

# CATChCo2 LIVE

Il recupero del patrimonio olivicolo  
Toscano: azione di contrasto  
ai cambiamenti climatici  
per lo stoccaggio della CO<sub>2</sub>  
attraverso una gestione innovativa,  
cooperativa e sostenibile  
del territorio

Presentazione  
dei risultati  
del progetto

Manuale Buone  
Pratiche:  
Agroforestazione



Regione Toscana



Intervento realizzato con cofinanziamento FEASR del Piano di Sviluppo Rurale 2014 – 2020 della Regione Toscana  
Sottomisura 1.2

## **PARTE 1 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DEL PROGETTO**

### **Capitolo 1**

Triossi, A.<sup>1</sup>; Nizzi Grifi, F.<sup>2</sup>; Mariotti, T.<sup>1</sup>.

### **Capitolo 2**

Leolini, L.<sup>3</sup>; Costafreda-Aumedes, S.<sup>4</sup>; Dibari, C.<sup>3</sup>; Bindi, M.<sup>3</sup>; Trombi, G.<sup>3</sup>; Bartoloni, N.<sup>3</sup>; Moriondo, M.<sup>4</sup>

### **Capitolo 3**

Caruso, G.<sup>5</sup>; Palai, G.<sup>5</sup>; Gucci, R.<sup>5</sup>.

## **PARTE 2 MANUALE BUONE PRATICHE: AGROFORESTAZIONE**

Paris, P.<sup>6</sup>; Rosati, A.<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> D.R.E.Am. Italia Soc. Coop. Agr.

<sup>2</sup> Agronomo

<sup>3</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università Degli Studi di Firenze (UNIFI).

<sup>4</sup> Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Bioeconomia (CNR-IBE).

<sup>5</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali dell'Università di Pisa

<sup>6</sup> Consiglio Nazionale delle Ricerche-Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (CNR-IRET)

<sup>7</sup> Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) Centro di Ricerca Olivicoltura, Frutticoltura, Agrumicoltura

### **Intervento realizzato con il cofinanziamento FEASR del Piano di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Regione Toscana**

Progetto "CatchCo2\_live. Il recupero del patrimonio olivicolo Toscano: azione di contrasto ai cambiamenti climatici per lo stoccaggio della CO2 attraverso una gestione innovativa, cooperativa e sostenibile del territorio". Cup ARTEA 874490 Sottomisure 16.2; 1.1; 1.2; Costo del progetto: 342.945,00 euro; Contributo concesso dalla Regione Toscana: 308.000 euro

# **CATChCo2 LIVE**

**Il recupero del patrimonio olivicolo  
Toscano: azione di contrasto  
ai cambiamenti climatici  
per lo stoccaggio della CO2  
attraverso una gestione innovativa,  
cooperativa e sostenibile  
del territorio**

**Presentazione dei risultati del progetto  
Manuale Buone pratiche: Agroforestazione**

# SOMMARIO

## Parte 1

### PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DEL PROGETTO

---

#### Premessa 1

Il progetto CATChCO2-live: descrizione ed obiettivi

---

#### Capitolo 1 3

Gestione della rete di cooperazione e recupero degli oliveti

---

#### Capitolo 2 11

Strumenti di monitoraggio e tecniche di agricoltura di precisione per la gestione degli oliveti collinari

---

#### Capitolo 3 27

Tecniche innovative di gestione dell'oliveto

## Parte 2

### MANUALE BUONE PRATICHE: AGROFORESTAZIONE

---

#### Capitolo 1 45

Che cos'è l'agroforestazione?

---

#### Capitolo 2 49

Quant'è usata l'agroforestazione?

---

#### Capitolo 3 54

Quali sistemi agroforestali per l'Italia?

---

#### Capitolo 4 62

Agroforestazione in olivicoltura



PARTE 1

# PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DEL PROGETTO



## Premessa

# Il progetto CATChCO<sub>2</sub>-live: descrizione ed obiettivi

Il progetto CATChCO<sub>2</sub>-live ha avuto come obiettivo la validazione e l'applicazione di un modello organizzativo diffuso, di protocolli di gestione agronomica e di strategie di agricoltura di precisione per favorire il recupero degli oliveti abbandonati e/o degli oliveti situati in zone marginali dell'areale del Montalbano, in modo da valorizzarne la produzione e le positive ricadute ambientali (es. prevenzione da erosione ed incendi, incremento del sequestro di carbonio, miglioramento della qualità del paesaggio, ecc.) in un contesto di sviluppo sostenibile. Negli ultimi anni l'olivicoltura collinare regionale, considerata in alcune aree "marginale", è stata infatti, fortemente influenzata dal progressivo fenomeno di abbandono perché, a differenza di altri impianti più produttivi, non è spesso in grado di sostenere, a causa dello scarso livello di produttività e degli elevati costi di gestione, la competitività delle aziende agricole sul mercato. Inoltre, l'aggravarsi della crisi climatica con l'aumento delle temperature, l'aumento della frequenza degli eventi estremi e dei sempre più prolungati periodi di siccità, ha già evidenziato un impatto fortemente negativo sul comparto agricolo, riducendo la produzione olivicola soprattutto delle aree mediterranee.

Per far fronte a questa situazione ed incentivare l'olivicoltura delle aree collinari del Montalbano, il capofila del progetto CATChCO<sub>2</sub>-live la Cooperative Montalbano Olio e Vino Soc. Coop. Agr., ed i soggetti partner CNR-IBE, DAGRI-UNIFI, DISAAA-UNIPI, le Aziende agricole Torrini e Braderi e D.R.E.Am. Italia Soc. Coop. Agr. For., grazie alle loro competenze scientifiche e tecniche, hanno collaborato inizialmente per promuovere l'implementazione di un modello organizzativo e contrattuale per il recupero di aree caratterizzate da oliveti abbandonati, i cui proprietari hanno mostrato interesse negli scopi del progetto. Successivamente, il coinvolgimento nel progetto di due aziende agricole (Torrini e Braderi) ha favorito l'applicazione di soluzioni innovative quali l'adozione di protocolli di gestione agronomica ed eco-compatibile dell'oliveto (es. gestione della chioma, fertilizzazione e momento ottimale della raccolta) e



l'applicazione di tecniche innovative di agricoltura di precisione (es. rete sensoristica, modelli di crescita della coltura e della mosca dell'olivo, piattaforma web di supporto decisionale per gli agricoltori) per il monitoraggio della coltura, degli attacchi parassitari e per incentivare l'incremento di produzione. In particolare, lo sviluppo della piattaforma web ([www.drolive.unifi.it/simulazioni](http://www.drolive.unifi.it/simulazioni)) ha permesso di fornire uno strumento di supporto decisionale per gli agricoltori per ottimizzare l'applicazione delle più comuni pratiche di gestione agronomica in campo. Insieme alla piattaforma, l'applicazione di strumenti e tecniche di agricoltura di precisione rientra, infatti, tra gli obiettivi del progetto volti a promuovere l'ottimizzazione della gestione agronomica e della meccanizzazione per favorire interventi mirati, limitare gli impatti ambientali del settore e ridurre i costi. A questo proposito, per garantire il coinvolgimento e la sensibilizzazione degli attori locali sono stati organizzati, durante lo svolgimento del progetto, corsi di formazione ed approfondimento che hanno avuto come scopo la comunicazione ed il trasferimento delle conoscenze circa le problematiche attuali legate alla rimessa in produzione degli oliveti in abbandono ed all'utilizzo di sistemi innovativi per aumentare la redditività delle aziende. Infine, la realizzazione delle attività del piano strategico CATChCO<sub>2</sub>·live, oltre a produrre un beneficio nelle aziende pilota del progetto, ha permesso di riprodurre un modello innovativo sostenibile, replicabile ed estendibile ad altre realtà del comparto olivicolo toscano come strumento di tutela della produzione di qualità e della conservazione del paesaggio rurale tipico della nostra regione.

## Capitolo 1

# Gestione della rete di cooperazione e recupero degli oliveti

La Cooperative Montalbano Olio e Vino Soc. Coop. Agr. capofila del progetto ha svolto il ruolo di coordinatore ed ha applicato il nuovo modello di gestione per il recupero degli oliveti abbandonati o in procinto di esserlo.

La cooperativa si è occupata di redigere l'accordo di cooperazione in cui sono stati definiti in modo preciso e univoco gli impegni di tutti i partecipanti al progetto. Durante lo svolgimento del progetto la cooperativa ha convocato numerose riunioni per verificare il corretto stato di avanzamento del progetto oltre a fornire la necessaria assistenza per la gestione delle problematiche emerse durante l'esecuzione delle attività.

La cooperativa ha inoltre partecipato agli eventi promossi dalla Rete Rurale Nazione (RNN) oltre a effettuare networking con altri progetti: AFINET <https://agroforestry.net.eu/afinet/> (Horizon 2020) sull'Agroforestry e del progetto LIFE OLIVARES VIVOS + <https://olivaresvivos.com/en/>.

La fase di recupero degli oliveti si è incentrata su tre azioni principali:

**1. Informazione:** grazie alla fase di setting up, finanziata con la misura 16.1, sono stati contattati tutti gli agricoltori che avevano manifestato interesse oltre a promuovere il progetto e le attività previste dal piano strategico in incontri informativi con gli olivicoltori (assemblea dei soci) per il loro possibile coinvolgimento anche nella messa a disposizione di terreni da recuperare secondo il modello proposto.

**2. Recupero di oliveti abbandonati:** l'azione ha previsto una serie di operazioni colturali per il recupero di oliveti in abbandono (es. ripulitura dalla vegetazione arbustiva invasiva e lavorazione del terreno, concimazioni ecc.). Numerosi sopralluoghi sono stati effettuati in collaborazione con i partner di progetto, sulle aree in cui intervenire per

evidenziarne le caratteristiche ed individuare le migliori tecniche da adottare.

**3. Validazione del modello organizzativo:** in questa fase sono stati sottoscritti 5 contratti di affitto ad *meliorandum* per la concessione in godimento di fondi con l'obbligo del conduttore al miglioramento dello stesso. In questa tipologia di contratto il valore del canone di affitto corrisponde ai miglioramenti apportati al fondo pertanto al proprietario non viene corrisposto nessun canone. La durata del contratto viene determinata in modo che il possessore possa recuperare gli investimenti effettuati.

Relativamente al recupero di oliveti abbandonati sono stati stipulati 5 contratti di affitto a *meliorandum* con circa 2.200 piante da recuperare con uno sviluppo di oltre 8 ha di superficie. Sono stati effettuati numerosi sopralluoghi per valutare e quantificare le operazioni colturali per attuare il recupero di oliveti abbandonati.

Inoltre è stata effettuata un'indagine economica per selezionare una o più aziende per l'esecuzione delle operazioni colturali. Visto il numero limitato di superficie e di piante è stato deciso di incaricare un'unica azienda socia della cooperativa per il recupero delle piante e validare il modello organizzativo.

Gli oliveti da recuperare, seppur per caratteristiche diverse, sono stati classificati in pessime o cattive condizioni: in tutti gli appezzamenti sono stati effettuati importanti interventi di potatura straordinaria spesso con l'eliminazione di più polloni e molte branche; il suolo aveva evidenti fenomeni di asfissia con presenza di muschio e licheni sia nei tronchi che nel terreno e pertanto sono state effettuate lavorazioni profonde; il piano di concimazione ha previsto la distribuzione di oltre 5q ettaro un concime ternario con titolo 15-5-5.

Tabella 1.1 Localizzazione Catastale dei terreni in affitto

Comune	Fg	Part.	Sup. Catastale	Sup. condotta	N. Piante
Serravalle Pist.	45	193	16774	16774	665
Vinci	22	74	2690	2690	350
Vinci	22	75	1260	500	
Vinci	22	252	4330	4330	
Vinci	28	10	5629	5629	280
Vinci	28	22	2711	2711	
Vinci	32	26	7910	7910	820
Vinci	32	305	15650	14990	
Vinci	32	534	13073	12723	
Vinci	53	106	11830	11830	150
Vinci	53	107	1520	1520	
Vinci	53	108	1620	1620	
			84997	83227	2265

Di seguito i terreni oggetto di intervento

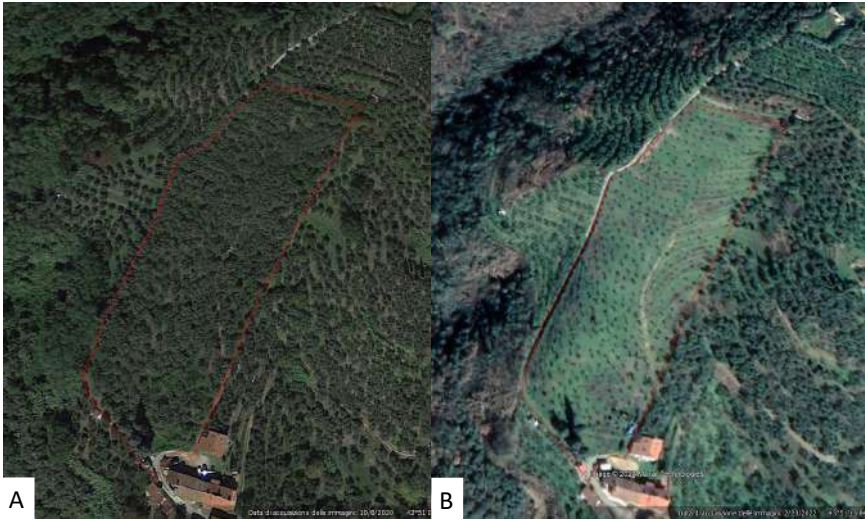


Figura 1.1 (A) Ortofoto dell'area prima dell'intervento (2020) e (B) dopo l'intervento (2022) (fonte Google Earth).

### **App. n° 1**

Zona Cecina (Comune di Larciano): oliveto classificato in pessime condizioni

1° Anno É stata effettuata la pulizia dei rovi, la potatura di riforma cercando di riportare le piante, dove possibile, ad un mono caule, la gestione del materiale di risulta,

2° Anno Nel secondo anno è stata effettuata l'asportazione dei numerosi polloni che si sono sviluppati al piede, una lavorazione (rippatura incrociata), trinciature e una concimazione.



Figura 1.2 (A)Ortofoto dell'area prima dell'intervento (2020) e (B) dopo l'intervento (2022) (fonte Google Earth).

## App. n°2

Zona Vinci (San Pantaleo): oliveto classificato in pessime condizioni.

L'oliveto non era ancora invaso da rovi ma le piante non erano potate da numerosi anni. Si presentavano con un numero di branche talvolta eccessivo e con altezze tali da non permettere il passaggio della luce. L'intervento ha riguardato l'asportazione delle branche infruttifere ed una potatura di riforma per riportare a 3 branche, l'impalcatura risultava già di buone dimensioni.

Nel secondo anno è stata effettuata l'asportazione dei numerosi polloni che si sono sviluppati al piede, una lavorazione (rippatura incrociata), trinciature e una concimazione.



Figura 1.3 (A) Ortofoto dell'area prima dell'intervento (2020) e (B) dopo l'intervento (2022) (fonte Google Earth).

### App. n°3

Zona Vinci (Lupi): quest'oliveto costituito prevalentemente da Moraiolo con errori di potature fatti in passato, è stata eseguita una pulizia del piede e due tagli dell'erba.

Era inoltre prevista la raccolta, che però, a causa delle condizioni climatiche, gelata prima e siccità dopo non è stata fatta a causata dell'assenza del prodotto.

Nel secondo anno dopo un'attenta valutazione dello stato vegetativo, è stata effettuata la potatura di riforma su una parte delle piante mentre per alcune è stata fatta una potatura leggera, perché ancora risentivano degli errori delle vecchie potature.

Infine, si è provveduto a lavorare, trinciare e concimare il terreno.



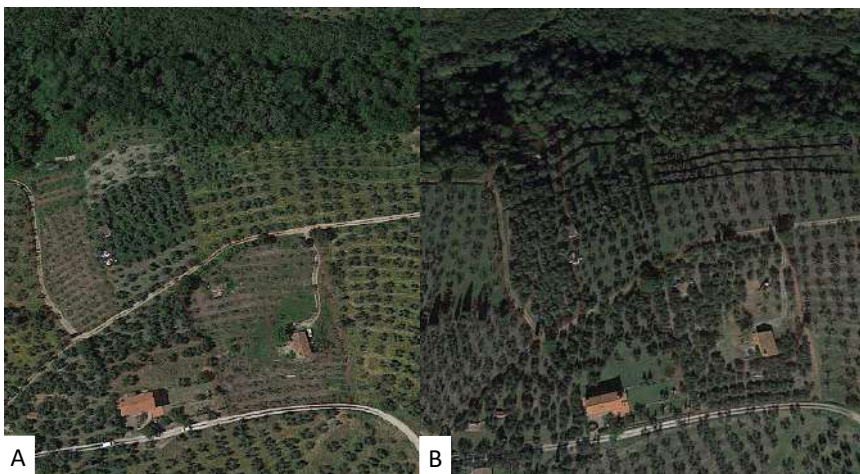


Figura 1.4 (A) Ortofoto dell'area prima dell'intervento (2020) e (B) dopo l'intervento (2022) (fonte Google Earth).

#### **App. n°4**

Zona Vinci (Cinelli): quest'appezzamento comprende due zone una costituita da piante poli caule ormai non potate da diversi anni, l'altra da piante più recenti, ma non posizionate con sesto regolare, necessario per una razionale meccanizzazione.

Si è proceduto ad effettuare una potatura di riforma importante sulle piante poli caule e a togliere le piante che ostacolavano il passaggio dei mezzi in modo da ottenere un sesto d'impianto razionale per le operazioni meccaniche, oltre alla pulizia del fondo attraverso la trinciatura delle infestanti.

Nel secondo anno è stata effettuata l'asportazione dei numerosi polloni che si sono sviluppati al piede, una lavorazione (rippatura incrociata), trinciature e una concimazione.





Figura 1.5 (A) Ortofoto dell'area prima dell'intervento (2020) e (B) dopo l'intervento (2022) (fonte Google Earth).

### App. n° 5

Zona Vinci (Busoni): l'oliveto era costituito da piante molto alte, poli caule con presenza di rovi. È stata una fatta pulizia del piede e una potatura di riforma al fine di reimpostare l'impalcatura dell'altezza della pianta.

Il secondo anno, visto il taglio importante effettuato precedentemente, è stato necessario effettuare una pulizia del piede perché la pianta aveva ripreso la forma naturale a cespuglio.

Si è poi provveduto a lavorare, trinciare e concimare l'oliveto.

## Capitolo 2

# Strumenti di monitoraggio e tecniche di agricoltura di precisione per la gestione degli oliveti collinari

Il miglioramento della gestione dei sistemi olivicoli è attualmente un aspetto importante per favorire l'incremento della produzione e la redditività aziendale in un contesto di progressivo abbandono dell'olivicoltura in molte aree del comparto regionale toscano. La scarsa conoscenza e diffusione di tecniche innovative per il monitoraggio degli oliveti ostacola, infatti, l'ottimizzazione della gestione agronomica soprattutto nelle aree marginali in cui il contributo economico derivato dall'olivicoltura è spesso insostenibile. Da questo punto di vista, è necessario un cambio di rotta per favorire l'incremento della produzione dei sistemi olivicoli meno produttivi. In questo contesto, all'interno del progetto CATChCO<sub>2</sub>-live è stato sviluppato ed applicato un modello per il monitoraggio e la gestione sostenibile degli oliveti che si è avvalso dell'utilizzo di strumenti di modellistica ed agricoltura di precisione. Il monitoraggio degli oliveti con strumenti e tecniche innovative, effettuato in due aree pilota del progetto, ha avuto come obiettivo principale quello di promuovere un approccio improntato sull'ottimizzazione della gestione della coltura favorendo interventi agronomici mirati, riducendo i costi di gestione dell'oliveto e gli sprechi di risorse ed incrementando la produzione della coltura. Il modello proposto è servito come base, quindi, per sviluppare una strategia replicabile e trasferibile ad altre realtà olivicole del comprensorio del Montalbano e, più in generale, del contesto regionale toscano.

Nei paragrafi seguenti sono riportate le principali attività di monitoraggio e le applicazioni pratiche delle tecniche di agricoltura di precisione messe appunto negli oliveti oggetto di studio.

## LA RETE SENSORISTICA ED IL MONITORAGGIO IN CAMPO DELL'OLIVETO

L'impiego di tecnologie di agricoltura di precisione per il rilevamento delle variabili meteorologiche e l'identificazione della presenza dei parassiti all'interno dell'agroecosistema è un aspetto da tenere in considerazione per una gestione agronomica ottimizzata volta a favorire l'incremento della produzione. A questo proposito, l'installazione di una rete sensoristica nelle due aziende pilota del progetto è stata funzionale al monitoraggio continuo delle condizioni micro-meteorologiche e dello stato dell'oliveto durante la stagione. Nello specifico, la rete sensoristica installata è costituita da sensori per il rilevamento dei parametri di temperatura (°C) ed umidità dell'aria (%), precipitazioni (mm; Figura 2.1 e 2.2), umidità del suolo (%; Figura 2.3) e di sensori per il rilevamento degli attacchi parassitari di *Bractrocera oleae* (Rossi), altrimenti detta mosca dell'olivo (Figura 2.4).

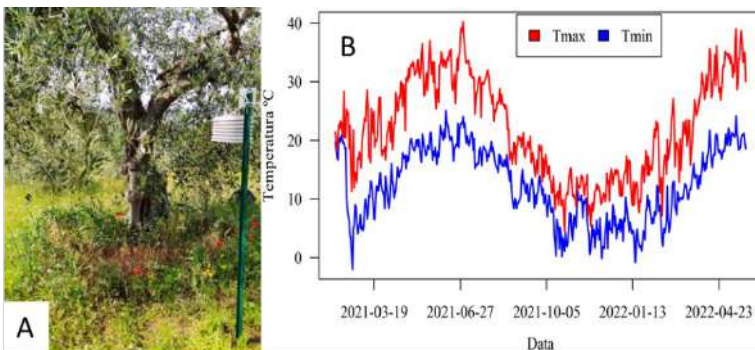


Figura 2.1- (A) Sensore HOBO® U23-001A Data Logger per il rilevamento della temperatura e dell'umidità dell'aria installato in azienda (B) Andamento della temperatura dell'aria (°C) durante il periodo 2021-2022

I sensori per il rilevamento della temperatura ed umidità dell'aria (HOBO U23-001A Data Logger, Figura 2.1), con frequenza di acquisizione dati oraria, sono stati posizionati all'interno degli oliveti oggetto di studio insieme ad un sistema integrato per il monitoraggio delle precipitazioni (RM Young Tipping Bucket Rain gauge, Figura 2.2) e dell'umidità del suolo a 10, 30 e 50 cm di profondità (BFS-40 Elmed Srl, Figura 2.3). I dati forniti dai sensori di precipitazioni ed umidità del suolo sono trasmessi

attraverso sistema GPRS ad un web server per la visualizzazione da remoto delle informazioni misurate in situ.

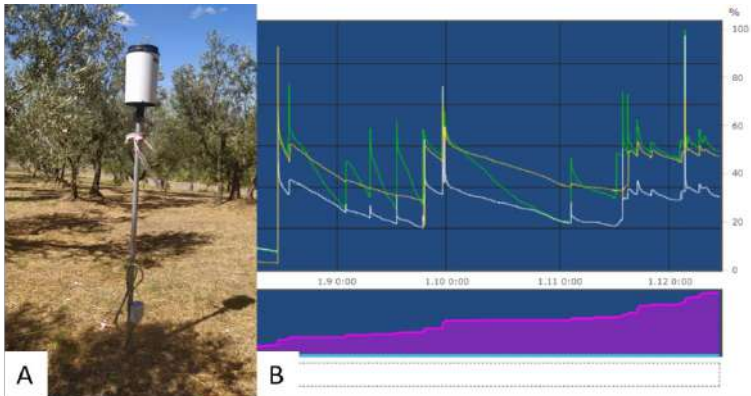


Figura 2.2- (A) Sensore RM Young Tipping Bucket Raingauge per il rilevamento delle precipitazioni installato in azienda; (B) Visualizzazione dei dati di umidità del suolo (%) e precipitazioni (mm) in una delle aziende pilota del progetto



Figura 2.3- Sensore BFS-40 Elmed Srl per il rilevamento dell'umidità del suolo a profondità di 10, 30 e 50 cm installato in azienda



Infine, le trappole automatiche per il monitoraggio degli attacchi parassitari della mosca dell'olivo (EYE-TRAP, Piano Green Srl, Figura 2.4) sono state posizionate in diversi punti degli oliveti oggetto di studio per garantire una più ampia copertura di rilevamento. Le trappole hanno lo scopo di acquisire e trasmettere immagini RGB direttamente ad un web server, di identificare e contare il numero di insetti attraverso uno specifico algoritmo. Durante il periodo di monitoraggio, sono state riscontrate delle criticità nell'utilizzo delle trappole legate alla scarsa trasmissione di immagini ed alla mancata identificazione, da parte dell'algoritmo, della mosca dell'olivo sui fogli collati (<25%). Le trappole sono state opportunamente sostituite alla fine del primo anno di progetto con nuovi modelli. Le nuove trappole hanno migliorato la trasmissione delle immagini solo in alcuni casi.



*Figura 2.4- Trappola automatica EYE-TRAP per il rilevamento degli attacchi parassitari in oliveto*

Ai dati ottenuti attraverso la rete sensoristica, sono stati associati campionamenti regolari in campo (nelle due aziende pilota) dei principali parametri della vegetazione come, ad esempio, la radiazione intercettata (fPAR) dalla chioma e le dimensioni delle piante. Tali campionamenti, effettuati con cadenza mensile da maggio a settembre, hanno avuto lo scopo di valutare l'evolversi dello stato e delle condizioni degli oliveti. Le osservazioni relative ai parametri della vegetazione sono state, quindi, confrontate con i dati meteorologici raccolti dai sensori al fine di sviluppare opportune strategie e strumenti di monitoraggio come riportato nei paragrafi seguenti.

### **IMMAGINI SATELLITARI E MONITORAGGIO DA REMOTO**

In un contesto di agricoltura di precisione, oltre all'impiego di sensori per il monitoraggio delle condizioni in campo, l'utilizzo di satelliti, quali strumenti di telerilevamento, consente di effettuare osservazioni continue della superficie terrestre ed offrire un sistema efficace per monitorare lo stato della vegetazione durante la stagione (Figura 2.5). L'attività di monitoraggio degli oliveti del progetto CATChCO2-live ha usufruito anche della raccolta e dell'elaborazione di immagini da remoto riferite alle due aree pilota al fine di: i) rilevare in maniera continua e costante nel tempo (ogni 5-10 giorni) lo stato delle colture attraverso immagini multispettrali da sensore Sentinel-2; ii) rilevare la temperatura giornaliera della regione del Montalbano utilizzando immagini satellitari provenienti dal sensore MODIS.

La raccolta di informazioni dal sensore Sentinel-2, a risoluzione temporale di 5-10 giorni (a seconda della copertura nuvolosa) e spaziale di 10 m (circa 52 immagini/anno), ha permesso l'estrazione stagionale degli indici di vegetazione (es. Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) per valutare la vigoria e lo stato degli oliveti oggetto di studio (Figura 2.5A). A fronte dell'utilizzo del più comune NDVI, l'impiego di altre tipologie di indice (es. GEMI, OSAVI, MCARI2) ha permesso di migliorare l'accuratezza di stima dei parametri della vegetazione riducendo le perturbazioni dovute al contributo dell'atmosfera e del suolo. Inoltre, attraverso il confronto con le informazioni rilevate a terra in momenti specifici della stagione vegetativa è stato possibile valutare l'andamento stagionale della radiazione intercettata dall'olivo, quale indicatore dell'accumulo di

biomassa e della crescita della coltura. A differenza di altre tecnologie in grado di offrire un'elevata precisione spaziale durante i rilevamenti (es. droni o UAV, Unmanned Aerial Vehicle), l'impiego dei satelliti, benché non in grado di garantire lo stesso livello di precisione spaziale, ha permesso di ridurre i costi operativi e funzionali relativi alla pianificazione dei voli dei droni, offrendo la possibilità di una raccolta immagini gratuita e facilmente reperibile online. In molti casi, la ridotta risoluzione di questi sensori non ha consentito, tuttavia, il loro impiego in attività di monitoraggio colturale ad alta precisione, specialmente in agroecosistemi caratterizzati da coltivazioni a filari, in cui la copertura erbosa dell'interfilare influisce sul segnale dell'indice di vegetazione. Per questo motivo, il dataset di osservazioni raccolto durante il progetto CATChCO<sub>2</sub>-live e di altri progetti correlati, ha permesso di identificare opportuni algoritmi per discriminare il contributo dell'indice di vegetazione dovuto alla coltura ed all'interfilare, rendendo il telerilevamento satellitare uno strumento utile anche per il monitoraggio da remoto degli oliveti (Leolini et al., 2022). Questo nuovo approccio ha, infatti, permesso di identificare correttamente i valori di radiazione intercettata dell'olivo estrapolandoli da indici di vegetazione ottenuti a risoluzione spaziale di Sentinel-2 (10 x 10 m;  $\overline{RRMSE}$  = 11.51 e  $\bar{r}$  = 0.94, calibrazione). Inizialmente, infatti, gli indici di vegetazione sono stati riscritti per "districare" il contributo della coltura da quello della copertura erbosa dell'interfilare che in un pixel di 10x10 m (risoluzione spaziale di Sentinel-2) inevitabilmente influenza il segnale globale dell'indice.

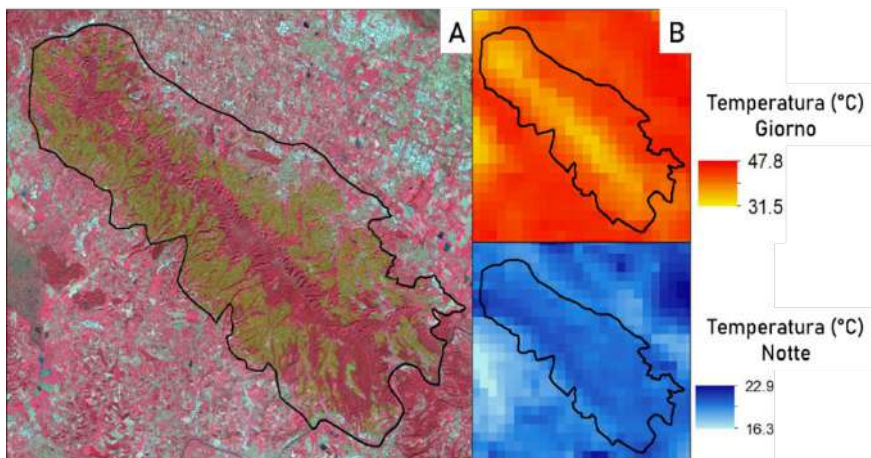


Figura 2.5– (A) Immagine satellitare Sentinel-2 nelle bande del NIR, rosso e verde per gli oliveti dell'area del Montalbano estratti da Geoscopio Regione Toscana ([www.regione.toscana.it/-/geoscopio](http://www.regione.toscana.it/-/geoscopio)); (B) Immagini termiche da sensori MODIS per l'estrazione della temperatura (°C) del giorno e della notte a risoluzione spaziale di 1km nell'area del Montalbano.

A fronte di un monitoraggio esteso nell'areale del Montalbano, è stato, inoltre, previsto il rilevamento delle condizioni meteorologiche, in particolare della temperatura dell'aria, attraverso le immagini fornite dal satellite MODIS a risoluzione spaziale di 1 km (Figura 2.5B). I dati di temperatura sono stati estratti dai due sensori MODIS (Terra ed Aqua) con algoritmi per il rilevamento della temperatura del giorno e della notte, convertiti da °K a °C, ed interpolati, mediante il software statistico R, per far fronte alle inevitabili lacune dovute a fenomeni di nuvolosità che impediscono a volte il rilevamento continuo del sensore (disponibili circa 250 immagini/anno). Queste informazioni sono state opportunamente elaborate e validate con dati di temperatura di 10 stazioni meteorologiche (stazioni di proprietà e stazioni messe a disposizione dal SIR Toscana; <https://www.sir.toscana.it/>) per la zona del Montalbano, ottenendo un'elevata accuratezza di stima ( $R2T_{mean} = 0.83$ ) e la possibilità di impiegarle in ulteriori analisi e strumenti di monitoraggio.



## **APPLICAZIONE DI STRUMENTI DI MODELLISTICA E TECNICHE DI AGRICOLTURA DI PRECISIONE**

La stima della crescita e dello sviluppo delle colture può essere effettuata attraverso l'impiego di modelli di crescita colturale, normalmente adottati per riprodurre i processi fisiologici più importanti delle specie vegetali. Lo scopo dei modelli di crescita è, infatti, quello di monitorare e prevedere lo sviluppo della vegetazione all'interno dell'agroecosistema anche in seguito ad eventuali alterazioni climatiche e/o ambientali od a variazioni nella forma di gestione agronomica. L'accuratezza di stima dei modelli nel simulare parametri come la resa delle colture dipende spesso dalla disponibilità e dalla risoluzione dei dati di ingresso necessari al modello per generare la simulazione. Solitamente, i modelli di crescita riproducono i principali output della coltura a scala di parcella o appezzamento. A questo proposito, l'integrazione di dati derivati da tecnologie di agricoltura di precisione nei modelli di simulazione della crescita colturale può essere utile per monitorare l'andamento della vegetazione ed offrire una panoramica della vigoria di un sistema a scala dettagliata, favorendo l'adozione puntuale di pratiche agronomiche di gestione al fine di incrementare la resa in maniera sostenibile.

### **Il modello di crescita dell'olivo**

Il modello proposto da Moriondo et al. (2019), in grado di simulare la crescita e lo sviluppo dell'olivo considerando la competizione tra la coltura principale e la copertura erbosa dell'interfilare per l'acqua nel suolo, è stato utilizzato quale strumento di monitoraggio per valutare le condizioni degli oliveti nelle due aree pilota del progetto CATCHCO2-live (Figura 2.6).

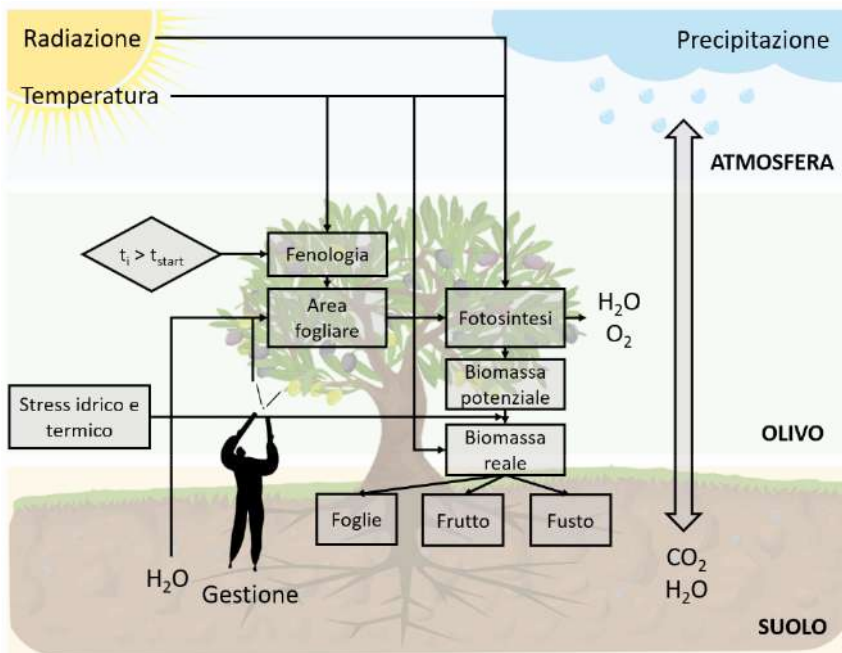


Figura 2.6- Diagramma di flusso del modello di crescita dell'olivo. Principali processi simulati ed interazioni con l'ambiente esterno.

Tale modello è strutturato per riprodurre la fisiologia della coltura e le relazioni tra questa e l'ambiente esterno, considerando anche processi quali lo sviluppo fenologico, la radiazione intercettata dalla coltura, l'accumulo e la ripartizione della biomassa negli organi della pianta, la produzione, il bilancio idrico del suolo, l'evapotraspirazione e la crescita della copertura erbosa dell'interfilare con la relativa competizione sull'assorbimento dell'acqua rispetto all'olivo. I dati di ingresso del modello sono: dati meteorologici (es. temperatura massima e minima dell'aria, precipitazioni e radiazione solare), di suolo (es. profondità radicale e del suolo, capacità di campo e punto di appassimento) ed informazioni sulla gestione agronomica (es. sesto d'impianto, potature, ecc.).

L'integrazione dei dati di input del modello con dati da satellite ha permesso di migliorare la risoluzione spaziale dello strumento permettendo di indagare la variabilità dei principali parametri della

vegetazione a scala intra-parcellare. Come mostrato nel Paragrafo *Immagini satellitari e monitoraggio da remoto*, l'elaborazione degli indici di vegetazione derivati dalle immagini di Sentinel-2 attraverso specifici algoritmi ha permesso di derivare il valore della radiazione intercettata dell'olivo in un pixel di 10x10 m.



*Figura 2.7- Spazializzazione del modello di crescita dell'olivo per la stima della biomassa accumulata dell'olivo in una delle due aree pilota del progetto. Le tonalità di verde dal verde chiaro al verde scuro indicano livelli crescenti di biomassa per pixel.*

Il risultato della stima di fPAR da telerilevamento è stato valutato confrontandone i valori con i dati osservati raccolti in campo (es.  $r = 0.64$ ,  $RMSE=0.12$ , fPAR osservata e derivata da NDVI durante quattro date di monitoraggio del 2021 in una delle due aree pilota del progetto). Successivamente, la radiazione intercettata derivata da indici di vegetazione e da telerilevamento, è stata integrata nel modello Moriondo et al. (2019) per sostituire in momenti temporali specifici della stagione ed in base alla disponibilità di immagini satellitari, fPAR simulata (Figura 2.7). La stima di questa variabile da sistemi di telerilevamento può essere utile infatti per fornire indicazioni circa variabilità delle condizioni della vegetazione all'interno della parcella non solo in termini di radiazione

intercettata ma anche di variabili ad essa correlate, quali ad esempio l'accumulo di biomassa da parte della coltura e la produzione.

Inoltre, la ricostruzione temporale dell'andamento della radiazione intercettata dall'olivo consente di individuare le eventuali criticità dovute a possibili stress abiotici (es. stress idrico) durante la stagione vegetativa, che possono influire sulla crescita della coltura e sulla futura produzione. Considerando la possibilità di prevedere lo sviluppo della coltura e di orientare le decisioni sulla gestione dell'oliveto, l'applicazione di un modello di crescita integrato con dati di telerilevamento, come quello implementato durante il progetto costituisce uno strumento utile ed innovativo in un contesto di agricoltura di precisione.

### ***Il modello fenologico della mosca dell'olivo***

La gestione dei trattamenti e la definizione delle soglie di intervento per prevenire gli attacchi parassitari da *Bactrocera oleae* (Rossi) o mosca dell'olivo è uno degli aspetti più rilevanti dell'olivicoltura Mediterranea, considerata l'ampia presenza dell'insetto in questo ambiente. La mosca dell'olivo è, infatti, uno dei parassiti più diffusi degli oliveti mediterranei che provoca conseguenze estremamente dannose sulla produzione e la qualità dell'olio. A questo proposito, oltre alle ripercussioni legate alla perdita di produzione, come conseguenza del fenomeno di cascola innescato dall'insetto sulle olive, i processi ossidativi originati all'interno delle gallerie scavate dalle larve nella drupa possono portare ad un innalzamento dell'acidità e ad un'alterazione del numero di perossidi, peggiorando in maniera rilevante la qualità del prodotto finale.

La necessità di far fronte al problema della mosca in oliveto e di stabilire soglie di intervento per eventuali trattamenti antiparassitari ha, pertanto, portato allo sviluppo di tecniche innovative di monitoraggio. Tali tecniche hanno, da un lato, l'obiettivo di identificare in maniera continua e da remoto la presenza degli insetti in campo, riducendo le visite in oliveto da parte dell'operatore (Paragrafo *La rete sensoristica ed il monitoraggio in campo dell'oliveto*), e, dall'altro, di fornire strumenti per la previsione della comparsa delle generazioni dell'insetto, come nel caso dell'implementazione di opportuni modelli fenologici (Figura 2.8). In quest'ultimo caso, il modello fenologico della mosca dell'olivo, implementato durante il progetto CATChCO2-live, è stato utilizzato per

stimare il ciclo di sviluppo di *B. oleae* in modo da monitorare l'insorgenza dell'insetto e prevenire, in futuro, eventuali attacchi parassitari. Rispetto alla versione originale sviluppata da Belcari et al. (1989), e basata esclusivamente sull'accumulo di unità termiche per stimare le generazioni della mosca, il nuovo modello ha considerato, oltre al fattore termico, l'effetto del fotoperiodo quale aspetto possibilmente incidente sul tasso di sviluppo dell'insetto. Il modello così sviluppato è stato calibrato e validato contro dataset osservati di catture di *B. oleae* provenienti dalla regione Toscana (<https://agroambiente.info.regione.toscana.it/agro18/>) e dalla regione Marche (<http://www.assam.marche.it/>) per valutarne l'affidabilità della stima del ciclo di sviluppo della mosca.

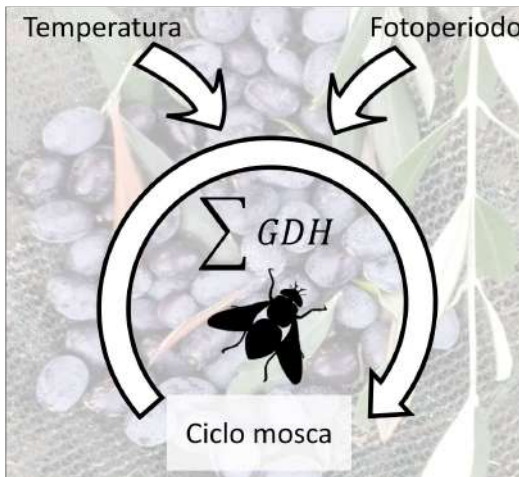


Figura 2.8- Diagramma del modello fenologico della mosca dell'olivo per la stima del ciclo di sviluppo e delle generazioni dell'insetto.

Rispetto alla precedente versione del modello basato sull'accumulo di unità termiche, i principali risultati della nuova versione mostrano come il modello fenologico della mosca sia effettivamente in grado di riprodurre con soddisfacente accuratezza lo sviluppo di *B. oleae* (calibrazione:  $r^2 = 0.86$ ; RMSE = 10.27 giorni; validazione:  $r^2 = 0.71$ ; RMSE = 15.54 giorni; per la regione Toscana), e, nello specifico, di identificare in maniera più efficace generazioni più tardive dell'insetto che si sviluppano generalmente nei primi mesi autunnali (modello termico: RMSE = 38 gg

su 4° generazione; modello con fotoperiodo: RMSE = 12 gg su 4° generazione).

La nuova versione del modello (basata anche sul fotoperiodo) è stata inoltre integrata con dati di telerilevamento satellitare per favorire la spazializzazione degli output e fornire indicazioni più dettagliate sulla presenza stagionale dell'insetto nell'area del Montalbano. A tale scopo sono stati utilizzati i dati di temperatura dei sensori MODIS (Terra e Aqua, risoluzione spaziale 1 km<sup>2</sup>) per guidare il modello fenologico della mosca su tutta l'area di studio (Figura 2.9).

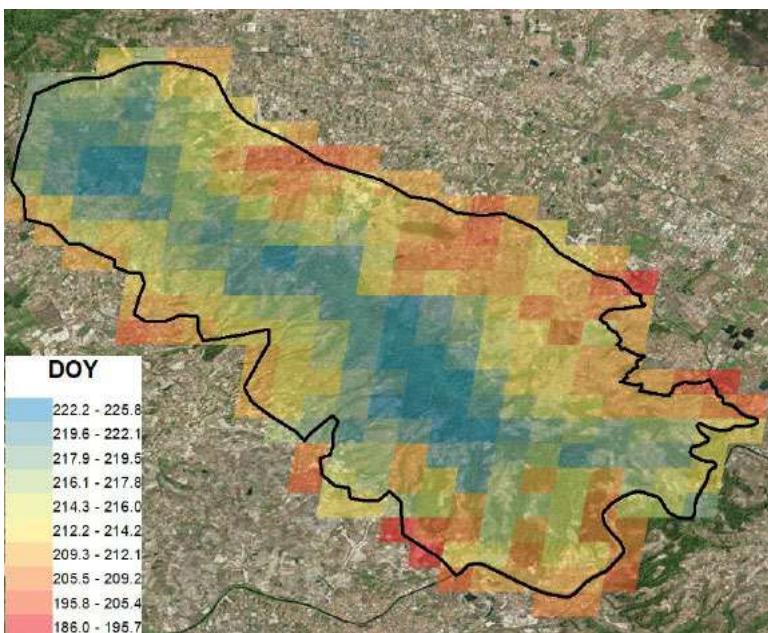


Figura 2.9- Spazializzazione del modello fenologico della mosca dell'olivo nella regione del Montalbano. Il gradiente di colore dal rosso al blu indica il livello di precocità nella comparsa della prima generazione della mosca (DOY= Day Of Year o giorni dell'anno).

I risultati dell'applicazione spaziale del modello hanno evidenziato la presenza di un gradiente altitudinale di distribuzione della mosca dell'olivo, mostrando la comparsa differita delle generazioni dell'insetto a seconda delle condizioni meteorologiche. Ad altitudini maggiori, infatti, il modello ha indicato un ritardo di circa un mese sulla comparsa delle



generazioni della mosca rispetto alle condizioni degli oliveti situati a quota più bassa e caratterizzati da temperature più elevate (ad esempio  $\Delta \approx 33$  giorni di differenza tra le aree a maggiore e minore altitudine del Montalbano per la prima generazione della mosca), sottolineando la variabilità esistente a livello spaziale nella comparsa dell'insetto.

Come per il modello di crescita dell'olivo, l'obiettivo di sviluppare un approccio integrato basato su strumenti di modellistica e di agricoltura di precisione è stato quello di portare all'ottimizzazione degli interventi in campo. In particolare, il modello fenologico della mosca implementato durante il progetto vuole essere un primo passo verso lo sviluppo di un vero sistema di supporto alle decisioni degli agricoltori sulla lotta agli attacchi parassitari da *B. oleae*.

### **LA PIATTAFORMA WEB: UNO STRUMENTO DI SUPPORTO DECISIONALE PER GLI AGRICOLTORI**

L'impiego nel settore agricolo di strategie e tecnologie innovative di agricoltura di precisione ha come obiettivo la fornitura di informazioni precise circa lo stato e le condizioni delle colture all'interno dell'agroecosistema. In particolare, lo sviluppo di strumenti di supporto decisionale per gli agricoltori che forniscano indicazioni in maniera semplice ed intuitiva circa l'eventuale applicazione di pratiche di gestione agronomica in azienda è considerato un aspetto innovativo dell'agricoltura moderna.

In questo contesto, la piattaforma web già esistente (denominata drOLIVE2REC, Progetti DROLIVE e OLIVE2REC, <http://www.drolive.unifi.it/simulazioni>), è stata integrata nel corso del progetto CATChCO2-live al fine di effettuare un efficiente monitoraggio dello sviluppo fenologico e lo stato degli oliveti, con l'obiettivo generale di favorire l'incremento della produzione, ridurre i costi e gli sprechi di risorse (Figura 2.10).

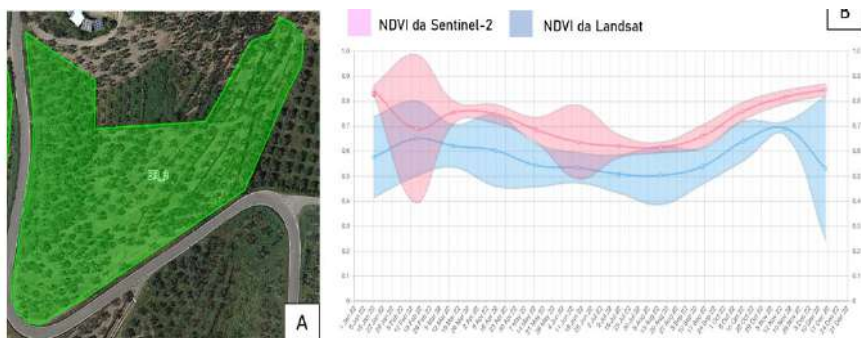


Figura 2.10- Piattaforma drOLIVE2REC. (A) Identificazione dell’oliveto da monitorare; (B) Andamento dell’indice NDVI rilevato da satelliti Sentinel-2 e Landsat per l’oliveto oggetto di studio.

Nello specifico, la piattaforma drOLIVE2REC permette, previa registrazione dell’utente ed inserimento delle particelle di oliveto da monitorare, di visualizzare le seguenti variabili: (i) lo sviluppo fenologico dell’olivo (ad esempio, la comparsa delle principali fasi fenologiche come germogliamento, fioritura, ecc.); (ii) dati provenienti da indici come NDVI, GEMI ed altri indici di vegetazione, per valutare l’andamento della coltura durante la stagione e rispetto alle annate precedenti; (iii) le variabili meteorologiche ed ambientali derivanti da stazioni installate in campo (se presenti ed accessibili).

Inoltre, l’implementazione del modello di crescita dell’olivo (Paragrafo // *modello di crescita dell’olivo*), nella piattaforma drOLIVE2REC permette altresì la simulazione delle principali fasi fenologiche, dell’accumulo di biomassa e della produzione dell’olivo e del bilancio idrico del suolo. La disponibilità di queste informazioni, visualizzabili in tempo reale attraverso mappe e grafici, è pensata per garantire il monitoraggio degli oliveti a livello aziendale e fornire agli agricoltori uno strumento per il miglioramento della gestione agronomica. La piattaforma drOLIVE2REC è stata, inoltre, implementata in modo da poter essere facilmente estendibile oltre che ai soggetti partner del progetto anche ad altre realtà del contesto olivicolo toscane.



## RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano per il supporto e la collaborazione nello sviluppo del modello fenologico della mosca dell'olivo: Sacchetti, P. e Belcari, A. (DAGRI-UNIFI, Firenze); Marchi, S. e Guidotti, D., (AEDIT s.r.l., Pisa); Petacchi, R., BioLabs (Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa); Sanchioni, A, Nardi, S. e Tognetti, D. (ASSAM Regione Marche, Ancona). Gli autori, inoltre, ringraziano Selvaggi, G. nel cui lavoro di Tesi Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie del 2022 "Implementazione di un modello fenologico per la stima del ciclo di sviluppo di *Bactrocera oleae* (Rossi)", presentato presso la Scuola di Agraria dell'Università di Firenze, è stata pubblicata una prima versione del modello fenologico della mosca.

## BIBLIOGRAFIA

Belcari, A.; Raspi, A.; Proveti, A.; 1989 - *Studies for the realisation of a regional chart of dacic risk, based on climatic, phenological and biological parameters.* - In: Cavalloro, R. (ed.) "Fruit flies of economic importance" 87, Proceedings of CEC/IOBC; AA. Balkema, Rotterdam.

Leolini, L.; Moriondo, M.; Rossi, R.; Bellini, E.; Brilli, L.; López-Bernal Á.; Santos, J.; Fraga, H.; Bindi, M.; Dibari, C.; Costafreda-Aumedes, S. (2022). *Use of Sentinel-2 derived vegetation indices for estimating fPAR in olive groves.* Agronomy, 12(7), 1540.

Moriondo, M.; Leolini, L.; Brilli L.; Dibari, C.; Tognetti, R.; Giovannelli, A.; Rapi, B.; Battista, P.; Caruso, G.; Gucci, R.; Argenti, G.; Raschi, A.; Centritto M.; Cantini; C.; Bindi, M. 2019. *A simple model simulating development and growth of an olive grove.* European Journal of Agronomy, 105, 129-145.

### Capitolo 3

## Tecniche innovative di gestione dell'oliveto

### GESTIONE NUTRIZIONALE DELL'OLIVETO

Questa azione prevedeva la gestione nutrizionale dell'oliveto e il mantenimento della fertilità fisico-chimica dei suoli utilizzando tecniche conservative di gestione del suolo. In particolare, sono stati trasferiti dei protocolli di fertilizzazione integrativa fogliare e di gestione del suolo mediante tecniche di inerbimento controllato. Le attività di questa azione sono state svolte presso l'Azienda Torrini (Empoli, FI) e presso l'Azienda Braderi (Lamporecchio, PT), indicate successivamente come Azienda 1 e Azienda 2, rispettivamente.

In occasione di un primo sopralluogo effettuato a maggio 2020 presso gli oliveti dell'Azienda 1 e 2 presso sono stati valutati due diversi appezzamenti messi a disposizione per le attività di trasferimento e si proceduto alla selezione del più idoneo per conformazione, caratteristiche degli alberi e gestione agronomica attuale. In tale occasione si è anche provveduto ad effettuare interviste di campo volte a raccogliere informazioni circa l'attuale conduzione agronomica degli oliveti, con particolare riferimento alla gestione del suolo, alla concimazione, alla gestione della chioma e all'epoca di raccolta. Particolare attenzione è stata posta nella raccolta di informazioni legate a possibili criticità e problematiche riscontrate dagli olivicoltori. Queste informazioni risultano fondamentali nei progetti di trasferimento presso le aziende agricole in quanto consentono di calibrare i metodi innovativi di gestione agronomica alle reali esigenze degli agricoltori. Infine, è stata effettuata una valutazione degli olivi presenti nelle diverse aree degli oliveti al fine di predisporre le parcelle di comparazione previste nel trasferimento di tecniche innovative di gestione dell'oliveto. Le informazioni raccolte, il materiale fotografico e le misure in campo sono state utilizzate dal personale del DiSAAA-a per l'identificazione delle aree nei due oliveti da sottoporre a una gestione agronomica differenziata. Le attività svolte in occasione di questo sopralluogo sono risultate funzionali anche per l'Azione 2 "La gestione della chioma nell'oliveto".

A gennaio del 2021 si è tenuta una riunione telematica che ha visto la partecipazione dei vari partner del progetto, inclusi gli altri enti di ricerca (CNR e Università di Firenze) e i proprietari delle due aziende agricole ospitanti le attività della misura 16.2 (i sigg. Braderi e Torrini). Nel corso della riunione sono state definite le attività da svolgere e fissate delle tempistiche di riferimento per ciascuna di esse. In merito alla concimazione si è deciso di confrontare una gestione tradizionale che prevedeva la somministrazione di concime o al terreno e una gestione che prevedeva l'utilizzo di concimi fogliari specifici da somministrare durante tutto il ciclo vegetativo dell'albero. In particolare, la gestione della nutrizione "Aziendale" prevedeva la somministrazione di un concime misto-organico al suolo nel periodo gennaio-febbraio. La gestione della nutrizione proposta dal DiSAAAa, e da qui in poi chiamata "Innovativa", prevedeva, oltre alla concimazione prevista nel protocollo aziendale, ulteriori applicazioni fogliari di azoto (Urea, due applicazioni nel periodo aprile-giugno), Boro (due applicazioni in pre-fioritura e post-allegagione) e Potassio (2 applicazioni nel periodo agosto-ottobre). Le concimazioni (al suolo e fogliari) sono state effettuate dal personale aziendale su indicazione del personale DiSAAAa. Ulteriori concimazioni fogliari sono state effettuate dal personale del DiSAAAa nel 2021 in entrambe le aziende su olivi che presentavano marcate sintomatologie da carenze nutrizionali (e per tale motivo non inseriti nei monitoraggi del 2021) con l'obiettivo di poterli utilizzare nel secondo anno di trasferimento. Per queste ultime concimazioni sono stati utilizzati i prodotti riportati nell'elenco del materiale consumabile. Per quanto riguarda la gestione del suolo si è deciso di applicare un protocollo di gestione dell'inerbimento spontaneo su tutto l'oliveto. Entrambi gli oliveti presentavano pendenze e per tale motivo è stato deciso di non includere una gestione del suolo mediante lavorazione periodica che avrebbe comportato problemi di erosione. La gestione del suolo mediante inerbimento è attualmente la più consigliata per gli oliveti delle zone in esame. Di seguito si riportano le foto satellitari relative alle due aziende coinvolte dove sono indicate le zone degli oliveti sottoposti a diverso trattamento nutrizionale (Foto 3.1 e 3.2).



*Foto 3.1. Oliveto presso l’Azienda 1 dove sono stati identificati i settori oggetto del trasferimento di tecniche innovative di gestione dell’oliveto. I perimetri rosso e blu indicano le aree sottoposte a concimazione aziendale e innovativa, rispettivamente.*



*Foto 3.2. Oliveto presso l’Azienda 2 dove sono stati identificati i settori oggetto del trasferimento di tecniche innovative di gestione dell’oliveto. I perimetri rosso e blu indicano le aree sottoposte a concimazione aziendale e innovativa, rispettivamente.*

Nel corso del 2021 e 2022 l’effetto delle diverse conduzioni della fertilizzazione (Aziendale e Innovativa) sono stati valutati in merito ai parametri di crescita dell’albero (incremento del diametro del fusto, incremento della lunghezza del germoglio) e sul peso fresco del frutto e

sul contenuto in olio nel frutto mediante risonanza magnetica nucleare (Foto 3.3 e 3.4).



*Foto 3.3. Fase di monitoraggio dell'accrescimento vegetativo mediante misura dell'accrescimento del germoglio dell'anno in olivi sottoposti a diverse tecniche di gestione agronomica.*



*Foto 3.4. Determinazione del contenuto in olio nella polpa mediante risonanza magnetica nucleare (NMR) presso i laboratori del DiSAAA-a.*

I parametri qualitativi dell'olio (acidità libera, numero di perossidi e potere antiossidante dell'olio) sono stati misurati solo nel 2022 in quanto nel 2021 le scarse produzioni non hanno consentito di prelevare i

campioni per le micro-oleificazioni. Durante la stagione vegetativa si è proceduto alla misura periodica dello stato nutrizionale dell'albero mediante lo strumento SPAD (Minolta) che misura la concentrazione di clorofilla/azoto della foglia (Foto 3.5).



*Foto 3.5. Monitoraggio dello stato nutrizionale mediante analizzatore SPAD*

Alla raccolta nel 2022 sono stati prelevati dei campioni di olive dalle piante in prova (circa 1 kg da ciascuna pianta) successivamente utilizzati per le micro-oleificazioni e analisi di acidità libera, numero di perossidi e potere antiossidante dell'olio. Le gelate verificatesi durante il periodo di fioritura nel 2021 hanno comportato una riduzione del carico produttivo di oltre il 70-80% già a partire dalle prime fasi di sviluppo del frutto. Ciò ha indotto uno squilibrio vegeto produttivo (basso carico di frutti per unità di superficie fogliare) che ha reso ininfluenti le diverse strategie di fertilizzazione applicate nel corso dell'annata. Questo è risultato evidente dall'analisi dei risultati relativi sia ai parametri nutrizionali e di crescita (Figura 3.1 e 3.2) che a quelli legati alle caratteristiche carpologiche e qualitative di frutto (Tabella 3.1).

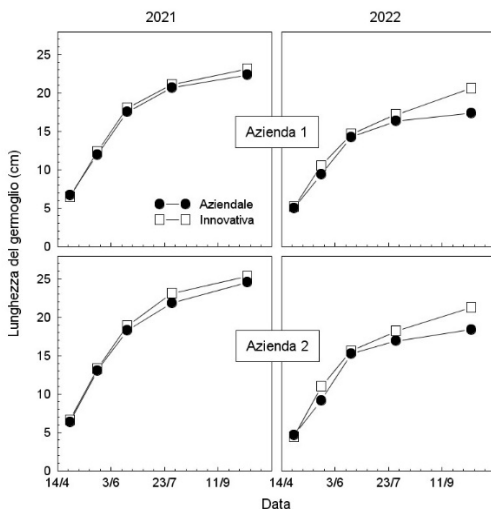


Figura 3.1. Andamento di crescita del germoglio misurato nel 2021 e 2022 presso le Aziende 1 e 2 ospitanti il trasferimento di innovazione.

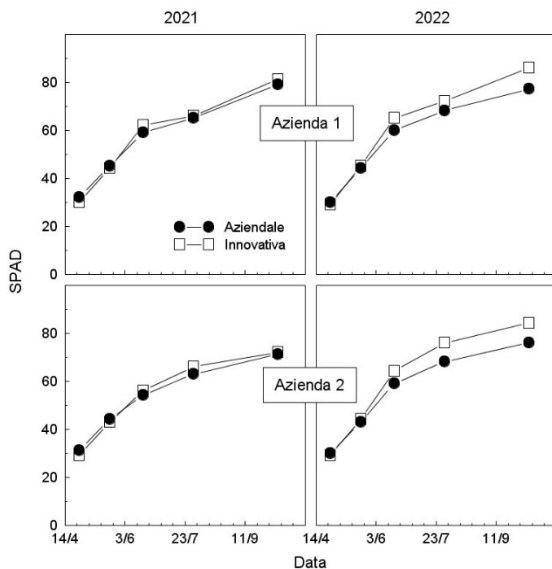


Figura 3.2. Andamento del contenuto di azoto fogliare (espresso come valori SPAD) misurato nel 2021 e 2022 presso le Aziende 1 e 2 ospitanti il trasferimento di innovazione.

Tabella 3.1. Peso fresco, indice di maturazione e contenuto in olio di frutti prelevati alla raccolta nel 2021 e 2022 presso le Aziende 1 e 2 ospitanti il trasferimento di innovazione

Anno	Azienda	Gestione nutrizionale	Peso fresco del frutto (g)	Indice di maturazione (scala 0-7)	Contenuto in olio nel frutto (% p.s.)
2021	1	Aziendale	1.86	2.1	38.5
2021	1	Innovativa	1.92	2	39.1
2021	2	Aziendale	1.78	1.9	38.1
2021	2	Innovativa	1.84	2	38.9
2022	1	Aziendale	1.52	2.2	39.8
2022	1	Innovativa	1.7	2	42.5
2022	2	Aziendale	1.55	2.3	38.5
2022	2	Innovativa	1.82	2.1	41.6

Il basso carico produttivo osservato in tutti i trattamenti a confronto ha consentito agli alberi di soddisfare le esigenze idriche e nutrizionali dei frutti indipendentemente dalla tecnica colturale utilizzata.

Nel 2022 gli effetti delle differenti concimazioni sono stati più evidenti anche se in parte attenuati dal lungo periodo di siccità che ha rallentato l'attività della pianta fino all'arrivo delle piogge a metà agosto. In particolare, gli olivi sottoposti a concimazioni fogliari aggiuntive hanno presentato un maggior accrescimento del germoglio e valori di SPAD leggermente superiori rispetto agli olivi sottoposti a concimazione "Aziendale" (Figura 3.1 e 3.2). Anche i parametri del frutto hanno risentito positivamente delle concimazioni fogliari previste nel protocollo "Innovativo", presentando maggiori dimensioni (peso fresco del frutto) e un più alto contenuto in olio nel frutto (Tabella 3.1).

Per quanto riguarda i parametri qualitativi degli oli misurati nel 2022 non sono state riscontrate differenze attribuibili ai differenti protocolli di concimazione (Tabella 3.2)



Tabella 3.2. Acidità libera, numero di perossidi e potere antiossidante misurati su oli ottenuti nel 2022 presso le Aziende 1 e 2 ospitanti il trasferimento di innovazione

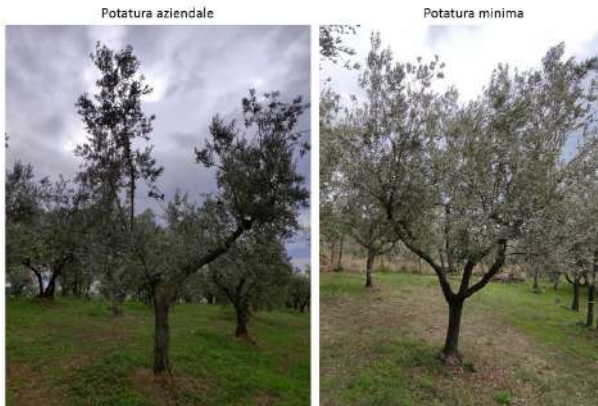
Azienda	Gestione nutrizionale	Acidità libera (% acido oleico)	Numero di perossidi (meq O2 kg-1)	Potere antiossidante (mg/kg acido gallico)
1	Aziendale	0.41	7.21	143
1	Innovativa	0.46	7.66	156
2	Aziendale	0.51	8.31	138
2	Innovativa	0.43	8.94	142

### LA GESTIONE DELLA CHIOMA DELL'OLIVO

Questa azione ha previsto il trasferimento di protocolli di gestione della chioma a seconda della tipologia di impianto per minimizzare gli interventi, e quindi i costi di produzione, senza alterare la produttività e la qualità del prodotto. L'innovazione consiste nel semplificare le operazioni introducendo tecniche di potatura "minima" che, invece di perseguire una forma definita, tendono a gestire la forma di allevamento nel modo più libero possibile per ridurre i costi di potatura e non deprimere la produttività dell'albero. Le attività di questa azione sono state svolte presso l'Azienda 1 (Empoli, FI) e presso l'Azienda 2 (Lamporecchio, PT) (Foto 3.6 e 3.7).



*Foto 3.6. Residui di potatura a seguito di interventi di potatura minima presso l'oliveto dell'Azienda 2.*



*Foto 3.7. Olivi sottoposti a potatura aziendale e potatura minima presso l'Azienda 1.*

Le attività preliminari relative a questa azione sono state effettuate congiuntamente a quelle dell'azione 1 in occasione del primo rilievo a maggio 2020 e della riunione prima riunione a gennaio 2021. La gestione della chioma ha previsto un confronto tra piante sottoposte a potatura aziendale (rimozione di circa il 30-35% della chioma) e potatura minima (rimozione di circa il 10-15% della chioma). Le attività di potatura sono

state condotte nel periodo febbraio-aprile del 2021 e 2022 dal personale tecnico aziendale supportati dal personale del DiSAAAa. Gli olivi sottoposti ai differenti protocolli di potatura sono stati monitorati in merito ai parametri di crescita dell'albero (incremento del diametro del fusto, incremento della lunghezza del germoglio) e ai parametri del frutto, quali peso fresco del frutto e sul contenuto in olio nel frutto mediante risonanza magnetica nucleare (Foto 3.8).



*Foto 3.8. Selezione degli alberi sotto posti a monitoraggio periodico dell'accrescimento del germoglio presso l'Azienda 2.*

I parametri qualitativi dell'olio (acidità libera, numero di perossidi e potere antiossidante dell'olio) sono stati misurati solo nel 2022 in quanto nel 2021 le scarse produzioni non hanno consentito di prelevare i campioni per le micro-oleificazioni.

Alla raccolta sono stati prelevati dei campioni di olive dalle piante in prova (circa 1 kg da ciascuna pianta) successivamente utilizzati per le micro-oleificazioni e analisi di acidità libera, numero di perossidi e potere antiossidante dell'olio.

I differenti protocolli di potatura non hanno comportato differenze in merito all'accrescimento vegetativo, ai parametri del frutto e alla qualità dell'olio in entrambi gli anni. Differenze, invece, sono state misurate per

quanto riguarda il tempo medio di potatura ad albero, che nel del protocollo di potatura minima ha comportato una riduzione di circa il 50% (circa 10 minuti in meno) rispetto alla potatura aziendale (Tabella 3.3).

*Tabella 3.3. Tempi medi di potatura ad albero per ciascuna tipologia di potatura presso le Aziende 1 e 2.*

Anno	Azienda	Tempi di potatura (minuti ad albero)		Risparmio di tempo rispetto alla potatura aziendale (%)
		Aziendale	Innovativa	
<b>2021</b>	1	23	11	52
<b>2021</b>	2	18	10	44
<b>2022</b>	1	25	12	52
<b>2022</b>	2	19	11	42

### INDIVIDUAZIONE DEL MOMENTO OTTIMALE DI RACCOLTA

Le attività di questa azione hanno riguardato la determinazione del momento ottimale della raccolta mediante il monitoraggio del contenuto in olio nel frutto, della forza di distacco del frutto e della stima della percentuale di cascola. Le attività di questa azione sono state svolte presso l’Azienda Torrini (Empoli, FI) e presso l’Azienda Braderi (Lamporecchio, PT). Nel 2021 e 2022 si è proceduto con campionamenti periodici dei frutti a partire da agosto e fino circa due settimane dopo la raccolta aziendale (su piante non ancora sottoposte a raccolta). I frutti sono stati analizzati per il peso fresco, il contenuto in olio, l’indice di maturazione utilizzando il protocollo di Jaen e i valori colorimetrici del frutto ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , Croma e Hue).

Per l’indice di maturazione è stata utilizzata una scala che attraverso una valutazione visiva del colore della buccia e della polpa assegna un valore che va da 0 (buccia verde intenso) a 7 (buccia nera e polpa colorata fino al nocciolo) (Foto 3.9).



Foto 3.9. Stadi di maturazione dell'oliva: 0, epicarpo di colore verde intenso; 1, epicarpo di colore verde sbiadito; 2, epicarpo verde con tracce di arrossamento nella parte distale del frutto che coprono un quarto della superficie; 3, epicarpo rossiccio o imbrunito per più di metà della superficie; 4, epicarpo nero e polpa chiara; 5, epicarpo nero e polpa imbrunita per meno della metà della profondità; 6, epicarpo nero e polpa imbrunita per più della metà della profondità ma senza arrivare al nocciolo; 7, epicarpo nero e polpa imbrunita fino all'endocarpo.

I valori colorimetrici del frutto sono stati misurati utilizzando un colorimetro portatile CM-700 (Konica Minolta INC, Osaka, Japan) che misura la componente lunimosa riflessa dalla superficie del frutto a seguito di irradiazione con illuminante D65 e un angolo di osservazione standard di  $10^\circ$ . All'inizio di ogni sessione di misure veniva effettuata un'autocalibrazione per lo zero e per il bianco utilizzando i target standard forniti con lo strumento. Tutte le misure sono state effettuate con il metodo SCE (Specular Component Excluded), cioè escludendo la riflettanza speculare. Per ciascun campione di frutti (10 frutti) le misure sono state effettuate sui singoli frutti posizionando il puntale del colorimetro in corrispondenza di due punti per ciascun frutto. In particolare, i punti sono stati individuati nella zona mediana del frutto sui due lati opposti della drupa. Particolare cura è stata posta per evitare di posizionare il puntale del colorimetro, avente un diametro di 5 mm, in corrispondenza di punture di insetti, malformazioni o eventuali anomalie. Dopo il posizionamento del puntale, la misura su ogni lato del frutto richiedeva circa 2 secondi. Le misure sono state effettuate nello spazio colorimetrico  $L^* a^* b^*$ , in cui  $L^*$  indica la luminosità, mentre  $a^*$  e  $b^*$  sono le coordinate di cromaticità. In particolare,  $a^*$  e  $b^*$  indicano le direzioni del colore:  $+a^*$  è la direzione del rosso,  $-a^*$  è la direzione del verde,  $+b^*$  è

la direzione del giallo e  $-b^*$  è la direzione del blu. Utilizzando i valori  $a^*$  e  $b^*$  sono stati ricavati anche altri indici quali il croma ( $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ ) e l'angolo della tinta Hue ( $h = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ ).

La forza di distacco del frutto è stata misurata su un campione rappresentativo di olive ad intervalli di 10-15 giorni, usando un dinamometro con sensore a forchetta che si applica nel punto di attacco del peduncolo sul frutto (Foto 3.10).



*Foto 3.10. Dinamometro utilizzato per la misura della forza di distacco del frutto.*

A cadenza periodica è stata anche stimata la percentuale di cascola dei frutti dall'albero mediante conteggio dei frutti presenti su quattro rami selezionati per ciascun albero in prova. La differenza dei frutti presenti in ciascun ramo selezionato tra una data e la successiva forniva il numero dei frutti cascolati.

L'analisi incrociata dei dati relativi alla curva di accumulo di olio nel frutto, della forza di distacco del frutto e della percentuale di frutti cascolati ha consentito di individuare un periodo di raccolta ottimale per quanto riguarda la produttività dell'albero (Figura 3.3 e 3.4).

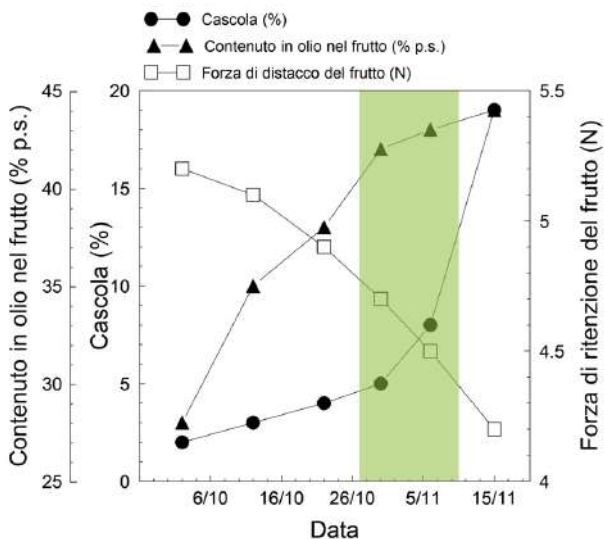


Figura 3.3. Andamento del contenuto in olio nel frutto, della cascola e della forza di distacco del frutto misurati presso l'Azienda 1.

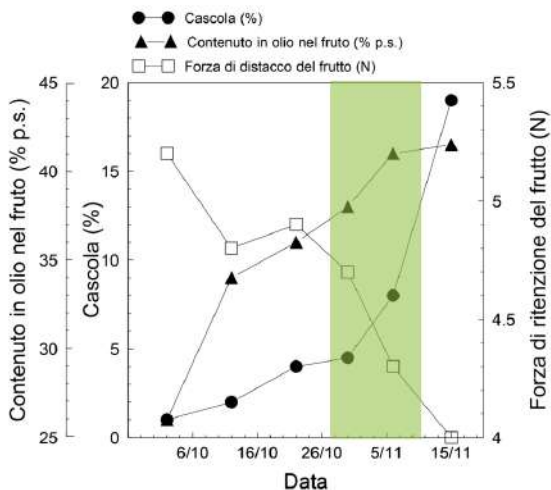


Figura 3.4. Andamento del contenuto in olio nel frutto, della cascola e della forza di distacco del frutto misurati presso l'Azienda 2.



Per quanto riguarda l'utilizzo di strumenti di misurazione del colore dei frutti (colorimetri e spettrofotometri portatili) al fine di determinare il momento di massimo accumulo di olio nel frutto, dei risultati interessanti sono emersi dalle correlazioni tra i valori spaziali del colore e il contenuto in olio nella polpa misurato mediante risonanza magnetica nucleare (NMR) (Figura 3.5).

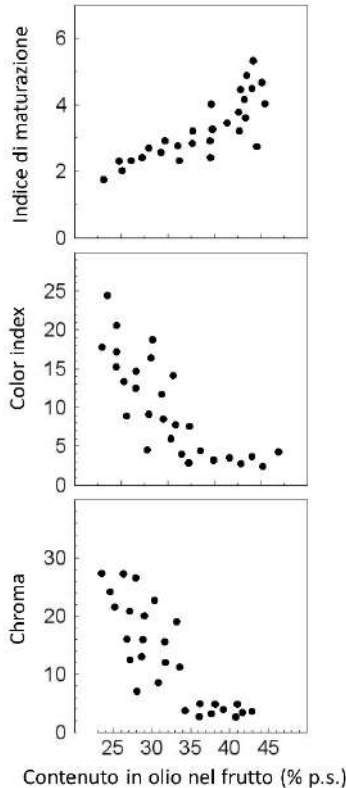


Figura 3.5

In particolare, è stata osservata una variazione evidente, e più o meno netta a seconda dell'indice analizzato, dei valori spaziali del colore in corrispondenza del massimo contenuto in olio nella polpa. L'indice HUE, ad esempio, ha mostrato dei valori piuttosto costanti durante tutto il periodo di accumulo di olio nella polpa e un rapido aumento degli stessi

in corrispondenza dei valori massimi di olio nel frutto. Anche per gli altri indici analizzati il cambio di tendenza nell'andamento è stato molto evidente, anche se meno rapido rispetto a quello osservato per lo HUE.



A close-up photograph of an olive branch with several green olives and one dark purple olive. The branch is set against a blurred background of more foliage. The image is partially covered by a solid green vertical bar on the left side.

PARTE 2  
**MANUALE BUONE  
PRATICHE:  
AGROFORESTAZIONE**



## Capitolo 1

# Che cos'è l'agroforestazione?

### **DALLA MONOCOLTURA AGRICOLA ALL'AGROFORESTAZIONE**

La progressiva semplificazione degli agroecosistemi, causata dalle moderne pratiche agricole, è la principale vulnerabilità dell'attuale agricoltura industrializzata. La precedente agricoltura tradizionale era caratterizzata da uno stretto legame tra componente erbacea, arborea e zootecnica, con flussi di energia ed elementi fertilizzanti che garantivano la sostenibilità del sistema nel tempo, in uno scenario di disponibilità energetica fortemente limitata. Il massiccio avvento dei combustibili fossili, a partire dalla metà del secolo scorso, ha radicalmente cambiato le partecchie agricole tradizionali, permettendo un significativo e benefico aumento della produttività agricola, ma anche con una graduale semplificazione strutturale degli agroecosistemi. Ciò ha determinato una progressiva ed incontrollata eliminazione degli alberi non produttivi nelle zone agricole, con affermazione della monocoltura agricola. Nuove criticità si sono velocemente sviluppate: l'erosione del suolo e la riduzione della sua sostanza organica; la diminuzione della biodiversità; l'aumento dell'inquinamento agricolo e l'aumento della vulnerabilità delle colture ai patogeni. È anche diminuita la produzione di materia prima legnosa prodotta dagli alberi fuori foresta.

Nel suddetto quadro di criticità, la moderna agroforestazione, con l'approccio scientifico dell'agroecologia, promuove la coltivazione consociata di colture arboree con colture erbacee e/o attività zootecniche, per sviluppare una nuova agricoltura sostenibile, in base al principio di intensificazione ecologica, con riduzione degli input di fertilizzanti e pesticidi, ed aumento della fertilità dei suoli con più sostanza organica nel suolo (Figura 1.1).

La consociazione alberi-agricoltura e/o zootecnia può essere sia spaziale (sull'unità di gestione) sia temporale con rotazione, sulla unità di gestione, tra alberi ed attività agricole (vedi ad es. agricoltura itinerante, Cap. 2, Paragrafo 1). Gli alberi nel tempo aumentano la fertilità del suolo (ad esempio con la deposizione di lettiera e la degradazione del capillizio radicale), e le attività agricole usano questa fertilità per la loro crescita.

La ricerca agroforestale è orientata verso sistemi d'uso del suolo in grado di contribuire significativamente al miglioramento dell'ambiente rurale e del reddito per gli agricoltori. Sia tutelando i sistemi agroforestali tradizionali, oramai in forte pericolo di abbandono, nonché creando sistemi agroforestali innovativi, in cui la consociazione tra alberi, colture ed allevamento animale rappresenta una nuova rivoluzione agricola in grado di rispondere alle emergenze globali di conflitto di uso dei terreni per la produzione di cibo, di legna (come materia prima ed energia rinnovabili) e la tutela ambientale.

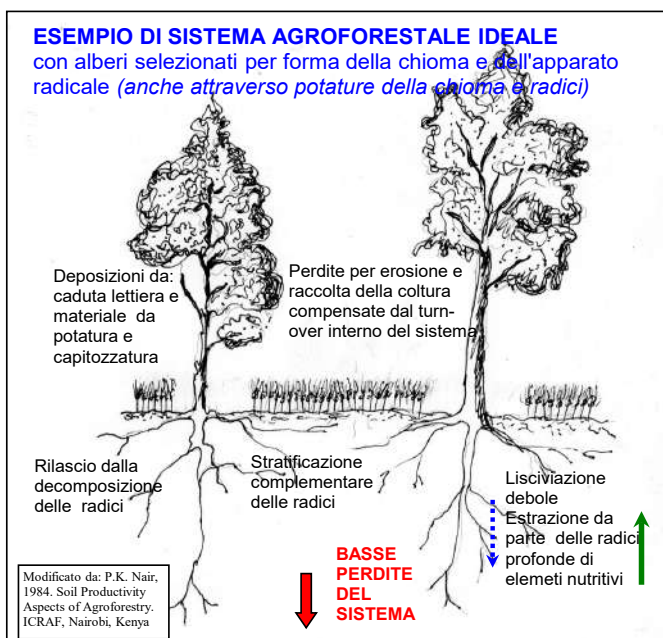


Figura 1.1 Esempio schematico di sistema agroforestale con consociazione sull'unità di gestione tra alberi e coltura erbacea, e principi di funzionamento per la maggiore sostenibilità agronomica ed ambientale. Disegno di Ornella Bragaglia ©.

## ALBERI NELL'AGRICOLTURA DEL FUTURO

La riduzione di materia prima legnosa ha soprattutto riguardato il legname di qualità, ottenuto da specie agroforestali quali il noce (*Juglans regia* L.), il ciliegio selvatico (*Prunus avium* L.), frassini (*Fraxinus* spp), aceri

(*Acer* spp), querce (*Quercus* spp), particolarmente adatti ai fertili suoli agricoli e specie multifunzionali in grado di produrre frutti per l'alimentazione degli animali domestici e la fauna, nonché frasca da foraggio. Questi alberi erano ampiamente diffusi nelle nostre campagne sino ad un recente passato, e rappresentavano una componente naturale tra i terreni coltivati, occupando le ristrette aree improduttive tra campi e pascoli, nei sistemi agroforestali tradizionali. Questi alberi venivano conteggiati come produzione legnosa "fuori foresta", e le statistiche forestali sino alla metà del secolo scorso indicano chiaramente che la produzione legnosa "fuori foresta" era per quantità e qualità maggioritaria rispetto alla produzione legnosa "in foresta". Attualmente gran parte del legname di qualità che alimenta l'importante industria nazionale del mobile ed arredo è importata da Paesi Tropicali, contribuendo alla loro deforestazione, ed alimentando il mercato illegale del legno, il terzo mercato illegale a livello globale. Fermare la deforestazione nei paesi tropicali, combattere il mercato illegale del legno e promuovere la produzione sostenibile di legno/legname a prezzi più equi, sono le priorità per sostenere il reddito dei nuovi agricoltori agroforestali, custodi dell'equilibrio degli ecosistemi globali e locali.

## **IL SOSTEGNO DELLE ISTITUZIONI ALL'AGROFORESTAZIONE**

La sempre più veloce evoluzione della Crisi Climatica, per l'aumento del carbonio dai combustibili fossili nell'atmosfera, sta aumentando l'interesse di gran parte delle istituzioni, da locali e sovranazionali (Comuni, Regioni, Governo nazionale, UE) sulla necessità di mitigarne gli effetti negativi, facendo ricorso a varie misure, tra cui le nuove piantagioni di alberi. In Europa ed Italia, le superfici forestali sono fortemente aumentate negli ultimi decenni grazie alla riforestazione naturale dei terreni agricoli e pascoli marginali, abbandonati dall'agricoltura industrializzata. Nuove piantagioni sono solo possibili nelle aree urbane e periurbane, o sui terreni agricoli, con sistemi agroforestali per la coesistenza produttiva tra alberi e colture agricole per la produzione di cibo. Questi alberi possono assorbire il carbonio dall'atmosfera e bloccarlo nel legno, nelle radici, e come carbonio della sostanza organica del suolo. Il "New Green Deal" europeo prevede le piantagioni di miliardi di alberi. La nuova Politica Agricola Comunitaria (PAC) prevede misure



contro le particelle agricole climalteranti sia con gli ecoschemi, sia con le misure specifiche dei Piani di Sviluppo Rurale, ed anche con il “carbon farming” o “carbonicoltura”.

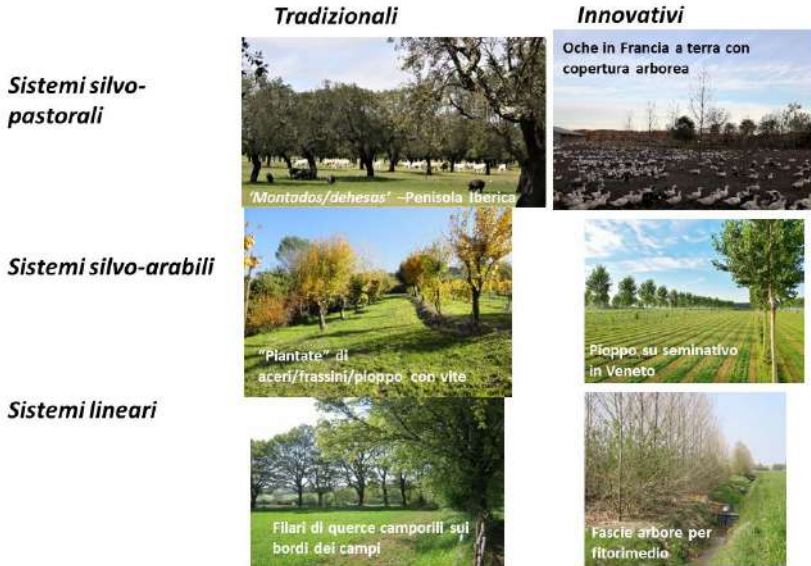


Figura 2.2. Tipi di sistemi agroforestali per principale vocazione produttiva e per collocazione nello sviluppo temporale delle pratiche colturali. Foto ed elaborazione grafica di Pierluigi Paris ©

## CAP. 1 IN BREVE. I VANTAGGI DELL'AGROFORESTAZIONE

- È strategica per la transizione ecologica e la mitigazione della Crisi Climatica;
- Più possibilità di diversificare ed aumentare il reddito agricolo;
- Nuove opportunità di accedere a finanziamenti agroambientali per il “carbon farming”.

## Capitolo 2

# Quant'è usata l'agroforestazione?

### L'AGROFORESTAZIONE NEL MONDO

Le stime più attendibili sull'attuale diffusione dei sistemi agroforestali nel Mondo variano da 1,2 Miliardi (Mld) di ha (FAO) a 1,6 Mld ha (Nair et al., 2021). Con una superficie totale di terreni agricoli (terre arabili e pascoli) di 4,4 Mld ha, ciò significa che la percentuale di terreni agricoli gestiti con l'agroforestazione varia tra il 27 ed il 36%. Le stime sono molto approssimative, poiché non tutti Paesi forniscono dati specifici sull'agroforestazione, sia perché i criteri di classificazione possono essere variabili. Ad esempio, per la *"shifting cultivation"* od agricoltura itinerante, che è praticata nelle zone forestali di molti Paesi Tropicali. In tale sistema, la foresta è eliminata ed il suolo liberato dagli alberi è messo a coltura per alcuni anni, usando la fertilità del suolo sviluppata dagli alberi stessi, per poi abbandonare la superficie alla riforestazione naturale quando la fertilità agronomica è esaurita. I tempi di rotazione agricoltura/foresta possono cambiare significativamente da zona a zona, così come i criteri di classificazione. L'agroforestazione è prevalente nei Paesi Tropicali (80% dei sistemi agroforestali globali) rispetto ai Paesi industrializzati della fascia temperata (20%). Non sono disponibili dati sul contributo dell'agroforestazione alla produzione di cibo globale. Consideriamo, però, che l'agroforestazione è prevalente tra i piccoli coltivatori. La FAO stima che le piccole aziende (superficie <2 ha) costituiscono l'80% di quelle totali a livello globale, occupando il 12% dei terreni agricoli, producendo però il 35% del cibo globale. Quindi il ruolo dell'agroforestazione per la sicurezza alimentare è probabilmente ben maggiore rispetto al 30% circa della superficie agricola occupata.

Nei Paesi Tropicali prevale l'agricoltura di sussistenza, con una miriade di sistemi agroforestali di valenza locale, in grado di valorizzare al meglio le risorse naturali disponibili, e con un'estrema biodiversità di specie arboree ed erbacee coltivate, molto spesso scarsamente differenziate dagli ecotipi naturali, e che necessitano di approfonditi studi di carattere scientifico. Prevale l'uso dell'agroforestazione per la sicurezza alimentare. Nei Paesi Temperati, l'obbiettivo prevalente è l'aumento del reddito

dell'agricoltore, nonché le azioni a favore dell'ambiente, come la riduzione dell'erosione del suolo (frangiventi), la conservazione della biodiversità (fasce di vegetazione legnosa lungo i bordi dei campi), la qualità delle acque (fasce tampone lungo i corsi d'acqua limitrofi ai campi), la riduzione della lisciviazione dei nitrati nelle falde ed il "carbon farming" per i sistemi agroforestali più innovativi.

## L'AGROFORESTAZIONE IN EUROPA

La stima più attendibile sull'attuale diffusione dell'agroforestazione in Europa è stata condotta nel progetto europeo AGFORWARD (2014-17). Nell'Unione Europea a 27 Stati (EU27) l'agroforestazione copre il 10% della superficie agricolo utile (SAU), con una prevalenza dei sistemi silvopastorali rispetto a quelli silvoarabili (Der Herder et al., 2017). La distribuzione dei sistemi agroforestali europei è riportata nella mappa in Figura 2.1, che evidenzia una prevalenza dell'Europa mediterranea. L'area a maggiore densità è la Penisola iberica, con i sistemi silvopastorali a pascolo con alberi di querce da ghianda, detti localmente *dehesas* e *montados* (vedi Fig. 2.1).

In AGFORWARD è stato anche analizzata la potenzialità di espansione dell'agroforestazione su nuove superfici, studiandone l'effetto sulle principali criticità ambientali dei terreni agricoli europei e stimato il potenziale di stoccaggio del carbonio di differenti sistemi agroforestali (Kay et al., 2020).

Sono state mappate le aree europee con le maggiori problematiche ambientali (erosione del suolo e basso contenuto di sostanza organica, inquinamento da nitrati e salinizzazione), nonché le aree più colpite dalla crisi climatica e quelle con scarsa biodiversità, per carenza d'impollinatori e di antagonisti naturali dei parassiti. Il 94% delle terre coltivate in Europa soffre di almeno una problematica ambientale, in cui l'applicazione di sistemi agroforestali risulterebbe utile. I pascoli sono generalmente meno colpiti delle aree a seminativo.

Aree particolarmente critiche sono state individuate nella Francia nord-occidentale, in Danimarca, nella Spagna centrale, nell'Italia settentrionale e sudoccidentale, in Grecia e nella Romania orientale. Queste aree con il maggior numero di emergenze sono state identificate come prioritarie. Successivamente, sono stati proposti i sistemi agroforestali più adatti alle

aree prioritarie. Questi sistemi comprendono molte pratiche differenti: le siepi arborate lungo i confini dei campi, le fasce dei cedui a rapida crescita, ed i sistemi silvopastorali o silvoarabil. Per ciascun sistema è stato valutato il potenziale di stoccaggio del carbonio nella produzione legnosa. I risultati del progetto mostrano che l'attuazione dell'agroforestazione nelle aree prioritarie porterebbe, a seconda del tipo di agroforestazione, ad un sequestro variabile da 2,1 a 63,9 milioni di tonnellate di carbonio per anno, corrispondenti a valori tra l'1,4 e il 43% delle emissioni europee di gas a effetto serra relative al settore agricolo europeo (12% delle emissioni totali) e contribuirebbe inoltre ad attenuare le problematiche ambientali connesse alla salute del suolo, alla qualità delle acque e alla biodiversità.

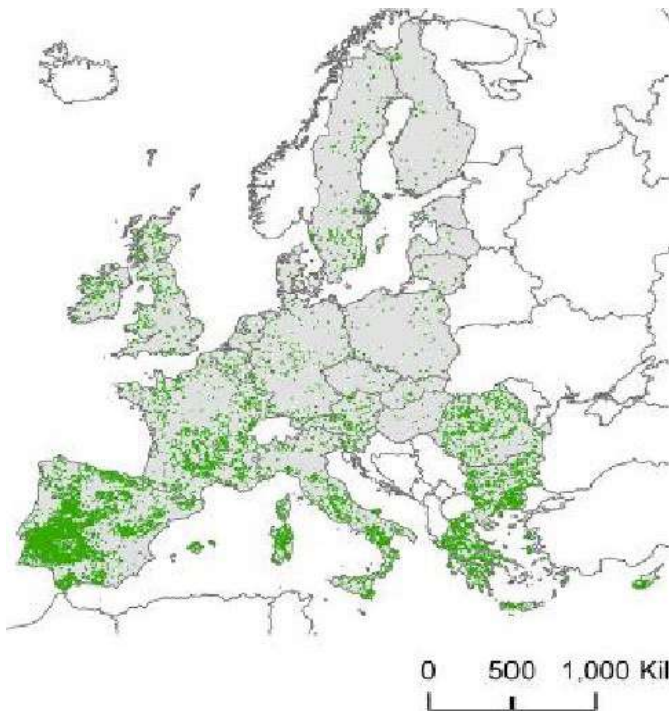


Figura 2.1. Mappa dell'attuale distribuzione dei sistemi agroforestali in Europa, Paesi UE27. Progetto Europeo Agforward (2014-17). Der Herder et al., 2017.

## L'AGROFORESTAZIONE IN ITALIA

In Italia, attualmente ci sono circa 1,3 Milioni di ha di superfici agroforestali, corrispondenti all'11% della SAU, con prevalenza dei sistemi silvopastorali (Tab. 2.1; Der Herder et al., 2017; Paris et al., 2019).

La componente arborea dei sistemi agroforestali in Italia varia a seconda della latitudine ed altitudine. Dal larice per le quote alpine maggiori, al faggio e castagno a quote inferiori delle Prealpi ed Appennino, sino alle querce caducifoglie e sempreverdi dei piani collinari e delle pianure costiere mediterranee, in coesistenza con l'olivo. Il pascolo è spesso condotto in modo promiscuo ed estemporaneo tra le piantagioni di fruttiferi, in prevalenza in oliveti e vigneti. Questo dato non è conosciuto esattamente, e non è inserito nella Tab. 2.1. L'attuale superficie dei pascoli arborati si è fortemente ridotta rispetto ad un recentemente passato, soprattutto a causa dei cambiamenti socio-economici, con riduzione della pastorizia e la riforestazione naturale. Gli attuali pascoli arborati, insieme al pascolo di superfici miste erbacee-arbustive, rappresentano attualmente un indispensabile presidio di uso produttivo delle zone marginali, con funzioni ecologiche di tutela della biodiversità vegetale ed animale, per la conservazione delle razze autoctone animali, e la difesa dagli incendi forestali e di tutela paesaggistica. I pascoli arborati potrebbero essere un'alternativa sostenibile all'avanzata del bosco in molte zone alpine ed appenniniche.

I dati degli studi sinora condotti hanno ancora un basso grado di accuratezza per un quadro preciso sulla diffusione dei sistemi agroforestali in Italia. Le statistiche ufficiali non hanno ancora categorie specifiche di rilevazione sui sistemi agroforestali. Recentemente è stato messo a punto un metodo per identificare i sistemi agroforestali dal CNR IRET da dati satellitari da remoto (Sarti et al., 2020) in un'area di 200 km<sup>2</sup> a nord del Lago di Bolsena. Tale studio riporta una significativa presenza di filari quercini lungo il perimetro dei campi, con una media di circa 67 m/ha di filari, pari ad una copertura arborea pari al 3% della SAU. Tali studi da remoto saranno sempre più determinanti per calibrare le politiche di sussidio per le misure agroambientali dell'agroforestazione e per quantificare il carbon farming a beneficio degli agricoltori.

## CAP. 2 IN BREVE. DIFFUSIONE DELL'AGROFORESTAZIONE

- Nel Mondo circa il 30% dei terreni agricoli è coperta da sistemi agroforestali;
- In Europa ed Italia tale superficie ammonta a circa il 10%;
- In Italia, prevalgono i sistemi silvopastorali tradizionali con querce ed olivo;
- Occorrono dati più precisi, anche da remoto-satellitari, per la calibrazione dei sussidi agroambientali e di *carbon farming* a favore dell'agroforestazione.

Tabella 2.1. Estensione e distribuzione dell'agroforestazione in Italia. Da Den Herder et al., 2017). Valori numerici con punto in basso (X.XXX) come separatore di migliaia.

	Con colt. legnose da frutto (ha)	Con alberi forestali (ha)	Totale (ha)	In % sulla SAU
<b>Sistemi Silvopastorali</b>	116.200	1.187.400	1.303.600	10,1
<b>Sistemi Silvoarabili</b>	90.300	15.800	106.100	0,8
<b>Superficie Agricola Utile (SAU)</b>	12.856.000			10,9

### Capitolo 3

## Quali sistemi agroforestali per l'Italia?

### SISTEMI SILVOPASTORALI

In Italia le superfici a pascolo sono circa 3,3 Mil. di ha. Erano 5,7 e 5,1 Mil. ha nel 1861 e 1950, rispettivamente. C'è stata una forte riduzione della superficie a pascolo per i rapidi cambiamenti socio-economici dell'industrializzazione dell'agricoltura e del quadro socio-economico generale. Il patrimonio zootecnico è invece fortemente aumentato. Attualmente ci sono in totale circa 23 Mil. di capi animali tra bovini e bufalini (6,3 Mil.) suini (8,5 Mil.) ed ovini e caprini (7 e 1 Mil., rispettivamente). A questi bisogna aggiungere 662 Mil. di capi avicoli (ASSALZOO, 2021). Non ci sono dati di suddivisi tra animali negli allevamenti intensivi e quelli bradi. Indicativamente si può affermare che la maggior parte di ovini e caprini sono allevati a pascolo. La produzione nazionale di mangimi ammonta a 15 Mil. di tonnellate anno, di cui il 40% per gli avicoli, il 26 e 23 % per bovini e suini, e solo il 2% per gli ovini. La zootecnia intensiva garantisce alta efficienza per le produzioni animali, costituendo però anche una delle principali debolezze ecologiche della moderna agricoltura, con emissioni inquinanti, soprattutto per i gas serra e la contaminazione di suolo ed acque da parte delle deiezioni degli allevamenti intensivi. In alternativa, l'allevamento naturale in sistemi agroforestali può contribuire al benessere animale, migliorando alcuni aspetti qualitativi della produzione, ed utilizzando risorse foraggere integrative della componente arborea (ghiande, frasca da foraggio). Le deiezioni sono smaltite direttamente in situ e l'apparato radicale degli alberi intercetta in profondità l'azoto lisciviato, diminuendo l'inquinamento delle falde da nitrati, con riduzione del rischio di eutrofizzazione.

Secondo le stime più recenti i sistemi silvopastorali in Italia coprono una superficie di 1,3 Mil. ha, il 10% della SAU. Non si hanno a disposizione dati statistici sulla consistenza di tali superfici nel passato, ma è certa una forte contrazione. Nella maggior parte dei sistemi silvopastorali, come componente arborea predominano le specie forestali, in primis specie quercine nei pascoli arborati; per i pascoli con fruttiferi, c'è una forte



preponderanza dell'olivo. Il sistema dei pascoli arborati iniziò ad essere adottato più di 2 millenni orsono. Intorno al 2500 a.C nella zona sud occidentale della Spagna, in base a studi sulle serie cronologiche delle stratificazioni di polline, si assistette ad un cambiamento della vegetazione. Non più costituita da sole specie forestali (querce e pini), bensì da querce e specie erbacee spontanee per il pascolo dei primi allevamenti. Questo cambiamento interessò anche l'Italia, con un rinnovamento degli ecosistemi naturali che condusse all'adozione, anche nei nostri territori, di nuovi sistemi silvopastorali, con gli Etruschi nell'Italia centro-settentrionale e dei Greci nell'Italia meridionale. Sistemi agrosilvopastorali, principalmente con alberi di querce si diffusero in tutto il bacino del Mediterraneo, ed il nucleo più consistente è ancora ben presente nella Penisola Iberica con i *dehesas* e *montados*. In Italia permangono ancora i nuclei residui di questo antico paesaggio dei pascoli arborati, con una presenza molto significativa in Sardegna dei *Meriagos*. Nei sistemi silvopastorali sardi il bestiame (principalmente pecore, capre e/o bovini da carne, ed anche maiali) pascolano tipicamente tutto l'anno, utilizzando diverse risorse nutritive (erba, arbusti e alberi). È stato stimato che l'area totale coperta da sistemi agro-silvopastorali a base di quercia in Sardegna potrebbe superare i 400.000 ettari. Sono principalmente dominati dalla quercia da sughero e leccio, con densità degli alberi che vanno da 7 a 250 per ha, concentrati nella fascia collinare. I terreni sono spesso lavorati ogni 2-8 anni, per coltivare miscele annuali per pascolo e/o produzione di fieno. Gli studi condotti in Sardegna evidenziano l'importante ruolo dei *meriagos* per la biodiversità e l'assorbimento di carbonio nella biomassa legnosa e nel suolo. Sarebbe quindi opportuno che tali sistemi vengano diffusi in altre zone d'Italia, soprattutto nelle fasce a clima mediterraneo delle aree peninsulari e Sicilia. Queste sono anche quelle più significativamente danneggiate dal Cambio Climatico e dall'incremento della temperatura. La presenza degli alberi sparsi nei pascoli offre una mitigazione dello stress termico degli animali al pascolo, diminuendone il consumo energetico e migliorando la salute degli stessi. Tra le innovazioni dei sistemi silvopastorali mediterranei sono in studio miscugli di specie foraggiere tolleranti l'ombreggiamento degli alberi. Innovazioni sono in studio anche per l'allevamento di maiali bradi in pianura Padana, sotto copertura dei pioppi a rapido accrescimento.

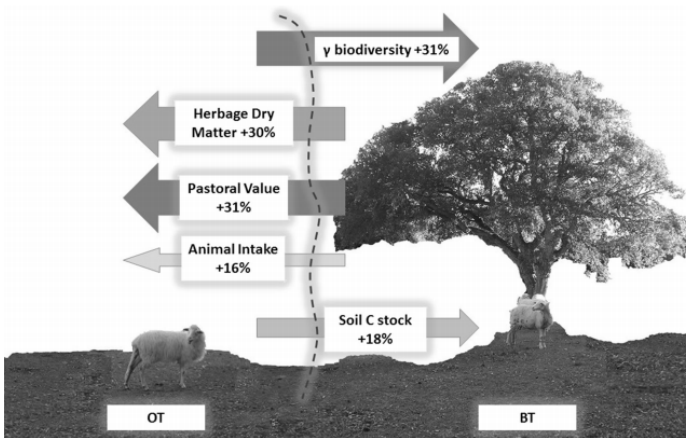


Figura 3.1. Pascolo arborato con ovini, e quantificazione dei servizi ecosistemici dei sistemi silvopastorali con querce ed ovini in Sardegna (Seddaiu et al 2018).

Foto di P. Paris

### SISTEMI SILVOARABILI

Nel Nostro Paese, le superfici a seminativo sono attualmente 6,8 Mil. ha. Erano circa 13 Mil. ha nel 1950. Questa forte riduzione ha riguardato per lo più i seminativi marginali delle zone collinari e submontane, dove il bosco è fortemente aumentato a causa dell'abbondanza delle superfici agricole. Grazie a questa colonizzazione del bosco delle terre agricole

marginali, negli ultimi decenni in Italia le foreste sono aumentate sino a coprire più di un terzo di tutto il territorio, con più di 12 Mil. ha di bosco. Purtroppo, molte superfici forestali non sono adatte alla crescita di specie legnose per legname di pregio, che rimane strutturalmente carente in Italia, e viene importato, alimentando la deforestazione nei Paesi tropicali e subtropicali. Inoltre, l'attuale emergenza di contrasto alla crisi climatica richiede forti cambiamenti economici verso la bio-economia circolare, in cui il legno è materia prima rinnovabile strategica.

Le ricerche su sistemi silvoarabili innovativi hanno per lo più riguardato le specie da arboricoltura da legno, quali pioppi e noce, in parallelo a quanto avvenuto a livello mondiale per altri Paesi, in primis India e Cina, nonché Europa e Nord-America.

Il noce comune (*Juglans regia* L.) è stato tradizionalmente coltivato per la triplice produzione di legname pregiato e per i suoi frutti, in consociazione con colture agrarie. Questa tradizione ha subito una forte contrazione per le importazioni dei frutti da mercati esteri (USA e Cile), e di legname pregiato tropicale, nonché per lo sviluppo della nocicoltura specializzata da frutto in Italia. La coltivazione specializzata da legno del noce ha trovato significative limitazioni in Italia, per la scarsa disponibilità di superfici con suoli fertili da destinare alla sola produzione legnosa con turni di produzione di almeno 30 anni per arrivare al prodotto legnoso finale. Lo sviluppo di moderni sistemi silvoarabili del noce da legno può rilanciare la coltura da noce da legno su terreni fertili, in consociazione con le colture agrarie. I Piani di Sviluppo Rurale possono finanziare questa nuova tipologia di sistema colturale. Il noce è indicato per la produzione di tronchi da sega, ma soprattutto di tronchi da trancia, categoria produttiva che spunta i maggiori valori di vendita. Oltre al noce comune vanno bene anche gli ibridi interspecifici. Per il noce comune sono disponibili alcune varietà/popolazioni tradizionali, diffuse in diverse zone d'Europa. In Italia, segnaliamo la Sorrento (sud Italia), la Feltrina (centro) e la Bleggiana (nord). Per il successo tecnico ed economico dell'impianto agroforestale del noce è fondamentale l'opportuna scelta del materiale d'impianto, selezionando genotipi a fogliazione tardiva ed a spiccata dominanza apicale. La fogliazione tardiva è fondamentale per evitare i danni da gelate tardive in primavera, a cui il noce è fortemente sensibile.

Inoltre la fogliazione tardiva riduce l'ombreggiamento degli alberi adulti sulle colture consociate.

La redditività dei sistemi silvoarabili è fortemente determinata da un modulato equilibrio tra densità degli alberi e durata nel tempo della produzione della coltura consociata, che tende a diminuire all'aumentare dell'età e dimensioni degli alberi. È quindi di fondamentale importanza correlare la produzione delle colture erbacee ed età degli alberi, mediante semplici parametri, come l'Area Basimetrica degli alberi (G, vedi legenda Fig. 3.2). Ricerche condotte in Italia, in piantagioni sperimentali di noce ibrido consociato con grano, trifoglio e prato hanno identificato equazione tra G e la produzione relativa della coltura consociata rispetto alla stessa non ombreggiato (PR%). Per il grano tenero,  $PR\% = -6,21G + 100$ ; per trifoglio:  $PR\% = -0,04G + 100$ ; per prato naturale,  $PR\% = -3,9G + 100$  (Paris et al., 2010). Queste equazioni possono essere usate per l'ottimizzazione del modello colturale, in funzione della densità di piantagione e dei ritmi d'accrescimento. Ad esempio, con una densità di 50 piante  $ha^{-1}$ , il PR% del grano consociato è ben superiore all'80% sino a 23 anni dall'impianto del noce, cioè fino a più di due terzi del ciclo colturale della piantagione.



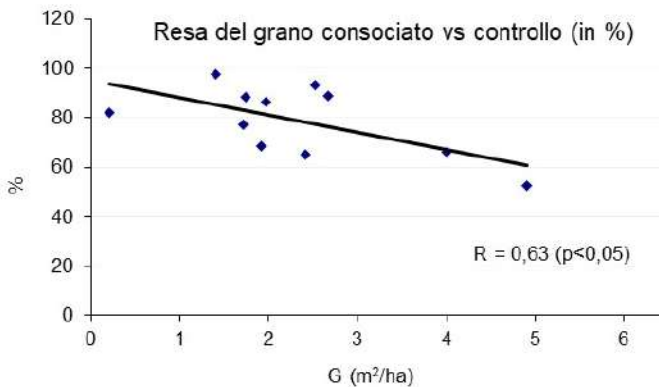


Figura 3.2. Parcelle sperimentali di noce ibrido da legno con grano, ex campi sperimentali del CNR IRET, in loc. Biagio (Colli Vulsinii, prov. di Terni). Foto di P. Paris. Relazione tra accrescimento del noce (come area basimetrica) e produzione relativa della coltura consociata rispetto alla stessa non consociata. R = coeff. di correlazione della regressione lineare. p = grado di significatività statistica. G = area basimetrica in  $m^2/ha = (\pi/4 \times DBH^2) \times d$ , con DBH = diametro del tronco a 1,3 m; d = densità piantagione in numero di piante per ha. Perali et al, 2009)

I pioppi (*Populus* spp) sono alberi ad accrescimento molto più rapido rispetto ai noci, e producono legname di facile lavorazione industriale, come compensati, pannelli di legno sminuzzato, segati ed imballaggi. L'Italia vanta una lunga ed eccellente tradizione per la pioppicoltura industriale sin dai primi del '900, con il significativo sviluppo del miglioramento genetico dei cloni ibridi, nonché la messa a punto di efficienti sistemi di gestione delle piantagioni specializzate con densità di circa 270 piante ad ha (sesto 6 x 6 m). I moderni ibridi interspecifici di pioppi euroamericani hanno turni di produzione di circa 10 anni nei fertili terreni alluvionali, soprattutto in Pianura Padana. In tali condizioni gli alberi raggiungono 30 cm di diametro e 20 m di altezza totale, producendo sino a 0,7 tonnellate di legname per pianta, gran parte da sfogliatura per i pannelli compensati, con attuali prezzi di mercato di circa 120 €/t per le piante in piedi. Attualmente c'è forte carenza di legame di pioppo, che deve essere soddisfatta da nuove superfici a coltivazione, tra cui anche i sistemi silvoarabili di pioppo consociato a colture agrarie (Paris et al., 2018). Tale tematica è stata recentemente studiata nel Prog. PSR Veneto (2018-22) Carter. Le esperienze condotte indicano che il numero

di piante di pioppo da consociare alle colture erbacee variano tra 20 e 30 piante per ettaro, piantando il materiale d'impianto (pioppelle od astoni) lungo il bordo del campo o lungo le scoline di drenaggio sui terreni alluvionali. Così si utilizzano porzioni di terreno altrimenti non produttive e la densità degli alberi non determina un ombreggiamento eccessivo sulle colture erbacee consociate. Per ciò che concerne la produttività del pioppo agroforestale rispetto al pioppo in impianti specializzati sono da evidenziare 2 aspetti salienti, entrambi dovuti alla minore densità d'impianto: i) quantitativamente la produttività per singola pianta è maggiore di circa il 50%; ii) qualitativamente il legno potrebbe presentare più difetti a causa della maggiore incidenza della ramificazione, ponendo estrema attenzione alle potature.

Infine, per favorire la sostenibilità ambientale è preferibile l'impiego dei nuovi cloni ibridi MSA (Maggiore Sostenibilità Ambientale), che oltre ad avere un maggior accrescimento, sono resistenti alle principali avversità da patogeni dei cloni ibridi tradizionali. Particolare attenzione ai diserbanti e pesticidi delle colture erbacee, a cui i pioppi possono manifestare scarsa tollerabilità.

### **CAP. 3 IN BREVE. SVILUPPI DELL'AGROFORESTAZIONE IN ITALIA**

- con i sistemi silvopastorali più benessere animale, biodiversità e Carbonio nel suolo;
- con i sistemi silvoarabili nuovi spazi ed opportunità per la produzione di legname pregiato;
- le specie arboree più studiate per sistemi silvoarabili sono i pioppi ed i noci per legname da industria.

### **BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE E LETTURE CONSIGLIATE CAPITOLI 1-3**

ASSALZOO (Associazione Nazionale tra i Produttori di Alimenti Zootecnici), 2021. Annuario 2021.

Den Herder, M.; Moreno, G.; Mosquera-Losada, R.M.; et al (2017). *Current extent and stratification of agroforestry in the European*

- Union. Agric Ecosyst Environ* 241:121–132. doi: 10.1016/j.agee.2017.03.005.
- Kay, S.; Paris, P. (et al., +26 Authors); 2019. *Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe*. *Land Use Policy*, 83, pp. 581-93. doi: 10.1016/j.landusepol.2019.02.025.
- Nair, P.K.R.; Kumar, B.M.; Nair, V.D.; 2022. *An Introduction to Agroforestry. Four Decades of Scientific Development*. Second Edition, Springer, pp. 666. doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0.
- Paris, P.; Camilli, F.; Rosati, A.; Mantino, A.; Mezzalana, G.; Dalla Valle, C.; Franca, A.; Seddaiu, G.; Pisanelli, A.; Lauteri, M.; Brunori, A.; Re G.A.; Sanna, F.; Ragolini, G.; Mele, M.; Ferrario, V.; Burgess, P.J.; 2019. *What is the future for agroforestry in Italy?* *Agroforestry Systems*, doi: 10.1007/s10457-019-00346.
- Paris, P.; Dalla Valle, C.; Sangiovanni, M.; Facciotto, G.; Chiocchini, F.; 2018. *Piantagioni agroforestali di pioppo per l'industria. L'esperienza del Progetto AGROFORWARD*. *Sherwood, Tecnico&Pratiko*, 135, pp. 29-31
- Perali, A.; Pisanelli, A.; Ecosse, A.; Scarascia Mugnozza, G.; Cannata, F.; Paris, P.; 2009. *Sistemi agroforestali: consociazione vincente*. *Terra e Vita*, 44, pp. 38-41.
- Sarti, M.; Ciolfi, M. Lauteri, M.; Paris, P.; Chiocchini, F.; 2021. *Trees outside forest in Italian agroforestry landscapes: detection and mapping using sentinel-2 imagery*. *European Journal of Remote Sensing*, vol. 54, n. 1, 610–624. doi.org/10.1080/22797254.2021.1986678.
- Seddaiu, G.; Bagella, S.; Pulina, A.; Cappai, C.; Salis, L.; Rossetti, I.; Lai, R. and Roggero P.P.; 2018. *Mediterranean cork oak wooded grasslands: synergies and trade-offs between plant diversity, pasture production and soil carbon*. *Agroforestry Systems*, vol. 92, pp. 893–908; doi.org/10.1007/s10457-018-0225-7



## Capitolo 4

# Agroforestazione in olivicoltura

### UN PO' DI STORIA

Fin dall'inizio della sua antica coltivazione, l'olivo è stato tipicamente consociato a colture erbacee, arboree e animali al pascolo. Columella (I secolo AC), nel suo "De re rustica", consigliava di seminare il grano nell'oliveto, ogni due anni, per migliorare la produttività dell'olivo.

Queste consociazioni, conosciute oggi anche come sistemi agroforestali, permettevano di meglio soddisfare i fabbisogni dell'agricoltore, producendo beni diversi, con una maggiore resa complessiva sullo stesso terreno. Nel secolo scorso le consociazioni olivicole, come altre policolture da frutto, si sono drasticamente ridotte, lasciando il posto a colture specializzate, per permettere la meccanizzazione e fare economia di scala, aumentando così l'efficienza della manodopera, sempre più scarsa e costosa.

Oggi, mentre l'olivo è la coltura arborea più consociata, la maggior parte degli oliveti è gestita solo per la produzione di olive (da tavola o da olio). L'agroforestazione (consociazione) in olivicoltura è praticata solo su circa l'8% della superficie olivicola in Europa o l'11% in Italia. Inoltre, sempre in Europa, la maggior parte dell'agroforestazione olivicola (circa il 66%) è costituita da sistemi silvopastorali in cui il bestiame pascola nell'agrosistema olivicolo. Il resto è costituito da policolture legnose (ovvero olivo-altre arboree; 25%), policolture seminatrici (olivo-seminativo; 6%) e policolture orticole (olivo-orticole; 2,6%).

La specializzazione dell'olivicoltura ha comportato una semplificazione eccessiva del sistema, riducendolo spesso a una monocoltura con lavorazioni continue e diserbo. Ciò ha portato a inconvenienti quali il degrado strutturale e l'erosione del suolo, soprattutto negli oliveti in pendenza, che sono la maggioranza, e una drastica riduzione della biodiversità dell'agrosistema.

In questi sistemi intensivi, l'erosione del suolo riduce la fertilità dello stesso, portando via lo strato superiore e più fertile. La fertilità è ulteriormente ridotta da una diminuzione della sostanza organica del suolo, dovuta alla lavorazione continua, e alla sostituzione del letame con

fertilizzanti chimici. Di conseguenza, i fertilizzanti e gli altri prodotti chimici distribuiti nell'agrosistema olivicolo si perdono facilmente con le precipitazioni sia per lisciviazione e ruscellamento che per erosione del suolo, a danno sia dell'oliveto che dell'ambiente, con inquinamento delle acque ed eutrofizzazione.

Gas ad effetto serra vengono emessi dalla produzione, dal trasporto e dalla distribuzione di fertilizzanti e altri prodotti chimici e dalla lavorazione del terreno con macchinari (consumo di carburante).

La diminuzione di sostanza organica nel suolo contribuisce ulteriormente al rilascio di carbonio nell'atmosfera e quindi al riscaldamento globale.





*Figura 4.1. Oliveti ipersemplicati in sistemi tradizionali (foto in alto) e ad altissima densità o siepe (foto in basso). La lavorazione continua e il controllo delle infestanti portano all'erosione del suolo (soprattutto sui pendii), alla perdita di sostanza organica e fertilità del suolo, alla lisciviazione dei nutrienti e alla perdita di biodiversità.*

Per arginare o, meglio, invertire questa tendenza, gli oliveti vengono sempre più spesso inerbiti, con inerbimenti temporanei o permanenti, spontanei o seminati. Gli inerbimenti proteggono la struttura del suolo, migliorano l'infiltrazione dell'acqua e riducono l'erosione, aumentano la (o riducono il declino della) sostanza organica del terreno e quindi ne migliorano la fertilità, l'attività biologica e il sequestro del carbonio. Questo migliora anche la ritenzione di acqua e nutrienti e la degradazione degli inquinanti. L'inerbimento protegge la superficie del suolo dalla disgregazione dovuta alle precipitazioni, prevenendo la formazione di croste e l'erosione, e riducendo la compattazione del suolo dovuta ai macchinari. Inerbire migliora anche l'accessibilità al campo e aumenta l'agrobiodiversità, con potenziali vantaggi aggiuntivi in termini di controllo dei parassiti, ma sono necessari ulteriori studi per quantificare meglio questi aspetti. L'utilizzo di leguminose è particolarmente utile per fissare l'azoto atmosferico e, quindi, fertilizzare l'oliveto. Si tratta, infatti, di una

pratica antica che è stata progressivamente abbandonata dopo l'introduzione dei fertilizzanti di sintesi nel secolo scorso, ma che torna ad essere appetibile alla luce dei crescenti costi economici e ambientali di questi fertilizzanti. Nel breve periodo, le coperture viventi possono competere con gli alberi per l'acqua e le sostanze nutritive, specialmente con alberi giovani, ma nel lungo periodo tendono a prevalere gli effetti benefici di una maggiore capacità di accumulo di acqua da parte del terreno e di una maggiore fertilità. Infatti, i residui dell'erba e degli altri materiali organici (ad esempio, materiali di potatura) lasciati sul terreno come pacciamatura possono aumentare l'immagazzinamento idrico. Mentre gli effetti benefici dell'inerbimento, in termini di protezione del suolo e benefici ambientali, sono ben consolidati, i vantaggi economici per l'agricoltore sono meno evidenti. Nel lungo periodo i benefici possono essere sostanziali (miglioramento del capitale di fertilità del suolo), ma nel breve periodo, l'inerbimento, specie se seminato e non spontaneo, potrebbe comportare costi maggiori rispetto ai benefici economici. Questo potrebbe spiegare perché tale pratica non è sempre adottata; circa il 50% degli olivicoltori utilizza ancora la lavorazione regolare del terreno. Tuttavia, l'inerbimento è sempre più adottato, soprattutto quando le precipitazioni sono sufficientemente elevate e/o è disponibile l'irrigazione. Se l'oliveto va inerbito, perché non utilizzare specie che abbiano una prospettiva economica, invece di specie che comportano solo costi di gestione? Le specie ideali combinano la protezione e il mantenimento della fertilità del suolo con una redditività economica, producendo reddito aggiuntivo nell'oliveto.

### **GLI OLIVETI HANNO BISOGNO DI REDDITO AGGIUNTIVO**

L'olivicoltura, come la maggior parte dell'agricoltura nei paesi sviluppati, è raramente redditizia senza contributi. Circa il 70% degli oliveti mediterranei sono tradizionali e a bassa densità. Questi oliveti sono sempre più abbandonati a causa della loro bassa produttività. Ad esempio, in Italia, con il disaccoppiamento dei contributi dalla produzione, previsto dall'attuale politica agricola comune (PAC), molti olivicoltori trovano conveniente intascare i contributi e lasciare gli olivi incolti (pur rispettando la regola della condizionalità prevista nella PAC).

Ciò comporta un aumento del rischio di abbandono, soprattutto di oliveti marginali e meno produttivi, con forte impatto ambientale e socio-economico, data l'estesa superficie olivicola in Italia. Né l'agricoltore può rimuovere gli ulivi e per piantare colture più redditizie, poiché gli olivi sono protetti. Trovare nuove opportunità di reddito aggiuntivo o nuovi modi per ridurre i costi è una soluzione vincente per mantenere la redditività economica di questi oliveti, evitandone così anche l'abbandono. L'attuale PAC mira ad aumentare la sostenibilità dell'agricoltura, premiando (con i contributi) chi riduce l'impatto ambientale delle colture. L'obiettivo principale della PAC, ma anche dell'agricoltura mondiale, è produrre di più con meno risorse, quindi in modo più sostenibile. Nell'oliveto, ciò può essere ottenuto con consociazioni e pascolo, quando vi è complementarità nell'uso delle risorse naturali. Non tutte le combinazioni albero/coltura/allevamento sono possibili o convenienti, comprese alcune delle consociazioni utilizzate in passato. Ad esempio, probabilmente non è fattibile tornare a coltivare il frumento in oliveti specializzati: la concorrenza tra le due colture, soprattutto per la luce, rischia di essere alta con i sestri di impianto dei più moderni oliveti e non ci sarebbe abbastanza spazio per la mietitrebbia. Tuttavia, come accennato in precedenza, la maggior parte degli oliveti mediterranei sono ancora tradizionali e a bassa densità, in molti casi con una distanza sufficiente per considerare la coltivazione del grano, così come altre colture come orzo, mais, fava e cece. Pertanto, sia le consociazioni tradizionali che quelle innovative devono essere attentamente studiate e adattate a ciascuna situazione, considerando l'attuale contesto tecnico, sociale, ambientale e di mercato.

## LE CONSOCIAZIONI OLIVICOLE NELLA PRATICA

### Consociazioni erbacee

Negli oliveti gestiti con lavorazioni del terreno, si possono consociare colture annuali. Le leguminose azoto-fissatrici potrebbero essere preferite per la fissazione biologica dell'azoto che si traduce in una concimazione azotata per gli olivi. Colture invernali (a ciclo autunno-primaverile) come fave, ceci, piselli, vecce, ecc. sono preferibili per evitare



la competizione per acqua e nutrienti in estate. Anche in questi casi, però, la raccolta meccanica può rappresentare un problema e la competizione, soprattutto per l'acqua, può essere significativa in quanto il ciclo colturale potrebbe concludersi troppo tardi in primavera per evitarla: più tardivo è il ciclo colturale, più forte è la competizione. Tuttavia, alcune colture potrebbero non consumare più acqua o sostanze nutritive rispetto a inerbimenti spontanei. La competizione può essere ridotta con colture invernali a ciclo più breve, come molti ortaggi, tra cui rape, cime di rapa, cavoli, cavolfiori, broccoli, lattuga, bietole, ravanelli, spinaci e fave e piselli per il consumo fresco (che vengono raccolti prima di quelli secchi). Potrebbero essere prese in considerazione anche colture perenni a basso consumo idrico, che hanno il vantaggio di non necessitare lavorazioni del terreno e semine annuali, riducendo sia l'erosione del suolo che l'impatto ambientale (riduzione del consumo di carburante per la lavorazione del terreno). Un caso recentemente studiato è una specie di asparago selvatico (*Asparagus acutifolius*), una pianta xerofita (resistente alla siccità) che produce asparagi consumati e venduti da tempo memorabile nel Mediterraneo. Attualmente questa pianta non è coltivata se non sporadicamente, ma lavori recenti dimostrano che può essere coltivata con successo nell'oliveto.



Figura 4.2. *Asparago selvatico (Asparagus acutifolius)* coltivato sulle file degli alberi in un oliveto superintensivo (a siepe).

Un altro esempio è il carciofo, una coltura con radici perenni ma con vegetazione autunnale-primaverile che muore durante la stagione secca, quindi non compete per l'acqua durante l'estate. Colture a bulbo come narcisi (*Narcissus* spp.), tulipani (*Tulipa* spp.) e altri, possono anche essere adatte alla consociazione nell'oliveto, a causa del loro breve ciclo inverno-primaverile, che non compete per l'acqua in estate e non interferisce con la raccolta delle olive in autunno. Il loro ciclo breve e il fatto che non sono colture alimentari, riduce i problemi legati alla deriva dei prodotti chimici impiegati per l'olivo.



*Figura 4.3. Narcisi (Narcissus spp.) coltivati nell'interfila in un oliveto superintensivo (a siepe).*

Un'alternativa più semplice, che non prevede la semina o la coltivazione volontaria, è la raccolta delle varie specie commestibili che crescono spontanee nell'oliveto, soprattutto quando il terreno è lavorato. Molte di queste specie erano tradizionalmente consumate dalla famiglia dell'agricoltore e persino commercializzate, e potrebbero essere vendute in mercati di nicchia come prodotti tradizionali, ad esempio ai ristoranti, o consumate direttamente negli agriturismi (di cui ce ne sono oltre 23.000

solo in Italia). Informare i consumatori sulle proprietà salutistiche di questi ortaggi spontanei aiuterebbe a promuovere il prodotto come avviene per l'olio di oliva. Molte specie commestibili crescono spontanee negli oliveti, tra cui la piccante rucola (*Diplotaxis* spp.), la saporita cascella (*Bunias erucago*), il dolce crespigno (*Sonchus* spp.), l'amara cicoria (*Cichorium intybus*), il pregiato raponzolo (*Campanula rapunculus*), la salutare portulaca (*Portulaca oleracea*), i croccanti strigoli (*Silene vulgaris*) e tante altre. Anche altre specie medicinali e aromatiche, spontanee o coltivate, rappresentano un potenziale per la diversificazione delle colture e per ottenere reddito aggiuntivo.

### **Potenziale foraggero nell'oliveto**

Un'alternativa ancora più semplice ed immediata, rispetto alla coltivazione di colture consociate, è l'utilizzo della vegetazione dell'inerbimento, naturale o seminato, come foraggio. Ciò riduce la competizione idrico/nutrizionale con gli alberi a causa della raccolta anticipata, poiché le piante foraggere possono essere raccolte durante o prima della fioritura invece che alla maturazione dei semi.

La data di raccolta del foraggio può essere flessibile e calibrata in base all'andamento climatico stagionale, anticipandola in caso di siccità precoce, per ridurre la competizione per l'acqua con gli olivi.

Allo stesso modo, in un anno di bassa produttività delle olive, una potatura delle olive più intensa e la successiva raccolta del foraggio possono aumentare la produzione di foraggio, incrementando la resilienza dell'azienda.

Un caso particolare di potenzialità foraggere sono le piante mellifere, che potrebbero fornire un servizio ecosistemico aggiuntivo per le api e un importante ricavo economico, se sfruttate per la produzione di miele. Le piante mellifere includono molte erbe aromatiche, che, oltre al valore mellifero, hanno anche un valore aggiunto nel mercato delle erbe aromatiche.

Oltre al potenziale foraggero dell'inerbimento, naturale o seminato, gli erbivori (in particolare pecore, capre, vacche e conigli) consumano voracemente anche foglie di olivo e rametti ottenuti dalla potatura degli alberi o pascolando direttamente in campo, consumando polloni e vegetazione bassa della chioma. Alcuni studi riportano il valore nutritivo



delle foglie di olivo essiccate e la composizione delle foglie fresche, ma studi in vivo sul valore nutritivo e di digeribilità di foglie fresche, con le diverse specie e razze di bestiame, sarebbero auspicabili.

Le foglie di olivo contengono alti livelli di polifenoli (in particolare oleuropeina), che non sembrano essere tossici per la microflora ruminale. Possono invece avere proprietà benefiche per la salute, come dimostrato per i polli da carne, e migliorare la qualità della carne e del latte. Potrebbero persino ridurre la metanogenesi del rumine, come è stato riscontrato per gli acidi tannici, riducendo l'emissione di metano da parte del bestiame.

I residui di rame (o altri elementi o sostanze chimiche, derivanti dai trattamenti contro malattie e parassiti) che contaminano le foglie di olivo possono essere dannosi e si deve evitare di alimentare gli animali con foglie molto contaminate.

La sansa esausta della lavorazione delle olive può essere utilizzata anche per alimentazione zootecnica. Questo uso ha un valore superiore rispetto alla bioenergia, al compostaggio o all'applicazione diretta sul campo e, sebbene abbia un valore inferiore rispetto all'estrazione di molecole o prodotti di alto valore per uso alimentare o farmaceutico, è più ampiamente applicabile. L'uso della sansa di oliva come mangime sembra non recare alcun danno agli animali e alle loro prestazioni, ad esempio su pecore e bovini e, invece, giova alla loro salute. Beneficia anche la salute dei consumatori a causa della maggiore insaturazione nel profilo degli acidi grassi dei prodotti animali.

Alcuni effetti negativi sono stati riscontrati in erbivori non ruminanti come i conigli, ma solo quando la sansa sostituiva oltre il 20-25% della dieta del coniglio. Allo stesso modo, non sono stati osservati effetti negativi nei polli da carne con sansa di olive fino al 7,5% della dieta, mentre il 10% ha ridotto l'assunzione dell'alimento e la crescita.

L'uso zootecnico della sansa di oliva è facilitato dalla pratica sempre più diffusa della denocciolatura, che rimuove gli endocarpi legnosi, che vengono utilizzati come prezioso combustibile.

Gli oliveti, quindi, considerando la biomassa dell'inerbimento, il materiale di potatura e la sansa, producono diverse tonnellate di foraggio fresco, che attualmente è per lo più inutilizzato e rappresenta spesso un residuo

da smaltire a costi elevati, ad esempio per gli sfalci, la trinciatura dei residui di potatura e lo smaltimento della sansa.

Le diverse produzioni foraggere dell'oliveto si distribuiscono nel tempo, creando preziose occasioni di distribuzione del foraggio durante tutto l'anno. Il materiale di potatura dell'olivo è potenzialmente disponibile per un lungo periodo, dall'autunno alla primavera, offrendo la possibilità di alimentare il bestiame con foraggio fresco per un lungo tempo in un periodo in cui il foraggio verde scarseggia.

Questa pratica è anche vantaggiosa considerando che le foglie di olivo sembrano diminuire rapidamente in termini di digeribilità e qualità del foraggio con l'essiccazione e lo stoccaggio, a parte il fatto che l'essiccazione e lo stoccaggio probabilmente non sarebbero economicamente sostenibili. La rimozione di polloni e succhioni può fornire del foraggio durante l'estate, quando di nuovo c'è poco foraggio verde. La sansa denocciolata è disponibile in autunno ma può essere conservata insilata o disidratata. L'inerbimento può essere disponibile per il pascolo quasi tutto l'anno, con picchi in primavera e in autunno, o quando piove a sufficienza.

I foraggi e i mangimi prodotti nell'oliveto possono essere raccolti e portati agli animali, evitando danni agli ulivi con il pascolamento diretto.



*Figura 4.4. Capre e grandi animali possono danneggiare gli ulivi: in questo caso conviene somministrare il materiale di potatura fuori dall'oliveto.*



*Figura 4.5. Balla di materiale di potatura fresco, portata fuori dal campo e pronta per essere somministrata agli animali o lasciata essiccare per diversi usi successivi.*

In alternativa, gli animali possono pascolare direttamente nell'oliveto, risparmiando sui costi di fienagione, trasporto e stoccaggio e risolvendo il problema della meccanizzazione ostacolata nell'oliveto, che potrebbe non consentire agevolmente la fienagione.

### **Il pascolo nell'oliveto**

Gli animali al pascolo devono essere compatibili con la coltivazione dell'olivo: non devono danneggiare gli alberi. Le pecore possono essere compatibili se gli alberi sono potati alti o se c'è abbastanza erba a terra, che di solito è preferita alle foglie di olivo. Alcune razze ovine sono più adatte per la tendenza a preferire l'erba rispetto agli olivi. Le razze di piccola taglia sono preferibili a quelle più alte. Esistono anche esperienze di "addestramento" del bestiame dove gli animali sono indotti a non consumare il raccolto da proteggere. Anche somministrare agli animali materiale di potatura dell'olivo prima di introdurli nell'oliveto aiuta a prevenire i danni, in quanto una volta che gli animali hanno consumato abbondante vegetazione di olivo, preferiscono altri foraggi per il resto della giornata.



*Figura 4.6. Gli ovini possono diserbare e concimare l'oliveto, mentre consumando l'erba nell'oliveto si risparmia sull'alimentazione degli animali.*

Capre e asini sono da evitare in quanto preferiscono l'olivo all'erba e possono scortecciare e comunque danneggiare gli alberi provocando danni devastanti, soprattutto su alberi giovani.

Le vacche sono troppo alte e divorano la vegetazione degli ulivi, anche se, come per le pecore, con abbondante erba a terra, e con una opportuna gestione, possono essere compatibili in alcuni momenti e situazioni.

I cavalli possono essere compatibili se c'è abbastanza erba, che preferiscono all'olivo, ma gli animali di grossa taglia in genere tendono a compattare il terreno e devono essere lasciati pascolare per brevi intervalli quando il terreno è asciutto e rimossi non appena la vegetazione a terra è stata sufficientemente consumata. In realtà, questo è un principio generale che vale per tutti gli animali al pascolo.

Gli animali più piccoli sono generalmente più sicuri in termini di potenziali danni agli alberi e al suolo. Le oche sono ottime pascolatrici, non danneggiano gli ulivi a causa delle loro piccole dimensioni e perché non mangiano foglie di olivo. I loro piedi palmati riducono la compattazione del suolo e il fatto che non razzolano comporta che le erbacce vengono falciate ma non distrutte. Questo può essere un vantaggio o uno

svantaggio a seconda della necessità dell'agricoltore di lasciare il cotico erboso o distruggerlo in estate.

Con il tempo, però, subentrano le specie infestanti non consumate dalle oche (flora di sostituzione), se non distrutte da altri animali e da occasionali lavorazioni o falciature. I polli e gli altri volatili (es. tacchini, faraone) sono erbicidi naturali molto utili: pur non consumando interamente il foraggio (essendo prevalentemente granivori), lo distruggono razzolando.

Per questo motivo, però, la loro azione può portare alla compattazione del suolo e alla completa scomparsa di qualsiasi vegetazione, soprattutto in prossimità delle zone di stabulazione e di alimentazione.

Ancora una volta, il pascolo a rotazione è essenziale.



*Figura 4.7. I polli sono efficaci nel diserbare l'oliveto. Un eccesso di pascolo, però, può portare a denudamento e compattamento del suolo, esponendolo all'erosione, eccesso di concimazione (particolarmente di fosforo nel caso del pollame) e lisciviazione di nutrienti. I polli al pascolo consumano l'erba, ma questo non riduce di molto il fabbisogno alimentare dei volatili, a differenza dei rimanenti che si nutrono prevalentemente di erba. Tutti gli animali beneficiano dell'ombra e della protezione da vento e agenti atmosferici.*



Tutti gli animali al pascolo fertilizzano mentre pascolano, spargendo contemporaneamente il letame, senza bisogno di macchine. La concimazione e il diserbo sono le due pratiche a maggior impatto ambientale nella coltivazione dell'olivo. Allo stesso modo, l'utilizzo degli oliveti per il pascolo riduce l'impatto ambientale dell'allevamento del bestiame, oltre a fornire altri benefici in termini di protezione dai predatori e dagli eventi meteorologici (pioggia, vento, sole, temperature estreme), migliorando il benessere animale e la qualità della carne.

Il bestiame può anche nutrirsi di frutti caduti prima (cascola naturale dei frutti) o durante la raccolta, eliminando così anche le eventuali larve di mosca che infestano i frutti caduti, oltre a trasformare i frutti caduti in prezioso foraggio. I polli possono anche contribuire a un ulteriore controllo dei parassiti, ad esempio contro il punteruolo dell'olivo (*Otiorhynchus cribricollis*) e la mosca dell'olivo (*Bactrocera oleae*). È anche possibile che i polli possano contribuire a controllare le sputacchine, tra cui *Philaenus spumarius*, il principale vettore di *Xylella fastidiosa*, il batterio che causa la sindrome del declino rapido dell'olivo, ma al momento non sono disponibili dati su questo argomento potenzialmente rilevante. Infine, le galline o altri uccelli possono concimare e diserbare non solo gli ulivi, ma anche le colture consociate, ad esempio l'asparago selvatico o il carciofo. Infatti, la pianta matura dell'asparago selvatico è spinosa e rigida, e le galline non la danneggiano, mentre distruggono le erbacce, concimando e diserbando sia gli ulivi che gli asparagi. Allo stesso modo, la pianta matura del carciofo è troppo alta e amara, e il pollo pascola sotto di essa, diserbandola efficacemente senza danni significativi. Oltre ai benefici nel controllo dei parassiti delle olive, è noto che i polli, come le anatre, consumano e quindi controllano la criocera degli asparagi (*Crioceris* spp.) che altrimenti potrebbe causare danni agli asparagi selvatici.

Ulteriori possibilità inesplorate per aumentare la produttività complessiva degli oliveti includono la consociazione con colture di cereali/leguminose a maturazione precoce e con basso sviluppo vegetativo. Entrambe queste caratteristiche ridurrebbero la competizione per l'acqua e le sostanze nutritive con gli ulivi. Il grano potrebbe essere "raccolto" direttamente dai polli al pascolo (o altre specie di bestiame). Ciò ridurrebbe i costi di coltivazione dei cereali per l'allevamento del bestiame, lasciando i residui

colturali a fungere da fertilizzante e pacciamatura nell'oliveto. Ciò sarebbe particolarmente vantaggioso se la coltura fosse un legume azotofissatore a causa della fissazione dell'azoto atmosferico e perché i legumi sono più ricchi dei cereali in proteine, la parte più costosa dei mangimi, spesso importata da paesi lontani (soia).

In conclusione, ripensare gli oliveti (e i frantoi) per considerare il loro potenziale zootecnico è probabilmente una delle strade più promettenti per aumentare e sfruttare in modo sostenibile la loro potenziale produttività, come già raccomandato dalla FAO. Combinare l'olivicoltura con l'allevamento del bestiame, sia nella stessa azienda che in aziende separate, aumenterebbe significativamente la produttività complessiva riducendo i costi e l'impatto ambientale sia nel settore olivicolo che in quello zootecnico, promuovendo un'economia circolare.

### **Utilizzo di sottoprodotti dell'olivo per migliorare la fertilità del suolo**

Quando l'integrazione del bestiame in olivicoltura non è possibile, i sottoprodotti dell'olivo (ovvero erba trinciata o falciata, materiale di potatura e sansa) possono almeno essere restituiti al suolo, diminuendone l'erosione e aumentandone la fertilità, la sostanza organica e il sequestro del carbonio. In particolare, i materiali di potatura ricchi di lignina favoriscono l'umificazione di materiali altrimenti rapidamente decomponibili come foglie di olivo e erba trinciata. Tali materiali aumentano l'attività dei lombrichi nei terreni indisturbati e quindi migliorano la struttura e la permeabilità del suolo. Tuttavia, utilizzare questi stessi materiali come foraggio, prima di restituirli comunque al terreno sotto forma di letame, consente di ottenere più benefici. Attualmente, l'uso alimentare zootecnico di questi materiali è molto limitato; ad esempio, in Andalusia, la principale regione produttrice di olive in tutto il mondo, l'80% dei sottoprodotti delle olive viene utilizzato per la produzione di energia mentre solo il 5% viene utilizzato come foraggio, e questi numeri non tengono conto del potenziale zootecnico dell'inerbimento, per lo più non sfruttato affatto.

Utilizzare questi materiali come foraggi, biocarburanti o qualsiasi altro uso produttivo, prima di restituirli al suolo, aumenta la produttività per unità di terreno, con minori risorse esterne all'azienda, diminuendo i costi di gestione dell'oliveto.

## PROSPETTIVE FUTURE

Per millenni, la consociazione e il pascolo nell'oliveto, così come in altri sistemi arborei, è stata una pratica comune (e sostenibile) per i numerosi vantaggi ambientali e produttivi che comporta. Alcuni svantaggi delle vecchie consociazioni, tra cui la meccanizzazione ostacolata, la bassa efficienza della manodopera e l'incompatibilità con le tecniche moderne come il controllo chimico dei parassiti e delle malattie (i prodotti chimici necessari/registrati per l'olivo potrebbero non essere necessari/registrati per le consociazioni) hanno portato alla quasi scomparsa delle consociazioni nell'oliveto, soprattutto nei paesi più sviluppati. Tuttavia, la necessità di modelli agricoli più sostenibili e redditizi e le mutate condizioni socio-economiche che favoriscono prodotti più sostenibili e filiere più corte, compresa la vendita diretta, stanno creando le condizioni per riconsiderare le consociazioni, anche se in chiave moderna. Anche il cambiamento climatico ci sta costringendo a riconsiderare le consociazioni. Ad esempio, nel Mediterraneo, la popolazione sta crescendo rapidamente e le crescenti necessità alimentari minacciano la sicurezza alimentare. Si prevede che il cambiamento climatico aumenterà la siccità estrema e le alte temperature, aggiungendo ulteriore incertezza alla sicurezza alimentare, specialmente nel Mediterraneo. L'olivo è la coltura arborea più coltivata nel Mediterraneo, con circa 11 milioni di ettari (98% del totale). A differenza del passato, la maggior parte degli oliveti ha attualmente un potenziale produttivo inesplorato e non sfruttato in termini di foraggio e colture consociate, nonché nel tamponare l'impatto dei cambiamenti climatici/estremi climatici sulla produttività delle colture consociate. Data l'estesa coltivazione dell'olivo, nel Mediterraneo e nel mondo, sfruttare questo potenziale è un'importante opportunità per produrre di più con meno risorse (quindi in modo più sostenibile), contribuendo così alla resilienza agricola e alla sicurezza alimentare. Tuttavia, le consociazioni più appropriate devono essere messe a punto per trovare combinazioni di specie adatte alle esigenze e ai contesti socio-economici moderni, sia dal punto di vista ambientale che economico.

La ricerca moderna sta iniziando ad affrontare questi temi, fornendo indicazioni utili, tuttavia rimangono molte lacune. Ad esempio, la produttività delle colture consociate sotto gli alberi può essere migliorata



selezionando varietà adattate all'ombra parziale, mentre le varietà attuali sono state selezionate in pieno sole e potrebbero non sfruttare al meglio l'ambiente ombreggiato. Prima ancora della scelta varietale, la stessa scelta della specie coltivata dovrebbe privilegiare le specie tolleranti all'ombra.

Fornire un reddito aggiuntivo nell'oliveto diventa essenziale per mantenere paesaggi di pregio, altrimenti non economicamente sostenibili. Tuttavia, contrariamente a quanto si crede, l'integrazione di consociazioni e/o allevamenti negli oliveti non è appannaggio solo di piccole aziende a conduzione familiare o di sistemi olivicoli marginali di valore prevalentemente paesaggistico. A volte, come per l'allevamento del bestiame, è necessario raggiungere una certa dimensione aziendale per realizzare le economie di scala necessarie per un'attività redditizia. Sono proprio le aziende agricole più grandi che hanno le migliori condizioni per realizzare sufficienti economie di scala per ciascuna delle diverse colture (o specie zootecniche) della consociazione, e che hanno le competenze e le energie di investimento necessarie per sviluppare tecniche, prodotti e mercati innovativi.

#### **BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE E LETTURE CONSIGLIATE PER CAP.4**

Dal Bosco, A.; Mourvaki, E.; Cardinali, R.; Servili, M.; Sebastiani, B.; Ruggeri, S.; Mattioli, S.; Taticchi, A.; Esposto, S.; Castellini, C. (2012). *Effect of dietary supplementation with olive pomaces on the performance and meat quality of growing rabbits*. Meat science, 92(4), 783-788.

Dal Bosco, A.; Mugnai, C.; Rosati, A.; Paoletti, A.; Caporali, S. and Castellini, C. (2014), *Effect of range enrichment on performance, behaviour and forage intake of freerange chickens*, Journal of Applied Poultry Research 23, 137–45.

Dal Bosco, A.; Mugnai, C.; Mattioli, S.; Rosati, A.; Ruggeri, S.; Ranucci D. and Castellini C. (2016), *Transfer of bioactive compounds from pasture to meat in organic free-range chickens*, Poultry Science 95, 2464–71.

- Eichhorn, M.P.; Paris, P.; Herzog, F.; Incoll, L.D.; Liagre, F.; Mantzanas, K.; Mayus, M.; Moreno, G.; Papanastasis, V.P.; Pilbeam, D.J.; Pisanelli, A.; Dupraz, C. (2006) *Silvoarable systems in europe - past, present and future prospects*. Agroforestry Systems, 67:29-50.
- Mantovani, D.; Benincasa P. and Rosati A. (2016), *Olive (Olea europaea L.) and wild asparagus (Asparagus acutifolius L.) agroforestry system: Asparagus performance and its best positioning in the olive orchard*, in: Gosme, M. (Ed.), Proceedings of the 3rd European Agroforestry Conference, Montpellier, France, May 2016, pp. 229–31, ISBN: 978-2-87614-717-1, EAN: 9782876147171.
- Mantovani, D.; Rosati, A., & Perrone, D. (2019). Photosynthetic Characterization and Response to Drought and Temperature in Wild Asparagus (*Asparagus acutifolius* L.). HortScience, 54(6), pp.1039-1043.
- Paolotti, L.; Boggia, A.; Castellini, C.; Rocchi, L.; Rosati, A. 2016. *Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the Life Cycle Assessment (LCA) approach*. Journal of Cleaner Production 131: 351-363.
- Rocchi, L.; Paolotti, L.; Rosati, A.; Boggia, A. & Castellini C. (2019). *Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach*. Journal of cleaner production, 211, 103-114.
- Rosati, A. (2001), *Un possibile futuro per l'asparago selvatico*, L'Informatore Agrario 7, 89–92.
- Rosati, A. (2011), *Asparagi nell'oliveto e la produzione raddoppia*, Olivo e Olio 7/8, 20–24.
- Rosati, A. (2014), *Coltivare asparagi selvatici e allevare polli in un piccolo oliveto*, Vita in Campagna 12, 44–8.
- Rosati, A.; Falavigna, A. (2000), *Germinazione dei semi di asparago selvatico*, L'Informatore Agrario 56/46, 53–5.
- Rosati, A.; Pepe, R.; Senatore, A.; Perrone, D.; Falavigna, A. (2005), *Produttività dell'asparago selvatico*, L'Informatore Agrario 8, 75–7.

- Rosati, A.; Caporali, S. and Paoletti, A. (2009), *Olive, asparagus and animals: An agroforestry model for temperate climate in developed countries*, Proceedings of the III OLIVEBIOTEQ -For a Renovated, Profitable and Competitive Mediterranean Olive Growing Sector, Sfax, Tunisia, 15–19 December 2009, pp. 229–33, ISBN: 978-9938-9513-0-1.
- Rosati, A.; Castellini, C.; Dal Bosco, A.; Mugnai, C. and Paoletti, A. (2012a), *Manuale per la coltivazione consociata olivo, asparago selvatico, pollo rustico*, Edizioni 3A-PTA. ISBN 88-88417-06-0, 87.
- Rosati, A.; Castellini, C.; Dal Bosco, A.; Mugnai, C.; Paoletti, A. and Caporali, S. (2012b), *Olive agroforestry: An inverse approach to agroforestry*, in Mosquera-Losada, M. R., Pantera, A., Rosati, A., Amaral, J., Smith, J. and Dupraz, C. (Eds), *What Priorities for European Agroforestry*, Book of abstracts of the 1st European agroforestry conference, 9–10 October 2012, Brussels, Belgium, p. 24, ISBN: 978-84-96351-79-0.
- Rosati, A.; Concezzi, L.; Dal Bosco, A.; Mugnai, C. and Paoletti, A. (2012c), *Olivo Asparago selvatico, Pollo rustico. Video on the olive, wild asparagus and free-range chicken system*, <https://www.youtube.com/watch?v=ALw73WwUr2o> (Last accessed on 22 December 2017).
- Rosati, A.; Piottoli, L.; Cartoni, A.; Dal Bosco, A. and Castellini, C. (2014), *Polli al pascolo nell'oliveto Risparmio a tutto campo*, *Olivo e Olio* 6, 4–7.
- Rosati, A.; Boggia, A.; Castellini, C.; Paolotti, L.; Rocchi, L. 2015. *Polli nell'oliveto, anche l'ambiente ci guadagna*. *Olivo e olio*, 6: 4-8.
- Rosati, A.; Pang, K.; Van Sambeek, J.; Gold, M.; Jose, S. 2018. *Improving crop productivity in agroforestry systems: low leaf respiration is a key trait*. In Proceedings of the 4rd European Agroforestry Conference – Agroforestry as Sustainable land use, Nijmegen, Netherland, 28-30 May 2018, ISBN: 978-84-09-02384-4, pp 442-446.



**Finito di stampare:** Gennaio 2023

**Grafica e impaginazione:** Benedetta Scarpelli D.R.E.Am. Italia

**Stampa:** COLORPIX srl

**Foto:** Unsplash.com | Copertina: Emre; Cover Parte 1: Istvan Hernek ;  
Cover Parte 2: Lucio Patone





