



LINEE GUIDA PER
L' APPLICAZIONE
DELL' **AGRICOLTURA**
BIOLOGICA
CONSERVATIVA
NELLE MARCHE

Materiale realizzato con il contributo della sottomisura 16.1 azione 2 del PSR Marche 2014-2022 – Progetto ID 29182.

Titolo del progetto:

“Trasferimento e adattamento del modello agricolo biologico conservativo nei sistemi colturali marchigiani”

Acronimo:

AGRIBIOCONS

Beneficiario coordinatore:

Società Agricola Biologica Fileni s.r.l.

Beneficiari partner diretti:

Arca s.r.l. Benefit, Università Politecnica delle Marche, A.E.A s.r.l., Società Agricola Agri Blu di Zingaretti E Soci S.s.

Spesa totale:

€ 345.356,50

Finanziamento concesso:

€ 345.356,50

Fonte del finanziamento:

Bando “Sostegno alla creazione e al funzionamento di Gruppi Operativi del PEI – Sottomisura 16.1 Azione 2” Annualità 2017 del Programma di Sviluppo Rurale della Regione Marche 2014/2020 – Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale: l'Europa investe nelle zone rurali.

Durata:

febbraio 2019 - febbraio 2023

Contatti:

Alessandro Tramontano
a.tramontano@fileni.it
tel. +39 0733 606211

Sito web:

www.arca.bio/agribiocons

LINEE GUIDA PER L' APPLICAZIONE DELL' **AGRICOLTURA BIOLOGICA** **CONSERVATIVA** NELLE MARCHE

Progettazione grafica: Giulia Piras

Finito di stampare nel mese di giugno 2023
presso la tipografia La Poligrafica Bellomo Srl - Ancona



Unione Europea / Regione Marche
PROGRAMMA DI SVILUPPO RURALE 2014-2022
È TEMPO AGRICOLA PER LO SVILUPPO RURALE: L'EUROPA INVESTE NELLE ZONE RURALI



Questo progetto è finanziato dal Programma di Sviluppo Rurale della Regione Marche 2014-2020

Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale: l'Europa investe nelle zone rurali



Abstract

Il presente volume riassume i risultati finali del progetto di innovazione denominato "AGRIBIOCONS" ed intende fornire agli agricoltori della regione Marche indicazioni pratiche per una corretta implementazione dell'agricoltura biologica conservativa nella coltivazione di colture erbacee agrarie.

Il lavoro è il frutto di tre anni di sperimentazione e prove in campo, condotte tra il 2019 e il 2022 da un partenariato costituito da aziende agricole biologiche, imprese tecnologiche, imprese agromeccaniche, università e consulenti.

Il progetto, finanziato dalla Regione Marche attraverso il Programma di Sviluppo Rurale 2014-2022, nasce dall'esigenza di migliorare la fertilità fisica, chimica e biologica dei suoli agricoli, fortemente degradati e sempre più poveri di sostanza organica e nutrienti.

L'auspicio è quello di favorire la diffusione ed applicazione di tecniche agricole in grado di "rigenerare" il suolo e l'ambiente, nel territorio regionale ma non solo. Le indicazioni ed i risultati presentati nella presente pubblicazione sono utili infatti agli agricoltori marchigiani, ma sono potenzialmente applicabili anche in altri contesti territoriali con caratteristiche morfologiche e pedoclimatiche simili.

This volume summarises the final results of the "AGRIBIOCONS" innovation project and is intended to provide farmers in the Marche region with practical guidelines for the proper implementation of organic conservative agriculture in arable farming. The work results from three years of experimentation and field trials, conducted from 2019 to 2022 by a partnership made up of organic farms, technological and agro-mechanical companies, universities, and consultants.

The project, financed by the Marche Region through the Rural Development Program 2014-2022, stems from the need to improve the physical, chemical, and biological fertility of agricultural soils, strongly degraded and depleted in organic matter and nutrients.

The hope is to encourage the dissemination and application of agricultural techniques able to "regenerate" the soil and the environment at a regional scale, but not only. In fact, these indications and results are useful for farmers in the Marche region but they have also the potential to be applied in other territories with similar morphological and pedoclimatic characteristics.



Indice

1	Introduzione	9
2	Agricoltura biologica conservativa	13
2.1	La progettazione dell'agroecosistema	14
2.2	L'avvicendamento delle colture	15
2.3	Le consociazioni agrarie	17
2.4	Le colture di copertura (cover crops)	20
2.5	La progettazione del parco macchine	29
2.6	Le criticità dell'agricoltura bio-conservativa	33
2.6.1	La gestione dei residui colturali	33
2.6.2	Il compattamento del suolo	36
2.6.3	La gestione della flora infestante	39
3	Tecniche per la valutazione del suolo	41
4	Conclusioni	48
	Bibliografia	50



1 Introduzione

Le linee guida proposte nel presente documento sono il frutto della sperimentazione in campo e dell'esperienza maturata grazie al progetto **"AGRIBIOCONS" (Agricoltura Biologica Conservativa)**, finanziato dalla *Misura 16.1 – Sostegno alla creazione e al funzionamento di Gruppi Operativi del PEI Azione 2 "Finanziamento dei Gruppi Operativi" del PSR Regione Marche 2014-2022 (fondi FEASR)*.

Il progetto ha preso avvio nel 2019 ed è stato portato a termine nell'autunno 2022 con lo scopo di **promuovere ed implementare tecniche e tecnologie agricole per la gestione conservativa del suolo nelle aziende agricole biologiche marchigiane**.

Sette aziende agricole hanno messo a disposizione diversi siti dimostrativi per una superficie totale di 26 ettari, dislocati tra le province di Ancona e Macerata. Le aziende rappresentano bene la diversità topografica e climatica del territorio regionale, in quanto sono dislocate sia in aree di fondovalle, irrigue e non irrigue, che in aree di medio-bassa e medio-alta collina. Dal 2019 al 2022 le aziende sono state guidate nell'applicazione di principi agronomici conservativi, partendo dal principio che il suolo sia una risorsa vitale da preservare, tutelare e rigenerare. Tale gestione può essere considerata "innovativa" nei territori marchigiani perché è scarsamente applicata e diffusa.

I principi agronomici adottati sono il frutto di conoscenze teorico-pratiche maturate in altre realtà territoriali, quali la Pennsylvania (U.S.A.), grazie all'attività del Rodale Institute (rodaleinstitute.org), ed il Friuli-Venezia Giulia (IT), grazie al lavoro del gruppo costituito dal ricercatore Gemini Delle Vedove (Università di Udine), dall'agronomo Stefano Bortolussi (AIAB – Friuli-Venezia Giulia) e dagli imprenditori agricoli Denis Paron e Mauro Collovati.

Perché applicare l'agricoltura biologica conservativa nelle Marche?

I suoli marchigiani, data la morfologia del territorio e le caratteristiche fisico-chimiche intrinseche, sono soggetti a diversi **fenomeni di degrado**, riscontrabili sia nelle aree urbane che rurali, dalle zone costiere fino agli areali appenninici. L'attività antropica nelle aree coltivate svolge un ruolo

determinante nell'insorgere di problematiche come l'erosione, la perdita di sostanza organica, la compattazione e la perdita di biodiversità. Queste problematiche convogliano in due processi fondamentali: la **desertificazione**, ovvero la perdita di fertilità di un suolo e l'**entisolizzazione**, cioè la retrogradazione del suolo stesso ad uno status di "non suolo", per riduzione dello spessore degli orizzonti. Le cause di tale degrado possono essere ricondotte ad una gestione del territorio e all'attuazione di pratiche agronomiche convenzionali poco adatte alle condizioni proprie dei suoli marchigiani. L'erosione idrica risulta del resto essere una delle minacce più importanti e diffuse nella regione Marche. La stima della **quantità di suolo perso** varia dalle **5 alle 20 t/ha/anno**, a seconda delle province (Osservatorio regionale dei suoli regione Marche; Rusco et al., 2007) e **supera la media italiana** stimata a 8,3 t/ha/anno (Soil4Life). Le problematiche maggiori si riscontrano proprio nella fascia collinare soggetta ad un uso prevalentemente agricolo. A livello europeo i dati sono altrettanto poco rassicuranti, infatti, da uno studio condotto da Panagos et al. (2018), è emerso che circa 12 milioni di ettari di superficie agricola sono soggetti a fenomeni erosivi e la perdita di produttività annuale che ne deriva è pari a circa lo 0,43%, con un costo annuo pari a 1,25 milioni di euro.

Negli ultimi decenni è stata osservata anche una marcata diminuzione della sostanza organica dovuta all'intensificarsi delle lavorazioni, a rotazioni colturali sempre più semplificate, alla diminuzione delle colture foraggere e degli allevamenti estensivi (Marraccini et al., 2012; Borrelli et al., 2016).

Le pratiche agronomiche appena citate influiscono anche sulla destrutturazione del suolo (compattamento) e sulla perdita di biodiversità della pedofauna, dei microrganismi e delle specie vegetali (Ferrara et al., 2015; Garland et al., 2021; Vulcano e Gallo, 2019).

A fronte di tali problematiche è necessario introdurre ed attuare un sistema agricolo volto al mantenimento e al ripristino della qualità dei suoli e dell'ambiente. Questo vale ancor di più in agricoltura biologica, dove la fertilità del suolo rappresenta la principale risorsa a disposizione dell'agricoltore per garantire produzioni e reddito adeguati.

Il modello agricolo conservativo risponde a tale esigenza in quanto si propone di:

- **preservare** la risorsa **suolo** migliorandone la fertilità fisica, chimica e biologica;
- **introdurre macchinari innovativi** e/o **adattare quelli esistenti** in modo da ottimizzare la gestione del suolo anche negli ambienti collinari;
- **proporre** nuove **opportunità** gestionali per un'agricoltura attiva sul fronte dell'adattamento e della mitigazione del cambiamento climatico;
- **aumentare** la **competitività** delle aziende agricole biologiche.

Nell'ambito del progetto AGRIBIOCONS, il percorso di trasferimento ed implementazione del sistema produttivo bio-conservativo nelle aziende agricole pilota è stato supportato da un costante monitoraggio dello status dei suoli che oltre all'osservazione morfologica, alla redazione di *"Visual Soil Assessment"* e ad analisi chimiche e fisiche, ha visto anche l'impiego di prototipi meccanici progettati ad hoc per la misurazione diretta dell'erosione del suolo.

Le attività sono state realizzate da un partenariato ("Gruppo Operativo") composto dai seguenti soggetti:

Società Agricola Biologica Fileni S.r.l., capofila (www.fileni.it)

Il gruppo Fileni è leader nazionale per la produzione e commercializzazione di pollo biologico. Tramite la Società Agricola Biologica Fileni produce direttamente parte delle materie prime per gli allevamenti aziendali. Il comparto agricolo della società è infatti composto da circa 500 ettari di terreni in cui si coltivano, esclusivamente in regime biologico, cereali, proteaginosi e prati polifiti adatti all'alimentazione avicola.

Società Agricola Agri Blu di Zingaretti e Soci S.S.

Società agricola con sede ad Apiro (MC) dedicata alla coltivazione di cereali e altri seminativi. Nel progetto AGRIBIOCONS, ha investito nell'acquisto di macchinari indispensabili e funzionali al modello agricolo biologico conservativo.

AEA S.r.l. (www.loccioni.com)

Impresa appartenente al gruppo Loccioni, che da oltre 50 anni progetta sistemi di misura e controllo per migliorare qualità, sicurezza e sostenibilità di processi e prodotti. Nel progetto AGRIBIOCONS, la società ha sviluppato un dispositivo prototipale utile a misurare direttamente l'erosione dei suoli.

ARCA S.r.l. Benefit (www.arca.bio)

Fondata nel 2016 dagli imprenditori Bruno Garbini, Giovanni Fileni ed Enrico Loccioni, la società offre consulenza nella coltivazione con metodo conservativo in regime biologico, promuovendo l'applicazione contemporanea dei principi di diversificazione colturale, riduzione delle lavorazioni e copertura del suolo. In aggiunta, la società ha consolidata esperienza nel campo della divulgazione e trasferimento delle conoscenze.

Università Politecnica delle Marche (www.d3a.univpm.it)

Il Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali svolge attività di ricerca, didattica e conto terzi in diversi ambiti disciplinari. Nell'ambito del progetto AGRIBIOCONS, le attività di sperimentazione hanno coinvolto le aree di Scienza del Suolo (gruppo di Pedologia) e di Genetica Agraria. Le attività in campo hanno compreso la caratterizzazione pedologica dei suoli e il loro campionamento, l'installazione di strumenti di misura dell'erosione ed elaborazione dei dati necessari alla validazione del modello agricolo bio-conservativo, nonché la sperimentazione di consociazioni colturali legumi-cereali.

2 Agricoltura biologica conservativa

Per "agricoltura biologica conservativa" si intende l'insieme delle pratiche agronomiche che integrano i principi dell'agricoltura conservativa al metodo di produzione biologica (Regolamento UE 2018/848 e successive modifiche). L'agricoltura conservativa secondo la definizione FAO (2022) è un **sistema agronomico che promuove il minimo disturbo al suolo, mantenendo una copertura permanente e diversificando le specie vegetali coltivate**. Ciò permette di favorire l'aumento della biodiversità e migliorare i processi biologici sopra e sotto il suolo, contribuendo ad efficientare il ciclo dell'acqua e dei nutrienti e a sostenere le produzioni (Figura 1).

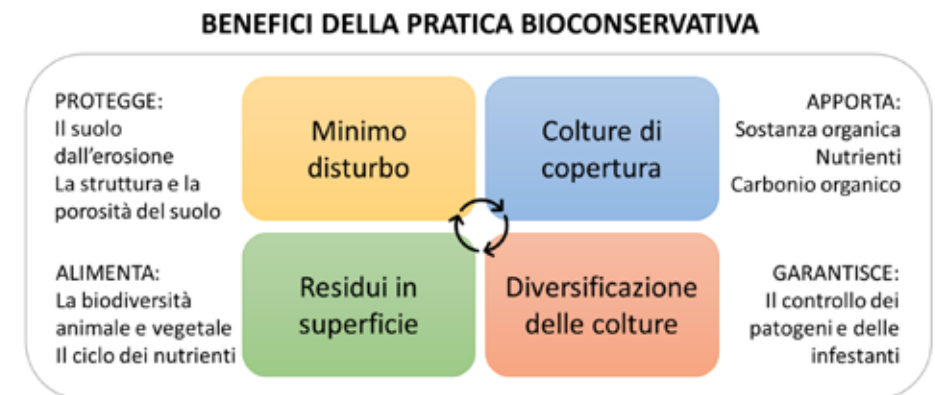


Figura 1: I principi per sostenere la salute e fertilità del suolo

I principi fondamentali dell'agricoltura biologica conservativa sono:

- **il minimo disturbo al suolo**, ovvero la riduzione dell'intensità e della frequenza delle lavorazioni meccaniche previste nel piano colturale;
- la **copertura del suolo**, lasciando i residui colturali in superficie ed utilizzando le colture di copertura tra le colture da reddito;
- la **diversità colturale** attraverso l'avvicendamento e la consociazione di più specie erbacee.

Per garantire i migliori risultati in termini di ripristino della qualità del suolo e di una produttività soddisfacente, stabile e sostenibile, i principi dell'agricoltura conservativa andrebbero applicati contemporaneamente, perché sono intimamente interconnessi tra loro (Lehnhoff et al., 2017; Nunes et al., 2018; Pittelkow et al., 2015; Wallace et al., 2017).

2.1 La progettazione dell'agroecosistema

La base per una corretta applicazione del sistema agricolo biologico conservativo è quella di avere una visione agronomica ed ecologica, ovvero agroecologica, della superficie agricola totale (SAT) dell'azienda, che in questo contesto viene identificata come un agroecosistema. L'**agroecosistema** è definito come un **ambiente antropogenico con finalità produttive**, ad esempio campi coltivati, pascoli, frutteti, ecc., nel quale sussistono ambienti seminaturali, anche dette infrastrutture ecologiche, quali siepi, fasce inerbite, filari alberati, alberi isolati che fungono da habitat per le specie animali e vegetali (Biodiversity Information System for Europe; Gliessman, 2004).

Il primo step nella progettazione dell'agroecosistema è quello di eseguire un'attenta **analisi delle caratteristiche geomorfologiche e pedoclimatiche** dell'intera superficie aziendale, al fine di individuare le aree da destinare alla produzione e quelle da destinare ad habitat seminaturali.

Una volta individuata la superficie agricola utilizzabile (SAU) per le produzioni, è necessario effettuare un ulteriore approfondimento sulle sue **caratteristiche topografiche** (quota, esposizione, pendenza), **climatiche** (temperatura e piovosità) e **pedologiche** (ad es. tessitura, profondità, struttura, contenuto di sostanza organica dei diversi orizzonti identificati nella descrizione morfologica del profilo), al fine di identificare le colture e gli avvicendamenti che meglio si adattano a tali caratteristiche.

La progettazione dell'agroecosistema prende in esame anche la creazione, la manutenzione e la gestione delle infrastrutture ecologiche, in quanto

svolgono un importante ruolo nel mitigare i fenomeni erosivi, nel regolare il flusso dell'acqua e dell'aria, nel supportare il ciclo del carbonio e dei nutrienti, nell'incrementare la biodiversità faunistica e floristica, nel fornire materie prime e nel valorizzare il paesaggio agrario (Rosas-Ramos et al., 2018; Rosas-Ramos et al., 2019; Rasmussen et al., 2021). Ad esempio, le siepi e le fasce inerbite costituiscono un habitat per gli insetti impollinatori e ausiliari e contribuiscono all'attenuazione dei fenomeni erosivi superficiali e alla depurazione delle acque. La presenza e la corretta gestione delle infrastrutture ecologiche migliorano le condizioni generali di tutto l'agroecosistema, contribuendo ad aumentare il reddito dell'agricoltore e/o dell'azienda nel lungo periodo (Ploeg et al., 2021).

2.2 L'avvicendamento delle colture

L'avvicendamento colturale è una **tecnica agronomica che prevede la successione nel tempo delle diverse colture sullo stesso appezzamento**. Quando la sequenza delle colture non segue un piano prestabilito e viene decisa annualmente, si parla di avvicendamento libero; quando invece si ripete dopo un prefissato numero di anni, si definisce avvicendamento a ciclo chiuso o rotazione. L'avvicendamento colturale rappresenta una delle prerogative per una gestione agronomica volta ad ottenere il massimo beneficio in termini ambientali ed economici, soprattutto nel modello biologico conservativo.

I parametri da considerare nella scelta delle colture da avvicendare sono: la famiglia botanica, la stagionalità del ciclo di crescita, la durata del ciclo biologico (annuale e poliennale), la tipologia degli apparati radicali, la qualità e la quantità di residui colturali, la competizione con altre specie vegetali, la suscettibilità o resistenza ai parassiti e patogeni, il fabbisogno idrico e dei nutrienti.

La **diversificazione nel tempo e nello spazio** delle diverse colture permette la **riduzione degli apporti di fertilizzanti**, favorisce la **diversità biologica**

del suolo, contribuisce a **ridurre i fenomeni erosivi** e a **controllare la presenza di patogeni**, parassiti e specie vegetali infestanti. Tutto ciò genera un **beneficio sulle rese** e sulla loro stabilità nel tempo, sull'organizzazione del lavoro, sull'economia e sulla gestione dei rischi climatici sempre più frequenti (Albarracín Orio et al., 2016; Alcon et al., 2020).

Un altro aspetto molto importante da considerare è l'**adattabilità della coltura** ad un determinato contesto pedoclimatico, ovvero, quali sono le condizioni del suolo e del microclima che meglio favoriscono l'accrescimento e la salute della pianta. Sebbene questo sia un aspetto chiave, poiché riduce l'apporto di input ed interventi esterni (Anh Hoang et al., 2022), la scelta delle colture è spesso determinata da altri fattori, quali quelli economici di mercato, dalle preferenze aziendali e/o dalla presenza di filiere territoriali. Lo schema di avvicendamento colturale tradizionalmente adottato dalle aziende biologiche in ambiente collinare prevede quindi la successione triennale di graminacee e leguminose a ciclo autunno-vernino con altre specie a ciclo primaverile estivo (ad es. Girasole - *Helianthus annuus* L., Favino - *Vicia faba minor* L., e Frumento tenero - *Triticum aestivum* L.). Nel sistema biologico conservativo invece, si promuove un avvicendamento continuo pluriennale, a volte decennale, all'interno del quale si inseriscono le colture di copertura.

Di seguito viene riportato un esempio di avvicendamento adottato nel sistema biologico conservativo: **Erba medica** (*Medicago sativa* L.) – **Erba medica** – **Erba medica** – **Frumento tenero + trasemina di leguminose foraggere** (ad es. Sulla - *Hedysarum coronarium* L.) – **Girasole** – **Favino** (possibile consociazione con Frumento tenero) – **Cover Crops** (Mix di Veccia comune - *Vicia sativa* L. e Rafano – *Raphanus sativus* L.) + **Sorgo da granella** (*Sorghum bicolor* L.) – **Trifoglio Al.** (*Trifolium alexandrinum* L.) – **Orzo** (*Hordeum vulgare* L.).

2.3 Le consociazioni agrarie

Un'altra strategia di diversificazione colturale è data dalle **consociazioni agrarie** che consistono in **coltivazioni contemporanee, su uno stesso appezzamento, di due o più specie vegetali**. Vengono classificate in erbacee (es. frumento e favino), arboree (es. vite e olivo) o miste (es. vite e olivo con colture da foraggio) e in permanenti (consociazione per l'intero ciclo vegetativo) o temporanee (consociazione per una parte del ciclo vegetativo). Affinché siano effettivamente consociate, le specie vegetali devono essere compatibili tra loro sia dal punto di vista biologico, che dal punto di vista della tecnica colturale. Le condizioni di base per il loro successo sono: **reciproca tolleranza, assenza di competizione** per le risorse nutritive e **attuazione delle pratiche colturali** per ciascuna specie consociata senza gravi limitazioni.

Le consociazioni vengono adottate con l'obiettivo di: ottenere un reddito maggiore nell'unità di superficie coltivata, migliorare quali-quantitativamente la produzione, ottimizzare il tempo (es. trasemina delle specie foraggere su cereali autunno-vernini) e proteggere una coltura con l'altra dalle principali avversità biotiche (es. parassiti, infestanti) e abiotiche (es. siccità, vento).

Ad esempio, la **consociazione di favino e pisello** proteico con cereali quali frumento tenero, frumento duro ed orzo, si è dimostrata, da prove effettuate in tutta Europa, estremamente utile per ottenere un miglior controllo della flora infestante rispetto alla coltura pura delle leguminose (Brooker et al., 2015; Weih et al., 2021; Tavoletti e Merletti, 2022). Infatti, il cereale presente nella consociazione esercita una **positiva competizione nei confronti delle infestanti** riducendone significativamente la presenza e di conseguenza migliorando e facilitando le operazioni di raccolta. Inoltre, il cereale si avvantaggia dalla consociazione per quanto riguarda aspetti della **qualità delle cariossidi**, soprattutto mostrando un contenuto proteico significativamente più elevato rispetto al cereale in coltura pura.

Per questi motivi, le consociazioni sia temporanee che permanenti di colture erbacee rappresentano una pratica molto utile in agricoltura biologica conservativa.

All'interno del progetto AGRIBIOCONS sono state testate le **consociazioni leguminose da granella e cereali** (favino bianco-grano tenero e pisello proteico-grano tenero) da destinare alla filiera avicola biologica del Gruppo Fileni, al fine di incrementare e migliorare la produzione di fonti proteiche alternative alla soia (Figura 2). Queste consociazioni sono di tipo permanente in quanto le specie consociate sono state seminate e raccolte in contemporanea. Poiché l'obiettivo era quello di migliorare la produzione della leguminosa da granella, è stata rispettata la dose di semina del favino e del pisello proteico in coltura pura, mentre la dose di semina del frumento tenero è stata abbassata al 25% rispetto a quella indicata in coltura pura. A causa delle differenti dimensioni dei semi delle specie consociate, le fasi di semina e raccolta hanno richiesto maggiori accorgimenti.

La semina è stata effettuata utilizzando una seminatrice con doppio serbatoio, ideale per regolare la densità di semina delle singole specie e permettere una distribuzione più omogenea. Nella fase di raccolta, invece, è stato necessario regolare accuratamente le componenti della mietitrebbia in modo da non spezzare eccessivamente il seme della leguminosa, che se polverizzato verrebbe considerato uno scarto, ed ottenere allo stesso tempo la cariosside del frumento tenero abbastanza pulita. I risultati ottenuti hanno evidenziato come le consociazioni testate hanno migliorato l'**efficienza d'uso del suolo** (*Land Equivalent Ratio* - LER) e consentito un miglior **controllo della flora infestante** rispetto alla coltura pura di leguminose. Sarebbe pertanto auspicabile introdurre la consociazione leguminose-cereali come alternativa alla coltura pura di leguminose, mentre la coltura pura di cereali ha confermato la sua validità, come ben noto nel settore dell'agricoltura biologica regionale. Tali consociazioni possono rappresentare una valida opportunità per lo sviluppo di filiere agro-zootecniche biologiche nella Regione Marche.



Figura 2: Sopra: consociazione favino bianco con frumento tenero. Soc. Agr. Tenuta di Tavignano, Cingoli (MC), 24/06/2021, annata culturale 2020/2021. Sotto: consociazione pisello proteico con frumento tenero. Soc. Agr. Biologica Fileni, Falconara Marittima (AN), 30/04/2020, annata culturale 2019/2020.



2.4 Le colture di copertura (cover crops)

Le colture di copertura sono colture erbacee intercalari, non destinate alla raccolta, seminate in una finestra di tempo e spazio non occupata da altre colture da reddito, nella quale il suolo rimarrebbe privo di copertura vegetale (Figure 3 e 4).



Figura 3: A sinistra: appezzamento gestito con metodo biologico conservativo (suolo coperto da veccia). A destra: appezzamento gestito con metodo biologico tradizionale (suolo arato). Società agricola Tenuta di Tavignano, Cingoli (MC), 09/02/2022, annata culturale 2021/22.

Lo scopo principale delle colture di copertura è **proteggere la superficie del suolo dall'erosione** (idrica ed eolica) e da altre forme di degradazione (es. perdita di sostanza organica e nutrienti) nel lungo periodo (Edwards and Burney, 2005) ed apportare **benefici alle colture da reddito** che seguiranno in rotazione (Figura 5) (Lal et al., 1991).



Figura 4: A sinistra: campione di suolo prelevato dall'appezzamento gestito con metodo biologico conservativo (uso della veccia come coltura di copertura). A destra: campione di suolo prelevato dall'appezzamento gestito con metodo biologico tradizionale. Il suolo di sinistra presenta una maggior quantità di apparati radicali. Società agricola Tenuta di Tavignano, Cingoli (MC), 09/02/2022 annata culturale 2021/22.

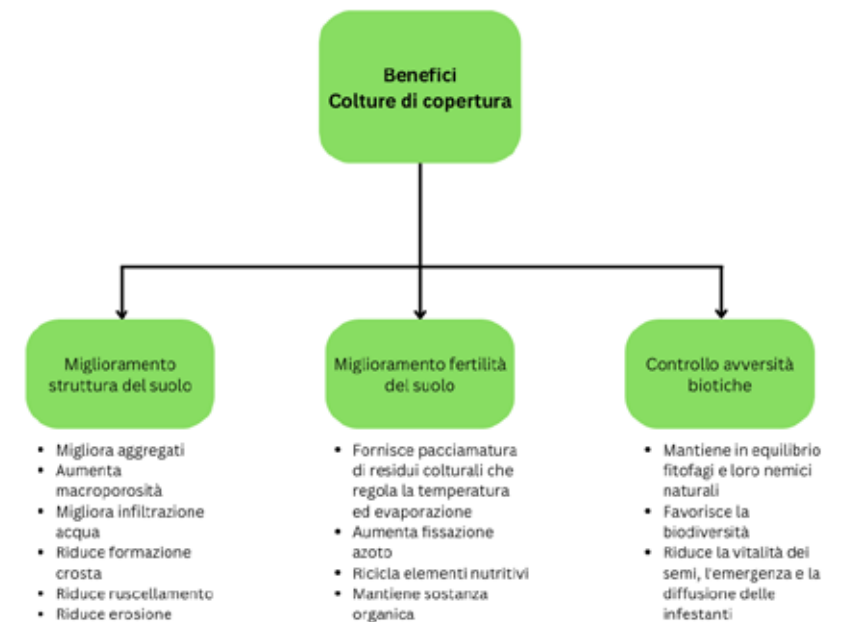


Figura 5: Benefici potenziali delle colture di copertura (Lal et al., 1991).

Nella scelta delle colture di copertura è necessario considerare la coltura da reddito in successione, tenendo conto dei cicli di sviluppo, delle esigenze nutrizionali e del rischio di trasmissione di parassiti e patogeni.

A seguito di tali considerazioni preliminari, altre caratteristiche delle colture di copertura da valutare in base ai benefici che si vogliono ottenere sono:

- le esigenze pedoclimatiche;
- la velocità iniziale di accrescimento, che garantisce una copertura tempestiva del suolo;
- la capacità di competere con le specie spontanee;
- la tipologia degli apparati radicali (es. fascicolato, fittonante) e l'approfondimento potenziale;
- la quantità e qualità di biomassa prodotta alla terminazione, che include la parte epigea (fusto e foglie) e ipogea (radici);
- la capacità di fissare e stoccare azoto (N), che determina la velocità di decomposizione e il rilascio di nutrienti (la velocità di decomposizione, proporzionale alla quantità di N stoccato, risulta essere maggiore nelle leguminose, seguite dalle brassicacee, altre dicotiledoni e dalle graminacee);
- l'effetto biocida e/o allelopatico, per controllare la germinazione delle infestanti;
- l'attrattività per i pronubi, legata alla produzione di polline e nettare dalle infiorescenze;
- la gelività, ovvero l'attitudine della pianta a devitalizzarsi a seguito di sollecitazioni dovute a cicli di gelo e disgelo (temperature minime inferiori a -3 °C per più giorni);
- la facilità nel terminare la coltura attraverso minime o non lavorazioni (es. falciatura, trinciatura, erpicatura, rullatura), evitando l'interramento o il sovescio completo della biomassa vegetale;
- l'attitudine ad essere/non essere autoriseminante;
- i costi di impianto e terminazione.

Le specie maggiormente impiegate appartengono a tre famiglie botaniche (Cadillon, 2013):

- leguminose, ad esempio la veccia, il favino, il trifoglio spp., la crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) e il fagiolo dall'occhio (*Vigna unguiculata* L.);
- graminacee, ad esempio l'orzo, la segale (*Secale cereale* L.) e il sorgosudanese (*Sorghum bicolor ssp. drummondii*);
- crucifere, ad esempio il rafano e la senape bianca (*Sinapis alba* L.).

Altre specie d'interesse appartenenti ad altre famiglie botaniche sono il grano saraceno (*Fagopyrum esculentum* M.) e la facelia (*Phacelia tenacetifolia* B.).

In Tabella 1 sono sintetizzate alcune delle colture di copertura utilizzabili, il periodo di semina e i relativi benefici, tenendo conto che i valori riportati sono stati valutati in contesti pedoclimatici diversi da quello marchigiano (FiBL & AIAB, 2018; USDA-SARE, 2012).

Tabella 1: Alcune specie utilizzabili come colture di copertura e loro benefici (FiBL & AIAB, 2018; USDA-SARE, 2012).

Specie	Periodo semina	Apporto sostanza organica	Azoto fissazione	Cattura nitrati	Azione anti-erosiva	Contenimento infestanti	Decompattamento	Azione mellifera	Controllo patogeni del suolo
Rafano (<i>Raphanus sativus</i> L.)	Ago/Set	●○○○	○○○○	●●●○	●○○○	●●●○	●●●○	●○○○	●●●○
Senape bianca (<i>Sinapis alba</i> L.)	Ago/Ott	●●●○	○○○○	●●○○	●●●○	●●●○	●○○○	●●●○	●●●○
Segale (<i>Secale cereale</i> L.)	Set/Ott	●●●○	○○○○	●●●●	●●●●	●●●●	●○○○	○○○○	●●●○
Orzo (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	Set/Ott	●●●○	○○○○	●●○○	●●●●	●●○○	●●○○	○○○○	●●●○
Sorgo sudanese (<i>Sorghum × drummondii</i>)	Mag/Ago	●●●●	○○○○	●●●●	●●●●	●●○○	●●●●	○○○○	●●●○
Veccia comune (<i>Vicia sativa</i> L.)	Ago/Set	●○○○	●●●●	○○○○	●○○○	●○○○	●○○○	●○○○	●○○○
Favino (<i>Vicia faba</i> L.)	Ago/Ott	●○○○	●●●○	○○○○	●○○○	●○○○	●●●○	●●○○	●○○○
Trifoglio incarnato (<i>Trifolium incarnatum</i> L.)	Ago/Ott	●●○○	●●●○	○○○○	●●○○	●●○○	●●○○	●●○○	●○○○
Trifoglio alessandrino (<i>Trifolium alexandrinum</i> L.)	Ago/Ott	●●●○	●●●●	○○○○	●●○○	●●○○	●●○○	●●○○	●○○○
Trifoglio pratense, fino a 1,5 anni (<i>Trifolium pratense</i> L.)	Ago/Ott Feb/Apr	●●●○	●●●○	○○○○	●●●●	●●○○	●●○○	●●●●	●○○○
Miscuglio trifoglio ed erba medica, fino a 9 mesi (<i>Trifolium, Medicago sativa</i> L.)	Set/Ott Feb/Apr	●●●○	●●●○	○○○○	●●●○	●○○○	●●●○	●●○○	●○○○
Fagiolo dall'occhio (<i>Vigna unguiculata</i> L. ssp. <i>sinensis</i>)	Giu/Ago	●●●○	●●●○	○○○○	●○○○	●○○○	●○○○	●●○○	●○○○
Crotalaria (<i>Crotalaria juncea</i> L.)	Giu/Ago	●●●○	●●●●	○○○○	●○○○	●●○○	●○○○	●●●●	●●●○
Facelia (<i>Phacelia tanacetifolia</i> B.)	Lug/Set	●○○○	○○○○	●●○○	●○○○	●●○○	●○○○	●●○○	●○○○
Grano saraceno (<i>Fagopyrum esculentum</i> M.)	Lug/Set	●○○○	○○○○	○○○○	●○○○	●●●●	●○○○	●●○○	●●○○

LEGENDA: ○○○○ = nessun effetto; ●●●● = effetto molto forte

Ciascuna delle suddette famiglie ha un effetto diverso sul suolo e sulla coltura successiva. Quando vengono utilizzati miscugli di diverse specie tali effetti si sommano e sono più stabili nelle diverse annate o condizioni pedoclimatiche. Le **leguminose** sono seminate principalmente allo scopo di apportare azoto (N) atmosferico (con la azoto-fissazione) al sistema, a vantaggio di una coltura da reddito non leguminosa in successione. Queste specie esercitano un ridotto controllo delle specie spontanee nelle fasi iniziali del loro sviluppo a causa del loro lento accrescimento (Snapp et al., 2005).

Le **graminacee** sono efficaci nel recuperare l'azoto-lisciviabile, non utilizzato dalla precedente coltura (Ranells e Waggoner, 1997) e nel contrastare la germinazione di alcune specie spontanee grazie al loro effetto allelopatico (Hoorman, 2009). Inoltre, sono indicate per favorire la strutturazione superficiale del suolo, grazie al loro apparato radicale fascicolato (Blanco-Canqui e Jara, 2019).

Le **crucifere** sono maggiormente utilizzate in virtù del rilascio di sostanze ad effetto biocida (fungicida e nematocida) (Couëdel et al., 2018a) e per la loro rapidità di sviluppo e copertura del suolo, in grado di contenere la crescita delle specie spontanee (Alcántara et al., 2011). Il loro apparato radicale profondo e fittonante favorisce la strutturazione del suolo, riesce a sottrarre l'azoto-lisciviabile e aumenta la disponibilità di fosforo (P) assimilabile (Che et al., 2022; Couëdel et al., 2018b; Quintarelli et al., 2022). Tali specie sono utilizzate anche per la loro attitudine geliva che si manifesta successivamente all'emissione della sesta foglia e con temperature minime inferiori a -3 °C per almeno una settimana; ne deriva che la semina deve avvenire prima della fine di settembre per poter sfruttare questa caratteristica.

La **sceita della specie** (o del miscuglio) va fatta, come anticipato precedentemente, in funzione dell'**obiettivo** che si vuole raggiungere. Ad esempio, per favorire la strutturazione del suolo è bene associare specie con apparati radicali diversi, mentre per limitare le perdite di azoto nel periodo invernale ed assicurarlo alla coltura successiva, i miscugli graminacee-crucifere o crucifere-leguminose possono dare degli ottimi risultati, garantendo anche un buon controllo delle infestanti. Inoltre, è bene tenere conto anche del rapporto C:N (carbonio e azoto organico) contenuto nei residui colturali delle singole specie e del miscuglio, per prevedere i tempi di mineralizzazione della sostanza organica e quindi la disponibilità dei vari nutrienti nel breve e lungo periodo (Itab, 2013).

Le specie più utilizzate nei siti dimostrativi del progetto AGRIBIOCONS sono state: la senape bianca, la veccia comune e la segale.

La **senape bianca** si è dimostrata esigente nella fase di semina a causa delle dimensioni ridotte del seme, ma è di rapido sviluppo e di facile terminazione, anche grazie alla sua scarsa resistenza al freddo (specie geliva). Questa coltura ha garantito un ottimo grado di copertura, anche se il suo sviluppo in biomassa è molto sensibile alla fertilità del suolo (Figura 6).



Figura 6: Senape bianca (© Simone Tiberi)

La **veccia comune** è risultata facile da seminare e meno da terminare, soprattutto con la trinciatura, a causa del suo portamento prostrato; per questo motivo viene spesso consociata con specie a portamento eretto (ad es. segale, orzo) che fungono da tutore. La veccia si è dimostrata una grande produttrice di biomassa e di N, soprattutto quando terminata in fase di prefioritura (Figura 7).



Figura 7: Veccia comune (© Simone Tiberi)

Per quanto concerne le graminacee, la **segale** è stata selezionata per via del suo effetto pacciicante e allelopatico sulla germinazione di molte specie infestanti. Quando la biomassa verde ha superato i 300-400 q.li/ha (dopo la fioritura a maggio), la coltura è stata facilmente terminata con uno/due passaggi di rullo allettatore (roller crimper) e lasciata in campo come materasso pacciicante ad azione erbicida (Figura 8). Con la presenza in campo della pacciicatura, la semina diretta della coltura da reddito (es. soia) è stata fatta con seminatrici da sodo dotate di appositi kit accessori.



Figura 8: Segale e sua terminazione con roller crimper (© Simone Tiberi)

Le specie sopra descritte sono state seminate dopo la raccolta delle colture a ciclo autunno-vernino (es. grano tenero e favino) e prima della semina delle colture a ciclo primaverile estivo (es. soia, sorgo, girasole). In questa finestra temporale le colture di copertura apportano i massimi benefici agro-ambientali, ma ciò non esclude la loro applicazione nel periodo che intercorre tra due specie a ciclo autunno-vernino o primaverile-estivo, poiché sono in grado di apportare altrettanti benefici.

2.5 La progettazione del parco macchine

Per attuare un'efficace gestione biologico conservativa dei suoli è fondamentale, innanzitutto, avere la conoscenza e l'esperienza delle tecniche agronomiche proprie di questo tipo di agricoltura. In questo approccio sistemico, la tecnica di lavorazione è uno dei fattori determinanti del processo rigenerativo dei suoli, insieme alla pianificazione dell'avvicendamento colturale e delle colture di copertura, alla tempestività di intervento e all'utilizzo di mezzi e attrezzature idonee.

Le pratiche di gestione del suolo e delle colture possono essere implementate con una limitata gamma di attrezzature spesso già presenti in azienda. La scelta delle macchine più adatte, a fronte delle numerose soluzioni presenti sul mercato, viene fatta tenendo in considerazione dell'obiettivo primario di salvaguardare la salute del suolo, attuando **minime lavorazioni a basso impatto**. Per questo motivo è necessario considerare le seguenti caratteristiche:

- la **potenza e la massa complessiva** delle trattrici e delle attrezzature meccaniche, unitamente alla dimensione e pressione della gommatura, che devono essere ben calibrate al fine di ridurre il disturbo al suolo (es. compattamento);
- la **larghezza di lavoro**, che deve essere più ampia possibile in funzione della potenza utilizzata e della capacità dell'attrezzatura di seguire la morfologia superficiale del suolo;
- le attrezzature utilizzate **non** devono essere mosse dalla **presa di potenza** e devono avere una limitata profondità di lavoro (minore di 20 cm), per preservare la porosità e la struttura del suolo;
- le operazioni colturali devono limitare l'inversione degli strati (orizzonti) di suolo, favorendo l'accumulo della sostanza organica in superficie;
- la possibilità di usi multipli della stessa attrezzatura (controllo delle infestanti, gestione dei residui colturali, distribuzione dei fertilizzanti, semina delle colture e terminazione delle colture di copertura).

Le principali macchine acquistate ed utilizzate all'interno del progetto AGRIBIOCONS sono state:

DECOMPATTATORE COMBILOW CON LAMA TCS 550 SILVER



Figura 9: Decompattatore Combiplow con lama TCS 550 SILVER, utilizzato per la lavorazione principale nel periodo estivo in condizioni di tempera del suolo. La particolare conformazione delle lame permette una fenditura verticale senza alterare la disposizione degli orizzonti di suolo. Società Agricola Biologica Fileni, Falconara Marittima (AN), annata agraria 2019/2020.

STRIGLIATORE PESANTE TURBOMULCH

per la gestione dei residui colturali e delle infestanti.



Figura 10: Strigliatore pesante Turbomulch utilizzato per la gestione dei residui colturali in fase di post-raccolta, per la devitalizzazione della flora spontanea e per affinare il suolo in fase di presemina. Società agricola Tenuta di Tavignano, Cingoli (MC), 07/04/2020.

SEMINATRICE PNEUMATICA AD ANCORE

AS-UST450 (Under Surface Seeding Technology), per la semina diretta e il diserbo meccanico ad opera delle alette.



Figura 11: Seminatrice pneumatica ad ancore AS-UST450. Le ancore brevettate garantiscono sia la corretta deposizione del seme nel suolo, senza metterlo a contatto con i residui colturali, sia l'efficace azione di diserbo meccanico. Società Agricola Biologica Fileni, Falconara Marittima (AN), 28/11/2020.

SEMINATRICE DA SODO MONOGERME

con elemento assolcatore a disco, dotata di Kit accessori (dischi frontali taglia e spargi residuo). Le accortezze tecniche adottate, prima del disco di semina, permettono la corretta deposizione del seme al suolo in presenza di abbondanti residui colturali in superficie.



Figura 12: Seminatrice monogerme dotata di Kit accessori per la semina diretta del sorgo dopo la devitalizzazione delle colture di copertura (miscuglio: senape bianca, orzo, favino). Azienda agricola F.lli Bucci, Serra de' Conti (AN), 03/06/2019.

ROLLER CRIMPER CON ATTACCO FRONTALE

se dotato di coltelli aggiuntivi, applicati sulle lame orizzontali, può essere usato per la trinciatura delle colture di copertura o come trinciastocchi.



Figura 13: Roller crimper per la terminazione-allettamento della segale utilizzata come coltura di copertura. Società Agricola Biologica Fileni, Falconara Marittima (AN), 18/05/2022.

Con l'impiego di tali macchine nei vari siti dimostrativi è stato possibile constatare come la miglior efficienza ed efficacia sia stata raggiunta nelle aziende con giacitura prevalentemente pianeggiante.

Al fine di sviluppare e realizzare attrezzature più adatte ai territori collinari, il partner ARCA srl Benefit ha avviato una collaborazione con l'azienda agromeccanica Angeloni srl. Ad oggi, sulla base dell'esperienza maturata all'interno del progetto AGRIBIOCONS, sono stati realizzati **tre prototipi agromeccanici** adatti a soddisfare i bisogni dell'agricoltura biologica conservativa su suoli dalle tessiture fini, tipici della fascia medio collinare marchigiana.

2.6 Le criticità dell'agricoltura bio-conservativa

L'agricoltura bio-conservativa, nonostante i numerosi aspetti positivi, presenta ancora delle difficoltà operative e gestionali che potrebbero disincentivare la sua adozione. Gli ostacoli e le sfide maggiori sono il **controllo dei residui colturali e delle infestanti** e l'adozione di una **adeguata meccanizzazione** per limitare il disturbo al suolo. Queste problematiche sono condivise da molte aziende agricole europee, nelle quali è predisposto l'utilizzo delle colture di copertura con il minimo disturbo al suolo (Vincent-Caboud et al., 2017). In questo senso, un implemento della ricerca in ambito meccanico ed agronomico potrebbe convertire quelle che ora sono difficoltà in grandi opportunità di miglioramento.

2.6.1 La gestione dei residui colturali

La gestione dei residui colturali è un punto cruciale per la buona riuscita della tecnica conservativa e inizia con la raccolta della coltura stessa. I residui colturali in superficie devono essere uniformemente distribuiti al fine di agevolare la corretta deposizione del seme nel suolo e massimizzare i benefici agroecologici (Flerchinger et al., 2003; Ranaivoson et al., 2017), i cui più importanti sono:

- riduzione dell'erosione idrica superficiale, miglioramento della struttura ed aumento dell'infiltrazione;
- riduzione dell'evaporazione dell'acqua dal suolo;
- protezione del suolo dalle alte temperature diurne estive;
- riduzione della mineralizzazione della sostanza organica del suolo;
- stimolo della fauna edafica (lombrichi, insetti) e dei microrganismi;
- effetto allelopatico sui semi delle infestanti e stimolo alla loro predazione e devitalizzazione.

Con una distribuzione disforme si accentuano i problemi di ingolfamento nelle successive operazioni meccaniche, soprattutto al momento della semina, in quanto la profondità di inserimento del seme potrebbe essere irregolare e il seme potrebbe incontrare difficoltà ad emergere per ostruzione fisica e per intrusione di parassiti (limacce, nottue) e patogeni. Una corretta gestione deve perciò garantire la distribuzione omogenea dei residui su tutta la superficie, in modo da favorire un'efficiente e completa degradazione della materia organica vegetale (Figura 14).



Figura 14: Confronto tra suolo arato nella gestione con metodo biologico tradizionale (a destra) e suolo pacciamato con i residui colturali nella gestione biologico conservativa (a sinistra). Società agricola Tenuta di Tavignano, Cingoli (MC), 07/09/2019, annata colturale 2019/2020.

Il modo più efficace ed economico per garantire una distribuzione omogenea dei residui colturali è utilizzare mietitrebbie dotate di trinciapaglia o trinciastocchi e sistemi di spargimento che distribuiscono i residui grossolani (es. paglie) e fini (es. pula) in modo uniforme lungo la larghezza della barra di raccolta. Questi dispositivi, per funzionare al meglio, devono essere opportunamente regolati in base alle caratteristiche dell'appezzamento (pendenza e morfologia). In mancanza di questi dispositivi di spargimento è possibile ridurre la quantità di residui accumulati al suolo aumentando l'altezza di taglio.

Inoltre, per favorire la loro degradazione, è opportuno imbrattare i residui colturali in superficie con le particelle di suolo. A tal proposito, gli erpici a molle (strigliatori pesanti con diametro del dente di 16-18 mm) hanno il vantaggio di lasciare i residui in superficie e ridistribuirli in maniera omogenea (Figura 15).



Figura 15: Residui colturali della coltura da reddito (frumento tenero) distribuiti omogeneamente sulla superficie del suolo dopo il passaggio dello strigliatore pesante. Società agricola Terre Verdi, Apiro (MC), 22/07/2019, annata colturale 2019/2020.

2.6.2 Il compattamento del suolo

Il compattamento è una condizione di compressione del suolo che in ambiente agrario viene causato principalmente dall'**eccessivo peso del macchinario e/o dai ripetuti passaggi** per effettuare le operazioni colturali. Il compattamento implica destrutturazione, riduzione della porosità, alterazione dei processi fisici, chimici e biologici, interruzione della profondità di radicamento potenziale delle piante e quindi una possibile riduzione dell'accrescimento della pianta, che si ripercuote nelle produzioni (Costantini e Lorenzetti, 2013; Shah et al., 2017).

Fattori determinanti la capacità di un suolo di sostenere pressioni verticali sono la **tessitura, la struttura e l'umidità** (Nawaz et al., 2013). **Il rischio di compattazione è maggiore in suoli con tessiture fini, limose e/o argillose**, a causa dell'elevata plasticità (capacità del suolo di prendere una forma e di mantenerla anche quando cessa la forza che l'ha determinata), che si manifesta all'aumentare dell'umidità. Il suolo con tessiture fini ha una porosità prevalentemente costituita da pori di piccole dimensioni ($\varnothing < 0,5$ mm), responsabili di trattenere l'acqua, di rallentarne la percolazione e quindi di mantenere i suoli umidi per lunghi periodi. Le pratiche agronomiche e le lavorazioni, in presenza di queste caratteristiche intrinseche, rivestono un ruolo fondamentale perché possono contribuire alla destrutturazione e compattazione o garantire il mantenimento e/o il miglioramento della struttura. Una **buona struttura del suolo** è costituita da aggregati stabili di piccole e medie dimensioni e da una porosità omogeneamente ripartita tra **macro** (pori con diametro $> 0,5$ mm) e **micro** (pori con diametro $< 0,5$ mm), responsabile della presenza e permanenza dei gas e dei liquidi nel suolo. Un parametro importante su cui intervenire per ridurre tale disturbo è la **pressione d'impronta al suolo dello pneumatico** (kg/cm^2). Il suggerimento è di usare in campo pneumatici di volume elevato a **bassa pressione e con fianchi molto flessibili** (Figura 16), tenendo presente che il compattamento superficiale dipende dalla pressione di impronta dello pneumatico, mentre quello profondo è strettamente legato alla massa del complesso trattore-attrezzatura e dal tasso di umidità del suolo (Figura 17). Anche le colture di copertura sono in grado di mitigare parzialmente il fenomeno della compattazione, in quanto costituiscono una "barriera" tra la goccia d'acqua e la superficie del suolo. Riducono, infatti, la forza

dell'impatto e quindi l'effetto erosivo, dilatano il tempo di infiltrazione dell'acqua e diminuiscono il volume di acqua che raggiunge il suolo per unità di tempo. Le colture di copertura, se trinciate e lasciate decomporre, vanno ad aumentare il contenuto di materia organica, agente coadiuvante della buona strutturazione del suolo (Roberson et al., 1991; Ding et al., 2006; Abad et al., 2023).

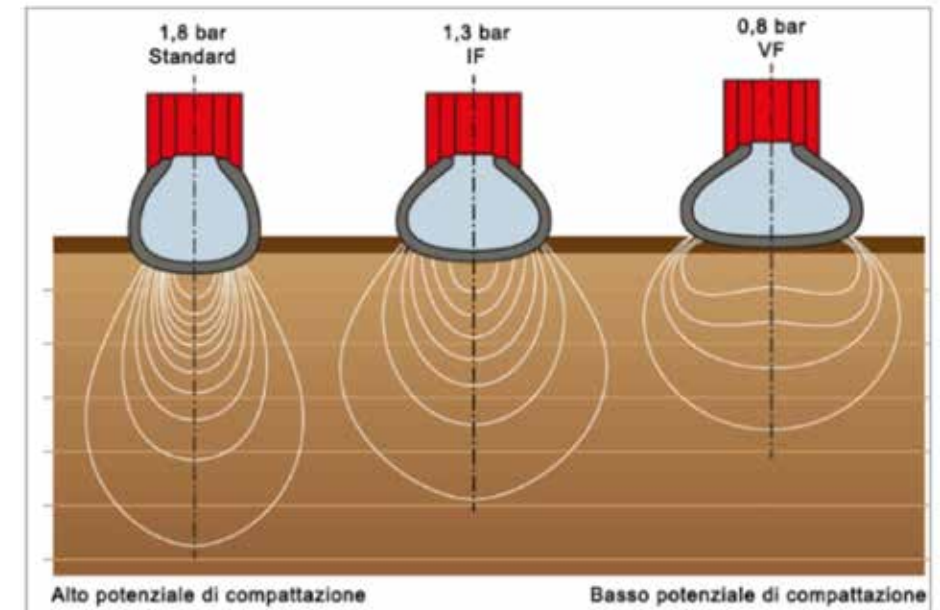


Figura 16: Potenziale di compattazione e profondità a cui si propaga la pressione in funzione del gonfiaggio dello pneumatico.

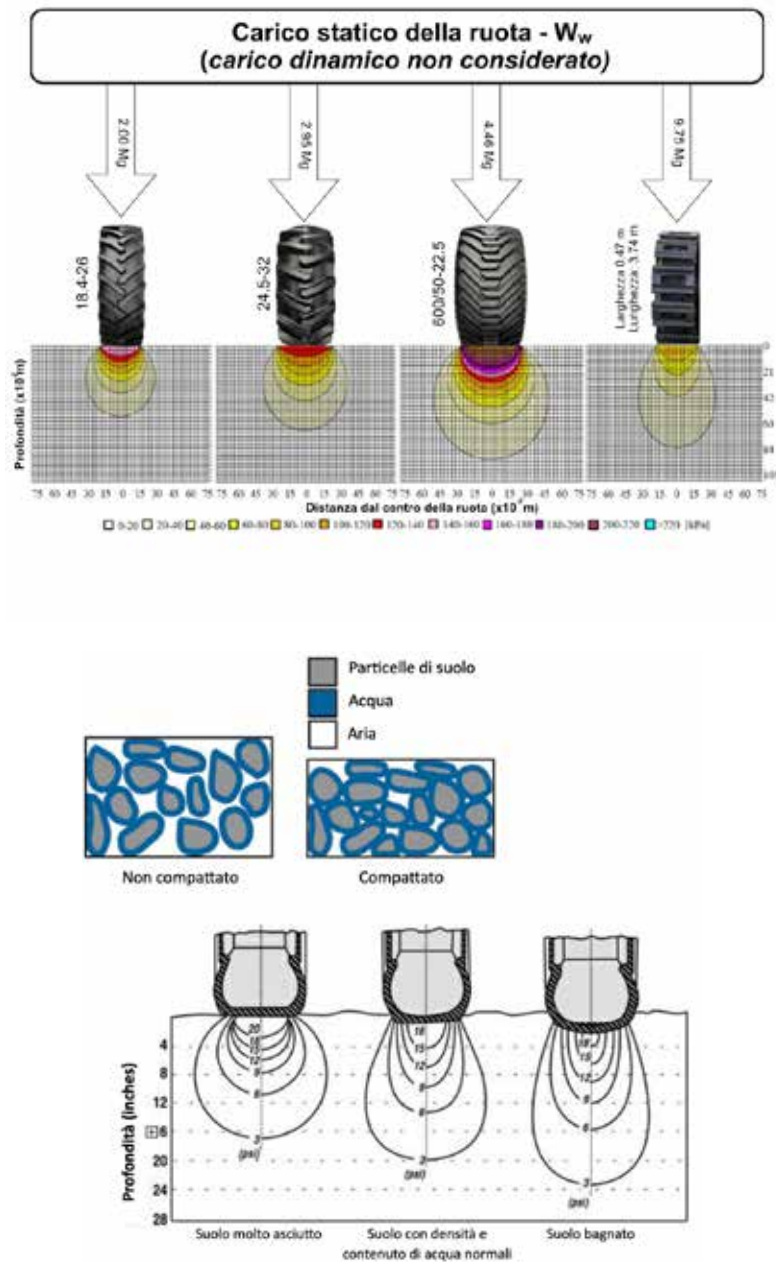


Figura 17: Sopra: Intensità e propagazione del compattamento del suolo in funzione del carico statico dello pneumatico e della tipologia di macchinario utilizzato (da Silva Guimarães Júnnyor, 2019). Sotto: Propagazione e pressione della macchina in relazione all'umidità del suolo (Baboo, 2016).

2.6.3 La gestione della flora infestante

Nei sistemi di agricoltura biologica, le tecniche di agricoltura conservativa faticano a diffondersi in quanto le lavorazioni vengono tradizionalmente impiegate come valida alternativa al diserbo. La maggiore difficoltà nella gestione della flora infestante rappresenta perciò un ostacolo per l'applicazione delle tecniche di minima lavorazione o non lavorazione (Anderson, 2015). L'approccio olistico che caratterizza l'agricoltura biologica è fondamentale nella gestione della flora infestante. Infatti, nell'agricoltura conservativa, il controllo della vegetazione spontanea avviene grazie ad una serie di accorgimenti che coinvolgono tutti i fattori del sistema (Bàrberi, 2002; Chauhan et al., 2012). In particolare, occorre considerare e porre attenzione nella gestione dei seguenti aspetti:

- **Prevenzione.** Le specie infestanti, una volta stabilizzate, sono più difficili da gestire. Occorre pertanto evitare, innanzitutto, l'insediamento di nuove specie, utilizzando seminatrici e macchine pulite ed impiegando seme certificato esente da impurità. Un'altra azione fondamentale è la corretta gestione delle capezze e delle aree limitrofe al campo, che andrebbero sfalciate periodicamente per evitare la propagazione della vegetazione e limitare così la dimensione della banca semi.
- **Accorgimenti in fase di semina.** Un metodo molto utile per l'inattivazione dei semi nei sistemi biologici riguarda la falsa semina: ovvero la preparazione anticipata del letto di semina che, in presenza di adeguate condizioni di umidità, stimola l'emergenza delle plantule della flora spontanea facilmente estirpabili in prossimità della semina vera e propria. Inoltre, la giusta scelta del periodo di semina è fondamentale per influenzare l'emergenza della coltura, in quanto una pronta e corretta emergenza si traduce in una coltura più competitiva nei confronti della flora infestante.
- **Scelta delle macchine operatrici.** Gli attrezzi mossi dalla presa di potenza (es. erpici rotanti e fresatrici) producono una minor zollosità rispetto ad altri tipi di erpici (es. vibrocoltivatore), favorendo l'emergenza delle monocotiledoni infestanti e causando una maggior frammentazione ed interrimento dei propaguli delle specie a riproduzione vegetativa.

- **Gestione del residuo.** I residui colturali, se lasciati in superficie, potrebbero ostacolare l'emergenza delle specie erbacee spontanee. La semina su sodo, effettuata spostando il residuo colturale dalla striscia di semina, permette pertanto di sfruttare al massimo l'azione pacciante dei residui stessi.
- **Rotazione delle colture e diversificazione.** L'avvicendamento colturale apporta benefici per la gestione della flora spontanea, in quanto le colture (da reddito e/o di copertura) potrebbero sottrarre elementi nutritivi, avere uno sviluppo più rapido e formare uno strato coprente/pacciante in superficie così da ostacolare la germinazione delle altre specie.
- **Consociazione.** La consociazione di specie a breve ciclo e a rapido accrescimento, come la senape bianca, con specie a ciclo più lungo consente di coprire il suolo in poco tempo e per un periodo prolungato. L'ombreggiamento permanente e rapido non consente alle infestanti di competere con le specie coltivate.
- **Fertilizzazione.** L'apporto di nutrienti alla coltura principale è in grado di influenzare la vegetazione spontanea. Un fattore importante è rappresentato dalla disponibilità degli elementi nutritivi: i fertilizzanti organici, caratterizzati da un elevato rapporto carbonio/azoto (C/N), rilasciano gli elementi in un arco di tempo maggiore. Nel caso del letame è necessario assicurarsi che sia ben compostato, per limitare il pericolo di diffusione di semi vitali in esso contenuti.

3 Tecniche per la valutazione del suolo

Con l'obiettivo di rendere l'agricoltura biologica conservativa ancor più sostenibile, il progetto ha posto particolare attenzione al monitoraggio e alla valutazione delle caratteristiche del suolo, in quanto risorsa fondamentale da preservare e rigenerare.

La valutazione del suolo è stata effettuata costantemente per tutta la durata del progetto AGRIBIOCONS, in tutte le aziende aderenti, seguendo due metodologie principali: la **descrizione morfologica e il campionamento, applicando un approccio pedologico, e la valutazione visiva del suolo** (Visual Soil Assessment – VSA), cui è stata abbinata la **valutazione visiva della pianta** (Visual Plant Assessment – VPA).

La prima metodologia permette di studiare e valutare i suoli in maniera dettagliata, per comprendere lo **status di partenza e i cambiamenti che hanno subito nel tempo.**

Come prima operazione, viene aperto un numero rappresentativo di buche (profili), dalle quali si osserva l'organizzazione degli strati del suolo (orizzonti) e si effettuano valutazioni visive e pratiche per determinarne la morfologia, la quale comprende la profondità, lo spessore, il colore, la struttura, la distribuzione delle radici, la presenza di discromie e altri indicatori (Figura 18).



Figura 18: Profili di suolo allestiti con fettuccia metrica e chiodini per delimitare gli orizzonti, aperti nella parte nell'appezzamento gestita con metodo biologico tradizionale (a sinistra) e biologico conservativo (a destra) a fine ciclo colturale del favino. Società agricola LOV, Sant'Urbano - Apiro (MC). Annata agraria 2020/2021.

Ciò permette di **identificare i processi e le alterazioni** che hanno interessato il suolo e la loro **profondità**. Ad esempio, l'alterazione causata dal **passaggio delle macchine agricole** può essere rilevata attraverso la valutazione del **grado di strutturazione del suolo**, l'osservazione della **presenza o meno della suola** di lavorazione e/o orizzonti induriti e dell'accumulo di **sostanza organica** in superficie.

Successivamente, per ciascun orizzonte si preleva un campione di suolo e si misurano in laboratorio le proprietà fisico-chimiche ritenute necessarie, come la tessitura (contenuto di sabbia, limo ed argilla), il pH, il contenuto di carbonio organico, di azoto totale e di fosforo disponibile.

Questo approccio necessita di basi conoscitive approfondite e tecniche specifiche; pertanto, risulta più dispendioso in termini di tempo, costi ed energie e può essere applicato solo da professionisti ed esperti.

La seconda valutazione ha invece reso possibile un monitoraggio più rapido e frequente, con l'attribuzione di classi qualitative ai suoli esaminati. La **valutazione visiva del suolo** (VSA), infatti, è una procedura di indagine del suolo semplice e per questo utilizzabile da tutti, promossa dalla FAO

(Food and Agriculture Organization) a livello globale. La VSA si basa sulla valutazione visiva di alcuni **"stati" chiave del suolo** e come indicatori della qualità del suolo, presentati in una tabella a punteggio. Ad eccezione della tessitura, gli altri indicatori sono dinamici, cioè capaci di cambiare a seconda delle scelte gestionali e delle pressioni antropiche cui il suolo è sottoposto. Essendo sensibili ai cambiamenti, questi indicatori sono utili a registrare la condizione variabile del suolo e perciò rappresentano un **effettivo strumento di monitoraggio**.

La FAO rende disponibili online 10 guide per poter effettuare questo tipo di valutazione in relazione a colture di interesse globale, nella fattispecie il frumento, il mais, le colture annuali generiche, gli oliveti, gli agrumeti, i vigneti e i pascoli (FAO, 2008). I parametri del suolo maggiormente presi in considerazione sono: la tessitura, la struttura, la porosità, il colore, il numero e colore delle screziature, i lombrichi, l'approfondimento radicale potenziale, i ristagni superficiali, l'odore, le croste superficiali, la copertura del suolo e l'erosione idrica/eolica. L'operatore, dopo aver prelevato un cubetto di suolo dalle dimensioni della lama di una pala (circa 20 cm³) (Figura 19) su cui effettuerà la valutazione, verifica manualmente e/o visivamente lo status dei parametri sopraelencati e attribuisce loro un punteggio (2=buono; 1=mediocre; 0=scarso; nella scheda nominato come *Visual Score VS*), attenendosi alle indicazioni fornite dalla guida. Tale punteggio è flessibile e l'operatore può attribuire valori decimali (es. 0,5; 1,5) qualora il campione mostri caratteristiche intermedie rispetto a quelle proposte dalla guida.



Figura 19: Cubetto di suolo prelevato con la pala e corrispettiva scheda VSA utilizzata per la valutazione.

Il punteggio visivo va poi moltiplicato per dei fattori (0, 1 e 2), nominati *Weighting* nella scheda (Figura 20), che differiscono a seconda della coltura esaminata, poiché alcuni parametri del suolo potrebbero essere più importanti di altri nella valutazione della qualità. Ad esempio, l'approfondimento potenziale delle radici e la presenza di condizioni di saturazione idrica sono aspetti più importanti per le colture con apparato radicale profondo. La somma dei prodotti ottenuti restituisce un numero (Indice di Qualità del Suolo o *Soil Quality Index*) che caratterizza il suolo come qualitativamente scarso, medio o buono per la coltura scelta (Figura 20).

FIGURE 1 Soil scorecard – visual indicators for assessing soil quality in annual crops

Landowner: Azienda agricola Fileni Land use: Frumento tenero BIO
 Site location: Falconara Marittima GPS ref:
 Sample depth: 20 cm Date: 21/06/2021
 Soil type: Soil classification:
 Drainage class:

Textural group (upper 1 m): Sandy Loamy Silty Clayey Other
 Moisture condition: Dry Slightly moist Moist Very moist Wet
 Seasonal weather conditions: Dry Wet Cold Warm Average

Visual indicators of soil quality	Visual score (VS) 0 = Poor condition 1 = Moderate condition 2 = Good condition	Weighting	VS ranking
Soil texture <small>pp. 2</small>	1	x 3	3
Soil structure <small>pp. 4</small>	0,5	x 3	1,5
Soil porosity <small>pp. 4</small>	0,5	x 3	1,5
Soil colour <small>pp. 4</small>	1	x 2	2
Number and colour of soil mottles <small>pp. 10</small>	2	x 2	4
Earthworms (Number =) (Av. size =) <small>pp. 12</small>	0	x 3	0
Potential rooting depth (m) <small>pp. 14</small>	2	x 3	6
Surface ponding <small>pp. 18</small>	2	x 1	2
Surface crusting and surface cover <small>pp. 20</small>	1	x 2	2
Soil erosion (wind/water) <small>pp. 22</small>	2	x 2	4
SOIL QUALITY INDEX (sum of VS rankings)			26

Soil Quality Assessment	Soil Quality Index
Poor	< 15
Moderate	15–30
Good	> 30

Figura 20: Esempio di scheda VSA compilata, effettuata nell'azienda agricola Fileni a fine ciclo colturale 2020/2021 del frumento tenero nella gestione biologica tradizionale. Il suolo, valutato con un indice qualitativo di 26, rientrerebbe nella classe qualitativa "moderate" (moderata).

A complemento della VSA, la **valutazione visiva della pianta (VPA)** permette di attestare in maniera speditiva lo stato di **qualità della pianta**, poiché la sua salute è fortemente **condizionata dallo status** e dalla vocazionalità del **suolo**. La VPA è strutturata come la VSA, ovvero propone dei parametri osservabili che variano a seconda della coltura, a cui va attribuito un punteggio. I parametri valutabili sono l'assetto colturale, il colore della foglia, la variabilità della pianta lungo le fila, lo sviluppo radicale e la presenza di malattie, l'altezza della pianta a maturità, ecc.

FIGURE 3 Plant scorecard – visual indicators for assessing plant performance in wheat

Visual indicators of plant performance	Visual score (VS) 0 = Poor condition 1 = Moderate condition 2 = Good condition	Weighting	VS ranking
Crop establishment	pg. 28	x.2	
Tillering	pg. 28	x.3	
Leaf colour	pg. 30	x.3	
Variability of crop performance along the row	pg. 34	x.3	
Root development	pg. 36	x.3	
Root diseases	pg. 38	x.2	
Crop growth & height at maturity	pg. 40	x.2	
Kernel size	pg. 42	x.2	
Crop yield	pg. 44	x.3	
Production costs	pg. 46	x.1	
PLANT QUALITY INDEX (sum of VS rankings)			

Plant Quality Assessment	Plant Quality Index
Poor	< 15
Moderate	15-30
Good	> 30

SUMMARY

Comparison of soil & plant scores: Do the soil and plant scores differ? If so, why?

Soil indicators	Plant indicators

Notes:

Land use management & history:

Total available water-holding capacity:

Figura 21: Esempio di scheda VPA non compilata.

Grazie a questo tipo di valutazioni speditive, nell'ambito del progetto AGRIBIOCONS è stato possibile comprendere quali sono le colture più indicate per i suoli esaminati e quali sono le caratteristiche del suolo che possono favorire l'accrescimento ottimale della pianta.

Dai risultati ottenuti nei tre anni di sperimentazione, **il frumento tenero ed il favino** sono risultate essere le colture con l'**indice qualitativo migliore** (da medio a buono), nonostante il suolo sia stato valutato ed incluso nella classe qualitativa media. Risultati meno positivi sono stati riscontrati per il girasole ed il sorgo, che sono rientrati quasi sempre nella classe media di valutazione. Tali differenze sono attribuibili principalmente alle caratteristiche morfologiche e fisiologiche della pianta, in grado di adattarsi più o meno bene ai fattori pedoclimatici.

Grazie al prelievo del cubetto di suolo è possibile, inoltre, osservare gli effetti che le lavorazioni meccaniche hanno sulla struttura e porosità del suolo sulla formazione di un orizzonte indurito (Figura 22).

Nell'ambito del progetto AGRIBIOCONS, ad esempio, nel primo anno di prove l'utilizzo di un decompattatore non adeguato alle caratteristiche morfologiche medie dei suoli collinari marchigiani (tessiture fini limoso/argillose) ha portato ad una compattazione eccessiva del suolo, con evidenti strutture lamellari e suole di lavorazione.



Figura 22: Orizzonte compattato dalle lavorazioni del suolo coltivato a favino nella gestione biologica tradizionale. Società agricola LOV, Sant'Urbano - Apero (MC). Annata agraria 2020/2021.

4 Conclusioni

Le sperimentazioni triennali del progetto AGRIBIOCONS hanno permesso di dimostrare l'applicabilità del sistema agricolo biologico conservativo sui suoli della Regione Marche, mettendone in luce **le potenzialità e i limiti**.

Le colture di copertura, combinate con una gestione conservativa del suolo, hanno infatti esercitato un **efficace controllo dei fenomeni erosivi superficiali** e favorito **l'apporto di sostanza organica** al suolo, sebbene i benefici in termini di miglioramento della fertilità fisica, chimica e biologica non siano riscontrabili nel breve periodo, poiché la rigenerazione del suolo avviene lentamente e solo se le pratiche migliorative vengono applicate costantemente nel tempo.

Parallelamente, l'introduzione delle colture di copertura ha generato maggiori costi colturali, senza determinare differenti rese produttive, impattando negativamente sul profitto iniziale delle aziende agricole. Tali costi aggiuntivi sono stati in parte attribuiti alla limitata esperienza iniziale nell'applicazione della gestione bio-conservativa e in parte alla ridotta disponibilità di soluzioni agro-meccaniche e tecnologiche adeguate disponibili sul mercato. Tuttavia, l'attenta pianificazione colturale, la tempestività d'intervento e il corretto uso di macchine idonee potrebbero abbattere significativamente i costi colturali (soprattutto nella gestione delle colture di copertura), a beneficio del suolo e del reddito dell'agricoltore.

Un sostegno alla diffusione delle pratiche conservative all'interno di aziende agricole biologiche è del resto concesso anche dalla stessa Regione Marche, che, attraverso la Programmazione di Sviluppo Rurale 2023-2027, prevede incentivi per l'adozione di tecniche di minima lavorazione dei suoli, l'impiego delle colture di copertura e, più in generale, la transizione verso l'agroecologia e sistemi agroalimentari sostenibili, rispettosi dell'ambiente e a ridotto impatto climatico. Gli agricoltori hanno anche la possibilità di partecipare a percorsi formativi, informativi e di consulenza, al fine di accrescere le proprie conoscenze e competenze a supporto dell'adozione di tali sistemi produttivi.

Le pratiche agricole biologico conservative offrono inoltre agli agricoltori la prospettiva di vedersi riconosciuto un reddito maggiore all'interno di

filiere organizzate, capaci di collocare sul mercato, attraverso appropriate strategie commerciali, prodotti agroalimentari di eccellenza dal rinnovato valore intrinseco, di tipo sociale ed ambientale.

L'auspicio è dunque quello di diffondere il più possibile, anche e soprattutto presso i consumatori, le conoscenze relative ai benefici ecologici generati dal sistema produttivo biologico conservativo, favorendo la valorizzazione economica delle produzioni agricole ed il riconoscimento del ruolo dell'agricoltore non solo come mero produttore di beni primari, ma anche come fornitore di servizi ecosistemici integrati alla gestione del territorio, a favore dell'intero ambiente e della comunità.

Bibliografia

- Abad F.J., Marín D., Imbert B., Virto I., Garbisu C., Santesteban L.G., 2023. Under-vine cover crops: Impact on physical and biological soil properties in an irrigated Mediterranean vineyard. *Scientia Horticulturae*, 311:111797. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111797>
- Albarracín Orio A.G., Brücher E., Ducasse D.A., 2016. Switching between monocot and dicot crops in rotation schemes of Argentinean productive fields results in an increment of arbuscular mycorrhizal fungi diversity. *Applied Soil Ecology*, 98:121-131. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.004>
- Alcántara C., Pujadas A., Saavedra M., 2011. Management of cruciferous cover crops by mowing for soil and water conservation in southern Spain. *Agricultural Water Management*, 98:1071-1080. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.016>
- Alcon F., Marín-Miñano C., Zabala J.A., de-Miguel M.-D., Martínez-Paz J.M., 2020. Valuing diversification benefits through intercropping in Mediterranean agroecosystems: A choice experiment approach. *Ecological Economics*, 171:106593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106593>
- Anh Hoang T., Nachtergaele F., Chiozza F., Ziadat, F., 2022. Land suitability for crop production in the future: SOLAW21 Technical background report. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0878en>
- Baboo P., 2016. Re: How to reduce the compaction and soil erosion by reduced tillage?. Disponibile: https://www.researchgate.net/post/How_to_reduce_the_compaction_and_soil_erosion_by_reduced_tillage/57b469d3217e2076425fbbbf/citation/download.
- Bàrberi, P. (2002). Weed management in organic agriculture: Are we addressing the right issues? *Weed Research*, 42(3), 177–193. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x>
- Biodiversity information system for Europe. Agroecosystems. A cura della Commissione Europea in collaborazione con l'Agenzia Ambientale Europea. Disponibile al sito: <https://biodiversity.europa.eu/ecosystems/agroecosystems>
- Blanco-Canqui H., Jasa P.J., 2019. Do Grass and Legume Cover Crops Improve Soil Properties in the Long Term?. *Soil Science Society of America Journal*, 83:1181-1187. <https://doi.org/10.2136/sssaj2019.02.0055>
- Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W. F., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., et al. (2015). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytol.* 206, 107–117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>
- Borrelli P., Paustian K., Panagos P., Jones A., Schütt B., Lugato E., 2016. Effect of good agricultural and environmental conditions on erosion and soil organic carbon balance: A national case study. *Land use policy* 50, 408–421. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.09.033>
- Cadillon A., 2013. Colture di copertura in agricoltura biologica, caratteristiche delle specie. Institut Technique de l'agriculture Biologique.
- Chauhan, B. S., Singh, R. G., & Mahajan, G. (2012). Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. *Crop Protection*, 38, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.03.010>
- Che T., Xu Y., Li Y., Wei Z., Zang X., Zhang X., Xiao Z., Hu F., Jiao J., Zhang X., Xu L., Zhao Q., 2022. Mixed planting reduces the shaping ability of legume cover crop on soil microbial community structure. *Applied Soil Ecology*, 178:104581. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104581>
- Costantini E.A.C., Lorenzetti R., 2013. Soil degradation processes in the Italian agricultural and forest ecosystems. *Italian Journal of Agronomy*, 8:e28.
- Couédel A., Alletto L., Kirkegaard J., Justes É., 2018a. Crucifer glucosinolate production in legume-crucifer cover crop mixtures. *European Journal of Agronomy*, 96:22-33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.02.007>
- Couédel A., Alletto L., Tribouillois H., Justes É., 2018b. Cover crop crucifer-legume mixtures provide effective nitrate catch crop and nitrogen green manure ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 254:50-59. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.017>
- da Silva Guimarães Júnnyor W., Diserens E., De Maria I.C., Araujo-Junior C.F., Vieira Farhate C.V., Menezes de Souza Z., 2019. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. *Science of The Total Environment*, 681:424-434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.009>
- Ding G., Liu X., Herbert S., Novak J., Amarasiriwardena D., Xing B., 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma*, 130(3-4):229-239. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.01.019>
- Edwards L., Burney J., 2005. Cover crop. In *Encyclopedia of Soils in the Environment*, Hillel D. (ed.), Elsevier, pp. 311-318. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00252-6>
- FAO, 2008. Visual Soil Assessment Field Guides (VSA). Disponibile al sito: <https://www.fao.org/3/i0007e/i0007e00.htm>
- FAO, 2022. Agricoltura conservativa. Disponibile al sito: <https://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>
- Ferrara C., Barone P.M., Salvati L., 2015. Towards a socioeconomic profile for areas vulnerable to soil compaction? A case study in a Mediterranean country. *Geoderma*, 247–248: 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.02.007>

FiBL (Research Institute of Organic Agriculture) & AIAB (Associazione Italiana Agricoltura Biologica), 2018. I fondamenti della fertilità del terreno. Stabilire la nostra relazione con il terreno. Pubblicato da:

Flerchinger G.N., Sauer T.J., Aiken R.A., 2003. Effects of crop residue cover and architecture on heat and water transfer at the soil surface. *Geoderma*, 116:217-233. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00102-2)

Garland G., Edlinger A., Banerjee S., Degruno F., García-Palacios P., Pescador D.S., Herzog C., Romdhane S., Saghai A., Spor A., Wagg C., Hallin S., Maestre F.T., Philippot L., Rillig M.C., van der Heijden M.G.A., 2021. Crop cover is more important than rotational diversity for soil multifunctionality and cereal yields in European cropping systems. *Nature Food* 2, 28–37. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00210-8>

Gliessman S.R., 2004. Agroecology and Agroecosystems. In *Agroecosystems Analysis*, (eds R. Diane and C. Francis). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr43.c2>

Hoorman J.J., 2009. Using Cover Crops to Improve Soil and Water Quality. In: Fact sheet, Agriculture and Natural Resources, The Ohio State University Extension.

Lal R., Regnier E., Eckert D.J., Edwards W.M., Hammond R., 1991. Expectations of cover crops for sustainable agriculture. *Cover crops for clean water, soil water conservation society*, Ankeny, IA.

Lehnhoff E., Miller Z., Miller P., Johnson S., Scott T., Hatfield P., Menalled F., 2017. Organic agriculture and the quest for the holy grail in water-limited ecosystems: managing weeds and reducing tillage intensity. *Agriculture* 7, 33. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040033>

Marraccini E., Debolini M., Di Bene C., Rapey H., Bonari E., 2012. Factors affecting soil organic matter conservation in Mediterranean hillside winter cereals-legumes cropping systems. *Italian Journal of Agronomy* 7, 283–292. <https://doi.org/10.4081/ija.2012.e38>

Nawaz M.F., Bourrié G., Trolard F., 2013. Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33:291-309.

Nunes M.R., van Es H.M., Schindelbeck R., Ristow A.J., Ryan M., 2018. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma* 328, 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.031>

Osservatorio regionale dei suoli regione Marche. Disponibile al sito: <http://suoli.regione.marche.it/ServiziInformativi/ErosionedelSuolo.aspx>

Panagos P., Standardi G., Borrelli P., Lugato E., Montanarella L., Bosello F., 2018. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: from direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degradation & Development* 29, 471–484. <https://doi.org/10.1002/ldr.2879>

Pittelkow C.M., Liang X., Linquist B.A., van Groenigen L.J., Lee J., Lundy M.E., van Gestel N., Six J., Venterea R.T., van Kessel C., 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature* 517, 365–368. <https://doi.org/10.1038/nature13809>

Ploeg J.D. van der, 2021. The political economy of agroecology. *The journal of peasant studies*, 48:274-297.

Quintarelli V., Radicetti E., Allevato E., Stazi S.R., Haider G., Abideen Z., Bibi S., Jamal A., Mancinelli R., 2022. Cover crops for sustainable cropping systems: A review. *Agriculture*, 12(12):2076. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122076>.

Ranaivoson L., Naudin K., Ripoche A., Affholder F., Rabeharisoa L., Corbeels M., 2017. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37, 26. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0432-z>

Ranells N.N., Waggoner M.G., 1997. Grass-legume bicultures as winter annual cover crops. *Agronomy Journal*, 89:659-665. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900040019x>.

Rasmussen L.V., Fold N., Skov Olesen R., Shackleton S., 2021. Socio-economic outcomes of ecological infrastructure investments. *Ecosystem Services*, 47:101242. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101242>.

Roberson E.B., Firestone M.K., Sarig S., 1991. Cover crop management of polysaccharide-mediated aggregation in an orchard soil. *Soil Science Society of America Journal*, 55:734-739. <https://doi.org/10.2136/sssaj1991.03615995005500030016x>

Rosas-Ramos N., Baños-Picón L., Tobajas E., Paz V.d., Tormos J., Asís J.D., 2018. Value of ecological infrastructure diversity in the maintenance of spider assemblages: A case study of Mediterranean vineyard agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265:244-253. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.026>.

Rosas-Ramos N., Baños-Picón L., Trivellone V., Moretti M., Tormos J., Asís J.D., 2019. Ecological infrastructures across Mediterranean agroecosystems: Towards an effective tool for evaluating their ecological quality. *Agricultural Systems*, 173:355-363. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.017>.

Rusco E., Montanarella L., Tiberi M., Rossini L., Ricci P., Ciabocco G., Budini A., Bernacconi C., 2007. Implementazione a livello regionale della proposta di direttiva quadro sui suoli in Europa.

Shah A.N., Tanveer M., Shahzad B., Yang G., Fahad S., Ali S., Bukhari M.A., Tung S.A., Hafeez A., Souliyanonh B., 2017. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*, 24:10056-10067.

Snapp S.S., Swinton S.M., Labarta R., Mutch D., Black J.R., Leep R., Nyiraneza J., O'Neil K., 2005. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within cropping system niches. *Agronomy Journal* 97:322-332. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0322a>

Soil4Life. Progetto LIFE, finanziato dalla Commissione Europea. Disponibile al sito: <https://soil4life.eu/en/degrado-del-suolo/>

Tavoletti S and Merletti A (2022) A Comprehensive Approach to Evaluate Durum Wheat–Faba Bean Mixed Crop Performance. *Front. Plant Sci.* 13:733116. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.733116>

USDA-SARE (U.S. Department of Agriculture – Sustainable Agriculture Research and Education), 2012. Managing Cover Crops Profitability. Handbook Series Book 9. Pubblicato da “Sustainable Agriculture Network”, Beltsville, MD.

Vincent-Caboud L., Peigné J., Casagrande M., Silva E.M., 2017. Overview of organic cover crop-based no-tillage technique in Europe: Farmers’ practices and research challenges. *Agriculture* 7, 42. <https://doi.org/10.3390/agriculture7050042>

Vulcano G., Gallo G., 2019. Tutelare l’agrobiodiversità con le filiere alimentari corte, ecologiche e locali. ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Disponibile al sito: <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita/ispra-e-la-biodiversita/articoli/tutelare-l2019agrobiodiversita-con-le-filiere-alimentari-corte-ecologiche-e-locali>

Wallace J., Williams A., Liebert J., Ackroyd V., Vann R., Curran W., Keene C., van Gessel M., Ryan M., Mirsky S., 2017. Cover crop-based, organic rotational no-till corn and soybean production systems in the Mid-Atlantic United States. *Agriculture* 7, 34. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040034>

Weih, M., Karley, A. J., Newton, A. C., Kiær, L. P., Scherber, C., Rubiales, D., et al. (2021). Grain yield stability of cereal-legume intercrops is greater than sole crops in more productive conditions. *Agriculture* 11:255. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030255>

Redatto con i contributi di:

Simone Tiberi, Leonardo Tobia, Alessio Giampieri, Valentina Piselli, Francesca Carbonari, Martina Pirani (Arca Srl Benefit), Dominique Serrani, Stefania Cocco e Stefano Tavoletti (Università Politecnica delle Marche), Gemini Delle Vedove (Università di Udine), Stefano Bortolussi (AIAB - Friuli-Venezia Giulia) Alessandro Tramontano (Gruppo Fileni Alimentare Spa)

Hanno collaborato al progetto:

Capofila

Società Agricola Biologica Fileni S.r.l
(Alessandro Tramontano, Maurizio Riginelli, Luca Borioni)

Partner

Società Agricola Agri Blu di Zingaretti e Soci S.S. (Franco Fucili) AEA S.r.l (Luca Gasparrini, Gino Romiti, Riccardo Paci) Arca S.r.l Benefit (Simone Tiberi, Leonardo Tobia, Martina Pirani, Valentina Piselli, Francesca Carbonari, Gabriella Mazzetta, Lorenzo Romagnoli, Agnese Testadiferro) Università Politecnica delle Marche (Giuseppe Corti, Stefano Tavoletti, Stefania Cocco, Dominique Serrani, Valeria Cardelli, Lorenzo Camponi, Andrea Salvucci)

Consulenti esterni

Università di Udine – Ricercatore Dott. Agr. Gemini delle Vedove Dott. Agr. Stefano Bortolussi

Si ringraziano inoltre per la collaborazione:

Le Dott.sse Gaia e Giulia Luzi - Università Politecnica delle Marche Mauro Collovati e Dennis Paron – Agricoltori Friuli-Venezia Giulia Jeff Moyer - Rodale Institute

Tutti gli agricoltori e i tecnici agronomi che hanno preso parte al progetto I professionisti e gli stagisti che hanno collaborato con Arca Srl Benefit

