parcelle di rotazione delle colture di piselli e frumento. Fonte: Mervin St. Luce (2022).

## IMPATTO SULLA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E SULLA BIODIVERSITÀ:

La rotazione delle colture può avere un effetto significativo sulla conservazione del suolo e sulla biodiversità in diversi modi:

In primo luogo, uno dei principali vantaggi della rotazione delle colture è come interrompere il ciclo riproduttivo di vari parassiti e malattie potenzialmente dannosi per colture specifiche. Ciò è ottenibile ruotando diverse specie di colture da famiglie botaniche distinte o incorporando periodi di maggese di determinate lunghezze. Ad esempio, questo metodo è utile per le brassiche (come broccoli, cavolfiori e cavoli) che sono spesso infestate da nematodi del genere *Heterodera*, lattuga colpita dal fungo *Sclerotinia* o cereali colpiti da *Septoria* o dalla zanzara dei cereali.

Inoltre, la rotazione delle colture incoraggia la biodiversità introducendo nuove specie vegetali. Questo aumento della biodiversità deriva non solo dalle nuove specie di colture stesse, ma anche dai parassiti o dai nemici naturali associati a queste colture e al microbiota che beneficiano dei loro residui nel suolo. Su scala più piccola, avere una più ampia varietà di colture diversifica anche le fonti di cibo per la fauna più piccola, come uccelli e roditori.

Un altro aspetto vitale della rotazione delle colture è la variazione che introduce nel profilo del suolo. Selezionando colture con diversi sistemi di radici che operano a diverse profondità del suolo e assorbono i nutrienti e l'acqua in modo diverso, la rotazione delle colture consente al suolo e alle sue riserve di nutrienti di riposare e recuperare naturalmente.

Per quanto riguarda l'erosione del suolo, alcune colture come i cereali possono migliorare direttamente la protezione del suolo contro l'erosione del foglio. Ciò è dovuto alla loro crescita densa, al sistema radicale e alle stoppie che lasciano dietro, che possono migliorare la porosità del suolo e il contenuto di materia organica. Allo stesso modo, i concimi verdi o i pascoli possono anche combattere l'erosione, specialmente se combinati con altre tecniche come il contorno o la lavorazione minima, le strisce, le siepi o le terrazze. Infine, l'uso della rotazione delle colture riduce generalmente la durata per la quale il suolo viene lasciato esposto e non protetto, poiché il tempo sarebbe meglio utilizzato per coltivare queste colture alternate.

## CONDIZIONI DI APPLICAZIONE CONSIGLIATE:

Questa tecnica è ideale per le colture erbacee, tipicamente annuali o biennali, e può essere efficacemente utilizzata su tutti i tipi di terreno utilizzati nei campi di coltivazione. I vantaggi della rotazione delle colture, evitando

di piantare la stessa coltura anno dopo anno, aiutano a prevenire problemi significativi del suolo che potrebbero in definitiva influire sulla resa delle colture.

Da un punto di vista normativo, i codici per le buone pratiche agricole per controllare l'inquinamento da nitrati da fonti agricole raccomandano in genere la rotazione delle colture.

### **RISORSE NECESSARIE:**

L'implementazione della rotazione delle colture potrebbe richiedere risorse aggiuntive, come maggiori attrezzature per la semina, il trapianto, la lavorazione del terreno e / o la raccolta, o persino lo stoccaggio dei residui delle colture per l'alimentazione del bestiame.

Spesso, la sfida principale o il fattore limitante è il tempo, poiché la transizione tra le colture, così come il loro tempo nel terreno, deve essere gestita con attenzione. Pertanto, è importante pianificare accuratamente la selezione delle colture utilizzate nella rotazione, tenendo presente che le condizioni meteorologiche possono alterare significativamente queste tempistiche, richiedendo agli agricoltori di adattarsi e rispondere a potenziali situazioni impreviste.

Con l'aumentare del numero di colture o specie vegetali, le risorse necessarie possono variare. Quando vengono introdotte specie regionali non comuni, gli agricoltori dovranno pianificare o anticipare l'approvvigionamento di nuove specie di sementi per la rotazione. Per aiutare con questo, le banche del germoplasma, che sono state istituite in molti paesi, possono fornire materiale vegetale che può essere utile. Questo materiale include spesso coltivazioni tradizionali che potrebbero essere meglio adattate alle condizioni ambientali locali delle colture.

### **PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E MANUTENZIONE:**

Nella rotazione delle colture, la sequenza di colture viene trattata come una singola unità di produzione. Tuttavia, un altro approccio prevede l'applicazione di questa sequenza su diverse unità o grafici. Questa strategia, nota come alternanza, comporta la divisione della fattoria in diverse unità o appezzamenti (chiamati anche "foglie"). In ogni foglia, le colture vengono piantate in sequenza, compresi i periodi di maggese e concimi verdi. Le colture cambiano ad ogni ciclo, spostandosi in un altro appezzamento in modo sistematico. Dopo un certo periodo, le colture tornano alla trama originale in cui è iniziata la rotazione. Il numero e la dimensione delle foglie devono essere determinati in base alle esigenze produttive (tipi di colture e resa) e al lasso di tempo considerato per questa alternanza. Ciò dipenderà dai periodi di crescita di ciascuna specie, insieme al tempo necessario per la semina e il lavoro preparatorio.

Per quanto riguarda la progettazione della rotazione delle colture, la selezione delle specie o delle colture alternative da includere nella rotazione è un passo critico. È necessario considerare diversi fattori o parametri, che possono includere alcuni o tutti i seguenti:

1. Selezionare specie di rilevante interesse economico per l'agricoltore o la società di commercializzazione.
2. Garantire la compatibilità con altre colture per quanto riguarda i tempi di semina e raccolta. L'obiettivo è quello di piantare una nuova specie subito dopo la raccolta della precedente o di scegliere specie con cicli produttivi brevi che le rendano compatibili con altre.
3. La sequenza delle colture dovrebbe allinearsi con le stagioni nella zona.
4. Utilizzare specie di diverse famiglie botaniche, poiché alcuni parassiti o malattie possono colpire interi generi.

5. Includere specie con diversi apparati radicali, come fascicolati, fittoni, fibrosi, ecc., o con profondità diverse.
6. Evitare le specie che condividono i principali parassiti o malattie.
7. Optare per specie con esigenze nutrizionali diverse.
8. Scegli colture che possono tollerare determinate condizioni del suolo, come salinità, argilla o terreni pesanti, se presenti.
9. Considera le specie che possono fissare l'azoto atmosferico, come i legumi.
10. Includere una specie con poca acqua deve bilanciare il maggiore consumo di un'altra.
11. Considera le specie con effetti allelopatici benefici; cioè, quelli la cui presenza o residui possono respingere determinati parassiti.
12. Selezionare colture benefiche per l'alimentazione del bestiame, direttamente o dopo il raccolto.
13. In caso di problemi di erosione, considerare le specie che forniscono un maggiore controllo dell'erosione.

Una rotazione comunemente usata comporta una coltura orticola principale, seguita da maggese, cereali e / o sovescio, o due colture orticole principali di famiglie diverse per stagioni diverse, con periodi di compost / cereali magini o verdi in mezzo. C'è abbondante letteratura che descrive in dettaglio buone combinazioni sia per le colture erbacee delle terre aride che per le colture orticole irrigue.

## POTENZIALE DI MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI:

Le rotazioni delle colture possono aiutare a ridurre la necessità di fertilizzanti minerali in generale. Inoltre, alcune specie che potrebbero essere incluse nella rotazione potrebbero richiedere meno fertilizzazione o lavorazione del terreno (come con alcuni cereali), riducendo il consumo di carburante o energia. Se anche i legumi sono inclusi nella rotazione, la necessità di fertilizzanti a base di azoto sarà significativamente ridotta, riducendo così i costi dei fertilizzanti.

In modo complementare, anche se moderatamente, la capacità di stoccaggio di CO<sub>2</sub> può anche aumentare quando il contenuto di materia organica aumenta a causa della maggiore quantità di residui delle colture.

## COLLEGAMENTO CON LA POLITICA AGRICOLA COMUNE:

Nei precedenti periodi dei programmi di sviluppo rurale (PSR) in molte regioni della Spagna, sono state incluse misure agroambientali come la rotazione delle colture, i maggese ambientali o l'uso di sovesci (Fernández, M.A. 2015). L'agricoltura biologica, che rende le rotazioni delle colture essenziali per un sistema agricolo più sostenibile, sta diventando una misura chiave in questo tipo di aiuti.

Inoltre, la nuova politica agricola comune prevede, nell'ambito delle buone condizioni agronomiche e ambientali (BCAA), l'uso obbligatorio di un numero minimo di rotazioni nell'ambito della condizionalità rafforzata. Tali rotazioni devono comprendere periodi di maggese e l'impiego di specie azotofissatrici. Tali requisiti sono obbligatori per i pagamenti diretti agli agricoltori, un aspetto già richiesto nel periodo precedente nella componente di inverdimento del pagamento di base per gli agricoltori.

## Lavorazione minima, nessuna lavorazione del terreno e maggese

**NOME DELLA TECNICA:** Lavorazione minima, nessuna lavorazione e maggese

**ALTRI NOMI:** Lavorazione ridotta, semina diretta, lavorazione zero, lavorazione conservativa

**TIPO:** Gestione della lavorazione del terreno

### DESCRIZIONE:

La lavorazione minima, nota anche come lavorazione ridotta, comporta la riduzione della frequenza o dell'intensità della lavorazione rispetto alle pratiche convenzionali in una determinata regione. Ciò si ottiene diminuendo il numero di compiti eseguiti sul suolo. Può anche comportare l'uso di strumenti che causano meno interruzioni al profilo del suolo, come quelli che lo alterano minimamente (inversione del profilo) o lavorano a una profondità inferiore (lavoro superficiale).

Nel caso di colture legnose l'obiettivo primario della non lavorazione del terreno è quello di evitare completamente qualsiasi aratura sul terreno, in quanto espone la superficie a processi erosivi. Per le colture erbacee, la pratica equivalente è chiamata semina diretta. Nella semina diretta, i semi o i trapianti vengono piantati direttamente sul terreno, con alcuni residui della coltura precedente (stoppie) lasciati sul posto. Durante la semina o il trapianto viene condotto un lavoro minimo di preparazione iniziale del terreno. Questa tecnica è emersa come un'alternativa più sostenibile alla combustione delle stoppie, che si è rivelata

dannosa per la fertilità del suolo e ha comportato un aumento delle emissioni di anidride carbonica.

Un'altra alternativa, comunemente utilizzata in specifici programmi di aiuto agro-ambientale nell'ambito della PAC (Politica Agricola Comune) in Spagna, prevede la limitazione della lavorazione del terreno durante determinati periodi dell'anno, di solito in periodi di forte rischio di precipitazioni (primavera o autunno) o in aree designate per la protezione degli uccelli (ZEPA) sulle superfici cerealicole durante le stagioni riproduttive delle specie di interesse. Questa restrizione riduce efficacemente la lavorazione del terreno nel tempo. Estendendo ulteriormente questo approccio, la tecnica del maggese consiste nel lasciare il terreno completamente incolto per un periodo che va da pochi mesi a un anno intero. Questa pratica tradizionale, ampiamente utilizzata in passato quando fertilizzanti e pesticidi non erano disponibili, era essenziale per ripristinare la fertilità minima del suolo e controllare i parassiti e gli agenti patogeni delle colture, in particolare nelle colture pluviali. Oggi, la tecnica del maggese viene ripresa come requisito all'interno dei regolamenti della PAC e dei programmi di sviluppo rurale (PSR), nonché a causa della crescente adozione dell'agricoltura biologica, che limita l'uso di prodotti agrochimici. La tecnica del maggese è considerata una componente delle rotazioni delle colture, che sono descritte in un'altra sezione di questo manuale.

## ESEMPI:



**Figura 17:** Piantazione di mais senza tecnica di lavorazione del terreno. Fonte: Shutterstock (n.d)

## IMPATTO SULLA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E SULLA BIODIVERSITÀ:

Le pratiche di lavorazione del terreno hanno vari effetti negativi sul suolo, tra cui la rottura della struttura del suolo, l'aumento della mineralizzazione della materia organica quando esposta all'aria e all'essiccazione, la formazione di hardpan (uno strato indurito dovuto al passaggio dei macchinari e al taglio degli attrezzi) e alterazioni significative nel microbiota del suolo dovute alla solarizzazione. Pertanto, qualsiasi tecnica che minimizzi la lavorazione del terreno riducendo la frequenza, la profondità o il grado di rotazione del suolo avrà un effetto positivo mitigando il potenziale impatto di queste pratiche. Lasciare la terra incolta per un periodo adeguato o nei momenti opportuni può migliorare ulteriormente questi benefici.

In conclusione, l'implementazione di queste tecniche di coltivazione può portare a una migliore struttura del suolo, una maggiore permeabilità, una

maggiore capacità di infiltrazione dell'acqua, un maggiore contenuto di materia organica e una maggiore attività biologica nella maggior parte dei casi. La semina diretta e i periodi di maggese, in particolare, contribuiscono all'incorporazione di una quantità significativa di biomassa nel ciclo del suolo attraverso l'azione microbica. Queste pratiche migliorano la resilienza del suolo contro l'erosione e ne migliorano la qualità agronomica.

Tuttavia, effetti avversi specifici possono verificarsi in determinate condizioni e tipi di suolo. Questi possono includere un'eccessiva compattazione del suolo, l'emergere di agenti patogeni specifici delle colture (specialmente senza una corretta rotazione delle colture), la perdita di fertilizzanti a causa della ritardata incorporazione nel terreno e la formazione di una crosta superficiale che ostacola l'emergere dei semi. Ad esempio, nel caso della lavorazione minima in colture legnose come gli uliveti, alcuni produttori hanno fatto ricorso all'applicazione di erbicidi per il controllo delle erbe infestanti, che può portare alla contaminazione da erbicidi nel suolo o alla traslocazione del deflusso. Questa tecnica è stata fortemente promossa dalle aziende che commercializzano tali prodotti. Fortunatamente, un numero crescente di persone opta per metodi alternativi come la falciatura, il taglio, la frantumazione della vegetazione spontanea o l'utilizzo per il pascolo del bestiame.

Nonostante la diminuzione iniziale della resa nelle colture pluviali durante i primi anni di implementazione della non-lavorazione, studi a lungo termine indicano che queste tecniche migliorano gradualmente i raccolti, raggiungendo o addirittura superando i livelli di coltura convenzionale. Inoltre, si ottengono significativi risparmi energetici, con conseguente riduzione dei costi agricoli.

## CONDIZIONI DI APPLICAZIONE CONSIGLIATE:

Queste pratiche sono generalmente adatte alla maggior parte dei tipi di terreno, ad eccezione di terreni con problemi fisici specifici come croste o alto contenuto di argilla. In questi casi, le pratiche possono fornire miglioramenti temporanei migliorando la capacità di infiltrazione del suolo. Un'altra considerazione è la pendenza del terreno, in quanto l'applicazione di queste pratiche da sola non è raccomandata per pendenze tra il 5-10% senza strutture di conservazione aggiuntive.

La lavorazione minima o non lavorazione è particolarmente adatta per le colture legnose, mentre nelle colture erbacee, può essere implementata relativamente facilmente in colture più estese come mais, girasole e cereali. Tuttavia, potrebbe essere meno fattibile nelle colture orticole a causa della necessità di alcune attività di preparazione del suolo, come la rimozione delle erbe infestanti avventizie. Questo aspetto è più strettamente correlato alle pratiche di semina diretta.

Quando si implementa la lavorazione ridotta, è importante scegliere periodi appropriati per il lavoro, evitando le stagioni delle piogge più intense. In alternativa, possono essere applicati periodi di maggese, particolarmente raccomandati per le colture orticole.

In termini di rotazioni colturali, la piantagione continua e ripetitiva di specie orticole nel tempo può portare alla comparsa di malattie che causano danni significativi, riducendo la produttività e aumentando i costi di controllo. In casi estremi, può causare problemi al suolo specifici per quella coltura. Questo problema è stato osservato negli ultimi anni con alcuni funghi o nematodi che colpiscono colture come la lattuga o le specie brassica (cavoli, cavolfiori o broccoli) nella valle di Guadalentín o Campo de Cartagena a Murcia.

Queste tecniche possono essere combinate con altre pratiche di conservazione del suolo come la lavorazione del contorno, le rotazioni, i tetti verdi, le terrazze e la frantumazione dei resti vegetali per ottenere benefici cumulativi attraverso il loro uso integrato.

## RISORSE NECESSARIE:

Il requisito primario per una lavorazione minima o ridotta è quello di avere strumenti idonei in grado di eseguire la lavorazione del terreno con il minimo impatto sul terreno. Gli esempi includono la selezione di spazzature specifiche posizionate su un versoio, l'utilizzo di un coltivatore con lunghezza del dente più corta, l'impiego di lame per falciare l'erba, ecc.

Nel caso della semina diretta, sono necessari macchinari più specializzati. Questo macchinario combina capacità di semina o trapianto automatiche con manodopera minima per creare condizioni ottimali per lo sviluppo delle piante. Può anche includere caratteristiche per il posizionamento di fertilizzanti profondi.

Per implementare con successo queste tecniche, gli agricoltori avranno bisogno di accedere agli strumenti e ai macchinari appropriati in base al metodo specifico scelto, garantendo l'esecuzione efficiente ed efficace di pratiche minime o senza lavorazione del terreno, nonché la semina diretta..

## PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E MANUTENZIONE:

Quando si tratta di progettazione, il primo passo è valutare l'alternativa tecnica più adatta e compatibile in base a fattori quali le colture desiderate o quelle esistenti (per piante legnose), le proprietà fisiche e fisico-chimiche del suolo, la disponibilità di macchinari e altre considerazioni rilevanti. Una volta effettuata questa valutazione, è possibile prendere decisioni su come ridurre al minimo la lavorazione del terreno evitando o riducendo al minimo eventuali effetti negativi, il tutto considerando i requisiti di produzione dell'operazione agricola.

Per quanto riguarda l'esecuzione, non si può dire molto se non quando si riduce il numero di eventi di lavorazione del terreno. In questi casi, la decisione chiave è quella di scegliere le fasi fenologiche della coltura o le condizioni

meteorologiche che massimizzano i benefici della lavorazione del terreno riducendo al minimo il rischio di erosione. Ad esempio, in un tipico raccolto di mandorle pluviali nella regione di Murcia, possono essere effettuati fino a cinque passaggi, ma questo numero può essere ridotto a solo un paio di compiti. D'altra parte, nelle colture di agrumi o frutta con irrigazione localizzata, è relativamente facile eliminare o ridurre al minimo la lavorazione del terreno (ad esempio, senza lavorazione del terreno o una volta ogni uno o due anni) incorporando materia organica e rompendo qualsiasi pan duro che potrebbe essersi formato se non c'è copertura vegetale.

Quando si applica la lavorazione minima o la non lavorazione alle colture legnose, in alcuni punti può essere necessario gestire la crescita della copertura vegetale. Tradizionalmente, questo è stato fatto usando erbicidi, ma più recentemente vengono adottate alternative come la falciatura ad un'altezza specifica o la triturazione insieme ai residui di potatura. Nei periodi critici, dove la copertura vegetale deve essere completamente eliminata (come durante i mesi estivi), l'intero terreno può essere falciato utilizzando una diserbatrice o passaggi di lavaggio con una lama, anche se è importante assicurarsi che il terreno sia ben livellato.

Per i periodi di maggese nei cereali e in altre colture erbacee estensive, il lavoro preparatorio può coincidere con l'inizio della stagione delle piogge (inizio autunno o primavera). L'obiettivo è quello di catturare quanta più acqua possibile per garantire un'emergenza e una crescita ottimali delle colture nei primi mesi. Pertanto, è fondamentale implementare la lavorazione del contorno insieme ad altre tecniche come strisce non di lavorazione, siepi, ecc., Per mitigare i rischi di erosione.

## **POTENZIALE DI MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI:**

Queste tecniche hanno significative implicazioni positive per il cambiamento climatico. In primo luogo, contribuiscono a ridurre il consumo di carburante necessario per le normali attività agricole, con una conseguente notevole diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>. In secondo luogo, riducendo al minimo il disturbo del suolo, migliorano la capacità del suolo di immagazzinare carbonio organico sotto forma di composti come l'humus e supportano un microbiota più sano. Infine, la riduzione delle perdite di suolo e nutrienti porta anche a una diminuzione dell'uso di fertilizzanti minerali, con un impatto positivo sulle emissioni indirette associate alla produzione di fertilizzanti.

## **COLLEGAMENTO CON LA POLITICA AGRICOLA COMUNE:**

La politica agricola comune (PAC) considera queste pratiche obbligatorie nelle zone in pendenza come parte dei requisiti generali per le "buone condizioni agronomiche e ambientali (BCAA)". Il rispetto di tali condizioni è necessario per poter beneficiare della maggior parte degli aiuti diretti alle aziende agricole. Inoltre, nel prossimo periodo di programmazione per la Spagna nel suo insieme e in particolare a Murcia, uno degli eco-regimi sarà attuato nell'ambito dei regimi di pagamento diretto per gli agricoltori, sottolineando la rotazione delle colture e le pratiche di semina diretta nei terreni agricoli.

## Lavorazione del contorno

**NOME DELLA TECNICA:** Lavorazione del contorno

**ALTRI NOMI:** Livellamento della lavorazione del terreno

**TIPO:** Gestione della lavorazione del terreno

### DESCRIZIONE:

La lavorazione del contorno comporta il lavoro sul terreno lungo le curve di livello il più vicino possibile, indipendentemente dall'attività agricola o dall'implementazione utilizzata. Questo significa lavorare perpendicolarmente alla linea di massima pendenza, creando solchi e creste che rallentano il deflusso e trattengono l'acqua in piccoli canali (solchi) all'interno del terreno. Riducendo l'erosione idrica e aumentando l'accumulo di acqua nel profilo del suolo, questa tecnica migliora l'utilizzo dell'acqua da parte delle colture. La lavorazione del contorno è spesso associata alla creazione di terrazze, che fungono anche da punti di riferimento per l'implementazione di questa pratica durante lo sviluppo delle colture.

Questa pratica tradizionale è ampiamente utilizzata nelle colture pluviali, in particolare nelle regioni con lunghi periodi di scarse precipitazioni. Il suo scopo è quello di ottimizzare l'utilizzo delle piogge durante la stagione delle piogge. La lavorazione del contorno è stata tradizionalmente impiegata, quasi come un requisito, nelle aree mediterranee con pendii, pendii o burroni con pendii da dolci a moderati. Viene utilizzato sia per colture erbacee (come cereali, girasoli e legumi) che per colture legnose come ulivi o mandorli. Tuttavia, a causa della

meccanizzazione e dell'espansione delle colture, questa pratica è diminuita. La lavorazione verticale lungo il pendio divenne più popolare in quanto era più conveniente e veloce della lavorazione del contorno. Inoltre, l'aumento dell'uso di fertilizzanti ha ridotto l'importanza della fertilità naturale del suolo dal punto di vista dell'agricoltore.

È importante notare che mentre la lavorazione del contorno può controllare l'erosione nelle colture erbacee, può funzionare contro di noi su pendii ripidi, aree con precipitazioni intense in brevi periodi o su terreni con bassa permeabilità (argillosi o argillosi). In questi casi, può portare alla generazione di flussi quando si lavora a favore della pendenza. Inoltre, le colture orticole possono affrontare l'ulteriore sfida di una maggiore incidenza di malattie fungine a causa della prolungata saturazione del suolo.

Nelle colture legnose, la lavorazione del contorno può essere combinata con una lavorazione ridotta per ridurre al minimo la frequenza della lavorazione all'anno. In alternativa, una porzione della fila centrale, tra le file di alberi, può essere lasciata non lavorata, riducendo l'area che richiede la lavorazione. Entrambi gli approcci migliorano significativamente il controllo dell'erosione. Piantare aree incolte come strisce di conservazione sarebbe ancora più vantaggioso, poiché le strisce di conservazione sono altamente efficaci nella conservazione del suolo.

Nel corso del tempo, la rilavorazione seguendo il contorno dei medi delle file nelle colture legnose può creare creste dolci attorno alla base del tronco dell'albero a causa della gravità. Ciò aumenta l'irregolarità del terreno e rende più impegnativi i processi erosivi moderati.

## ESEMPI:



**Figura 18:** Esempio di lavorazione del contorno di un campo in Georgia e negli Stati Uniti  
Fonte: Jeff Vanuga / USDA Natural Resources Conservation Service (2011)

## IMPATTO SULLA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E SULLA BIODIVERSITÀ:

La lavorazione del contorno crea solchi nel terreno perpendicolari al flusso di deflusso, con conseguenti irregolarità del terreno che riducono parzialmente l'energia cinetica dell'acqua e la sua capacità erosiva (noto come effetto di laminazione locale). Allo stesso tempo, promuove l'accumulo di acqua su piccola scala, lungo l'intera lunghezza e ad una certa profondità a seconda dell'attrezzo utilizzato. Ciò può ridurre significativamente il volume di drenaggio iniziale e il rischio di formazione di corsi d'acqua, migliorando al contempo l'infiltrazione dell'acqua.

Tuttavia, un recente studio condotto in condizioni mediterranee nella Spagna centrale ha indicato che la lavorazione del contorno può portare ad un aumento dell'erosione rispetto alla lavorazione del terreno nella direzione del pendio, in particolare durante episodi di pioggia intensa in brevi periodi di tempo (Cermeño, I. 2018). Ciò rivela i limiti di questa tecnica per quanto riguarda la pendenza del

terreno in cui viene applicata e la presenza o meno di altre misure che migliorano la resilienza del terreno contro episodi estremi con un potenziale erosivo più elevato.

D'altra parte, studi più recenti suggeriscono che la lavorazione del contorno ha un impatto maggiore sull'erosione meccanica, che si riferisce all'erosione causata dal movimento delle particelle del suolo derivanti dalla ripiastrellatura e dall'effetto della gravità. Come metodo di lavorazione conservativa, è più favorevole per ridurre l'erosione meccanica rispetto alla lavorazione del terreno nella direzione del pendio.

Per quanto riguarda la biodiversità, la lavorazione del contorno non ha un impatto diretto notevole, ma contribuisce indirettamente alla ritenzione del suolo, dei nutrienti e della materia organica. Questo aiuta a mantenere la qualità del suolo e la capacità di sostenere la vita vegetale, animale e microbica.

Infine, è importante notare che la lavorazione del contorno non è una tecnica permanente. I suoi effetti durano solo pochi mesi, dopo di che deve essere ripetuto nelle colture legnose (almeno una volta all'anno) o quando si prepara il terreno per la semina o la semina in colture erbacee. Nel caso di colture orticole, dovrebbe essere eseguito ogni volta che è necessaria la lavorazione del terreno per controllare le erbe infestanti o rompere la superficie indurita.

## CONDIZIONI DI APPLICAZIONE CONSIGLIATE:

La lavorazione del contorno è generalmente considerata adatta a tutti i tipi di terreno e colture. È molto efficace nel trattenere l'acqua dopo piogge moderate, in particolare su pendii dolci che vanno dall'1% al 10%. Nel caso di specie legnose, sono gestibili pendenze fino al 15%. Tuttavia, è importante notare che questa tecnica da sola potrebbe non essere sufficiente per prevenire il deflusso dopo forti piogge o su pendii più ripidi. Pertanto, si raccomanda di combinare la

lavorazione del contorno con altre tecniche di conservazione. Metodi alternativi come terrazze, colline, strisce di piante e / o siepi sono più raccomandabili per pendii molto ripidi in cui la manovrabilità del trattore è impegnativa.

Tipicamente, l'orientamento della piantagione di colture erbacee o piantagione di alberi si allinea con la direzione della lavorazione del terreno per facilitare la coltivazione. Attualmente, in molte piantagioni di colture legnose, questo tipo di lavoro viene svolto utilizzando altipiani di piantagioni, in particolare nel caso degli agrumi nella Spagna orientale o terrazze in uliveti, frutteti, vigneti o mandorleti.

Mentre il principio fondamentale della lavorazione del contorno è quello di seguire da vicino i contorni, ci possono essere casi in cui la topografia avversa (burroni, canali, rocce, ecc.), lo spazio di manovra limitato o un flusso di deflusso naturale diverso dalla direzione del pendio rendono poco pratico o inutile rispettare rigorosamente questa regola in alcune sezioni.

Da un punto di vista normativo, i codici di buone pratiche agricole generalmente considerano la lavorazione del contorno come raccomandata o obbligatoria, a seconda della pendenza del terreno.

### **RISORSE NECESSARIE:**

La lavorazione del contorno non richiede macchinari o attrezzature specializzate, ad eccezione delle aziende agricole con pendenze elevate dove il trattore utilizzato deve essere idoneo a lavorare in questa direzione senza il rischio di ribaltamento o scivolamento, garantendo la sicurezza dell'operatore. Le attrezzature abilitate GPS sono molto vantaggiose, in quanto consentono un'implementazione più precisa della lavorazione del terreno, in particolare per le colture erbacee.

I sistemi informativi geografici (GIS) attualmente forniscono mappe accurate con curve di livello o precisione ad alta quota per l'area target. In assenza di

strumenti moderni come GPS, teodoliti o stazioni totali per rilievi topografici, le mappe topografiche del terreno possono essere utilizzate direttamente. In alternativa, è possibile utilizzare metodi meno recenti per definire le linee di contorno. Un altro approccio relativamente semplice per approssimare le linee della pendenza massima è l'utilizzo di applicazioni come Google Earth™, che fornisce valori altimetrici del terreno, consentendo la creazione di profili del terreno lungo percorsi specifici, anche se con una precisione potenzialmente inferiore.

Nel caso di colture legnose, è necessario considerare attentamente il posizionamento delle linee di impianto poiché non è possibile apportare facilmente modifiche in seguito, a differenza delle aziende erbacee.

### **PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E MANUTENZIONE:**

In termini di progettazione, ci sono poche linee guida specifiche per la lavorazione del contorno oltre al requisito fondamentale di allineare strettamente le linee di lavorazione del contorno con le linee di contorno.

Un fattore limitante da considerare è la pendenza del terreno, che non dovrebbe essere ripida. Si raccomanda che la pendenza sia al massimo del 3-5% per le piante erbacee, mentre per le piante legnose non dovrebbe superare il 7-10% se la lavorazione del contorno viene applicata da sola senza il supporto di altre tecniche complementari. Ciò è particolarmente importante quando si tratta di terreni meno permeabili.

Quando si implementa la lavorazione del contorno durante la preparazione del terreno per la semina o la semina, è necessario tenere conto delle seguenti considerazioni:

L'interlinea dipende dalla coltura specifica o dalla coltura prevista. Generalmente, una maggiore profondità e larghezza del solco aumenterà la sua

capacità di ritenzione idrica. Tuttavia, questo può essere limitato dalle proprietà fisiche del suolo, come la permeabilità e la struttura.

La larghezza del solco ha tipicamente una distanza minima di 25 cm tra le cime di colmo, mentre la profondità dovrebbe essere di almeno 20 cm durante la preparazione del terreno. Tuttavia, la profondità effettiva può variare a seconda degli attrezzi disponibili nella farm, ad esempio versoi, erpici, dischi e sweep.

Se il drenaggio dell'acqua in eccesso è controllato, ad esempio attraverso un canale di drenaggio, le linee di lavorazione del terreno possono essere stabilite con una leggera pendenza dell'1,5-2%. Ciò facilita il drenaggio dell'acqua in eccesso che altrimenti potrebbe causare corsi d'acqua incontrollati e problemi fitosanitari, specialmente nelle colture orticole. Tale disegno è particolarmente importante in terreni con bassa permeabilità, come terreni argillosi o argillosi.

Nelle aree soggette a forti episodi di pioggia, specialmente su pendii ripidi, dovrebbero essere incorporate strutture aggiuntive per migliorare la ritenzione idrica o facilitare il drenaggio controllato. Pertanto, si raccomanda che la lunghezza massima delle strisce colturali non superi i 50-100 metri senza l'inserimento di queste strutture. Tuttavia, questa raccomandazione può variare a seconda della pendenza della collina e della coltura specifica coltivata.

Per facilitare la creazione di lavorazioni di contorno, è utile creare un piano preliminare e / o riconsiderare l'uso del suolo. Ciò può essere ottenuto utilizzando marcatori, come pali, distanziati a intervalli regolari di 10-15 metri o più nel caso di colture legnose. Questi marcatori servono come linee di riferimento da cui verrà condotta la lavorazione del terreno lungo le curve di livello.

In termini di attrezzi, si consiglia di utilizzare quelli che eseguono lavori verticali senza girare, come aratri chiodati o scalpello, spazzatrici, dischi o dissodati. Gli aratri tradizionali del versoio dovrebbero essere evitati.

La manutenzione per la lavorazione del contorno non è necessaria in quanto non coinvolge strutture fisiche permanenti. Il lavoro si rinnova con ogni nuova coltura erbacea o su base annuale per le colture legnose. Tuttavia, è possibile condurre un sottosuolo più profondo per migliorare la capacità di infiltrazione del suolo, specialmente dopo molti anni di lavorazione. L'uso di un attrezzo di tipo "subsoiler" è particolarmente efficace in quanto rompe la padella dura formata dalla lavorazione del terreno e aiuta a creare canali di drenaggio profondi.

### **POTENZIALE DI MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI:**

L'implementazione della lavorazione del contorno può comportare alcune sfide o disagi per gli agricoltori, ma può contribuire a ridurre leggermente il consumo di carburante. Questo perché il movimento del trattore non comporta la traversata da livelli più alti a quelli più bassi e viceversa, come nel caso della lavorazione del terreno seguendo la pendenza.

Inoltre, la lavorazione del contorno aiuta a ridurre la perdita di suolo e nutrienti, il che può comportare rese per ettaro leggermente più elevate a lungo termine rispetto alla lavorazione del terreno dopo la pendenza. Inoltre, la necessità di fertilizzanti minerali può essere leggermente ridotta.

È importante sottolineare che la lavorazione del contorno aiuta anche a prevenire la perdita dello strato superficiale del terreno (strato fertile) che può verificarsi nella lavorazione a lungo termine del pendio. Preservare questo strato è fondamentale per mantenere la capacità della terra di sostenere la crescita delle colture, in particolare in casi estremi.

### **COLLEGAMENTO CON LA POLITICA AGRICOLA COMUNE:**

Per molti anni, la politica agricola comune ha considerato la lavorazione del contorno come un requisito per le aree in pendenza secondo i requisiti generali “Buone condizioni agronomiche e ambientali (BCAA)”. È incluso nell’ultimo programma come parte della condizionalità e la conformità è necessaria per la maggior parte degli aiuti diretti forniti agli agricoltori.

## **Strisce vegetali**

**NOME DELLA TECNICA:** **Strisce vegetali**

**ALTRI NOMI:** **Ritaglio delle strisce, strisce di protezione del contorno**

**TIPO:** **Gestione della lavorazione del terreno; Copertura vegetale**

### **DESCRIZIONE:**

Le strisce vegetali sono una strategia di conservazione del suolo estremamente efficace ampiamente adottata in Spagna da molti anni (Andreu, J. 1945). Si tratta di allestire esili filari o “strisce” di piante erbacee perenni, solitamente erbe, che seguono la pendenza del terreno. Queste strisce fungono da copertura vegetale intermittente e sono tipicamente situate tra file di colture.

Mentre questo metodo è spesso impiegato con le colture erbacee, mostra anche efficacia con le colture legnose, in particolare quando non è richiesta una copertura vegetale completa. Le specie erbacee sono densamente piantate; Se le strisce sono conservate, le specie spontanee possono proliferare naturalmente nel tempo. La larghezza e la distanza tra queste strisce possono essere costanti o variabili, idealmente decise in base alla pendenza del terreno e al tipo di coltura coltivata.

La procedura standard prevede la lavorazione del terreno lungo i suoi contorni per piantare queste strisce. Tuttavia, è possibile determinare un diverso allineamento delle colture quando si ha a che fare con una pendenza più dolce o una spaziatura più ampia della striscia.

Un approccio alternativo è quello di utilizzare queste strisce come aree incolte a lungo termine, alternate alla rotazione delle colture. In questo metodo, le strisce erbacee vengono arate per la coltivazione delle colture dopo una durata significativa, mentre l'area precedentemente coltivata viene impostata come le nuove strisce. In questi casi, le strisce coprirebbero il 50% della superficie coltivata e verrebbero scelte specie benefiche dal punto di vista agricolo come i cereali.

Un'altra possibilità è quella di utilizzare queste strisce come pascoli per il bestiame, integrate con la coltura principale. Per garantire la loro continua efficacia, la densità del bestiame dovrebbe essere gestita, o il pascolo dovrebbe essere periodicamente sospeso, per consentire la rigenerazione naturale dell'ecosistema.



**Figura 19:** sempio di strip crop con inter cropping negli Stati Uniti.  
Fonte: Tin Man (2021), The Combien Forum.

## **IMPATTO SULLA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E SULLA BIODIVERSITÀ:**

La creazione di strisce vegetali può avere un impatto profondamente positivo sulla conservazione del suolo. Queste superfici indisturbate con copertura vegetativa sono altamente in grado di trattenere acqua e sostanze nutritive come i nitrati, mitigando così la perdita di suolo e riducendo al minimo la formazione di corsi d'acqua. L'efficacia di queste strisce è direttamente proporzionale alla loro larghezza e alla frequenza del loro utilizzo. Inoltre, le regioni occupate dalle fasce presentano tipicamente un contenuto di materia organica più elevato, una maggiore presenza di microrganismi e una maggiore biodiversità rispetto alle aree coltivate. Questa biodiversità può essere ancora più ricca se la copertura vegetativa sorge spontaneamente piuttosto che essere piantata intenzionalmente. Detto questo, una specie piantata potrebbe rivelarsi benefica per ragioni agronomiche, come l'incorporazione di sovescio nella rotazione o la promozione di insetti utili come impollinatori o predatori naturali associati alla coltura.

Quando vengono create strisce vegetali di larghezza considerevole (che si estendono per diverse o addirittura decine di metri), possono fungere da corridoi ecologici significativi per la fauna selvatica locale. Come con molte pratiche di conservazione, più a lungo queste strisce vengono mantenute, più benefici diventano i loro effetti.

## **CONDIZIONI DI APPLICAZIONE RACCOMANDATE:**

Le strisce di piante sono solitamente associate a colture erbacee estese, come cereali, o colture industriali come soia, girasole e mais. In scenari che comportano pendenze significative, la tecnica può essere applicata anche alle piantagioni di colture legnose se il layout dell'azienda agricola fornisce spazio adeguato per le strisce.

In termini di compatibilità del suolo, non ci sono restrizioni specifiche, anche se i pendii ripidi potrebbero richiedere l'incorporazione di strutture di conservazione aggiuntive per prevenire la formazione di torrenti o canali.

A livello normativo, i codici di buone pratiche agricole spesso considerano l'uso di strisce vegetali come consigliabile o addirittura obbligatorio, a seconda in gran parte della pendenza del terreno.

### **RISORSE NECESSARIE:**

Le risorse necessarie sono simili a quelle richieste per la lavorazione del contorno, tra cui una seminatrice e un rullo per piantare le specie selezionate in queste strisce. Inoltre, è necessario un tosaerba o una macchina per il diserbo per la loro manutenzione, oppure una mietitrebbia può essere utilizzata se le strisce sono di colture di cereali o simili.

### **PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E MANUTENZIONE:**

Nella progettazione delle strisce, sono tipicamente stabilite longitudinalmente, correndo continuamente lungo le linee di contorno. Se sono presenti altre strutture di conservazione come terrazze o sponde, queste strisce sono generalmente posizionate a monte di esse, consentendo ai pendii di ospitare vegetazione protettiva (naturale o piantata) per migliorare la stabilità e la protezione dall'erosione.

Per le specie legnose, la semina viene solitamente effettuata vicino alla linea degli alberi, tipicamente a monte. Tuttavia, le strisce sono talvolta piantate al centro della corsia come copertura. A differenza delle colture erbacee, queste strisce non vengono applicate a tutte le corsie ma seguono uno schema alternato secondo necessità.

Due considerazioni chiave durante la semina sono la larghezza della striscia e la frequenza della loro distribuzione, o lo spazio tra di loro, in relazione al loro posizionamento.

L'approccio progettuale consigliato colloca un appezzamento coltivato nella parte più alta del pendio, seguito da una striscia a valle. Questa sequenza viene ripetuta, muovendosi in direzione discendente. Idealmente, una striscia finale più ampia dovrebbe essere stabilita al limite inferiore della piantagione, specialmente se c'è un corso d'acqua o un canale di drenaggio al di sotto che potrebbe ricevere il deflusso.

Quando i terreni coltivati fanno parte della Rete Natura 2000 e sono vicini ad aree boschive o cespugliose, le fasce possono essere progettate per collegare questi elementi naturali, fungendo da corridoi ecologici per la fauna selvatica.

In termini di frequenza dei nastri o di spaziatura del terreno, il fattore limitante sarebbe la larghezza dei macchinari necessari per il lavoro agricolo e la raccolta delle colture. La larghezza del raccolto tra le strisce di protezione deve superare almeno la larghezza massima degli attrezzi o delle attrezzature utilizzate. Le strisce devono essere distanziate di circa 25 m l'una dall'altra e non più di 100 m al massimo. Tuttavia, per strisce più larghe, possono essere prese in considerazione distanze maggiori. Un metodo pratico per determinare questa distanza sarebbe quello di osservare la distanza massima alla quale il deflusso e la formazione di rill iniziano a verificarsi sulla terra e sul raccolto. Questa distanza osservata dovrebbe essere la massima considerata.

La larghezza delle strisce può variare notevolmente. Dovrebbero essere larghi almeno 2-3 m per trattenere efficacemente l'acqua, ma non più larghi della metà della lunghezza della fila di colture in cui è posizionata. Ad esempio, nelle colture di cereali a bassa pendenza, le strisce possono essere larghe fino a 5-10 m, ma dovrebbero essere ampiamente distanziate.

La superficie totale occupata dovrebbe essere compresa tra il 7-50%, a seconda della pendenza.

Per queste strisce possono essere utilizzate diverse specie vegetali, comprese specie erbacee di interesse agronomico, come legumi, cereali, altre graminacee o compositi, o loro miscele; specie con possibili effetti allelopatici (attrazione o repellenza degli insetti); o rifugio per insetti utili. Nel corso del tempo, le specie inizialmente stabilite potrebbero essere lasciate retrocedere a favore di specie erbacee locali che gradualmente ricolonizzano queste aree. Tuttavia, le erbe sono generalmente le più adatte in condizioni semi-aride volte a ridurre l'erosione e migliorare la ritenzione del suolo.

Quando si piantano le specie selezionate, è importante considerare i periodi dell'anno in cui si verificano le principali precipitazioni nell'area per garantire un'adeguata crescita di queste strisce. Se le precipitazioni sono scarse, potrebbe essere necessaria una certa irrigazione.

Il mantenimento può includere la risemina per le specie annuali con bassa capacità di auto-semina o la falciatura, la triturazione o il pascolo per le specie perenni per prevenire la crescita eccessiva o la proliferazione di specie arbustive. L'intervallo tra ogni intervento dipende dalle specie vegetali nelle strisce, dal loro tasso di crescita e dalle condizioni meteorologiche. In particolare, queste superfici possono essere utilizzate come aree di nidificazione per gli uccelli, quindi i periodi di nidificazione dovrebbero essere evitati per prevenire danni. Alcuni aiuti agroambientali della PAC prevedono restrizioni temporanee sui periodi di raccolta.

In caso di accumulo significativo di sedimenti su queste superfici, può essere consigliabile redistribuire questo sedimento ogni pochi anni. Se non redistribuiti, possono formarsi tumuli o terrazze, offrendo ulteriori benefici nella conservazione del suolo.

## POTENZIALE DI MITIGAZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO:

Sebbene questa tecnica riduca efficacemente la superficie coltivata, riduce anche proporzionalmente o anche in modo più significativo il consumo di carburante a causa della lavorazione del contorno implementata. La perdita di suolo e nutrienti diminuisce, aumentando potenzialmente le rese a lungo termine per ettaro per l'effettiva superficie coltivata, anche se questo non è il caso per la superficie totale. Di conseguenza, anche i requisiti di fertilizzanti sono significativamente ridotti.

È importante sottolineare che questo metodo migliora il contenuto di materia organica nelle aree implementate. Ciò si ottiene riducendo le perdite dalla lavorazione del terreno e attraverso la biomassa accumulata in queste strisce dai residui delle piante erbacee piantate. L'effetto combinato si traduce in minori emissioni di CO<sub>2</sub> e aumento del carbonio organico.

## COLLEGAMENTO CON LA POLITICA AGRICOLA COMUNE:

Per molti anni, la politica agricola comune ha imposto questa pratica nelle zone con pendenze soggette ai requisiti generali delle "buone condizioni agronomiche e ambientali (BCAA)". Nell'ultima programmazione nell'ambito della rubrica "Condizionalità", questa pratica è un requisito per la maggior parte degli aiuti diretti.

## Colture associate

**NOME DELLA TECNICA:** Colture associate

**ALTRI NOMI:** Colture miste, Interspaced, Multiple o accompagnamento, Strip cropping, Colture miste, Polycrops

**TIPO:** Gestione delle colture

### DESCRIZIONE:

A differenza della rotazione delle colture, la consociazione incarna la coltivazione simultanea di diverse specie vegetali all'interno dello stesso campo, suddivise in subunità più piccole o completamente miste. In genere, due diverse colture sono interpiantate, anche se il numero può essere aumentato, contribuendo così alla biodiversità dell'ecosistema agricolo. Questa tecnica mira a diversificare la popolazione di colture in un campo, mitigando i problemi legati alla monocoltura e incoraggiando i nemici dei parassiti naturali fornendo opportunità di alimentazione alternative o rifugi per i parassiti. Alcuni agricoltori notano anche potenziali aumenti di rendimento quando impiegano la consociazione rispetto alla coltivazione di singole colture.

In molti casi, le piante consociate sono disposte in una particolare distribuzione geometrica, come strisce di coltivazione espansive o una combinazione di specie arboree con quelle erbacee che seguono uno schema lineare, come i filari di coltivazione delle specie più alte. Ci possono anche essere meno disegni regolari e, in alcuni casi, si può vedere un mix totale di specie, come con le colture destinate al foraggio o al foraggio degli animali.

Gli orticoltori urbani che utilizzano la consociazione possono fornire una gamma più ampia di prodotti ai loro clienti grazie a questa tecnica di coltivazione. Per le colture legnose, la consociazione offre una spinta economica, in particolare quando gli alberi sono ancora giovani e lasciano una superficie aperta che può essere utilizzata per un periodo specifico con questa pratica coltivando ortaggi o altre colture di interesse. In alcuni casi, vediamo file di alberi o piante lasciate crescere quando la piantagione legnosa originale è stata sostituita da un'altra coltura, che è spesso vista nella coltivazione di ortaggi.

La consociazione è anche impiegata per una serie di altri motivi, come l'uso di alcune specie per migliorare la qualità del suolo e assistere la coltura primaria, per moderare i nutrienti eccessivi del suolo (come l'azoto), o tradizionalmente, l'uso di alcune specie per il consumo personale (ad esempio, alberi da frutto, olive) o la produzione su piccola scala di prodotti artigianali come cibo in scatola, saponi, ecc. In quest'ultimo caso, queste colture sono più simili a siepi che a colture reali.



**Figura 20:** Asparagi selvatici e altre colture negli oliveti in Italia. Fonte: Adolfo Rosati (2017).

## **IMPATTO SULLA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E SULLA BIODIVERSITÀ:**

L'impatto di questa tecnica agricola sulla biodiversità è degno di nota, poiché l'aumento della varietà di specie all'interno di una singola piantagione espande intrinsecamente il numero di organismi correlati come artropodi, microrganismi, ecc. Naturalmente, se più agricoltori adottano questo metodo di coltivazione, il suo effetto sarà amplificato.

Inoltre, la stratificazione vegetale più ricca si verifica quando vengono combinate specie erbacee e legnose. Questo porta a più aree di riparo o riproduzione e nuove fonti di cibo, favorendo notevolmente l'emergere di altre specie molto diverse da quelle consociate rispetto ad ogni coltura coltivata separatamente.

Questa diversità avvantaggia anche il suolo. A seconda delle specie utilizzate, può migliorare la protezione del suolo e aumentare il contenuto di materia organica.

Un vantaggio chiave della consociazione è il suo potenziale per il controllo dei parassiti o delle malattie. Le discontinuità create, ad esempio, dall'alternanza di strisce, ostacolano la diffusione di eventuali problemi fitosanitari. Alcune piante, come alberi ad alto fusto o specie erbacee, possono persino offrire protezione fisica (fungendo da barriere) contro i parassiti per altre colture. Inoltre, alcune specie coltivate mostrano tratti allelopatici, funzionando come repellenti (molte specie aromatiche), attrattivi (colture trappola) o favorendo la crescita di nemici naturali o concorrenti che aiutano a controllare lo sviluppo dei parassiti. Un esempio di ciò è la coltivazione di cereali accanto agli alberi di agrumi. Le infestazioni di afidi nel raccolto di cereali possono innescare la comparsa di predatori e parassitoidi, che possono quindi spostarsi verso gli alberi di agrumi, aiutando a controllare le diverse specie di afidi che li attaccano. Questa strategia di gestione integrata dei parassiti (IPM) potrebbe ridurre efficacemente l'uso di prodotti fitosanitari.

Inoltre, alcune piante possono attirare gli impollinatori, che possono aiutare a impollinare altre colture. Ad esempio, questo si vede quando mandorli e ciliegi sono consociati con specie labiate e composite e frutta come peperoni o pomodori.

## **CONDIZIONI DI APPLICAZIONE CONSIGLIATE:**

Ci sono pochi vincoli a questa tecnica e, in generale, può essere adattata per adattarsi a quasi tutte le colture, siano esse erbacee, orticole o legnose. L'eccezione principale è la dimensione dell'operazione, poiché nelle piantagioni molto piccole, la consociazione non è pratica e la suddivisione della produzione in varie colture non è redditizia. Per questi scenari, può ancora essere applicato, ma su scala ridotta o per il consumo personale.

Nel caso di colture legnose, se la disposizione della piantagione è troppo densa, gestire la coltura erbacea o orticola che viene piantata può essere difficile.

Un altro ostacolo deriva dalla gestione delle piante consociate stesse. Spesso hanno diverse esigenze di fertilizzazione o irrigazione, che possono complicare l'uso di questa tecnica. Dovrebbe essere presa in considerazione anche l'applicazione di prodotti fitosanitari. In molti casi, alcuni principi attivi non sono approvati per entrambe le colture e la loro vicinanza aumenta il rischio di contaminazione dovuta alla deriva o al deflusso del prodotto. Pertanto, l'agricoltura biologica è più favorevole a questa tecnica, poiché i pochi composti attivi approvati tendono ad essere più generici. In alternativa, potrebbero non esserci prodotti disponibili per combattere alcuni di questi parassiti.

## RISORSE NECESSARIE:

L'implementazione della consociazione può richiedere un aumento delle attrezzature per compiti come la semina, il trapianto, la cura e la raccolta, simile alla rotazione delle colture, sebbene l'effetto sia meno significativo. Tuttavia, un'altra sfida a livello professionale è la necessità di valutare la compatibilità delle colture associate. È essenziale garantire che queste colture siano adattate ai cicli colturali, alla gestione e meccanizzazione, alla fertilizzazione e all'irrigazione, ai trattamenti antiparassitari, ecc., Per prevenire eventuali problemi di gestione. Per questo motivo, l'uso della consociazione è cresciuto nei sistemi di agricoltura biologica. Tuttavia, con un'attenta pianificazione, alcune combinazioni di colture benefiche potrebbero anche essere introdotte in sistemi agricoli più intensivi, considerando le precauzioni di cui sopra.

## PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E GESTIONE:

Vari disegni possono essere utilizzati per implementare la consociazione. In genere, vengono utilizzate strisce relativamente grandi intervallate dalla coltura primaria. La dimensione di queste strisce dipende dall'obiettivo e dalla specie da combinare con la coltura principale. In alcuni casi, quando entrambe le colture hanno la stessa importanza, l'azienda agricola dovrebbe essere divisa in due parti uguali con forme diverse, con le colture collocate alternativamente. Per le colture legnose, la coltura erbacea è posta in file tra le linee degli alberi. Nel caso di colture orticole, è comune utilizzare una specie più frequentemente, spesso come siepi perimetrali attorno ai confini della proprietà.

Un altro approccio, popolare per piccoli orti biologici o per la produzione di erbe, è una miscela casuale di specie sulla stessa area. Questo approccio può migliorare l'interazione tra le specie in termini di attività allelopatiche, supporto

nutrizionale, fissazione dell'azoto e altro ancora. Può anche essere utilizzato in piantagioni progettate per produrre foraggi di qualità per il bestiame.

La selezione delle specie dipenderà dagli interessi dell'agricoltore per quanto riguarda la redditività commerciale, la redditività o altri benefici o effetti desiderati.

In termini di manutenzione, nulla di significativo spicca se non la necessità di una gestione efficace delle piante consociate, che è comprensibilmente più complessa della gestione di una monocoltura.

## POTENZIALE DI MITIGAZIONE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO:

L'associazione delle colture potrebbe non essere rinomata per i suoi benefici ambientali, ma offre alcuni vantaggi per quanto riguarda i cambiamenti climatici. Ad esempio, come accennato in precedenza, l'uso dell'associazione delle colture può aiutare a ridurre la presenza di parassiti chiave, il che può portare a un minore uso di prodotti fitosanitari. Questa riduzione potrebbe successivamente ridurre i costi e il consumo di carburante a causa di un minor numero di interventi richiesti.

A seconda dei tipi di piante che vengono coltivate, alcune specie erbacee potrebbero contribuire a migliorare la fertilità del suolo e aumentare la capacità di stoccaggio di CO<sub>2</sub>. Inoltre, l'abbinamento di una coltura con una specie che protegge il suolo offre un'opzione pratica. In questa situazione, l'erosione del suolo potrebbe essere ridotta, portando a una maggiore fertilità, minori costi dei fertilizzanti a causa della diminuzione della perdita di nutrienti e un aumento dello stoccaggio organico.

## COLLEGAMENTO CON LA POLITICA AGRICOLA COMUNE:

Anche se l'associazione delle colture è una pratica intrigante che si allinea bene con i vari approcci produttivi e viene sempre più adottata, non sono ancora state prese in considerazione misure di sostegno agroambientale per promuovere questa tecnica, a differenza delle rotazioni delle colture. Tuttavia, è stato incorporato nelle buone pratiche agricole o ambientali delle politiche agricole comuni (PAC). In relazione alla diversificazione delle colture riscontrata nei requisiti di inverdimento, questi sono ora inclusi nella nuova PAC nell'ambito delle buone condizioni agronomiche e ambientali (BCAA) della condizionalità rafforzata. Questa inclusione implica che l'associazione delle colture potrebbe essere una potenziale alternativa per soddisfare i requisiti per i pagamenti diretti della PAC.

## Colture di copertura

**NOME DELLA TECNICA:** Colture di copertura

**ALTRI NOMI:** Coperture verdi o vive, copertura vegetale, Concimi verdi, coperture spontanee o naturali

**TIPO:** Copertura vegetale

### DESCRIZIONE:

Come in altre tecniche descritte, la presente sezione integra tecniche che sono in qualche modo diverse nel loro focus o scopo, ma il cui risultato finale è molto simile nei loro effetti complessivi. Le coperture vegetali comportano la creazione di una presenza permanente di una o più specie erbacee, annuali o perenni, seminate dall'agricoltore o da specie locali presenti in natura. Quando non c'è lavorazione o uso di erbicidi nelle colture legnose, queste coperture vegetali avvolgono parte o l'intera superficie del raccolto. La loro crescita è tipicamente controllata attraverso la falciatura o il pascolo del bestiame.

Attualmente, queste coperture sono molto apprezzate per il loro contributo alla gestione integrata delle specie nocive. Offrono benefici come la conservazione dei predatori naturali di parassiti che danneggiano le colture, inclusi afidi, acari, mosche bianche e altri. Tuttavia, il loro principale vantaggio risiede nella protezione del suolo dall'erosione causata dall'acqua o dal vento. Nel sud-est della Spagna, le coperture vegetali sono sempre più utilizzate negli uliveti, negli agrumeti, nei frutteti a nocciolo e nelle pomacee e, occasionalmente, nei vigneti. Il loro utilizzo è una componente critica delle operazioni di agricoltura biologica.

In molti casi, queste coperture creano un ampio strato verde sul terreno, di solito piantato negli spazi tra le file di alberi, con una fessura mantenuta intorno alla base dei tronchi d'albero. Occasionalmente, sono piantati intorno alla base dell'albero, lasciando il centro della fila aperto per la lavorazione. Tuttavia, in alcune regioni, la copertura si estende su tutta la superficie del raccolto, apparendo come un prato. Questo è ancora visibile in varie parti d'Europa, come nelle piantagioni di terreni aridi utilizzati per il pascolo e nei ben noti boschetti di lecci. Si osserva anche nei mandorli, negli ulivi o nei carrubi e in alcune specie di alberi da frutto dell'Europa centrale. Le tradizionali aree pianeggianti irrigate nel sud e nel sud-est della Spagna presentano ancora piccoli agrumeti con coperture permanenti in tutto, composti prevalentemente da erbe come l'acetosella (*Oxalis* sp.).

La pratica comune spesso prevede la semina di una o più specie selezionate per un beneficio specifico, come la fissazione dell'azoto atmosferico (nel caso dei legumi), con conseguente cosiddetto sovescio. La politica agricola comune (PAC) li promuove fortemente e la loro importanza nella conservazione degli insetti utili per combattere i parassiti è in crescita. C'è anche una tendenza crescente nell'utilizzo di coperture di erbe locali e fiori spontanei, che gradualmente si stabiliscono nella piantagione attraverso lo sfalcio selettivo. Bisogna considerare le precipitazioni nella zona in quanto la quantità e la distribuzione della pioggia può essere un fattore limitante per molte specie di erba, sia seminate che naturali. In condizioni mediterranee, alcune irrigazioni sono consigliate per sostenere la crescita iniziale o per fornire sollievo durante la siccità in primavera e in estate, anche se non è l'ideale.

Finora, abbiamo discusso principalmente delle coperture vegetali nelle colture legnose, che sono l'obiettivo principale. Tuttavia, possono essere applicati anche a

colture erbacee, in particolare ortaggi. L'introduzione di specie migliorative come leguminose (sovescio) o cereali è sempre più comune all'interno delle rotazioni annuali delle colture. La differenza principale con le specie legnose è che queste coperture tendono ad essere annuali piuttosto che permanenti per allinearsi con i cicli delle colture. In determinate situazioni, come l'eccesso di azoto del suolo o la presenza di un agente patogeno, può essere utile stabilire una copertura che attenui il problema, consentendo la crescita di specie commercialmente preziose. Indipendentemente da ciò, sia nelle colture legnose che in quelle erbacee, l'obiettivo finale è quello di garantire che il suolo sia efficacemente protetto da una copertura erbacea, riducendo al minimo i periodi di terreno parzialmente o interamente nudo e realizzando i vari altri benefici che offrono.



**Figura 21:** Colture di copertura utilizzate in un vigneto per il controllo dei parassiti.

Fonte: Jacqueline Macou (2016).

## **IMPATTO SULLA CONSERVAZIONE DEL SUOLO E SULLA BIODIVERSITÀ:**

L'implementazione di coperture vegetali produce effetti simili a quelli provocati dalle strisce di piante ma con maggiore intensità, data l'area di copertura più ampia. I principali vantaggi includono miglioramenti significativi nella capacità di ritenzione idrica e dei nutrienti, in particolare per l'azoto (N) e il fosforo (P). Allo stesso tempo, riducono la dipendenza dai prodotti fitosanitari, frenando le potenziali perdite ambientali. Inoltre, incoraggiano la stratificazione del deflusso, riducendo così sostanzialmente al minimo la perdita di suolo e la formazione di corsi d'acqua.

La fertilità del suolo, in particolare in termini di contenuto di materia organica, presenza di microrganismi e biodiversità complessiva, testimonia un notevole incremento. Le coperture locali coltivate spontaneamente e basate su specie producono una biodiversità molto più elevata. Sebbene alcune specie seminate intenzionalmente possano offrire benefici specifici, come agire come sovescio, influenzare il raccolto o promuovere insetti utili (impollinatori o nemici naturali), si osserva generalmente che entrambi i tipi di coperture aumentano significativamente il numero di nemici naturali (predatori e parassitoidi) in una copertura vegetale matura. Ciò si traduce in notevoli risparmi su insetticidi specifici tipicamente richiesti per il controllo dei parassiti nelle piantagioni convenzionali.

Sul fronte politico, oltre al già citato ruolo della lotta integrata nell'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari, i codici di buone pratiche agricole stabiliti per il controllo dell'inquinamento diffuso da nitrati di origine agricola spesso raccomandano o impongono questa pratica, a partire da una specifica pendenza del terreno colturale legnoso.

Infine, è stato osservato nella pratica che le coperture vegetali riducono significativamente la probabilità di inondazioni nel terreno, grazie all'aumento della porosità del suolo e al miglioramento della struttura. Questi forniscono benefici indiretti all'agricoltore consentendo l'attraversamento del campo post-pioggia e riducendo l'incidenza di malattie fungine.

## **CONDIZIONI DI APPLICAZIONE CONSIGLIATE:**

Come affermato in precedenza, le coperture vegetali vengono applicate principalmente alle colture legnose. Tuttavia, le colture erbacee (in particolare gli ortaggi) sono utilizzate come sovescio e altre specie erbacee benefiche, che potrebbero anche rientrare in questa categoria.

Tipicamente, queste coperture possono essere implementate in qualsiasi tipo di terreno o pendenza, con i fattori limitanti primari che sono le precipitazioni minime necessarie per la crescita di successo delle specie erbacee scelte e lo spazio disponibile tra gli alberi per il loro insediamento e la successiva gestione. Tuttavia, la qualità del suolo e le condizioni meteorologiche locali possono influenzare in modo significativo lo sviluppo di alcune specie di coperture piantate a causa delle loro esigenze specifiche. In quanto tali, potrebbero non essere raccomandati in determinate circostanze, ad esempio per le specie che richiedono un particolare intervallo di temperatura o quelle influenzate negativamente da terreni calcarei.

Queste coperture si adattano facilmente ai progetti prestabiliti nelle piantagioni mature, un vantaggio amplificato se la piantagione è stata inizialmente progettata pensando alle coperture delle piante, sia allineate con che contro la pendenza. Questa caratteristica rende questa tecnica altamente adatta e versatile rispetto ad altre tecniche, che possono presentare maggiori limitazioni sotto questo aspetto.

## RISORSE NECESSARIE:

Alcune attrezzature sono necessarie per implementare queste coperture vegetali. In primo luogo, sono necessari uno o due macchinari per preparare il terreno per la semina. Sono necessari anche una seminatrice e un rullo per appiattare la superficie, garantendo un buon contatto tra i semi e le particelle del terreno. Facoltativamente, potresti voler applicare un emendamento organico per l'arricchimento del suolo. Inoltre, è necessaria una notevole quantità di semi delle specie scelte per la semina.

Infine, per la manutenzione, sarebbe prudente avere un tosaerba, un tritratore o un diserbatore. In relazione a questo, ora ci sono falciatrici di precisione dotate di bracci articolati e sensori, che facilitano la falciatura tra i tronchi degli alberi senza causare loro alcun danno.

## PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E MANUTENZIONE:

Un aspetto importante da decidere è la superficie totale della copertura rispetto al raccolto. Ad esempio, in molti frutteti o vigneti, le colture di copertura occupano spesso l'intera corsia tra i filari di alberi, con solo una piccola area vicino al tronco, tra 20-100 cm, che rimane priva di copertura. Questa area priva di copertura è tipicamente controllata meccanicamente attraverso la falciatura o controllata chimicamente con erbicidi. Per altre colture con rami più bassi e più densi, come agrumeti o uliveti, lo spazio privo di copertura potrebbe essere leggermente più grande, lasciando l'area direttamente sotto la chioma degli alberi esposta. Nelle piantagioni più vecchie come le pianure, è comune trovare colture di copertura complete che raggiungono i tronchi degli alberi.

Come notato in precedenza, i sistemi agricoli tradizionali in Spagna e in Italia, specialmente nelle colture legnose delle zone aride, utilizzano spesso

l'allevamento di pascoli. Qui la copertura vegetale è tipicamente spontanea, permettendo alla sua crescita di creare superfici adatte al pascolo del bestiame con un carico di bestiame ridotto adatto al clima locale. Queste coperture possono essere migliorate seminando specie che forniscono benefici per il bestiame.

Mentre la concorrenza per l'acqua e i nutrienti tra le colture di copertura e la coltura principale è generalmente minima a causa della natura delle colture arboree, la decisione di attuare colture di copertura dovrebbe basarsi su ulteriori aspetti di gestione. Questi possono includere l'irrigazione localizzata nelle piantagioni, la presenza di altipiani negli agrumeti e strutture di supporto nei vigneti, tra gli altri.

La considerazione successiva è il tipo di coltura di copertura da stabilire, tenendo conto del clima locale, delle condizioni del suolo e dei benefici specifici ricercati da questa tecnica. Dovrebbe essere considerato anche il rapporto costo-efficacia di ciascun tipo di coltura di copertura, confrontando il costo delle colture di copertura seminate rispetto a quelle spontanee.

Nonostante la scarsità di ampie informazioni su questo argomento, negli ultimi anni sono stati condotti numerosi studi e sperimentazioni per testare il comportamento e gli effetti di specie specifiche e la loro gestione a seconda del tipo di coltura. In Spagna, le informazioni sono particolarmente abbondanti per gli ulivi, anche se l'interesse sta crescendo per altre specie significative come agrumi, vigneti o mandorle. Tra le specie di colture di copertura seminate, troviamo leguminose come veccia e trifoglio da foraggio, erbe come avena o orzo e varie specie di prato come *Festuca* sp., *Hordeum* sp., *Bromus* sp., ecc., Nonché specie della famiglia delle crocifere. Molti studi hanno studiato combinazioni di specie per combinare o aggiungere benefici, come una combinazione di cereali / legumi per migliorare il rapporto carbonio / azoto quando i loro resti sono umificati.

Tra questi benefici, è ben nota la capacità di fissazione dell'azoto delle specie di leguminose, che contribuisce in quantità significative al suolo. Questo aiuta a ridurre la necessità di fertilizzazione minerale, portando a risparmi. Sono stati osservati anche casi di effetti allelopatici (attrazione o repulsione di insetti) ed effetti antagonisti (come segale e nematodi del suolo). In altri casi, i miglioramenti fisici del suolo sono notevoli; Le erbe in genere migliorano la permeabilità del suolo a causa dei loro sistemi radicali.

Inoltre, con la diminuzione della disponibilità di prodotti fitosanitari da utilizzare nelle colture legnose per combattere i parassiti, alcuni gruppi di ricerca sulla protezione delle colture hanno cercato di comprendere le implicazioni biologiche della piantagione di colture di copertura con specifiche specie erbacee. Questi team mirano a identificare quali nemici naturali possono essere attratti da queste coperture per migliorare il controllo naturale dei parassiti, una pratica nota come controllo biologico di conservazione. Sebbene sia ancora nelle fasi iniziali, ci sono già stati casi che forniscono valore aggiunto a questo approccio di controllo biologico nelle colture, come l'uso di *Festuca* sp. negli agrumeti.

Attualmente, i prodotti a base di semi di varie specie sono disponibili in commercio per l'uso come colture di copertura in colture specifiche. Tuttavia, gli agricoltori potrebbero trovare utile creare il proprio mix di specie in base a esigenze e interessi specifici.

La semina dovrebbe avvenire in previsione delle stagioni piovose, con un'adeguata preparazione del terreno e semina alcuni giorni prima delle precipitazioni previste per garantire una buona germinazione dei semi. In Spagna, la semina avviene solitamente in primavera o in autunno. Se le precipitazioni sono insufficienti dopo la semina, potrebbe essere necessaria un'irrigazione di supporto utilizzando un serbatoio o una cisterna trascinata

attraverso le corsie. La dose di semina (numero di semi per area) può variare in base alle specie erbacee, ma una semina densa è generalmente consigliata a causa dell'elevato potenziale di non germinazione e della necessità di massimizzare il controllo dell'erosione su pendii ripidi.

Quando l'obiettivo è quello di stabilire una copertura spontanea di vegetazione naturale, è comune iniziare il processo contemporaneamente alla piantagione della coltura principale, quando gli alberi sono giovani e sono disponibili molto spazio verticale e luce. Il terreno appena lavorato permette anche alle piante di germinare più facilmente. Un approccio alternativo potrebbe essere quello di seminare inizialmente una pianta o una miscela che possa aiutare a proteggere il suolo in un primo momento, ma alla fine consentire alle erbe naturali di colonizzare l'area.

Il mantenimento può richiedere una risemina periodica se la specie fatica a propagarsi o se la coltura di copertura invecchia (rinnovo). La crescita delle colture di copertura è in genere gestita per impedire loro di crescere troppo in alto o competere per l'acqua. Pertanto, vengono spesso falciati o schiacciati, o addirittura pascolati dal bestiame di volta in volta. La frequenza di questi interventi dipenderà dal tasso di crescita delle specie vegetali e dalle condizioni meteorologiche locali. Molti ricercatori raccomandano che in condizioni mediterranee, le colture di copertura dovrebbero essere falciate durante il loro periodo di fioritura (tra fine marzo e aprile). Tuttavia, in regioni come Murcia, potrebbe essere necessario falciare prima a causa delle minori precipitazioni. Le osservazioni nelle piantagioni con coperture spontanee rivelano che le specie esistenti sono piccole e richiedono poca acqua, quindi la loro gestione è raramente necessaria.

Nel corso del tempo, in queste coperture spontanee, si verifica un processo di selezione delle specie dopo lo sfalcio o il disboscamento e il lavoro di coltivazione.

Questo processo sposta la flora da specie iniziali annuali, opportunistiche, nitrofile e invasive (nel caso delle crocifere) a quelle più perenni con crescita più lenta e strisciante (come erbe, legumi, ecc.).

Una volta che la coltura di copertura è ben consolidata, la lavorazione superficiale può essere eseguita ogni anno o due. Questo processo rimuove una piccola porzione dello strato superficiale della coltura di copertura, favorendo l'auto-semina, migliorando l'aerazione e facilitando l'incorporazione di resti organici nel terreno. Questo lavoro può anche essere fatto alternativamente, su ogni altra corsia ogni anno.

### **POTENZIALE DI MITIGAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI:**

L'impiego di tecniche di coltivazione della copertura nelle colture legnose riduce significativamente la necessità di una lavorazione frequente. Questa pratica lo riduce a falciare circa una o due volte all'anno, integrato da occasionali lavorazioni superficiali e verticali. Quest'ultimo metodo viene utilizzato per aiutare nell'efficace incorporazione della materia organica prodotta dalle colture di copertura e per ammorbidire la superficie del suolo per i processi naturali di auto-semina. Questa pratica riduce notevolmente il consumo di carburante nelle operazioni agricole, contribuendo così alla conservazione dell'ambiente.

L'implementazione di colture di copertura porta ad una diminuzione della perdita di suolo e nutrienti. Questo ha un duplice effetto positivo: migliora la resa delle colture e riduce la necessità di fertilizzanti artificiali. Inoltre, a causa della diminuzione della mineralizzazione e dell'aumento della biomassa incorporata nel suolo dalle colture di copertura, vi è un aumento sostanziale dell'accumulo di materia organica. Questo aumento della materia organica, a sua volta, ha un

effetto molto positivo sulla capacità di stoccaggio dell'anidride carbonica del suolo, contribuendo agli sforzi per mitigare i cambiamenti climatici.

### **COLLEGAMENTO CON LA POLITICA AGRICOLA COMUNE:**

Per molti anni, la PAC ha considerato l'attuazione delle colture di copertura come una pratica obbligatoria nelle zone con forti pendenze. Questo requisito rientra nei prerequisiti generali "Buone condizioni agronomiche e ambientali (BCAA)" ed è stato incorporato nel programma più recente ai sensi della clausola di condizionalità, costituendo un requisito per la maggior parte delle forme di aiuto diretto. Più recentemente, questa pratica è stata particolarmente richiesta nelle misure obbligatorie nell'ambito del pagamento verde, "greening", riguardanti la copertura minima del suolo e la designazione di aree di interesse ecologico. In effetti, la PAC recentemente aggiornata per gli anni 2023-2027 include una clausola di condizionalità rafforzata.



# SEQUESTRO DEL CARBONIO IN SUOLI POVERI E DEGRADATI

Il sequestro del carbonio nel suolo è fondamentale per affrontare il cambiamento climatico e garantire una gestione sostenibile del suolo. Il sequestro del carbonio si riferisce al processo di assimilazione dell'anidride carbonica atmosferica attraverso la produzione primaria e lo stoccaggio all'interno della biomassa e del suolo. In questo capitolo, esploreremo la rilevanza del sequestro del carbonio in suoli poveri e degradati, in particolare nelle regioni mediterranee. Approfondiremo le complessità coinvolte nell'implementazione delle pratiche di sequestro del carbonio, i diversi percorsi per il sequestro e i metodi di misurazione utilizzati per valutare i tassi di sequestro del carbonio nel suolo.

Il sequestro del carbonio in terreni poveri e degradati è un processo sfaccettato influenzato da una serie di fattori. Questi includono le condizioni edafoclimatiche passate, le pratiche storiche di utilizzo del suolo, le decisioni politiche, le strutture di proprietà e i sistemi di possesso della terra. Inoltre, lo stato attuale del territorio e le considerazioni future contribuiscono ulteriormente alla complessità dell'implementazione delle pratiche di sequestro del carbonio. Con le loro vulnerabilità naturali e gli impatti amplificati del cambiamento climatico, le regioni mediterranee forniscono un contesto unico per analizzare le strategie di sequestro del carbonio.

L'implementazione di pratiche di sequestro del carbonio in queste regioni è un processo sfaccettato influenzato da vari fattori. Le condizioni edafoclimatiche del passato, le pratiche storiche di utilizzo del suolo, le decisioni politiche, i sistemi di proprietà della terra e lo stato attuale del territorio contribuiscono tutti alla sua complessità. Inoltre, è necessario tenere conto delle considerazioni future per garantire l'efficacia a lungo termine.

Nelle regioni mediterranee, il sequestro del carbonio si basa principalmente su due percorsi: le pratiche agroforestali e la gestione dell'uso del suolo. Le pratiche

agroforestali comportano interventi diretti sul suolo, come rotazioni delle colture, rimboschimento e uso di pascoli. Al contrario, la gestione dell'uso del suolo comporta cambiamenti paesaggistici più ampi che incidono sul bilancio del carbonio, come la creazione di aree protette o la modifica delle pratiche agricole.

La valutazione del tasso di sequestro del carbonio nel suolo si ottiene attraverso due metodi distinti. Uno quantifica la quantità di carbonio immagazzinato per ettaro all'anno (tC / ha / anno), fornendo una misurazione annuale diretta. L'altro utilizza il "fattore di cambiamento IPCC" (IPCCf), uno strumento sviluppato dal Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici, che offre una misura relativa del cambiamento nel contenuto di carbonio nel suolo nel tempo.

Quando si perseguono questi percorsi, è fondamentale tenere conto dei costi secondari del carbonio, garantendo che l'impatto netto sul clima sia positivo. Le pratiche scelte possono avere emissioni indirette, che possono potenzialmente superare i benefici del sequestro del carbonio. Una valutazione globale dovrebbe prendere in considerazione sia lo stoccaggio diretto del carbonio nella biomassa e nel suolo sia le emissioni indirette associate alle pratiche scelte.

Le pratiche di gestione sostenibile del suolo, che includono la rotazione delle colture, la coltivazione di copertura, la lavorazione ridotta e l'applicazione di biochar, offrono un portafoglio di strategie in grado di migliorare la salute del suolo, promuovere la biodiversità, aumentare la resa agricola e sequestrare il carbonio. L'imboschimento, l'adozione di colture perenni e i sistemi agroforestali aumentano ulteriormente il potenziale di sequestro del carbonio. La pianificazione e la gestione dell'uso del suolo, in linea con i principi dell'agricoltura rigenerativa, promuove paesaggi resilienti con potenziale di sequestro del carbonio a lungo termine.

Il sequestro del carbonio può rivelarsi vitale per una gestione sostenibile del suolo, specialmente in aree come il Mediterraneo, dove le vulnerabilità al cambiamento climatico sono amplificate. Comprendendo le sue complessità, esplorando diversi percorsi di sequestro e impiegando metodi di misurazione appropriati, possiamo incorporare efficacemente il sequestro del carbonio nei sistemi agricoli. Integrando pratiche di gestione sostenibile del suolo, possiamo migliorare la salute del suolo, aumentare la produttività agricola e contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici".

## Pratiche di gestione e sequestro del carbonio

Varie pratiche di gestione del suolo in agricoltura possono giovare sia alla resa delle colture che all'ambiente. Queste pratiche vanno oltre i metodi convenzionali e possono potenzialmente aumentare il contenuto di carbonio nel suolo. È importante riconoscere che ciò che è considerato "convenzionale" può differire in base a fattori quali il clima, il tipo di suolo, le conoscenze tradizionali, la struttura della proprietà e le condizioni socio-economiche. L'implementazione di più pratiche rispettose del carbonio spesso porta a risultati ancora più positivi (Aguilera et al., 2013).

Esistono due percorsi per aumentare il sequestro del carbonio:

- **Pratiche che migliorano la produzione di biomassa:** queste pratiche introducono più carbonio nel suolo promuovendo la crescita della biomassa. Gli esempi includono diversi tipi di lavorazione delle colture, coltivazione superficiale, gestione dei rifiuti e l'uso di fertilizzanti naturali o artificiali.
- **Pratiche che riducono l'erosione del suolo:** implementando pratiche che riducono l'erosione del suolo, possiamo ridurre al minimo la perdita di carbonio già presente nel suolo. La coltivazione della copertura, la lavorazione conservativa e le misure di controllo dell'erosione sono alcuni esempi di pratiche che possono aiutare a trattenere il carbonio nel suolo.

## RIEPILOGO DEI TASSI DI SEQUESTRO DEL CARBONIO:

Una meta-analisi completa condotta nel 2013 ha sintetizzato i dati di 174 set di dati e 79 pubblicazioni per valutare il potenziale di sequestro del carbonio di varie pratiche di gestione del suolo nei sistemi agricoli mediterranei. L'analisi ha classificato i risultati in due gruppi: risultati del lavoro sul campo agricolo effettivo e risultati del lavoro sul campo sperimentale. Inoltre, ha differenziato tra trattamenti "organici" (compresa la fertilizzazione organica e metodi di coltivazione diversi dalla lavorazione zero con erbicidi) e trattamenti "convenzionali" (nessuna fertilizzazione o solo stoppie e lavorazione tradizionale) (Aguilera et al., 2013).

Ecco un riepilogo dei tassi di sequestro del carbonio per varie pratiche di gestione:

- **No fino a:** 0,44 tC/ha/anno
- **Ridotto fino a:** 0,32 tC/ha/anno
- **Colture superficiali:** 0,27 tC/ha/anno
- **Compost:** 1,32 tC/ha/anno
- **Siderazione:** 0,97 tC/ha/anno
- **Letame + colture superficiali:** 0,97 tC/ha/anno
- **Combinazione di pratiche:** 0,52 tC/ha/anno
- **Agricoltura biologica rispetto all'agricoltura convenzionale:** 0,97 tC/ha/anno

Per illustrare il potenziale impatto, consideriamo la lavorazione ridotta come esempio per un pezzo di terra di 100 ettari. Con un tasso di sequestro del carbonio di 0,32 tC / ha / anno, questa pratica comporterebbe il sequestro di 32 tonnellate

di carbonio (tC) all'anno su 100 ettari. Per convertire questo valore in CO<sub>2</sub>, moltiplicare il tC per 3,7 (poiché il peso molecolare della CO<sub>2</sub> è 3,7 volte quello del carbonio), ottenendo 118,4 tonnellate di CO<sub>2</sub> sequestrate ogni anno.

È importante notare che i tassi di sequestro del carbonio possono variare in modo significativo in base alle condizioni locali. Fattori come il tipo di suolo, la topografia, il clima (compresa la variabilità della temperatura e delle precipitazioni), la selezione delle colture, la rotazione e le tecniche di fertilizzazione possono influenzare i tassi effettivi di sequestro del carbonio. Pertanto, non è realistico aspettarsi un valore universale o addirittura "mediterraneo" per la capacità di sequestro del carbonio di ciascuna pratica.

I tassi di sequestro del carbonio forniti servono come punto di partenza per gli agricoltori per comprendere i potenziali benefici delle diverse pratiche di gestione del suolo. Tuttavia, queste cifre sottolineano la necessità di ulteriori ricerche e adeguamenti adattati alle specifiche condizioni locali. Conducendo studi specifici del sito e apportando adattamenti, gli agricoltori possono ottenere bilanci di carbonio più elevati e capitalizzare i benefici del sequestro del carbonio nel contesto più ampio delle strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici.

I seguenti esempi illustrano gli elementi di gestione del suolo e del territorio che gli agricoltori e i gestori del territorio possono adottare per migliorare il sequestro del carbonio nei sistemi agricoli. Queste pratiche si basano sulla letteratura scientifica e forniscono approfondimenti sui potenziali guadagni di carbonio nel suolo. Sottolineando l'importanza di queste pratiche, evidenziamo il loro ruolo nella mitigazione del cambiamento climatico nei suoli poveri e degradati all'interno dei climi mediterranei.

## Mobilizzazione del suolo

La lavorazione del terreno, o mobilizzazione del suolo, è un fattore significativo che contribuisce alla perdita del suolo e alla successiva perdita di carbonio del suolo. La ricerca ha dimostrato che la lavorazione del terreno può provocare l'erosione del carbonio del suolo attraverso processi meccanici e biochimici. Fattori meccanici, come la rottura del particolato organico, e fattori biochimici, come l'aumento dei tassi di ossidazione dovuti all'esposizione all'aria e alla luce solare, contribuiscono alla perdita di carbonio nel suolo (Roxo, 1994; Van Muysen et al., 1999; FAO, 2004; Bot & Benites, 2005).

Per mitigare la perdita di carbonio nel suolo e migliorare il sequestro del carbonio, sono stati studiati diversi tipi di pratiche di lavorazione del terreno in condizioni semi-aride e sistemi agricoli mediterranei. Queste pratiche includono lavorazione ridotta (RT), lavorazione minima (MT), non lavorazione del terreno (NT), lavorazione del sottosuolo (ST), lavorazione superficiale (ShT) e lavorazione completa dell'inversione (FiT). È importante notare che la definizione precisa di ogni pratica varia a causa delle sfumature locali e considera fattori come il tipo di coltura, la struttura della proprietà e le caratteristiche del terreno.

Gli studi hanno dimostrato che dopo 20 anni, una sequenza cronometrica in condizioni mediterranee ha rivelato una differenza di 5,7 tonnellate di carbonio per ettaro (t C / ha) tra la lavorazione del terreno senza lavorazione e la lavorazione convenzionale, corrispondente a un tasso di sequestro annuale di 0,285 t C / ha / anno (Álvaro-Fuentes et al., 2014). I benefici della non-lavorazione diventano più pronunciati nel tempo. Inizialmente, c'è un aumento significativo del carbonio nello strato superficiale (0-5 cm), mentre alcune perdite possono verificarsi negli strati

più profondi del suolo (fino a 30 cm). Tuttavia, questa tendenza si inverte dopo circa cinque anni, determinando un effetto compensativo (Álvaro-Fuentes et al., 2014).

Una revisione di 66 esperimenti a lungo termine ha riportato un tasso medio di sequestro del carbonio di 0,3 t C / ha / anno per la non lavorazione del terreno, rispetto a 0,17 t C / ha / anno

nella lavorazione convenzionale, indicando una differenza di 0,13 t C/ha/anno. Lo studio ha anche evidenziato che i benefici della mancata lavorazione del terreno sono maggiori se combinati con diverse rotazioni delle colture. Inoltre, sono stati osservati valori più bassi sotto lavorazione minima rispetto alla lavorazione convenzionale, suggerendo che l'interpretazione dei risultati può essere influenzata dalle sfumature locali del concetto di lavorazione "minima" (Francaviglia, Di Bene, et al., 2017).

Un altro studio a lungo termine che confronta la non-lavorazione con la lavorazione superficiale e la lavorazione a inversione completa ha rilevato che i tassi di sequestro del carbonio erano inizialmente intensi durante i primi quattro anni, ma hanno iniziato a stabilizzarsi all'anno 24 e diminuire dopo l'anno 28. Tuttavia, questa stagnazione e diminuzione del sequestro del carbonio sono stati associati a un periodo particolarmente piovoso, evidenziando la vulnerabilità di queste pratiche a fattori esterni come il clima e la durata della loro applicazione (Dimassi et al., 2014). Pertanto, quando si implementano pratiche di gestione per il sequestro del carbonio, è fondamentale considerare gli effetti a lungo termine sulla cattura e lo stoccaggio del carbonio e la loro suscettibilità a fattori esogeni come la variabilità climatica e l'imprevedibilità.

Questi risultati sottolineano l'importanza di adottare pratiche di mobilitazione del suolo che riducano il disturbo del suolo e promuovano il sequestro del carbonio.

L'implementazione della non-lavorazione del terreno e di altre pratiche di lavorazione ridotta o minima può contribuire al sequestro a lungo termine del carbonio nei sistemi agricoli. Tuttavia, è essenziale considerare il contesto locale, comprese le caratteristiche del suolo, le rotazioni delle colture e le condizioni climatiche, per ottimizzare l'efficacia di queste pratiche per il sequestro del carbonio.

## Gestione dei rifiuti

Pratiche efficaci di gestione dei rifiuti, in particolare il riutilizzo e il riciclaggio dei residui agricoli, svolgono un ruolo cruciale nel sequestro del carbonio all'interno dei sistemi agricoli. L'approccio alla gestione dei rifiuti è strettamente legato alle pratiche di mobilitazione del suolo e può influenzare significativamente il tasso di decomposizione, l'integrazione nella materia organica del suolo e il successivo sequestro del carbonio.

Tradizionalmente, i residui agricoli, come quelli degli uliveti, sono stati bruciati, con conseguente rilascio immediato di carbonio nell'atmosfera. Tuttavia, un approccio alternativo proposto da Nieto et al. (2011) prevede lo spargimento di questi residui direttamente sul terreno. Questa pratica ha dimostrato di migliorare la capacità del suolo di sequestrare il carbonio, portando ad un aumento del contenuto di carbonio del suolo di circa 0,5-0,6 tonnellate di carbonio per ettaro all'anno (t C / ha / anno).

L'impatto positivo della gestione dei rifiuti sul sequestro del carbonio può essere ulteriormente amplificato se combinato con pratiche che promuovono il mantenimento della vegetazione spontanea. Gli studi di Ruibérriz et al. (2012) suggeriscono che il potenziale di sequestro del carbonio può aumentare fino a 1,36 t C / ha / anno in tali scenari. La presenza di vegetazione spontanea contribuisce alla biomassa aggiuntiva, arricchendo il contenuto di sostanza organica del suolo e migliorando la sua capacità di sequestro del carbonio. Ciò evidenzia l'importanza di preservare e migliorare la biodiversità negli agroecosistemi come mezzo per un'efficace gestione del carbonio.

Un altro studio condotto in un mandorleto, come riportato da Garcia-Franco et al. (2015), ha esaminato due pratiche: fertilizzazione verde con veccia e avena e lavorazione zero. I risultati hanno indicato che la fertilizzazione verde ha portato a un aumento del 14% del contenuto di carbonio del suolo a livello superficiale rispetto al periodo iniziale. I residui di veccia e avena hanno svolto un ruolo significativo nella formazione di nuovi aggregati del suolo, migliorando così la stabilizzazione della materia organica all'interno del suolo.

La stabilizzazione della materia organica è fondamentale per la dinamica del carbonio del suolo in quanto aiuta a trattenere il carbonio all'interno del suolo, riducendo la sua vulnerabilità alla decomposizione e prevenendo il suo rilascio come CO<sub>2</sub>. Introducendo materia organica fresca attraverso pratiche come la fertilizzazione verde, la struttura del suolo e la capacità di trattenere il carbonio sono migliorate, dando un contributo sostanziale agli sforzi di sequestro del carbonio.

## Colture superficiali

Nei sistemi agricoli mediterranei, i suoli poveri e degradati presentano sfide significative per la produzione sostenibile. Tuttavia, l'uso di colture di superficie, note anche come colture di copertura, ha dimostrato di apportare benefici sostanziali a tali suoli promuovendo la salute del suolo e il sequestro del carbonio.

Uno studio condotto da Albaladejo et al. (1998) ha evidenziato il ruolo cruciale delle colture di superficie nel mantenimento del contenuto e della struttura del carbonio del suolo. La ricerca ha rilevato che quattro anni e mezzo dopo la rimozione delle colture superficiali da un appezzamento sperimentale, il contenuto di carbonio del suolo è diminuito del 35%. Inoltre, la stabilità degli aggregati del suolo è diminuita del 31%, portando a un aumento dell'8% della densità lorda rispetto ai terreni di controllo. Questi risultati sottolineano l'importanza delle colture di copertura nel preservare la struttura del suolo e sequestrare il carbonio.

Marquez-Garcia et al. (2013) hanno studiato gli effetti delle colture superficiali sull'erosione e sul sequestro del carbonio negli uliveti aridi. Rispetto alla pratica convenzionale di utilizzare il glifosato per la rimozione delle erbe, le colture superficiali hanno ridotto l'erosione del suolo dell'80,5% e il trasporto del carbonio nel suolo del 67,7%. Le colture di superficie hanno anche sequestrato 3,35 tonnellate di carbonio per ettaro all'anno (t C / ha / anno), dimostrando la loro efficacia ed efficienza in termini di costi come metodo di sequestro del carbonio. Tuttavia, il tasso di sequestro del carbonio sembrava saturarsi o diminuire nel tempo.

I benefici delle colture di superficie si estendono oltre gli uliveti aridi fino ai sistemi irrigui. I dati preliminari di uno studio in corso di Ballesteros et al. (2020) suggeriscono che le colture superficiali negli uliveti irrigati possono

potenzialmente aumentare il contenuto di carbonio nell'orizzonte del suolo, portando a una migliore efficienza nell'uso dell'acqua e compensando le perdite di evapotraspirazione. Ciò indica che le colture superficiali possono contribuire a mantenere la salute e la produttività del suolo anche in sistemi agricoli intensivi e irrigati.

Una meta-analisi completa di Poeplau & Don (2015) che ha incorporato 139 campioni provenienti da 37 siti, principalmente in zone temperate, nel corso di esperimenti durati fino a 54 anni, ha riportato un aumento medio del contenuto di carbonio nel suolo di  $0,32 \pm 0,8$  tonnellate di carbonio per ettaro all'anno (t C / ha / anno). Quando questi dati sono stati modellati utilizzando il modello di ciclo del carbonio RothC, ha previsto un accumulo di carbonio di 16,5 tonnellate di carbonio per ettaro (t C / ha) dopo 155 anni rispetto alle pratiche convenzionali, con una media di circa 0,11 t C / ha / anno.

È importante notare che le potenziali emissioni di protossido di azoto ( $N_2O$ ) associate all'uso di colture di copertura dovrebbero essere valutate caso per caso.  $N_2O$  è un potente gas serra e le sue emissioni sono fortemente influenzate da fattori locali e culturali, rendendo difficile generalizzare i dati su scala globale. È necessario prestare attenzione per ridurre al minimo le emissioni di  $N_2O$ , massimizzando al contempo i benefici delle colture di superficie per il sequestro del carbonio.

## Fecondazione naturale e artificiale

Le pratiche di fertilizzazione naturale e artificiale sono cruciali per la fertilità del suolo e il sequestro del carbonio nei sistemi agricoli. Il tipo di fertilizzazione utilizzata, sia organica che inorganica, può avere un impatto significativo sul contenuto di carbonio nel suolo e sul potenziale complessivo di sequestro del carbonio.

La fertilizzazione organica, compresi materiali come letame, fanghi e compost, ha dimostrato di avere benefici sostanziali per il sequestro del carbonio nel suolo. Una meta-analisi globale di Maillard & Angers (2014) ha dimostrato che la fertilizzazione del letame rappresentava almeno il 53% della variazione del contenuto di carbonio del suolo rispetto alla fertilizzazione minerale o alla mancata fertilizzazione. Ciò ha comportato un aumento del 12% nell'assimilazione del carbonio e un guadagno di carbonio nel suolo di  $1,26 \pm 0,14$  tonnellate di carbonio per ettaro all'anno ( $t\ C / ha / anno$ ) nei primi 30 cm di suolo. Questi risultati evidenziano il significativo potenziale della fertilizzazione organica, in particolare con letame, nel migliorare il sequestro del carbonio nel suolo.

La fertilizzazione inorganica, rappresentata dai fertilizzanti minerali, può anche contribuire al sequestro del carbonio attraverso una maggiore produzione di biomassa. L'ipotesi è che una maggiore biomassa porti a una maggiore quantità di materia organica restituita al suolo, aumentando così il contenuto di carbonio del suolo. Tuttavia, è fondamentale considerare le emissioni indirette associate alla fertilizzazione inorganica, come le emissioni di  $CO_2$  durante la produzione, il trasporto e l'applicazione, nonché le potenziali emissioni di  $N_2O$  derivanti dalla denitrificazione. Queste emissioni possono compensare i benefici del sequestro del carbonio se non gestite con attenzione (FAO, 2004).

Una meta-analisi di Han et al. (2016) ha esaminato il tasso di sequestro del carbonio associato a diversi tipi di fertilizzazione chimica rispetto a uno scenario di base convenzionale. I risultati hanno indicato un aumento dei tassi di sequestro del carbonio in varie categorie: un aumento del 10% della fertilizzazione chimica semplice, un aumento del 15% della fertilizzazione chimica regolata, un aumento del 19,5% della fertilizzazione chimica con l'integrazione della paglia e un sostanziale aumento del 36,2% della fertilizzazione chimica con l'introduzione di letame. Ciò suggerisce che un'attenta gestione e intensificazione delle pratiche di fertilizzazione può essere un potente strumento per il sequestro del carbonio nei sistemi agricoli.

Per massimizzare i benefici della fertilizzazione per il sequestro del carbonio, è essenziale adottare un approccio integrato che consideri sia i fertilizzanti organici che quelli inorganici. Questo approccio dovrebbe tenere conto dei potenziali impatti ambientali e sforzarsi di ridurre al minimo le emissioni indirette associate alle pratiche di fertilizzazione. Gestendo attentamente e ottimizzando le tecniche di fertilizzazione, gli agricoltori possono migliorare la fertilità del suolo, aumentare la produzione di biomassa e contribuire agli sforzi di sequestro del carbonio nei sistemi agricoli, in particolare nei terreni poveri o degradati.

## Gestione dei maggese

La gestione dei terreni incolti è fondamentale nel sequestro del carbonio del suolo nei sistemi agricoli. Il tipo di copertura del suolo durante i periodi di maggese influenza significativamente la capacità del suolo di sequestrare il carbonio e prevenire l'erosione.

Il terreno nudo incolto, dove la terra viene lasciata senza semina senza alcuna copertura vegetale, offre una protezione limitata contro l'erosione e opportunità minime di sequestro del carbonio. Mentre consente il ripristino naturale dei nutrienti del suolo, non contribuisce in modo significativo allo stoccaggio del carbonio nel suolo.

Il maggese arato, dove la terra viene coltivata durante il periodo di maggese, può aiutare a controllare le erbe infestanti e i parassiti. Tuttavia, può anche accelerare la degradazione e la perdita di materia organica, diminuendo lo stoccaggio del carbonio nel suolo.

Al contrario, i terreni incolti con colture superficiali offrono vantaggi significativi per il sequestro del carbonio e il controllo dell'erosione. Le colture superficiali, spontanee o seminate intenzionalmente, contribuiscono alla produzione primaria attraverso la fotosintesi. A differenza delle normali colture agricole che vengono raccolte, le colture di superficie su terreni incolti vengono generalmente lasciate sul campo, consentendo la loro piena integrazione nel terreno. Questo processo aumenta significativamente il contenuto di materia organica del suolo e migliora la sua capacità di sequestro del carbonio.

Inoltre, le colture di superficie forniscono una protezione meccanica contro l'erosione. La presenza di radici delle piante stabilizza il terreno, riducendo il rischio che le particelle del suolo vengano lavate via o spazzate via dal vento.

Ciò è particolarmente importante nelle regioni con forti piogge o forti venti, dove l'erosione del suolo può avere effetti dannosi sulla fertilità del suolo e sulla capacità di stoccaggio del carbonio.

L'estensione della durata dei periodi di maggese, in particolare incorporando colture di superficie, può aumentare ulteriormente il sequestro del carbonio nel suolo. Uno studio di Freibauer et al. (2004) suggerisce che l'aumento della durata dei pascoli incolti può comportare un guadagno medio di carbonio nel suolo che varia da 0,1 a 0,5 tonnellate di carbonio per ettaro all'anno (t C / ha / anno). Ciò evidenzia l'importanza della gestione strategica dei terreni incolti per migliorare il sequestro del carbonio nel suolo nei sistemi agricoli.

Implementando pratiche di gestione dei terreni incolti che incorporano colture di superficie e prolungano la durata del maggese, gli agricoltori possono promuovere la salute del suolo, aumentare il sequestro del carbonio e mitigare l'erosione del suolo, contribuendo a sistemi agricoli più sostenibili e resilienti

## Sistemi integrati: agroforestazione, pascolo, e pratiche agrosilvopastorali

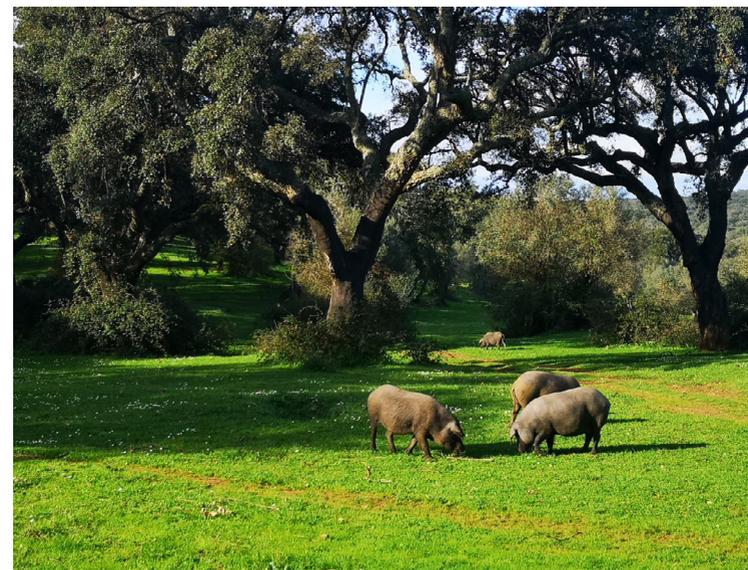
I sistemi integrati che combinano agroforestazione, pascolo e pratiche agrosilvopastorali offrono approcci agricoli sostenibili con un potenziale significativo per il sequestro del carbonio e molteplici servizi ecosistemici. Queste pratiche integrano alberi, colture e bestiame all'interno della stessa area terrestre, promuovendo la resilienza e i benefici ambientali.

Le pratiche agroforestali, come i sistemi silvopastorali e silvoseminabili, possono sequestrare il carbonio attraverso gli effetti combinati degli alberi e delle attività agricole. I sistemi silvopastorali, che integrano alberi, pascoli e bestiame, hanno riportato tassi di sequestro del carbonio che vanno da 0,29 a 1,31 tonnellate di carbonio per ettaro all'anno (tC / ha / anno) (Tsonkova et al., 2012). I sistemi silvoarabili, che combinano alberi e colture, possono sequestrare il carbonio a tassi da 0,42 a 0,71 tC / ha / anno (Feliciano et al., 2018). I fattori che influenzano il sequestro del carbonio includono la selezione delle specie arboree, la densità degli alberi e le pratiche di gestione come la potatura e il diradamento.

Anche le pratiche di pascolo e gestione dei pascoli svolgono un ruolo nel sequestro del carbonio. Sistemi di pascolo ben gestiti, compreso il pascolo a rotazione, promuovono l'allevamento sostenibile mantenendo al contempo la produttività dei pascoli e la capacità di sequestro del carbonio. Queste pratiche migliorano la materia organica del suolo e la struttura del suolo, contribuendo ad aumentare lo stoccaggio del carbonio.

I sistemi agrosilvopastorali, che integrano alberi, colture e bestiame, forniscono benefici combinati del sequestro del carbonio nella biomassa e nel suolo, insieme ad altri servizi ecosistemici. Le specifiche specie arboree, la disposizione e le pratiche di gestione influenzano il potenziale di sequestro del carbonio.

Sistemi integrati come il sistema Montado in Portogallo e il sistema Dehesa in Spagna esemplificano l'implementazione di successo delle pratiche agrosilvopastorali. Questi sistemi tradizionali incorporano specie arboree come querce da sughero e lecci accanto a pascoli e bestiame. Forniscono risorse economiche come il sughero e prodotti a base di carne di alta qualità, contribuendo al contempo al sequestro del carbonio, alla conservazione della biodiversità e alla conservazione del paesaggio.



**Figura 22.** Montado in Évora Alentejo. In questo sistema, gli alberi vengono esplorati per il loro sughero e forniscono anche cibo ai maiali. I maiali, a loro volta, aiutano a fertilizzare la terra per chiudere il ciclo. Fonte: David Germano (2020).

Oltre al sequestro del carbonio, i sistemi integrati offrono benefici collaterali come una maggiore fertilità del suolo, una maggiore biodiversità, un migliore microclima, un reddito agricolo diversificato e una migliore qualità dell'acqua. Contribuiscono inoltre al benessere e alla produttività degli animali, fornendo ulteriori benefici economici e sociali.

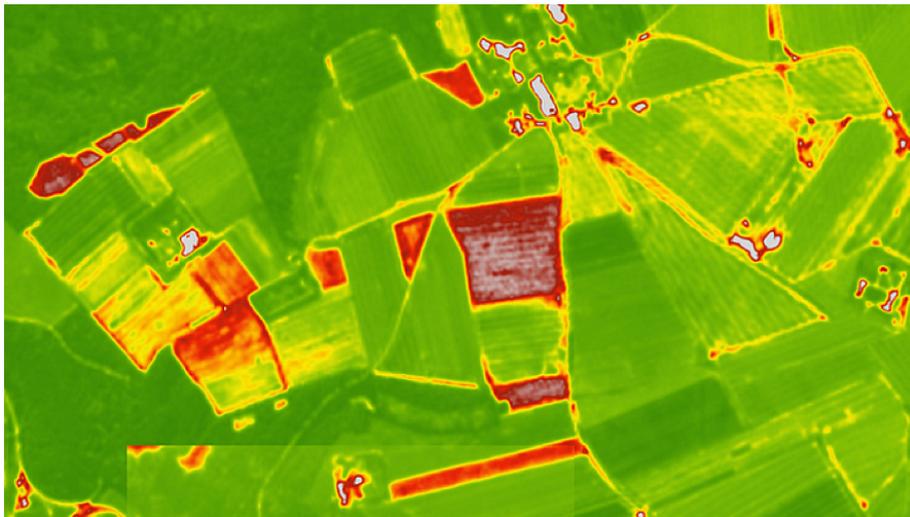
Per implementare con successo sistemi integrati, è necessaria un'attenta gestione, considerando le interazioni tra i componenti. La selezione di specie arboree appropriate, le intensità ottimali di pascolo e pratiche di gestione efficaci sono essenziali per la sostenibilità e la produttività a lungo termine di questi sistemi. Nel complesso, i sistemi integrati offrono un approccio olistico all'agricoltura sostenibile, promuovendo il sequestro del carbonio e la gestione ambientale, sostenendo al contempo i mezzi di sussistenza degli agricoltori e delle comunità rurali.

## Strumenti per l'implementazione e monitoraggio

L'implementazione e il monitoraggio sono fondamentali per garantire l'adozione e l'efficacia delle pratiche di sequestro del carbonio nei sistemi agricoli. L'implementazione si riferisce all'effettiva applicazione e integrazione di queste pratiche sull'azienda agricola o sul terreno, mentre il monitoraggio comporta una valutazione, una misurazione e un monitoraggio continui dei risultati e degli impatti di queste pratiche. Implementando e monitorando le pratiche di sequestro del carbonio, gli agricoltori e i gestori del territorio possono valutare l'efficacia dei loro sforzi, identificare le aree di miglioramento e prendere decisioni informate per ottimizzare il potenziale di sequestro del carbonio. Questo processo consente l'identificazione di pratiche di successo e lo sviluppo di strategie per superare le sfide, contribuendo in ultima analisi alla sostenibilità e alla resilienza a lungo termine dei sistemi agricoli nella mitigazione dei cambiamenti climatici. Fornisce inoltre dati e informazioni preziosi per la ricerca, lo sviluppo delle politiche e la promozione delle migliori pratiche, garantendo che gli sforzi per migliorare il sequestro del carbonio in agricoltura siano mirati e di impatto.

## TELERILEVAMENTO E SISTEMI DI INFORMAZIONE GEOGRAFICA (GIS):

Il telerilevamento è un metodo per ottenere informazioni sulla superficie terrestre senza essere fisicamente lì. Questa tecnologia ha rivoluzionato il modo in cui percepiamo la superficie terrestre, compresi i terreni agricoli, ed è strumentale per osservare e interpretare i cambiamenti.



**Figura 23.** Indice di vegetazione a differenza normalizzata (NDVI) su un paesaggio agricolo. NDVI è un indice ampiamente utilizzato che sfrutta la differenza tra la risposta spettrale delle bande RED e Near Infrared dello spettro elettromagnetico. Le piante sane hanno una bassa riflettanza spettrale nel ROSSO e la più alta nel vicino infrarosso, consentendo loro di misurare la loro salute con relativa facilità. Fonte immagine: Open Weather (2019).

Gli agricoltori possono utilizzare dispositivi di telerilevamento e GIS per monitorare la loro terra, tenendo d'occhio la salute del suolo, la copertura vegetale e i cambiamenti nell'uso del suolo. Questi strumenti possono aiutare a identificare le aree di degrado del suolo e mappare gli stock di carbonio. Ad esempio, i satelliti

multispettrali possono identificare le aree di stress vegetativo prima che diventino evidenti ad occhio nudo, consentendo un intervento precoce. Allo stesso modo, i dati di questi strumenti possono aiutare gli agricoltori a gestire la loro terra in modo più efficace e prendere decisioni informate su dove applicare fertilizzanti, acqua o altri trattamenti.

- **Vantaggi:** il telerilevamento e la tecnologia GIS consentono agli agricoltori di monitorare la loro terra da una prospettiva più ampia. Possono identificare cambiamenti e potenziali problemi, come lo stress della vegetazione o il degrado del suolo, prima che questi problemi si intensifichino. La capacità di monitorare questi cambiamenti nel tempo può aiutare gli agricoltori a prendere decisioni più informate sulla gestione del territorio, come quando e dove irrigare, applicare fertilizzanti o implementare altri trattamenti. Ciò può comportare un aumento della produttività delle colture e un guadagno economico.
- **Sfide:** nonostante i suoi numerosi vantaggi, l'implementazione del telerilevamento e della tecnologia GIS può essere impegnativa. In primo luogo, le attrezzature e il software possono essere costosi, rendendoli potenzialmente fuori dalla portata dei piccoli agricoltori. Inoltre, queste tecnologie richiedono spesso un certo livello di competenza tecnica per essere utilizzate in modo efficace e l'interpretazione dei dati raccolti può essere complessa.
- **Applicazione:** mentre l'applicazione completa di queste tecnologie può sembrare scoraggiante, gli agricoltori possono iniziare su piccola scala. Ad esempio, utilizzando immagini satellitari online gratuite per osservare i cambiamenti nell'uso del suolo nel tempo o utilizzando software GIS di base per mappare i loro terreni agricoli. Vari corsi online e servizi di estensione locale possono anche fornire la formazione necessaria.

## TECNICHE DI MISURAZIONE DEL CARBONIO NEL SUOLO

Il contenuto di carbonio nel suolo è un indicatore chiave della salute del suolo e del suo potenziale di sequestro del carbonio. La misurazione del contenuto di carbonio del suolo può essere ottenuta tramite metodi come la combustione a secco, l'ossidazione umida e la spettroscopia infrarossa.



**Figura 24.** Campioni di terreno nel forno. La perdita per accensione è una tecnica in cui i campioni di terreno vengono pesati, quindi riscaldati a temperature elevate e nuovamente ponderati. L'alta temperatura ossida qualsiasi materia organica nel campione e verrà utilizzata la differenza di peso per calcolare la quantità di materia organica. Fonte dell'immagine USGS – NMWSC 2021.

La combustione a secco o la perdita all'accensione comporta la combustione di un campione di terreno asciutto in un forno e la misurazione della CO<sub>2</sub> prodotta. Al contrario, l'ossidazione umida comporta il trattamento di un campione di terreno con un forte agente ossidante. La spettroscopia infrarossa, d'altra parte, comporta l'uso della radiazione infrarossa per determinare il contenuto di carbonio.

Queste tecniche possono fornire agli agricoltori informazioni dettagliate sullo stato di sequestro del carbonio del loro suolo, aiutandoli ad adottare le migliori pratiche di gestione per migliorare lo stoccaggio del carbonio nel suolo. Tuttavia, è importante notare che mentre queste tecniche forniscono informazioni utili, possono richiedere attrezzature specifiche e competenze tecniche.

- **Benefici:** comprendere il contenuto di carbonio del loro suolo consente agli agricoltori di monitorarne la salute e adeguare le loro pratiche di conseguenza. Questa conoscenza può guidare le decisioni sulle pratiche di gestione del territorio che migliorano il sequestro del carbonio e migliorano la salute del suolo, portando in ultima analisi a migliori rese delle colture.
- **Sfide:** le tecniche utilizzate per misurare il contenuto di carbonio nel suolo richiedono attrezzature e conoscenze tecniche specifiche. Possono richiedere molto tempo e potrebbero essere costosi da implementare da soli per i singoli agricoltori..
- **Applicazione:** sul mercato sono disponibili alcuni kit di analisi del suolo a basso costo e facili da usare che possono fornire agli agricoltori una comprensione di base della salute del loro suolo. Per un'analisi più dettagliata, gli agricoltori potrebbero prendere in considerazione la possibilità di formare gruppi cooperativi per condividere i costi e le competenze necessarie per test del suolo più avanzati.

## STRUMENTI DI MODELLAZIONE

Gli strumenti di modellazione sono essenzialmente programmi per computer che utilizzano dati sulle condizioni e le pratiche attuali per prevedere i risultati futuri. Nel contesto dell'agricoltura e del sequestro del carbonio, questi strumenti possono essere molto utili. Considerano vari fattori, come le attuali condizioni del suolo, i modelli meteorologici e le tecniche agricole, e usano queste informazioni per prevedere come i cambiamenti in queste variabili potrebbero influenzare la quantità di carbonio che può essere immagazzinata nel suolo.

Questi strumenti consentono agli agricoltori di simulare diversi scenari e vedere il potenziale impatto di varie pratiche di gestione sulla loro terra. Ad esempio, un agricoltore potrebbe utilizzare uno strumento di modellazione per confrontare i potenziali risultati di due diversi metodi di lavorazione o diverse rotazioni delle colture. Il modello fornirebbe quindi stime di come ogni scenario avrebbe un impatto sul sequestro del carbonio, consentendo all'agricoltore di prendere una decisione informata su quale metodo utilizzare.

L'uso di strumenti di modellazione può far risparmiare tempo e risorse agli agricoltori in quanto offrono l'opportunità di testare diverse strategie senza dover implementare e attendere fisicamente risultati osservabili nell'azienda agricola. Ciò può consentire una migliore pianificazione e una maggiore efficienza, portando potenzialmente a pratiche che massimizzano il sequestro del carbonio, migliorando la salute e la produttività del suolo.

- **Vantaggi:** gli strumenti di modellazione consentono agli agricoltori di anticipare gli impatti delle diverse pratiche di gestione sul sequestro del carbonio nel suolo. Offrono un modo per simulare vari scenari e prendere decisioni informate sulle pratiche di gestione del territorio.

- **Sfide:** le principali sfide con l'utilizzo di questi strumenti sono la loro complessità e la necessità di dati di input dettagliati. Alcuni agricoltori potrebbero trovarli troppo tecnici per essere utilizzati senza una formazione adeguata.
- **Applicazione:** alcuni di questi strumenti di modellazione sono disponibili online e sono dotati di interfacce e indicazioni user-friendly. Gli agricoltori possono iniziare a utilizzare modelli più semplici e passare gradualmente a quelli più complessi man mano che acquisiscono fiducia e comprensione.

## MONITORAGGIO BASATO SULLA COMUNITÀ

Coinvolgere le comunità locali nel monitoraggio dei cambiamenti nell'uso del suolo e nella salute del suolo può essere un approccio efficace per raccogliere dati più accurati e rilevanti a livello locale. Ciò è particolarmente rilevante nelle regioni con sistemi agricoli di piccole dimensioni.

Gli agricoltori e gli altri membri della comunità possono essere addestrati a riconoscere i segni della salute del suolo, i cambiamenti nella copertura vegetale o altri indicatori di sequestro del carbonio. Possono anche contribuire agli sforzi di raccolta dei dati, ad esempio mantenendo registri sanitari del suolo o partecipando ad attività di campionamento del suolo.

- **Vantaggi:** il monitoraggio basato sulla comunità fornisce un approccio inclusivo e a basso costo per la raccolta di dati rilevanti a livello locale. Promuove inoltre lo scambio di conoscenze e la cooperazione all'interno della comunità, contribuendo a pratiche agricole più sostenibili.
- **Sfide:** può essere difficile organizzare, formare e mantenere la partecipazione attiva alle attività di monitoraggio basate sulla comunità.

Anche la qualità e la coerenza dei dati raccolti possono essere fonte di preoccupazione.

- **Applicazione:** gli agricoltori possono iniziare organizzando piccoli gruppi informali per condividere osservazioni e conoscenze sui loro terreni agricoli. In collaborazione con i servizi locali di divulgazione agricola, possono anche condurre valutazioni di base della salute del suolo o indagini sulla vegetazione.

## Servizi ecosistemici e mercati del carbonio

I servizi ecosistemici si riferiscono ai benefici degli esseri umani dagli ecosistemi, che sono reti complesse di organismi e del loro ambiente. Questi servizi sono spesso raggruppati in quattro categorie:

- **Servizi di approvvigionamento:** si tratta di beni tangibili che gli esseri umani possono estrarre dagli ecosistemi, come cibo, acqua, legname e piante medicinali.
- **Servizi di regolazione:** questi sono i benefici ottenuti dalla regolazione dei processi naturali da parte di un ecosistema, come la regolazione del clima, la regolazione dei pericoli naturali, la purificazione delle acque e la regolazione delle malattie.
- **Servizi culturali:** includono i benefici non materiali che le persone ottengono dagli ecosistemi attraverso l'arricchimento spirituale, lo sviluppo cognitivo, la riflessione, la ricreazione e le esperienze estetiche.
- **Servizi di supporto:** questi servizi sono necessari per la produzione di tutti gli altri servizi ecosistemici. Includono processi come il ciclo dei nutrienti, la formazione del suolo e la produzione di ossigeno attraverso la fotosintesi.

I servizi ecosistemici sono stati ampiamente riconosciuti da organismi internazionali come le Nazioni Unite (ONU), l'Organizzazione per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) e il Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC) e sono stati integrati in numerose politiche e strategie di gestione.

La valutazione economica dei servizi ecosistemici consente di incorporare questi benefici nei sistemi di mercato, portandoci al concetto di mercati del

carbonio. Un mercato del carbonio è un sistema che mira a ridurre le emissioni di gas serra (GHG) dando loro un valore economico.

I mercati del carbonio operano secondo il principio del “cap and trade”. Un limite (o limite) è fissato sulla quantità totale di determinati gas serra che fabbriche, centrali elettriche e altre fonti possono emettere. Alle società o ad altri gruppi vengono rilasciati permessi di emissione e sono tenuti a detenere un numero equivalente di quote (o crediti), che rappresentano il diritto di emettere una quantità specifica. L'importo totale delle quote e dei crediti non può superare il massimale. Questo limite diminuisce nel tempo per ridurre le emissioni totali.

Queste quote o crediti possono essere scambiati nel mercato del carbonio, fornendo un incentivo economico per la riduzione delle emissioni. Se un'impresa riduce le proprie emissioni al di sotto del proprio massimale, può vendere le proprie quote in eccesso ad altre società o conservarle per un uso futuro. Pertanto, le aziende hanno un incentivo finanziario a ridurre le loro emissioni.

Assegnando un valore monetario al carbonio immagazzinato nelle foreste (un importante servizio ecosistemico), i mercati del carbonio forniscono un incentivo economico per la conservazione delle foreste e la gestione sostenibile delle foreste, contribuendo alla mitigazione dei cambiamenti climatici. Questo è chiamato REDD + (Ridurre le emissioni da deforestazione e degrado forestale).

Il mercato volontario del carbonio è un settore del mercato complessivo del carbonio in cui individui, aziende o governi possono acquistare compensazioni di carbonio volontariamente. Questo viene in genere fatto per mitigare le loro emissioni di gas serra. Queste compensazioni sono quantificate e vendute per tonnellata metrica di biossido di carbonio equivalente (CO<sub>2</sub>e). Sono generati da attività che impediscono il rilascio di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera o rimuovono CO<sub>2</sub> già presente nell'atmosfera.

L'agricoltura svolge un ruolo importante nel mercato volontario del carbonio, con gli agricoltori che hanno l'opportunità di generare e vendere crediti di carbonio adottando pratiche che sequestrano il carbonio nei loro terreni agricoli.

Il processo per gli agricoltori per certificare il loro sequestro del carbonio segue generalmente questi passaggi:

- 1. Misurazione di base:** questo è il punto di partenza per qualsiasi progetto di sequestro del carbonio. L'agricoltore, in collaborazione con uno sviluppatore di progetti di carbonio o un'organizzazione accreditata, misurerà l'attuale livello di carbonio nei loro terreni. Questa valutazione iniziale crea una linea di base rispetto alla quale è possibile confrontare i futuri cambiamenti nel carbonio del suolo.
- 2. Adozione di pratiche di sequestro del carbonio:** dopo aver misurato la linea di base, gli agricoltori devono adottare pratiche agricole note per sequestrare il carbonio nel suolo. Queste pratiche possono includere colture di copertura, lavorazione conservativa, rotazione delle colture, migliore gestione del pascolo e agroforestazione.
- 3. Monitoraggio e verifica:** nel tempo, i cambiamenti nei livelli di carbonio nel suolo devono essere monitorati e verificati da una terza parte. Queste organizzazioni utilizzano metodologie riconosciute a livello internazionale per garantire accuratezza e integrità nel processo di misurazione del carbonio. La verifica deve essere condotta a intervalli regolari, in genere ogni 5 anni, per confermare che le pratiche adottate stiano effettivamente sequestrando il carbonio e generando crediti di carbonio.

- 4. Emissione di crediti di carbonio:** una volta che il processo di monitoraggio e verifica ha confermato che il carbonio è stato sequestrato, possono essere emessi crediti di carbonio. Ogni credito rappresenta tipicamente il sequestro di una tonnellata metrica di CO<sub>2</sub>e.
- 5. Vendita di crediti di carbonio:** gli agricoltori possono quindi vendere questi crediti di carbonio sul mercato volontario del carbonio. Gli acquirenti potrebbero essere individui, aziende o governi che cercano di compensare le proprie emissioni.
- 6. Ripeti:** questo processo è ciclico. Dopo che i crediti sono stati venduti, gli agricoltori devono continuare a mantenere o migliorare le loro pratiche di sequestro del carbonio e sottoporsi a regolari monitoraggi e verifiche per generare e vendere più crediti in futuro

Tuttavia, è importante notare che entrare nel mercato del carbonio può essere un processo complesso. Per i piccoli agricoltori, il costo e la complessità del monitoraggio e della verifica possono costituire un ostacolo. Tuttavia, varie organizzazioni e iniziative stanno lavorando per ridurre queste barriere e rendere il mercato del carbonio più accessibile ai piccoli agricoltori.

I benefici delle pratiche di sequestro del carbonio vanno oltre la mitigazione dei cambiamenti climatici. Immagazzinando carbonio nel suolo, queste pratiche possono aiutare a migliorare la produttività e la sostenibilità agricola.

- 1. Miglioramento della salute del suolo:** le pratiche di sequestro del carbonio possono migliorare significativamente la salute del suolo. Un suolo sano contiene più materia organica, che migliora la sua struttura, fertilità e capacità di trattenere l'acqua. Ciò significa che può supportare

una crescita più robusta delle piante, riducendo la necessità di fertilizzanti sintetici. Il suolo ricco di materia organica aiuta anche a promuovere la crescita e la diversità degli organismi benefici del suolo, contribuendo a un ecosistema del suolo più equilibrato e resiliente.

- 2. Aumento dei raccolti:** una migliore salute del suolo può portare a raccolti più elevati. Suoli sani ricchi di materia organica possono fornire meglio alle colture acqua e sostanze nutritive. Questo, a sua volta, può portare a una crescita delle piante più forte e a rese più elevate. Inoltre, terreni sani possono aiutare a rendere le colture più resistenti a stress come siccità o parassiti, riducendo il rischio di fallimento delle colture.
- 3. Gestione delle acque:** le pratiche che migliorano il sequestro del carbonio, come la lavorazione conservativa o la coltivazione della copertura, possono aiutare a migliorare la gestione dell'acqua nelle aziende agricole. Queste pratiche possono aumentare la capacità di ritenzione idrica del suolo, riducendo il rischio di stress idrico durante i periodi di siccità. Possono anche aiutare a ridurre il deflusso durante le forti piogge, riducendo al minimo l'erosione del suolo e la perdita di sostanze nutritive.
- 4. Biodiversità:** le pratiche di sequestro del carbonio possono anche contribuire a migliorare la biodiversità sia sopra che sotto terra. Ad esempio, la coltivazione di copertura può fornire habitat per insetti utili e altri animali selvatici. Sotto terra, queste pratiche possono migliorare la diversità degli organismi del suolo, che svolgono ruoli vitali nel ciclo dei nutrienti e nella soppressione delle malattie.
- 5. Benefici economici:** sebbene vi siano costi associati all'implementazione di pratiche di sequestro del carbonio, questi possono spesso essere compensati dai benefici. Ad esempio, l'aumento dei raccolti può portare a un reddito

più elevato per gli agricoltori. Inoltre, terreni più sani possono ridurre la necessità di input come fertilizzanti sintetici o irrigazione, risparmiando potenzialmente denaro agli agricoltori a lungo termine. E, come abbiamo già discusso, esiste il potenziale per ulteriori entrate derivanti dalla vendita di crediti di carbonio sul mercato volontario del carbonio.

Integrando le pratiche di sequestro del carbonio nelle operazioni, gli agricoltori possono non solo contribuire alla mitigazione dei cambiamenti climatici, ma anche migliorare la sostenibilità e la resilienza delle loro aziende agricole, migliorando i loro profitti nel processo.

## Conclusione

L'agricoltura svolge un ruolo multiforme nel tessuto socio-economico e nelle dinamiche ambientali del nostro mondo. Il suo impatto pervasivo, caratterizzato da una serie di tendenze e benefici, lascia un'impronta sostanziale sul clima globale. Esplorare l'interazione tra agricoltura e ambiente è particolarmente rilevante in regioni come il Mediterraneo, dove paesaggi diversi e intricati modelli climatici creano un crogiolo per le manifestazioni del cambiamento climatico.

La minaccia della desertificazione nel Mediterraneo settentrionale è una preoccupazione fondamentale, che ha un impatto diretto sulla redditività dell'agricoltura nella regione. Questo fenomeno, innescato da una combinazione di variazioni climatiche e attività umane, porta al degrado del suolo, alla riduzione della fertilità del suolo e ai cambiamenti nella biodiversità. La desertificazione rappresenta una minaccia significativa per le economie locali e la sicurezza alimentare.

Tuttavia, la narrazione di un'imminente distruzione ecologica non è inevitabile. Il riconoscimento precoce dei segnali di desertificazione, combinato con interventi mirati, può aiutare a rallentare, arrestare o addirittura invertire questo processo. Il monitoraggio dei cambiamenti nella copertura vegetale, nelle proprietà del suolo e nella prevalenza dell'erosione può servire come indicatori preziosi per rilevare preventivamente la desertificazione.

In risposta alle sfide della desertificazione e dei cambiamenti climatici, l'agricoltura intelligente dal punto di vista climatico (CSA) offre speranza. Questo approccio, incentrato sul miglioramento della resilienza, sull'aumento della produttività agricola e sulla riduzione delle emissioni di gas serra, fornisce una tabella di marcia verso una trasformazione agricola sostenibile. Tuttavia, la

transizione dai metodi agricoli convenzionali alla CSA non è priva di difficoltà. Gli agricoltori possono incontrare sfide legate all'investimento iniziale richiesto, alla necessità di acquisire nuove conoscenze e competenze e all'incertezza associata al passaggio da pratiche agricole consolidate e tradizionali.

Il ruolo dell'agricoltura si estende oltre la produzione alimentare: svolge un ruolo fondamentale nel ciclo globale del carbonio. Gli agricoltori possono influenzare la quantità di carbonio immagazzinata nei loro suoli attraverso pratiche di gestione, offrendo un'opportunità per la mitigazione del cambiamento climatico. La rotazione delle colture, la gestione dei residui e altre pratiche possono migliorare la capacità di sequestro del carbonio del suolo, aumentando così la produttività e la resilienza climatica.

I quadri politici come la politica agricola comune (PAC) dell'Unione europea sostengono gli sforzi verso un'agricoltura sostenibile. La PAC fornisce incentivi finanziari e una direttiva politica unificata per incoraggiare gli agricoltori ad adottare pratiche che promuovano la sostenibilità ambientale e la redditività economica.

Il monitoraggio e l'implementazione di pratiche sostenibili richiedono l'utilizzo di vari strumenti e tecniche. Le tecnologie di telerilevamento e i sistemi informativi geografici offrono opportunità senza precedenti per la mappatura dell'uso del suolo e il monitoraggio dei cambiamenti nel tempo. Le tecniche di misurazione del carbonio nel suolo forniscono informazioni dirette e dettagliate sul contenuto di carbonio nel suolo. Gli strumenti di modellazione offrono approfondimenti predittivi sui potenziali impatti delle diverse pratiche di gestione sul sequestro del carbonio nel suolo. Il coinvolgimento delle comunità locali nel processo di monitoraggio fornisce dati più accurati e rilevanti a livello locale. I sistemi di certificazione assicurano agli acquirenti e ai consumatori la sostenibilità dei prodotti agricoli.

Tuttavia, questi strumenti presentano delle sfide, in particolare per i piccoli agricoltori o per quelli che vivono in contesti poveri di risorse. I costi di investimento iniziali, il know-how tecnico e l'accessibilità possono costituire ostacoli sostanziali. Tuttavia, i molteplici vantaggi che questi strumenti forniscono in termini di accuratezza dei dati, potere predittivo e garanzia del mercato li rendono indispensabili nel moderno panorama agricolo.

Questo manuale è una risorsa preziosa per gli agricoltori e i gestori del territorio nella regione mediterranea. Il suo obiettivo è fornire una guida pratica e conoscenze teoriche per facilitare l'adozione di pratiche agricole intelligenti dal punto di vista climatico. Fornendo agli agricoltori la necessaria comprensione dei sistemi in gioco, l'importanza delle pratiche sostenibili e il know-how tecnico per l'attuazione, questo manuale mira a consentire loro di compiere i primi passi verso un futuro agricolo più sostenibile.

Il manuale fa luce anche sulla politica agricola comune dell'Unione europea. Questo quadro politico incoraggia la transizione verso pratiche agricole sostenibili fornendo sostegno finanziario e incentivi agli agricoltori. Allineandosi agli obiettivi della PAC, gli agricoltori possono contribuire alla conservazione delle risorse naturali, alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra e al mantenimento dei mezzi di sussistenza rurali.

L'implementazione pratica di pratiche sostenibili richiede l'utilizzo di vari strumenti e tecniche. Le tecnologie di telerilevamento e i sistemi di informazione geografica (GIS) consentono agli agricoltori di mappare l'uso del suolo, monitorare i cambiamenti nel tempo e identificare le aree soggette al degrado del suolo. Le tecniche di misurazione del carbonio nel suolo forniscono preziose informazioni sulla salute del suolo e sul potenziale di sequestro del carbonio. Gli strumenti di modellazione aiutano a prevedere l'impatto dei diversi approcci agricoli sulla dinamica del carbonio del suolo. Coinvolgere le comunità locali negli sforzi

di monitoraggio basati sulla comunità promuove un approccio partecipativo all'agricoltura sostenibile. I sistemi di certificazione e tracciabilità assicurano agli acquirenti e ai consumatori che i prodotti agricoli sono prodotti utilizzando pratiche che migliorano il sequestro del carbonio.

Sebbene questi strumenti offrano enormi vantaggi, possono sorgere sfide nella loro implementazione. Gli agricoltori possono incontrare ostacoli quali costi iniziali elevati, competenze tecniche limitate e la necessità di una formazione specializzata. Superare queste sfide richiede programmi di formazione accessibili, iniziative di sviluppo delle capacità e sostegno finanziario per garantire che gli agricoltori possano adottare e utilizzare questi strumenti in modo efficace.

## Riferimenti

- Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., & Gimeno, B. S. (2013). *Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta analysis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 168, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>
- Albaladejo, J., Martinez-Mena, M., Roldan, A., & Castillo, V. (1998). *Soil degradation and desertification induced by vegetation removal in a semiarid environment*. *Soil Use and Management*, 14(1), 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00602.x>
- Álvaro-Fuentes, J., Plaza-Bonilla, D., Arrúe, J. L., Lampurlanés, J., & Cantero-Martínez, C. (2014). *Soil organic carbon storage in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions*. *Plant and Soil*, 376(1), 31–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1167-x>
- Andreu Lazaro, J. (1945). *Defensa del suelo agrícola. Sección de Publicaciones, Prensa y Propaganda*. Ministerio de Agricultura. <http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/pags/biblioteca/fondo/44338.htm>
- Ballesteros, A. L., Chamizo, S., Mejjide, A., Aranda-barranco, S., Enrique, P., Kowalski, A. S., & Serrano-ortiz, P. (2020). *The influence of cover cropping on carbon sequestration and water use efficiency in an irrigated Mediterranean olive agrosystem*. *EGU General Assembly*, 2. <https://doi.org/EGU2020-18868>
- Benites, C., Cruzado, E., Pinillos, C., & Rodríguez, E. (1990). *Manual de conservación de aguas y suelos*. Ministerio de Agricultura de Perú. [http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/manual\\_conservacion/manual\\_de\\_conservacion\\_de\\_aguas\\_y\\_suelos.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/manual_conservacion/manual_de_conservacion_de_aguas_y_suelos.pdf)
- Bot, A., & Benites, J. (2005). *The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustained food production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/a0100e/a0100e00.htm#Contents>
- Bournay, E., & Beilstein, M. (2013). *Environment and security in the Mediterranean: Desertification*. Zoi Environment Network. <https://www.grida.no/resources/8333>

- Clemente Orta, G., & Álvarez, H. (2019). *The influence of agricultural landscape on biological control from a spatial perspective*. *Ecosistemas*, 28(1), 13-25.  
<https://doi.org/10.7818/ECOS.1730>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., . . . Raskin, R. G. (1997). *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature*, 387, 253–260.  
<https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., . . . Xoplaki, E. (2018). *Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean*. *Nature Climate Change*, 8(11), 972–980. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Daniel, T. C., Muhar, A., Arnberger, A., Aznar, O., Boyd, J. W., Chan, K. M., . . . von der Dunk, A. (2012). *Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8812–8819.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109>
- David, G. (2020). *Montado de Sobro localizado em pleno SIC de Monfurado*. Museu Virtual da Biodiversidade. [https://www.museubiodiversidade.uevora.pt/areas-classificadas/sitio-de-importancia-comunitaria-sic-de-monfurado/#specie\\_imagem-2](https://www.museubiodiversidade.uevora.pt/areas-classificadas/sitio-de-importancia-comunitaria-sic-de-monfurado/#specie_imagem-2)
- Deitch, M. J., van Docto, M., & O'Green, A. T. (2017). *Mediterranean climate and agriculturally-induced erosion in Sonoma County, California: A modeling study with management implications*. *Water*, 9(4), 259. <https://doi.org/10.3390/w9040259>
- Dimassi, B., Mary, B., Wylleman, R., Labreuche, J., Couture, D., Piraux, F., & Cohan, J. P. (2014). *Long-term effect of contrasted tillage and crop management on soil carbon dynamics during 41 years*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 188, 134–146.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.014>
- European Environment Agency. (2008). *Sensitivity to desertification and drought in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/sensitivity-to-desertification-and-drought-in-europe/desertification-assessment-fact-sheet-adobe-pdf-file/desertification-assessment-fact-sheet-adobe-pdf-file/download>

- European Environment Agency. (2018). *Desertification*. <https://www.eea.europa.eu/themes/soil/desertification>
- FAO, (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Boletín de Tierras y Aguas, Nº 8, 2000. Capítulo 11 Cultivo en contorno. 220 pp. ISSN: 1020-8127. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>
- FAO, (2004). *Carbon sequestration in dryland soils*. Food And Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-Y5738e.pdf>
- FAO, (2010). *Climate-smart agriculture: Policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation*. Rome. Retrieved from <https://www.fao.org/3/i1881e/i1881e00.pdf>
- FAO, (2013). *Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. Food And Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Retrieved from <https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/421842/>
- FAO, (2018). *The state of Mediterranean forests*. Food And Agriculture Organization of the United Nations. Rome. <https://planbleu.org/wp-content/uploads/2018/11/somf2018.pdf>
- FAO, (2021). *Which farms feed the world and has farmland become more concentrated?* Rome. Retrieved from <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1394557/>
- Feliciano, D., Aires, A., Arrobas, M., Pires, J., & Pinto-Correia, T. (2018). *Carbon sequestration potential of silvoarable agroforestry systems in a Mediterranean environment*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.019>
- Fernández Carrillo, M. A. (2015). *Medidas y técnicas de conservación de los suelos en el medio rural. Aplicación en España y la Región de Murcia* [Doctoral dissertation, Universidad de Murcia]. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/47134>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., . . . Snyder, P. (2005). *Global consequences of land use*. *Science*, 309(5734), 570–574.  
<https://doi.org/10.1126/science.1111772>

- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Cardoso, R. M., Soares, P. M., & Cancela, J. (2019). *Climate change impacts on viticulture: A review of grapevine responses and adaptation strategies*. *Science of The Total Environment*, 665, 1-12.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.071>
- Francaviglia, R., Di Bene, C., Farina, R., & Salvati, L. (2017). *Soil organic carbon sequestration and tillage systems in the Mediterranean Basin: a data mining approach*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107(1), 125–137. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9820-z>
- Freibauer, A., Rounsevell, M. D. A., Smith, P., & Verhagen, J. (2004). *Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe*. *Geoderma*, 122(1), 1–23.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.021>
- Garcia-Franco, N., Albaladejo, J., Almagro, M., & Martínez-Mena, M. (2015). *Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem*. *Soil and Tillage Research*, 153, 66–75.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2015.05.010>
- Han, P., Zhang, W., Wang, G., Sun, W., & Huang, Y. (2016). *Changes in soil organic carbon in croplands subjected to fertilizer management: A global meta-analysis*. *Scientific Reports*, 6, 27199. <https://doi.org/10.1038/srep27199>
- Institut Europeu de la Mediterrània. (2018). *Climate change in the Mediterranean: Environmental impacts and extreme events*. <https://www.iemed.org/publication/climate-change-in-the-mediterranean-environmental-impacts-and-extreme-events/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Chapter 6: Carbon and Other Biogeochemical Cycles*. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.  
<https://archive.ipcc.ch/report/graphics/index.php?t=Assessment%20Reports&r=AR5%20-%20WG1&f=Chapter%2006>
- Kraiwut, K. (n.d.). *Corn plantation with no tillage technique*. Shutterstock. <https://www.shutterstock.com/it/image-photo/corn-plantation-no-tillage-technique-617082044>

- Ghasal, P. C., Kumar, S., Yadav, R. P., Singh, S., Meena, V. S., & Bisht, J. K. (2016). *Conservation Agriculture and Climate Change: An Overview*. In J. K. Bisht, V. S. Meena, P. C. Ghasal, & A. Pattanayak (Eds.), *Conservation Agriculture: An Approach to Combat Climate Change in Indian Himalaya* (pp. 1-37). Springer.
- Macou, J. (2016). *Videira, Natural, Natureza* [Image]. Pixabay.  
<https://pixabay.com/pt/photos/videira-vinhedo-cultura-primavera-1330785/>
- Maillard, É., & Angers, D. A. (2014). *Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis*. *Global Change Biology*, 20(2), 666–679.  
<https://doi.org/10.1111/gcb.12438>
- Man, T. (2021). *Strip cropping*. The Combine Forum. <https://www.thecombineforum.com/threads/1st-attempt-strip-cropping.340436/>
- Manso, M. (2019). *Regadio em Alqueva: o milagre da multiplicação das oliveiras*. Público. Retrieved from <https://www.publico.pt/2019/09/08/economia/noticia/regadio-alqueva-milagre-multiplicacao-oliveiras-1885867#&gid=1&pid=1>
- Márquez-García, F., González-Sánchez, E. J., Castro-García, S., & Ordóñez-Fernández, R. (2013). *Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. Influence of the type of soil and weed*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2), 335-346. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3558>
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G., & Swift, M. J. (1997). *Agricultural intensification and ecosystem properties*. *Science*, 277(5325), 504-509.  
<https://doi.org/10.1126/science.277.5325.504>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. World Resources Institute. Retrieved from <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>
- Nieto, O. M., Castro, J., & Fernandez, E. (2011). *Long-term effects of residue management on soil fertility in Mediterranean olive grove: Simulating carbon sequestration with RothC model*. In B. E. O. Gungor (Ed.), *Principles, application and assessment in soil science* (pp. 129-149). IntechOpen.

- OpenWeather. (2019). *Visualisation of the NDVI index on satellite maps*. Custom palettes for agricultural applications. Retrieved from <https://openweathermap.medium.com/visualisation-of-the-ndvi-index-on-satellite-maps-custom-palettes-for-agricultural-applications-f99b0652f991>
- Our World in Data. (n.d.). *Land use*. Retrieved July 21, 2023, from <https://ourworldindata.org/land-use>
- Patterson, M. (2005). *Field and hedge*. Geograph. Retrieved from <https://www.geograph.org.uk/photo/245638>
- Pisano, A., Olita, A., Sorgente, R., Ribotti, A., & Perilli, A. (2020). *A warming Mediterranean: 38 years of increasing sea surface temperature*. *Remote Sensing*, 12(17), 2687. <https://doi.org/10.3390/rs12172687>
- Poeplau, C., & Don, A. (2015). *Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Rosati, A. (2017). *Olive-asparagus-bulb system in traditional olive orchard system. Lessons learnt - Wild asparagus and other crops in olive orchards in Italy*. AGFORWARD. Retrieved from [https://www.agforward.eu/documents/LessonsLearnt/WP3\\_I\\_Olive\\_asparagus\\_lessons%20learnt.pdf](https://www.agforward.eu/documents/LessonsLearnt/WP3_I_Olive_asparagus_lessons%20learnt.pdf)
- Roxo, M. J. (1994). *A Acção antrópica no processo de degradação de solos: A Serra de Serpa e Mértola*. FCSH-UNL. Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas.
- Ruibérriz, M. A. R., Bojollo, R. M. C., Braña, C. A., Lizana, A. R., & Fernández, R. M. O. (2012). *Carbon sequestration potential of residues of different types of cover crops in olive groves under Mediterranean climate*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(3), 649-661.
- St. Luce, M. (2022). *Pea and wheat crop rotation plots at AAFC Swift Current, Sask*. Top Crop Manager. Retrieved from <https://www.topcropmanager.com/adding-diverse-crops-into-prairie-rotations/>

- Tema. (n.d.). *Green fertilization project in olive groves*. The Turkish Foundation for Combating Soil Erosion, for Reforestation and the Protection of Natural Habitats. Retrieved from <https://www.tema.org.tr/en/our-works/rural-development/green-fertilization-project-in-olive-grove-areas>
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). *Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity—ecosystem service management*. *Ecology Letters*, 8(8), 857-874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
- Tsonkova, P., Muys, B., Pelkmans, L., & Ceulemans, R. (2012). *Greenhouse gas emissions and carbon sequestration by agroforestry systems in smallholder farming systems in Southern Africa*. *Journal of Environmental Management*, 111, 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.042>
- USGS - NMWSC. (2021). *Loss of ignition*. New Mexico Water Science Center. Retrieved from <https://www.usgs.gov/media/images/loss-ignition-usgs-nmwsc>
- Van Muysen, W., Govers, G., Bergkamp, G., Roxo, M., & Poesen, J. (1999). *Measurement and modelling of the effects of initial soil conditions and slope gradient on soil translocation by tillage*. *Soil and Tillage Research*, 51(3-4), 303-316. [https://doi.org/10.1016/S01671987\(99\)00044-6](https://doi.org/10.1016/S01671987(99)00044-6)
- Vanuga, J. (2011). *Contour farming and terraces, Tombs, County, Georgia*. USDA Natural Resources Conservation Service. Retrieved from <https://photogallery.nrcs.usda.gov/netpub/server.np?find&catalog=catalog&template=detail.np&field=itemid&op=matches&value=1905&site=PhotoGallery>
- Zittis, G., Hadjinicolaou, P., & Lelieveld, J. (2019). *Climate change impacts and adaptation options in the eastern Mediterranean and the Middle East and North Africa region*. *Regional Environmental Change*, 19(3), 695-708. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1431-8>