

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA "GIORGIO FUÀ"

Corso di Laurea Magistrale in Management della Sostenibilità ed Economia Circolare

GESTIONE SOSTENIBILE DELL'ULIVETO: SOLUZIONI AL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELL'ENTROTERRA SICILIANO

SUSTAINABLE OLIVE GROVE MANAGEMENT: SOLUTIONS TO CLIMATE CHANGE IN SICILIAN HINTERLAND

Relatore: Chiar.mo
Prof. Davide Neri
Correlatore:
Prof.ssa Veronica Giorgi

Tesi di Laurea di:
Bartolo Prestifilippo

Anno Accademico 2025 – 2026

RIASSUNTO

La tesi analizza le prospettive di gestione sostenibile dell'olivicoltura nell'entroterra siciliano, con particolare riferimento alle province di Enna e Caltanissetta, territori caratterizzati da un rilevante patrimonio varietale e paesaggistico, ma anche da crescente vulnerabilità climatica, frammentazione aziendale e limitata capacità di innovazione. L'elaborato adotta un approccio interdisciplinare, integrando dati climatici, conoscenze agronomiche, statistiche produttive e contributi relativi all'economia circolare e all'organizzazione della filiera olivicolo-olearia. La prima parte inquadra il ruolo economico, ambientale e culturale dell'olivicoltura italiana e approfondisce la biodiversità olivicola siciliana. La regione conserva almeno 25 cultivar autoctone, otto delle quali costituiscono la base prevalente della produzione, mentre le altre sono cultivar minori e neglette, tra cui la Nerba, diffusa nell'area centro-meridionale dell'isola. Tale germoplasma rappresenta non soltanto una risorsa genetica da conservare, ma anche un fattore di adattamento alle condizioni pedoclimatiche locali e un possibile elemento di differenziazione commerciale attraverso oli monovarietali e produzioni certificate. L'analisi delle serie climatiche regionali e provinciali riferite al periodo 1940–2024 evidenzia un aumento marcato delle temperature medie, particolarmente accentuato negli ultimi decenni, associato a un'elevata variabilità delle precipitazioni e alla ricorrenza di deficit idrici pluriennali. Nell'entroterra siciliano tali fenomeni interagiscono con la natura prevalentemente argillosa dei suoli, la morfologia

collinare, il basso contenuto di sostanza organica e l'elevato rischio di erosione e desertificazione. Sebbene l'olivo presenti una notevole capacità di adattamento alla siccità, l'intensificazione degli stress termici e idrici può compromettere fioritura, allegagione, accrescimento dei frutti, produttività e qualità dell'olio. In risposta a queste criticità, la tesi individua nella conservazione della fertilità del suolo il fondamento della resilienza dell'oliveto. Le principali strategie proposte comprendono l'inerbimento temporaneo o controllato, la riduzione delle lavorazioni, il sovescio, la restituzione dei residui di potatura, la fertilizzazione organica, il monitoraggio dello stato nutrizionale e l'irrigazione deficitaria controllata. A queste pratiche si associano una potatura regolare e poco invasiva, la difesa fitosanitaria integrata e una raccolta effettuata in epoca idonea, limitando i danni alle drupe e riducendo il tempo intercorrente tra raccolta e molitura. L'esame della campagna olearia 2024–2025 mostra una rete regionale composta da 560 frantoi, ma evidenzia nelle province di Enna e Caltanissetta una struttura produttiva frammentata, caratterizzata da impianti numerosi rispetto ai modesti quantitativi lavorati. L'ammodernamento tecnologico dei frantoi assume quindi un ruolo strategico sia per preservare la qualità dell'olio sia per valorizzare i sottoprodotti. Sanse, acque di vegetazione, nocciolino, foglie e legno di potatura possono essere destinati alla produzione di energia, compost, ammendanti, estratti fenolici e materiali innovativi, trasformando un costo di smaltimento in una risorsa economica e ambientale. In conclusione, la sostenibilità dell'olivicoltura

dell’entroterra non può essere raggiunta mediante interventi esclusivamente agronomici. È necessario integrare tutela del suolo, adattamento climatico, innovazione dei processi, formazione di tutti gli operatori, valorizzazione delle cultivar autoctone e riorganizzazione economica della filiera. La costituzione di consorzi o reti territoriali tra olivicoltori, frantoiani e altri operatori consentirebbe di condividere impianti e servizi, conseguire economie di scala, migliorare l’utilizzo della manodopera, valorizzare i residui, migliorare la commercializzazione e accedere più efficacemente alle certificazioni DOP, IGP e biologiche. La gestione sostenibile dell’oliveto emerge pertanto come strumento congiunto di resilienza climatica, conservazione del paesaggio e sviluppo socioeconomico delle aree interne siciliane.

ABSTRACT

This thesis examines sustainable management strategies for olive growing in the Sicilian hinterland, with particular emphasis on the provinces of Enna and Caltanissetta. These areas are characterized by a valuable genetic, cultural, and landscape heritage, but also by increasing climate vulnerability, farm fragmentation, and limited capacity for technological innovation. The study adopts an interdisciplinary approach, integrating climate data, agronomic knowledge, production statistics, and scientific evidence concerning circular economy practices and the organization of the olive oil supply chain. The first part establishes the

economic, environmental, and cultural importance of Italian olive growing and explores the biodiversity of Sicilian olive germplasm. Sicily preserves at least 25 native cultivars, eight of which account for most regional production and the other cultivars are minor and neglected, including ‘Nerba’, which is widespread in the south-central area of the island. This germplasm represents not only a genetic resource requiring conservation, but also a potential source of adaptation to local soil and climate conditions and a means of market differentiation through monovarietal oils and certified products. The analysis of regional and provincial climate series for the 1940–2024 period reveals a marked increase in mean temperatures, especially during recent decades, together with high rainfall variability and recurrent multi-year water deficits. In inland Sicily, these trends interact with predominantly clayey soils, hilly topography, low soil organic matter, and a high susceptibility to erosion and desertification. Although olive trees are well adapted to Mediterranean drought, increasingly severe heat and water stress may impair flowering, fruit set, fruit development, yield, and oil quality. The thesis identifies soil fertility conservation as the foundation of olive orchard resilience. The main suggested strategies include temporary or controlled cover cropping, reduced tillage, green manuring, incorporation of pruning residues, organic fertilization, plant nutritional monitoring, and regulated deficit irrigation. These practices should be combined with regular and moderate pruning, integrated pest management, harvesting at the optimal stage of ripening, prevention of fruit

damage, and minimization of the time between harvesting and milling. Data from the 2024–2025 olive oil production season show that Sicily had 560 active olive mills. However, the provinces of Enna and Caltanissetta are characterized by a fragmented processing system, with numerous small facilities handling relatively limited quantities of olives. Technological modernization and cooperation among mills are therefore essential both to preserve oil quality and to support the valorization of processing by-products. Olive pomace, olive mill wastewater, olive stones, leaves, and pruning wood can be converted into energy, compost, soil amendments, phenolic extracts, and innovative materials, thereby transforming disposal costs into economic and environmental opportunities. In conclusion, the sustainability of olive growing in inland Sicily cannot be achieved through agronomic measures alone. Soil protection, climate adaptation, process innovation, conservation of native cultivars, and economic reorganization of the supply chain must be integrated within a common territorial strategy. The establishment of consortia and local networks among olive growers, mill operators, well- trained farmersoperators, and other stakeholders could facilitate shared investments, economies of scale, by-product valorization, improved marketing, lower labor requirements reduced use of labour, and access to PDO, PGI, and organic certification schemes. Sustainable olive orchard management emerges as a combined instrument for climate resilience, landscape conservation, and the socioeconomic development of Sicily’s inland rural areas.

INDICE

1. PREMESSA: L'OLIVICOLTURA ITALIANA **1**

1.1 PARTICOLARITÀ REGIONALI 2

1.2 IMPORTANZA ECONOMICA E CULTURALE 5

2. LE CULTIVAR SICILIANE **9**

2.1 DESCRIZIONE CLIMATICA: DATI STORICI E CAMBIAMENTO CLIMATICO 26

2.2 FOCUS SULL'ENTROTERRA SICILIANO 38

3. LA SOSTENIBILITÀ IN OLIVICOLTURA **41**

3.1. LA FERTILITÀ DEL SUOLO 44

3.2. PRATICHE AGRONOMICHE SOSTENIBILI 47

3.2.1 Gestione del suolo 48

3.2.2 Potatura 54

3.2.3 Irrigazione 56

3.2.4 Difesa fitosanitaria 59

3.2.5 Fertilizzazione e concimazione 61

3.3. L'IMPORTANZA DEI PROCESSI DI RACCOLTA E TRASFORMAZIONE: I FRANTOI LOCALI 64

4. SOLUZIONI PER LA CIRCOLARITÀ: DA SCARTO A RISORSA **70**

4.1 CONSORZIO AGRICOLO: UNA NECESSITÀ PER LO SLANCIO 78

4.2 IL CASO DEI CONSORZIO DEI MONTI IBLEI 80

CONCLUSIONI **84**

BIBLIOGRAFIA **89**

1. PREMESSA: L'OLIVICOLTURA ITALIANA

L'Italia vanta un patrimonio olivicolo di oltre 500 varietà di olive autoctone registrate, che rappresentano circa il 40% di tutte le cultivar conosciute a livello mondiale, più di un milione di ettari investiti a oliveto ed una produzione di 328 mila tonnellate di olio d'oliva nel 2023 (Rapporto ISMEA, Settembre 2024). L'Italia olivicola è un mosaico di territori, climi e tradizioni ed il legame tra questa coltura, il paesaggio e le comunità locali è profondo e indissolubile. Ogni regione, e spesso ogni singola area all'interno di essa, presenta cultivar autoctone, frutto di un adattamento secolare all'ambiente specifico e alle condizioni socioeconomiche locali. Molte varietà locali sono state preservate grazie alla dedizione di agricoltori che le hanno trasformate in oli extravergine di oliva di alta qualità, spesso tutelati da Denominazioni di Origine Protetta (DOP). Inoltre, ogni cultivar possiede un profilo sensoriale specifico, determinato dal suo patrimonio genetico ma influenzato anche da fattori agronomici (terreno, clima, grado di maturazione dell'oliva alla raccolta) e tecnologici (tecniche di estrazione nel frantoio, conservazione). L'Italia è il Paese con il maggior numero di cultivar di olivo al mondo, e questa biodiversità si traduce in una straordinaria gamma di oli extravergine di oliva, ognuno con una sua personalità (Filo della Torre R., 2009). L'analisi aromatica permette di identificare le note distintive di fruttato, amaro e piccante che caratterizzano ciascuna varietà. Ad esempio, la Nocellara del Belice, varietà siciliana, si distingue per i frutti grandi e polposi adatti anche come olive da

tavola e per un olio dal fruttato medio con sentori di pomodoro verde e mandorla, e un amaro e piccante equilibrati. La Biancolilla, altra cultivar siciliana, offre olive di media grandezza adatte sia come oliva da tavola che olio, con caratteristiche generalmente più delicate, perché poco amaro e fruttato. Alcune cultivar possono quindi avere usi diversi. Un olio monovarietale, ottenuto da una singola cultivar, permette di apprezzarne appieno le caratteristiche specifiche, mentre i blend (miscele di oli da diverse cultivar) mirano a ottenere un equilibrio particolare.

1.1 PARTICOLARITÀ REGIONALI

L'olivicoltura italiana, come già accennato, cambia volto radicalmente spostandosi anche solo di poche decine di chilometri all'interno del territorio. Le differenze riscontrate sono il risultato di un'interazione secolare tra diversi fattori, tra i quali, i principali sono: il clima, la morfologia del terreno, la disponibilità d'acqua, la storia agraria e sociale, le caratteristiche genetiche delle varietà locali (Mazzalupo, 2012). Senza entrare nel dettaglio, basti pensare, ad esempio, alla differente capacità di resistere al freddo di varietà appartenenti a regioni diverse: cultivar come la Coroncina (Marche) o il Moraiolo (Toscana/Umbria) presentano strategie morfo-anatomiche che permettono alle piante di aumentare la resistenza alle gelate collinari. Allo stesso modo, in risposta alle alte temperature e alla siccità, cultivar siciliane o pugliesi riescono a chiudere gli stomi fogliari in modo estremamente efficiente per bloccare la traspirazione durante i mesi di caldo estremo,

sopravvivendo dove altre varietà morirebbero. Si noti, inoltre, come le differenti scelte operate nei decenni dagli agricoltori relative alla distanza tra gli alberi d'ulivo (sesto d'impianto) o alla gestione del suolo, dettate dalla necessità di adattamento alla morfologia del terreno, abbiano generato stili colturali e paesaggi radicalmente diversi. Ad esempio, in Liguria e in Costiera Amalfitana, zone caratterizzate da pendenze proibitive, i muretti a secco non solo sostengono il terreno prevenendo il dissesto idrogeologico, ma fungono anche da accumulatori termici: assorbono calore di giorno e lo rilasciano di notte, mitigando il microclima (Agnoletti, 2014). Tuttavia, in questi contesti i costi di gestione sono altissimi poiché ogni operazione (dal trasporto dei concimi alla raccolta) è manuale. In sintesi, le differenze geografiche, storiche e climatiche hanno plasmato stili colturali, paesaggi e profili organolettici degli oli profondamente diversi.

Le principali regioni produttrici di olive in Italia sono Puglia, Sicilia, Toscana e Calabria (ISMEA su dati Agea, 2024). Queste aree sono rinomate per la qualità dei loro oli e per le tradizioni agricole che si tramandano da generazioni. La Puglia è la regione leader indiscussa nella produzione di olio extravergine di oliva in Italia, grazie a una tradizione millenaria e a condizioni pedoclimatiche ideali. Da sola genera circa il 50% della produzione nazionale di olio d'oliva. Vanta il maggior numero di aziende agricole olivicole (circa 16.000) e di frantoi attivi (720) (Dati Evolio Expo 2026). Tra le innumerevoli varietà di olivo presenti sul suo vasto territorio, alcune cultivar spiccano per diffusione e importanza economica e

qualitativa: la Coratina, l'Ogliarola Barese (o Cima di Bitonto) e l'Ogliarola Leccese. La Coratina è la varietà più celebre del nord barese, produce un olio ricchissimo di polifenoli, dal gusto intensamente amaro e piccante. Al sud della regione (Salento) prevale invece l'Ogliarola, più dolce e mandorlata, ma in grave difficoltà perché sensibile a Xylella, un patogeno molto aggressivo di recente introduzione. La Sicilia, con i suoi 160.000 ettari di oliveti concentrati prevalentemente nelle province occidentali e centrali, è un'isola dall'immenso patrimonio olivicolo. Si contende storicamente il secondo posto con la Calabria con un'incidenza di circa il 10/15% sul totale della produzione nazionale (Dati Istituto Regionale del Vino e dell'Olio IRVO 2024). Detiene il primato per la diversificazione ed eccelle nel segmento certificato, posizionandosi come una delle primissime regioni per quota di oli DOP e IGP. La Nocellara del Belice, la Tonda Iblea, la Biancolilla, la Cerasuola sono solo alcune delle diverse varietà di olive che caratterizzano la produzione di olio siciliano. Gli oli siciliani sono famosi per il loro profumo inconfondibile di pomodoro verde e basilico (tipico della Tonda Iblea) o di carciofo e mandorla (Nocellara). Infine, sebbene i volumi di produzione nelle regioni del centro-nord siano nettamente inferiori, a causa soprattutto dei limiti climatici, la qualità degli oli EVO risulta altissima. Il centro-nord della Penisola si caratterizza per un'olivicoltura prevalentemente orientata verso produzioni ad elevato valore aggiunto, caratterizzate da una forte identità territoriale, ampio ricorso alle certificazioni di origine (DOP e IGP) e strategie di differenziazione

basate sulla qualità. Le regioni del centro Italia rappresentano il perfetto compromesso della penisola: i volumi non sono trascurabili (mediamente tra il 10% e il 15% della produzione nazionale, con variazioni annuali sensibili), e la reputazione qualitativa è tra le più alte del mondo. Spiccano l'IGP Toscano (una delle denominazioni in assoluto più vendute all'estero), il DOP Umbria (suddiviso in sottozone), e i DOP del Lazio come il Sabina o il Canino. Nel Nord Italia l'olivicoltura affronta la sfida più impegnativa con il clima. I volumi complessivi sono infinitesimali rispetto al resto del Paese (spesso inferiori al 2% del totale nazionale complessivo), ma questo limite geografico ha trasformato l'olio del Nord in un prodotto di lusso, venduto a prezzi molto elevati. La Liguria rappresenta la locomotiva dell'olivicoltura del nord Italia, con una fortissima concentrazione di oliveti nelle zone di Imperia e Savona e alle quali sono legati oli pregiatissimi come il DOP Riviera Ligure ottenuto da varietà Taggiasca per almeno il 50%. In conclusione, dunque, il panorama olivicolo italiano mostra una forte asimmetria geografica rispetto alla produzione e, al contempo, una straordinaria varietà che lo rendono un puzzle straordinario nel quale ogni tassello esprime un'identità precisa.

1.2 IMPORTANZA ECONOMICA E CULTURALE

L'importanza economica e commerciale dell'olivo è in continuo aumento, merito dei prodotti, sempre più richiesti, apprezzati e riconosciuti per le eccellenti caratteristiche nutrizionali e nutraceutiche. L'olio extravergine d'oliva rappresenta

uno dei prodotti più pregiati e apprezzati dell'industria agroalimentare costituendo un importante elemento della Dieta Mediterranea grazie alle sue caratteristiche organolettiche e per il suo contributo a una dieta sana (Agrimonti et al., 2011). La coltivazione dell'olivo, così come la produzione di olio extravergine d'oliva, è di notevole interesse sia per l'economia rurale, sia per il patrimonio locale che per l'ambiente. Secondo il rapporto del COI (Consiglio Oleicolo Internazionale) del 2025, i paesi del Mediterraneo (inclusi i membri UE e i partner extra-UE come Turchia, Tunisia e Marocco) rappresentano circa il 95% della produzione mondiale di olio d'oliva, con la sola Unione Europea che copre circa i due terzi del totale globale. L'Unione Europea detiene il primato mondiale sia per la produzione di olive da tavola, sia per la produzione e il consumo di olio d'oliva grazie alle 2,1 milioni di tonnellate di olio prodotto; la Spagna è leader mondiale nel settore oleario con una produzione media di 1.3 milioni di tonnellate olio d'oliva, seguita dall'Italia, al secondo posto, con 300 mila tonnellate, e dalla Grecia con 220 mila tonnellate di olio prodotto. Per quanto riguarda i paesi produttori non-comunitari Siria, Tunisia, Turchia, Marocco, Algeria e Palestina, sono quelli che si contraddistinguono per quantità e qualità delle produzioni. Paesi al di fuori del Bacino del Mediterraneo (America, Argentina, Australia) non tradizionalmente consumatori e produttori di olio stanno destinando estese superfici alla coltivazione dell'olivo puntando su nuovi sistemi d'impianto, altamente meccanizzati, in cui i costi di gestione, soprattutto di raccolta e potatura, sono decisamente inferiori

rispetto a sistemi di coltivazioni tradizionali tipici delle aree olivicole del Bacino del Mediterraneo.

L'olivicoltura è un settore cruciale per l'economia italiana, contribuendo significativamente alla produzione globale di olio d'oliva. Nel panorama olivicolo internazionale l'Italia occupa una posizione di tutto rilievo, in quanto, oltre all'essere il secondo Paese produttore, è il primo Paese consumatore e importatore ed il secondo Paese esportatore. Sono circa un milione gli ettari agricoli dedicati agli oliveti e oltre 827.000 aziende agricole coinvolte nella produzione. La domanda nazionale di olio risulta superiore alla produzione interna e le preferenze di consumo sono sempre più orientate verso gli oli di oliva extravergini. Tale orientamento è, in gran parte, attribuibile alle crescenti esigenze dei consumatori in termini di qualità e garanzie che riguardano la sicurezza e l'origine dei prodotti. Nel prossimo futuro si assisterà ad un aumento della domanda mondiale di olio sostenuta dall'immissione nel mercato di ingenti quantità di prodotto ottenuto a bassi costi (Dati dell'International Olive Council). In tal senso Paesi come l'Italia, dove le produzioni olearie derivano da impianti per lo più tradizionali, sono destinati a perdere competitività nel mercato globale. Il prezzo di mercato, soprattutto all'origine, non riesce a remunerare in maniera adeguata i costi di produzione e, inoltre, nella Grande Distribuzione Organizzata, molto spesso, si genera confusione nell'ambito della categoria commerciale in quanto i consumatori non sempre riescono a riconoscere le differenze dell'olio EVO italiano rispetto alla

categoria generale dell'Olio Vergine d'oliva o dell'Olio d'oliva, aspetto che non facilita la scelta consapevole da parte del consumatore (Dati Istituto Regionale del Vino e dell'Olio 2024).

È doveroso segnalare che, sebbene l'enorme importanza che ricopre il settore oleario nel panorama italiano, negli ultimi decenni si è assistito ad una costante diminuzione della produzione, causata soprattutto dall'abbandono degli oliveti. Frammentarietà della struttura produttiva, ritardi nell'introduzione dell'innovazione, oscillazioni delle produzioni negli anni in termini quantitativi e qualitativi e gli alti costi di gestione stanno determinando l'abbandono di ampie aree di coltivazione. Tendenza aggravata dalla presenza sul mercato di realtà aziendali non in grado di fronteggiare le nuove sfide competitive, poiché spesso ancorate a sistemi di coltivazione tradizionali e poco meccanizzate e, di conseguenza, scarsamente resilienti e maggiormente onerosi. Emerge, dunque, l'esigenza di puntare sull'ammodernamento degli impianti, sull'aggiornamento delle tecniche colturali e sulla formazione degli operatori; è inoltre necessario un maggiore coordinamento tra i diversi attori della filiera al fine di garantire la trasparenza e la tracciabilità del prodotto. Un'attenta analisi suggerisce quindi di focalizzare l'attenzione sulle criticità di un settore che in Italia, nonostante molteplici difficoltà, continua ad avere ruolo di primaria importanza, ma che mostra segni di debolezza.

2. LE CULTIVAR SICILIANE

Grazie alla sua posizione geografica, la Sicilia è sempre stata un crocevia del Mediterraneo, punto di incontro tra civiltà diverse che hanno contribuito alla biodiversità di molte specie coltivate (Marchese et al., 2023). Lo sviluppo industriale lento e l'agricoltura tradizionale hanno protetto l'isola dall'erosione genetica, pertanto, il panorama varietale autoctono dell'olivo in Sicilia è caratterizzato da una notevole complessità e ricchezza. L'olivo presenta una grande variabilità genetica (Petruccelli et al., 2021) preservata grazie alla sua longevità e stabilità genetica, portando alla costituzione di un patrimonio dinamico di piante coltivate (varietà autoctone) e cultivar adattate alle condizioni locali e ai sistemi agricoli tradizionali. Inoltre, la diffusione di varietà autoctone e cultivar è stata possibile grazie alla facilità di propagazione, per via vegetativa tramite organi auto-radicanti (principalmente ovuli e talee) e tramite innesto su piantine (Fiorino e Lombardo, 2002). La variabilità è stata accresciuta dalla selezione naturale e antropica, nonché dal verificarsi di incroci gamici con la popolazione di olivo selvatico e tra genotipi coltivati (Marra et al., 2013; Caruso et al., 2014). Inoltre, la grande diversità degli ambienti pedo-climatici presenti in Sicilia e il conseguente adattamento da parte delle cultivar ha favorito l'emergere di nuovi genotipi o di popolazioni regionali eterogenee che presentano notevoli differenze a livello morfologico, molecolare e agronomico.

La piattaforma varietale di olivo in Sicilia consta di 25 cultivar di comprovata origine autoctona (La Mantia et al., 2005; Caruso et al., 2007; Marra et al., 2013; Barone et al., 2014; Caruso et al., 2014; Marra et al., 2014; Marino et al., 2017; Sala et al., 2021). Attualmente sull'isola la produzione di olio d'oliva si basa su 8 cultivar principali: "Biancolilla", "Cerasuola", "Moresca", "Nocellara del Belice", "Nocellara Etnea", "Ogliarola Messinese", "Santagatese" e "Tonda Iblea", che raggiungono l'80% di tutti gli olivi coltivati in Sicilia (Caruso et al., 2007). Poiché la maggior parte delle varietà è spesso conosciuta con nomi diversi a seconda delle aree di coltivazione, si verificano numerosi casi di omonimia e sinonimia che complicano l'identificazione delle cultivar. Tuttavia, è stata osservata una certa variabilità morfologica all'interno di ciascuna cultivar, il che suggerisce che il nome di una singola cultivar possa comprendere un insieme di genotipi diversi (popolazioni di cultivar) e/o popolazioni di cloni (miscela di varianti clonali) (De Simone, 2013). Tutte le cultivar sono presenti in un territorio delimitato tanto che nessuna di esse è coltivata in tutta l'Isola ed è possibile suddividere ulteriormente il territorio isolano in zone, nelle quali sono presenti specifiche cultivar (Figura 2.1).

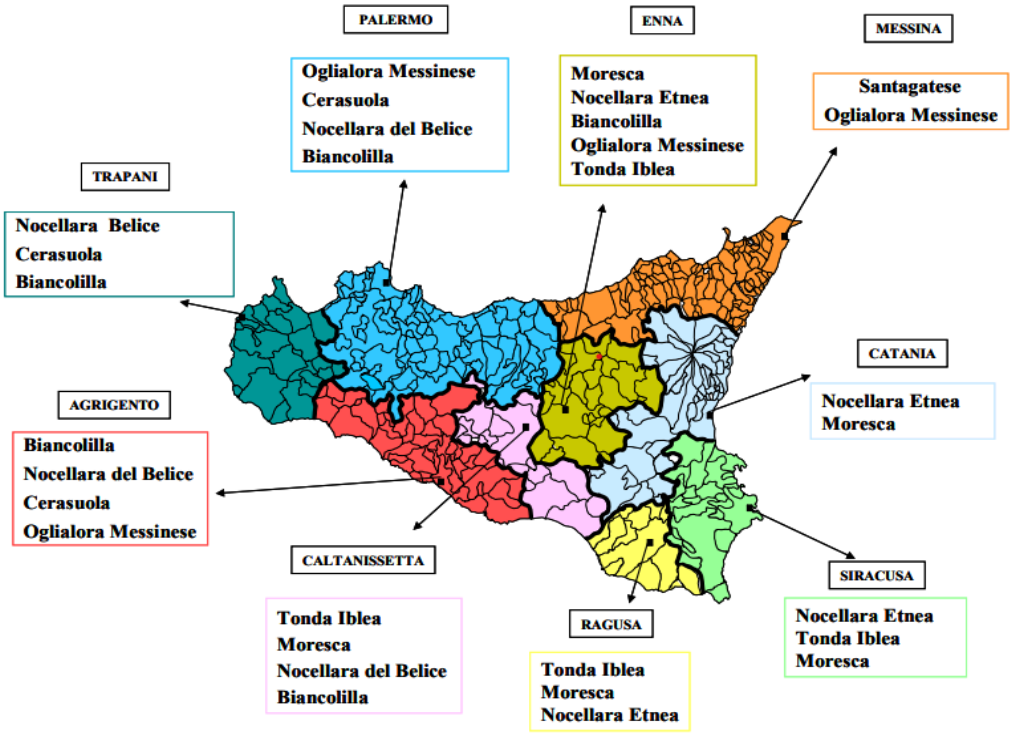


Figura 2.1. Diffusione 8 principali cultivar olivo in Sicilia. *(Fonte: De Simone, 2013).*

In strette aree sono rappresentate altre otto cultivar "minori" ("Brandofino", "Crastu", "Nerba", "Giarraffa", "Minuta", "Pidicuddara", "Verdello", "Zaituna") con diffusione più limitata ma che, nei comprensori di pertinenza, riscontrano ancora un certo favore per alcuni caratteri agronomici. A completare il germoplasma indigeno siciliano contribuiscono circa altre venti cultivar, le quali, anche se scarsamente importanti in termini di diffusione territoriale e di quantità prodotte, rivestono una considerevole importanza per la tutela della diversità biologica. Sono presenti, inoltre, sul territorio esemplari centenari di piante di cultivar "neglette" a forte rischio di estinzione (Fig. 2.2).

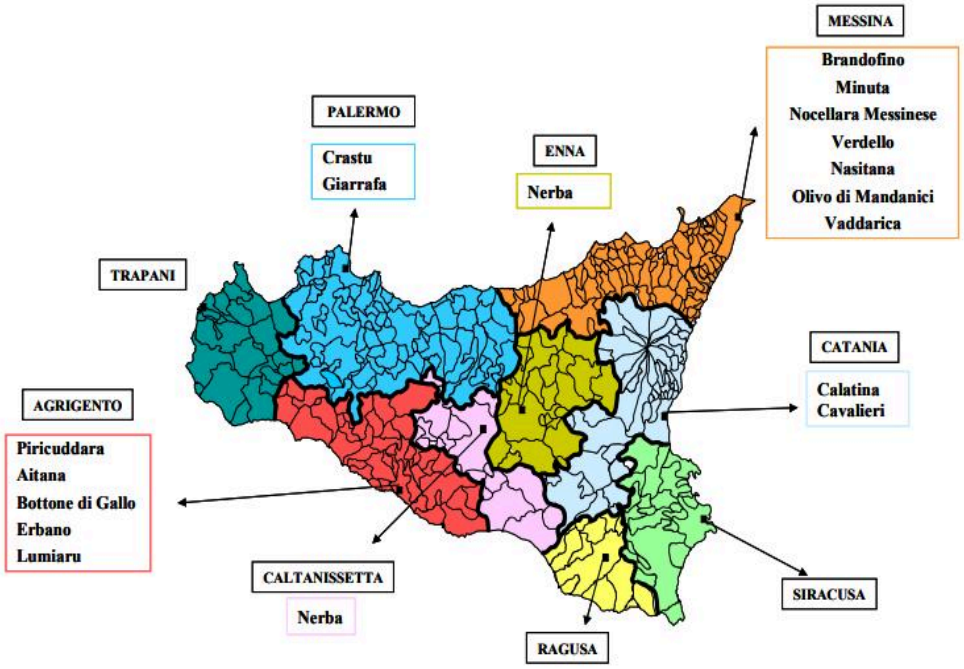


Figura 2.2. Diffusione delle cultivar minori e neglette nel territorio siciliano *(Fonte: De Simone, 2013).*

Di seguito verranno analizzate le principali caratteristiche agronomiche e produttive delle otto cultivar siciliane maggiormente rappresentative per diffusione territoriale e rilevanza economica. Inoltre, la trattazione dedicherà uno specifico approfondimento alla varietà "Nerba", in virtù della sua capillare presenza e del suo valore storico-colturale negli ambienti dell'entroterra dell'isola, con particolare riferimento ai contesti olivicoli delle province di Enna e Caltanissetta. I dati e le immagini sono stati estrapolati dal sito www.oliodellasicilia.com.

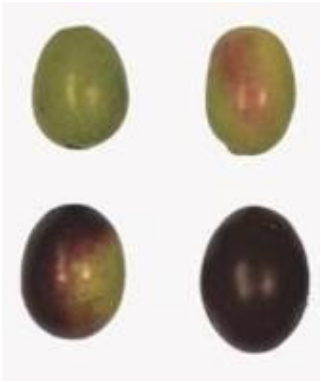
Nocellara del Belice



(Fonte: Olio della Sicilia)

Cultivar diffusa nella Sicilia occidentale, nella provincia di Trapani, in particolare a Castelvetrano, Campobello di Mazara e Partanna. È una cultivar a duplice attitudine, olio-mensa, in particolare nelle aree in cui è maggiormente diffusa la destinazione è come oliva da mensa, mentre nelle altre zone è prevalentemente coltivata come cultivar da olio. La pianta è vigorosa, la foglia ellittico lanceolate, la mignola è rada di lunghezza media. Il frutto è grosso, quasi sferico, con colore dal verde intenso al rosso vinoso. Epoca di maturazione tardiva con una resa in olio media del 18/20%. L'olio ottenuto da questa oliva è un fruttato medio intenso accompagnato da note di mandorla, pomodoro verde, erba falciata e carciofo. Al gusto si presenta inizialmente dolce con note finali di amaro e leggermente piccante.

Biancolilla



(Fonte: Olio della Sicilia)

Cultivar diffusa nell'area centro-occidentale dell'isola, in particolare nelle province di Palermo ed Agrigento, in minore misura è presente nella provincia di Trapani, da menzionare è invece la sua diffusione sul territorio dell'isola di Pantelleria, dove è l'unica cultivar diffusa e dove le condizioni sia pedoclimatiche sia delle tecniche colturali determinano una diversa risposta vegeto-produttiva rispetto a quello che la stessa cultivar presenta sul resto del territorio siciliano. Il nome deriva dalla colorazione che assumono le drupe a maturazione dal colore biancastro che vira al lilla durante l'invaiatura. Pianta vigorosa, foglie corte e lanceolate di colore verde chiaro nella pagina superiore, la mignola è corta e compatta, il frutto è grande (4.5gr) con forma ovoidale accentuata nelle annate di carica. La produzione è spesso alternante e mostra eccezionali annate di carica. Viene impiegata esclusivamente per l'estrazione di olio, presenta delle rese basse del 15%, ma produce un olio molto apprezzato. L'olio ricavato da questa varietà si presenta come fruttato medio, con

sentori di carciofo, erbe aromatiche, pomodoro e mandorla. La Biancolilla risulta parzialmente autofertile, viene però incrementata l'impollinazione da Moresca, Nocellara Etnea, Zaituna, Ogliarola Messinese e Tonda Iblea (Bottari e Spina, 1952).

Cerasuola



(Fonte: Olio della Sicilia)

La cultivar è diffusa nel versante nord-occidentale della Sicilia, nelle province di Palermo e Trapani mentre ha una ristretta diffusione nell'area sud-occidentale limitatamente all'area di Sciacca in provincia di Agrigento. Le foglie sono mediamente lunghe ellittico lanceolate, la mignola è compatta di lunghezza media. L'invaiatura inizia dalla base. Il frutto di media grossezza (4.3gr), sferoidale dal colore verde intenso, nero violaceo a maturazione. Si tratta di una cultivar androsterile, con fecondazione eterogama. Si coltiva esclusivamente per l'estrazione di olio, ha delle rese in olio molto elevate, superiori in molti casi al

20%. Presenta una buona plasticità di adattamento, anche in terreni poveri e con limitate risorse idriche, ma è molto sensibile alla rogna.

Ogliarola Messinese



(Fonte: Olio della Sicilia)

Cultivar diffusa nella Sicilia occidentale e nel messinese, ma si può trovare in minor numero anche nelle zone di Agrigento ed Enna. Pianta vigorosa dalla chioma folta e compatta, le foglie sono ellittico lanceolate e la mignola è compatta. Il frutto è pesante e di grandi dimensioni, di colore verde con sfumature rossastre, che a maturazione diventa di colorazione rosso vinoso. Date le dimensioni del frutto è considerata un'ottima oliva da mensa, ma buona parte del raccolto viene destinato alla produzione di olio, con una resa elevata oltre il 20%, di alta qualità, che all'olfatto è un fruttato medio con sentori di foglia ed erba falciata, mandorla, pomodoro e carciofo. Al gusto presenta un binomio equilibrato di piccante e amaro.

Santagatese



(Fonte: Olio della Sicilia)

Cultivar diffusa nella costa nord-est della Sicilia, in particolar modo nella provincia di Messina, sui monti Nebrodi. Facilmente riconoscibile per il suo portamento assurgente, con vigoria e densità della chioma media. La foglia di forma ellittica, con il colore della pagina superiore verde intenso e quello della pagina inferiore grigio chiaro. Il frutto, di pezzatura grossa, è di forma ellittica con base ed apice arrotondata e un peso medio-alto (variante da 4,3 fino a 1,4 gr.). L'invaiatura progredisce dall'apice, il frutto a maturazione si presenta di colore nero. La produzione è costante e la resa in olio alta. L'olio presenta un fruttato leggero o medio-leggero, con delle note che variano dalla mandorla, al pomodoro sino a giungere all'erba tagliata fresca.

Moresca



(Fonte: Olio della Sicilia)

Cultivar diffusa principalmente nelle zone centro-orientali, nelle province di Enna, Caltanissetta, Catania, Ragusa e Siracusa. Il nome deriva dalla colorazione nera che assume a maturazione precoce già nel mese di ottobre. La pianta ha un portamento espanso con rametti dagli internodi lunghi, le foglia sono di forma ellittica e lanceolata, la mignola è compatta e corta, le drupe di peso medio, forma ellittica asimmetrica si anneriscono durante l'invaiatura precoce. L'epicarpo è costellato da numerose lenticelle di grosse dimensioni. La Moresca è auto sterile, ma viene solitamente fecondata da Biancolilla, Nocellara Etnea, Zaituna, Ogliarola Messinese e Tonda iblea (Bottari e Spina, 1952). Viene coltivata per l'estrazione dell'olio con una resa in olio media di circa il 16-19% e per il consumo diretto, riguardante la produzione di olive nere essiccate. L'olio presenta un profilo sensoriale fruttato medio all'olfatto, tipicamente aromatico (sentore di menta, erbe aromatiche e foglie di pomodoro), poco amaro e mediamente piccante.

Nocellara Etnea



(Fonte: Olio della Sicilia)

Cultivar a duplice attitudine diffusa nella zona centro-orientale della Sicilia, nota anche con vari sinonimi tra cui “Augghialora”, “Paturnisa” e “Tortorella”. Pianta abbastanza vigorosa, dal portamento espanso e dalla chioma mediamente densa. Foglie lanceolate di media lunghezza, mignola compatta. Il frutto, di peso medio elevato, è ellittico leggermente asimmetrico, di colore verde intenso, con lenticelle visibili anche quando il frutto è invaiato, mentre a maturazione completa è nero violaceo. L’invaiatura è uniforme e tardiva. Presenta un ottimo rapporto tra nocciolo e polpa ed il frutto a maturazione tardiva viene facilmente denocciolato rendendo tale cultivar una delle migliori per la produzione di olive da tavola verdi, la resa in olio media è del 15-20%. Olio dal profilo sensoriale fruttato verde medio, erbaceo (erba fresca e pomodoro); al gusto si presenta dolce e leggermente piccante. Si adatta bene sia in pianura che in collina, nei terreni sciolti come in quelli tendenti al compatto e produce bene, generalmente ad anni alterni, tanto in zone irrigue che

in condizioni di aridità. È varietà autosterile e presenta anche casi di intersterilità con diverse varietà: "Ogliarola Messinese", "Tonda Iblea". Viene fecondata sufficientemente dalla "Moresca" e dalla "Biancolilla", ma i migliori risultati di impollinazione si ottengono con la "Zaituna" (Bottari e Spina, 1952).

Tonda Iblea



(Fonte: Olio della Sicilia)

Cultivar diffusa nella zona orientale dell'isola, in particolare nelle province di Messina, Enna, Catania e Siracusa (sui monti iblei da cui prende il nome). La pianta è piuttosto vigorosa, con portamento assurgente e rametti fruttiferi a internodi brevi. Le foglie, di forma lanceolata, sono piccole e strette, di colore verde-grigio opaco nella pagina superiore. La drupa, di forma simmetrico ellittico, è di pezzatura medio-grossa (5-8gr). Frutto a maturazione di colore nero, periodo di invaiatura medio. La produttività è buona e costante, utilizzata come cultivar a duplice attitudine, per la preparazione di olive verdi, dato l'ottimo rapporto polpa nocciolo,

90% in polpa, la resa in olio è media (16-20%). Olio con profilo sensoriale fruttato verde leggero, pulito all'olfatto; al gusto risulta piatto (dolce e poco piccante) ma si percepisce un indesiderato sentore di terra. Si adatta bene nelle zone di alta collina più di tante altre varietà ed è mediamente resistente alla rogna. Varietà autosterile, presenta intersterilità con la "Biancolilla", la "Nocellara Etnea" e la "Ogliarola Messinese". È impollinata dalla "Moresca", dalla "Zaituna" e dalla "Calatina" (Bottari e Spina, 1952).

Nerba



(Fonte: Olio della Sicilia)

Cultivar autoctona tipica dell'entroterra siciliano nelle province di Enna e Caltanissetta, chiamata anche con i sinonimi di "Tortella", "Acciurata" e "Prunara". Si adatta bene alle zone collinari grazie alla sua resistenza alle basse temperature. Risulta molto sensibile agli attacchi di Fleotribo, un coleottero simile allo scarabeo, alla mosca, all'occhio di pavone ed alla rogna. La pianta presenta un portamento

espanso, chioma non molto densa e foglie di forma ellittico lanceolata di dimensioni medie. Il frutto presenta un'invaiatura medio-precoce durante la quale si annerisce, ed una forma visibilmente allungata ed un po' asimmetrica, con apice appuntito, base arrotondata e con umbone. La pezzatura della drupa è grossa, con un ottimo rapporto tra polpa e nocciolo che la rende una cultivar a duplice attitudine, eccellente anche per il consumo da mensa. L'olio prodotto è di alta qualità, ma la produttività è abbastanza bassa e per altro soggetta ad alternanza, la resa stenta a raggiungere il 20% e nella maggior parte dei casi si attesta intorno al 16-18%. L'olio extravergine monovarietale di oliva "Nerba" all'olfatto è mediamente fruttato con un distinto sentore di pomodoro maturo, mentre a livello gustativo quest'olio risulta dolce con delle note di amaro e piccante leggermente più intense. Il colore è tendente al giallo.

La vocazionalità olivicola della Sicilia trova massima espressione e tutela nei regimi di qualità comunitari (DOP e IGP), i quali rappresentano un fondamentale vantaggio competitivo per le aziende agricole locali e un presidio per la conservazione del patrimonio biodiversificato, culturale ed enogastronomico regionale. Tali marchi sanciscono l'esistenza di un legame intrinseco e indissolubile tra le caratteristiche organolettiche dell'olio e lo specifico contesto pedoclimatico e varietale d'origine. Sulla base della caratterizzazione tecnica curata dal CREA (Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'analisi dell'Economia agraria), il panorama delle Denominazioni di Origine Protetta (DOP) e delle Indicazioni

Geografiche Protette (IGP) siciliane si articola in una complessa maglia varietale di cultivar autoctone che consta di sei D.O.P. e una I.G.P., che procediamo a citare indicandone i requisiti minimi di produzione per l'ottenimento della certificazione.

D.O.P. MONTI IBLEI

La denominazione di origine protetta "Monti Iblei", è riservata all'olio extravergine di oliva ottenuto per almeno 80% dalle seguenti varietà di olive presenti, da sole o congiuntamente, negli oliveti "Tonda Iblea", "Moresca", "Nocellara Etnea", "Verdese" "Biancolilla" e "Zaituna" e loro sinonimi. Possono inoltre concorrere altre varietà fino ad un massimo del 20%;

D.O.P. VALLI TRAPANESI

La denominazione di origine controllata "Valli Trapanesi" deve essere ottenuta dalle seguenti varietà di olivo presenti, da sole o congiuntamente negli oliveti: "Cerasuola" e "Nocellara del Belice" in misura non inferiore all'80%. Possono, altresì, concorrere altre varietà presenti negli oliveti in misura non superiore al 20%.

D.O.P. VAL DI MAZARA

La denominazione di origine controllata "Val di Mazara" deve essere ottenuta dalle seguenti varietà di olivo presenti, da sole o congiuntamente negli oliveti, per almeno il 90%: "Biancolilla", "Nocellara del Belice", "Cerasuola". Possono, altresì, concorrere in misura non superiore al 10% altre varietà presenti nella zona come "Ogliarola Messinese", "Giaraffa" e "Santagatese" o eventualmente piccole percentuali di altre cultivar tipiche locali.

D.O.P. MONTE ETNA

La denominazione di origine protetta "Monte Etna" è riservata all'olio extravergine di oliva ottenuto dalla varietà di olivo "Nocellara Etnea" presente negli oliveti in misura non inferiore al 65%. Possono concorrere le varietà presenti nella zona: "Moresca", "Tonda Iblea", "Ogliarola Messinese", "Biancolilla", "Brandofino" e “Olivo di Castiglione", in percentuali variabili e fino al limite massimo del 35%.

D.O.P. VALLE DEL BELICE

La cultivar che concorre principalmente alla produzione dell'olio D.O.P. extravergine di oliva "Valle del Belice" è la "Nocellara del Belice", cultivar a duplice attitudine, che è presente negli impianti tradizionali per almeno il 70%. Le altre cultivar, che concorrono alla composizione dell'olio extravergine D.O.P., sono quelle coltivate nell'areale di produzione ed in particolare: "Giarraffa", "Biancolilla", "Cerasuola", "Buscionetto", "Santagatese", "Ogliarola Messinese" e altre cultivar minori. Singolarmente o complessivamente esse non potranno superare il 30%.

D.O.P. VALDEMONE SICILIANO

L'olio extravergine di oliva D.O.P. "Valdemone" è ottenuto dalle varietà di olivo: "Santagatese", "Ogliarola Messinese" e "Minuta" presenti negli oliveti, da soli o disgiuntamente, nella misura minima del 70%. Le varietà "Mandanici", "Nocellara Messinese", "Ottobratica", "Verdello" e "Brandofino" possono essere presenti per il restante 30%.

I.G.P. SICILIA

Rappresenta l'involucro di tutela a raggio regionale ed è destinata agli oli ottenuti per almeno il 90% dal ricco germoplasma autoctono siciliano tra cui Biancolilla, Cerasuola, Nocellara del Belice, Nocellara Etnea, Tonda Iblea, Moresca, Santagatese, Giarraffa, Minuta e altre varietà minori, consentendo l'apporto di ulteriori cultivar secondarie entro il limite massimo del 10%.

In questo quadro, la rigorosa architettura dei disciplinari di produzione riflette l'eterogeneità ecologica e la ricchezza del germoplasma autoctono siciliano. I regimi di qualità comunitari non rappresentano un mero vincolo normativo, bensì un fondamentale vantaggio competitivo per le aziende agricole locali, capaci di trasformare la biodiversità e le specificità pedoclimatiche dell'isola in valore commerciale. In linea con la ratio dell'Unione Europea, le denominazioni di origine (DOP) e le indicazioni geografiche (IGP) tutelano la sussistenza di un legame intrinseco e indissolubile tra il profilo organolettico dell'olio e il territorio di provenienza, proteggendo il patrimonio culturale ed enogastronomico regionale dai fenomeni di omologazione del mercato globale.

2.1 DESCRIZIONE CLIMATICA: DATI STORICI E CAMBIAMENTO CLIMATICO

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) individua l'area mediterranea come una delle regioni maggiormente vulnerabili agli effetti del cambiamento climatico. Negli ultimi vent'anni, la Sicilia è diventata uno degli hotspot del cambiamento climatico nel bacino del Mediterraneo. Quella che un tempo era un'alternanza regolare di stagioni si è trasformata in un clima sempre più arido con profonde ripercussioni sull'intero ecosistema dell'isola e, in particolare, sul suo storico comparto agricolo. L'ultimo ventennio ha registrato anomalie termiche e idriche senza precedenti storici recenti. Le temperature medie sono costantemente aumentate (Viola et al., 2014), culminando in record storici (come i 48,8 °C registrati nel siracusano nell'agosto del 2021, la temperatura più alta mai misurata in Europa). Inoltre, i periodi di siccità non sono più emergenze temporanee ma fenomeni strutturali (Liuzzo et al., 2016). Il periodo di aridità annuale si è allungato, passando storicamente da 4 mesi a oltre 6-7 mesi l'anno. Il 2024 e gli anni successivi hanno visto invasi quasi completamente vuoti e razionamenti idrici drastici. Le piogge, spesso, si concentrano in eventi meteorologici estremi e violentissimi (bombe d'acqua e nubifragi) che provocano erosione del suolo e alluvioni lampo, senza riuscire a ricaricare le falde acquifere (Forestieri et al., 2018). Oltre il 70% del territorio regionale è oggi considerato a medio-alto rischio di desertificazione, a causa della perdita di materia organica nei suoli esposti a

temperature estreme (Castro et al., 2023). In questo scenario, l'agricoltura siciliana, pilastro economico dell'isola, sta subendo una vera e propria ristrutturazione forzata a causa dello stress climatico. Il grano duro siciliano, fondamentale per la filiera della pasta italiana, soffre enormemente la mancanza di piogge invernali e primaverili (nota su Terra e Vita, 2024). Anche il settore dell'allevamento ha dovuto affrontare enormi difficoltà a causa della mancanza di biomassa e foraggio nelle annate più calde (nota su: QuiFinanza e SkyTG24, 2024). L'aumento delle temperature ha anticipato la vendemmia di settimane (spesso spostata alla fine di luglio o inizio agosto). Questo accorciamento del ciclo di maturazione riduce l'acidità delle uve e aumenta la concentrazione di zuccheri, portando a vini con gradazioni alcoliche molto elevate a scapito della freschezza aromatica (IlSole24ore, 2024). Relativamente al comparto olivicolo, la siccità e il caldo durante la fase di fioritura compromettono l'allegagione (la percentuale dei fiori che origina le olive). Inoltre, gli squilibri termici alterano la qualità dell'olio extravergine, riducendo la percentuale di acido oleico. Infine, va sottolineato che i nuovi impianti intensivi di olivo richiedono grandi volumi d'acqua per l'irrigazione, per raggiungere elevati livelli produttivi di qualità e costanti negli anni. Contemporaneamente, bisogna segnalare che mentre le colture tradizionali soffrono, il nuovo microclima ha aperto la strada a una vera e propria "rivoluzione tropicale" lungo le coste siciliane. Negli ultimi vent'anni, centinaia di ettari precedentemente destinati ad agrumeti, oliveti promiscui o pascoli sono stati

convertiti alla coltivazione di mango, avocado, papaya e banane (con progetti su larga scala avviati anche da multinazionali). Queste piante trovano oggi in Sicilia temperature minime invernali abbastanza miti da permetterne la sopravvivenza. Sebbene rappresentino un'opportunità economica straordinaria e ad alto valore aggiunto, queste colture richiedono comunque una gestione idrica estremamente precisa per non aggravare la carenza d'acqua locale. Per sopravvivere, l'agricoltura siciliana deve adottare nuove strategie di resilienza che richiedono anche l'utilizzo di tecnologie recenti come l'uso di droni, sensori nel terreno e intelligenza artificiale per irrigare solo dove e quando strettamente necessario, riducendo al minimo lo spreco d'acqua. Inoltre, è necessario investire in ricerca di varietà di portinnesti più resistenti alla siccità e alla salinità dei suoli. Infine, è assolutamente necessario il rifacimento delle reti idriche e dei bacini dell'Isola che versano in condizioni strutturali molto scadenti e che risultano completamente inidonei ad affrontare le sfide legate al cambiamento climatico.

Piovosità

L'analisi del quadro pluviometrico del territorio siciliano ci evidenzia che le precipitazioni cumulate annue in Sicilia nel periodo compreso tra il 1940 e il 2024 mostrano un regime idrologico caratterizzato da una spiccata variabilità interannuale e da una progressiva estremizzazione degli eventi atmosferici, dinamiche tipiche dei contesti mediterranei sottoposti alla pressione dei cambiamenti climatici. I dati storici sono stati estrapolati dall'applicativo

“WeatherSicily”, messo a disposizione dal Centro Meteorologico Siciliano, e sono rappresentati in figura 2.3. La media presa come valore di riferimento si basa sul trentennio dal 1991 al 2020 ed è fissata a 600 mm annui. L'osservazione della serie storica mostra come la disponibilità idrica regionale sia tutt'altro che costante, alternando fasi di marcato surplus pluviometrico a prolungati periodi di deficit idrico. A partire dagli anni Settanta si assiste a una netta amplificazione delle oscillazioni rispetto alla prima metà del Novecento. Se fino al 1970 le precipitazioni si sono mantenute entro una forbice tendenzialmente compresa tra i 500 e i 700 mm, il decennio successivo ha fatto registrare i picchi più estremi dell'intera serie storica: dal massimo assoluto del 1972, in cui si sono superati i 900 mm annui (seguito dal picco del 1976 con circa 880 mm), al repentino crollo del 1977, anno in cui la piovosità è scesa sotto la soglia critica dei 400 mm. Un elemento di particolare rilievo agronomico e ambientale è rappresentato dalla tendenza delle fasi siccitose a strutturarsi su scala pluriennale. L'esempio più evidente è costituito dal lungo intervallo secco compreso tra il 1988 e il 2002: per quasi un quindicennio, con la sola eccezione del picco del 1996 (oltre 800 mm), la piovosità regionale si è mantenuta costantemente al di sotto della media dei 600 mm, con minimi severi registrati nel 1989 e nel biennio 2001-2002. Una dinamica analoga si è riproposta in tempi recenti: dopo l'ultimo significativo picco del 2018 (prossimo ai 780 mm), la regione ha attraversato una nuova e severa fase di deficit pluviometrico culminata nel biennio 2021-2022 (con valori vicini ai 420 mm), prima di registrare un parziale

recupero nel 2024 attorno ai 620 mm. L'analisi di questo trend evidenzia due criticità fondamentali per la gestione agricola del territorio: da un lato, la frequenza con cui le precipitazioni scendono sotto la soglia dei 500 mm annui impone di considerare la scarsità idrica non come un evento eccezionale, bensì come una condizione strutturale del clima regionale. Dall'altro, la concentrazione dei volumi idrici in eventi meteorologici sempre più brevi e intensi aumenta il rischio di scorrimento superficiale (ruscellamento) ed erosione dei suoli. In questo scenario, la media dei 600 mm risulta spesso ingannevole, confermando la necessità di adottare pratiche agronomiche e gestionali, tipiche dell'agricoltura rigenerativa, capaci di incrementare la capacità di ritenzione idrica del suolo e preservarne la fertilità nei lunghi periodi di siccità.

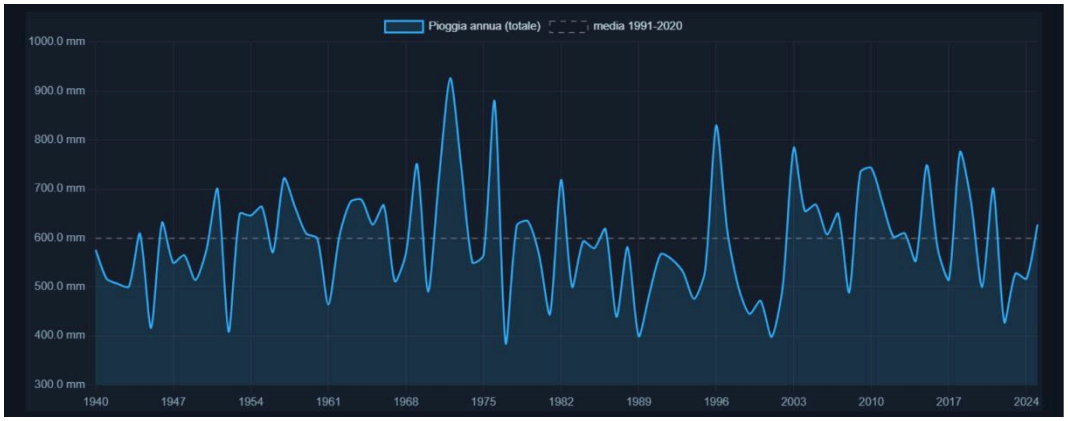


Figura 2.3: dati storici dal 1940 al 2024 relativi alla piovosità nella regione siciliana.

Temperatura

L’analisi della temperatura media annua in Sicilia riferita allo stesso periodo precedente (1940-2024) evidenzia un trend di riscaldamento netto, inequivocabile

e in forte accelerazione negli ultimi decenni, perfettamente coerente con le dinamiche del cambiamento climatico globale e con il fenomeno di surriscaldamento del bacino del Mediterraneo. Assumendo come valore normale di riferimento la media climatologica del trentennio 1991-2020 posta a 17,6 °C, rappresentata nella Figura 2.4 dalla linea tratteggiata orizzontale, l'osservazione della serie storica consente di dividere l'andamento termico regionale in due grandi fasi storiche nettamente distinte.

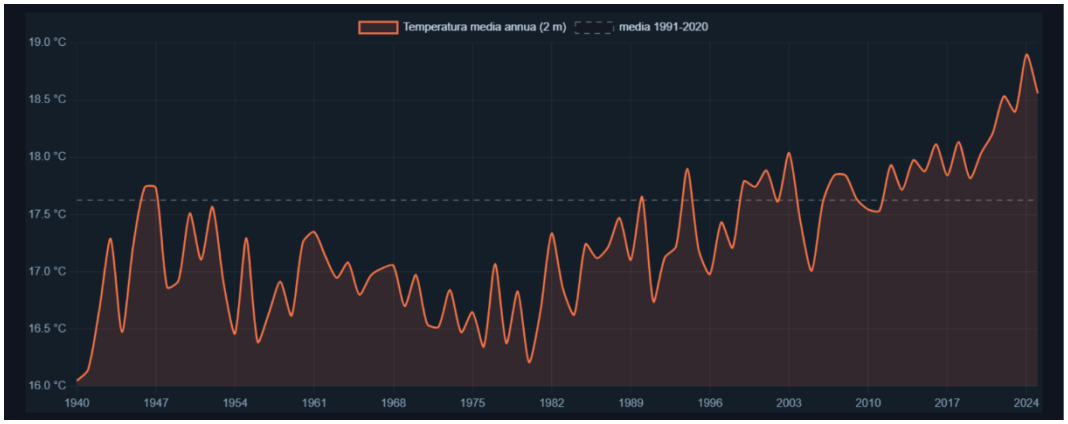


Figura 2.4: dati storici dal 1940 al 2024 relativi alla temperatura media annua.

Nella prima metà del periodo osservato (1940-1980), le temperature medie annue si sono mantenute sistematicamente al di sotto della media di riferimento. A eccezione di un isolato picco attorno al 1946-1947 (in cui la temperatura sfiorò i 17,7 °C, l'intero intervallo compreso tra il 1950 e la fine degli anni '70 è stato caratterizzato da valori oscillanti prevalentemente tra i 16,3 °C e 17,3 °C. Il minimo storico assoluto dell'intera serie si attesta all'inizio degli anni '40 (attorno ai 16 °C), seguito da un secondo significativo punto di minimo relativo registrato verso il

1980 (circa 16,2 °C). A partire dal 1981 si innesca una chiara e ininterrotta linea di tendenza all'aumento delle temperature (figura 2.5). Tra la metà degli anni '80 e i primi anni 2000, la temperatura media si sovrappone e comincia a superare con frequenza la soglia dei 17,6 °C, toccando un primo picco storico significativo nel 2003 (con oltre 18,0 °C, in concomitanza con la storica e devastante ondata di calore che colpì l'Europa intera. L'elemento di maggiore rilevanza emerge nell'ultimo quindicennio (2010-2024), caratterizzato da un'imponente impennata termica senza precedenti storici. Dal 2012 in poi, la temperatura media annua non è mai più scesa al di sotto della media 1991-2020, attestandosi in modo permanente su valori superiori. Tra il 2018 e il 2024 si osserva una crescita pressoché verticale della curva, culminata nel record storico assoluto del 2023/2024, in cui la temperatura media annua regionale ha quasi raggiunto la soglia drammatica dei 18,9 °C. L’aumento della temperatura media di quasi 2,0 °C nell'arco dell'intera serie storica (e di oltre 1,2 °C solo negli ultimi vent'anni) comporta severe ripercussioni sulla fisiologia delle colture arboree e sulla gestione dell'agroecosistema. Ad esempio, un'aria costantemente più calda accelera l'evaporazione dell'acqua dal suolo e la traspirazione delle piante, esacerbando gli effetti negativi dei periodi secchi illustrati dall'analisi pluviometrica. Inoltre, le elevate temperature del terreno accelerano la mineralizzazione della sostanza organica nel suolo, impoverendo la struttura del terreno e riducendone la capacità di trattenere l'umidità. Infine, si assiste ad una forte alterazione delle fasi fenologiche: il costante rialzo termico

anticipa la fase di risveglio vegetativo e di fioritura dell'olivo, esponendo la pianta a rischi di gelate tardive estemporanee e costringendo gli agricoltori ad anticipare la raccolta autunnale per preservare la qualità dell'olio ed evitare l'attacco di parassiti favoriti dal caldo, come la mosca dell'olivo. Questo quadro conferma ulteriormente la necessità di abbandonare le tecniche tradizionali di lavorazione del suolo nudo a favore delle pratiche tipiche dell'agricoltura rigenerativa.

Analisi della serie storica delle piogge e delle temperature

Le serie annuali della temperatura media e delle precipitazioni cumulate relative alla Sicilia e alla provincia di Enna, riferite al periodo 1940–2024 (n=85), sono state sottoposte a un'analisi non parametrica delle tendenze temporali. La presenza di un andamento monotono è stata verificata mediante il test di Mann–Kendall, particolarmente adatto alle serie climatiche perché non richiede una distribuzione normale dei dati ed è relativamente robusto rispetto ai valori estremi. L'intensità della variazione è stata quantificata attraverso lo stimatore di pendenza di Theil–Sen, espresso in °C o mm per decennio, con intervallo di confidenza al 95%. La presenza di un possibile cambiamento nella distribuzione della serie è stata valutata mediante il test di Pettitt. Come controllo parametrico è stata inoltre applicata una regressione lineare, utilizzando errori standard eteroschedastici e autocorrelati di Newey–West con tre ritardi. La significatività statistica è stata valutata adottando la soglia $p<0,05$. Questa analisi statistica delle serie climatiche 1940–2024 evidenzia un riscaldamento significativo sia a scala regionale sia nell'entroterra

siciliano (figura 2.5). Per la Sicilia, il test di Mann–Kendall indica una tendenza termica positiva altamente significativa (τ=0,528; p<0,001), associata a una pendenza di Theil–Sen pari a +0,168 °C per decennio (IC 95%: +0,133–+0,203 °C per decennio). Nella provincia di Enna l'incremento risulta ancora più pronunciato, raggiungendo +0,216 °C per decennio (IC 95%: +0,157–+0,275 °C per decennio; τ=0,452; p<0,001). Il test di Pettitt individua un cambiamento significativo nella serie termica regionale intorno al 1986 (p<0,001) e in quella di Enna intorno al 1992 (p<0,001), indicando il passaggio verso un regime climatico mediamente più caldo. Diversamente, le precipitazioni mostrano un'elevata variabilità interannuale, ma non una tendenza monotona statisticamente significativa: la pendenza stimata è di +0,97mm per decennio per la Sicilia (p=0,844) e di +6,08mm per decennio per Enna (p=0,219), con intervalli di confidenza comprendenti lo zero. Anche i cambiamenti individuati nelle serie pluviometriche intorno al 2001 non risultano significativi. I risultati dimostrano pertanto che il principale segnale climatico di lungo periodo è rappresentato dall'aumento delle temperature, mentre la criticità pluviometrica deriva soprattutto dall'irregolarità delle precipitazioni e dalla successione di annate molto umide e fortemente siccitose, più che da una riduzione lineare dei quantitativi annuali.

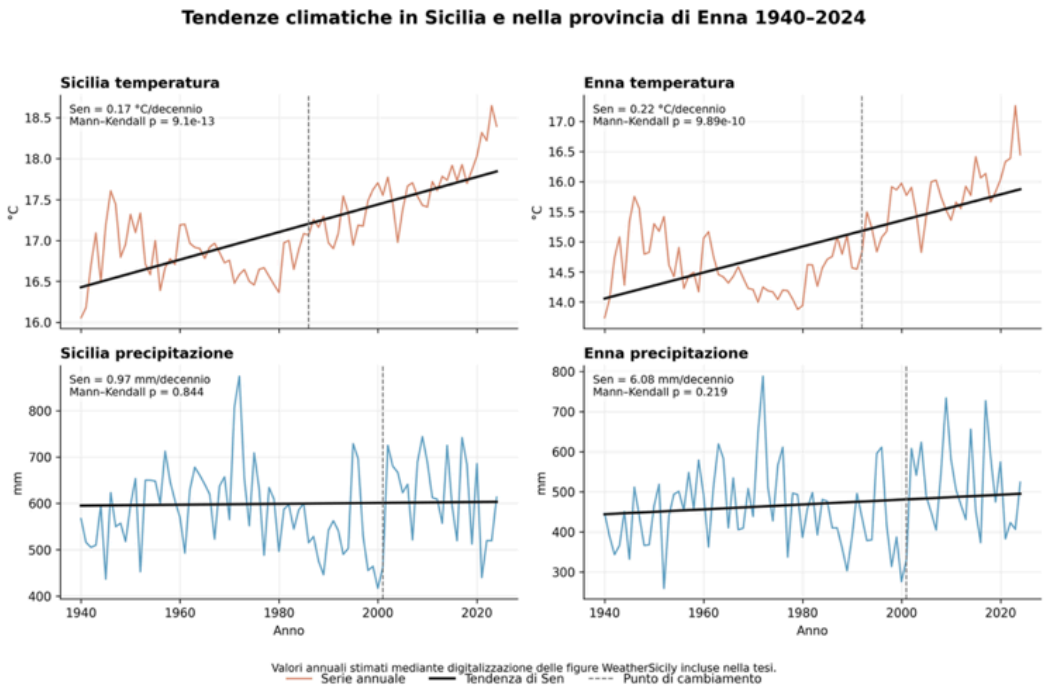


Figura 2.5. Andamento delle temperature medie annuali e delle precipitazioni cumulate annuali in Sicilia e nella provincia di Enna nel periodo 1940–2024. Le linee colorate rappresentano i valori annuali, le linee nere la tendenza stimata mediante il metodo di Theil–Sen e le linee verticali tratteggiate i potenziali punti di cambiamento individuati dal test di Pettitt. I dati sono stati stimati mediante digitalizzazione delle figure WeatherSicily incluse nella tesi.

Relazione intra-annuale tra temperatura e piovosità: andamento stagionale

Per completezza di dettaglio nella nostra trattazione, si è proceduto all'analisi congiunta dei dati relativi alle temperature medie mensili e alla piovosità media mensile per il periodo di riferimento 1940 – 2024. La Figura 2.6 mostra la curva termica media mensile (linea arancione, asse sinistro in °C) e gli accumuli pluviometrici mensili (istogrammi blu, asse destro in mm) e consente di valutare la

distribuzione stagionale delle risorse idrotermiche lungo il corso dell'anno.

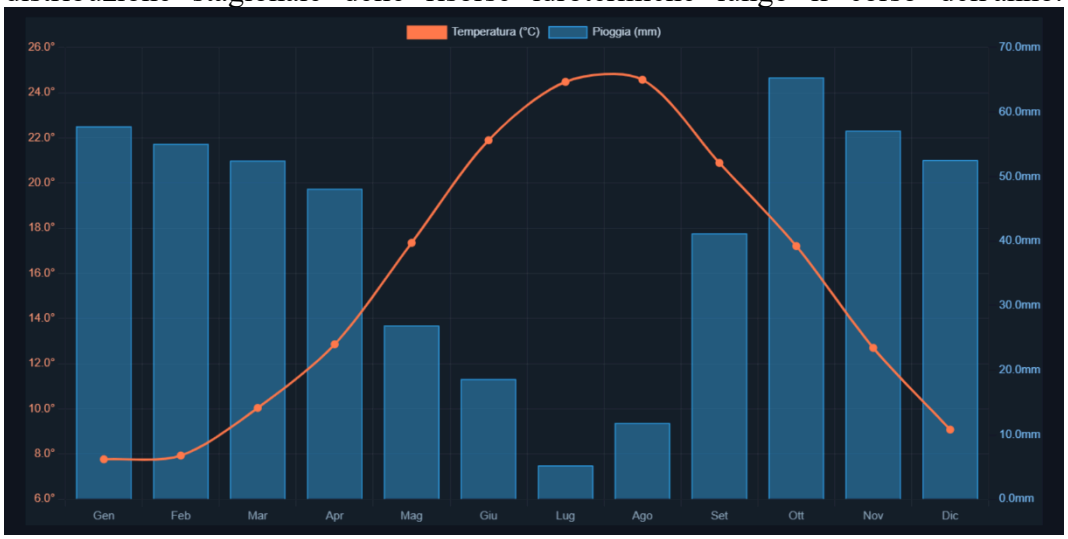


Figura 2.6: relazione tra temperatura media mensile e piovosità media mensile calcolata per l'intero periodo di riferimento dal 1940 al 2024.

La figura 2.6 evidenzia con chiarezza la tipica sfasatura fase/anti-fase del clima mediterraneo, in cui il periodo di massima richiesta evaporativa atmosferica coincide con la fase di minima disponibilità di acqua nel suolo. Dall'osservazione del grafico emergono tre fasi intra-annuali principali. Il periodo di aridità ed estremo deficit idrico estivo (Giugno – Agosto) rappresenta l'elemento di maggiore criticità per l'agroecosistema, nel quale la temperatura media raggiunge i suoi valori massimi stagionali, attestandosi intorno ai 24,5 °C. Contestualmente, le precipitazioni subiscono un crollo drastico, toccando il minimo assoluto nel mese di luglio con appena 7,0 mm circa di pioggia cumulata. Questa drastica divaricazione tra la curva termica (in ascesa) e i volumi pluviometrici (in forte contrazione) definisce una vera e propria "finestra di aridità" estiva, in cui l'elevata evapotraspirazione potenziale induce uno stress termo-idrico severo sulle colture.

La seconda fase (Ottobre – Febbraio) è caratterizzata da una ripresa delle precipitazioni. A partire dalla tarda estate si assiste infatti all'inversione della dinamica: il mese di ottobre registra il picco massimo di piovosità dell'intero anno, sfiorando i 66 mm. I volumi pluviometrici si mantengono elevati e costanti durante tutto l'inverno (tra i 55 mm e i 60 mm al mese da novembre a gennaio). In questo stesso intervallo, le temperature scendono verso i minimi annuali, toccando il valore più basso nei mesi di gennaio e febbraio di circa 7,8 °C. La ridotta domanda evaporativa dell'aria in questa fase consente un'efficace infiltrazione dell'acqua e la ricarica delle riserve idriche profonde del terreno. Infine, la fase di transizione primaverile (Marzo – Maggio) si caratterizza da un progressivo e costante innalzamento delle temperature (da 10 °C a oltre 17 °C) accompagnato da una graduale contrazione delle piogge (da 52 mm a 27 mm). Questa fase è cruciale per la ripresa vegetativa e la fioritura. Da quanto esposto si evince che l'andamento intra-annuale sottolinea come l'intero equilibrio vegetativo e produttivo delle colture dipenda dalla capacità del suolo di conservare l'acqua accumulata nei mesi autunno-invernali per renderla disponibile durante il picco di aridità di luglio e agosto. Ciò, ancora una volta, avvalora la necessità di adottare pratiche di agricoltura rigenerativa e sostenibile, utili per ridurre l'irraggiamento diretto sul terreno e la conseguente evaporazione dell’acqua, allo stesso tempo consentendo di aumentare la sostanza organica nel suolo e di attenuare lo stress indotto dal deficit idrico estivo senza dover ricorrere a massicci apporti irrigui di soccorso.

2.2 FOCUS SULL'ENTROTERRA SICILIANO

Le tendenze climatiche riscontrate all'interno dell'area della Sicilia, già ampiamente descritte nel precedente paragrafo, sono riconfermate anche utilizzando una lente d'ingrandimento per analizzare solo l'entroterra siciliano. Tuttavia, in relazione a tale contesto territoriale, ed in particolare per le province di Enna, Caltanissetta e per le aree collinari interne è doveroso sottolineare la presenza di fragilità intrinseche di natura geomorfologica e pedoclimatica che ne accentuano l'esposizione ai rischi di degrado ambientale e di desertificazione. La comprensione di tali dinamiche richiede un'analisi integrata che coniughi lo studio delle serie storiche dei dati termo-pluviometrici con la valutazione della sensibilità dei suoli e dei sistemi vegetali. L'esame delle serie storiche relative alla stazione di Enna evidenzia con chiarezza la portata delle trasformazioni in atto nel centro Sicilia. Anche in questo caso, a partire dalla fine degli anni '70 del Novecento, si osserva una progressione termica pressoché ininterrotta che ha portato le temperature medie a valicare stabilmente la norma trentennale di riferimento (1991-2020, attestata attorno ai 15,5 °C), fino a toccare nell'ultimo biennio picchi eccezionali vicini ai 17,3 °C. Un'anomalia superiore a +1,7 °C rispetto ai valori storici di riferimento testimonia una profonda alterazione del regime termico locale (Figura 2.7). A fronte di questa netta e inequivocabile tendenza di surriscaldamento, il regime delle precipitazioni manifesta una spiccata e problematica variabilità interannuale. Pur mantenendo un valore medio trentennale di circa 490–500 mm annui, già inferiore

di circa il 25% rispetto alla media regionale, il pattern pluviometrico dell'entroterra è caratterizzato dall'alternanza tra annate siccitose e periodi concentrati di piogge intense (Figura 2.8). Negli ultimi anni si registra una marcata persistenza di deficit idrici (con cumulati annui spesso compresi tra i 370 e i 430 mm), nei quali l'effetto combinato di scarse precipitazioni ed elevata evapotraspirazione potenziale riduce drasticamente la riserva idrica utile del suolo durante la stagione vegetativa.

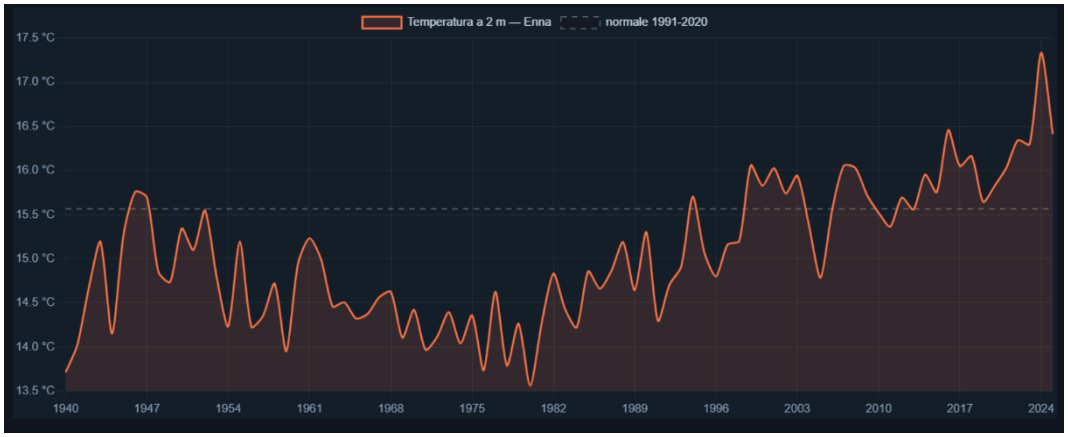


Figura 2.7: dati storici dal 1940 al 2024 relativi alla temperatura media annua nella Provincia di Enna.

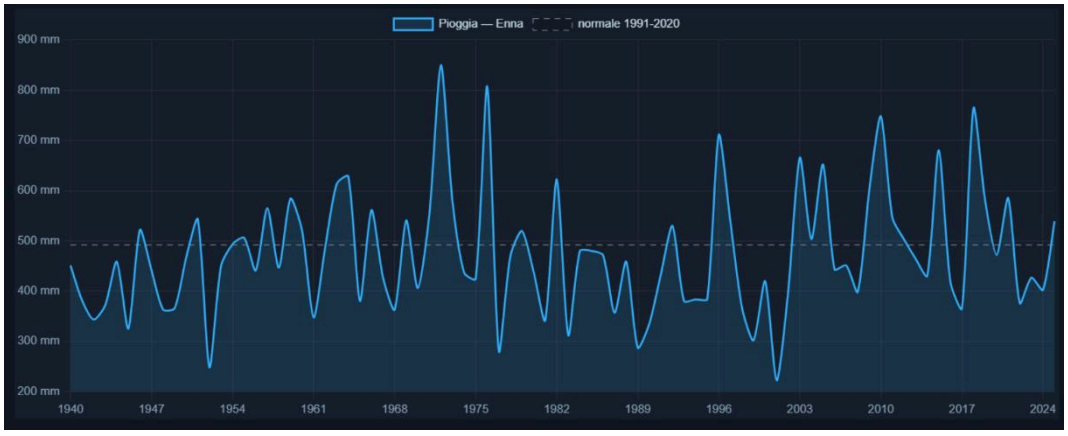


Figura 2.8: dati storici dal 1940 al 2024 relativi alla piovosità nella provincia di Enna.

La gravità del quadro climatico descritto trova conferma nei modelli di valutazione della sensibilità ambientale, tra cui lo studio condotto da ENEA e INEA tramite la metodologia MEDALUS nel 2003 (Environmental Sensitive Areas - ESA) (Giordano et al., 2003). Tale analisi individua nell'entroterra siciliano, ed in particolare nei distretti interni di Enna, Caltanissetta e Catania, una delle aree a più alta sensibilità alla desertificazione dell'intera regione. Questa elevata vulnerabilità nasce dalla convergenza di molteplici fattori. Innanzitutto, l'entroterra è dominato da formazioni prevalentemente argillose e da suoli collinari intrinsecamente soggetti a fenomeni erosivi e a strutturazione fragile. La storica prevalenza di colture seminative e cerealicole non irrigate lascia il terreno privo di vegetazione durante la stagione autunno-primaverile, proprio in coincidenza con i momenti di maggiore intensità dei rovesci atmosferici. In assenza di una vegetazione perenne in grado di stabilizzare i versanti e incrementare la sostanza organica, il ruscellamento superficiale dilava progressivamente lo strato fertile del suolo, innescando un circolo vizioso che accelera il degrado della terra. L'olivo (*Olea europaea*) è storicamente considerato una specie idonea agli ambienti mediterranei e ben adattata a contesti caratterizzati da aridità estiva. Tuttavia, l'intensificarsi ed il combinarsi dei fattori di stress, come temperature estive estreme, inverni sempre più miti, periodi di siccità prolungata e piogge concentrate, stanno mettendo a dura prova la resilienza fisiologica della pianta. Nell'entroterra siciliano, le alterazioni termiche condizionano direttamente le fasi fenologiche cruciali dell'olivo: il

soddisfacimento del fabbisogno in freddo (chilling hours) durante il periodo invernale può risultare compromesso, con ripercussioni sulla regolarità della mignolatura e della fioritura. Le elevate temperature primaverili ed estive, unitamente allo stress idrico severo, aumentano il rischio di cascola precoce dei frutticini e riducono l'accumulo di olio nelle drupe. Le dinamiche dei parassiti chiave, come la mosca dell'olivo, subiscono spostamenti temporali e spaziali imprevedibili rispetto agli schemi tradizionali. In definitiva, i dati ENEA dimostrano che la lotta alla desertificazione nel centro Sicilia non può prescindere da una profonda revisione dell'uso del suolo. Promuovere, salvaguardare e innovare l'olivicoltura non significa soltanto tutelare un settore produttivo d'eccellenza, ma attuare una vera e propria strategia di mitigazione ecologica, indispensabile per garantire la resilienza socioeconomica e ambientale del cuore della Sicilia di fronte alle sfide del cambiamento climatico.

3. LA SOSTENIBILITÀ IN OLIVICOLTURA

Secondo le direttive formulate dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE), affinché un'attività agricola possa definirsi pienamente sostenibile è necessario il soddisfacimento contestuale di tre requisiti cardine: la capacità di produrre un reddito adeguato per l'agricoltore, la garanzia di idonee condizioni di qualità e sicurezza sia per gli agricoltori sia per i consumatori finali, e la preservazione nel tempo delle risorse ambientali unita alla tutela della

fertilità del suolo (Vignozzi et al., 2013). In quest'ottica, il progressivo declino e l'abbandono dell'olivicoltura sul territorio italiano non comportano soltanto severe ripercussioni sul piano economico e sociale, ma determinano criticità ambientali profonde e spesso sottovalutate, che incidono sulla qualità del paesaggio agrario, sulla stabilità idrogeologica dei territori e sulla capacità dei suoli agricoli di contribuire al sequestro di carbonio atmosferico. L'olivicoltura è una vera e propria infrastruttura ecologica. Essa svolge un ruolo determinante nel mitigare i fenomeni di erosione e dissesto idraulico, sempre più frequenti a causa dell'estremizzazione degli eventi climatici, e nel favorire il sequestro di carbonio nei suoli e nella biomassa arborea. Dal punto di vista ambientale, l'impronta carbonica (Carbon Footprint) è un importante indicatore che misura l'impatto delle attività umane sul clima ed esprime in CO2 equivalenti (CO2eq.) il totale delle emissioni di gas ad effetto serra in tutte le fasi della vita di un prodotto. Un basso CF, il cui calcolo segue un metodo standardizzato e codificato secondo norme ISO, è percepito dai consumatori come indice di qualità e sostenibilità delle imprese. L'importanza dell'olivicoltura nel contrasto al cambiamento climatico è stata dimostrata da rigorose analisi condotte tramite metodologia Life Cycle Assessment (LCA), le quali hanno evidenziato come nell'oliveto, considerato a partire dal quinto anno di impianto, il bilancio del carbonio risulti nettamente positivo, immobilizzando una quantità di anidride carbonica superiore a quella emessa lungo l'intero ciclo di gestione agronomica e trasformazione (Proietti et al., 2014).

L’acqua rappresenta una delle principali criticità per il futuro del settore olivicolo. Per quanto riguarda l’impronta idrica delle olive (Water Footprint), circa il 96% è attribuibile all’olio extravergine di oliva, mentre il resto è attribuibile al sottoprodotto della sansa e solo l’1% all’imbottigliamento ed etichettatura. Un chilogrammo di olive produce circa 200 grammi di olio extravergine, per cui l’impronta idrica dell’olio extravergine di oliva è di circa 14.400 litri/kg (Mekonnen e Hoekstra, 2010). L’impronta idrica media globale delle olive è di 3020 litri/kg, con differenze notevoli tra i vari Paesi, di cui l’82% proveniente da acqua verde (precipitazioni), il 16.5% da blu (superficiale e di falda), e il rimanente da acqua grigia (diluizione degli inquinanti) (Mekonnen and Hoekstra, 2010). Stima che cambia in funzione della gestione dell’oliveto se esso sia irrigato o meno ed in base ai prodotti utilizzati (Rossi et al., 2020). La quantità di acqua blu è ovviamente elevata nell’olivicoltura irrigua (1410-2760 lt). L’obiettivo dell’olivicoltura sostenibile è quello di limitare i volumi e sviluppare protocolli di irrigazione in deficit (Gucci et al., 2012).

Quanto detto finora sottolinea l’importanza della componente suolo nella gestione sostenibile degli uliveti, vi sono, infatti, pratiche che facilitano lo stoccaggio del carbonio e la ritenzione idrica nel terreno, questo dipende fortemente dalle proprietà del suolo e dalle condizioni climatiche della zona.

3.1. LA FERTILITÀ DEL SUOLO

La produttività agricola e la resilienza degli ecosistemi coltivati dipendono in maniera imprescindibile dalla fertilità del suolo. Un suolo ecologicamente vitale possiede la capacità intrinseca di rigenerare e mantenere nel tempo il proprio potenziale produttivo (Doran & Zeiss, 2000); al contrario, la compromissione dei suoi equilibri biologici e chimico-fisici ne determina una progressiva perdita di vitalità, incrementandone la suscettibilità ai fenomeni erosivi con una conseguente riduzione della capacità produttiva. Negli anni '60 Ernst Klapp definì la fertilità del suolo come "la capacità naturale e sostenibile di un terreno di produrre piante". La fertilità può essere definita come l'attitudine naturale di un terreno a fornire determinati risultati produttivi relativamente a una data coltura, grazie agli elementi nutritivi forniti (AIAB, 2018). La fertilità naturale di un terreno non è una proprietà semplice da valutare e perfettamente individuabile attraverso un'analisi del terreno, ma è il risultato dell'interazione di numerosi fattori fisici, chimici e biologici (Cimato et al., 2004). Essa si articola in una componente intrinseca, rappresentata dalla dotazione nativa di elementi nutritivi quali azoto (N), fosforo (P) e potassio (K), e in una componente estrinseca, acquisita ed incrementata nel tempo mediante le pratiche di concimazione e fertilizzazione. La componente pedologica e la struttura del terreno sono direttamente collegati al contenuto di humus nel terreno e dunque alla fertilità. È l'humus che garantisce la presenza degli elementi minerali nel terreno e la loro disponibilità per le piante: trattiene i nutrienti in forme

assimilabili prevenendo il dilavamento dell'azoto, la precipitazione ed inattivazione del fosforo e la retrogradazione dei microelementi (es. ferro) e crea l'ambiente in cui le radici interagiscono con i saprofiti che vivono sulla materia organica. Inoltre, aumenta la ritenzione idrica del terreno, proteggendolo dal dilavamento e dall'erosione superficiale, e crea una riserva di acqua disponibile per le piante. Suoli definiti particolarmente adatti ad elevate produzioni, e quindi ricchi di humus, hanno profondità quasi sempre superiore al metro e dispongono di acqua nel periodo estivo. Nei moderni contesti agricoli si assiste a un generalizzato e preoccupante impoverimento della sostanza organica: nei terreni agrari mediterranei il contenuto medio di humus, che in passato si attestava intorno al 4%, si è ridotto a valori prossimi o inferiori all'1% (Cimato et al., 2004). La salvaguardia ed il ripristino della frazione umica rappresentano pertanto un obiettivo prioritario per contrastare i processi di desertificazione, mitigare l'erosione e garantire il bilancio idrico, specialmente negli ambienti semiaridi e mediterranei come quello della Sicilia.

Per quanto sia difficile definire il massimo di produzione raggiungibile da una pianta in una realtà olivicola, si possono analizzare i "fattori della fertilità" che, annualmente aiutano a completare il complesso metabolismo che controlla l'equilibrio tra sviluppo vegetativo e produzione.

Fattori chimici: processi che avvengono nel terreno che convertono gli elementi nutritivi in forme assimilabili per la pianta e per il microbiota del suolo.

Fattori genetici: sono strettamente connessi alla cultivar. L'elevata produttività della pianta, le caratteristiche qualitative del prodotto, la tolleranza a specifiche patologie sono, infatti, sotto il controllo genetico e, come tale, la risposta di cultivar di olivo diverse a condizioni di fertilità simili è differente (Cimato et al., 1993, 1997, 2001).

Fattori biotici: si riferiscono all'interazione della fertilità con la microflora. Alcuni componenti della microflora, come i funghi micorrizici, con cui le radici instaurano relazioni simbiotiche, permettono un maggiore assorbimento dei nutrienti; i batteri azotofissatori (rizobi) cedono ai tessuti vegetali parte dell'azoto atmosferico fissato in composti organici. Alcune popolazioni microbiche presenti nella rizosfera sono in grado di produrre antibiotici che ostacolano la colonizzazione radicale a opera di parassiti, impedendo un danno strutturale e funzionale delle radici. I vantaggi di queste interazioni mutualistiche per la pianta possono essere annullati da eccessive somministrazioni di concimi minerali o di pesticidi.

Fattori ambientali: Temperatura, energia radiante, piogge e composizione dell'aria atmosferica sono tutti fattori che interagiscono sullo sviluppo della radice, sull'attività della microflora e degli enzimi, sul pH del terreno, sulla componente pedologica, giocando un ruolo importante sulla fertilità del suolo.

La comprensione di tali dinamiche evidenzia come la gestione sostenibile dell'oliveto richieda un approccio sistemico.

3.2. PRATICHE AGRONOMICHE SOSTENIBILI

La gestione dell'oliveto, nel generale contesto italiano ma anche all'interno del territorio siciliano, si colloca all'intersezione tra tradizione e modernizzazione e ha il duplice obiettivo di incrementare la qualità dell'olio extravergine d'oliva e, al contempo, rafforzare la resilienza dell'agroecosistema di fronte ai cambiamenti climatici. La qualità dell'olio è il risultato di una stretta sinergia tra le caratteristiche genetiche della cultivar, la vocazione pedo-climatica del sito, le tecniche colturali e i processi di trasformazione in frantoio: parametri quali il grado di maturazione del frutto alla raccolta, il metodo di estrazione e l'eventuale filtrazione, le condizioni di stoccaggio interagiscono determinando il profilo del prodotto finale. Le pratiche agronomiche adottate nella gestione dell'oliveto determinano non solo la quantità e la qualità della produzione, ma anche l'impatto ambientale della coltura, la sua capacità di adattamento ai cambiamenti climatici e, in ultima analisi, la persistenza stessa dell'olivicoltura nei territori marginali, come gran parte del centro Sicilia (Gucci et al., 2020).

Data l'elevata eterogeneità geomorfologica e climatica che caratterizza la penisola e, in modo particolare, le aree interne siciliane, non è identificabile un unico modello olivicolo, ma si riscontra la presenza di svariate tecniche colturali, ciascuna specifica per un preciso contesto territoriale. A questo scopo è innanzitutto possibile distinguere l'olivicoltura tradizionale dall'olivicoltura specializzata a bassa, media o alta densità. Nel primo caso si fa riferimento ad un'impostazione colturale nella

quale gli olivi, spesso di grandi dimensioni (secolari) hanno un sesto irregolare o regolare ma molto ampio (circa 100 piante/ha, disposti a distanze 10 x 10 m) e sono quasi sempre consociate con altre specie, come vite, drupacee, cereali, ortaggi o leguminose. Relativamente alla seconda tecnica, invece, si assiste all'aumento del numero di piante per ettaro (da circa 250 per la bassa intensità, fino a 1000 nel caso di altissima densità) e alla conseguente meccanizzazione dei processi, nonché all'implementazione di sistemi di allevamento e tecniche di potatura differenti in base alla densità scelta. Questa tecnica consente una riduzione dei costi colturali e un aumento della redditività, mantenendo al contempo elevati standard qualitativi. È importante sottolineare che la scelta della tecnica colturale dovrebbe sempre essere coerente con lo specifico modello di impianto e considerare tutti gli aspetti legati alla sostenibilità ambientale, agronomica ed economica (Edagricole, Olivo e Olio – 2025). Inoltre, è fondamentale tutelare la biodiversità complessiva e attuare una gestione sostenibile del suolo.

3.2.1 Gestione del suolo

La definizione di una gestione agronomica razionale richiede la conoscenza approfondita dei cicli biologici che regolano l'accrescimento vegetativo e la fruttificazione dell'olivo. La crescita e lo sviluppo totale dei germogli, oltre che dal fattore genetico, sono condizionati da molteplici variabili non facilmente separabili e comunque dipendenti dalle caratteristiche e proprietà del suolo (fisiche e chimiche), dalla gestione del terreno agrario, dallo stato nutrizionale della pianta,

dalla disponibilità idrica, dagli interventi annuali di potatura e da fattori climatici diversi (soprattutto luce e temperatura) (Franchini et al., 2006).

Analizzeremo adesso le principali pratiche agronomiche sostenibili applicabili all'oliveto, con riferimento alla loro adattabilità agli ambienti pedoclimatici del centro Sicilia, caratterizzati da piovosità limitata, suoli spesso poco profondi e pendenze significative.

La gestione del suolo rappresenta la pratica agronomica con le maggiori ricadute sulla sostenibilità ambientale dell'oliveto, poiché condiziona direttamente l'erosione, la disponibilità idrica, l'accumulo di sostanza organica e la biodiversità. Le strategie di gestione del suolo devono essere coordinate con tutti gli altri interventi colturali, quali in particolare le concimazioni, l'irrigazione e i trattamenti fitosanitari. Una razionale applicazione deve tener conto di alcuni fattori, quali l'ambiente pedoclimatico, le caratteristiche fisico-chimiche del terreno, la giacitura, la fertilità naturale, la pluviometria, l'eventuale disponibilità di acqua d'irrigazione e l'età dell'oliveto. Le tecniche colturali del terreno applicate in olivicoltura, pur variando in rapporto ai suddetti fattori, sono fondamentalmente rappresentate dalle lavorazioni del terreno, dall'inerbimento e dal diserbo chimico. Tali tecniche possono combinarsi opportunamente tra loro in relazione agli obiettivi che si vogliono perseguire (Pisani e Mancuso, 1998).

La lavorazione periodica del terreno, tecnica tradizionalmente più diffusa in Italia, presenta il vantaggio di eliminare la competizione delle infestanti, di consentire

l’interramento dei concimi minerali e organici, incluso i materiali derivanti dal sovescio e dai residui della potatura e di favorire l'infiltrazione e conservazione dell'acqua di precipitazione, ma espone il suolo nudo per lunghi tratti dell'anno, con conseguente perdita di sostanza organica, formazione della “suola di lavorazione”, cioè di un sottile strato impermeabile che riduce l’infiltrazione dell’acqua negli strati profondi dei terreni ricchi di argilla o di limo, distruzione degli aggregati e aumento del rischio di erosione, soprattutto nei terreni in pendenza tipici degli areali collinari siciliani (Loreti. F, 2012). Stime condotte in Andalusia su suoli assimilabili a quelli mediterranei riportano perdite comprese tra 1 e 6 tonnellate di suolo eroso per ettaro all'anno nei sistemi a lavorazione convenzionale (Gómez et al., 2004); dati coerenti con quanto osservato nei vecchi oliveti tradizionali italiani, che possono anche raggiungere e superare le 20-30 t/ha/anno di terreno in suoli collinari, in cui è opportuno scegliere sistemi alternativi (Proietti e Regni, 2019). Negli anni in Spagna, nelle oliveti andalusi, sono state sperimentate tecniche di gestione mista denominate "semi-lavorazione" e "lavorazioni minime" (*minimum tillage*): la prima combina lavorazioni convenzionali lungo l'interfilare con la “non lavorazione”, associata al diserbo chimico, sulla superficie sotto la chioma, soluzione che ha fornito produzioni superiori del 6% rispetto alle lavorazioni tradizionali e si è rivelata particolarmente indicata nei suoli con marcata tendenza alla formazione della “crosta superficiale”; la seconda consiste nell’effettuare da uno a due interventi superficiali (5 cm) atti a rompere la “crosta superficiale”, il

controllo delle infestanti viene ottenuto con l'uso di erbicidi, tale soluzione ha fornito produzioni eguali alle piante sottoposte a "non lavorazioni" e superiori a quelle con lavorazioni convenzionali e si è rivelata indicata per terreni declivi e argillosi (Pastor M., 1990, 1991, 1998, 2000). Tali tecniche potrebbero essere efficacemente adottate nelle zone collinari del centro Sicilia, data l'analoga struttura del suolo di queste zone. Diversi studi hanno dimostrato che le tecniche di non lavorazione o "lavorazioni minime" del terreno aumentano efficacemente l'immagazzinamento di carbonio organico e creano condizioni del suolo migliori negli strati superiori rispetto alla lavorazione convenzionale (Madejón et al., 2009, Prasad et al., 2016).

Una tecnica alternativa ed efficace è l'inerbimento, ossia la copertura del suolo con un manto erboso, naturale o seminato. La sua efficacia nel ridurre l'erosione e nel migliorare la struttura del suolo è ben documentata: sperimentazioni di lungo periodo condotte nel centro e sud Italia hanno rilevato un aumento significativo del carbonio organico totale nei suoli inerbiti rispetto a quelli lavorati (Vignozzi et al., 2019), un miglioramento della respirazione del suolo e un'attività microbica più elevata, riportando un'abbondanza fungina, in particolare di funghi micorrizici arbuscolari (AMF) in grado di assorbire e trasferire i nutrienti del suolo alle piante ospiti (Turrini et al., 2017), oltre a un incremento della portanza del terreno e a una riduzione della compattazione anche in condizioni di umidità (Gucci et al., 2012a). Di contro, il principale inconveniente è rappresentato dalla competizione idrica,

particolarmente dannosa in corrispondenza dell'allegagione e durante le prime fasi di sviluppo dei frutti. La sua applicabilità non è universale: dipende in larga misura dal regime pluviometrico locale. Con precipitazioni annue superiori a 700-800 mm è possibile adottare un inerbimento permanente e totale senza particolari rischi; con piovosità comprese tra 600 e 700-800 mm è preferibile un inerbimento parziale, limitato agli interfilari, o totale ma gestito con sfalci frequenti; al di sotto dei 600 mm annui, soglia che interessa gran parte degli areali interni della Sicilia, la competizione idrica tra il cotico erboso e l'olivo diventa un rischio concreto (Proietti e Regni, 2019), tanto che nei lunghi periodi siccitosi tipici dell'Italia centro-meridionale e insulare il manto erboso spontaneo tende a disseccare completamente durante l'estate. In questi contesti la soluzione più equilibrata è l'inerbimento temporaneo autunno-vernino, realizzato con graminacee (orzo, avena) o leguminose (veccia, favino) seminate negli interfilari o in interfile alternate e sfalciate prima dell'inizio della stagione siccitosa, oppure l'inerbimento naturale controllato mediante sfalci, che coniuga i benefici della copertura vegetale con un contenimento della competizione idrica nei mesi critici (Proietti e Regni, 2019). Nelle zone collinari ed aride della Sicilia centrale, l'inerbimento può avere un effetto positivo e protettivo nei confronti dell'erosione in quanto riduce l'azione battente dell'acqua e il ruscellamento in seguito a brevi ed intense precipitazioni, ma in considerazione dell'aridità la scelta va supportata da una dotazione irrigua, almeno negli oliveti giovani, e dall'impiego di combinazioni di specie erbacee

selezionate per la rusticità e la resistenza alla siccità. La decomposizione del materiale in seguito agli sfalci e il continuo rinnovamento dell'apparato radicale del cotico erboso apportano, seppur in quantità modesta (0,6-2,1 t/ha/anno di humus), un rilascio di Azoto, Potassio e Magnesio, contribuendo a un'intensa attività biologica del suolo e a un incremento della fauna terricola utile, come i lombrichi (Proietti e Regni, 2019). Il diserbo chimico, pur ammesso dai disciplinari di produzione, che generalmente ne limitano l'impiego alle situazioni di coltivazione più difficili e costose, come terrazzamenti e scarpate dove risulta impraticabile l'uso di macchine operatrici per le lavorazioni superficiali, ha trovato una diffusione contenuta in Italia rispetto ad altri paesi olivicoli, anche per la crescente attenzione alla riduzione dei prodotti di sintesi imposta dalle politiche agro-ambientali. Ancor più marginale è l'impiego della pacciamatura, sia con materiali plastici sia con residui organici (paglia, trucioli, residui di potatura triturata): pur presentando benefici non trascurabili, controllo delle infestanti, aumento della temperatura del suolo, riduzione delle perdite di acqua per evaporazione, apporto di sostanza organica, i costi di posa e i problemi di smaltimento dei film plastici ne hanno limitato l'uso ai soli oliveti giovani di piccola dimensione, mentre la pacciamatura con materiale vegetale derivante dallo sfalcio del cotico erboso, priva di costi aggiuntivi, rappresenta oggi la soluzione più coerente con i principi di sostenibilità (Loreti F., 2012). Alla luce di tali evidenze, la scelta della strategia di gestione del

suolo negli oliveti collinari della Sicilia centrale non può prescindere da un approccio integrato e sito-specifico.

3.2.2 Potatura

Per quanto concerne la gestione della chioma, la tecnica di potatura e la scelta della forma di allevamento devono contribuire al raggiungimento e al mantenimento dell'equilibrio tra attività vegetativa e produttiva. In fase di allevamento, l'esigenza è quella di formare rapidamente lo scheletro dell'albero e consentire l'entrata in produzione (Neri et al., 2009). In fase di maturità si stabilisce un rapporto stabile tra attività della chioma e dell'apparato radicale, che influisce sull'equilibrio vegeto-riproduttivo, quando l'attività riproduttiva è forte quella vegetativa è limitata e viceversa (Pannelli e Gucci, 2011). Gli interventi devono essere adattati all'età delle piante, alla cultivar, al sistema di allevamento e alle caratteristiche dell'impianto, privilegiando una gestione regolare della chioma ed evitando tagli eccessivamente drastici. La potatura è una pratica indispensabile, che rappresenta la seconda voce di costo, dopo la raccolta, incidendo notevolmente sul profilo economico di gestione degli oliveti (Pannelli, 2007). L'approccio sostenibile alla gestione della chioma orienta le scelte agronomiche verso la riduzione della frequenza e dell'intensità degli interventi di potatura, ponendosi l'obiettivo di contenere i costi d'esercizio e di preservare un'ampia superficie fruttificante. In questo contesto si inserisce la tecnica della "potatura minima" (*minimum pruning*), una strategia concepita per semplificare le operazioni colturali senza

compromettere la produttività dell'albero o la qualità dell'olio, garantendo la sostenibilità economica dell'impianto (Lodolini et al, 2019). Tale tecnica, permette di far fronte ad una delle principali criticità del settore olivicolo contemporaneo: la progressiva carenza di manodopera specializzata e l'elevato costo dei potatori esperti. Viene programmata in base all'effettiva carica vegeto-produttiva e all'età dell'albero, procede dall'alto verso il basso, dando priorità ai tagli grossi prima di quelli piccoli per correggere le differenze di vigoria tra le branche; tutti i tagli che possono essere rimandati all'anno successivo devono essere rinviati. Applicata correttamente, la potatura minima riduce il numero di ferite sul legno limitando i punti d'ingresso per agenti patogeni come la rogna dell'olivo (*Pseudomonas savastanoi*) (Pannelli, 2008). La potatura, sia di allevamento sia di produzione, non è soltanto una pratica finalizzata a regolare l'equilibrio tra vegetazione e produzione e a facilitare la raccolta, ma rappresenta anche un tassello della sostenibilità ambientale dell'oliveto attraverso la gestione dei residui. La trinciatura dei residui di potatura con restituzione al terreno, piuttosto che la bruciatura in campo o l'allontanamento, consente di sequestrare e stabilizzare nel suolo circa il 50% del carbonio in essi contenuto sotto forma di sostanza organica, mentre il restante 50% viene rilasciato gradualmente per degradazione microbica (Regni et al., 2017). Questa pratica, a costo pressoché nullo per l'azienda, si integra perfettamente con la gestione conservativa del suolo descritta precedentemente, contribuendo al bilancio complessivo del carbonio dell'oliveto. La quantità calcolata di carbonio

rilasciata nel terreno rispetto a quella che sarebbe stata emessa tramite la bruciatura genererà le tonnellate di CO2 equivalente che saranno convertite in crediti di carbonio (Brunori et al. 2017). Bisogna tenere conto dei fenomeni allelopatici che il continuo interramento di residui di potatura può innescare (Endeshaw et al. 2015). Processi di diversificazione dei residui che vengono interrati hanno invece effetti positivi sulla crescita delle radici (Giorgi et al. 2008).

3.2.3 Irrigazione

La gran parte degli oliveti italiani è coltivata in asciutto, cioè in assenza di irrigazione, mentre soltanto il 14% degli impianti è in irriguo (Sala, et al, Proietti e Regni, 2019). L'olivo è, infatti, una specie molto resistente alla siccità e predilige climi contraddistinti da bassa umidità atmosferica, temperature non rigide, elevata radiazione luminosa e terreni di medio impasto, non soggetti ad asfissia radicale, di contro deficit idrici prolungati limitano l'attività fotosintetica e compromettono la produttività, con particolare vulnerabilità nelle fasi di fioritura, allegagione e accrescimento del frutto. L'adattamento a queste condizioni ambientali è il risultato di un insieme di fattori che riguardano sia l'apparato radicale che la chioma (Gucci, 2012). L'irrigazione può migliorare le prestazioni degli oliveti tradizionali e risulta di fondamentale importanza per gli oliveti ad alta densità. I benefici sono tanto maggiori quanto più arido è il clima o scarsa la capacità di ritenzione idrica del suolo. Negli oliveti di nuovo impianto, l'irrigazione anticipa sensibilmente l'entrata in produzione degli alberi, mentre negli oliveti già in piena produzione comporta

numerosi vantaggi agronomici: riduce il fenomeno dell'alternanza produttiva, aumenta il numero di frutti per albero, la loro pezzatura, il rapporto polpa-nocciolo e, di conseguenza, la resa in olio per pianta. L'irrigazione incide inoltre in modo significativo sulla qualità del prodotto finale: influisce negativamente sulla concentrazione dei composti fenolici, la composizione in acidi grassi non viene influenzata, mentre la frazione insaponificabile (composti volatili) responsabile delle caratteristiche sensoriali del prodotto e il profilo organolettico dell'olio sono particolarmente sensibile alla gestione irrigua, motivo per cui la scelta del regime idrico da adottare non va valutata soltanto in termini di resa quantitativa, ma anche di profilo qualitativo dell'olio che si intende ottenere (Proietti e Regni, 2019).

In un'ottica di sostenibilità economica-ambientale, la necessità di ridurre i consumi idrici connessi all'irrigazione, garantendo al contempo che la pianta non incorra in fasi di stress tali da pregiudicarne significativamente la produttività, ha portato allo sviluppo del criterio del deficit idrico controllato (Regulated Deficit Irrigation - RDI): una pratica che riduce gli apporti idrici nelle fasi biologiche meno sensibili alla carenza d'acqua, garantendo invece un rifornimento adeguato nelle fasi più critiche (fioritura, allegagione e accrescimento del frutto), con un conseguente aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua (Gucci et al., 2012b; Rossi et al., 2020). È stato dimostrato che la somministrazione di volumi pari al 70% del fabbisogno irriguo stagionale stimato è spesso sufficiente a far raggiungere alle piante i livelli produttivi più elevati, sia in termini di resa in frutti sia di resa in olio (Sala et al,

Proietti e Regni, 2019). La strategia comporta inoltre benefici indiretti, quali il controllo del vigore vegetativo e una minore vulnerabilità ai parassiti. Di particolare interesse per il contesto siciliano sono i dati sperimentali raccolti su impianti superintensivi (circa 1.600 piante/ha) in aree con precipitazioni medie annue di soli 450 mm, che hanno dimostrato come un volume di acqua stagionale di appena 1.600 m^3/ha sia sufficiente a mantenere le piante in un adeguato stato idrico (Proietti e Regni, 2019). La necessità di dosare con precisione i volumi d'acqua rende oggi preferibili, rispetto ai metodi tradizionali per scorrimento o aspersione, i sistemi di irrigazione localizzata (metodo a goccia e il metodo per subirrigazione) che, bagnando solo la porzione di terreno esplorata dall'apparato radicale, consentono di ottimizzare l'uso dell'acqua da parte della pianta con un'efficienza superiore al 90%, grazie al forte contenimento delle perdite per evaporazione e per assorbimento da parte delle infestanti (Gucci, 2012). A questi vantaggi si aggiungono l'annullamento delle perdite per ruscellamento e percolazione, la possibilità di effettuare la fertirrigazione riducendo la lisciviazione dei fertilizzanti, i bassi consumi energetici e la possibilità di automazione integrale del sistema, il principale svantaggio è rappresentato dalla facilità di occlusione degli erogatori. Un sistema in progressiva diffusione è la sub-irrigazione, con ali gocciolanti interrate a circa 35 cm di profondità, che raggiunge un'efficienza superiore al 95% e non interferisce con le altre operazioni colturali, sebbene richieda un'installazione più complessa, un costo iniziale elevato e una manutenzione periodica del sistema di filtraggio per prevenire

l'occlusione dei gocciolatori da parte di radici e particelle di terreno. Un aspetto complementare, spesso sottovalutato nella pianificazione irrigua, è la qualità dell'acqua impiegata, che condiziona sia la scelta dei sistemi di filtrazione sia il rischio di occlusione degli erogatori: l'olivo tollera discretamente la salinità, sebbene la risposta vari sensibilmente in funzione della cultivar. L'utilizzo di acque reflue urbane, opportunamente depurate, potrebbe aumentare la disponibilità idrica nelle aree, come il centro Sicilia, in cui l'acqua risulta un fattore limitate della coltura, con il beneficio aggiuntivo di un apporto di elementi minerali assimilabile a una fertirrigazione, da tenere in conto nella pianificazione complessiva della concimazione (Proietti e Regni, 2019). Irrigazioni di soccorso possono anche essere molto utili per la sostenibilità della irrigazione (Lodolini et al. 2016).

3.2.4 Difesa fitosanitaria

I molteplici effetti dei cambiamenti climatici e la necessità di mettere a punto strategie di mitigazione mirate a ridurre l'impronta di carbonio delle attività di origine antropica pongono il comparto agricolo di fronte a una duplice sfida: da un lato l'adattamento alle nuove condizioni climatiche, dall'altro l'adozione di tecniche innovative di coltivazione e di difesa dalle avversità, al fine di ridurre gli input agricoli e aumentare la sostenibilità dell'intera filiera, anche in termini di quantità di carbonio assorbita. Un moderno approccio di difesa fitosanitaria in olivicoltura tende ad affermare il concetto di "agricoltura sostenibile", nella quale si identifica un sistema che possa promuovere lo sviluppo agricolo nel rispetto dell'ambiente

(Iannotta et al, 2012). La mosca delle olive (*Bactrocera oleae*) è considerata il principale fitofago pericoloso per la coltura, con perdite di produzione che in annate di forte pressione hanno superato il 50% in alcune aree italiane (Gucci et al., 2020); il suo controllo richiede pertanto un monitoraggio costante e l'adozione di mezzi a basso impatto ambientale (dispositivi per la cattura massale, prodotti a base di rame o repellenti) impiegati solo al superamento delle soglie economiche e ambientali di intervento. Relativamente ai fitopatogeni, la gran parte di essi può essere considerata "endemica" per la coltura in ambiente mediterraneo, e le infezioni più ricorrenti dipendono principalmente dalle condizioni climatiche favorevoli al loro sviluppo e da pratiche agronomiche non sempre razionali. Negli ultimi decenni, tuttavia, il cambiamento climatico ha determinato la comparsa di problematiche fitosanitarie nuove per questi ambienti, correlabili sia all'introduzione di patogeni precedentemente assenti sia alla maggiore virulenza di agenti patogeni già noti, sia infine a una crescente suscettibilità degli stessi ospiti, spesso indebolita da stress idrici e termici più frequenti e intensi (Lo Verde et al., in Proietti e Regni, 2019). Questo scenario in evoluzione rafforza ulteriormente la necessità di una strategia di difesa integrata, fondata sul monitoraggio sistematico delle avversità e su una gestione agronomica complessiva (dalla scelta varietale alla gestione del suolo e della chioma) capace di preservare la naturale resilienza dell'agroecosistema olivicolo, piuttosto che affidarsi esclusivamente alla lotta chimica curativa.

3.2.5 Fertilizzazione e concimazione

La fertilizzazione dell'oliveto si articola in due fasi distinte, con obiettivi differenti: la fertilizzazione di allevamento è finalizzata a favorire il rapido accrescimento della pianta, privilegiando l'apporto azotato integrato, nei terreni più poveri, da modeste quantità di fosforo e potassio, che favoriscono l'accrescimento delle radici e la resistenza degli alberi ad alcune avversità; una volta raggiunta la piena produzione, si adopera la fertilizzazione di produzione che ha lo scopo di mantenere nel terreno una fertilità sufficiente a garantire un'adeguata attività vegetativa, una produzione elevata, costante e di qualità, e una buona resistenza a stress parassitari e ambientali (Proietti et al in Proietti e Regni, 2019).

La pianificazione degli apporti nutrizionali deve basarsi su un approccio integrato che combina l'analisi del terreno con la diagnostica fogliare, il calcolo delle asportazioni operate dalla raccolta e dalla potatura, e l'esame visivo dei sintomi di carenza o eccesso sulla pianta, evitando una concimazione indiscriminata a favore di una programmazione calibrata sulle caratteristiche del terreno, sulle esigenze della coltura e sullo stato nutrizionale dell'oliveto.

A titolo orientativo, in un terreno di medio impasto e di media fertilità, le dosi annuali di elementi nutritivi da apportare a un oliveto adulto con circa 250 piante per ettaro e una produzione potenziale di olive intorno a 4 t/ha sono: 90-150 kg/ha di azoto, 20-30 kg/ha di fosforo, 70-120 kg/ha di potassio, valori da calibrare in funzione delle risultanze analitiche e della risposta vegeto-produttiva osservata

negli anni. Tra gli elementi, l'azoto governa l'accrescimento vegetativo e l'induzione a fiore ma, se in eccesso, induce rigoglio vegetativo a scapito della fioritura e una maggiore sensibilità a freddo e parassiti; il fosforo sostiene fioritura, allegagione e sviluppo radicale, sebbene le sue carenze siano rare grazie alla generale buona dotazione dei suoli; il potassio regola inoliazione, lignificazione dei tessuti e resistenza a stress termici e idrici (Proietti et al in Proietti e Regni, 2019).

Sul piano della sostenibilità, un ruolo centrale spetta alla gestione della sostanza organica, che nei suoli mediterranei, tipicamente poveri di humus, va costantemente reintegrata data la sua mineralizzazione a un ritmo dell'1-3% annuo. La fertilizzazione organica prevede l'apporto di materiale organico di diversa origine, oltre alla letamazione tradizionale (30-60 t/ha ogni 2-4 anni), le strategie più coerenti con un approccio agroecologico includono il sovescio autunno-vernino (150-200 kg/ha di azoto) con leguminose o miscugli leguminose-graminacee, l'interramento dei residui di potatura trinciati e la valorizzazione dei sottoprodotti della filiera olivicolo-olearia. (Proietti et al in Proietti e Regni, 2019). La presenza negli oliveti di sistemi irrigui localizzati, consente di combinare la nutrizione minerale a quella irrigua attuando la fertirrigazione, tecnica che consiste nel fornire gli elementi nutritivi disciolti nell'acqua di irrigazione e che presenta numerosi vantaggi in un'ottica di sostenibilità: consente di somministrare i nutrienti a piccole dosi in maniera pressoché continua, limitando l'assorbimento di lusso, la percolazione degli elementi più mobili e i fenomeni di immobilizzazione nel suolo

di fosforo e potassio; svincola l'efficacia della concimazione dalle precipitazioni ed evita il calpestamento del terreno dovuto al transito dei mezzi spandiconcime; localizza i nutrienti in prossimità dell'apparato radicale, che tende a concentrarsi sotto gli erogatori, con una maggiore efficienza d'uso degli elementi minerali che consente di ridurne i quantitativi apportati (-25/-30% circa); permette infine di correggere rapidamente carenze nutrizionali improvvise e riduce le spese di gestione grazie alla possibilità di automazione completa (Proietti at al in Proietti e Regni, 2019). I principali limiti della tecnica risiedono nel maggior costo dell'impianto (che richiede apparecchiature per l'iniezione dei fertilizzanti nelle linee distributrici e adeguati sistemi di filtraggio) e nella necessità di una manutenzione costante. Per l'uso dei sottoprodotti dei frantoi oleari (sanse e acque di vegetazione) occorre rispettare la specifica normativa (ad esempio in Italia Decreto del MiPAF del 6/07/2005), che stabilisce i limiti di accettabilità e le modalità d'uso. Si possono anche applicare prodotti a base di sansa senza compostaggio ma il rischio di avere un effetto allelopatico sulle radici è alto (Endeshaw et al., 2015). Applicazioni localizzate in presenza di abbondanti biomasse (necromasse) prodotte da sovesci o inerbimenti possono rendere compatibili gli utilizzi diretti della sansa con il buon funzionamento radicale. Un esperimento condotto nel Centro Italia ha dimostrato che circa il 50% del carbonio presente nel compost di sansa viene stabilmente stoccato dal sistema suolo-pianta, contro appena il 6% quando si utilizza la sansa tal quale (Regni et al., 2017): un

dato che indica chiaramente come i processi di compostaggio dei sottoprodotti costituiscano una leva agronomica di grande rilevanza per la sostenibilità della filiera.

3.3. L'IMPORTANZA DEI PROCESSI DI RACCOLTA E TRASFORMAZIONE: I FRANTOI LOCALI

La qualità di un olio extra vergine di oliva viene solo in parte creata nel frantoio ed in genere è necessario preservare la qualità delle olive ottenuta in campo. Questo assunto, ormai consolidato nella letteratura tecnico-scientifica, definisce la natura peculiare del processo di trasformazione olearia rispetto ad altre trasformazioni agroalimentari. L'olio è già presente nella drupa al momento della raccolta, l'intero processo, dalla frangitura alla separazione, non fa che liberarlo, estraendo, con esso, anche una serie di nutrienti ed altre importanti sostanze seppur in quantità limitata. Ne consegue che ogni fase successiva al distacco del frutto dalla pianta può soltanto preservare o degradare un patrimonio qualitativo già definito in campo. Il frantoio, in altri termini, è un moltiplicatore di errori più che un correttore di difetti. Questa constatazione assume un rilievo particolare in Sicilia, regione che concentra una quota significativa del potenziale olivicolo nazionale senza riuscire, storicamente, a tradurlo in un corrispondente posizionamento di mercato. Dall'analisi dei dati Istat elaborati dall'Istituto Regionale del Vino e dell'Olio (IRVO), già presentati precedentemente all'interno dell'elaborato, emerge un quadro strutturale di una

regione ad altissimo potenziale ma caratterizzata da un'olivicoltura frammentata, spesso collinare e a bassa meccanizzazione, servita da una rete molitoria numerosa ma sottodimensionata in termini di utilizzo degli impianti. Non è un caso che lo studio di Life Cycle Assessment condotto da Salomone e Ioppolo (2012), sulla filiera olearia della provincia di Messina, individui negli stadi agricolo e di trasformazione i principali hotspot ambientali dell'intero ciclo di vita del prodotto.

La prima variabile critica per la qualità dell'olio è l'epoca di raccolta, tradizionalmente descritta attraverso l'indice di maturazione (o indice di Jaen), che classifica un campione rappresentativo di drupe su una scala da 0 (epicarpo verde intenso) a 7 (polpa completamente scura). La scelta del momento di raccolta è governata da un trade-off tecnico-economico ben documentato: al progredire della maturazione la resa in olio aumenta e si stabilizza, mentre il contenuto in biofenoli, responsabili della stabilità ossidativa, degli attributi sensoriali di amaro e piccante e delle proprietà salutistiche riconosciute dal Reg. UE 432/2012, decresce rapidamente dopo l'invaiatura. Nella pratica prevalente dell'olivicoltura di qualità l'obiettivo è collocarsi in una finestra ristretta di invaiatura iniziale-intermedia, accettando una minore resa quantitativa a fronte di un olio più stabile e più espressivo. Un secondo fattore determinante è il sistema di raccolta, infatti ogni lesione del frutto libera acidi grassi innalzando l'acidità libera, che comporta il declassamento dell'olio da EVO a vergine o lampante, e sarà responsabile dei difetti sensoriali dello stesso. Tuttavia, la meccanizzazione della raccolta non è di per sé

incompatibile con l'eccellenza qualitativa, ma lo diventa se non è accompagnata da un intervallo raccolta-molitura molto breve (Famiani et al., 2020). In un sistema logistico efficiente, anzi, la maggiore produttività oraria della raccolta meccanica riduce il tempo complessivo di permanenza del prodotto in campo e può risultare qualitativamente vantaggiosa. Nel contesto siciliano, e in particolare nelle aree interne, dove prevalgono impianti tradizionali a sesto irregolare, piante secolari di grande volume e pendenze accentuate, la meccanizzazione integrale con scavallatrici è nella maggior parte dei casi impraticabile. L'alternativa di raccolta migliore risulta essere tramite abbacchiatori elettrici e pneumatici, reti di raccolta e scuotitori portatili, la quale consente incrementi di produttività significativi, rispetto alla raccolta manuale, con un danneggiamento della drupa contenuto. Il tratto compreso fra il campo e la tramoggia del frantoio è il punto in cui si consuma la maggior parte delle perdite qualitative evitabili (Vichi et al., 2015). Anche intervalli dell'ordine di pochi giorni sono sufficienti a compromettere il profilo sensoriale e fenolico del prodotto. In relazione alla sostenibilità la fase di trasporto del raccolto dal campo al frantoio mostra alcune criticità dovute principalmente alla frammentazione della base produttiva siciliana (elevati conferimenti di piccola entità) e alla moderata capacità lavorativa dei frantoi locali. In termini di emissioni per chilogrammo di olive trasportate, questo modello è largamente inefficiente rispetto a una logistica aggregata; l'effetto è amplificato nelle aree interne, dove la viabilità tortuosa allunga i tempi di percorrenza a parità di distanza. Inoltre, la

compressione della campagna in poche settimane produce code ai frantoi: le olive attendono, degradandosi, mentre gli impianti lavorano in regime di sovraccarico con picchi di assorbimento energetico e minore possibilità di controllo del processo. Il trasporto, in sintesi, incide poco sull'impronta di carbonio del litro di olio ma moltissimo sul suo valore.

Il processo di trasformazione delle olive in frantoio comprende le seguenti fasi: defogliazione e lavaggio; frangitura che ha lo scopo di liberare le gocce d'olio del frutto, può essere eseguita con molazze o frangitori metallici (a martelli, a dischi, a coltelli) che sono più rapidi e igienici ma maggiormente esposti a stress termico e ossidativo; gramolatura, ossia il rimescolamento lento e prolungato della pasta, fase in cui il frantoiano dispone del maggior margine di intervento attraverso i parametri di temperatura e tempo, temperature superiori a 27°C e tempi eccessivi determinano una minore qualità dell'olio (Parenti et al., 2008), per tale motivo le gramolatrici di ultima generazione operano a chiusura ermetica, talvolta in atmosfera inerte di azoto, e affidano il condizionamento termico a scambiatori di calore in linea anziché alle intercapedini riscaldate, riducendo lo stress termico e i tempi morti; estrazione che rappresenta il cuore dell'intero processo in cui avviene la vera e propria produzione di olio, avviene per pressione (discontinua) o tramite decanter (orizzontale a 2 o 3 fasi, continua), in tale processo si concentrano le differenze sostanziali fra le tipologie impiantistiche. Le differenze sostanziali riguardano l'acqua introdotta durante il processo che condiziona la stabilità ossidativa e la

longevità del prodotto e la natura dei sottoprodotti ottenuti decisiva in ottica ambientale, che viene descritta nel paragrafo successivo.

Provincia	N° Frantoi	Olio prodotto (kg)	%	Olive molite (kg)	Resa
Agrigento	101	12.234.668	46,0%	75.096.594	16%
Trapani	66	5.638.903	21,2%	34.969.530	16%
Palermo	108	3.367.986	12,7%	20.001.843	17%
Ragusa	30	1.468.267	5,5%	11.295.432	13%
Caltanissetta	44	1.107.523	4,2%	7.758.355	14%
Catania	53	874.540	3,3%	6.579.635	13%
Siracusa	40	705.496	2,7%	5.507.270	13%
Messina	82	690.822	2,6%	4.661.224	15%
Enna	36	534.268	2,0%	3.797.796	14%
SICILIA	**560**	**26.622.472**	**100%**	**169.667.679**	**16%**

Tabella 3.1 – Frantoi, olive molite e olio prodotto per provincia, campagna olearia 2024/2025.
Fonte: elaborazione dell'autore su IRVO, "Il settore olivicolo-oleario regionale", elaborazione IRVO su dati Ismea "Tendenze e Dinamiche recenti Olio di Oliva" luglio 2025 – Ismea su dati provvisori AGEA-Dichiarazioni dei frantoi.

La Sicilia, con 560 frantoi attivi (campagna 2024/2025) è la terza regione italiana per numero di frantoi, dopo Puglia (720 frantoi) e Calabria (663 frantoi) (Dati ISMEA luglio 2025 su fonte Agea); dato in decrescita rispetto ai 616 frantoi attivi nella campagna 2023/2024 (Dati ISMEA aprile 2024 su fonte Agea). La provincia siciliana maggior produttrice di olio è quella di Agrigento (32-33%), seguita da Trapani (23%), Palermo (circa il 14-16%), e Catania (circa l'7-8%) (dati

SIAN/AGEA); Agrigento da sola produce quasi la metà del totale regionale con una resa media tra le più elevate (16%).

Sul piano strutturale, la distribuzione dei frantoi non segue quello della materia prima: Palermo dispone del maggior numero di impianti (108) pur producendo il 12,7% dell'olio regionale, Agrigento con soli 101 impianti riesce a produrre il 46% dell'olio, mentre la provincia di Messina che conta 82 frantoi produce solo il 2,6% della produzione, dato che sottolinea la presenza in tale provincia di tanti frantoi di piccolissima capacità mentre ad Agrigento e Trapani i frantoi hanno maggiore capacità di lavorazione. Con riferimento al centro Sicilia, le province di Enna e Caltanisetta, territori olivicoli antichi ma marginali rispetto ai poli produttivi regionali, si collocano al penultimo e terzultimo posto fra le province siciliane, davanti alla sola Messina, per il rapporto fra olive molite e numero di impianti. Presentano dunque una configurazione frammentata con molti impianti, ciascuno dei quali lavora volumi modesti per un numero limitato di giornate all'anno. A questa fragilità strutturale si contrappone la resa media in olio al 14%, valore superiore a quello delle province orientali (Catania, Ragusa, Siracusa), e la collocazione altimetrica, che comporta un rallentamento della maturazione, una minore pressione della mosca e condizioni potenzialmente favorevoli alla produzione di oli ad elevato contenuto fenolico. Sebbene la presenza capillare dei frantoi favorisca la qualità dell'olio riducendo i tempi di trasporto dal campo, le ridotte dimensioni operative di queste strutture generano una forte inefficienza

sistemica, determinando sia un maggior consumo energetico per tonnellata sia la paralisi del ritiro della sansa nelle aree marginali, dove i piccolissimi volumi dispersi sul territorio non risultano economicamente interessanti per i sansifici.

La Regione Siciliana ha attivato la sottomisura PNRR "Investimento 2.3 — Ammodernamento dei frantoi oleari", destinata alla sostituzione di macchinari obsoleti con sistemi di molitura ed estrazione a due o tre fasi, con l'obiettivo dichiarato di accrescere la sostenibilità dei processi, ridurre la produzione di scarti e favorire il recupero energetico dai sottoprodotti.

Finché il frantoio viene concepito come un impianto lineare che produce olio e smaltisce residui, ogni miglioramento di processo si scontra con un limite fisico invalicabile: la resa in olio non può superare il 20% della massa lavorata, e tutto il resto costituisce un costo. Passare da una visione del frantoio come semplice produttore di olio a un modello di economia circolare permette di trasformare l'80% degli scarti, come sanse, nocciolino, acque di vegetazione, foglie e potature in preziose risorse per l'energia, la cosmetica e l'agricoltura, ribaltando completamente la sostenibilità economica e ambientale dell'impianto.

4. SOLUZIONI PER LA CIRCOLARITÀ: DA SCARTO A RISORSA

Il settore agroalimentare è storicamente caratterizzato da un'elevata generazione di residui e scarti, ascrivibili in larga misura alle fasi di lavorazione e trasformazione industriale delle materie prime (Charatsari et al. - 2022). L'accumulo di tali masse

di scarto non si traduce unicamente in un'esternalità negativa sul piano ambientale, ma configura una perdita economica diretta per i produttori, i quali vedono preclusa la possibilità di recuperare e valorizzare il capitale investito nella materia prima attraverso la generazione di nuovo valore (Chiaraluce et al., 2023). In tale scenario, l'ottimizzazione dell'impiego delle risorse e l'adozione di strategie avanzate di recupero dei sottoprodotti assumono un ruolo di primaria importanza. Questo cambio di paradigma trova nell'economia circolare un modello alternativo e sistemico rispetto all'approccio lineare tradizionale, fondato su logiche di sovrapproduzione e smaltimento. L'elemento differenziante del modello circolare risiede nella capacità di preservare il valore intrinseco dei prodotti lungo l'intero ciclo di vita, convertendo ogni flusso di scarto in un input produttivo (Abbate et al., 2024). Di conseguenza, il trattamento dei residui supera la mera funzione compensativa o di smaltimento, configurandosi come una leva strategica di recupero capace di mitigare la pressione sui sistemi naturali e favorire processi di up-cycling all'interno dei cicli biologici ed economici.

Da un punto di vista teorico, all'interno del modello circolare occorre operare una distinzione tra sistemi a ciclo chiuso (closed-loop), nei quali le risorse vengono interamente recuperate e reinserite nella medesima filiera produttiva, e sistemi a ciclo aperto (open-loop), in cui gli scarti generati diventano input materiali per comparti industriali differenti (Ghisellini et al., 2016). In questo contesto, l'industria olivicola-olearia costituisce uno dei comparti agroalimentari maggiormente oggetto

di indagine sotto il profilo della sostenibilità ambientale, sia per il suo rilievo nei sistemi economici e nei flussi commerciali del bacino del Mediterraneo, sia per l'elevato volume di sottoprodotti generati lungo l'intero processo. Secondo i dati stimati dalla FAO, il comparto delle colture oleaginose si caratterizza per l'emissione dei più elevati volumi di residui.

La filiera dell'olio d'oliva genera residui sia durante la fase di coltivazione, attraverso la produzione di legno di potatura, rami e foglie, sia nella successiva fase di trasformazione industriale, che dà origine a sansa d'oliva, acque reflue dei frantoi e noccioli (Falcone et al., 2022). Come abbiamo già analizzato, la conduzione dell'oliveto richiede l'esecuzione di diverse pratiche agronomiche (gestione del terreno, potatura, fertilizzazione, irrigazione, difesa fitosanitaria e raccolta) la cui intensità varia in funzione della natura dell'impianto (secolare vs. intensivo), del sistema irriguo (a secco vs. a goccia), del modello agricolo (convenzionale, integrato o biologico) e del grado di meccanizzazione adoperato. Tali variabili, analizzate nell'ambito delle specificità pedoclimatiche dell'entroterra siciliano, determinano differenze sostanziali nel bilancio di sostenibilità ambientale tra i diversi contesti produttivi.

Durante la fase colturale e la prima lavorazione industriale si generano importanti volumi di residui vegetali, suddivisi tra frazione legnosa e biomassa fogliare (Romero-García et al., 2014). Le foglie d'oliva, derivanti dalle lavorazioni di campo e dal defogliamento pre-molitura in frantoio, rappresentano circa il 10% del peso

del raccolto e una resa di 7-15 kg/pianta nelle fasi di potatura (Abaza et al., 2015; Loise et al., 2024). Questo sottoprodotto si caratterizza per un notevole potenziale di riutilizzo grazie alla presenza di composti fenolici dotati di elevato potere antiossidante e di proprietà salutistiche (antinfiammatorie, ipoglicemizzanti, antipertensive e anticolesterolemiche) ampiamente documentate (Özcan & Matthäus, 2017). Ciononostante, la loro gestione in campo risulta ancora scarsamente regolamentata, traducendosi spesso nella pratica dannosa della bruciatura all'aperto. Parallelamente, il legno di potatura costituisce una biomassa lignocellulosica di primario interesse, destinabile alla trinciatura in loco per l'apporto di sostanza organica o alla conversione in biocombustibile solido.

Per quanto concerne la fase di trasformazione è importante ricordare che la composizione chimico-fisica dei residui generati all'interno del frantoio dipende in modo diretto dalla tecnologia di estrazione impiegata. L'estrazione dell'olio si articola prevalentemente secondo tre differenti sistemi tecnologici: il metodo discontinuo per pressione tradizionale, il sistema continuo trifasico e il sistema continuo bifasico. I sistemi tradizionali a pressione, di tipo discontinuo, generano una sansa relativamente secca con un contenuto di umidità compreso tra il 22 e il 25%, a fronte tuttavia di un'elevata generazione di acque di vegetazione e di un significativo consumo idrico dovuto ai processi di separazione per decantazione o centrifuga. A differenza del sistema discontinuo il sistema continuo trifasico impiega un decanter centrifugo per separare le tre fasi (solidi insolubili, olio e

acqua) in base ai differenti gradienti di densità, richiedendo l'aggiunta di idonei volumi di acqua di processo per chiarificare il prodotto finale (Baccioni & Peri, 2014). Tale sistema produce sanse con un'umidità media tra il 40 e il 54 % e richiede l'aggiunta di acqua di processo per chiarificare l'olio, comportando una produzione ingente di acque reflue. Al contrario, il sistema continuo bifasico separa il flusso in due sole componenti e consente di ridurre drasticamente i consumi idrici ed energetici, generando una sansa molto umida o paté, con un tasso di umidità oscillante tra il 50 e il 70 %, e riducendo la generazione di acque reflue alle sole operazioni di lavaggio delle drupe, configurandosi come l'opzione tecnologica a minore impatto (Silvestri et al., 2021). Sotto il profilo degli scarti generati, le acque reflue di vegetazione (OMWW), derivanti dai tessuti delle olive e dalle acque di lavorazione, sono caratterizzate da un pH acido, da una colorazione scura e da un elevato carico organico composto da polifenoli, acidi grassi e sostanze proteiche, che conferiscono al refluo una marcata restrittività alla biodegradazione (Ochando-Pulido & Martínez-Férez, 2017). La loro composizione chimico-fisica, molto variabile in funzione di fattori agronomici ed estrattivi (Lozada et al., 2022), rappresenta una minaccia per i corpi idrici recettori: lo sversamento incontrollato provoca la diminuzione dell'ossigeno disciolto e innesca fenomeni di eutrofizzazione per via dell'elevato contenuto di fosforo (Salomone et al., 2015). I possibili contaminanti presenti nelle acque reflue di frantoio (composti fenolici, acidi grassi, tannini ecc.) sono in parte fitotossici e solo parzialmente

biodegradabili, rendendole uno degli effluenti più inquinanti dell'intero sistema di produzione agroalimentare (Souilem et al., 2017). Sul fronte dei sottoprodotti solidi, la sansa d'oliva rappresenta il 35-40% della massa lavorata (Chanioti & Tzia, 2018). Composta da bucce, polpa e noccioli frantumati, la sansa presenta sfide gestionali differenti a seconda del grado di umidità, rendendo indispensabili idonee strategie di movimentazione, stoccaggio e prosciugamento termico prima di qualsiasi ipotesi di reimpiego.

Affinché le matrici residue descritte possano rientrare nei circuiti dell'economia circolare ed evitare la qualifica legale di rifiuto speciale e i relativi oneri gestionali, esse devono soddisfare specifici requisiti legislativi. In Italia, l'articolo 184-bis del Decreto Legislativo 152/2006 stabilisce che una sostanza può essere classificata come sottoprodotto se deriva direttamente da un processo di produzione di cui costituisce parte integrante, se il suo riutilizzo all'interno dello stesso o di un successivo ciclo produttivo appare certo e se tale impiego può avvenire direttamente, senza subire trattamenti diversi dalla normale pratica industriale (Marcolin, 2024). Il mancato rispetto di anche una sola delle condizioni sopra citate impone la gestione obbligatoria del residuo secondo la disciplina vincolante dei rifiuti. Laddove tali condizioni siano soddisfatte, la filiera olearia può convertire i residui di lavorazione in una vasta gamma di risorse ad alto valore aggiunto, distribuite su differenti settori industriali. Nel comparto manifatturiero e delle costruzioni, i sottoprodotti solidi trovano impiego negli impasti per la produzione

di laterizi e materiali ceramici, nei quali la sansa migliora le proprietà di isolamento termico grazie alla porosità indotta durante la fase di cottura (López-García et al., 2021). Allo stesso modo, i noccioli frantumati e recuperati dopo l'estrazione, noti come nocciolino, vengono impiegati come carica rinforzante all'interno di matrici polimeriche riciclate per l'ottenimento di materiali biocompositi avanzati (Pardalis et al., 2024). Infine, le acque di vegetazione, grazie all'elevato contenuto di biofenoli dalle spiccate proprietà antiossidanti, si prospettano come una fonte altamente promettente di estratti ad alta purezza per l'ambito medico, cosmetico e farmaceutico. Pur essendo state considerate a lungo un mero scarto a causa del loro carico organico e della naturale acidità, il loro elevato contenuto idrico e la presenza di macroelementi come potassio, azoto e fosforo consentono di trasformarle in una risorsa preziosa per la nutrizione dei suoli agricoli sottoposti a rischio di degradazione. Tuttavia, affinché il riutilizzo in campo si traduca in una prassi virtuosa, occorre valutare la reale ricettività dei terreni e la fattibilità logistica dello spandimento, avvalendosi di strumenti di analisi territoriale e di cartografia digitale per individuare le aree idonee e prevenire fenomeni di inquinamento. La valutazione preliminare per lo spandimento agronomico richiede un percorso di analisi spaziale volto innanzitutto a perimetrare ed escludere le zone sensibili, quali i centri abitati, le fasce di rispetto dei corsi d'acqua e le aree naturali protette. Successivamente, attraverso l'analisi pedologica e topografica, vengono esaminati parametri fondamentali quali l'acclività dei terreni, la permeabilità del suolo e la

sua struttura, al fine di evitare che il refluo scivoli in superficie per ruscellamento o liscivii troppo rapidamente verso le falde acquifere sotterranee. Accanto alle valutazioni ambientali, l'effettiva circolarità del processo dipende dalla sostenibilità economica per le aziende agricole, la cui variabile critica è rappresentata dalla distanza logistica. La movimentazione di ingenti masse liquide richiede l'impiego di mezzi di trasporto, con conseguenti costi legati al carburante e ai tempi operativi. Il confronto tra i costi del trasporto verso gli appezzamenti e le tariffe di conferimento presso impianti esterni determina la distanza di pareggio (break-even distance), ovvero il raggio d'azione entro il quale lo spandimento risulta economicamente conveniente. Solo all'interno di questa fascia è possibile calcolare la reale disponibilità di Superficie Agricola Utilizzabile (SAU) idonea ad accogliere i flussi prodotti, superando la logica del puro smaltimento a favore di un modello di filiera corta capace di nutrire il terreno, ridurre l'acquisto di concimi chimici di sintesi e rafforzare la resilienza dell'agroecosistema.

In chiave di sostenibilità agronomica ed energetica, la valorizzazione dei residui consente di chiudere i cicli produttivi locali. Da un lato, le sanse esauste e le biomasse lignocellulosica rappresentano ottimi combustibili solidi per l'autoconsumo termico nei frantoi o per l'alimentazione di impianti di digestione anaerobica finalizzati alla produzione di biogas e biometano. Dall'altro, la frazione organica opportunamente trattata tramite compostaggio o spandimento agronomico controllato consente di restituire al terreno elementi nutritivi essenziali come azoto,

fosforo e potassio, incrementando il tenore di sostanza organica e contrastando l'impoverimento chimico dei suoli.

4.1 CONSORZIO AGRICOLO: UNA NECESSITÀ PER LO SLANCIO

Nel complesso, la letteratura conferma la piena fattibilità tecnologica ed economica di modelli aziendali circolari nella filiera olivicolo-olearia. Tuttavia, se da un lato la letteratura evidenzia le elevate potenzialità di riutilizzo e valorizzazione di questi sottoprodotti, dall'altro la reale fattibilità di questo modello circolare si scontra con importanti vincoli di natura economico-logistica, particolarmente evidenti nel contesto olivicolo della Sicilia.

Il comparto oleario delle aree interne della Sicilia, specialmente nelle province di Enna, Caltanissetta e nelle zone collinari di Agrigento e Palermo, si caratterizza per la netta prevalenza di frantoi di piccole e medie dimensioni a conduzione familiare, associata a una marcata frammentazione fondiaria (Muscio et al., 2022). Tale assetto rende economicamente insostenibile, per la singola azienda, l'acquisto di impianti tecnologici complessi destinati all'estrazione dei principi attivi o al prosciugamento delle sanse. A questi limiti strutturali si aggiunge la forte concentrazione temporale della campagna olearia, che nell'arco di pochi mesi converte ingenti volumi di materia prima generando masse elevate di sansa umida e di acque reflue. La gestione di tali volumi richiede una logistica rapida di stoccaggio e lavorazione per evitare l'insorgere di processi fermentativi degradativi

prima del successivo trattamento. Per superare tali criticità e consentire il reale inserimento dei sottoprodotti nei circuiti economici regionali, si evidenzia la necessità di promuovere modelli associativi e consorziali. La creazione di reti d'impresa o consorzi territoriali tra frantoiani, agricoltori e allevatori consente infatti di centralizzare i volumi prodotti in strutture condivise, raggiungendo le economie di scala indispensabili per giustificare gli investimenti in impianti industriali di essiccamento, pellettatura o estrazione dei bioattivi. La gestione aggregata permette inoltre di abbattere i costi di transazione e di accedere agevolmente a linee di finanziamento pubbliche e comunitarie altrimenti precluse al singolo piccolo agricoltore (Mirabella et al., 2014). Infine, l'integrazione di fonti termiche alternative, come l'energia solare termica o il recupero di calore dai digestati e dalla combustione del nocciolino, permette di abbattere i costi energetici legati al prosciugamento dei residui. In questo modo, la trasformazione dei sottoprodotti da potenziali scarti a risorse per l'agricoltura e la zootecnia locale rappresenta un'opportunità concreta per incrementare la sostenibilità economica e la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici delle aziende agricole siciliane. Parallelamente alla valorizzazione dei sottoprodotti, l'assetto consorziale offre vantaggi decisivi nella gestione e commercializzazione dell'olio d'oliva primario, storicamente penalizzato dalla vendita sfusa e dalla forte dipendenza da intermediari commerciali che comprimono i margini all'origine (Contini et al., 2020). Attraverso il consorzio, i piccoli produttori possono unificare le fasi di

imbottigliamento, stoccaggio e packaging, garantendo standard qualitativi elevati e costanti nel tempo. La costituzione di marchi d'area e l'adesione a certificazioni di origine (DOP, IGP e biologico) permettono di superare le barriere d'accesso ai mercati nazionali e internazionali ad alto valore aggiunto (Bernabéu et al., 2018). Questo posizionamento premium valorizza le peculiarità organolettiche e l'alto contenuto polifenolico delle cultivar autoctone siciliane (quali Nocellara del Belice, Biancolilla e Cerasuola), intercettando la domanda di prodotti alimentari salutistici e garantendo prezzi di vendita altamente remunerativi (Ciliberti et al., 2019). L'integrazione tra l'abbattimento dei costi di gestione dei residui, la generazione di nuovi ricavi da risorse riciclate e la commercializzazione congiunta dell'olio ad alta qualità trasforma la struttura consorziale in un indispensabile volano economico per la tenuta del tessuto sociale, il contrasto allo spopolamento rurale e il rafforzamento della resilienza climatica dell'entroterra siciliano (Agnoletti, 2014; Donner et al., 2020).

4.2 IL CASO DEI CONSORZIO DEI MONTI IBLEI

Il Consorzio di tutela dell'olio extravergine di oliva DOP Monti Iblei può essere considerato come un caso di successo, soprattutto sotto il profilo istituzionale, qualitativo e territoriale, ma non per la redditività economica o dell'efficacia di un modello circolare a basso impatto ambientale. Esso rappresenta un'esperienza significativa di aggregazione della filiera olivicolo-olearia siciliana nelle province

di Ragusa, Siracusa e Catania. Il Consorzio riunisce oltre 260 imprese e integra le diverse componenti della filiera, comprendendo olivicoltori, frantoiani, confezionatori e intermediari. Le sue funzioni riguardano la tutela della denominazione, la verifica del rispetto del disciplinare, la promozione del prodotto e del territorio e il sostegno alla commercializzazione sui mercati nazionali e internazionali. La DOP valorizza principalmente le cultivar Tonda Iblea, Moresca e Nocellara Etnea e comprende otto menzioni geografiche, attraverso le quali le caratteristiche degli oli vengono associate ai rispettivi ambienti di produzione. In tal modo, la biodiversità varietale e la differenziazione territoriale diventano strumenti di riconoscibilità commerciale e di sottrazione del prodotto alla competizione basata esclusivamente sul prezzo (Consorzio Monti Iblei). I dati disponibili mostrano alcuni segnali positivi. Tra le campagne 2018/2019 e 2020/2021 la quantità certificata è passata da circa 226,6 a 298,9 tonnellate, con un incremento prossimo al 32%. Il Consorzio ha inoltre dichiarato la presenza stabile del prodotto nei mercati statunitense e giapponese, oltre che in quelli europei, e una crescente associazione dell'olio DOP con la ristorazione di qualità e il turismo enogastronomico. La struttura consortile favorisce anche l'ammodernamento dei frantoi, il rispetto di standard comuni e la partecipazione a iniziative promozionali che sarebbero difficilmente accessibili alle singole aziende di piccole dimensioni (Fondazione Qualivita). La capacità di fare rete è confermata, più recentemente, dall'ingresso del Consorzio nel consiglio direttivo del Distretto del Cibo, una realtà

che coinvolge oltre 7.650 imprese e numerose filiere agroalimentari siciliane, con obiettivi di innovazione, sostenibilità ed esportazione (Distretto del Cibo). Il caso presenta tuttavia limiti rilevanti. La quantità di olio certificato rimane contenuta rispetto all'estensione dell'areale e al potenziale produttivo regionale. Lo stesso Consorzio riconosce tra i principali fattori limitanti la ridotta dimensione media delle aziende e la difficoltà di aumentare la superficie olivicola certificata. Inoltre, non risultano pubblicamente disponibili serie recenti e complete relative al fatturato, al differenziale di prezzo riconosciuto agli olivicoltori, ai costi sostenuti dalle imprese aderenti o alla quota della produzione complessiva commercializzata come DOP. Le annate caratterizzate da alte temperature e ridotta produzione hanno mostrato come la qualità elevata non sia sufficiente, da sola, a garantire stabilità quantitativa ed economica (Fondazione Qualivita).

La valutazione complessiva del Consorzio Monti Iblei può essere così riassunta:

Dimensione	**Valutazione**
Tutela della qualità e della denominazione	Successo consolidato
Aggregazione degli operatori della filiera	Successo significativo
Valorizzazione delle cultivar autoctone	Successo consolidato
Promozione ed esportazione	Risultato positivo, poco quantificato
Incremento della produzione certificata	Positivo nei dati 2018–2021

Redditività per i produttori	Non sufficientemente documentata
Adattamento al cambiamento climatico	Ancora da dimostrare
Valorizzazione circolare dei sottoprodotti	Non documentata attività strutturale

Il Consorzio dimostra concretamente che l'aggregazione può tutelare la qualità, valorizzare le cultivar locali, rafforzare il legame con il territorio e favorire l'accesso ai mercati. Non dimostra invece, sulla base dei dati disponibili, che il consorzio abbia già risolto i problemi della redditività, dell'adattamento climatico e della gestione circolare di sanse, acque di vegetazione e residui di potatura.

Questo modello potrebbe essere assunto come riferimento organizzativo anche per la provincia di Enna, integrandolo però con una piattaforma comune per la raccolta e il trattamento dei sottoprodotti; servizi condivisi di assistenza agronomica e irrigazione di precisione e di formazione di tutti gli operatori; un sistema di monitoraggio climatico e produttivo; la valorizzazione di cultivar locali come la Nerba; indicatori economici verificabili relativi a prezzo, costi e reddito dei soci.

Il caso Monti Iblei sostiene bene la tesi secondo cui il consorzio rappresenta uno strumento necessario, ma deve essere completato da innovazione agronomica, logistica ed economia circolare con formazione degli operatori per diventare un autentico modello di resilienza dell'olivicoltura dell'entroterra siciliano.

CONCLUSIONI

L'analisi condotta restituisce un quadro duplice del comparto olivicolo-oleario siciliano. Da un lato emerge un patrimonio varietale, paesaggistico e culturale di valore, testimoniato dalla ricchezza di oltre venticinque cultivar autoctone siciliane di cui almeno una tipica di Enna e dal riconoscimento di sei Denominazioni di Origine Protetta e di una Indicazione Geografica Protetta regionali. Dall'altro lato si delinea una filiera strutturalmente fragile, segnata da un'elevata frammentazione fondiaria, dall'invecchiamento della base produttiva, da un ritardo diffuso nell'adozione di innovazioni tecnologiche e da una rete di frantoi numerosa ma sottodimensionata rispetto ai volumi effettivamente lavorati. Questa dicotomia, lungi dall'essere una specificità isolana, riproduce su scala regionale le criticità dell'intero comparto olivicolo nazionale, che, pur occupando una posizione di primo piano nel panorama produttivo mondiale, fatica a tradurre il proprio potenziale qualitativo in un corrispondente valore economico riconosciuto lungo tutta la filiera.

A tali criticità strutturali si aggiunge la pressione crescente esercitata dal cambiamento climatico, che nell'entroterra siciliano, e in particolare nelle province di Enna e Caltanissetta, assume connotati di particolare gravità. L'analisi delle serie storiche presentata nel secondo capitolo ha mostrato come l'aumento delle temperature medie, l'allungamento dei periodi di aridità e la concentrazione delle precipitazioni in eventi estremi stiano progressivamente alterando gli equilibri

fisiologici e produttivi dell'olivo, in un contesto già classificato tra le aree a maggiore sensibilità alla desertificazione dell'intera regione. In questo scenario l'olivicoltura non rappresenta soltanto un settore produttivo da tutelare, ma una vera e propria infrastruttura ecologica, capace di contrastare l'erosione, favorire il sequestro di carbonio e preservare la stabilità idrogeologica dei territori collinari e montani. Un ruolo di snodo, in questo equilibrio fra dimensione agronomica e dimensione economica, è svolto dalla fase di trasformazione. Come evidenziato nel terzo capitolo, il frantoio non crea la qualità dell'olio ma si limita a preservarla: ne consegue che la rete molitoria rappresenta il punto nel quale il valore generato in campo può essere consolidato oppure irrimediabilmente disperso. I dati relativi alla campagna olearia 2024/2025 restituiscono, per le province di Enna e Caltanissetta, un quadro di accentuata frammentazione. È proprio in questa duplice natura, di presidio qualitativo e al tempo stesso di collo di bottiglia strutturale, che risiede la ragione per cui l'ammodernamento dei frantoi e il loro coordinamento in forma associata costituiscono una priorità non più rinviabile per l'olivicoltura del centro Sicilia.

La sostenibilità dell'olivicoltura non può essere ricondotta alla sola dimensione ambientale: è determinante anche la componente economica che risulta spesso trascurata, ma è al contempo quella dalla quale dipende, in ultima istanza, la stessa possibilità di applicare pratiche agronomiche sostenibili. Senza una redditività adeguata, infatti, gli olivicoltori siciliani, e in particolare quelli delle aree interne,

non hanno le risorse né l'incentivo economico per investire in gestione conservativa del suolo, irrigazione di precisione, difesa fitosanitaria integrata o ammodernamento degli impianti: l'abbandono degli oliveti marginali, più volte richiamato nel corso dell'elaborato, non è quindi soltanto una perdita paesaggistica e culturale, ma prima di ogni cosa un fallimento economico, la cui radice risiede nella incapacità del sistema di remunerare adeguatamente il lavoro agricolo.

In questa prospettiva, le soluzioni individuate nel quarto capitolo, la valorizzazione dei sottoprodotti della filiera in chiave di economia circolare e la costituzione di consorzi e reti d'impresa tra frantoiani, agricoltori e allevatori, assumono un significato che va ben oltre la mera efficienza ambientale. La trasformazione di sanse, acque di vegetazione, foglie e legno di potatura da scarto a risorsa consente infatti di generare nuovi ricavi, ridurre i costi di gestione dei residui e i consumi energetici, e restituire al suolo sostanza organica preziosa in un contesto pedoclimatico già fortemente indebolito. Allo stesso tempo, l'aggregazione consortile permette di superare i limiti dimensionali della piccola azienda familiare, raggiungendo le economie di scala necessarie per investire in impianti tecnologici altrimenti insostenibili, unificare le fasi di imbottigliamento e commercializzazione, e accedere in modo più efficace ai regimi di certificazione DOP, IGP e biologico. Solo attraverso questa integrazione tra sostenibilità ambientale e sostenibilità economica è possibile spezzare il circolo vizioso che lega bassa redditività, mancati investimenti e progressivo abbandono degli oliveti.

In questo quadro merita di essere richiamato il ruolo strategico che il germoplasma autoctono può assumere all'interno delle strategie di differenziazione. Le cultivar minori e neglette dell'entroterra, e in particolare la "Nerba", diffusa nelle province di Enna e Caltanissetta, non rappresentano soltanto un patrimonio da conservare sul piano della biodiversità, ma un potenziale elemento distintivo sul quale costruire un posizionamento di mercato difficilmente replicabile altrove. La loro valorizzazione, attraverso la produzione di monovarietali o di blend fortemente legati al territorio e all'azienda produttrice, l'adesione ai regimi di qualità comunitari e una narrazione territoriale coerente, consentirebbe di sottrarre l'olio delle aree interne alla competizione di prezzo che caratterizza il prodotto sfuso, restituendo all'olivicoltore quella remunerazione che, come si è visto, costituisce il presupposto di ogni pratica agronomica sostenibile.

Ai punti di forza legati alla vocazionalità ambientale, alla ricchezza varietale e alla qualità media elevata degli oli siciliani si contrappongono debolezze strutturali persistenti, quali l'elevata polverizzazione aziendale, lo scarso ricambio generazionale e la debole propensione all'associazionismo, che solo un'azione coordinata tra imprese, organizzazioni di produttori e politiche pubbliche può realmente superare, anche attraverso azioni di formazione di tutti gli operatori del settore. Gli strumenti previsti dall'attuale Politica Agricola Comune, in particolare gli Aiuti Settoriali destinati al comparto olivicolo-oleario e il sostegno ai programmi operativi delle Organizzazioni di Produttori, offrono in tal senso una leva concreta

per accompagnare questo processo di riorganizzazione, a condizione che vengano effettivamente colti dalle imprese del territorio.

Occorre infine riconoscere i limiti del presente elaborato, che propone una lettura necessariamente d'insieme di un comparto assai articolato. L'analisi climatica si fonda su serie storiche regionali e provinciali che, per quanto significative, non colgono la variabilità microclimatica dei singoli areali olivicoli; i dati relativi alla rete molitoria derivano da dichiarazioni di molitura aggregate su base provinciale e non consentono di ricostruire la distribuzione puntuale né la reale capacità di lavorazione dei singoli impianti; le ipotesi di valorizzazione dei sottoprodotti, infine, si appoggiano su esperienze ampiamente documentate in letteratura, ma non su una verifica sperimentale condotta nello specifico contesto ennese e nisseno. Proprio da tali limiti discendono le principali direzioni di approfondimento che questo lavoro suggerisce: una mappatura georeferenziata dei frantoi dell'entroterra, corredata dalla stima delle capacità di lavorazione e dei relativi bacini di conferimento; prove di campo pluriennali sulle tecniche di gestione conservativa del suolo applicate agli oliveti collinari della Sicilia centrale; e uno studio di fattibilità tecnico-economica per un impianto consortile di trattamento e valorizzazione delle sanse e delle acque di vegetazione, dimensionato sui volumi effettivamente disponibili sul territorio.

In conclusione, garantire un futuro all'olivicoltura del centro Sicilia significa riconoscere che sostenibilità ambientale e sostenibilità economica non sono

obiettivi alternativi, ma facce della stessa medaglia: solo un settore capace di remunerare adeguatamente chi lo lavora potrà continuare a svolgere la funzione di presidio ambientale, paesaggistico e sociale che questo elaborato ha inteso mettere in luce, trasformando la gestione sostenibile dell'oliveto da auspicio teorico a reale motore di sviluppo per l'entroterra siciliano.

BIBLIOGRAFIA

ABAZA L., TAAMALLI A., NSIR H., & ZARROUK M., *Olive tree (Olea europaea L.) leaves: Importance and advances in the analysis of phenolic compounds*, Antioxidants, 2015.

ABBATE S., CENTOBELLI P., & DI GREGORIO M., *Wine waste valorisation: Crushing the research domain*, Review of Managerial Science, 2024.

ACCADEMIA NAZIONALE DELL'OLIVO E DELL'OLIO, *Collana di opuscoli divulgativi su olivo e olio*, https://www.accademiaolivoeolio.com/, 2023.

AGNOLETTI M., *Rural landscape, nature conservation and culture: Some notes on research trends and management approaches from a (southern) European perspective*, Land Use Policy, 2014.

AGRIMONTI C., VIETINA M., PAFUNDO S., & MARMIROLI N., *The use of food genomics to ensure the traceability of olive oil*, Trends in Food Science & Technology, 2011.

AIAB & FIBL, *I fondamenti della fertilità del terreno*, Associazione Italiana per l'Agricoltura Biologica (AIAB) e Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), https://www.aiab.fvg.it/wp-content/uploads/2019/02/fertilita_del_terreno.pdf, 2018.

BACCIONI L., & PERI C., *Olive oil extraction technology* (in C. Peri, a cura di, The Extra-Virgin Olive Oil Handbook), John Wiley & Sons, 2014.

BARONE E., LA MANTIA M., MARCHESE A., & MARRA F. P., *Improvement in yield and fruit size and quality of the main Italian table olive cultivar 'Nocellara del Belice'*, Scientia Agricola, 2014.

BERNABÉU R., RABADÁN A., & EL-KHOLANY M., *Perception and consumption of protected designation of origin (PDO) olive oil: An international comparative study*, British Food Journal, 2018.

BOTTARI V., & SPINA P., *Le varietà di olivo coltivate in Sicilia*, Annali della Sperimentazione Agraria, 1952.

BRUNORI A., DINI F., CANTINI C., SALA G., LA MANTIA T., CARUSO T., MARRA F. P., TROTTA C., NASINI L., REGNI L., & PROIETTI P., *Biomass and volume modeling in Olea europaea L. cv Leccino*, Trees, 2017.

CARUSO T., CARTABELLOTTA D., MOTISI A., CAMPISI G., OCCORSO G., BIVONA G., & MARRA F. P., *Cultivar di olivo siciliane: Identificazione, validazione, caratterizzazione morfologica e molecolare e qualità degli oli. Contiene manuale per la caratterizzazione primaria di cultivar di olivo siciliane* (1a ed.), Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, 2007.

CARUSO T., MARRA F. P., COSTA F., CAMPISI G., MACALUSO L., & MARCHESE A., *Genetic diversity and clonal variation within the main Sicilian olive cultivars based on morphological traits and microsatellite markers*, Scientia Horticulturae, 2014.

CASTRO R., LANUCARA S., PICCIONE V., PIOGGIA G., MODICA G., & RAGUSA M. A., *MEDALUS model evolutions and prospects: A case study in Sicily*, Environmental Sciences Proceedings, 2023.

CENTRO METEOROLOGICO SICILIANO, *WeatherSicily: archivio delle serie storiche climatiche della Sicilia (1940–2024)*, Centro Meteorologico Siciliano, 2025.

CHANIOTI S., & TZIA C., *Extraction of phenolic compounds from olive pomace by using natural deep eutectic solvents and innovative extraction techniques*, Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018.

CHARATSARI C., LIOUTAS E. D., DE ROSA M., & VECCHIO Y., *Technological innovation and agrifood systems resilience: The potential and perils*

of three different strategies, Frontiers in Sustainable Food Systems, 6, Article 872706, 2022.

CHIARALUCE G., BENTIVOGLIO D., & FINCO A., *The circular economy model in the agri-food sector: A new strategy for the regional development*, AIMS Agriculture and Food, 2023.

CILIBERTI S., CARRARESI L., & BRÖRING S., *Drivers of innovation in the olive oil sector: The role of quality certification and producer organizations*, Agribusiness, 2019.

CIMATO A., FRANCHINI E., & ATTILIO C., *Esigenze nutrizionali dell'olivo e fertilizzazione dell'oliveto*, CNR-IVALSA & ARSIA Regione Toscana, 2004.

COMMISSIONE EUROPEA, *Rapporto COI 2025: Olio di oliva - Agricoltura e sviluppo rurale*, Commissione Europea - Direzione Generale Agricoltura, 2025.

CONTINI C., ROMANO C., & MARONE E., *Collective action and value creation in traditional agricultural sectors: The case of olive oil cooperatives*, Agricultural and Food Economics, 8(1), Article 19, 2020.

CREA, *Carta degli Oli Extravergini della Sicilia*, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA-PB), https://oleario.crea.gov.it/carta-degli-oli/, 2023.

DE SIMONE M., *Indagine sulla diversità intra-varietale nelle principali cultivar di olivo (Olea europaea L.) siciliane* (Tesi di dottorato, Università degli Studi di Palermo), Archivio istituzionale della ricerca IRIS UniPA, 2013.

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 - Norme in materia ambientale (art. 184-bis, sottoprodotti), Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 88 del 14 aprile 2006, Supplemento Ordinario n. 96, 2006.

MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI (MIPAF), *Decreto Ministeriale 6 luglio 2005 - Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e degli scarichi dei frantoi oleari*, Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (MiPAF), 2005.

DONNER M., GOHIER R., & DE VRIES H., *A framework for categorization of circular business models in agriculture and agro-food supply chains*, Journal of Cleaner Production, 255, Article 120252, 2020.

DORAN J. W., & ZEISS M. R., *Sustainable agriculture and soil health*, Applied Soil Ecology, 15(1), 3–11, 2000.

EDAGRICOLE, *Tecniche colturali per la gestione sostenibile e di qualità dell'oliveto*, Rivista Olivo e Olio, https://olivoeolio.edagricole.it/oliveto-e-frantoio/, 2025.

ENDESHAW S. T., LODOLINI E. M., & NERI D., *Effects of olive shoot residues on shoot and root growth of potted olive plantlets*, Scientia Horticulturae, 182, 31–40, 2015.

ENDESHAW S. T., LODOLINI E. M., & NERI D., *Effects of untreated two-phase olive mill pomace on potted olive plantlets*, Annals of Applied Biology, 166(3), 508–519, 2015.

EVOLIO EXPO, *Olivicoltura pugliese leader in Italia: I dati record di Evolio Expo 2026*, Evolio Expo, 2026.

FALCONE G., STILLITANO T., IOFRIDA N., SPADA E., BERNARDI B., GULISANO G., & DE LUCA A. I., *Life cycle and circularity metrics to measure the sustainability of closed-loop agri-food pathways*, Frontiers in Sustainable Food Systems, 6, Article 1014228, 2022.

FAMIANI F., FARINELLI D., GARDI T., ROSATI A., SILVESTRONI O., & GUELFI P., *The effects of harvest time and harvesting systems on olive fruit damage and virgin olive oil quality*, Scientia Horticulturae, 263, Article 109045, 2020.

FILO DELLA TORRE R., *Italia delle DOP: L'ulivo e l'olio*, Edagricole, 2009.

FIORINO P., & LOMBARDO N., *Germoplasma, materiale vivaistico e certificazione* (in Atti del Convegno Internazionale di Olivicoltura, pp. 82–90, Spoleto), Atti del Convegno Internazionale di Olivicoltura, 2002.

FORESTIERI A., ARNONE E., BLENKINSOP S., CANDELA A., FOWLER H., & NOTO L. V., *The impact of climate change on extreme precipitation in Sicily, Italy*, Hydrological Sciences Journal, 63(8), 1150–1166, 2018.

FRANCHINI E., CIMATO A., & COSTANTINI E. A. C., *Olivo* (in E. A. C. Costantini, a cura di, Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, pp. 922–935), Cantagalli, 2006.

GHISELLINI P., CIALANI C., & ULGIATI S., *A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems*, Journal of Cleaner Production, 114, 11–32, 2016.

GIORDANO L., GIORDANO F., GRAUSO S., IANNETTA M., SCIORTINO M., ROSSI L., & BONATI G., *Identification of areas sensitive to desertification in Sicily region*, ENEA & INEA, 2003.

GIORGI V., NERI D., LODOLINI E. M., & SAVINI G., *Olea europaea L. root growth in soil patches with olive husks and hay residues*, International Journal of Fruit Science, 7(4), 19–32, 2008.

GÓMEZ J. A., ROMERO P., GIRÁLDEZ J. V., & FERERES E., *Experimental assessment of runoff and soil erosion in an olive grove on a Vertic soil in southern Spain as affected by soil management*, Soil Use and Management, 20(4), 426–431, 2004.

GUCCI R., *Irrificazione nell'oliveto sostenibile* (Vol. IX), Accademia Nazionale dell'Olivo e dell'Olio, Collana divulgativa dell'Accademia (MiPAAF), 2012.

GUCCI R., ADAMO P., BALDONI L., BENALIA S., BERNARDI B., FALSONE G., GERMINARA G., PETACCHI R., PRIORI S., PROIETTI P., REGNI L., SCHENA L., SERVILI M., VIGNOZZI N., & ZIMBALATTI G., *Intensificazione sostenibile per la filiera olivicolo-olearia: Approfondimenti sulle filiere di interesse per l'ambiente mediterraneo*, I Quaderni di AISSA, 1, 12–27, 2023.

GUCCI R., CARUSO G., BERTOLLA C., URBANI S., TATICCHI A., ESPOSTO S., SERVILI M., SIFOLA M. I., PELLEGRINI S., PAGLIAI M., & VIGNOZZI N., *Changes in soil properties and tree performance induced by soil management in a high-density olive orchard*, European Journal of Agronomy, 41, 18–27, 2012.

GUCCI R., CARUSO T., & LODOLINI E. M., *Gestione dell'irrigazione e relazioni idriche nell'oliveto sostenibile*, Italus Hortus, 19(2), 15–28, 2012.

IANNOTTA N., LOCONSOLE G., NOCE M. E., SAPONARI M., SAVINO V. N., VIZZARRI V., & ZAFFINA F., *Principali patogeni e difesa dell'oliveto* (Vol.

XIII), Accademia Nazionale dell'Olivo e dell'Olio, Collana divulgativa dell'Accademia (MiPAAF), 2012.

IL SOLE 24 ORE, *Vendemmia anticipata e gradazioni alcoliche in crescita: gli effetti del caldo sulla viticoltura del Sud*, Il Sole 24 Ore, 2024.

INTERNATIONAL OLIVE COUNCIL (IOC), *Olive Sector Statistics – November 2025*, IOC Market Newsletter, https://www.internationaloliveoil.org/, 2025.

IRVO, *Il settore olivicolo-oleario in Sicilia*, Istituto Regionale del Vino e dell'Olio - Regione Siciliana, 2024.

IRVO, *Il settore olivicolo-oleario regionale in sintesi* (Edizione 2025), Istituto Regionale del Vino e dell'Olio - Regione Siciliana, https://www.irvos.it/wp-content/uploads/2025/10/Olio-sintetico.pdf, 2025.

ISMEA, *Rapporto ISMEA Settembre 2024: I numeri dell'olio di oliva alla vigilia della nuova campagna*, Ismea Mercati, 2024.

ISMEA, *Olio d'oliva: Analisi e studio della filiera olivicola*, Ismea Mercati, https://www.ismeamercati.it/, 2024.

LA MANTIA M., LAIN T., CARUSO T., & TESTOLIN R., *SSR-based DNA fingerprints reveal the genetic diversity of Sicilian olive (Olea europaea L.) germplasm*, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2005.

LA SCALIA G., MICALE R., CANNIZZARO L., & MARRA F. P., *A sustainable phenolic compound extraction system from olive oil mill wastewater*, Journal of Cleaner Production, 2017.

LIUZZO L., BONO E., SAMMARTANO V., & FRENI G., *Spatial and temporal rainfall trend analysis in Sicily (1921–2012)*, Theoretical and Applied Climatology, 2016.

LO VERDE G., CALECA V., TSOLAKIS H., SALA G., & TORTA L., *Il controllo dei parassiti in olivicoltura* (in P. Proietti & L. Regni, a cura di, Manuale per la gestione sostenibile degli oliveti, pp. 85–110), Progetto LIFE OLIVE4CLIMATE, 2019.

LODOLINI E. M., POLVERIGIANI S., ALI S., MUTAWEA M., QUTUB M., PIERINI F., & NERI D., *Effect of complementary irrigation on yield components*

and alternate bearing of a traditional olive orchard in semi-arid conditions, Spanish Journal of Agricultural Research, 14(2), Article e1102, 2016.

LODOLINI E. M., POLVERIGIANI S., CIOCCOLANTI T., SANTINELLI A., & NERI D., *Preliminary results about the influence of pruning time and intensity on the vegetative growth and fruit yield of a semi-intensive olive orchard*, Journal of Agricultural Science and Technology, 21(4), 969–980, 2019.

LOISE V., ABE A. A., PORTO M., MUZZALUPO I., MADEO L., COLELLA M. F., ROSSI C. O., & CAPUTO P., *Plant waste-based bioadditive as an antioxidant agent and rheological modifier of bitumen*, Materials, 17(10), Article 2303, 2024.

LÓPEZ-GARCÍA A. B., COTES-PALOMINO T., UCEDA-RODRÍGUEZ M., MORENO-MAROTO J. M., COBO-CEACERO C. J., ANDREOLA N. M. F., & MARTÍNEZ-GARCÍA C., *Application of life cycle assessment in the environmental study of sustainable ceramic bricks made with 'alperujo' (olive pomace)*, Applied Sciences, 11(5), Article 2278, 2021.

LORETI F., *La gestione del suolo nell'oliveto* (Vol. VIII), Accademia Nazionale dell'Olivo e dell'Olio, Collana divulgativa dell'Accademia (MiPAAF), 2012.

LOZADA G. S. L., LÓPEZ A. I. G., MARTÍNEZ-FÉREZ A., & OCHANDO-PULIDO J. M., *On the modeling and optimization of two-phase olive-oil washing wastewater treatment and polyphenols recovery by ceramic tubular microfiltration membranes*, Journal of Environmental Management, 316, Article 115227, 2022.

MADEJÓN E., MURILLO J. M., MORENO F., LÓPEZ M. V., ARRÚE J. L., ÁLVARO-FUENTES J., & CANTERO C., *Effect of long-term conservation tillage on soil biochemical properties in Mediterranean Spanish areas*, Soil and Tillage Research, 2009.

MARCHESE A., BONANNO F., MARRA F. P., TRIPPA D. A., ZELASCO S., RIZZO S., GIOVINO A., IMPERIALE V., IOPPOLO A., SALA G., GRANATA I., & CARUSO T., *Recovery and genotyping ancient Sicilian monumental olive trees*, Frontiers in Conservation Science, 4, Article 1206832, 2023.

MARCOLIN R., *Economia circolare e innovazione nel settore agroalimentare: Un'analisi qualitativa delle strategie aziendali per la valorizzazione degli scarti di produzione* (Tesi di laurea, Università Ca' Foscari Venezia), Archivio Tesi Ca' Foscari, 2024.

MARINO G., MACALUSO L., MARRA F. P., FERGUSON L., MARCHESE A., CAMPISI G., & CARUSO T., *Horticultural performance of 23 Sicilian olive genotypes in hedgerow systems: Vegetative growth, productive potential and oil quality*, Scientia Horticulturae, 2017.

MARRA F. P., CARUSO T., COSTA F., DI VAIO C., MAFRICA R., & MARCHESE A., *Genetic relationships, structure and parentage simulation among the olive tree (Olea europaea L. subsp. europaea) cultivated in southern Italy revealed by SSR markers*, Tree Genetics & Genomes, 9(4), 961–973, 2013.

MARRA F. P., MARCHESE A., CAMPISI G., GUZZETTA G., CARUSO T., MAFRICA R., & BARONE E., *Intra-cultivar diversity in southern Italy olive cultivars depicted by morphological traits and SSR markers*, Acta Horticulturae, 2014.

MUZZALUPO I. (a cura di), *Olive germplasm: Italian catalogue of olive varieties*, InTech Open, 2012.

MEKONNEN M. M., & HOEKSTRA A. Y., *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products* (Value of Water Research Report Series No. 47), UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2010.

MIRABELLA N., CASTELLANI V., & SALA S., *Current options for the valorization of food processing waste: A review*, Journal of Cleaner Production, 2014.

MUSCIO A., SISTO R., & STASI A., *Agricultural cooperation and circular economy adoption: Empirical evidence from olive oil producers*, Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 2022.

NERI D., MASSETANI F., & GIORGI V., *La potatura: Piante da frutto, vite e olivo*, Edagricole - Il Sole 24 Ore, 2009.

OCHANDO-PULIDO J. M., & MARTÍNEZ-FÉREZ A., *About the recovery of the phenolic fraction from olive mill wastewater by micro and ultracentrifugation membranes*, Chemical Engineering Transactions, 2017.

OLITALY, *Alla scoperta della cultivar Santagatese*, Olitaly Magazine, https://olitaly.it/alla-scoperta-della-cultivar-santagatese/, 2023.

OLIO DELLA SICILIA, *Le cultivar dell'olio IGP Sicilia*, Consorzio di Tutela Olio IGP Sicilia, https://www.oliodellasicilia.com/cultivar, 2023.

OLIVO E OLIO, *EFOI: Nasce la federazione europea delle olive da tavola*, Edagricole, 2024.

ÖZCAN M. M., & MATTHÄUS B., *A review: Benefit and bioactive properties of olive (Olea europaea L.) leaves*, European Food Research and Technology, 2017.

PANNELLI G., *Come ridurre i costi di raccolta e potatura*, Olivo e Olio, 2007.

PANNELLI G., *Semplificazione strutturale della chioma per la riduzione dei costi di potatura dell'olivo* (in ARUSIA, a cura di, La potatura dell'olivo: Manuale per una potatura semplificata ed agevolata, pp. 59–84), ARUSIA Perugia, 2008.

PANNELLI G., & GUCCI R., *La gestione della chioma nell'oliveto* (Vol. V), Accademia Nazionale dell'Olivo e dell'Olio, Collana divulgativa dell'Accademia (MiPAAF), 2011.

PARDALIS N., XANTHOPOULOU E., ZAMBOULIS A., & BIKIARIS D. N., *Olive stone as a filler for recycled high-density polyethylene: A promising valorization of solid wastes from olive oil industry*, Sustainable Chemistry for the Environment, 6, Article 100090, 2024.

PARENTI A., SPUGNOLI P., MASELLA P., & CALAMAI L., *The effect of malaxation temperature on the virgin olive oil phenolic profile under laboratory-scale conditions*, European Journal of Lipid Science and Technology, 110(8), 735–741, 2008.

PASTOR M., *La non lavorazione e altri sistemi di lavorazione ridotta nella coltivazione dell'olivo*, Olivae, 1990.

PASTOR M., *Estudios de diversos métodos de manejo del suelo alternativos al laboreo en el cultivo del olivo*, Instituto de Estudios Giennenses, Diputación Provincial de Jaén, 1991.

PASTOR M., CASTRO J., HUMANES M. D., & MUÑOZ J., *Gestione del suolo nell'olivicoltura dell'Andalusia*, L'Informatore Agrario, 2000.

PASTOR M., CASTRO J., VEGA V., & HUMANES M. D., *Sistemas de manejo del suelo* (in D. Barranco, R. Fernández-Escobar, & L. Rallo, a cura di, El cultivo del olivo, pp. 199–236), Ediciones Mundi-Prensa, 1998.

PETRUCCELLI R., GIORDANO C., SALVATICI M. C., CAPARRINI S., PIGNATTELLI S., & CIACCHERI L., *Characterization and conservation of "Olivo della Strega": An ancient olive tree, precious resource for natural and cultural heritage*, Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali, 2021.

PISANI P. L., & MANCUSO S., *Gestione del suolo nelle colture di ulivi (Olea europaea L.)*, L'Informatore Agrario, 54(26), 41–48, 1998.

PRASAD J. V. N. S., RAO C. S., SRINIVAS K., JYOTHI C. N., VENKATESWARLU B., RAMACHANDRAPPA B. K., & MISHRA P. K., *Effect of ten years of reduced tillage and organic matter recycling on crop yields, soil organic carbon and its fractions in Alfisols of semi-arid tropics of southern India*, Soil and Tillage Research, 2016.

PROIETTI P., & REGNI L., *Mitigazione del cambiamento climatico attraverso una filiera olivicolo-olearia sostenibile* (in Atti del Convegno "La multifunzionalità dell'olivicoltura umbra", pp. 31–41), Accademia Nazionale dell'Olivo e dell'Olio, 2020.

PROIETTI P., REGNI L., MAIRECH H., DINI F., & BALDONI L., *Fertilizzazione* (in P. Proietti & L. Regni, a cura di, Manuale per la gestione sostenibile degli oliveti, pp. 45–62), Progetto LIFE OLIVE4CLIMATE (LIFE15 CCM/IT/000141), 2019.

PROIETTI S., SDRINGOLA P., DESIDERI U., ZEPPARELLI F., BRUNORI A., ILARIONI L., NASINI L., REGNI L., & PROIETTI P., *Carbon footprint of an olive tree grove*, Applied Energy, 127, 115–124, 2014.

PROVINCIA REGIONALE DI ENNA, *Campo di raccolta e conservazione di germoplasma internazionale di ulivo (Olea europaea L.): Dati sull'olivicoltura ennese*, Libero Consorzio Comunale di Enna, 2022.

QUIFINANZA, *Siccità in Sicilia: allevamenti in crisi per la mancanza di foraggio*, QuiFinanza [voce da completare con data e link], 2024.

RAI NEWS & SKY TG24, *Siccità in Sicilia: Non piove da mesi, a rischio l'allevamento e la trebbiatura del grano*, Sky TG24 / Rai News, 2024.

REGIONE SICILIANA, *PNRR Investimento 2.3 - Sottomisura "Ammodernamento dei frantoi oleari" e Disciplina regionale per l'utilizzazione agronomica delle acque di vegetazione e delle sanse umide*, Assessorato dell'Agricoltura, dello Sviluppo Rurale e della Pesca Mediterranea, 2022.

REGNI L., NASINI L., ILARIONI L., & PROIETTI P., *Long-term effects of olive mill wastewater and pomace application on soil properties and olive tree performance*, Agricultural Water Management, 2017.

UNIONE EUROPEA, *Regolamento (UE) n. 432/2012 della Commissione, del 16 maggio 2012, relativo all'istituzione di un elenco di indicazioni sulla salute consentite sui prodotti alimentari (Health claim sui polifenoli dell'olio di oliva)*, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, L 136, 1–40, 2012.

ROMERO-GARCÍA J. M., NIÑO L., MARTÍNEZ-PATIÑO C., ÁLVAREZ C., CASTRO E., & NEGRO M. J., *Biorefinery based on olive biomass: State of the art and future trends*, Bioresource Technology, 2014.

ROSSI L., REGNI L., RINALDI S., SDRINGOLA P., CALISTI R., BRUNORI A., DINI F., & PROIETTI P., *Long-term water footprint assessment in a rainfed olive tree grove in the Umbria region, Italy*, Agriculture, 10(1), Article 8, 2020.

SALA G., CARUSO T., MARRA F. P., ZAFONTE F., AMICO ROXAS A., SCHIAVO B., & MARCHESE A., *Study of energetic properties of different tree organs in six Olea europaea L. cultivars*, Scientific Reports, 11(1), Article 17047, 2021.

SALA G., LA MANTIA T., MARRA F. P., & CARUSO T., *Irrigazione* (in P. Proietti & L. Regni, a cura di, Manuale per la gestione sostenibile degli oliveti, pp. 63–84), Progetto LIFE OLIVE4CLIMATE (LIFE15 CCM/IT/000141), 2019.

SALOMONE R., CAPPELLETTI G. M., MALANDRINO O., MISTRETTA M., NERI E., NICOLETTI G. M., NOTARNICOLA B., PATTARA C., RUSSO C., & SAIJA G., *Life cycle assessment in the olive oil sector* (in B. Notarnicola et al., a cura di, Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector: Case Studies, Methodological Issues and Best Practices, pp. 57–121), Springer, 2015.

SALOMONE R., & IOPPOLO G., *Environmental impacts of olive oil production: A Life Cycle Assessment case study in the province of Messina (Sicily)*, Journal of Cleaner Production, 28, 88–100, 2012.

SALOMONE R., SAIJA G., MONDELLO G., GIANNETTO A., FASULO S., & SAVASTANO D., *Environmental impact assessment of olive oil production in Sicily: A Life Cycle Assessment study*, Journal of Cleaner Production, 102, 243–256, 2015.

SOUILEM S., EL-ABBASSI A., KIAI H., HAFIDI A., SAYADI S., & GALANAKIS C. M., *Olive oil production sector: Environmental effects and sustainability challenges* (in C. M. Galanakis, a cura di, Olive Mill Waste: Properties and Valorization, pp. 1–28), Academic Press, 2017.

SERVILI M., SELVAGGINI R., ESPOSTO S., TATICCHI A., MONTEDORO G. F., & MORAZZONI G., *Health and sensory attributes of virgin olive oil in relation to the composition of olive fruit and the extraction process*, Journal of Chromatography A, 1054(1–2), 113–127, 2004.

SILVESTRI L., FORCINA A., DI BONA G., & SILVESTRI C., *Circular economy strategy of reusing olive mill wastewater in the ceramic industry: How the plant location can benefit environmental and economic performance*, Journal of Cleaner Production, 326, Article 129388, 2021.

TERRA E VITA, *Vendemmia al via con 15 giorni di anticipo tra siccità al Sud e maltempo al Nord*, Gruppo Tecniche Nuove, 2024.

TURRINI A., CARUSO G., AVIO L., GENNAI C., PALLA M., AGNOLUCCI M., TOMEI P. E., GIOVANNETTI M., & GUCCI R., *Protective green cover enhances soil respiration and native mycorrhizal potential compared with soil tillage in a high-density olive orchard*, Applied Soil Ecology, 116, 70–78, 2017.

UNAPROL, *Banca dati delle cultivar di olivo italiane*, Unaprol - Consorzio Olivicolo Italiano, https://regimiqualita.unaprol.it/cultivar/, 2023.

UNIONE EUROPEA, *Regolamento (UE) n. 432/2012 della Commissione, del 16 maggio 2012, relativo all'istituzione di un elenco di indicazioni sulla salute consentite sui prodotti alimentari (Health claim sui polifenoli dell'olio di oliva)*, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, L 136, 1–40, 2012.

VICHI S., BOYNUEGRI P., CAIXACH J., & ROMERO A., *Quality losses in virgin olive oil due to washing and short-term storage before olive milling*, European Journal of Lipid Science and Technology, 117(12), 2015–2022, 2015.

VIGNOZZI N., AGNELLI A., PLATINETTI M., PELLEGRINI S., SIMONCINI S., PAGLIAI M., XILOYANNIS C., CELANO G., & PALESE A. M., *Olivicoltura sostenibile e gestione del suolo*, La Rivista di Scienza dell'Alimentazione, 42(1), 35–48, 2013.

VIGNOZZI N., AGNELLI A. E., BRANDI G., CARUSO G., GAGNARLI E., LAGOMARSINO A., PELLEGRINI S., SIMONCINI S., SIMONI S., VALBOA G., & GUCCI R., *Soil ecosystem functions in a high-density olive orchard managed by different soil conservation practices*, Applied Soil Ecology, 134, 64–76, 2019.

VIOLA F., LIUZZO L., NOTO L. V., LO CONTI F., & LA LOGGIA G., *Spatial distribution of temperature trends in Sicily*, International Journal of Climatology, 34(1), 1–17, 2014.

ZERILLI V., *Olivicoltura e cultivar siciliane: Un breve viaggio alla scoperta della millenaria cultura olivicola dell'isola*, Dipartimento DEMETRA, Università degli Studi di Palermo, 2012.