



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE DELLA PRODUZIONE DI NOCCIOLE

Environmental sustainability of hazelnut production

TIPO TESI: Compilativa

Studente:
NICOLAU LODDO

Relatore:
PROF./DOTT. DANIELE DUCA

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

Alla mia famiglia e alla mia ragazza,
per il costante supporto.
Un ringraziamento alla Dott.ssa Stefania Antonelli,
per il fondamentale aiuto nell'avvio di questa ricerca.

SOMMARIO

SOMMARIO.....	3
ELENCO DELLE TABELLE	6
ELENCO DELLE FIGURE	8
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	10
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI	12
CAPITOLO 1 CARATTERISTICHE BOTANICHE E AGRONOMICHE DEL NOCCIOLO (CORYLUS AVELLANA L.)	
1.1 Inquadramento botanico	14
1.2 Esigenze ambientali e climatiche	15
1.3 Morfologia e riproduzione	16
1.4 Nocciola: valore nutrizionale e benefici per la salute.....	18
1.5 Principali cultivar italiane.....	20
1.6 Le principali cultivar di nocciole nel mondo	23
1.6.1 Turchia: il cuore della produzione mondiale.....	23
1.6.2 La corilicoltura in Spagna: tradizione mediterranea e valorizzazione varietale ..	24
1.6.3 La corilicoltura in Francia: varietà selezionate per una produzione di qualità....	24
1.6.4 La corilicoltura negli Stati Uniti: innovazione e sostenibilità produttiva	24
1.6.5 La corilicoltura in Georgia: un settore in espansione	24
La corilicoltura in Cile: un modello emergente nell'emisfero sud	24
1.6.6 La corilicoltura in Azerbaigian: tradizione e biodiversità.....	25
CAPITOLO 2 NUMERI DEL MERCATO ITALIANO E MONDIALE DELLA NOCCIOLA.....	
2.1 Sviluppo della nocciola nelle regioni Italiane	28
2.2 Import – Export della nocciola in Italia.....	36
2.2.1 La Produzione e le Importazioni di Nocciole in Italia: Un Paradosso	36
2.3 Superficie e produzione mondiale: numeri a confronto.....	38
2.4 Costi e redditività del nocciolo	44

CAPITOLO 3 ANALISI DELLA FILIERA CORILICOLA: DALLA COLTIVAZIONE ALLA COMMERCIALIZZAZIONE	47
3.1 Pianificazione e impianto del nocciolo.....	49
3.2 Gestione culturale.....	53
3.2.1 Potatura meccanica	55
3.2.2 Difesa fitosanitaria del nocciolo: entomologia applicata e strategie di contenimento.....	57
3.2.3 Biostimolazione del nocciolo: efficacia agronomica e valutazioni ecofisiologiche	60
3.3 Raccolta e post-raccolta.....	63
3.4 Trasformazione industriale	67
3.4.1 L'impegno industriale nella filiera corilicola: il caso Ferrero	73
3.5 Controllo qualità e certificazioni.....	75
CAPITOLO 4 VALORIZZAZIONE E GESTIONE DEI RESIDUI DELLA NOCCIOLA.....	77
4.1 Introduzione generale alla filiera della nocciola	77
4.2 Classificazione e origine degli scarti del nocciolo	78
4.3 Composizione chimico-fisica degli scarti: gusci, cuticole e residui legnosi.....	79
4.4 Valorizzazione energetica: biomassa da gusci e potature.....	80
4.5 Applicazioni nutraceutiche e fitochimiche dei residui della nocciola	81
4.6 Impieghi in zootecnia: mangimi da sottoprodotti della nocciola	82
4.7 Usi cosmetici e farmaceutici	83
4.8 Applicazioni nella carta, nell'edilizia e nei biocompositi.....	83
4.9 Nanoagrofarmaci da lignina e cellulosa di scarto	84
CAPITOLO 5 SOSTENIBILITÀ DEL CICLO DI LAVORAZIONE DEL NOCCIOLO E APPLICAZIONE DEL LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA).....	85
5.1 Introduzione generale	85
5.2 La sostenibilità della coltura del nocciolo	86
5.2.1 Dimensioni della sostenibilità	86
5.2.2 Punti di forza ambientali	87
5.2.3 Criticità e sfide ambientali	87
5.2.4 Leve di miglioramento.....	88
5.3 Metodologia LCA applicata alla filiera del nocciolo	89
5.3.1 Obiettivi dello studio	89
5.3.2 L'unità funzionale	89
5.3.3 I confini del sistema.....	90

5.3.4	Inventario del ciclo di vita	90
5.3.5	Allocazione dei flussi	90
5.3.6	Indicatori di impatto	91
5.4	Hotspot ambientali nella trasformazione del nocciolo	92
5.4.1	Essiccazione e stabilizzazione.....	92
5.4.2	Sgusciatura e gestione dei gusci.....	92
5.4.3	Tostatura: il cuore energetico del processo	93
5.4.4	Pelatura e recupero delle cuticole.....	93
5.4.5	Macinazione e produzione di pasta	94
5.4.6	Estrazione dell'olio.....	94
5.5	Tecnologie “green” di estrazione e valorizzazione sostenibile degli scarti	94
5.5.1	Dal rifiuto alla risorsa: la prospettiva dell’economia circolare	95
5.5.2	Tecnologie “green” di estrazione	95
5.5.3	Implicazioni per la filiera del nocciolo	97
5.6	Sintesi dei principali studi recenti su LCA e sostenibilità della filiera del nocciolo ...	98
5.6.1	Confronto tra coltivazione convenzionale e biologica (Coppola et al., 2022)	98
5.6.2	Analisi multi-sistema in Campania (Pergola et al., 2024).....	112
5.6.3	Gusci come fonte di composti bioattivi (Di Michele et al., 2021).....	131
5.6.4	Valorizzazione degli scarti: cuticole e gusci (Frazzini et al., 2023).....	132
5.6.5	Essiccazione e qualità del prodotto (Akgün et al., 2024).....	133
5.6.6	Considerazioni conclusive	133
CONCLUSIONI.....		134
BIBLIOGRAFIA		136

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1-1: Principali cultivar di nocciole nel mondo (esclusa Italia).....	25
Tabella 2-1: Consistenza delle superfici e dei livelli produttivi del nocciolo in Italia (ISTAT, 2024)	28
Tabella 2-2: Distribuzione geografica della produzione italiana	29
Tabella 2-3: Distribuzione delle aziende corilicole italiane nel 2010	34
Tabella 2-4: Distribuzione delle aziende corilicole italiane nel 2020	34
Tabella 2-5: Variazioni percentuali tra 2020 e 2010	35
Tabella 2-6: Andamento delle importazioni di nocciole in Italia	36
Tabella 2-7: Andamento delle esportazioni di nocciole dall'Italia	37
Tabella 2-8: Superficie coltivata a nocciolo nei principali Paesi produttori e sua evoluzione (media 2010–2012 vs. 2020–2022).....	38
Tabella 2-9: Produzione di nocciole (tonnellate) e variazione tra i principali produttori mondiali.....	40
Tabella 2-10: Evoluzione della produzione e delle superfici coltivate a nocciole nel mondo (1961–2017)	42
Tabella 4-1: Tipologie di scarti del nocciolo e relative quantità medie	79
Tabella 4-2: Composizione chimico-fisica dei principali residui della filiera del nocciolo	80
Tabella 5-1: Tecnologie “green” di estrazione da scarti di nocciolo.....	97
Tabella 5-2: Operazioni colturali e macchinari impiegati nei sottosistemi del ciclo di vita del nocciolo.....	102
Tabella 5-3: Resa delle nocciole e parametri di efficienza della trasformazione.....	104
Tabella 5-4: Confronto degli impatti ambientali tra coltivazione convenzionale e biologica	106
Tabella 5-5: Principali caratteristiche dei sistemi analizzati. Parte 1	112
Tabella 5-6: Principali caratteristiche dei sistemi analizzati. Parte 2.....	114
Tabella 5-7: Specifiche delle tecniche colturali adottate nei sistemi analizzati.....	116

Tabella 5-8: Operazioni post-raccolta adottate nei sistemi analizzati	119
Tabella 5-9: Confronto degli impatti ambientali tra i sistemi di coltivazione. Valori medi per kg di nocciole non sgusciate e per ettaro	124
Tabella 5-10: Impatti ambientali delle operazioni post-raccolta e confezionamento.....	126
Tabella 5-11: Valori medi del confezionamento (media dei 3 sacchetti).....	127
Tabella 5-12: Impatti complessivi della fase di trasformazione	127
Tabella 5-13: Impatto ambientale complessivo per la produzione di 1 kg di nocciole nei sistemi biologico, integrato e convenzionale.....	128
Tabella 5-14: Effetto del riutilizzo di potatura e gusci sull'impatto climatico complessivo (kg CO ₂ eq).....	130
Tabella 5-15: Composti bioattivi nei sottoprodotti del nocciolo	132

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1-1: Nocciololetto allevato a cespuglio	15
Figura 1-2: Fiori maschili (amenti) e fiore femminile del nocciolo.....	17
Figura 1-3: Frutti di nocciolo in fase di sviluppo.....	17
Figura 1-4: : Frutti di nocciolo maturi in guscio.....	18
Figura 1-5: Composizione nutrizionale delle nocciole in 100g	20
Figura 1-6: Varietà di nocciola Tonda Gentile Trilobata (Piemonte)	21
Figura 1-7: Varietà di nocciola Camponica (Campania).....	22
Figura 1-8: Resa alla sgusciatura delle principali cultivar di nocciole nel mondo (esclusa Italia)	27
Figura 1-9: Calibro medio delle principali cultivar di nocciole nel mondo (esclusa Italia)	27
Figura 2-1: Distribuzione della superficie coltivata a nocciolo nelle regioni italiane (ha).....	31
Figura 2-2: Superficie in produzione a nocciolo nelle regioni italiane (ha)	31
Figura 2-3: Produzione totale (q) di nocciole nelle regioni italiane.....	32
Figura 2-4: Produzione di nocciole raccolte per regione in Italia (q).....	33
Figura 2-5: Ripartizione percentuale della superficie coltivata a nocciolo nei principali Paesi produttori mondiali	39
Figura 2-6: Ripartizione percentuale della produzione mondiale di nocciole nei principali Paesi produttori.....	41
Figura 2-7: Andamento della produzione di nocciole nei principali Paesi produttori mondiali (2011–2020).....	43
Figura 2-8: Costi medi in fase di produzione per corileti irrigui e non irrigui in Italia (anno 2021)	46
Figura 2-9: Prezzo medio alla produzione delle principali varietà di nocciole in Italia....	46
Figura 3-1: Potatura meccanica del nocciolo.....	55
Figura 3-2: Adulto di <i>Gonocerus acuteangulatus</i> (G.) (12-15 mm); esemplare appartenente alla famiglia dei Coreidi.....	57

Figura 3-3: Cimiciato; tipico danno causato alle nocciole dalle punture di cimici	58
Figura 3-4: Incidenza percentuale di cimiciato e di avariato nelle diverse province campane monitorate nel biennio 2009-2010.	59
Figura 3-5: Veduta generale di filari di nocciolo sottoposto a biostimolazione nella stagione vegeto-produttiva 2024.....	60
Figura 3-6: Esempio di rilievo eco-fisiologico non distruttivo su foglia di nocciolo con impiego di fogliarimetro digitale (Dualex).....	62
Figura 5-1: Analisi dei contributi per le due pratiche colturali.....	108
Figura 5-2: Analisi dei contributi della meccanizzazione nei sistemi convenzionale (in alto) e biologico (in basso).	109
Figura 5-3: Confini del sistema	120

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

DOP	Denominazione di Origine Protetta
IGP	Indicazione Geografica Protetta
LCA	Life Cycle Assessment
Ph	Potenziale di Idrogeno
HDL	High-Density Lipoprotein
LDL	Low-Density Lipoprotein
Kcal	Chilocaloria
OGM	Organismo Geneticamente Modificato
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
EFB	Eastern Filbert Blight
ISTAT	Istituto Nazionale di Statistica
Ha	Ettaro
DNA	Deoxyribonucleic Acid
UPOV	International Union for the Protection of New Varieties of Plants
PCR	Polymerase Chain Reaction
SSR	Marcatori Microsatelliti
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NBI	Normalized Burn Index
GDO	Grande Distribuzione Organizzata
BIO	Biologico
BRC	British Retail Consortium
IFS	International Featured Standards
ISMEA	Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare
HPLC	High-Performance Liquid Chromatography
ELISA	Enzyme-Linked Immunosorbent Assay
ISO	International Organization for Standardization
IFS FOOD	International Featured Standards – Food
G.A.P.	Good Agricultural Practice

SQNPI	Sistema di Qualità Nazionale Produzione Integrata
PCI	Potere Calorifico Inferiore
CREA	Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria
HRMS	High-Resolution Mass Spectrometry
ABTS	2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) assay
SEM	Scanning Electron Microscopy
TEM	Transmission Electron Microscopy
SAI	Sustainable Agriculture Initiative
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
GWP	Global Warming Potential
MAE	Microwave-Assisted Extraction
TAC	Total Antioxidant Capacity
UAE	Ultrasound-Assisted Extraction
PLE	Pressurized Liquid Extraction
NADES	Natural Deep Eutectic Solvents
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
DUH	Dry Unshelled Hazelnuts

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

Negli ultimi decenni, la crescente attenzione verso la **sostenibilità** ha progressivamente ridefinito le priorità e le strategie delle filiere agroalimentari, coinvolgendo in modo diretto tanto i processi produttivi quanto le modalità di consumo. In tale contesto, la corilicoltura italiana rappresenta un settore particolarmente interessante su cui focalizzare l'analisi, poiché si configura come ambito d'incontro tra tradizione agricola, innovazione tecnologica e sostenibilità ambientale.

Il **nocciolo** è largamente diffuso sul territorio nazionale, grazie alle sue favorevoli caratteristiche agronomiche e alle molteplici applicazioni del suo frutto, la nocciola, in ambito alimentare e industriale. L'Italia occupa da sempre una posizione di rilievo nel panorama produttivo mondiale, distinguendosi non solo per la quantità, ma soprattutto per la qualità delle cultivar autoctone, molte delle quali tutelate da marchi DOP e IGP.

Negli ultimi anni, la filiera corilicola ha assistito a una rapida **espansione** delle superfici coltivate, favorita dalla crescente richiesta di materia prima da parte dell'industria dolciaria, sia nazionale che internazionale. Questo fenomeno ha interessato in particolare le regioni del Piemonte, del Lazio, della Campania e della Sicilia, determinando un'accelerazione nella specializzazione colturale di molte aree rurali. Tuttavia, l'intensificazione produttiva solleva interrogativi di natura ambientale, sociale ed economica, legati alla sostenibilità del modello adottato, alla salvaguardia della biodiversità e alla tutela del paesaggio agrario.

In tale scenario, diventa fondamentale adottare strumenti di analisi in grado di valutare in maniera oggettiva e completa gli impatti generati lungo l'intero ciclo produttivo e distributivo. Tra questi, l'approccio metodologico del **Life Cycle Assessment (LCA)** consente di quantificare le pressioni ambientali associate a ciascuna fase del ciclo di vita di un prodotto, dalla produzione agricola alla trasformazione industriale, fino allo smaltimento degli scarti. L'impiego dell'LCA si rivela pertanto cruciale per individuare le criticità, confrontare scenari alternativi e orientare le scelte verso modelli produttivi a minore impatto.

Parallelamente, la crescente sensibilità verso i principi dell'economia circolare ha promosso una riflessione più ampia sul concetto stesso di "scarto", favorendo l'emergere di

strategie volte alla valorizzazione dei sottoprodotti della filiera. Gusci, cuticole e residui di potatura, tradizionalmente considerati materiali di scarto, sono oggi oggetto di interesse per il loro potenziale riutilizzo in ambiti differenti: dalla produzione di bioenergia all'estrazione di composti bioattivi, dalla realizzazione di biopolimeri a soluzioni per l'imballaggio sostenibile.

La presente tesi bibliografica si inserisce in questo contesto di evoluzione e trasformazione, analizzando in chiave integrata le principali criticità e opportunità della filiera corilicola italiana, con particolare riferimento agli aspetti ambientali, agronomici e tecnologici. L'obiettivo è duplice: da un lato, studiare le valutazioni di **impatto ambientale** dei sistemi di produzione e trasformazione delle nocciole basate sull'applicazione della metodologia LCA; dall'altro, esplorare le possibilità di recupero e valorizzazione degli **scarti** secondo una logica di economia circolare.

Nello specifico, il lavoro è articolato in cinque capitoli principali:

Il primo capitolo fornisce un inquadramento botanico e agronomico del nocciolo (*Corylus avellana* L.), con un'analisi delle principali cultivar e dei fattori ambientali che influenzano la coltivazione.

Il secondo capitolo analizza il mercato della nocciola, sia a livello nazionale che internazionale, approfondendo aspetti produttivi, commerciali ed economici.

Il terzo capitolo descrive la filiera corilicola, dalla fase di coltivazione fino alla trasformazione industriale e alla commercializzazione del prodotto.

Il quarto capitolo è dedicato alla gestione e valorizzazione dei residui della nocciola, con particolare attenzione alle possibili applicazioni in diversi settori e alle prospettive dell'economia circolare.

Infine, il quinto capitolo affronta il tema della sostenibilità della filiera attraverso l'applicazione della metodologia Life Cycle Assessment (LCA), includendo l'analisi di studi recenti e il confronto tra sistemi di coltivazione convenzionale e biologico.

Attraverso un approccio multidisciplinare e basato su dati scientificamente validati, questa tesi intende contribuire alla definizione di una filiera corilicola più sostenibile, resiliente e capace di generare valore non solo economico, ma anche ambientale e sociale.

Capitolo 1

CARATTERISTICHE BOTANICHE E AGRONOMICHE DEL NOCCIOLO (*CORYLUS AVELLANA* L.)

1.1 Inquadramento botanico

Il nocciolo (*Corylus avellana* L.) è una specie arbustiva o talvolta arborea appartenente alla famiglia delle *Betulaceae*, sottofamiglia *Coryloideae*, ampiamente diffusa nei Paesi a clima temperato dell'emisfero settentrionale. La sua origine è riconducibile all'area dell'Europa sud-orientale e dell'Asia Minore, sebbene oggi sia presente in diverse zone del mondo grazie alla sua adattabilità e alle caratteristiche economiche e nutrizionali del suo frutto. (1)

È una pianta caducifoglia, a portamento cespuglioso, con sviluppo pluriennale e longevità elevata, che può superare i 40 anni in condizioni favorevoli. In ambito colturale il nocciolo viene generalmente coltivato in forma di **vaso cespugliato** (*Figura 1-1*) o con il sistema a **fusetto** (forma compatta e slanciata, con asse centrale dominante), anche se negli ultimi anni si sta diffondendo l'allevamento a fusto basso per facilitare le operazioni meccaniche di raccolta. (2)

La **chioma** si presenta generalmente espansa, mentre l'**apparato radicale** è superficiale e molto esteso lateralmente, con una maggiore concentrazione delle radici nei primi 30-50 cm di profondità. Questa caratteristica lo rende particolarmente sensibile alla siccità e al ristagno idrico, fattori che devono essere opportunamente gestiti tramite tecniche agronomiche adeguate. (1)

Dal punto di vista **morfologico**, la corteccia è liscia nei rami giovani e tende a diventare rugosa con l'età. Le foglie sono alterne, semplici, con lamina ovata e margine doppiamente seghettato. Le gemme sono piccole, appuntite e ricoperte da squame brunastre. (2)



Figura 1-1: Nocciolo allevato a cespuglio

1.2 Esigenze ambientali e climatiche

Il nocciolo è una specie che si adatta bene ai **climi temperati**, grazie alla sua capacità di vegetare anche in ambienti con inverni rigidi e estati calde, purché non eccessivamente secche. Le condizioni climatiche ottimali per la coltivazione prevedono temperature medie annue comprese tra i 12 °C e i 16 °C, con una buona distribuzione delle precipitazioni durante l'anno.

Il fabbisogno in freddo, ovvero il numero di ore con temperature inferiori ai 7 °C necessario per garantire una corretta fioritura, varia a seconda della cultivar ma si attesta generalmente tra le 800 e le 1200 ore. Il mancato soddisfacimento di questo requisito può compromettere lo sviluppo dei fiori femminili e, di conseguenza, la produzione.

Il nocciolo risulta invece sensibile alle gelate tardive primaverili, che possono danneggiare i fiori femminili già differenziati e alle elevate temperature estive (sopra i 35 °C), che ostacolano la fecondazione e riducono la qualità dei frutti. (3)

Dal punto di vista **edafico**, la pianta predilige suoli di medio impasto, profondi, fertili, ben drenati, con pH compreso tra 6 e 7,5. È invece poco tollerante ai suoli pesanti, mal drenati o eccessivamente sabbiosi, nonché a quelli con alta salinità o pH estremamente alcalino.

La presenza di **ristagni idrici** rappresenta una delle principali cause di stress per il nocciolo, poiché può determinare asfissia radicale e favorire lo sviluppo di patologie fungine a carico dell'apparato ipogeo; per questo motivo è importante prevedere sistemi di drenaggio o evitare la coltivazione in zone soggette ad allagamenti. (3)

1.3 Morfologia e riproduzione

Il nocciolo è una specie **monoica diclina**, ovvero presenta sulla stessa pianta fiori unisessuali maschili e femminili distinti. La fioritura è una delle peculiarità della specie poiché avviene in pieno inverno, tra dicembre e febbraio, in un periodo in cui molte altre specie sono in riposo vegetativo.

I fiori maschili sono riuniti in infiorescenze chiamate **amenti**, penduli lunghi fino a 10 cm di colore giallo-verdastro. Sono ben visibili e compaiono in gruppi di 2-4, generalmente sui rami dell'anno precedente. Questi fiori producono grandi quantità di polline leggero facilmente trasportato dal vento.

I fiori femminili sono invece molto meno appariscenti, costituiti da piccole **gemme** poste all'apice dei rami da cui sporgono soltanto gli stimmi rosso brillante (*Figura 1-2*). L'**impollinazione** è anemofila e si verifica in inverno, ma la fecondazione vera e propria avviene diversi mesi dopo, in primavera, quando l'ovulo è maturo.

Una caratteristica importante del nocciolo è la sua incompatibilità genetica, che impedisce l'autoimpollinazione e rende necessaria la presenza di cultivar impollinatrici compatibili per garantire la fruttificazione. La scelta di cultivar compatibili e il loro corretto posizionamento nell'impianto rivestono pertanto un ruolo fondamentale per il successo produttivo.

Il frutto del nocciolo è una **nucula indeiscente**, cioè non si apre spontaneamente a maturazione ed è contenuta in un involucri fogliaceo chiamato **cupola o brattea** (*Figura 1-3*). Il seme comunemente chiamato **nocciola** rappresenta la parte commestibile del frutto. (1)



Figura 1-2: Fiori maschili (amenti) e fiore femminile del nocciolo



Figura 1-3: Frutti di nocciolo in fase di sviluppo

1.4 Nocciola: valore nutrizionale e benefici per la salute

La nocciola rappresenta un alimento di elevato interesse nutrizionale e funzionale (*Figura 1-4*), grazie alla sua composizione chimico-fisica ricca e bilanciata.



Figura 1-4: : Frutti di nocciolo maturi in guscio

Dal punto di vista **lipidico**, il seme contiene in media circa 60% di **grassi**, in prevalenza acidi grassi monoinsaturi, con una significativa presenza di acido oleico. Questo tipo di grasso è noto per i suoi effetti positivi sul profilo lipidico ematico, in particolare per la capacità di ridurre i livelli di colesterolo LDL (“colesterolo cattivo”) senza alterare quelli dell’HDL. (4)

Le **proteine** sono presenti in quantità variabile tra il 13 e il 15%, mentre i **carboidrati** si attestano attorno all’8–10%. Di particolare rilievo è anche il contenuto in **fibre** alimentari, che conferiscono alla nocciola proprietà sazianti, utili al controllo del peso corporeo, e contribuiscono al miglioramento della motilità intestinale e alla riduzione dell’assorbimento intestinale di zuccheri semplici e grassi.

La nocciola è inoltre una fonte eccellente di **micronutrienti**, tra cui magnesio, fosforo e calcio, oltre a contenere potassio, che svolge un ruolo nella regolazione della pressione arteriosa. È particolarmente ricca di vitamina E, un potente antiossidante liposolubile, presente fino a 15 mg per 100 g di prodotto, che protegge le cellule dallo stress ossidativo indotto da radicali liberi e tossine ambientali.

A ciò si aggiunge la presenza di composti **fenolici** e **fitosteroli**, entrambi dotati di attività antiossidante e ipocolesterolemizzante, che rendono la nocciola un alimento funzionale a tutti gli effetti. Il **contenuto energetico** è elevato: 100 grammi apportano circa 650 kcal, valore che ne consiglia un consumo moderato ma regolare all'interno di una dieta equilibrata. (*Figura 1-5*) (5)

Numerosi studi evidenziano i benefici associati al consumo regolare di nocciole, tra cui:

- il controllo del peso corporeo, grazie al prolungato senso di sazietà indotto dalla fibra;
- la riduzione della pressione arteriosa, favorita dal contenuto di potassio;
- la modulazione della glicemia e quindi la prevenzione del diabete di tipo 2, per effetto combinato di fibre, grassi insaturi e proteine;
- il miglioramento del transito intestinale, con effetti positivi sulla regolarità digestiva;
- la riduzione del rischio di neoplasie, in particolare tumori del colon-retto, dell'endometrio e del pancreas. In tal senso, l'assunzione di frutta secca per almeno cinque porzioni settimanali si è rivelata associata a un minore rischio di insorgenza di patologie tumorali in diversi studi epidemiologici. (4)

COMPOSIZIONE IN 100 g

Calorie: 655
kj: 2740
Colesterolo: 0
Acqua: 5,7 g
Proteine: 13 g
Lipidi: 62,9 g
Glicidi: 1,8 g
Fibre: 6,7 g

VITAMINE

B1 0,51 mg
B2 0,1 mg
PP 2,8 mg
C 4 mg
A 30 mcg

MINERALI

Ferro 3,3 mg
Calcio 150 mg
Fosforo 322 mg
Sodio 11 mg
Potassio 446 mg

Figura 1-5: Composizione nutrizionale delle nocciole in 100g

1.5 Principali cultivar italiane

In ambito agronomico, il termine *cultivar* (dall'inglese *cultivated variety*) indica una varietà di pianta coltivata e selezionata tramite tecniche di miglioramento genetico tradizionali, senza ricorso a organismi geneticamente modificati. Nel nocciolo (*Corylus avellana* L.), le cultivar si differenziano per caratteristiche morfologiche, fisiologiche e merceologiche che ne determinano l'adattamento ai diversi contesti pedoclimatici.

Le principali cultivar italiane includono: (6)

Tonda Gentile Trilobata (Piemonte).

Nota commercialmente come *Nocciola Piemonte*, è una delle cultivar di maggior pregio. Coltivata principalmente nelle province di Cuneo, Asti e Alessandria, presenta maturazione precoce, seme tondeggianti, guscio sottile ed elevata pelabilità dopo tostatura. L'aroma delicato e persistente la rende particolarmente apprezzata dall'industria dolciaria. È tutelata da marchio IGP e rappresenta circa il 99% della produzione regionale.



Figura 1-6: Varietà di nocciola Tonda Gentile Trilobata (Piemonte)

Tonda Gentile Romana (Lazio)

Diffusa prevalentemente nell'area dei Monti Cimini, in provincia di Viterbo, la Tonda Gentile Romana è una cultivar storica coltivata fin dal XV secolo. Presenta una **resa** in frutto sgusciato, intesa come il rapporto tra il peso del seme e quello del frutto intero, relativamente elevata, pari a circa il 45–47%, sebbene la pelabilità non risulti ottimale. I frutti sono destinati prevalentemente alla trasformazione industriale. La cultivar rappresenta circa l'80% della produzione corilicola del Lazio ed è tutelata dal marchio di Denominazione di Origine Protetta (DOP).

Nocchione (Lazio)

Caratterizzata da frutti di grande pezzatura e bassa resa alla sgusciatura, è utilizzata sia per il consumo fresco sia per la trasformazione artigianale. Rappresenta circa il 10% della superficie corilicola laziale ed è ben adattata ai terreni collinari della regione.

Tonda di Giffoni (Campania).

Coltivata prevalentemente nel salernitano, presenta seme sferico, polpa compatta, chiara ed elevata resa alla sgusciatura. È particolarmente adatta a tostatura e pelatura ed è tutelata da marchio IGP.

Mortarella (Campania)

È la cultivar più diffusa in Campania, soprattutto nell'Avellinese. Pur presentando una bassa percentuale di frutti interi dopo la sgusciatura, è apprezzata per le sue qualità organolettiche ed è destinata principalmente alla trasformazione dolciaria.

San Giovanni (Campania)

Varietà precoce utilizzata prevalentemente come impollinatore. I frutti, di forma allungata e pezzatura media, sono destinati soprattutto al consumo fresco. Rappresenta una quota rilevante della produzione regionale.

Camponica (Campania)

È una cultivar precoce, particolarmente adatta ai terreni argillosi delle colline campane. Il frutto presenta una buona pezzatura e può assumere tre principali **forme**: arrotondata, compressa, più larga che lunga e tondeggiante cilindrica, risultando idoneo sia al consumo diretto sia alla trasformazione. (*Figura 1-7*)



Figura 1-7: Varietà di nocciola Camponica (Campania)

Mansa (Sicilia)

Varietà produttiva ma caratterizzata da elevata variabilità dimensionale dei frutti. È conosciuta localmente con diversi sinonimi (Racinante, Nostrale) e risulta meno adatta alla standardizzazione industriale.

Tapparona (Liguria)

Cultivar ligure di forma allungata e colore scuro, componente del tradizionale “Misto Chiavari”. È coltivata nelle aree montane della Valle Strulla ed è apprezzata per la qualità complessiva del prodotto.

Tonda Francescana (Umbria)

Ottenuta dall'incrocio tra Tonda di Giffoni e Tonda Romana, è il risultato di un lungo programma di ricerca dell'Università di Perugia. Si distingue per l'elevata pelabilità e la lunga shelf life, risultando particolarmente idonea all'impiego industriale.

1.6 Le principali cultivar di nocciole nel mondo

La diversità delle cultivar di nocciole nel mondo, al di fuori dell'Italia, evidenzia la ricchezza genetica e l'adattabilità di questa specie a contesti ambientali molto diversi (*Tabella 1-1*). Ogni paese ha selezionato varietà specifiche in base alle esigenze climatiche, produttive e commerciali, con risultati che spaziano dalla produzione industriale su larga scala fino a colture di nicchia ad alta qualità. Comprendere le caratteristiche di queste cultivar è fondamentale per orientare le scelte agronomiche, le strategie di valorizzazione territoriale e le dinamiche del commercio internazionale (*Figure 1-8 e 1-9*).

1.6.1 Turchia: il cuore della produzione mondiale

La Turchia è il **principale produttore** mondiale di nocciole, contribuendo a circa il 70% della produzione globale secondo dati FAO. (7) Il Paese è caratterizzato da un'ampia varietà di cultivar locali, soprattutto nell'area del Mar Nero, risultato della lunga tradizione agricola e della gestione prevalentemente familiare e artigianale degli impianti, che ha favorito la conservazione di numerosi genotipi autoctoni. (8)

La cultivar più rappresentativa è la **Tombul**, caratterizzata da elevata resa alla sgusciatura (circa 50%) e ottime qualità organolettiche. Altre varietà diffuse includono **Çakıldak** e **Palaz**, che contribuiscono alla ricca biodiversità locale. (9)

Nonostante questa diversità varietale, la Turchia presenta una carenza di programmi strutturati di protezione varietale e miglioramento genetico, limitando il riconoscimento e la diffusione internazionale di nuove linee stabili.

1.6.2 La corilicoltura in Spagna: tradizione mediterranea e valorizzazione varietale

La produzione è concentrata in Catalogna, in particolare nella provincia di Tarragona. La cultivar principale è la **Negret**, apprezzata per la resa alla sgusciatura e l'idoneità alla tostatura. (10) Insieme alla **Pauetet**, è tutelata dal marchio DOP *Avellana de Reus* (11)

1.6.3 La corilicoltura in Francia: varietà selezionate per una produzione di qualità

La corilicoltura francese è orientata a produzioni di qualità su scala medio-piccola. Tra le varietà più diffuse figura la **Ennis**, di origine statunitense, apprezzata per il grande calibro, la produttività e il buon profilo gustativo (12)

1.6.4 La corilicoltura negli Stati Uniti: innovazione e sostenibilità produttiva

La coltivazione è concentrata principalmente in Oregon. Accanto alla tradizionale Barcelona, si è affermata la cultivar Jefferson, selezionata per la resistenza all'**eastern filbert blight (EFB)** e per l'elevata resa alla sgusciatura, che può raggiungere il 55%. (13)

1.6.5 La corilicoltura in Georgia: un settore in espansione

Negli ultimi anni la Georgia ha investito nel settore corilicolo, puntando sulla cultivar autoctona **Anakliuri**, resistente e ben adattata al clima umido, con una resa alla sgusciatura di circa il 46% (14)

1.6.6 La corilicoltura in Cile: un modello emergente nell'emisfero sud

Tra le varietà coltivate, una delle più diffuse in Cile è la '**Barcelona**', che si distingue per la sua alta produttività e per l'adattabilità al clima cileno. Inoltre, altre varietà italiane come la '**Tonda di Giffoni**', sono in fase di sperimentazione e talvolta adottate in alcune aree. La Barcelona si distingue per la sua forma tondeggianti, un sapore dolce e una resa elevata, che la rende una scelta ideale per la produzione destinata all'esportazione. (15)

1.6.7 La corilicoltura in Azerbaigian: tradizione e biodiversità

L'**Azerbaigian**, situato nel cuore del Caucaso, vanta una lunga tradizione nella coltivazione della nocciola, sebbene la produzione su larga scala rappresenti un fenomeno relativamente recente. La nocciolicoltura del Paese si basa prevalentemente su varietà locali rustiche, caratterizzate da una buona adattabilità a condizioni pedoclimatiche difficili. Negli ultimi anni si registra un crescente interesse verso la produzione biologica e la valorizzazione della biodiversità varietale locale. (16)

Tabella 1-1: Principali cultivar di nocciole nel mondo (esclusa Italia)

Paese	Cultivar	Forma	Gusto	Note	Resa alla sgusciatura (%)	Calibro medio (mm)
Turchia	<i>Tombul</i>	Tondeggiant e	Dolce, delicato	La più esportata, usata in dolci e creme	50	16
Turchia	<i>Çakıldak</i>	Piccola	Intenso	Resistente ai trasporti	45	14
Turchia	<i>Palaz</i>	Allungat a	Aromatico	Antica varietà, meno diffusa	40	13
Spagna	<i>Negret</i>	Tondeggiant e	Aromatico	Molto usata in pasticceria	48	15
Spagna	<i>Pauetet</i>	Tondeggiant e	Delicato	Apprezzata localmente	47	14
Francia	<i>Ennis</i>	Grande	Delicato	Origine USA, coltivata anche in Europa	50	18

USA	<i>Barcelona</i>	Tondeggiant e	Dolce, morbido	La più comune in Oregon	52	18
USA	<i>Jefferson</i>	Tondeggiant e	Equilibrato	Resistente a batteriosi	55	20
Georgia	<i>Anakliuri</i>	Ellittica	Equilibrato	Autoctona georgiana	46	15
Cile	<i>Tonda di Giffoni</i>	Tondeggiant e	Delicato	Coltivata su larga scala	50	17
Azerbaijan	<i>Varietà locali</i>	Varie	Rustico	Spesso Usate in coltivazioni bio	42	13

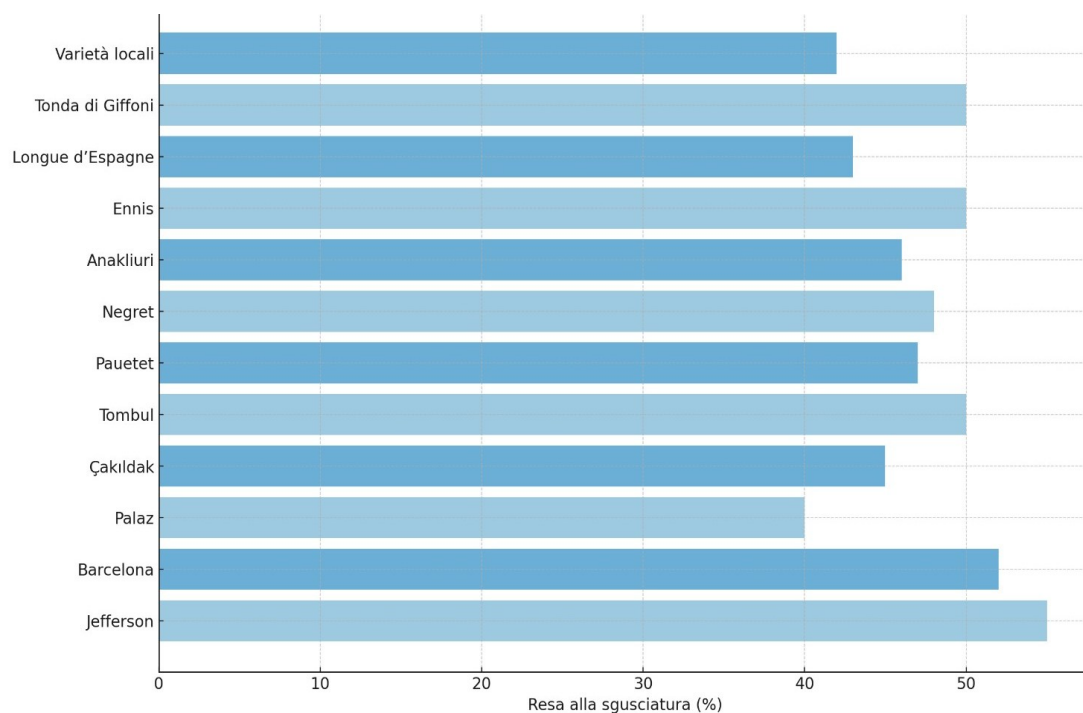


Figura 1-8: Resa alla sgusciatura delle principali cultivar di nocciole nel mondo (esclusa Italia)

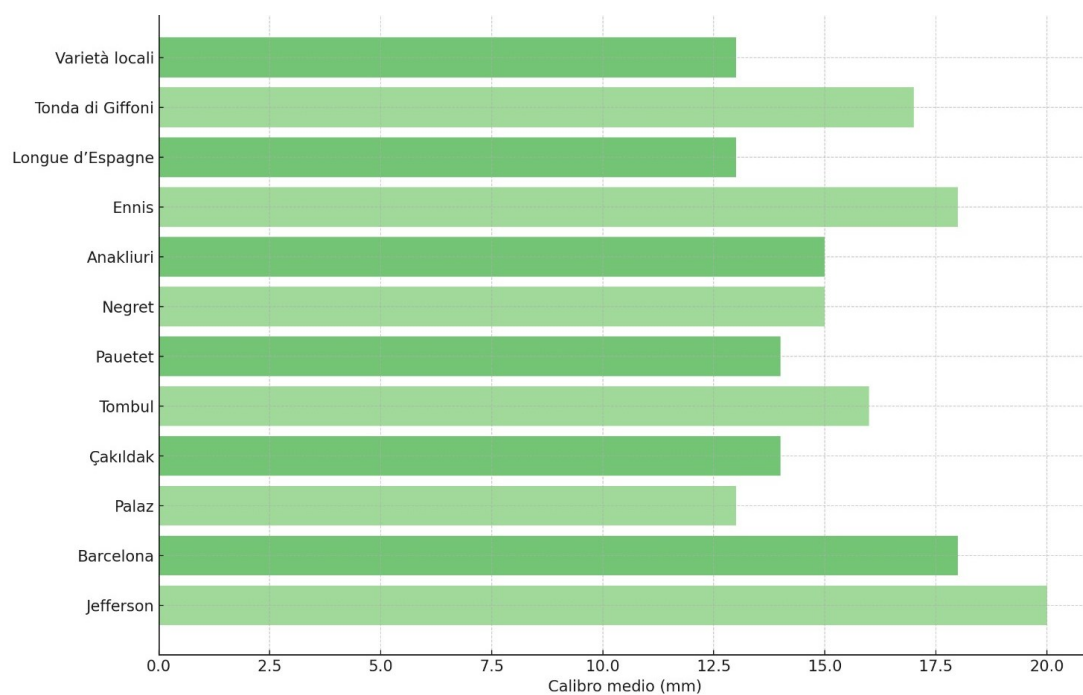


Figura 1-9: Calibro medio delle principali cultivar di nocciole nel mondo (esclusa Italia)

Capitolo 2

NUMERI DEL MERCATO ITALIANO E MONDIALE DELLA NOCCIOLA

2.1 Sviluppo della nocciola nelle regioni Italiane

L'Italia si conferma come secondo produttore mondiale di nocciole, con un'espansione significativa delle superfici coltivate: tra il 2010 e il 2024, si registra un incremento di circa **25.000 ettari**, spesso al di fuori degli areali tradizionali.

Gli ultimi dati ISTAT del 2024 evidenziano una superficie totale di 95.572 ha e una produzione totale raccolta di 1.205.167 q (*Tabella 2-1*). (17)

Tabella 2-1: Consistenza delle superfici e dei livelli produttivi del nocciolo in Italia (ISTAT, 2024)

SUPERFICIE TOTALE (ha)	95.572
SUPERFICIE IN PRODUZIONE (ha)	90.391
PRODUZIONE TOTALE (q)	1.262.054
PRODUZIONE RACCOLTA (q)	1.205.167

La differenza tra la superficie totale e la superficie in produzione conferma, anche per il 2024, l'andamento di incremento dei nuovi noccioleti.

Il nocciolo è la terza coltivazione di alberi da frutta, secondo l'annuario agricoltura ISTAT (dati 2024) con 95.572 ha, dopo l'olivo con 1.136.898 ha e l'uva da vino con 692.663 ha.

La graduatoria delle prime tre regioni italiane di **produzione** di nocciole in guscio, in quintali, sono il Lazio con 394.640 q, la Campania con 377.750 q e il Piemonte con 268.006 q.

Per quanto riguarda la **superficie** coltivata le prime tre regioni sono il Piemonte con 28.034 ha, il Lazio con 25.152 ha e la Campania con 21.781 ha (*Tabella 2-2, Figure 2-1, 2-2*) (17)

Tabella 2-2: Distribuzione geografica della produzione italiana

REGIONE	SUPERFICE TOTALE (ha)	SUPERFICE IN PRODUZIONE (ha)	PRODUZIONE TOTALE (q)	PRODUZIONE RACCOLTA (q)
PIEMONTE	28034	28034	268006	268006
LAZIO	25152	23448	404262	394640
CAMPANIA	21781	21480	384750	377750
SICILIA	13870	12870	142290	102290
UMBRIA	1950	680	11500	11500
TOSCANA	1307	1307	18605	18593
VENETO	944	831	5548	5441
LOMBARDIA	489	148	1062	1062
EMILIA ROMAGNA	468	265	3425	3425
FRIULI VENEZIA GIULIA	424	181	2027	2007
CALABRIA	313	313	6620	6519

MARCHE	298	298	2901	2901
ABRUZZO	165	162	1800	1800
MOLISE	150	150	4200	4200
SARDEGNA	141	141	3670	3670
BASILICATA	45	44	765	762
LIGURIA	26	50	364	362
PUGLIA	10	10	230	210
TRENTINO ALTO ADIGE	4	3	17	17
VALLE D'AOSTA	1	1	12	12

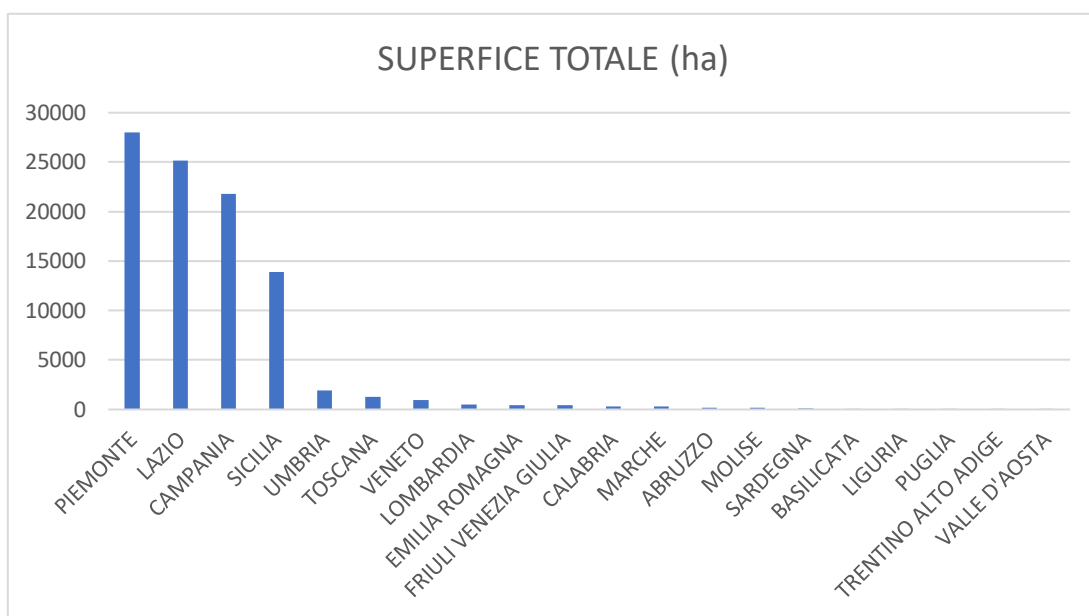


Figura 2-1: Distribuzione della superficie coltivata a nocciolo nelle regioni italiane (ha)

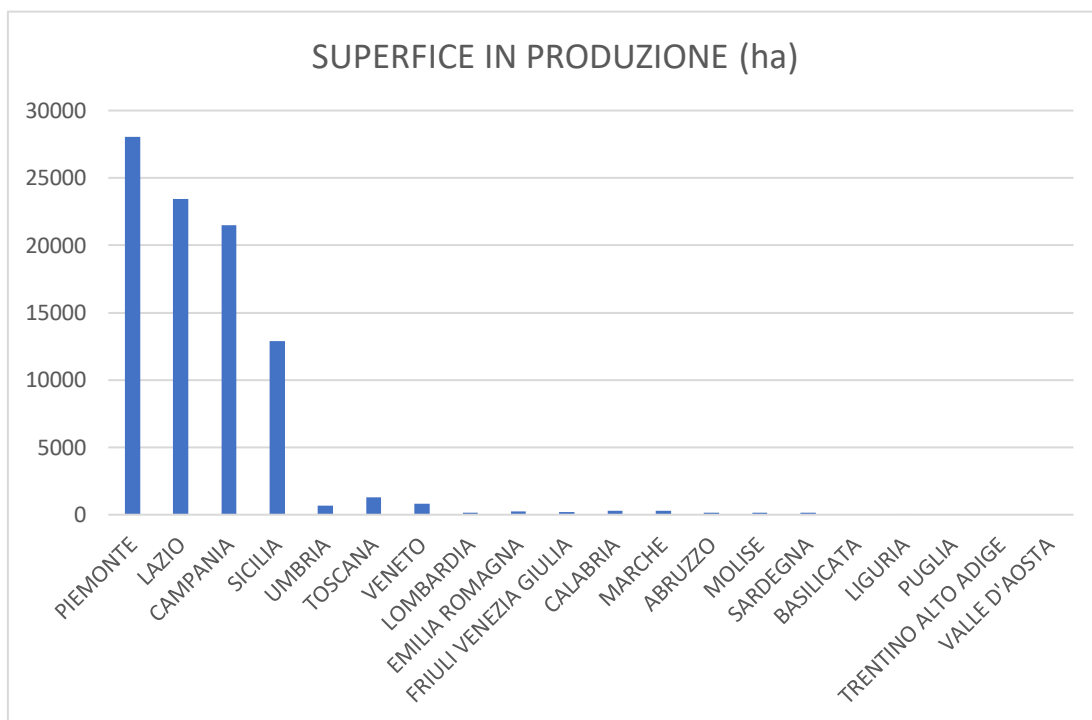


Figura 2-2: Superficie in produzione a nocciolo nelle regioni italiane (ha)

Tale andamento si è mantenuto costante negli ultimi anni; analizzando i dati ISTAT del 2018 ritroviamo infatti tra le prime regioni per **produzione** di nocciole in guscio (in quintali) il Lazio con 478.400 q, la Campania con 395.336 q, il Piemonte con 366.016 q, la Sicilia con 131.920 q (*Figura 2-3*).

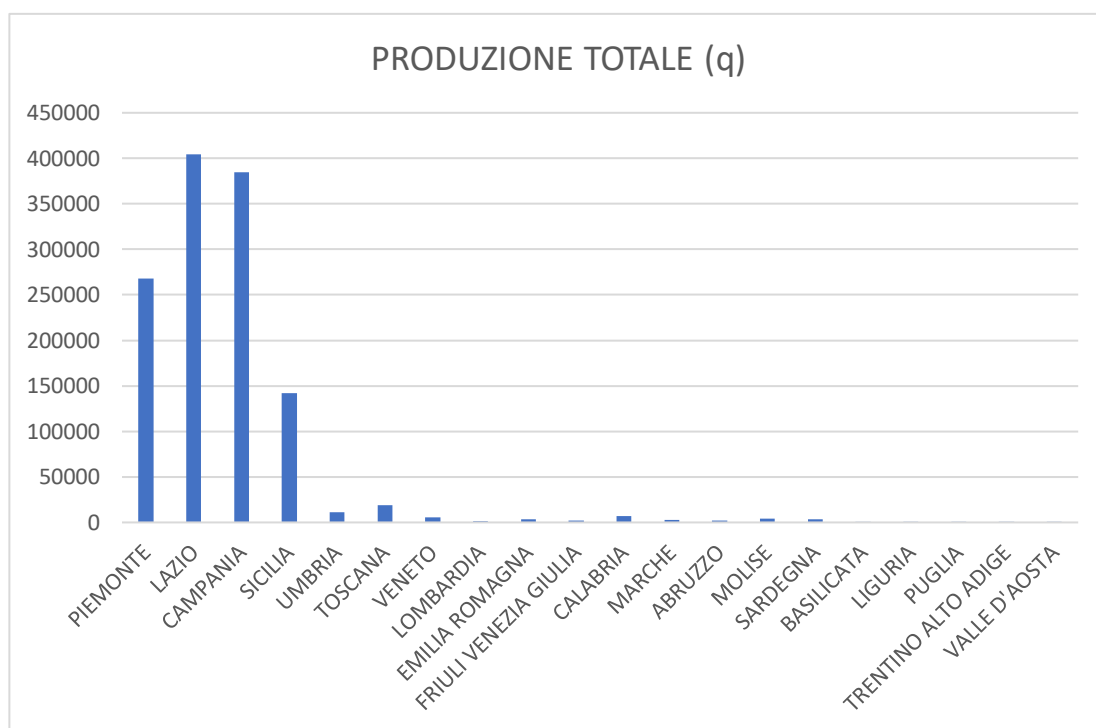


Figura 2-3: Produzione totale (q) di nocciole nelle regioni italiane

La produzione di nocciole **raccolta** in Italia risulta fortemente concentrata in poche regioni, con Lazio, Campania e Piemonte che presentano i valori più elevati in termini di quintali prodotti (*Figura 2-4*). (17)

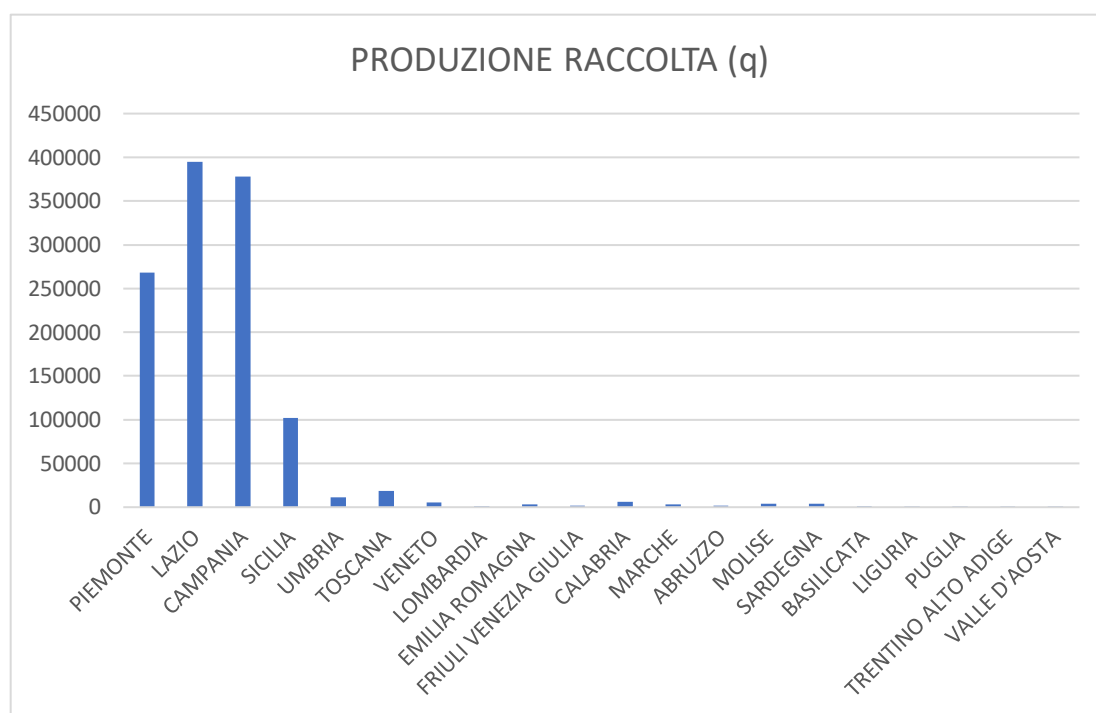


Figura 2-4: Produzione di nocciole raccolte per regione in Italia (q)

La situazione attuale non è sempre stata la stessa; nel 1938 *Mario Vacirca*, nel suo trattato agronomico sul problema del nocciolo, osservava che la Sicilia era la principale produttrice di nocciole, seguita a grande distanza dalla Campania e Lazio.

La corilicoltura rappresenta un comparto relativamente recente nel panorama agricolo italiano, la cui diffusione ha seguito nel tempo l'andamento delle richieste industriali. Originatasi nei monti Nebrodi in provincia di Messina, la coltivazione del nocciolo si è progressivamente estesa verso le pianure del Casertano e dell'Avellinese, i monti Picentini in Campania, la Tuscia viterbese nel Lazio e, infine, le colline del Piemonte meridionale. (6)

Nello scenario nazionale si evidenzia un mutamento strutturale caratterizzato dalla **crescita** della superficie complessiva e dall'ampliamento dell'areale di coltivazione con una **diminuzione** del numero di aziende.

Di seguito riportiamo delle tabelle di confronto tra il panorama delle aziende agricole produttrici di nocciole tra il 2010 e il 2020 (*Tabelle 2-3, 2-4*) (18). Da tale confronto si può notare come in un decennio il numero totale delle aziende produttrici di nocciole è diminuito a differenza della superficie totale in ettari che ha manifestato un incremento.

Infatti il numero delle aziende ha registrato una diminuzione del 22% mentre la superficie totale coltivata a nocciole è aumentata del 22%; questi trend hanno generato un incremento

delle dimensioni medie aziendali italiane del 56%, passando da una dimensione media aziendale di 1,95 ha ad 3,03 ha (*Tabella 2-5*). (18)

Tabella 2-3: Distribuzione delle aziende corilicole italiane nel 2010

2010			
	Numero aziende	Superficie	Dimensione media aziendale
	(n)	(ha)	(ha/n)
<i>Italia</i>	32.995	64.218	1.95
<i>Piemonte</i>	8.362	15.247	1.82
<i>Lazio</i>	6.197	19.339	3.12
<i>Campania</i>	11.565	17.316	1.50
<i>Sicilia</i>	4.873	11.077	2.27
<i>Altre</i>	1.998	1.239	0.62

Tabella 2-4: Distribuzione delle aziende corilicole italiane nel 2020

2020			
	Numero aziende	Superficie	Dimensione media aziendale
	(n)	(ha)	(ha/n)
<i>Italia</i>	25.761	78.076	3.03
<i>Piemonte</i>	8.356	24.818	2.97
<i>Lazio</i>	5.028	27.105	5.39
<i>Campania</i>	5.936	14.346	2.42
<i>Sicilia</i>	2.927	6.656	2.27
<i>Altre</i>	3.514	5.152	1.47

Tabella 2-5: Variazioni percentuali tra 2020 e 2010

2020 vs 2010			
	Numero aziende	Superficie	Dimensione media aziendale
	(n)	(ha)	(ha/n)
<i>Italia</i>	-22%	22%	56%
<i>Piemonte</i>	-0.1%	63%	63%
<i>Lazio</i>	-19%	40%	73%
<i>Campania</i>	-49%	-17%	61%
<i>Sicilia</i>	-40%	-40%	0%
<i>Altre</i>	76%	316%	136%

Nonostante il raddoppio della produzione nazionale nell'arco di mezzo secolo, la quantità di nocciole coltivate in Italia risulta ancora insufficiente a coprire il fabbisogno interno. Lo evidenzia il professor *Silviero Sansavini*, come riportato in *Enciclopedia della nocciola* (6) che riprende un articolo pubblicato su *Edagricole*, in cui riferisce che “la produzione media italiana di nocciole negli ultimi 8 anni, data riferita al 2017, sia stata di circa 111.000 tonnellate all'anno”, a cui si sommano 85.000 tonnellate importate, mentre il nostro export è di 54.000 tonnellate. Da questi dati si deduce che il consumo medio è di circa 140.000 tonnellate all'anno, coperto solo per l'80% dalla produzione nazionale.

Alla luce di queste considerazioni, Sansavini sottolinea come il nocciolo potrebbe trovare altre importanti aree vocate alla coltura in regioni come Toscana, Umbria, Emilia-Romagna e Basilicata, che cercano diversificazioni colturali per compensare la crisi di altri settori frutticoli.

Nel periodo più recente (2023–2025), il comparto corilicolo italiano ha mostrato una sostanziale stabilità delle superfici complessive, ma con una crescente **variabilità produttiva** legata all'andamento climatico e alla diffusione di fitopatie. Tale dinamica conferma il processo di espansione territoriale del nocciolo in nuove aree vocate, accompagnato tuttavia da una maggiore instabilità delle rese annuali.

La situazione relativa all' import – export di nocciole in Italia sarà approfondita nel paragrafo che segue.

2.2 Import – Export della nocciola in Italia

2.2.1 La Produzione e le Importazioni di Nocciole in Italia: Un Paradosso

L'Italia si conferma come il secondo Paese produttore mondiale di nocciole; tuttavia negli ultimi dieci anni, le **importazioni** di nocciole sono aumentate in modo significativo tanto da coprire quasi metà del fabbisogno nazionale. Secondo i dati dell' ISTAT, l' Italia ha importato mediamente tra il 2021 e il 2023 oltre 59 milioni di kg di nocciole annui, sia in guscio che sgusciate, dalla Turchia (60%), Cile (20%), Azerbaigian (13%) con un esborso pari a 334 milioni/ euro l'anno (*Tabella 2-6*) (19). Questo scenario evidenzia un paradosso per l'Italia che si trova a dipendere dalle importazioni per soddisfare la domanda interna. Nonostante il notevole aumento della superficie dedicata alla coltivazione, che negli ultimi dieci anni è cresciuta del 25% (passando da 67.000 a 95.000 ha), la produzione nazionale non è ancora sufficiente a coprire il fabbisogno. (17)

Attualmente la produzione di nocciole in Italia supera le 126.000 tonnellate, con un picco di 140.000 tonnellate registrato nel 2020. È interessante notare che la produzione biologica di nocciole sta aumentando costantemente, rappresentando oggi il 17,5% del raccolto totale.

Tabella 2-6: Andamento delle importazioni di nocciole in Italia

Prodotto	Import			Import			Prezzo medio		
	(milioni €)			(milioni kg) *			Import		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
<i>Nocciole</i>									
<i>sgusciate</i>	327,8	328,8	347,8	55,5	64,3	58,2	5,91	5,11	5,98
<i>Nocciole</i>									
<i>in guscio</i>	29,7	28	42,5	11,5	10,3	16	2,59	2,71	2,66

Per quanto riguarda l'**export**, la quantità media di nocciole esportata tra il 2021 e il 2023 è stata di 27 milioni di kg, destinata prevalentemente per il mercato europeo: Germania 50%; Francia 17%; Polonia 12% (*Tabella 2-7*). (19)

Tabella 2-7: Andamento delle esportazioni di nocciole dall'Italia

Prodotto	Export			Export			Prezzo medio export		
	(milioni €)			(milioni kg) *			(€/kg)		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
<i>Nocciole</i>									
<i>sgusciate</i>	289,9	164,2	171,2	37,3	21,8	21,6	7,78	7,54	7,92

Un fattore cruciale per la produzione di nocciole in Italia è il **clima**. Negli ultimi anni, la crisi climatica ha avuto un impatto negativo significativo, riducendo la capacità produttiva del Paese di circa un terzo. Sebbene i volumi siano superiori a quelli della campagna precedente compromessa dalle gelate, la produzione italiana rimane ben al di sotto del suo potenziale. Inoltre, le varietà italiane sono particolarmente vulnerabili a fenomeni climatici estremi, come le gelate tardive primaverili e la scarsità di precipitazioni che potrebbero influire negativamente anche sulle future campagne. Anche la qualità produttiva è fortemente influenzata dai cambiamenti climatici che alterano i cicli biologici delle colture e la diffusione dei parassiti rendendola altalenante, il tutto aggravato da una ridotta disponibilità idrica e dall'invecchiamento sia dei corileti sia degli agricoltori. (20)

Nel periodo più recente (2024–2025), il mercato internazionale delle nocciole ha evidenziato una significativa tensione dell'offerta globale, dovuta principalmente al **calo produttivo** della Turchia, causato da eventi climatici estremi e fitopatie, con effetti diretti sull'**aumento** dei prezzi e sulla maggiore dipendenza delle importazioni europee, inclusa quella italiana.

2.3 Superficie e produzione mondiale: numeri a confronto

A livello mondiale, le **superfici** coltivate a nocciolo hanno superato, a partire dal 2019, il milione di ettari, registrando un incremento di circa 400.000 ha nell'ultimo decennio. Parallelamente, secondo i dati FAO, la **produzione globale** è aumentata in modo significativo, passando da circa 800.000 tonnellate a 1,1 milioni di tonnellate, risultati sostanzialmente coerenti anche con le stime dell'International Nut and Dried Fruit Council, che nel 2020 ha indicato una produzione di poco superiore a 500.000 tonnellate di prodotto sgusciato. (21)

L'evoluzione delle **superfici** coltivate nei principali Paesi produttori è riportata in *Tabella 2-8* e in *Figura 2-5* (22), dalla quale emerge come la crescita abbia interessato in modo differenziato le diverse aree geografiche. La **Turchia** si conferma il primo Paese produttore mondiale, con una superficie che nel 2022 supera i 740.000 ha, pari a circa il 70% della superficie mondiale investita a nocciolo; segue **l'Italia**, che registra un aumento più contenuto ma costante (+37,4% rispetto alla media 2010–2012), rappresentando circa l'8% della superficie globale. Di particolare rilievo è l'espansione delle superfici in Paesi di più recente affermazione nel comparto corilicolo, come **Cile** e **Stati Uniti** che mostrano variazioni percentuali molto elevate.

Tabella 2-8: Superficie coltivata a nocciolo nei principali Paesi produttori e sua evoluzione (media 2010–2012 vs. 2020–2022)

	MEDIA 2010-2012	2020	2021	2022	Var. % 2022 vs media 2010 – 2012
<i>Mondo</i>	611.277	1.019.974	1.039.949	1.061.120	73.6%
<i>Turchia</i>	428.386	734.538	738.920	744.047	73.7%
<i>ITALIA</i>	61.463	80.280	82.590	84.430	37.4%
<i>Azerbaijan</i>	23.234	44.502	48.968	51.436	121.4%
<i>USA</i>	11.669	24.281	24.686	27.519	135.8%
<i>Cile</i>	6.810	24.430	24.456	36.393	434.4%
<i>Georgia</i>	15.512	18.123	25.518	18.545	19.6%
<i>Altri</i>	64.204	93.820	94.811	98.750	53.8%

Fonte: elaborazioni ismea su dati Faostat

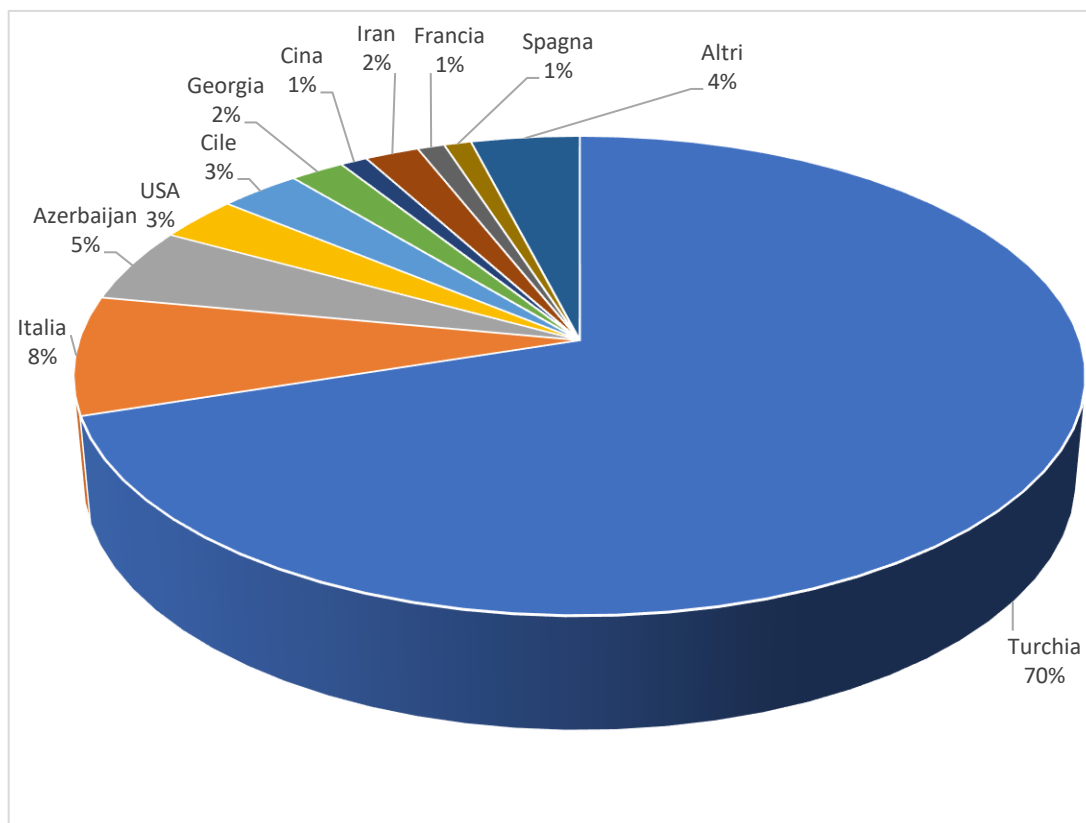


Figura 2-5: Ripartizione percentuale della superficie coltivata a nocciolo nei principali Paesi produttori mondiali

L'andamento delle superfici trova un riscontro solo parziale nella dinamica produttiva. Come evidenziato in *Tabella 2-9* e in *Figura 2-6* (22), l'aumento delle superfici non sempre si traduce in un incremento proporzionale delle produzioni, a causa dei lunghi tempi di entrata in piena produzione del nocciolo e della forte influenza delle condizioni climatiche sulle rese annuali. A livello mondiale, la **produzione** di nocciole nel 2022 ha superato 1,19 milioni di tonnellate, con una **crescita** del 42,1 % rispetto alla media del triennio 2010 – 2012.

La *Figura 2-6* mostra chiaramente la forte concentrazione geografica della produzione mondiale, con la **Turchia** che detiene una quota pari a circa il 64% del totale, confermando il proprio ruolo dominante nel comparto. Seguono a notevole distanza **l'Italia**, con circa l'8% della produzione mondiale, e altri Paesi produttori come **Stati Uniti**, **Cile** e **Azerbaijan**, ciascuno con quote più contenute ma in progressiva crescita.

In questo contesto la **Turchia** mantiene un ruolo dominante, con una produzione pari a 765.000 tonnellate nel 2022, sebbene caratterizzata da una forte variabilità interannuale.

L'Italia, pur rimanendo tra i principali produttori mondiali, mostra una sostanziale stabilità produttiva nel lungo periodo, con oscillazioni legate prevalentemente all'andamento climatico. Al contrario Paesi come **Azerbaijan, Stati Uniti e Cile** evidenziano tassi di crescita molto elevati, confermando una progressiva diversificazione geografica dell'offerta mondiale.

Tabella 2-9: Produzione di nocciole (tonnellate) e variazione tra i principali produttori mondiali

	Media 2010-2012	2020	2021	2022	Var.% 2022 vs media 2010 – 2012
<i>Mondo</i>	841.352	1.070.990	1.077.393	1.195.732	42.1%
<i>Turchia</i>	563.333	665.000	684.000	765.000	35.8%
<i>Italia</i>	101.481	140.560	84.670	98.670	-2.8%
<i>Azerbaijan</i>	30.667	49.465	67.630	72.105	135.1%
<i>USA</i>	31.943	56.060	70.310	70.310	120.1%
<i>Cile</i>	4.633	37.000	35.185	62.557	1250.2%
<i>Georgia</i>	28.200	32.700	46.000	33.400	18.4%
<i>Altri</i>	81.095	90.205	89.598	93.690	15.5%

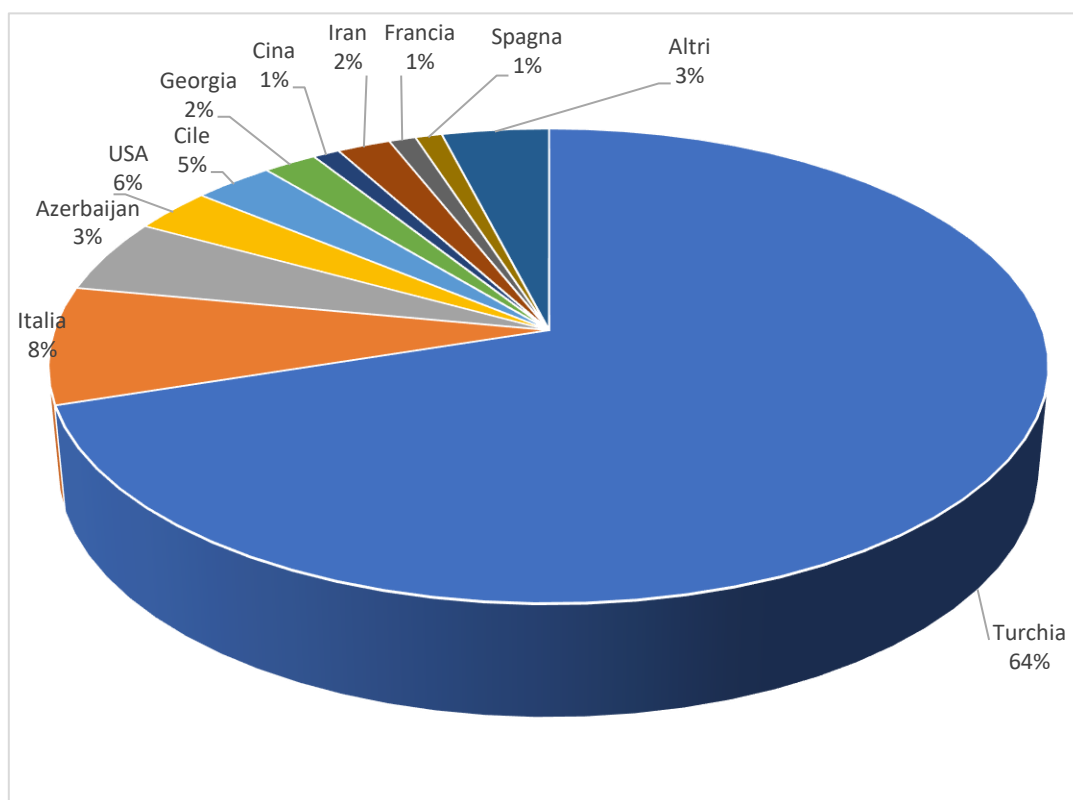


Figura 2-6: Ripartizione percentuale della produzione mondiale di nocciole nei principali Paesi produttori

Per valutare l'evoluzione del comparto a livello mondiale nel lungo periodo, si possono considerare le statistiche FAO relative agli ultimi 60 anni, che riportano i dati dal 1961 al 2017 (*Tabella 2-10*). In questo intervallo temporale, la produzione mondiale di nocciole è quintuplicata, raggiungendo quasi un milione di tonnellate, mentre le superfici coltivate si sono soltanto raddoppiate (ad esempio in Turchia), evidenziando un aumento della produttività per ettaro. (6)

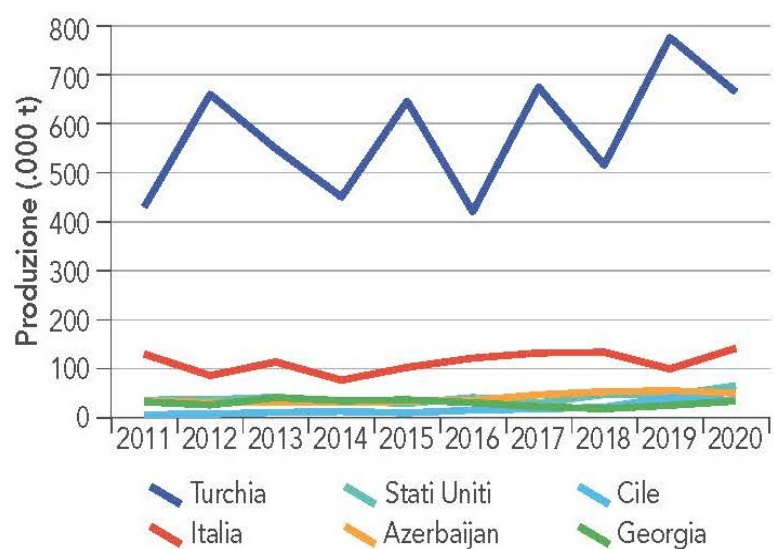
Tabella 2-10: Evoluzione della produzione e delle superfici coltivate a nocciole nel mondo (1961–2017)

Paese	1961 t.	2017 t.	1961 ha	2017 ha
<i>Turchia</i>	76.000	675.000	205.041	439.097
<i>Italia</i>	55.379	131.281	52.600	79.951
<i>Azerbaijan</i>	-	43.000	-	35.782
<i>Cina</i>	2000	27.044	1300	13.225
<i>Usa</i>	1.0668	25.030	7530	14.973
<i>Georgia</i>	-	21.400	-	12.054
<i>Cile</i>	-	18.325	-	13.693
<i>Iran</i>	20.000	15.645	10.000	17.589
<i>Francia</i>	290	10.833	330	5515
<i>Spagna</i>	14.200	10.487	23.500	12.806
Mondo	179.755	997.982	301.283	669.003

L'andamento di crescita è rimasto invariato sia per quanto riguarda le superfici che le produzioni mondiali negli anni 2010 – 2022; anche in questo periodo la **Turchia** mantiene saldamente il ruolo di leader produttivo del comparto con un'offerta tendenzialmente stabile, sebbene molto altalenante (*Figura 2-7*). Nell'ultimo biennio la quota di prodotto turco, rispetto al totale mondiale è scesa di 2 punti percentuali, dal 66 al 64%, rispetto a 10 anni prima, in virtù della crescita degli altri produttori sia storici che di nuovo ingresso come USA e Cile. (21)

L'oscillazione delle produzioni della Turchia nelle sue annate agricole può avere elementi molto diversi, a causa del clima, anche perché si tratta di corileti affacciati sul Mar Nero, poco produttivi e coltivati da anziani; “*tutto ciò incide sul prezzo mondiale*”. Commenta Claudio Sonnatì, agronomo della Fondazione Agrion. (6)

Nel periodo più recente (2023–2025), i dati disponibili evidenziano una crescente instabilità del comparto corilicolo globale, associata alla forte variabilità produttiva dei principali Paesi produttori, in particolare Turchia e Italia. Tale dinamica ha contribuito ad aumentare la volatilità dei prezzi internazionali e a rafforzare la dipendenza europea dalle importazioni.



Fonte: Faostat.

Figura 2-7: Andamento della produzione di nocciole nei principali Paesi produttori mondiali (2011–2020)

2.4 Costi e redditività del nocciolo

Le nocciole rappresentano un prodotto di rilevante interesse industriale, generando intensi flussi commerciali dai Paesi produttori verso quelli in cui avviene la lavorazione. In termini di **valore**, i flussi commerciali di nocciole mostrano una certa variabilità: da circa 1 miliardo di euro dieci anni fa, salgono a circa 1,6 miliardi di euro nell'ultimo biennio, con un picco di oltre 2 miliardi di euro nel 2015, dovuto a un prezzo medio che aveva sfiorato i 10 euro/kg. Negli ultimi anni le quotazioni si sono poi abbassate fino agli attuali 6 euro/kg di media, ma le tensioni sui prezzi mondiali restano un punto di riferimento per il mercato delle nocciole e sono fortemente connesse con la disponibilità di prodotto turco e con le dinamiche monetarie del Paese.

Per quanto riguarda i **costi** e la **redditività**, la coltivazione del nocciolo in Italia presenta condizioni molto variabili che spaziano da forme di gestione quasi agroforestali in ambienti marginali a impianti moderni in aree di pianura. Nel caso di un corileto **irriguo** ad alta intensificazione (circa 570 piante/ha), il flusso totale si attesta intorno a 3.100 euro/ha, mentre in un impianto **tradizionale** privo di irrigazione si calcolano circa 1.000 euro in meno. La maggior parte del differenziale è dovuta ai costi per l'irrigazione e alla minor manodopera necessaria per la raccolta, in virtù della resa decisamente inferiore del corileto non irriguo. A tali costi va aggiunta la quota media annua di ammortamento dell'impianto, stimabile attorno a 1.000 euro/ha considerando una durata totale del corileto pari a 30 anni. Sommando i flussi annui di cassa e la quota di ammortamento, il costo medio di produzione per un moderno **impianto irriguo** risulta di poco superiore ai 2 euro/kg, considerando una resa ordinaria di 2,4–2,5 tonnellate/ha; per un **impianto non irriguo**, con una produttività circa dimezzata, il costo sale invece a circa 2,6 euro/kg.

I **costi medi** di produzione dei corileti irrigui e non irrigui in Italia (prendendo in considerazione l'anno 2021) sono sintetizzati in *Figura 2-8*, che evidenzia come la gestione del terreno, la fertilizzazione, la difesa fitosanitaria, la potatura, l'irrigazione e la raccolta influenzino in modo differenziato il costo totale per tipo di impianto.

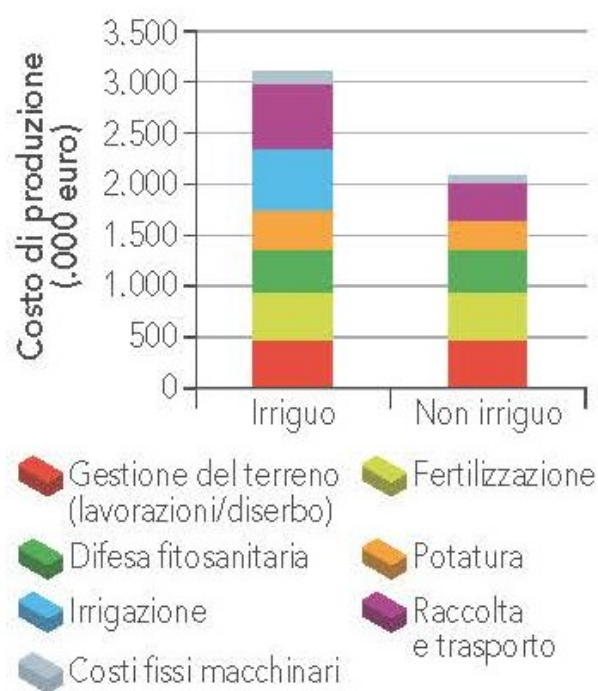
Il prezzo medio alla produzione è fortemente influenzato dalle dinamiche internazionali. Negli ultimi 15 anni si osserva (*Figura 2-9*) una prima fase con prezzi quasi sempre inferiori ai 2 euro/kg per le principali varietà, seguita da un periodo di crescita, tra il 2014 e il 2016 e un picco nel 2015 quando la domanda in aumento e la crisi produttiva portarono i prezzi fino a quasi 5 euro/kg. Negli anni successivi, le quotazioni si stabilizzano attorno ai 2,6 euro/kg.

La campagna 2021, oltre al deficit produttivo, si caratterizza per prezzi medio-bassi, confermando le prospettive di una coltura dal potenziale interessante nel lungo periodo ma soggetta a inevitabili oscillazioni produttive ed economiche.

La produzione del nocciolo è interessata da significativi mutamenti nelle dinamiche internazionali e nazionali, trainati da un forte incremento della domanda mondiale proveniente in particolare dall'industria dolciaria. La crescita del potenziale produttivo appare destinata a proseguire anche nel prossimo futuro, generando preoccupazione nel mondo produttivo qualora non si confermasse un analogo aumento della domanda. È quindi fondamentale perseguire la stabilizzazione dei flussi produttivi e dei prezzi, attualmente soggetti a elevata variabilità: nel primo caso per cause climatiche, nel secondo per la struttura dei mercati mondiali.

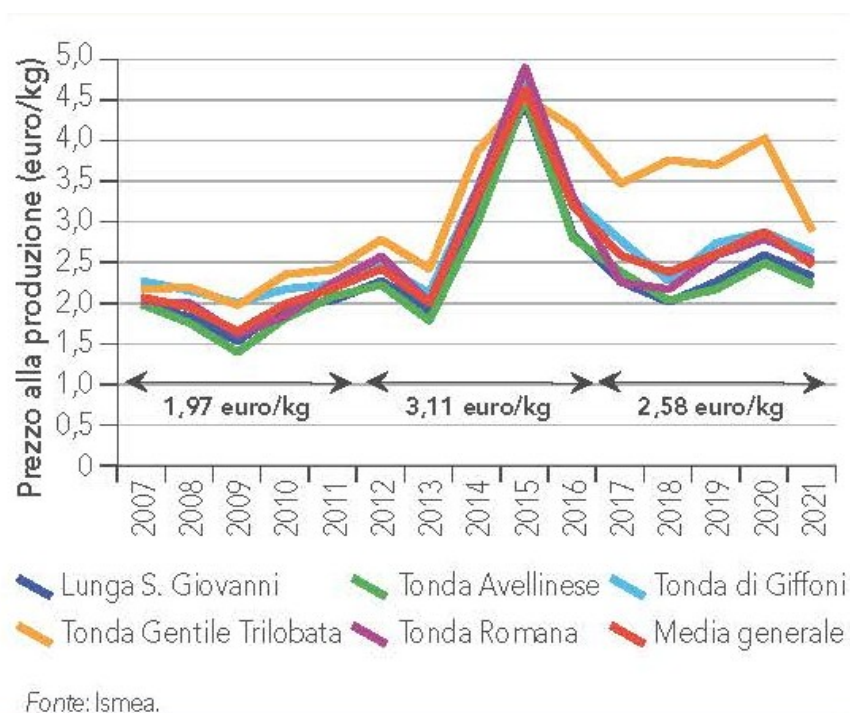
Per ridurre la variabilità produttiva occorre puntare su **impianti moderni** e ben gestiti, mentre per limitare gli effetti degli eventi climatici estremi è indispensabile il ricorso a **strumenti assicurativi**, auspicando un maggiore supporto istituzionale per ridurre i costi. Solo così sarà possibile mantenere la sostenibilità di una delle poche specie che mostrano prospettive positive nel panorama della frutticoltura italiana.

La stabilizzazione dei prezzi, in un contesto di crescente competitività, passa infine dall'aggregazione dell'offerta (oggi ancora insufficiente) e da accordi con gli utilizzatori industriali, che necessitano di forniture di qualità, sicure e continuative. (21)



Fonte: elaborazione su dati Ismea e indagini dirette.

Figura 2-8: Costi medi in fase di produzione per corileti irrigui e non irrigui in Italia (anno 2021)



Fonte: Ismea.

Figura 2-9: Prezzo medio alla produzione delle principali varietà di nocciole in Italia

Capitolo 3

ANALISI DELLA FILIERA CORILICOLA: DALLA COLTIVAZIONE ALLA COMMERCIALIZZAZIONE

La corilicoltura italiana, per poter recuperare competitività sul piano commerciale, come sottolineato da De Salvador (2001), deve puntare al raggiungimento di tre obiettivi fondamentali: (23)

- il miglioramento e la tutela della **qualità**, per rispondere alle esigenze dei consumatori e garantire loro alimenti sicuri e tracciabili;
- la riduzione dei **costi di produzione**, attraverso la razionalizzazione e la semplificazione del processo produttivo, così da poter sostenere la concorrenza imposta dal basso prezzo delle nocciole sul mercato internazionale;
- la promozione di nuovi e tradizionali **prodotti trasformati** a base di nocciole, per fronteggiare la concorrenza dei prodotti alternativi, in particolare degli snack alimentari.

Le scelte relative alle diverse fasi della filiera del nocciolo non possono prescindere da tali considerazioni. Di seguito, tali aspetti verranno analizzati utilizzando come chiave di lettura i tre punti sopra indicati.

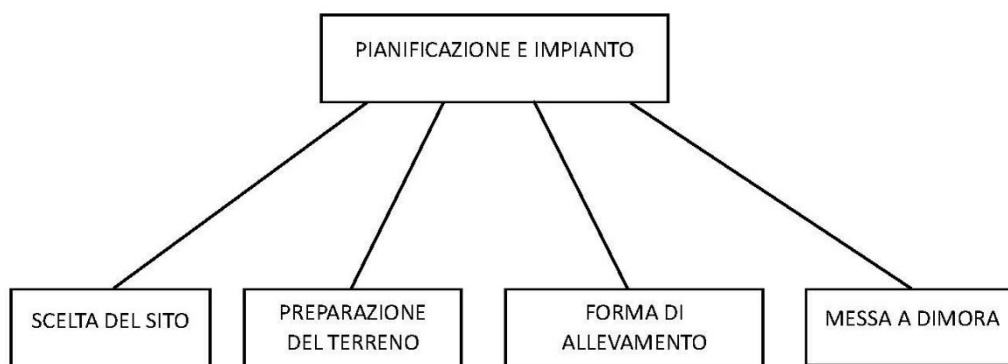
La **filiera produttiva** del nocciolo si articola in diversi aspetti da considerare, come illustrato nello schema seguente:



In questo capitolo vengono analizzati gli aspetti della filiera del nocciolo che vanno dalla pianificazione al post-raccolta; quelli successivi riguardanti la trasformazione industriale, certificazione e controllo qualità, nonché alla gestione degli scarti e alla sostenibilità, saranno approfondite nei capitoli successivi.

3.1 Pianificazione e impianto del noccioleto

L'avvio della filiera ha origine con la scelta dell'impianto, che risponde a logiche di mercato, vocazione territoriale e sostenibilità. La densità, il sistema di allevamento e la meccanizzazione sono elementi chiave per l'efficienza produttiva.



L'avvio di un corileto richiede un'attenta fase di pianificazione preliminare, volta a garantire la sostenibilità produttiva, agronomica ed economica dell'impianto nel lungo periodo. I principali aspetti da considerare sono: (24)

- **Scelta del sito:** La selezione del sito è una delle decisioni più strategiche; tale scelta deve tener conto del clima temperato, dell'altitudine ideale, dell'esposizione del noccioleto e dell'accessibilità, fondamentale per agevolare le operazioni meccanizzate di impianto, potatura, raccolta e gestione del suolo.
- **Preparazione del terreno:** una corretta preparazione del suolo è essenziale per il buon attecchimento e la crescita delle piante e si attua attraverso **analisi chimico-fisiche** del terreno per valutare la fertilità, il pH (ottimale tra 6 e 7), la tessitura e la presenza di eventuali limitazioni (es. calcare attivo, sodicità, compattazione). A seguire si eseguono **lavorazioni profonde** (sovescio, aratura o ripuntatura) finalizzate a migliorare la struttura del suolo e favorire lo sviluppo radicale. Il

livellamento del terreno è necessario per garantire il corretto deflusso delle acque piovane ed evitare ristagni idrici; infine si procede con le **concimazioni di fondo**, apportando fosforo e potassio in base alle carenze rilevate, con eventuale correzione della reazione del suolo (es. con ammendanti calcarei).

- **Forma di allevamento:** viene scelta in funzione dell'ambiente, della varietà, del grado di meccanizzazione desiderato e degli obiettivi produttivi. Tra le forme più diffuse si trova quella a **cespuglio**, tradizionale, con più fusti basali, adatta soprattutto ai contesti collinari, ma che richiede una maggiore quantità di manodopera. Sempre più adottata è la forma a **fusto**, che facilita l'impiego di macchinari, in particolare per la raccolta mediante scuotitori. La forma a **palmetta**, ordinata su due pareti, si presta bene alla potatura e alla raccolta meccanica. Infine, il vaso cespugliato costituisce una soluzione intermedia, offrendo un buon equilibrio tra gestione manuale e meccanizzazione.
- **Messa a dimora:** la piantumazione delle giovani piante (innestate o da seme, generalmente in vaso) rappresenta il primo passo concreto dell'impianto. Durante questa operazione bisogna tener conto di alcuni aspetti fondamentali come il periodo consigliato che in aree a clima mite è in autunno, mentre in zone fredde si preferisce in inverno o inizio primavera; i **Sesti di impianto**, che variano da 4×4 m fino a 6×6 m, in base alla forma di allevamento e alla vigoria della cultivar; il **trapianto**, durante il quale ogni pianta va posta in buche ben preparate, evitando piegature dell'apparato radicale e garantendo un immediato apporto idrico per favorire l'attecchimento; infine la **protezione** delle giovani piante, che si effettua tramite l'uso di tutori, shelter o reti per difenderle da animali selvatici o danni meccanici.

Nel capitolo 1 di questa tesi sono state illustrate le diverse tipologie di cultivar e i metodi di allevamento; nel presente capitolo, invece, si discutono le scelte di pianificazione basate sulle **analisi genetiche** delle cultivar, sottolineando l'importanza della disponibilità di tecniche di identificazione varietale affidabili, poiché la qualità della nocciola risulta strettamente connessa alla cultivar di provenienza, parametro determinante nella definizione del valore commerciale del prodotto.

Ogni essere vivente, conserva nel proprio DNA l'informazione genetica che nel corso dell'evoluzione si è adattata all'ambiente, consentendo la sopravvivenza e la diversificazione delle specie. L'identificazione varietale può quindi essere effettuata non solo sulla base del fenotipo, ma in modo più preciso attraverso l'analisi del **genotipo**, ovvero del DNA. (23)

Negli ultimi anni, le analisi molecolari sono state ampiamente applicate alla caratterizzazione varietale delle specie arboree da frutto, sia per cultivar di elevato valore economico sia per varietà locali a rischio di estinzione, con l'obiettivo di valorizzare il germoplasma e preservare la biodiversità. Tali tecniche potrebbero essere estese anche alla certificazione genetica delle cultivar, ambito per il quale diversi autori hanno evidenziato la necessità di introdurre marcatori molecolari nel Servizio nazionale di certificazione del materiale vivaistico (25), e nella tutela delle cultivar brevettate. (26)

Attualmente, la rispondenza varietale è certificata esclusivamente sulla base di caratteri morfologici e fenologici secondo i criteri **UPOV** (Unione Internazionale per la protezione delle nuove Varietà Vegetali), che definiscono i requisiti di **distinguibilità, omogeneità, stabilità e novità**. Tuttavia, questi metodi risultano spesso lenti, influenzati dalle condizioni ambientali e talvolta insufficienti per un'identificazione univoca.

Le analisi del DNA consentono invece di spostare l'indagine dal fenotipo al genotipo, permettendo controlli rapidi, oggettivi e riproducibili in qualsiasi fase del ciclo vitale della pianta. In ambito IGP e DOP, tali tecniche potrebbero rappresentare uno strumento efficace per la verifica della rispondenza varietale degli impianti e delle produzioni, in conformità ai disciplinari di produzione.

Nel caso del nocciolo, le analisi genetiche possono essere effettuate su foglie, gemme e germogli per la **certificazione** del materiale vivaistico, mentre l'identificazione varietale a partire dal seme è ancora oggetto di studio, sebbene siano già disponibili risultati promettenti.

La tecnica più diffusa è la **PCR** (Polymerase Chain Reaction), che permette di riprodurre (amplificare) in modo selettivo, a partire da piccole quantità di DNA vegetale, particolari zone del DNA che vengono utilizzate come marcatori molecolari.

I marcatori microsatelliti (SSR), altamente polimorfici e specifici, permettono di ottenere profili genetici univoci per ciascuna cultivar, confrontabili con banche dati di riferimento.

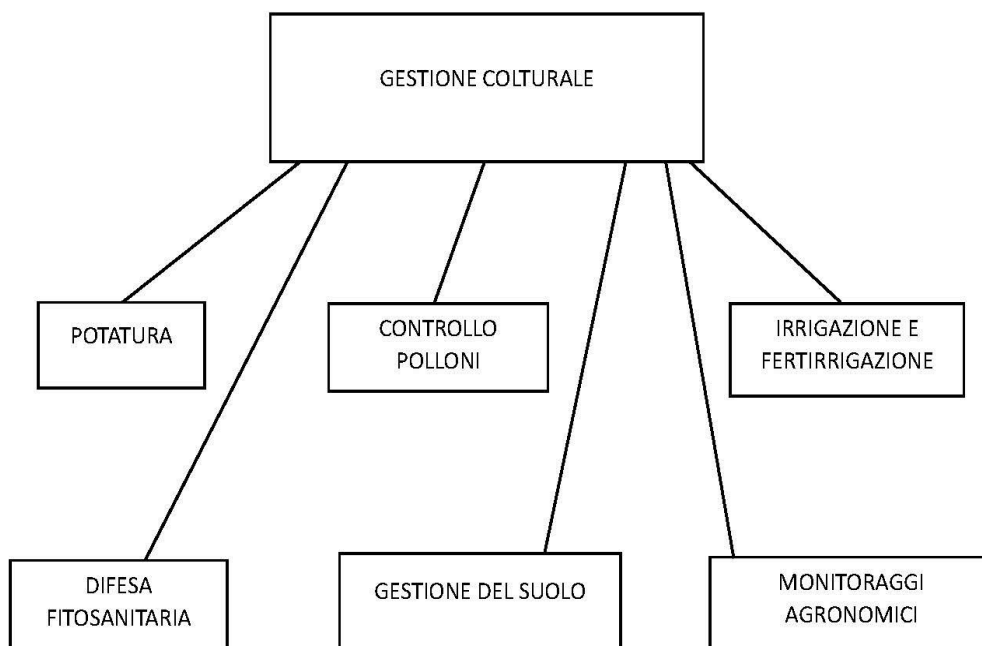
Tuttavia, poiché le nocciole sono prevalentemente commercializzate sgusciate, la loro identificazione morfologica diventa complessa e soggetta a frodi; la soluzione potrebbe venire da tecniche genetiche che permettano di risalire alla cultivar a partire dal seme, tenendo conto che esso presenta una combinazione di DNA materno e paterno. In questo caso, le analisi

dovrebbero concentrarsi sui tessuti materni della nocciola, oppure su marcatori trasmessi esclusivamente dalla pianta madre, rendendo possibile l'estrazione anche dai cotiledoni.

Sebbene il nocciolo non sia ancora incluso nel Servizio nazionale di certificazione vivaistica, l'introduzione di una **certificazione genetico-sanitaria** specifica rappresenterebbe un importante strumento per la protezione delle IGP italiane e per la prevenzione delle frodi lungo l'intera filiera. (23)

3.2 Gestione culturale

Il miglioramento delle tecniche culturali e l'introduzione della meccanizzazione, associati a una più attenta difesa fitosanitaria, hanno rappresentato un'evoluzione fondamentale per garantire la redditività e la sostenibilità delle aziende corilicole.



La gestione culturale rappresenta l'insieme delle pratiche agronomiche necessarie per mantenere efficiente, produttivo e sano il nocciolo nel corso degli anni. Tale gestione si articola nelle seguenti sottofasi (27):

- **Potatura:** ha l'obiettivo di mantenere la **forma** di allevamento scelta; equilibrare il rapporto tra vegetazione e produzione; rinnovare i rami fruttiferi, eliminare legno vecchio, danneggiato o malato; migliorare l'aerazione e l'esposizione alla luce della chioma. Viene eseguita sia manualmente sia meccanicamente, a seconda dell'obiettivo produttivo e delle risorse disponibili.

- **Difesa fitosanitaria:** comprende tutte le azioni volte a proteggere il nocciuolo da **insetti dannosi** (es. cimice asiatica, balanino); **patogeni fungini** (es. oidio, marciumi radicali) e **malattie batteriche e virali**. Gli interventi si basano sull'impiego di agrofarmaci registrati e applicati in modo mirato, secondo i principi della difesa integrata (IPM), integrati da strategie agronomiche di prevenzione, quali l'adozione di rotazioni colturali e l'impiego di cultivar resistenti.
- **Controllo dei polloni:** Il nocciuolo tende naturalmente a produrre numerosi polloni alla base della pianta che ostacolano le lavorazioni meccaniche; competono con la pianta madre per acqua e nutrienti; peggiorano la qualità della produzione. È quindi fondamentale eliminarli periodicamente, con **metodi meccanici** (trinciatura) o **chimici** (diserbo localizzato), compatibilmente con la forma di allevamento.
- **Gestione del suolo:** si riferisce all'insieme delle pratiche volte a conservare la fertilità del terreno; prevenire fenomeni di erosione e compattamento; mantenere una buona struttura del suolo. Include lavorazioni superficiali, inerbimenti controllati, pacciamatura e concimazioni (organiche e minerali) secondo le necessità rilevate da analisi.
- **Irrigazione e fertirrigazione:** l'apporto idrico è fondamentale in fase di attecchimento e durante l'estate, in particolare nei suoli poco profondi o sabbiosi e in annate siccitose. La fertirrigazione consente di apportare nutrienti disciolti nell'acqua irrigua in modo mirato e omogeneo, migliorando l'efficienza d'uso dei fertilizzanti e riducendo le perdite ambientali.
- **Monitoraggi agronomici:** questa fase comprende rilievi visivi e strumentali per valutare lo stato di salute delle piante; analisi fogliari e del suolo; monitoraggio dei parassiti tramite trappole e campionamenti. I dati raccolti supportano le decisioni gestionali, ottimizzando i trattamenti e gli input agronomici.

Questo paragrafo analizza due aspetti chiave della filiera produttiva: da un lato la **meccanizzazione**, intesa come strumento per ridurre i costi di gestione e ottimizzare le

operazioni agronomiche; dall'altro la **difesa fitosanitaria**, focalizzata sulle strategie di lotta integrata contro i principali parassiti e patogeni, inclusa l'adozione di biostimolanti in chiave sostenibile.

3.2.1 *Potatura meccanica*

La potatura meccanica del nocciolo (*Figura 3-1*) rappresenta una tecnica sempre più studiata e adottata per la gestione moderna degli impianti corilicoli. Essa consente di conferire alla chioma delle piante una forma più regolare e siepiforme, favorendo non solo una maggiore uniformità nella vegetazione ma anche un miglioramento dell'efficacia dei trattamenti fitosanitari, grazie a una distribuzione più omogenea degli agrofarmaci mediante atomizzatori.



Figura 3-1: Potatura meccanica del nocciolo

Tra i principali vantaggi della potatura meccanica si evidenzia anche la capacità di attenuare le alternanze produttive tipiche del nocciolo, contribuendo a una maggiore stabilità delle rese nel tempo.

Tuttavia per massimizzare i benefici di questa tecnica e minimizzarne gli effetti negativi, in particolare la riduzione della produzione che può verificarsi nel primo anno successivo all'intervento, è fondamentale definire un **protocollo di taglio** pluriennale. Tale protocollo deve essere calibrato sulla base della vigoria delle cultivar e dei sesti di impianto adottati. Una strategia efficace consiste nella **rotazione** triennale dei filari potati, che consente di ridurre a un terzo il numero di piante interessate annualmente dagli interventi e di distribuire in modo

omogeneo la perdita di produzione sull'intero impianto, mantenendo allo stesso tempo un costante ritmo di rinnovamento vegetativo. Per le cultivar a bassa vigoria, la rotazione può essere estesa fino a cinque anni.

Considerando che la potatura meccanica non è una tecnica selettiva, è prassi comune affiancarla con **interventi manuali** mirati. Questi tagli di rifinitura permettono di rimuovere rami danneggiati, affetti da fitopatie o che ostacolano la crescita equilibrata della pianta.

La potatura manuale del nocciolo non è una pratica comunemente adottata in ambito produttivo e quella meccanica lo è ancor meno. Questa tendenza è riflessa anche nella limitata disponibilità di studi sperimentali sul tema.

Sebbene i benefici della potatura di produzione siano stati documentati, nella pratica attuale la gestione della chioma si limita frequentemente all'eliminazione delle branche esaurite, alla spollonatura e a una modesta rimonda. Nel 2008 è stata condotta una prova di potatura meccanica in un nocciolo di 11 anni allevato a palmetta irregolare (5×5 m) a Lu Monferrato (AL), al fine di valutare l'efficacia di diverse intensità di intervento. Sono state confrontate cinque tesi: potatura solo su lato est, su lato ovest, su entrambi i lati (hedging), hedging con topping (asportazione della parte apicale della chioma) e controllo non potato.

La **produzione media** per pianta è risultata inferiore nelle tesi con hedging e topping (circa -20%), a causa della maggiore asportazione di legno fruttifero, sebbene le differenze non siano risultate statisticamente significative. Le potature su un solo lato hanno invece determinato una maggiore produzione sul lato opposto, evidenziando una redistribuzione dell'attività produttiva.

Per quanto riguarda la **qualità**, la percentuale di frutti vuoti e il peso medio della nocciola non hanno mostrato differenze significative tra le tesi. La **resa** allo sgusciato è risultata influenzata dalla potatura, con valori minimi nel trattamento hedging con topping e massimi nella potatura sul solo lato ovest. La percentuale di **nocciole sane** è stata generalmente superiore nelle tesi potate rispetto al controllo.

Nel complesso, la potatura meccanica ha mostrato buone potenzialità nel migliorare la qualità del prodotto, con effetti produttivi variabili, associati a una drastica riduzione dei tempi operativi rispetto alla potatura manuale.

(28)

3.2.2 Difesa fitosanitaria del nocciolo: entomologia applicata e strategie di contenimento

La coltivazione del nocciolo in Campania, come nel resto d'Italia, è soggetta a numerose avversità biotiche, tra cui fitopatie fungine, infezioni batteriche, acari e in misura crescente **insetti fitofagi** (29). Tra questi ultimi le cimici *Gonocerus acuteangulatus* (G.) (Figura 3-2), *Palomena prasina* (L.) e *Nezara viridula* (L.) sono state storicamente considerate fitofagi di secondaria importanza, con danni occasionali e limitati ad areali specifici. Tuttavia negli ultimi anni, è stato registrato un significativo aumento delle segnalazioni di danni gravi riconducibili alla presenza di queste specie; fenomeno noto come **cimiciato**.



Figura 3-2: Adulto di *Gonocerus acuteangulatus* (G.) (12-15 mm); esemplare appartenente alla famiglia dei Coreidi

Il **cimiciato** (Figura 3-3) è un complesso di alterazioni fisiologiche e organolettiche che colpiscono il seme del nocciolo a seguito della puntura inferta dagli insetti adulti e dalle ninfe. L'insetto inserisce i propri stiletto boccali nel frutto durante la fase di accrescimento del seme, quando il guscio non è ancora lignificato, determinando modificazioni chimiche e strutturali del tessuto interno. Dal punto di vista **fenotipico**, le nocciole colpite presentano un seme raggrinzito con macchie necrotiche brunastre, eventuali depressioni dei tessuti periferici e un alone scuro a livello della lesione. Tali alterazioni compromettono le caratteristiche organolettiche del frutto, conferendogli un odore rancido e un sapore sgradevole, con conseguente perdita di valore commerciale al momento della sgusciatura.

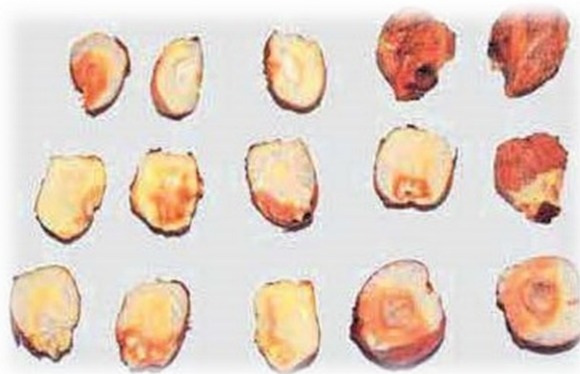


Figura 3-3: Cimiciato; tipico danno causato alle nocciole dalle punture di cimici

Nel biennio 2009–2010, è stata avviata un'indagine straordinaria finanziata dall'Assessorato all'Agricoltura della Regione Campania che ha coinvolto 31 aziende corilicole delle province di Caserta, Avellino, Napoli e Salerno, nonché due aziende biologiche ubicate nei comuni di Gaiano (SA) e Palma Campania (NA).

L'indagine si è articolata nel monitoraggio settimanale delle popolazioni di cimici nel periodo maggio – agosto, nell'identificazione delle specie presenti e nella valutazione dell'incidenza del cimiciato e delle caratteristiche qualitative dei frutti. Il monitoraggio è stato effettuato mediante tecnica del *frappage*, consistente nello **scuotimento** della chioma di due piante adiacenti sopra un telo; è stata eseguita nelle prime ore del mattino per favorire la cattura degli insetti.

Nel 2009, la **soglia di intervento** fissata dai disciplinari regionali di difesa integrata (5–6 individui/piante) è stata superata in diverse località delle province di Salerno, Avellino e Napoli. In provincia di Caserta, invece, non è stata mai superata. Nel 2010, la soglia è stata raggiunta solo in tre comuni (Serino, Cellara, Curti), mentre nelle restanti aziende monitorate l'incidenza è rimasta al di sotto del livello critico. Nelle aziende biologiche le catture sono risultate contenute; l'incidenza maggiore osservata a Gaiano è stata attribuita alla presenza di vegetazione spontanea adiacente al nocciolo.

Parallelamente è stata condotta un'**analisi qualitativa** su 80 campioni aziendali, valutando sia il cimiciato sia il fenomeno dell'avariato (alterazioni del seme causate da muffe, fermentazioni). L'analisi statistica ha evidenziato un incremento significativo di entrambe le alterazioni nel 2010 rispetto al 2009, con la provincia di Napoli che ha mostrato la più elevata incidenza di cimiciato (12,15%). (*Figura 3-4*)

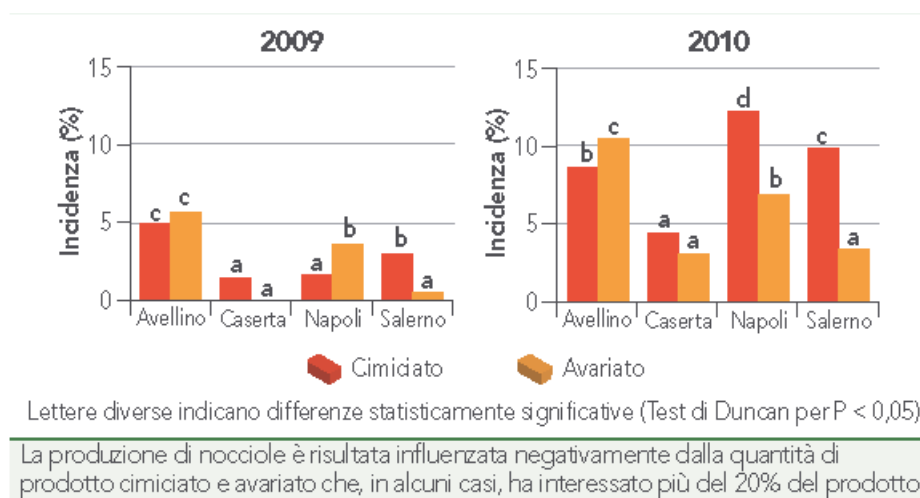


Figura 3-4: Incidenza percentuale di cimiciato e di avariato nelle diverse province campane monitorate nel biennio 2009-2010.

Le condizioni pedoclimatiche, la gestione del suolo e le pratiche post-raccolta incidono in modo determinante sulla qualità delle nocciole. La permanenza dei frutti al suolo dopo la cascola favorisce l'assorbimento di umidità e l'avvio di processi fermentativi, con conseguente riduzione del valore commerciale.

Il contenimento delle cimici nocciolaie richiede un approccio integrato di tipo agronomico, entomologico e fitosanitario. La variabilità territoriale delle infestazioni rende necessari sistemi di monitoraggio localizzati, mentre la progressiva riduzione dei principi attivi a largo spettro, conseguente alla direttiva 91/414/CEE, impone interventi chimici mirati e correttamente posizionati nel ciclo biologico dell'insetto.

Si conferma infine l'importanza delle buone pratiche di raccolta e conservazione, quali la raccolta scalare, l'essiccazione rapida e il corretto stoccaggio, fondamentali per preservare la qualità del prodotto e garantire una gestione più stabile dell'offerta commerciale.

3.2.3 Biostimolazione del nocciolo: efficacia agronomica e valutazioni ecofisiologiche

Nel quadro di sviluppo della corilicoltura assumono particolare rilevanza gli **interventi biostimolanti** che, in conformità al Regolamento CE 2019/1009 (Commissione Europea, 2023), sono definiti come prodotti derivati da matrici naturali (inclusi microrganismi) impiegati per sostenere le colture da un punto di vista agronomico ed ecofisiologico. Sebbene i biostimolanti siano già largamente applicati in colture erbacee, le esperienze nel settore frutticolo e in particolare sul nocciolo, sono ancora limitate e richiedono validazioni in condizioni reali di campo.

Nel 2024, nell’ambito dell’iniziativa “Biostimolanti in Campo” promossa da *L’Informatore Agrario*, è stata avviata una sperimentazione su un impianto adulto di nocciolo nel Viterbese, con l’obiettivo di valutare l’effetto di differenti tesi biostimolanti sull’attività vegetativa, produttiva e qualitativa delle piante. (30)

La campagna sperimentale si è svolta in un nocciolo adulto di 8 ha della cultivar *Tonda Gentile Romana*, situato nella Tenuta Longinotti a Ronciglione (VT), allevato a cespuglio policaule con sesto d’impianto 5×5 m (*Figura 3-5*).



Figura 3-5: Veduta generale di filari di nocciolo sottoposto a biostimolazione nella stagione vegeto-produttiva 2024

All’interno dell’appezzamento sono state delimitate tre parcelle sperimentali da 2 ettari ciascuna, corrispondenti a **tre tesi di trattamento**:

- **Tesi A:** trattamenti con tre biostimolanti commerciali fogliari;
- **Tesi B:** trattamento unico con Kelpak® all’1%;
- **Tesi C:** controllo non trattato con biostimolanti.

I trattamenti sono stati effettuati tramite **irrorazione con atomizzatore**, utilizzando un volume d'acqua medio di 500 L/ha.

Una componente centrale della sperimentazione ha riguardato l'acquisizione e l'analisi di immagini multispettrali da satellite Sentinel 2, utilizzate per calcolare il **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**, ovvero un **indice biofisico** derivato dalle riflettanze spettrali nelle bande del rosso (RED) e del vicino infrarosso (NIR), utilizzato per il monitoraggio della vigoria delle colture.

Valori **elevati** di NDVI (tipicamente tra 0,6 e 0,9) indicano una **vegetazione attiva**, con buona efficienza fotosintetica, mentre valori più **bassi** segnalano **stress fisiologico**, senescenza o copertura vegetale scarsa.

Nella sperimentazione in oggetto, otto rilievi NDVI sono stati condotti durante la stagione vegetativa, evidenziando valori inizialmente superiori nelle tesi trattate, seguiti da una flessione generale in tutte le parcelle nel periodo estivo. La **tesi C (controllo)** ha mostrato una riduzione più marcata dell'indice NDVI, suggerendo una minore efficienza fotosintetica e un maggior impatto dello stress termico.

Contestualmente, sono stati effettuati rilievi a terra ("ground truth") con fogliarimetro **Dualex®** (*Figura 3-6*), misurando il contenuto di clorofilla, la concentrazione di antociani e flavonoidi e l'indice di bilancio azotato (NBI). Le tesi A e B hanno mostrato maggiore clorofilla nelle foglie e NBI inferiore, indicando una migliore traslocazione dell'azoto verso i frutti.

Le stesse piante "check" sono state raccolte manualmente per valutare resa in sgusciato, nocciole vuote e seme incompleto. Inoltre, è stata effettuata raccolta meccanica per quantificare la produzione lorda a ettaro. I **risultati** hanno mostrato incrementi produttivi nelle parcelle trattate rispetto al controllo, in linea con gli effetti fisiologici e vegetativi osservati. La tesi A ha raggiunto una media di 6,5 kg/pianta, seguita dalla tesi B (5,3 kg) e dal controllo (4,7 kg). Le **rese** a ettaro hanno confermato il trend, con 3,4–3,5 t/ha nelle tesi biostimolate contro 2,7 t/ha nel controllo.

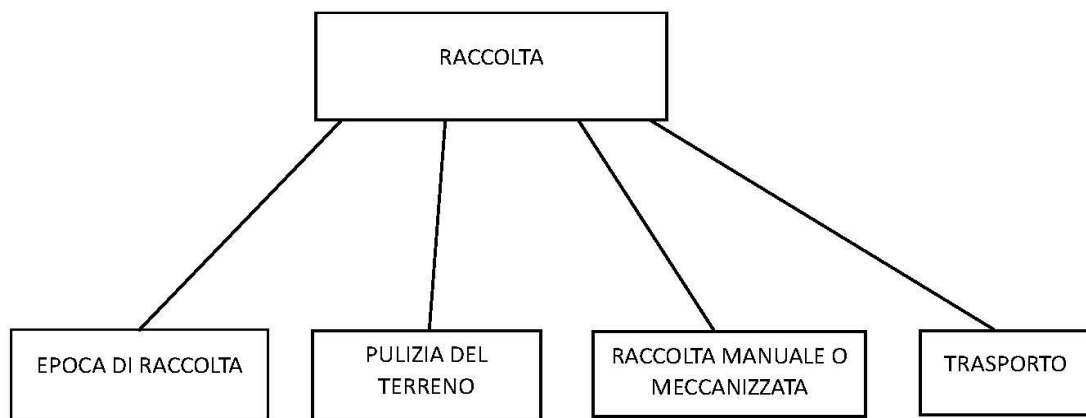
La sperimentazione ha evidenziato l'efficacia agronomica dei trattamenti biostimolanti, sia dal punto di vista eco-fisiologico (NDVI, clorofilla, NBI), sia in termini di rese produttive e qualità del frutto. L'adozione di strumenti digitali e analisi multispettrali, abbinati a rilievi in campo e protocolli analitici consolidati, ha permesso di costruire una valutazione multidimensionale e integrata dell'impatto dei biostimolanti nella coltura del nocciolo.



Figura 3-6: Esempio di rilievo eco-fisiologico non distruttivo su foglia di nocciolo con impiego di fogliarimetro digitale (Dualox)

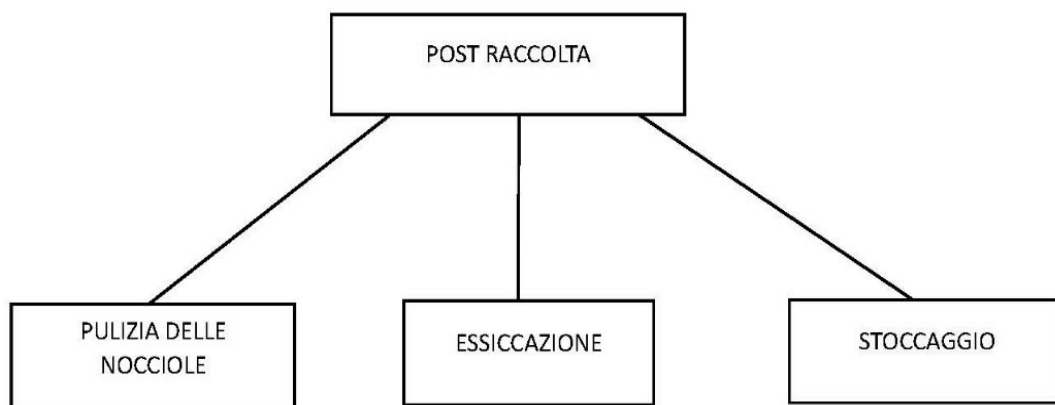
3.3 Raccolta e post-raccolta

Raccolta e post raccolta rappresentano due fasi cruciali nella filiera del nocciolo, in quanto influiscono in modo significativo sulla qualità del prodotto finale. Esse comprendono una serie di **operazioni** e aspetti gestionali, ciascuno con un ruolo specifico per garantire l'efficienza e l'efficacia dell'operazione.



- **Epoca di raccolta:** Stabilire il momento ottimale per la raccolta è fondamentale per ottenere nocciole di elevata qualità. L'epoca ideale si colloca solitamente da agosto a novembre quando i frutti sono completamente **maturi** e si staccano naturalmente dal ramo, cadendo a terra. Raccogliere troppo presto comporta una pezzatura ridotta e tenori lipidici non ottimali, mentre un ritardo può determinare un aumento delle perdite per danni meccanici o attacchi di patogeni;
- **Pulizia del terreno:** Prima della raccolta, il terreno deve essere pulito da erbe infestanti, residui colturali e ostacoli che potrebbero interferire con il funzionamento delle macchine raccogliatrici. Una superficie uniforme facilita la raccolta meccanizzata e riduce i rischi di contaminazione del prodotto con materiali estranei (sassi, terra, rami secchi). (31)

- **Raccolta manuale o meccanizzata:** La raccolta delle nocciole può avvenire in modo manuale o meccanizzato, a seconda della scala dell'impianto, della morfologia del terreno e del livello di meccanizzazione aziendale. Nei piccoli impianti o nelle zone collinari e impervie, si predilige la **raccolta manuale**, talvolta agevolata dall'uso di reti posizionate sotto gli alberi per facilitare la raccolta del frutto. In queste aree si utilizzano anche soffiatori per eliminare foglie e detriti prima della raccolta vera e propria. Nelle zone pianeggianti, invece, è più frequente l'impiego di **sistemi meccanizzati** che permettono una raccolta più efficiente e meno dispendiosa in termini di manodopera. Si usano macchine aspiratrici che passano sotto le piante oppure tubi aspiratori che sollevano le nocciole da terra, spesso precedentemente riunite in **andane** (mucchietti ordinati formati manualmente o con l'aiuto di rastrelli e attrezzature specifiche). (32) Tra i macchinari utilizzati vi sono anche le **raccattatrici**, trainate da trattore o semoventi. L'efficacia della raccolta meccanizzata dipende però da una buona preparazione del terreno e dalla presenza di frutti ben maturi e già caduti. La raccolta oggi è quasi completamente meccanizzata; prove condotte in Sicilia con raccattatrici semiportate hanno evidenziato che una preparazione adeguata del terreno (trinciatura e andanatura) consente un aumento del 48% nella velocità di avanzamento e del 39% nel rendimento. (31) Le macchine sono dotate di sistemi rotanti, coclee, defogliatori e ventilatori. In condizioni ottimali, la produttività può arrivare a 2–3 ha/giorno con una resa oraria di 650–750 kg.
- **Trasporto:** una volta raccolte, le nocciole devono essere trasportate rapidamente ai centri di essiccazione o trasformazione. Durante questa fase, è fondamentale evitare condizioni che favoriscano l'umidità e la fermentazione, per preservare le caratteristiche organolettiche e la conservabilità del prodotto. (32)



La fase di post raccolta si suddivide nelle seguenti sottofasi: (33)

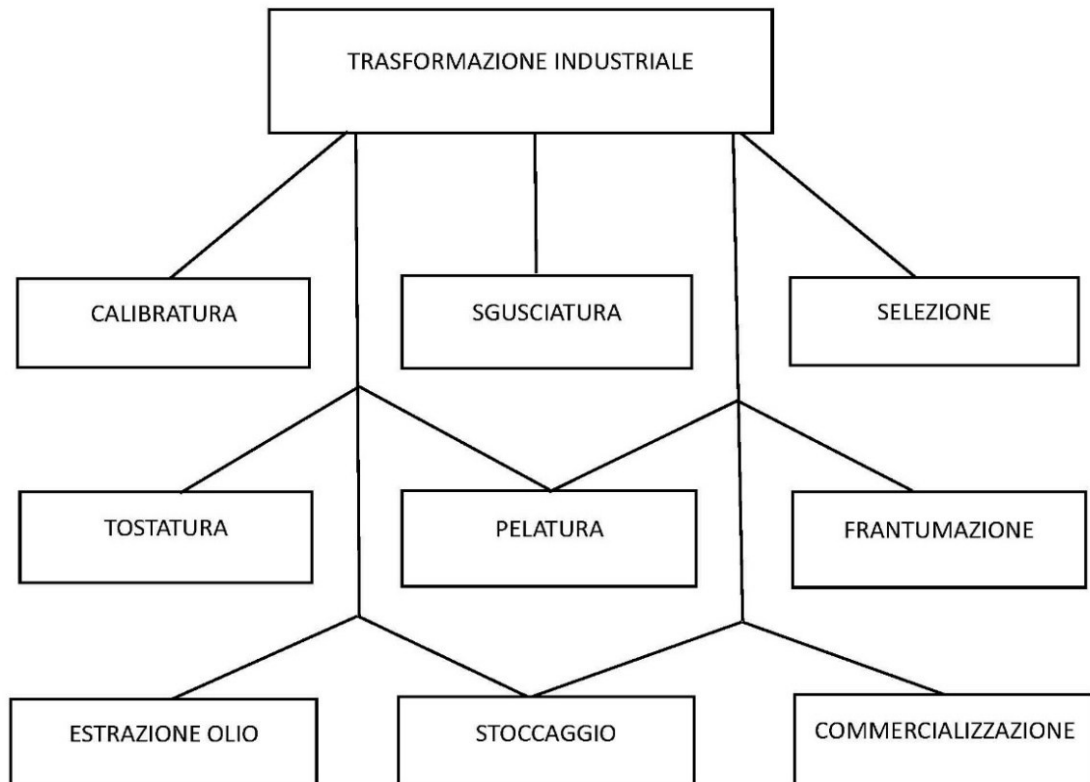
- **Pulizia delle nocciole:** subito dopo la raccolta, le nocciole devono essere sottoposte a un'accurata operazione di pulizia. Questa fase è finalizzata all'eliminazione di impurità come foglie, terra, gusci vuoti o danneggiati e altri residui organici. La pulizia può avvenire attraverso vagliatura, soffiatura e separazione meccanica con macchine **vibranti smallatrici** garantendo così un prodotto più omogeneo e privo di elementi che potrebbero comprometterne la conservazione o la trasformazione industriale.
- **Essiccazione:** L'essiccazione costituisce una fase cruciale nella lavorazione post-raccolta delle nocciole, finalizzata a ridurre il contenuto di umidità del frutto a valori inferiori al 6%, condizione indispensabile per prevenire fenomeni di fermentazione, la formazione di muffe e la proliferazione di microrganismi patogeni. Tale processo garantisce non solo la conservabilità del prodotto, ma contribuisce al mantenimento delle sue caratteristiche organolettiche. L'essiccazione può essere realizzata mediante due modalità principali: naturale e artificiale. Nel **metodo naturale**, le nocciole vengono distribuite su graticci e

lasciate esposte all'aria aperta e alla luce solare, in condizioni climatiche favorevoli. Durante questa fase, il frutto perde gradualmente il contenuto idrico fino a raggiungere un'**umidità interna** pari al 6% e un'**umidità superficiale** compresa tra il 10 e l'11%, come rilevato mediante igrometro. In alternativa, si impiegano **essiccatoi** a movimento continuo che utilizzano aria tiepida a temperature controllate, generalmente non superiori a 35-37 °C. È fondamentale che la temperatura interna del seme non superi i 32 °C per evitare l'**irrancidimento** dei grassi. Il ciclo di essiccazione artificiale si articola in una fase di riscaldamento della durata di 7-9 ore, seguita da un periodo di raffreddamento di pari durata, finalizzato alla stabilizzazione del prodotto. Una corretta essiccazione risulta pertanto essenziale per garantire la qualità e la durata della nocciola, preservandone al contempo le proprietà sensoriali e nutrizionali.

- **Stoccaggio:** Dopo l'essiccazione, le nocciole devono essere conservate in ambienti che garantiscano condizioni ottimali per mantenere intatte le loro proprietà organolettiche e nutrizionali fino alla successiva fase di trasformazione o commercializzazione. È pertanto necessario che i locali di stoccaggio siano adeguatamente areati, asciutti e protetti dalla luce, nonché da agenti infestanti quali insetti e roditori. Il controllo dell'umidità relativa e della temperatura risulta fondamentale: l'**umidità** deve essere mantenuta a livelli bassi, preferibilmente inferiori al 5%, mentre la **temperatura** ideale di conservazione è intorno ai 4 °C. Tradizionalmente, le nocciole in guscio venivano conservate in soffitte e magazzini asciutti, freschi e ventilati. Attualmente, l'adozione di moderne celle frigorifere permette di mantenere condizioni più controllate, spesso con l'impiego di atmosfere modificate, in particolare con un'elevata concentrazione di azoto (circa il 99%), che contribuisce a prevenire l'irrancidimento dei grassi e a rallentare i processi di degradazione. Questo tipo di conservazione permette un'ulteriore maturazione del frutto, migliorandone le caratteristiche organolettiche e la qualità complessiva del prodotto. Per la conservazione si utilizzano differenti contenitori, quali silos, sacchi traspiranti o contenitori in legno, scelti in base alle esigenze dell'azienda e alla durata prevista dello stoccaggio.

3.4 Trasformazione industriale

La trasformazione industriale della nocciola rappresenta una fase cruciale della filiera corilicola, poiché consente di rendere il prodotto adatto al consumo diretto o all'impiego nell'industria alimentare e dolciaria. Questa fase comprende numerose operazioni tecniche, che richiedono attrezzature specifiche e il rispetto di rigorosi standard qualitativi e igienico-sanitari.



La trasformazione industriale comprende le seguenti operazioni: (33)

- **Calibratura:** nella lavorazione industriale della nocciola, la calibratura può essere effettuata sia prima sia dopo la sgusciatura, a seconda degli obiettivi produttivi. La calibratura preliminare, svolta sul frutto intero con guscio, permette di classificare

le nocciole in base alla **dimensione**, ottimizzando così la fase di sgusciatura e indirizzando i frutti verso le diverse linee di lavorazione o commercializzazione. Questa selezione aiuta a regolare le macchine sgusciatrici per ridurre il rischio di danneggiamento del gheriglio e a destinare le nocciole alla vendita in guscio o alla trasformazione. La calibratura effettuata dopo la sgusciatura, invece, uniforma le dimensioni dei gherigli, facilitando le operazioni successive di tostatura, pelatura e frantumazione e consentendo di destinare il prodotto a specifici semilavorati come granella, farina o pasta. In generale, la calibratura è una delle prime operazioni industriali eseguite dopo l'essiccazione, fondamentale per adattare i tempi e le temperature delle lavorazioni successive in funzione delle diverse dimensioni dei frutti. Il processo avviene tramite **calibratori** a vagli vibranti o rulli rotanti, dotati di fori a grandezza progressiva, che permettono una selezione accurata. Le principali classi di calibratura sono due: inferiore a 11 mm, destinata principalmente alla produzione di semilavorati come granella, farina e pasta di nocciole; tra 11 e 16 mm, destinata invece alla commercializzazione del prodotto intero, sia crudo che tostato. Questa suddivisione consente una razionale destinazione del prodotto in base al tipo di trasformazione finale desiderata.

- **Sgusciatura:** è la fase successiva alla calibratura e consiste nella rimozione del **guscio** legnoso esterno delle nocciole, con l'obiettivo di mantenere integro il gheriglio. Si tratta di un'operazione particolarmente delicata, in quanto incide notevolmente sul rendimento produttivo e sulla qualità del prodotto finale. L'operazione viene eseguita mediante **sgusciatori** professionali, equipaggiati con rulli o dischi frantumatori, la cui regolazione deve essere estremamente precisa per evitare una frammentazione eccessiva dei semi. Una volta rotto il guscio, il gheriglio viene separato dai residui tramite sistemi di aspirazione, tavole densimetriche o separatori pneumatici, garantendo così una pulizia efficace e un prodotto di elevata qualità.
- **Selezione:** dopo la sgusciatura le nocciole vengono sottoposte a una **selezione meccanica o manuale**, per eliminare gherigli difettosi, vuoti, danneggiati, alterati da muffe o attacchi parassitari. La selezione può avvenire tramite sistemi ottici

(color sorters), separatori per densità e selezione manuale su nastri trasportatori. Questa fase è fondamentale per garantire l'integrità sanitaria e sensoriale della materia prima trasformata.

- **Tostatura:** rappresenta una fase termica fondamentale nel processo di trasformazione industriale della nocciola, volta a migliorare aroma, sapore e digeribilità del prodotto. Essa comporta cambiamenti significativi nel colore, nella consistenza e nel profilo aromatico delle nocciole, oltre a determinare la parziale distruzione di allergeni e tossine eventualmente presenti. Il processo si svolge in **forni ventilati**, tipicamente a tamburo rotante o a tunnel, con flussi d'aria compresi tra 0,3 e 3 m/s. Le **temperature** utilizzate variano generalmente tra 100 °C e 160 °C, mentre la **durata** della tostatura può oscillare tra i 10 e i 60 minuti in funzione della pezzatura del frutto e del grado di tostatura desiderato. Durante la tostatura, l'**umidità interna** della nocciola diminuisce dal 4-6% fino ad arrivare all'1-3%, favorendo una migliore conservazione. La scelta di tempi, temperature e flussi d'aria dipende dal tipo di prodotto finale che l'industria intende ottenere. È importante evitare tostature eccessivamente prolungate, che possono compromettere la qualità organolettica e favorire la degradazione degli acidi grassi insaturi, causando irrancidimento. Una tostatura correttamente eseguita, inoltre, facilita la pelatura delle nocciole.

L'importanza di questa fase ha portato alla nascita di figure specializzate, i cosiddetti “**maestri tostatori**”, che basandosi sull'esperienza e sull'analisi delle nocciole crude, regolano i parametri di tostatura per ottenere risultati ottimali. Un esempio è *Eugenio Meinardi*, maestro tostatore dell'Astigiano, il quale considera fattori quali il metodo di coltivazione (integrato o convenzionale con uso di prodotti chimici) e propone tre livelli di tostatura: light, medium e strong.

La **tostatura light** (leggera), condotta a temperature tra 160 °C e 185 °C per 15-45 minuti, è indicata per prodotti destinati al consumo immediato, quali granella, farina e pasta di nocciole. La **tostatura medium** (media), adatta a prodotti come il cioccolato gianduia o il tartufo al cioccolato, permette una conservazione fino a 15 giorni. Infine, la **tostatura strong** (forte) è utilizzata per prodotti da forno come biscotti e torte, garantendo una durata di conservazione più lunga.

In sintesi, la tostatura conferisce al frutto caratteristiche aromatiche e gustative peculiari, essenziali per la qualità del prodotto finito, e rappresenta una fase imprescindibile nel ciclo di lavorazione industriale della nocciola.

- **Pelatura:** consiste nella rimozione della sottile **pellicola** (cuticola) che riveste il gheriglio. Essa avviene solitamente dopo la tostatura, mediante l'azione meccanica di spazzole rotanti o sistemi ad abrasione. La pellicina, se non rimossa, può conferire sapori amari e peggiorare la qualità estetica del prodotto. La pelatura può essere effettuata anche a vapore, ma questo metodo è meno utilizzato a livello industriale per le nocciole.
- **Frantumazione:** con questa operazione, le nocciole vengono trasformate in granella, farina o pasta, a seconda della destinazione finale. Si tratta di una fase centrale nella filiera di trasformazione poiché consente di ottenere semilavorati fondamentali per l'impiego in ambito dolciario, pasticceria e alimentare in generale. La **granella di nocciole** si ottiene tramite una frantumazione grossolana, realizzata mediante rulli o lame, che spezzano il frutto in piccoli pezzetti. Questo prodotto viene ampiamente utilizzato per la decorazione di dolci, come torte, biscotti e semifreddi, ma trova impiego anche nella cucina salata, ad esempio per la panatura di filetti di pesce o crostacei. Procedendo con una macinazione più fine, si ottiene la **farina di nocciole**, un prodotto dalla consistenza polverosa, utilizzato in sostituzione parziale o totale della farina tradizionale in numerose preparazioni da forno. Sebbene in ambito commerciale il termine "farina" sia storicamente legato a quella di frumento, anche la frutta secca può essere macinata fino a ottenere una polvere finissima. L'industria alimentare impiega appositi **grinder** o **molini** per raggiungere il grado di finezza desiderato, ma è possibile realizzare una farina artigianale anche a livello domestico, servendosi di un cutter. La trasformazione può proseguire fino a ottenere la **pasta di nocciole** (detta anche "manteca"), un semilavorato denso e cremoso, molto utilizzato da pasticceri e gelatieri. La pasta viene prodotta attraverso l'utilizzo di raffinatrici a sfere, che frantumano e omogeneizzano la nocciola fino a raggiungere una granulometria di 25 micron o inferiore. Per preservare le caratteristiche organolettiche e impedire la separazione dell'olio naturale contenuto nel frutto, è fondamentale che questa

lavorazione avvenga a bassa temperatura. La pasta può essere impiegata direttamente nella preparazione di creme spalmabili, dolci industriali o come base per l'estrazione dell'olio di nocciola.

- **Estrazione dell'olio:** L'olio di nocciola è uno dei prodotti più pregiati ottenuti dalla lavorazione del frutto grazie alle sue eccellenti proprietà nutrizionali, cosmetiche e organolettiche. L'estrazione avviene a partire dalla **pasta** ottenuta dalla macinazione delle nocciole, precedentemente tostate o lasciate crude a seconda della qualità desiderata. Il metodo più diffuso per ottenere un olio di alta qualità è la spremitura meccanica a freddo, che consente di estrarre il prodotto senza l'impiego di solventi chimici, mantenendo intatti i **composti bioattivi** presenti nella nocciola, come gli acidi grassi monoinsaturi (soprattutto acido oleico), i fitosteroli e la vitamina E (34). Durante questa fase, la pasta viene pressata mediante presse idrauliche o a vite, mantenendo la temperatura sotto i 40 °C per evitare il degrado termico dei nutrienti.

L'olio ottenuto può essere lasciato decantare o sottoposto a filtrazione per rimuovere le impurità solide, migliorando così la limpidezza e la conservabilità. Il risultato è un olio di colore dorato, dal profumo delicato e tostato e dal gusto dolce e persistente. Oltre all'uso alimentare, trova impiego anche nel settore cosmetico e farmaceutico grazie alle sue proprietà antiossidanti, emollienti e dermocompatibili. A livello industriale, per aumentare la resa si può ricorrere all'**estrazione mediante solventi**, ad esempio con esano; tuttavia questa tecnica comporta la perdita di una parte dei composti volatili e nutrizionali, ed è quindi meno indicata per usi alimentari di pregio. Una tecnica alternativa ad alto rendimento è l'**estrazione con CO₂ supercritica**, particolarmente apprezzata in ambito cosmetico e nutraceutico per la sua capacità di ottenere un olio estremamente puro e privo di residui chimici. (35)

- **Stoccaggio:** Il prodotto finito, in guscio o sgusciato, viene stoccato in condizioni ambientali controllate. Tradizionalmente veniva conservato in soffitte o magazzini ventilati, oggi si utilizzano celle frigorifere a 4 °C e umidità relativa inferiore al 5%, oppure sistemi in atmosfera modificata con azoto (99%). Una corretta conservazione è essenziale per mantenere le proprietà nutrizionali, prevenire l'irrancidimento dei lipidi e garantire la sicurezza microbiologica del prodotto. (33)

- **Commercializzazione:** La fase di commercializzazione rappresenta il momento conclusivo della filiera corilicola, in cui il prodotto grezzo o trasformato viene immesso sul mercato per la vendita al consumatore finale o all'industria alimentare e dolciaria. Le nocciole possono essere commercializzate in diverse forme: in guscio, sgusciate, tostate, pelate, o come semilavorati quali granella, farina, pasta o olio.

Il prodotto in **guscio** viene destinato prevalentemente alla vendita diretta nei canali della grande distribuzione organizzata (GDO) o nei mercati ortofrutticoli, spesso confezionato in sacchi da 5-25 kg oppure in formati più piccoli per uso domestico. In questa forma la **conservabilità** è più elevata, purché siano rispettate condizioni ambientali ottimali: umidità inferiore al 5%, temperatura intorno ai 4 °C e assenza di luce, per prevenire l'irrancidimento dei lipidi. (36)

Le **nocciole sgusciate** e trasformate sono invece maggiormente indirizzate all'industria dolciaria, in particolare nella produzione di cioccolato, creme spalmabili, gelati e prodotti da forno. L'Italia in particolare è uno dei principali Paesi esportatori di nocciole trasformate, grazie alla presenza di grandi gruppi industriali (come Ferrero) e consorzi locali che valorizzano le **produzioni certificate a denominazione geografica protetta** come la "Nocciola Piemonte I.G.P.", la "Nocciola di Giffoni I.G.P." e la "Nocciola Romana D.O.P.". (37)

Negli ultimi anni si è assistito anche a una crescente diversificazione dei canali di vendita con un incremento dell'e-commerce, delle vendite dirette in azienda, dei mercati contadini e della promozione del prodotto attraverso i circuiti turistico-gastronomici. In questo contesto le nocciole di alta qualità sono sempre più richieste da pasticceri e chef che ne valorizzano le caratteristiche organolettiche. Particolare attenzione è rivolta anche all'**etichettatura** e alla **tracciabilità**, elementi fondamentali per garantire trasparenza e sicurezza al consumatore. In Italia, molte aziende si sono dotate di certificazioni come **BIO, I.G.P., D.O.P.** o **BRC/IFS** per l'export, migliorando l'immagine del prodotto sui mercati internazionali. (38)

3.4.1 *L'impegno industriale nella filiera corilicola: il caso Ferrero*

Negli ultimi anni, la crescente domanda di nocciole da parte dell'industria alimentare, in particolare da aziende leader come **Ferrero**, ha determinato un rafforzamento del comparto corilicolo italiano e una maggiore attenzione alla sostenibilità e alla qualità della produzione nazionale. Ferrero, in linea con la propria strategia di approvvigionamento responsabile, ha assunto un ruolo attivo nel sostenere e valorizzare la filiera nazionale del nocciolo, con l'obiettivo di garantirne la disponibilità in termini di quantità, tracciabilità e standard qualitativi.

Il contributo dell'azienda si concretizza attraverso una serie di iniziative che ruotano attorno a tre pilastri fondamentali: **sostenibilità, qualità e innovazione**. Tra le principali attività figurano la promozione della piena tracciabilità della produzione nazionale (raggiunta al 100% in Italia), la distribuzione di linee guida per la coltivazione sostenibile, la tutela della qualità tramite buone pratiche agricole e post-raccolta, e la partecipazione attiva ai tavoli tecnici di filiera.

L'impegno diretto di Ferrero si articola in tre iniziative principali:

1. **Progetto Nocciola Italia**

L'obiettivo di questo progetto è la costruzione di una filiera integrata e collaborativa tra industria e produttori, fondata su una visione di lungo termine. L'iniziativa incentiva l'adozione diffusa di pratiche sostenibili e tecniche volte alla salvaguardia della qualità del prodotto. Tra le azioni messe in campo vi sono:

- la formazione costante degli operatori di filiera sui temi ambientali, sociali e di trasparenza;
- la promozione di nuove piantumazioni in aree vocate, con preferenza per territori marginali e al di fuori delle regioni storiche di coltivazione;
- l'attivazione di contratti di acquisto a lungo termine, indicizzati secondo i costi standard di produzione calcolati da ISMEA.

2. **Progetto Demo Farm**

Questa iniziativa mira alla creazione di una **rete** di noccioleti modello (demo farm) pensata per diffondere, mediante azioni dimostrative e formazione diretta, le migliori pratiche agronomiche, ambientali e sociali. Le sei demo farm già avviate hanno ciascuna una missione specifica, definita in funzione delle peculiarità produttive locali: rigenerazione di impianti esistenti, protezione ambientale, sviluppo di nuove colture. Le attività includono giornate

formative in campo, visite tecniche, eventi divulgativi e promozione dei principi dell'agricoltura rigenerativa (es. risparmio idrico, riduzione degli input chimici, gestione sostenibile del suolo e dei residui di potatura).

3. Formazione continua

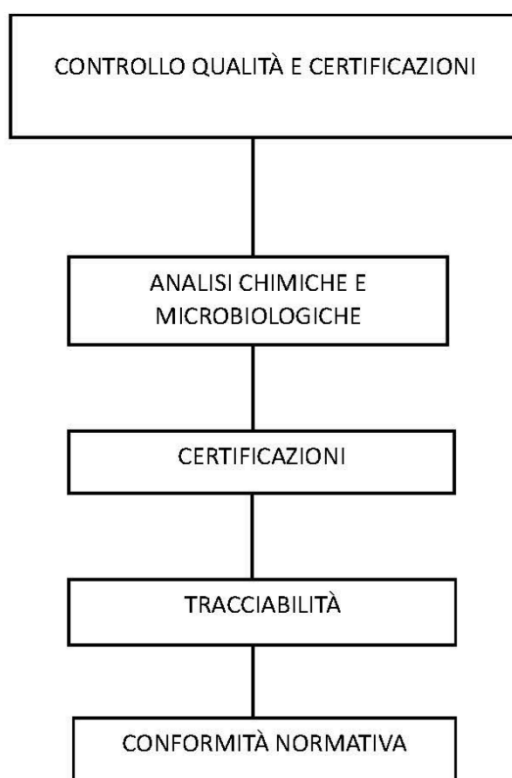
Considerata centrale per l'adozione diffusa di buone pratiche, la formazione è promossa tramite:

- supporto tecnico in campo e incontri con gruppi di produttori;
- organizzazione di seminari, webinar e workshop locali, in collaborazione con enti di ricerca e partner territoriali;
- attività educative presso scuole tecniche, università e centri di ricerca, con l'intento di coinvolgere anche le future generazioni di agricoltori e tecnici.

L'approccio integrato di Ferrero rappresenta un modello virtuoso di collaborazione tra industria e produzione primaria, volto non solo alla sicurezza dell'approvvigionamento, ma anche al miglioramento continuo della qualità, della sostenibilità e della competitività della filiera corilicola italiana. (39)

3.5 Controllo qualità e certificazioni

La fase di controllo qualità e certificazioni è una componente fondamentale nella filiera della nocciola, poiché garantisce la sicurezza alimentare, la conformità normativa e il rispetto degli standard qualitativi richiesti dal mercato nazionale e internazionale. Questo processo si articola in diverse sottofasi, ciascuna con specifiche finalità e strumenti di verifica.



- **Analisi chimiche e microbiologiche:** le analisi chimiche vengono eseguite per valutare la composizione nutrizionale e la stabilità del prodotto. Tra i parametri monitorati rientrano il contenuto in **umidità**, la percentuale di **grassi**, l'indice di **acidità libera** e il valore di **perossidi**, indicatori fondamentali per identificare eventuali processi ossidativi in atto che potrebbero comprometterne la qualità. Queste analisi sono effettuate mediante strumenti quali spettrofotometri, titolatori automatici e cromatografi. La loro accuratezza è essenziale per garantire la

conservabilità e la qualità organolettica della nocciola trasformata. Le **verifiche microbiologiche** hanno lo scopo di accertare l'assenza di microrganismi patogeni e contaminanti, come *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* o *Escherichia coli*, che potrebbero rendere il prodotto non sicuro per il consumo umano. Particolare attenzione è rivolta alla presenza di **micotossine**, in particolare le aflatossine B1, B2, G1 e G2, la cui concentrazione è regolamentata a livello europeo (Reg. CE n. 1881/2006). I campioni vengono analizzati attraverso metodi accreditati, come **HPLC** (High Performance Liquid Chromatography) o test **ELISA**, e le analisi sono eseguite sia internamente sia presso laboratori esterni certificati. (40)

- **Tracciabilità:** un sistema di tracciabilità efficiente consente di ricostruire l'intera storia del prodotto lungo la filiera; dalla produzione in campo, passando per la raccolta, l'essiccazione, la trasformazione industriale, fino al confezionamento. Ogni lotto è identificato tramite un **codice univoco**, che consente il richiamo rapido in caso di non conformità. Grandi aziende come Ferrero applicano modelli di tracciabilità totale (100%), supportati da tecnologie digitali e piattaforme di gestione dati integrate (39).
- **Conformità normativa e certificazioni:** la conformità alla normativa vigente è garantita attraverso il rispetto delle leggi europee e nazionali in materia di sicurezza alimentare, etichettatura (Reg. UE 1169/2011), igiene e processi produttivi. Le aziende del settore possono inoltre aderire a **schemi di certificazione volontaria**, che aggiungono un ulteriore livello di garanzia: (41)
 - ✓ **ISO 22000 e IFS Food:** sistemi per la sicurezza alimentare lungo la filiera.
 - ✓ **ISO 9001:** certificazione della qualità del sistema di gestione.
 - ✓ **Global G.A.P. e SQNPI:** attestano il rispetto di pratiche agricole sostenibili.
- **Certificazione biologica (Reg. UE 2018/848):** applicata alle nocciole coltivate secondo metodo bio.

Tali certificazioni non solo aumentano la fiducia dei consumatori, ma facilitano anche l'accesso a mercati internazionali e alle filiere industriali ad alto valore aggiunto.

Capitolo 4

VALORIZZAZIONE E GESTIONE DEI RESIDUI DELLA NOCCIOLA

Il presente capitolo approfondisce le potenzialità di **riutilizzo e valorizzazione** dei **residui** della nocciola in una prospettiva di economia circolare. Gli scarti derivanti dalla lavorazione industriale e agricola della nocciola tra cui gusci, cuticole, nocciole rotte o sottocalibro e residui lignocellulosici da potatura, rappresentano una **risorsa** secondaria ad alto potenziale in diversi settori produttivi: energetico, nutraceutico, zootecnico, cosmetico, cartario, edilizio e agrofarmaceutico. Attraverso l'analisi di numerosi studi scientifici, progetti industriali e sperimentazioni, viene proposta una prospettiva integrata delle filiere possibili, fondata su tecnologie di estrazione, trasformazione e utilizzo sostenibili. I risultati evidenziano vantaggi ambientali, economici e funzionali derivanti dall'integrazione degli scarti della nocciola in nuove catene del valore.

4.1 Introduzione generale alla filiera della nocciola

La coltivazione della nocciola (*Corylus avellana* L.) riveste un ruolo centrale nell'agricoltura europea e mediterranea, con l'Italia tra i primi produttori mondiali per superficie coltivata e qualità del prodotto. La crescente domanda internazionale di nocciole, spinta dai settori dolciario, lattiero-caseario e da pasticceria industriale, ha comportato un'espansione delle superfici coltivate e un rafforzamento delle filiere produttive. Tuttavia, parallelamente all'aumento della produzione, è cresciuta anche la quantità di **residui** generati lungo tutta la filiera: dalla **fase agricola** (residui di potatura, fogliame, frutti imperfetti) a quella di **trasformazione industriale** (gusci, cuticole, nocciole non conformi o rotte).

Questi residui, spesso gestiti come rifiuti o smaltiti mediante combustione in campo, rappresentano invece una potenziale **risorsa** grazie al loro contenuto in fibre, lignina, composti fenolici, grassi e zuccheri strutturali. La loro **valorizzazione** può contribuire a ridurre l'impatto ambientale complessivo del comparto, generare nuove filiere a valore aggiunto e rispondere agli obiettivi della bioeconomia e della transizione ecologica promossa a livello europeo. (42)Questo capitolo intende analizzare, sulla base della letteratura scientifica e dei progetti

tecniche disponibili, le possibilità concrete di riutilizzo degli scarti del nocciolo secondo criteri di efficienza, sostenibilità e innovazione tecnologica.

4.2 Classificazione e origine degli scarti del nocciolo

La filiera corilicola genera una notevole quantità di sottoprodotti, la cui tipologia e consistenza dipendono sia dalla fase di lavorazione sia dalle tecnologie adottate. Tali residui possono essere classificati in due grandi categorie: **scarti agricoli** e **scarti industriali**.

Gli **scarti agricoli** originano direttamente dalla gestione del nocciolo e includono:

- i residui di potatura (ramaglie e biomassa legnosa),
- le foglie e le cupole (involucri esterni del frutto),
- i frutti scartati in fase di raccolta perché difettosi, marcescenti o di calibro inferiore agli standard commerciali.

Gli **scarti industriali** invece, si generano lungo le principali fasi di trasformazione (sgusciatura, tostatura, calibratura e ulteriori lavorazioni alimentari) e comprendono:

- i gusci, costituenti lignocellulosici che possono arrivare a rappresentare fino al 50% del peso totale del frutto,
- le cuticole, ovvero le pellicine che rivestono il seme e che possono essere rimosse meccanicamente o per effetto del trattamento termico,
- le nocciole rotte o non conformi alla commercializzazione,
- i residui secondari derivanti dalla produzione di semilavorati (paste, farine, burri e oli).

Dal punto di vista quantitativo, i dati disponibili evidenziano la rilevanza economica e ambientale dei sottoprodotti della lavorazione delle nocciole. In media, da 1 tonnellata di nocciole sgusciate si ricavano circa 0,42–0,50 tonnellate di **gusci**. La **cuticola** rappresenta circa il 2–2,5% del peso totale della nocciola: considerando che il seme costituisce circa il 45–50% del frutto intero, ciò corrisponde a circa 40–60 kg di cuticola per tonnellata di nocciole sgusciate. Per quanto riguarda il **prodotto non conforme** o **rotto**, la quantità è stimata tra 70 e 150 kg per tonnellata. A questi si aggiungono i **residui legnosi** derivanti dalla potatura, stimati in 3–6 t/ha/anno (43) (44). (*Tabella 4-1*)

La conoscenza e la quantificazione puntuale di questi flussi di scarto costituiscono un passaggio essenziale per lo sviluppo di strategie di valorizzazione, permettendo di trasformare un potenziale problema di smaltimento in una risorsa strategica per filiere bioeconomiche e circolari.

Tabella 4-1: Tipologie di scarti del nocciolo e relative quantità medie

Tipologia di scarto	Quantità media	Origine
<i>Gusci lignocellulosici</i>	≈ 0,4 – 0,5 t per t di nocciole sgusciate	Fase di sgusciatura
<i>Cuticole</i>	40–60 kg per t di nocciole sgusciate	Fase di tostatura/raffinazione
<i>Nocciole rotte/non conformi</i>	70–150 kg per t di nocciole sgusciate	Fasi di calibratura e selezione
<i>Residui legnosi da potatura</i>	3–6 t/ha/anno	Gestione agronomica (potatura)

4.3 Composizione chimico-fisica degli scarti: gusci, cuticole e residui legnosi

I residui derivanti dalla filiera del nocciolo (*Corylus avellana* L.) presentano una composizione chimico-fisica variabile a seconda della loro origine, ma generalmente sono caratterizzati da un elevato contenuto di lignina, cellulosa, emicellulosa e composti fenolici.

Tra i sottoprodotti, le **cuticole** rappresentano la frazione più interessante sotto il profilo nutraceutico e fitochimico, grazie alla presenza di fibre solubili, grassi insaturi e polifenoli bioattivi, come acido gallico e tocoferoli. (45) I **gusci** e le **potature**, invece, risultano particolarmente adatti per la valorizzazione energetica o per la produzione di materiali lignocellulosici, (46) mentre le **nocciole rotte o non conformi** mantengono un profilo lipidico e proteico significativo, utile per applicazioni mangimistiche e oleochimiche.

Di seguito nella *Tabella 4-2* si riporta una sintesi comparata delle principali componenti dei residui della nocciola:

Tabella 4-2: Composizione chimico-fisica dei principali residui della filiera del nocciolo

Residuo	Umidità (%)	Fibra totale (%)	Grassi (%)	Fenoli totali
<i>Cuticola</i>	7,5	67,7	14,5	Acido Gallico ≈ 52 - 203 mg GAE/g Tocoferoli ≈ 226 a 593 µg/g
<i>Guscio</i>	≈5	≈40 (lignina + cellulosa)	<1	Bassa
<i>Potature</i>	10–15	Elevata (legno)	Trascurabile	Non determinata
<i>Nocciole rotte</i>	6–8	9,5	56,8	Intermedia

Le **cuticole** si distinguono quindi per il loro elevato contenuto di composti bioattivi, rendendole adatte a sviluppi in ambito nutraceutico e cosmetico. (47) I **gusci**, grazie all’alta percentuale di lignina, possono essere impiegati come biomassa combustibile o trasformati in pellet e biochar. (46) Le **potature** rappresentano una fonte rinnovabile per applicazioni industriali, mentre le **nocciole non idonee** al consumo diretto costituiscono una risorsa utile per la produzione di farine, paste o estrazione di oli.

4.4 Valorizzazione energetica: biomassa da gusci e potature

I **gusci di nocciola** e le **potature** costituiscono una frazione lignocellulosica ad alto potere calorifico, utilizzabile per la produzione di energia termica, elettrica o per la conversione in combustibili solidi come **pellet** e **biochar**. Il potere calorifico inferiore (PCI) medio dei gusci di nocciola si aggira intorno a 18–20 MJ/kg, valore comparabile a quello del nocciolino d’oliva o della legna stagionata. Le potature, se essiccate, raggiungono un PCI di 15–17 MJ/kg.

Il **CREA** (Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l’Analisi dell’Economia Agraria) ha dimostrato la fattibilità tecnica della triturazione, essiccazione e pressatura dei gusci di nocciola per la produzione di biocombustibili. I gusci possono essere utilizzati direttamente come combustibile nelle caldaie o trasformati in pellet e bricchetti.

Oltre all'uso diretto, i gusci possono essere sottoposti a processi di conversione termochimica, come la **gassificazione** e la **pirolisi**, che ne ampliano ulteriormente le potenzialità applicative. La gassificazione converte la biomassa in un gas combustibile ricco di monossido di carbonio, idrogeno e metano, attraverso un riscaldamento parziale in presenza controllata di ossigeno o vapore. La pirolisi, invece, consiste nel riscaldamento della biomassa in condizioni di assenza o quasi assenza di ossigeno, producendo materiali carboniosi stabili (biochar), gas e oli volatili.

Il **biochar** ottenuto da questi processi è particolarmente interessante per i suoi benefici agronomici e ambientali: migliora la fertilità del suolo, incrementa la capacità di ritenzione idrica e contribuisce al sequestro del carbonio, configurandosi come una soluzione sostenibile sia per la gestione dei residui agroindustriali sia per la mitigazione dei cambiamenti climatici.

(46)

4.5 Applicazioni nutraceutiche e fitochimiche dei residui della nocciola

Le cuticole e i gusci della nocciola (*Corylus avellana* L.) rappresentano sottoprodotti con un elevato potenziale **nutraceutico** e **fitochimico**. Secondo Frazzini et al. (2023) (47), le cuticole contengono una maggiore quantità e varietà di composti fenolici rispetto ai gusci, conferendo loro una capacità antiossidante superiore.

Attraverso l'analisi mediante **HPLC-HRMS** (High-Performance Liquid Chromatography coupled with High-Resolution Mass Spectrometry), gli estratti delle **cuticole** ottenuti con la miscela acetone/acqua (40:60) hanno permesso di rilevare 738 segnali metabolici, contro i 453 osservati nei **gusci** con la stessa metodica. In questo contesto, ogni segnale metabolico rappresenta un picco rilevato dall'HPLC-HRMS, indicativo della presenza di un metabolita specifico o di un gruppo di metaboliti. La maggiore efficacia dell'estrazione con acetone/acqua è dovuta alla minore viscosità dell'acetone, che favorisce la penetrazione del **solvente** nella **matrice** rigida delle cuticole e consente un recupero più completo dei composti polifenolici e bioattivi.

Le cuticole risultano particolarmente ricche di acido gallico, acido protocatecuico, tocoferoli e rutina, mentre i gusci contengono prevalentemente lignina e tannini condensati. Questa ricchezza di metaboliti si riflette in un potenziale **antiossidante** e **antimicrobico** superiore, rendendo le cuticole un sottoprodotto particolarmente interessante per applicazioni nutraceutiche, cosmetiche e come ingrediente funzionale nella filiera alimentare. La capacità antiossidante dei residui di nocciola è stata valutata tramite il test **ABTS**, un metodo che misura quanto efficacemente un campione riesce a neutralizzare i radicali liberi. I **radicali liberi** sono

molecole instabili che possono causare danni ossidativi alle cellule; la loro neutralizzazione indica quindi la capacità del campione di proteggere le cellule dallo stress ossidativo. Dai risultati è emerso che gli estratti delle cuticole presentano una capacità antiossidante superiore rispetto a quelli dei gusci, confermando la maggiore concentrazione di composti fenolici e bioattivi.

Entrambi i residui hanno inoltre mostrato attività antimicrobica nei confronti di *Escherichia coli* O138 (E. coli F18⁺), con un'efficacia significativamente maggiore per le cuticole, che hanno raggiunto fino al 96% di inibizione, contro circa il 53% dei gusci.

Queste proprietà evidenziano come le cuticole di nocciola possano rappresentare un ingrediente funzionale di grande interesse per il settore alimentare e mangimistico. Il loro impiego permetterebbe non solo di ridurre gli sprechi della filiera, ma anche di sviluppare nuove applicazioni nell'ottica della **bioeconomia circolare**, trasformando un sottoprodotto in una **risorsa** ad alto valore aggiunto.

4.6 Impieghi in zootecnia: mangimi da sottoprodotti della nocciola

I residui della nocciola, comprendenti nocciole rotte e cuticole derivanti dalla lavorazione industriale, rappresentano una risorsa alternativa per l'**alimentazione animale**, grazie al loro contenuto significativo di proteine, grassi insaturi e fibre. Le cuticole, in particolare, contribuiscono a migliorare l'appetibilità delle diete, apportano acidi grassi essenziali e composti antiossidanti naturali; (48) contengono circa il 14,5% di lipidi e quasi il 70% di fibra grezza sulla sostanza secca, valori che le rendono particolarmente interessanti per formulazioni mangimistiche destinate a ruminanti e avicoli. (49)

L'inclusione di diete arricchite con cuticole ha evidenziato miglioramenti dell'indice di conversione alimentare e una riduzione dello stress ossidativo negli animali. Tuttavia, l'elevata presenza di fibra insolubile limita l'impiego ad alte percentuali nei monogastrici, rendendo necessaria un'attenta valutazione nutrizionale per ciascuna categoria animale. Nel complesso, l'utilizzo dei sottoprodotti della nocciola nella zootecnia offre l'opportunità di valorizzare scarti agroindustriali, ridurre i costi dei mangimi e promuovere strategie di economia circolare. (48)

4.7 Usi cosmetici e farmaceutici

Gli estratti delle cuticole di nocciola sono ricchi di **composti fenolici** ad azione antiossidante e antinfiammatoria, rendendoli idonei per applicazioni dermocosmetiche e farmaceutiche. Alcuni estratti metanolici e idroalcolici, ottenuti con **tecniche di estrazione eco-compatibili**, ossia metodiche che riducono l'impatto ambientale e l'uso di solventi tossici privilegiando solventi "verdi" (come etanolo e miscele idroalcoliche), hanno mostrato una significativa attività inibente nei confronti dei radicali liberi, dell'enzima tirosinasi, responsabile della sintesi della melanina e quindi dell'iperpigmentazione cutanea e della perossidazione lipidica, processo ossidativo che danneggia le membrane cellulari e accelera l'invecchiamento cutaneo.

Formulazioni sperimentali per lozioni e creme sono state testate in laboratorio con l'aggiunta di estratti da cuticola, evidenziando un'elevata biocompatibilità cutanea e una buona attività protettiva nei confronti di stress ossidativi indotti da UV o ozono. Tali proprietà aprono nuove prospettive per l'uso dei sottoprodotti della nocciola nella cosmesi funzionale e nei dispositivi medici topici. (50)

4.8 Applicazioni nella carta, nell'edilizia e nei biocompositi

I gusci e le potature del nocciolo, grazie alla loro struttura lignocellulosica, possono essere utilizzati come materia prima alternativa nella produzione di pannelli truciolari, materiali isolanti, carta e **compositi bio-based**. (51) Con il termine *compositi bio-based* si intendono materiali compositi in cui la matrice, il rinforzo o entrambi derivano da fonti rinnovabili (biomasse, polimeri naturali, fibre vegetali), con l'obiettivo di ridurre la dipendenza da polimeri sintetici e migliorare la sostenibilità ambientale.

I gusci macinati, mescolati a resine naturali o polimeri biodegradabili, fungono da riempitivi strutturali nei compositi per edilizia, riducendo il peso specifico e migliorando la resistenza al fuoco e all'umidità. Prove sperimentali su piccola scala hanno mostrato buone performance meccaniche dei materiali a base di guscio, oltre a un comportamento termico interessante. Inoltre, è in corso la sperimentazione dell'impiego dei gusci nella produzione di carta riciclata, grazie al loro contenuto residuo di emicellulose.

4.9 Nanoagrofarmaci da lignina e cellulosa di scarto

La valorizzazione degli scarti della filiera corilicola rappresenta una delle frontiere più innovative della ricerca in ambito di economia circolare. In particolare, i gusci e i residui lignocellulosici derivanti dalla potatura del nocciolo si configurano come fonti rinnovabili per l'estrazione di **cellulosa** e **lignina**, due biopolimeri di grande interesse per la sintesi di nanomateriali applicabili in agricoltura sostenibile. (52)

Da tali matrici è possibile ottenere **nanocristalli di cellulosa** (attraverso idrolisi acida) e **nanoparticelle di lignina** (mediante digestione enzimatica e successivo metodo solvente-antisolvente). Questi **nanocarrier** sono stati caratterizzati morfologicamente (SEM - Scanning Electron Microscopy- e TEM- Transmission Electron Microscopy) e valutati per le loro proprietà biologiche. Lo studio condotto dal Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali (DAFNE) dell'Università della Tuscia in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Farmaceutiche (DSF) dell'Università di Perugia ha dimostrato che entrambi i nanomateriali possiedono **attività antimicrobica** significativa contro *Xanthomonas arboricola* pv. *corylina*, agente causale della necrosi batterica del nocciolo, e una buona **biocompatibilità con i tessuti vegetali**. I saggi in vitro e in vivo hanno evidenziato un'efficacia comparabile a quella dell'ossicloruro di rame, attualmente utilizzato in campo, ma con minore impatto ambientale.

Parallelamente, un progetto sperimentale del **CREA** ha confermato la possibilità di ottenere nanocarrier biocompatibili a partire dai gusci di nocciola trattati in fase acida e con microonde, riportando una resa di lignina fino al 33%. Le nanoparticelle così ottenute, funzionalizzate con rame, hanno mostrato un rilascio controllato del principio attivo e un'efficacia agronomica paragonabile ai prodotti commerciali.

Nel complesso, questi risultati confermano il potenziale degli scarti del nocciolo come **materie prime** per lo sviluppo di **nanoagrofarmaci** intelligenti, capaci di ridurre le perdite per evaporazione, fotodegradazione e lisciviazione, diminuendo così la frequenza dei trattamenti agricoli. Ciò rappresenta un importante passo avanti verso sistemi di protezione delle colture più sostenibili e coerenti con i principi della bioeconomia circolare.

Capitolo 5

SOSTENIBILITÀ DEL CICLO DI LAVORAZIONE DEL NOCCIOLO E APPLICAZIONE DEL LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

5.1 Introduzione generale

Negli ultimi decenni il concetto di **sostenibilità** ha assunto un ruolo sempre più centrale all'interno delle filiere agroalimentari. La crescente sensibilità verso i temi ambientali, sociali ed economici ha reso indispensabile sviluppare strumenti che consentano non soltanto di quantificare gli impatti ambientali, ma anche di confrontare scenari alternativi e individuare strategie di miglioramento. In questo quadro si colloca il **Life Cycle Assessment (LCA)**, o Analisi del Ciclo di Vita, una metodologia standardizzata a livello internazionale dalle norme **ISO 14040** e **ISO 14044**. Essa consente di valutare in maniera oggettiva gli **impatti ambientali** associati a un prodotto o a un processo lungo l'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento finale. (53)

La filiera corilicola italiana, in particolare quella piemontese e laziale, riveste un ruolo strategico non solo sul piano economico, ma anche per il posizionamento competitivo del *Made in Italy* agroalimentare. Tuttavia come ogni coltura arborea, la produzione e la trasformazione del nocciolo comportano consumi di energia, acqua, fertilizzanti e imballaggi, oltre a generare flussi di scarti organici che, se non correttamente gestiti, possono tradursi in pressioni ambientali significative. Per questo motivo, l'applicazione dell'LCA al nocciolo rappresenta oggi un campo di ricerca di grande rilevanza, capace di fornire indicazioni pratiche agli agricoltori, ai trasformatori e ai decisori politici. (54)

Prima di addentrarci nello specifico della filiera corilicola, è utile sottolineare come il metodo LCA sia nato e si sia sviluppato inizialmente in contesti industriali complessi, caratterizzati da processi ad alta intensità energetica e chimica. Un esempio emblematico è rappresentato dal settore conciario italiano, che ha applicato l'LCA per analizzare i processi di riconcia, ingrasso e tintura delle pelli. In quel caso lo strumento ha consentito di identificare i principali **“hotspot” ambientali**, ossia le fasi maggiormente responsabili degli impatti, legati

soprattutto al consumo di acqua, energia e prodotti chimici. Questa analisi ha permesso di indirizzare le imprese verso pratiche più sostenibili e a minore impronta ecologica. (55)

Questo caso, seppur distante dal comparto agroalimentare, dimostra la **trasversalità del metodo LCA**: esso non è vincolato a un settore specifico, ma può essere adattato e applicato a qualsiasi filiera. Gli elementi che variano sono i **confini del sistema** (cioè l'insieme dei processi inclusi o esclusi dallo studio), l'**unità funzionale** (il parametro di riferimento su cui rapportare gli impatti, ad esempio 1 kg di nocciole sgusciate) e i **flussi di input/output** da considerare. Da qui deriva la necessità di applicare con rigore la metodologia all'intero ciclo di lavorazione delle nocciole, con particolare attenzione alla fase di trasformazione industriale.

5.2 La sostenibilità della coltura del nocciolo

5.2.1 Dimensioni della sostenibilità

Quando si parla di sostenibilità della coltura del nocciolo non ci si può limitare agli aspetti ambientali. Seguendo la definizione adottata a livello internazionale, in particolare dal quadro di riferimento **SAI** (Sustainable Agriculture Initiative), occorre considerare quattro dimensioni strettamente interconnesse: (54)

- **Sostenibilità economica**: garantire redditività alle aziende agricole e stabilità al settore, anche attraverso strumenti di certificazione, contratti di filiera e valorizzazione dei marchi territoriali.
- **Sostenibilità sociale interna**: assicurare condizioni di lavoro dignitose eque per i lavoratori stagionali e per gli addetti, evitando fenomeni di sfruttamento che in alcuni contesti agricoli rappresentano una criticità.
- **Sostenibilità sociale esterna**: preservare il paesaggio, la biodiversità agraria e i servizi ecosistemici, promuovendo al tempo stesso il benessere delle comunità locali.
- **Sostenibilità ambientale ed ecologica**: ridurre gli impatti sul suolo, sull'acqua e sull'aria, contrastando fenomeni di erosione, inquinamento e perdita di fertilità.

5.2.2 *Punti di forza ambientali*

Il nocciolo è spesso considerato una coltura relativamente sostenibile rispetto ad altre specie arboree, come il melo o la vite. (54) Tra i principali **punti di forza ambientali** si segnalano:

- **Basso fabbisogno idrico:** in zone con precipitazioni annue di 800–1000 mm la coltura può svilupparsi senza irrigazione supplementare, mentre laddove è necessario irrigare, la microirrigazione a goccia consente di ottimizzare i consumi idrici.
- **Resistenza a stress idrici:** rispetto ad altre specie, il nocciolo mostra una buona tolleranza ai periodi siccitosi, caratteristica sempre più importante in un contesto di cambiamenti climatici.
- **Longevità e stabilità dell'impianto:** un nocciolo può rimanere produttivo per decenni, riducendo la necessità di rinnovi frequenti e quindi il consumo di risorse collegate alla messa a dimora.
- **Potenziale di fissazione del carbonio:** come altre colture arboree, anche il nocciolo contribuisce al sequestro di CO₂ atmosferica, pur con valori inferiori rispetto a colture forestali a ciclo lungo.

Questi elementi collocano il nocciolo tra le colture arboree a più basso impatto idrico ed energetico nella fase agricola, rendendolo attraente anche agli occhi dell'industria alimentare attenta alle certificazioni ambientali.

5.2.3 *Criticità e sfide ambientali*

Nonostante i punti di forza, la rapida espansione delle superfici a nocciolo solleva una serie di criticità ambientali da non sottovalutare: (54)

- **Monocoltura e perdita di biodiversità:** impianti estensivi a elevata densità possono ridurre la varietà paesaggistica e la biodiversità locale, con conseguenze negative su flora e fauna.
- **Erosione e degrado del suolo:** in alcune aree collinari la meccanizzazione spinta e la scarsa copertura vegetale del suolo favoriscono fenomeni erosivi, con perdita di sostanza organica e impoverimento dei terreni.
- **Uso di input chimici:** fertilizzanti azotati e fitofarmaci, sebbene limitati rispetto ad altre colture, possono contribuire a fenomeni di eutrofizzazione e contaminazione delle acque.

- **Emissioni legate alla meccanizzazione:** operazioni come potatura, trinciatura e raccolta richiedono energia fossile, con emissioni di gas serra e inquinanti locali.

Un'ulteriore criticità riguarda **l'impatto cumulativo** della crescita delle superfici: il passaggio da una coltivazione “di nicchia” a una coltura industrializzata su larga scala cambia radicalmente il bilancio ambientale e sociale complessivo, imponendo una riflessione sulle modalità di gestione.

5.2.4 Leve di miglioramento

Per aumentare la sostenibilità della coltura, diversi studi e progetti hanno individuato alcune leve di miglioramento pratico:

- **Gestione del suolo conservativa:** mantenimento del cotico erboso tramite sfalcio meccanico anziché diserbo chimico, riduzione delle lavorazioni e applicazione di ammendanti organici come compost e letame.
- **Fertilizzazione di precisione:** dosaggi minerali corretti per epoca e quantità, calibrati sul fabbisogno reale delle piante e sul contesto pedoclimatico.
- **Riduzione dell'erosione:** attraverso sistemazioni idraulico-agrarie e fasce tampone vegetate.
- **Certificazioni di sostenibilità:** adesione a protocolli volontari che attestano la riduzione degli impatti ambientali e sociali, valorizzando il prodotto sul mercato.
- **Diversificazione colturale:** integrazione del nocciolo con altre specie arboree o con pratiche agroforestali, per ridurre il rischio di monocultura e incrementare i servizi ecosistemici. (54)

Non va infine trascurato che la sostenibilità della coltura del nocciolo non rappresenta solo un obiettivo ambientale o etico, ma costituisce una **leva di marketing** e di valore aggiunto. I consumatori e l'industria dolciaria internazionale mostrano un interesse crescente verso filiere **certificate** e **tracciabili**. Una produzione percepita come “pulita” e rispettosa dell'ambiente consente di differenziare l'offerta, rafforzare l'identità territoriale (si pensi alle IGP “Nocciola Piemonte” o “Nocciola di Giffoni”) e aprire nuove nicchie di mercato ad alto valore.

5.3 Metodologia LCA applicata alla filiera del nocciolo

L'Analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA) rappresenta oggi lo strumento più completo per valutare la sostenibilità ambientale di prodotti e processi. La sua applicazione alla filiera del nocciolo consente di ottenere un quadro chiaro e scientificamente fondato degli **impatti** generati dalle diverse fasi della produzione, dalla coltivazione alla trasformazione, fino alla gestione degli scarti. Questo approccio non si limita a quantificare i consumi di energia e materie prime, ma permette di tradurre tali dati in **indicatori ambientali aggregati**, come le emissioni di gas a effetto serra, il consumo idrico o il potenziale di eutrofizzazione, offrendo così strumenti di decisione per produttori, trasformatori e policy maker. (54) (38)

5.3.1 Obiettivi dello studio

Applicare l'LCA al nocciolo significa innanzitutto chiarire quali siano gli **obiettivi** dell'analisi. Nella maggior parte degli studi recenti la finalità principale è duplice: da un lato individuare le fasi più impattanti della filiera, i cosiddetti "**hotspot**", dall'altro, confrontare scenari alternativi di gestione o tecniche diverse di trasformazione. Ad esempio, si possono paragonare sistemi di coltivazione convenzionale e biologica, oppure valutare l'effetto dell'introduzione di tecnologie innovative per la tostatura o l'estrazione di composti bioattivi dai sottoprodotti. In tutti i casi l'obiettivo ultimo è fornire informazioni solide per guidare le decisioni verso percorsi produttivi più sostenibili. (54)

5.3.2 L'unità funzionale

Un aspetto fondamentale della metodologia LCA è la definizione dell'**unità funzionale**, ovvero il riferimento quantitativo rispetto al quale vengono calcolati tutti gli impatti. Nel caso del nocciolo la scelta più comune è quella di considerare 1 chilogrammo di **noccioline sgusciate**, (56) poiché si tratta della forma con cui il prodotto entra nei processi industriali di trasformazione. Alcuni studi hanno preferito adottare come unità funzionale l'intera resa di un impianto lungo la sua vita utile, che può durare anche cinquant'anni, per avere una visione completa delle dinamiche agronomiche e produttive. Altri ancora, soprattutto quando si analizzano le fasi industriali, prendono come riferimento 1 kg di **prodotto finito** (granella, pasta o olio di nocciola). La scelta dell'unità funzionale non è neutrale: incide profondamente sui risultati e deve essere giustificata in relazione agli obiettivi dello studio.

5.3.3 I confini del sistema

Altro elemento cruciale è la definizione dei **confini del sistema**. Nella filiera del nocciolo essi possono variare in funzione del focus dell'analisi. Se si considera l'intero ciclo produttivo, si parla di approccio *cradle-to-grave*, che va dalla messa a dimora della coltura fino allo smaltimento degli imballaggi del prodotto finito. Tuttavia, la maggior parte degli studi si concentra su un approccio *cradle-to-gate o gate-to-gate*. Nel primo caso si includono tutte le fasi agricole fino alla consegna del prodotto grezzo all'industria, mentre nel secondo ci si limita alle sole operazioni industriali, come sgusciatura, tostatura, pelatura, macinazione, estrazione di olio e confezionamento. (57)

Definire correttamente i confini è fondamentale per garantire la coerenza dei risultati e per permettere il confronto tra studi diversi. Ad esempio, includere o escludere la fase agricola può modificare radicalmente il bilancio delle emissioni di CO₂ equivalente, dato che le operazioni di campo e la gestione dei fertilizzanti incidono in maniera significativa sul totale. (58)

5.3.4 Inventario del ciclo di vita

La fase successiva riguarda la costruzione dell'**inventario del ciclo di vita (LCI)**, che consiste nella raccolta dei **dati** relativi a input e output del sistema analizzato. Per il nocciolo ciò significa rilevare consumi di energia elettrica e termica nelle fasi di trasformazione, quantità di acqua utilizzata, materiali per il confezionamento, trasporti, ma anche quantità e tipologia di scarti prodotti. È in questa fase che emergono le difficoltà maggiori, poiché la disponibilità di dati primari è spesso limitata e si rende necessario ricorrere a banche dati internazionali o a stime modellistiche. Tuttavia, la qualità dei risultati dipende in modo cruciale dall'accuratezza dell'inventario, motivo per cui è importante privilegiare sempre la raccolta di **dati diretti** presso aziende e impianti. (58)

5.3.5 Allocazione dei flussi

Un problema metodologico di grande rilevanza nella filiera del nocciolo riguarda l'**allocazione dei flussi**, cioè il modo in cui si distribuiscono gli impatti ambientali tra i diversi prodotti e co-prodotti generati da un medesimo processo. Oltre alla granella destinata al consumo diretto o alla trasformazione, infatti, il processo industriale produce sottoprodotti come gusci, pellicine e pannelli residui dall'estrazione dell'olio.

La metodologia LCA offre diverse possibili scelte: l'allocazione in base **alla massa** (si ripartiscono gli impatti proporzionalmente al peso dei prodotti), quella **in base al valore economico** (gli impatti sono distribuiti in funzione del prezzo di mercato), oppure **l'espansione del sistema**, che attribuisce un **credito ambientale** qualora uno scarto venga riutilizzato in sostituzione di un prodotto convenzionale. (57)

Ad esempio, se i gusci vengono utilizzati per produrre carbone attivo che sostituisce quello di origine fossile, al sistema viene riconosciuto un **beneficio** in termini di impatto evitato. La scelta del criterio di allocazione deve essere dichiarata esplicitamente e mantenuta coerente con gli obiettivi dell'analisi, poiché può modificare in modo significativo i risultati e le conclusioni dello studio. (58)

5.3.6 Indicatori di impatto

Una volta raccolti i dati e completato l'inventario, si procede alla fase di **valutazione degli impatti (LCIA)**. Gli indicatori più frequentemente utilizzati negli studi sulla corilicoltura sono:

- il potenziale di riscaldamento globale (GWP), espresso in kg di CO₂ equivalente,
- il consumo di risorse fossili,
- l'acidificazione e l'eutrofizzazione dei suoli e delle acque,
- l'uso di acqua dolce,
- la tossicità umana ed ecotossicità.

Questi indicatori consentono di avere una visione multidimensionale degli impatti, andando oltre la sola carbon footprint. La **carbon footprint** rappresenta la quantità totale di gas serra (principalmente CO₂, CH₄ e N₂O) emessi direttamente o indirettamente da un prodotto, processo o attività, espressa in equivalenti di CO₂. In altre parole, misura **l'impatto climatico** di un sistema. Nel contesto della corilicoltura, la carbon footprint della coltura del nocciolo rappresenta quanto contribuisce al **riscaldamento globale** l'intero ciclo di produzione e trasformazione.

Alcuni studi hanno inoltre applicato analisi di sensibilità e **simulazioni Monte Carlo** per valutare la robustezza dei risultati e la variabilità legata alle fonti di dati. Le simulazioni Monte Carlo sono un metodo statistico per stimare l'incertezza e la variabilità dei risultati di un'analisi, generando migliaia di scenari casuali basati sulla distribuzione dei dati di input. Nel contesto dell'LCA, queste simulazioni permettono di comprendere quanto i risultati degli indicatori di impatto possano cambiare al variare delle ipotesi o dei dati, aumentando l'affidabilità dei risultati. (59)

5.4 Hotspot ambientali nella trasformazione del nocciolo

Se la fase agricola costituisce il primo tassello del ciclo di vita del nocciolo, la **trasformazione industriale** rappresenta il passaggio cruciale in cui il prodotto grezzo diventa ingrediente per l'industria alimentare, cosmetica e nutraceutica. È in questa fase che si concentrano i maggiori consumi energetici e che vengono generati **sottoprodotti** con grande potenziale di valorizzazione. L'LCA applicata alla trasformazione permette di quantificare questi impatti e di individuare gli **hotspot ambientali**, ossia i punti del processo che incidono maggiormente sull'impronta ecologica complessiva.

5.4.1 Essiccazione e stabilizzazione

Una delle prime operazioni post-raccolta è l'**essiccazione**, necessaria per ridurre il contenuto di umidità del frutto e garantire la stabilità durante lo stoccaggio. Non tutti i contesti produttivi prevedono un'essiccazione artificiale: in molte zone, grazie a condizioni climatiche favorevoli, il frutto può essere essiccato naturalmente. Tuttavia, laddove si ricorre a impianti industriali, l'essiccazione si rivela un processo ad **alta intensità energetica**, con consumi termici e talvolta elettrici significativi. Studi recenti hanno dimostrato come la gestione dei **cicli di essiccazione** possa influire sia sui consumi sia sulla qualità finale: cicli periodici, alternando fasi di ventilazione e riscaldamento, consentono di risparmiare energia e preservare meglio le caratteristiche organolettiche della nocciola. (60)

Dal punto di vista LCA, l'essiccazione rappresenta un **hotspot** importante soprattutto quando avviene su larga scala e con fonti fossili. In scenari di miglioramento, l'introduzione di sistemi di recupero del calore e l'alimentazione da fonti rinnovabili possono ridurre in modo sostanziale l'impatto climatico di questa fase. (61)

5.4.2 Sgusciatura e gestione dei gusci

La fase di **sgusciatura**, ovvero la separazione del seme commestibile dal guscio, ha un duplice rilievo in termini ambientali. Da un lato, il processo meccanico comporta consumi energetici relativamente contenuti; dall'altro, genera una grande quantità di scarti: i gusci rappresentano infatti circa il 42% della biomassa totale del frutto.

Questo flusso se considerato un rifiuto, pone problemi di smaltimento e logistica; se invece viene gestito come sottoprodotto, diventa una risorsa strategica.

Gli studi più recenti hanno dimostrato che i gusci sono ricchi di composti fenolici e possono essere utilizzati per produrre estratti antiossidanti, prebiotici o carbone attivo. (47) In un'ottica LCA, la scelta di valorizzare i gusci anziché destinarli semplicemente a combustione consente di attribuire **crediti ambientali** al sistema, poiché si sostituiscono prodotti di origine fossile o sintetica. La gestione dei gusci, più ancora dei consumi energetici della sgusciatura, rappresenta quindi un nodo cruciale della sostenibilità della trasformazione. (57)

5.4.3 Tostatura: il cuore energetico del processo

La tostatura è probabilmente l'operazione più caratterizzante della trasformazione della nocciola. Serve a sviluppare aromi e consistenza, ma è anche il punto in cui si concentrano i **consumi energetici** più elevati. Gli impianti industriali, che lavorano a temperature comprese tra 120 e 170 °C, richiedono grandi quantità di energia termica, spesso derivata da combustibili fossili. (33)

Dal punto di vista ambientale, la tostatura costituisce un **hotspot climatico**: numerosi studi hanno indicato che questa fase è tra le più rilevanti nel determinare il potenziale di riscaldamento globale del prodotto. Inoltre, i parametri di tostatura influiscono sulla resa della pelatura e sulla qualità del prodotto, creando un legame diretto tra efficienza energetica e performance sensoriale. Strategie di miglioramento includono l'ottimizzazione dei profili tempo-temperatura, l'uso di aria calda riciclata e l'adozione di impianti con sistemi di recupero del calore. (61)

5.4.4 Pelatura e recupero delle cuticole

La rimozione delle cuticole, o **pelatura**, rappresenta un'altra fase critica. Sebbene l'operazione meccanica abbia un impatto energetico modesto, essa genera un flusso di scarto, (le cuticole), che se opportunamente gestito può trasformarsi in risorsa. Le cuticole contengono infatti elevati livelli di composti fenolici e hanno mostrato proprietà antiossidanti e antimicrobiche notevoli. (47) In un'analisi LCA, il recupero e la valorizzazione di questo sottoprodotto attraverso estrazioni "green" (ad esempio con microonde o ultrasuoni) permette di ridurre sensibilmente l'impronta ecologica del processo. La pelatura non è quindi solo un passaggio tecnico, ma un nodo strategico per l'economia circolare della filiera. (62)

5.4.5 Macinazione e produzione di pasta

La fase di **macinazione**, che trasforma le nocciole tostate in granella o pasta, è caratterizzata principalmente da consumi di energia elettrica. (33) L'impatto di questa fase dipende dal livello di raffinazione richiesto e dalla necessità di lavorare in atmosfera controllata per preservare la qualità del prodotto. Sebbene meno rilevante rispetto alla tostatura, la macinazione rappresenta comunque un contributo significativo in un'analisi dettagliata. Ottimizzare i processi di macinazione e utilizzare motori ad alta efficienza può ridurre ulteriormente i consumi.

5.4.6 Estrazione dell'olio

L'estrazione dell'olio di nocciola, realizzata mediante spremitura meccanica o tecniche innovative con solventi "green", ha un **impatto ambientale variabile** a seconda della tecnologia adottata. L'estrazione meccanica comporta consumi energetici e genera un sottoprodotto, **il pannello**, che può essere utilizzato come ingrediente nell'industria alimentare. L'impiego di solventi naturali o di metodi assistiti da microonde e ultrasuoni consente di aumentare la resa e ridurre l'uso di sostanze chimiche, ma comporta consumi elettrici più elevati. (62)

In termini di LCA, l'estrazione dell'olio pone anche la questione dell'allocazione: come distribuire gli impatti tra l'olio, che ha un alto valore economico, e il pannello, che ha un valore inferiore ma un potenziale di riutilizzo significativo? La risposta metodologica influenza profondamente i risultati. In scenari di economia circolare, il pannello può essere considerato un **co-prodotto** con funzioni nutrizionali e tecnologiche, ottenendo così un beneficio complessivo per il sistema. (57)

5.5 Tecnologie "green" di estrazione e valorizzazione sostenibile degli scarti

Uno degli aspetti più innovativi e promettenti della filiera corilicola riguarda l'impiego di **tecnologie di estrazione sostenibili** per la valorizzazione degli scarti generati durante la trasformazione. Se tradizionalmente gusci, cuticole e pannelli erano considerati rifiuti a basso valore, oggi essi vengono riconosciuti come sottoprodotti strategici da cui ottenere composti bioattivi ad alto valore aggiunto. Questo cambio di prospettiva non è solo una questione tecnologica, ma rappresenta un passaggio fondamentale in chiave di **sostenibilità ambientale** e di applicazione dell'LCA. (62)

5.5.1 Dal rifiuto alla risorsa: la prospettiva dell'economia circolare

L'LCA, quando applicata alla filiera del nocciolo, mostra chiaramente come la gestione degli scarti possa trasformare gli impatti complessivi del sistema. Se i gusci vengono destinati a semplice combustione, il bilancio ambientale ne esce penalizzato: si ottiene un recupero energetico limitato e spesso meno efficiente rispetto a quello di altre fonti rinnovabili. Diverso è il caso in cui gli stessi gusci vengano utilizzati per produrre **carbone attivo, estratti fenolici o prebiotici emicellulosici**. (47) In tal caso, l'LCA consente di applicare il principio di **espansione del sistema**: il prodotto derivato dagli scarti sostituisce un equivalente di origine fossile o sintetica, generando un “**credito**” ambientale che riduce l'impronta complessiva del processo. (57)

Questo approccio mette in evidenza come la valorizzazione degli scarti non sia soltanto una strategia economica, ma un vero e proprio strumento di **riduzione degli impatti ambientali**, capace di ribaltare il risultato di un'analisi LCA. In altre parole, ciò che prima era un punto critico della sostenibilità (lo smaltimento dei rifiuti) diventa una leva positiva per migliorare le performance ambientali della filiera.

5.5.2 Tecnologie “green” di estrazione

La sfida principale consiste nel recuperare i **composti bioattivi** presenti negli scarti della nocciola, riducendo al minimo l'impatto ambientale dei processi. A questo scopo, le tecnologie di estrazione “green” (*Tabella 5-1*) rappresentano alternative più sostenibili rispetto ai metodi tradizionali. Tra le principali troviamo:

- **Estrazione assistita da microonde (MAE, Microwave-Assisted Extraction)**
Questa tecnica utilizza le microonde per riscaldare rapidamente il solvente e la matrice vegetale, favorendo la rottura delle pareti cellulari e migliorando il rilascio dei composti. Applicata alle pellicine di nocciola, la MAE ha mostrato un'elevata capacità di estrazione di polifenoli, misurata con la **capacità antiossidante totale (TAC)**, che indica quanto un estratto può neutralizzare i radicali liberi. I valori riportati superano i 3000 μmol Trolox/g, dove il “Trolox” è un composto standard di riferimento utilizzato per esprimere l'attività antiossidante. Nonostante un maggiore consumo elettrico, la resa elevata riduce l'impatto ambientale “per unità di attività antiossidante”.
- **Estrazione assistita da ultrasuoni (UAE, Ultrasound-Assisted Extraction)**
Gli ultrasuoni generano microbolle (cavitazioni) che facilitano l'estrazione a basse

temperature, limitando la degradazione termica dei composti. Nei residui della spremitura delle nocciole, l'UAE ha garantito un buon recupero dei polifenoli, con valori di TAC pari a circa 53 μmol Trolox/g. Pur non essendo così efficiente come la MAE, questa tecnica consuma meno energia ed è più semplice da implementare.

- **Estrazione in liquido pressurizzato (PLE, Pressurized Liquid Extraction)**

La PLE sfrutta solventi a temperatura e pressione elevate per estrarre rapidamente i composti. Sebbene richieda attrezzature più costose, riduce i tempi di lavorazione e produce estratti più uniformi. L'impatto ambientale dipende dalla fonte di energia, ma i tempi ridotti aiutano a diminuire l'impronta complessiva.

- **Solventi eutettici naturali (NADES, Natural Deep Eutectic Solvents)**

Si tratta di miscele di composti naturali biodegradabili e non tossici che possono sostituire i solventi organici tradizionali. Applicati al nocciolo, i NADES permettono di ridurre gli impatti ambientali e aumentare la sicurezza del processo.

In generale, la scelta della tecnologia di estrazione deve valutare non solo la resa e la qualità dell'estratto, ma anche l'efficienza ambientale complessiva. L'approccio LCA permette di confrontare scenari diversi, considerando consumi energetici, quantità e qualità degli estratti ottenuti.

Le tecnologie di estrazione green dimostrano come la sostenibilità non possa essere valutata solo a livello di input energetici. Un metodo apparentemente più energivoro, come la MAE, può risultare ambientalmente più conveniente se rapportato alla qualità e alla concentrazione dei composti estratti. L'LCA, grazie alla sua capacità di normalizzare i dati "per unità di funzione", permette di cogliere questi aspetti e di andare oltre le valutazioni superficiali basate sui soli consumi. (62)

Tabella 5-1: Tecnologie “green” di estrazione da scarti di nocciolo

Tecnologia	Matrice	Resa/efficienza	Punti di forza	Criticità ambientali	Studio
MAE (Microonde)	Pellicine	TAC $\approx$ 3120 μ mol Trolox/g	Alta resa, estratti ricchi di polifenoli	Consumi elettrici elevati	Elmas et al., 2025
UAE (Ultrasuoni)	Farina residua	TAC $\approx$ 53 μ mol Trolox/g	Basso consumo energetico, semplicità	Resa inferiore rispetto a MAE	Elmas et al., 2025
PLE (Liquido pressurizzato)	Gusci/pellicine	Buona resa, tempi ridotti	Standardizzazione estratti	Impatto dipende dalla fonte energetica	Elmas et al., 2025

5.5.3 Implicazioni per la filiera del nocciolo

La diffusione di queste tecnologie apre scenari molto interessanti per la sostenibilità della corilicoltura. Non si tratta solo di ridurre gli impatti legati alla fase agricola o ai consumi energetici della trasformazione, ma di ripensare l'intera filiera in chiave di **bioeconomia circolare**; la nocciola non è più vista unicamente come frutto destinato all'alimentazione, ma come una **piattaforma multifunzionale** da cui estrarre alimenti, ingredienti nutraceutici, additivi naturali e materiali funzionali.

Dal punto di vista dell'LCA, ciò significa passare da un modello lineare, in cui gli scarti vengono smaltiti con costi ambientali, a un modello circolare in cui gli stessi flussi generano benefici ambientali e riducono l'impatto complessivo.

5.6 Sintesi dei principali studi recenti su LCA e sostenibilità della filiera del nocciolo

Negli ultimi anni la letteratura scientifica ha visto una crescita significativa di studi dedicati alla valutazione della sostenibilità della filiera del nocciolo mediante l'approccio Life Cycle Assessment (LCA). In questa sezione vengono riportati i principali contributi, con un'attenzione particolare ai dati numerici e agli esiti più rilevanti.

5.6.1 *Confronto tra coltivazione convenzionale e biologica (Coppola et al., 2022)*

Uno studio condotto da Giuseppe Coppola, Michele Costantini, Alessandra Fusi, Luis Ruiz-Garcia e Jacopo Bacenetti (59) ha confrontato i sistemi di produzione convenzionale e biologica delle nocciole nella provincia di Viterbo, in particolare nell'area dei Monti Cimini, uno dei principali distretti corilicoli italiani. L'analisi è stata svolta secondo la metodologia Life Cycle Assessment (LCA), in conformità agli standard ISO 14040 e 14044, considerando un orizzonte temporale di 50 anni e utilizzando come **unità funzionale** 1 kg di nocciole.

5.6.1.1 Introduzione, obiettivo e campo di applicazione

La provincia di Viterbo rappresenta circa il 30% della produzione nazionale di nocciole. Negli ultimi anni, la superficie coltivata è aumentata e una parte crescente è stata destinata all'agricoltura biologica, sebbene la produzione biologica resti inferiore a quella convenzionale. L'intensiva coltivazione nell'area dei Monti Cimini solleva preoccupazioni ambientali, soprattutto per l'eutrofizzazione delle acque del Lago di Vico, utilizzato per approvvigionamento idrico e attività ricreative, con rischio di proliferazione di cianobatteri tossici come *Planktothrix rubescens*.

Questo studio ha avuto l'**obiettivo** di valutare e confrontare gli **impatti ambientali** dei sistemi di produzione convenzionali e biologici nell'area dei Monti Cimini (Provincia di Viterbo), identificando i principali hotspot ambientali e proponendo possibili soluzioni per ridurre gli impatti. Il pubblico target ha incluso le organizzazioni di produttori dell'area, le aziende dolciarie che rappresentano la domanda di nocciole, i proprietari terrieri della regione e i decisori politici coinvolti nello sviluppo dei programmi regionali di sviluppo rurale.

5.6.1.2 Descrizione delle due pratiche colturali

Il ciclo colturale del nocciolo può essere suddiviso in diversi **sottosistemi**, ciascuno dei quali comprende specifiche operazioni agricole. Tali operazioni possono differire tra coltivazione convenzionale e biologica e variare tra i diversi noccioleti in funzione delle condizioni pedoclimatiche. Nel complesso sono stati identificati cinque sottosistemi principali:

- **Sottosistema 1 – Operazioni pre-impianto**

Questo sottosistema si svolgeva nell'anno precedente all'impianto e comprendeva le operazioni necessarie alla **preparazione del terreno**. Tra queste rientravano la ripuntatura del suolo, effettuata con ripper per rompere la crosta superficiale e aerare gli strati profondi del terreno, e, quando necessario, frantumazione, erpicatura pesante o livellamento per rendere il terreno idoneo all'impianto. Nei noccioleti convenzionali situati in aree caratterizzate da scarse precipitazioni estive poteva inoltre essere installato un impianto di irrigazione, presente mediamente nel 60% della superficie.

- **Sottosistema 2 – Impianto**

L'impianto veniva effettuato nel primo anno mediante una macchina trapiantatrice dotata di sistema GPS, con una densità di circa 400 piante/ha e una distanza tra le piante di 5×5 m. Nei sistemi biologici era prevista una fertilizzazione organica di base mediante applicazione di circa 50 t/ha di letame bovino. Dopo l'impianto veniva eseguita un'erpicatura tra le file per il controllo delle infestanti.

- **Sottosistema 3 – Gestione della coltura**

Questo sottosistema comprendeva tutte le operazioni svolte dal 1° al 50° anno. Nei primi anni venivano effettuate operazioni di erpicatura e controllo manuale delle infestanti fino all'entrata in produzione del nocciolo. La **fertilizzazione** veniva eseguita con modalità differenti nei due sistemi: nella coltivazione convenzionale si utilizzavano fertilizzanti minerali, mentre in quella biologica venivano impiegati fertilizzanti organici.

Tra le altre operazioni rientravano la **potatura** di allevamento nel terzo anno e la potatura di produzione dal quarto anno in poi, dalla quale si ottenevano mediamente 1,5 m³/ha di legna da ardere. La rimozione dei polloni basali veniva

effettuata manualmente o con erbicida nel sistema convenzionale, mentre nel sistema biologico avveniva esclusivamente manualmente.

Il controllo dei **parassiti** avveniva tramite trattamenti fitosanitari: nel sistema convenzionale venivano utilizzati diversi principi attivi (insetticidi e fungicidi), mentre nel biologico si ricorreva principalmente a prodotti a base di rame e zolfo, oltre a stimolanti fogliari. A partire dal 6° anno, quando il nocciolo entrava in produzione, veniva effettuata anche la trinciatura delle interfile circa tre volte l'anno.

- **Sottosistema 4 – Raccolta e post-raccolta**

Le operazioni di **raccolta** si svolgevano ogni anno dal 6° al 50° anno. Prima della raccolta veniva effettuato un diserbo pre-raccolta per facilitare le operazioni. Le nocciole cadute a terra venivano raccolte mediante macchina semovente che convogliava i frutti, li aspirava e li separava da terra, pietre e residui vegetali. Successivamente il prodotto veniva trasportato ai centri di raccolta mediante rimorchio agricolo trainato da trattore, con una distanza media di circa 10 km. Infine, le nocciole venivano sottoposte a **essiccazione**, riducendo il contenuto di umidità dal 13% al 6%, mediante essiccatori alimentati a GPL o diesel.

- **Sottosistema 5 – Rimozione della coltura**

Al termine del ciclo colturale veniva effettuata la rimozione del nocciolo. I fusti delle piante venivano abbattuti, producendo circa 12 m³/ha di legna da ardere, mentre i ceppi venivano rimossi mediante escavatore per consentire il ripristino del terreno.

5.6.1.3 Confini del sistema

Per quanto riguarda i **confini del sistema**, lo studio LCA è stato condotto con un approccio “dalla culla al cancello dell'impianto di essiccazione” (**cradle-to-gate**). Di conseguenza, sono state considerate tutte le operazioni svolte dalla preparazione del terreno prima dell'impianto fino al 50° anno di ciclo produttivo del nocciolo.

I confini del sistema includono inoltre il trasporto delle nocciole al centro di raccolta e il processo di essiccazione. Sono invece escluse tutte le fasi successive della filiera, come la trasformazione, il confezionamento e la distribuzione del prodotto.

Durante il ciclo colturale, oltre alle nocciole, viene prodotta anche legna da ardere derivante dalle operazioni di potatura. Questa multifunzionalità è stata gestita attraverso un approccio di espansione del sistema, assumendo che la legna prodotta sostituisca la produzione della stessa quantità di biocombustibile ottenuto da altre fonti.

5.6.1.4 Dati di inventario del ciclo di vita

In questo studio sono stati utilizzati dati primari e dati secondari. I **dati primari** relativi alle pratiche colturali (sequenza delle operazioni, macchinari impiegati, consumo di carburante, tipo e quantità di fertilizzanti e prodotti fitosanitari) sono stati raccolti tramite questionari e interviste ai dipendenti della principale Organizzazione di Produttori (OP) dell'area e a 13 agricoltori locali. Le informazioni raccolte rappresentano le tecniche mediamente utilizzate nell'area negli ultimi anni, mentre i **dati produttivi** si riferiscono all'ultimo decennio.

Sulla base di queste informazioni sono state definite le pratiche colturali tipiche dei sistemi convenzionale e biologico. I dati sulla **resa** delle nocciole sono stati ottenuti dal database della principale Organizzazione di Produttori della provincia di Viterbo, che registra le produzioni dei diversi soci conferenti.

La **meccanizzazione** delle operazioni agricole è stata modellata considerando il consumo di carburante, i tempi di lavoro e le principali caratteristiche di trattori e attrezzature. Le **emissioni** derivanti dalla combustione del diesel nei trattori sono state stimate sulla base dei consumi di carburante.

I **dati secondari** sono stati utilizzati per stimare le emissioni di azoto, fosforo e principi attivi dei pesticidi. In particolare, le emissioni di ammoniaca, la lisciviazione dei nitrati e le emissioni di protossido di azoto sono state calcolate secondo le linee guida dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019), mentre le perdite di fosforo sono state assunte pari all'1% del fosforo applicato. Il 100% del principio attivo dei pesticidi è stato considerato come rilasciato nel suolo. I cambiamenti nel contenuto di carbonio organico del suolo non sono stati considerati, poiché le due pratiche colturali analizzate presentano caratteristiche simili in termini di lavorazione del terreno, durata della coltura e gestione dei residui.

La *Tabella 5-2* riporta le principali **operazioni agricole** e i macchinari utilizzati nei diversi sottosistemi del ciclo colturale. Per quanto riguarda gli **input produttivi**, nella coltivazione convenzionale vengono utilizzati fertilizzanti minerali e diversi prodotti fitosanitari (insetticidi, fungicidi ed erbicidi), mentre nel sistema biologico si impiegano fertilizzanti

organici, come letame bovino e prodotti a base di azoto organico, oltre a formulati a base di rame e zolfo per il controllo dei parassiti.

La *Tabella 5-3* riporta i dati relativi alla **produttività**, tra cui la resa delle nocciole in guscio, la percentuale di frutti danneggiati e l'efficienza di trasformazione.

I dati produttivi degli ultimi 10 anni mostrano che la coltivazione biologica presenta una riduzione media della resa di circa il 60% rispetto al sistema convenzionale, mentre l'efficienza di trasformazione e la quota di nocciole danneggiate risultano simili tra i due sistemi.

Durante il ciclo colturale vengono inoltre prodotti residui di potatura. Nell'area dei Monti Cimini tali residui non sono generalmente valorizzati a fini energetici; tuttavia, la legna da ardere derivante dai rami di maggiore dimensione viene utilizzata localmente. Anche in questo caso è stato applicato un approccio di espansione del sistema, considerando un potere calorifico inferiore della legna pari a 17,2 MJ/kg.

Tabella 5-2: Operazioni colturali e macchinari impiegati nei sottosistemi del ciclo di vita del nocciolo

(SS = sottosistema; nn = numero di ripetizioni per anno)

SS	Operazione	Anno	Nn	Trattore	Macchina operatrice	Note
1	Ripuntura del suolo	0	1	235 kW	Ripper	Trattore cingolato
1	Frantumazione	0	0,33	235 kW	Frantumatore	Trattore cingolato, eseguita mediamente nel 33% dei casi
1	Erpicatura pesante	0	0,33	235 kW	Erpice rotante pesante	Trattore cingolato, eseguita mediamente nel 33% dei casi
1	Livellamento del suolo	0	0,33	70 kW	Livellatrice	Eseguita mediamente nel 33% dei casi
1	Installazione impianto di irrigazione	0	0,60	n/d	n/d	Prevista nel 60% dell'area convenzionale. Non installata nei noccioli biologici

2	Fertilizzazione organica	0	1	70 kW	Spandiletame	Solo nell'area biologica. 50 t/ha di letame bovino
2	Impianto	0	1	70 kW	Trapiantatrice	420 piantine/ha considerando 5% di mortalità/sostituzione
2	Erpicatura	0	1	70 kW	Erpice a dischi	—
3	Erpicatura	0–5	1	70 kW	Erpice a dischi	—
3	Controllo meccanico manuale delle infestanti	1–5	2	n/d	n/d	Eseguito manualmente intorno alle piante, privo di carichi ambientali poiché non comporta uso di macchinari o consumo di carburanti
3	Fertilizzazione	1–50	2	70 kW	Spandiconcime	Una volta l'anno dal 1° al 5° anno nel biologico
3	Potatura di allevamento	3	1	n/d	n/d	Eseguita manualmente
3	Potatura	4–50	1	n/d	Motosega	Eseguita principalmente manualmente
3	Rimozione dei polloni basali (spollonatura)	3–50	1	70 kW	Irroratrice	Nel 50% dei casi eseguita manualmente senza macchinari. Nel biologico sempre manuale
3	Controllo dei parassiti	6–50	3	70 kW	Irroratrice	Sostanze chimico-sintetiche applicate solo nella coltivazione convenzionale

3	Trinciatura	6–50	3	70 kW	Trinciatrice laterale	—
4	Diserbo pre-raccolta	6–50	1	70 kW	Ripuntatore a dischi	—
4	Raccolta	6–50	1	n/d	Mietitrice semovente	—
4	Trasporto	6–50	1	70 kW	Rimorchio agricolo	Distanza media: 10 km
4	Essiccazione	6–50	1	n/d	n/d	Dal 13% al 6% di umidità usando GPL (50%) e diesel (50%)
5	Abbattimento	50	1	—	Motosega	—
5	Ripristino del suolo	50	1	—	Escavatore	—

Tabella 5-3: Resa delle nocciole e parametri di efficienza della trasformazione

	Convenzionale	Biologico
<i>Nocciole secche in guscio (DUH)</i>	2469 kg	812 kg
<i>Danneggiate da insetti (% di DUH)</i>	15,8%	15,5%
<i>Marce (% di DUH)</i>	1,8%	1,9%
<i>Efficienza di trasformazione (% di DUH)</i>	42,25%	43,25%

5.6.1.5 Valutazione dell'impatto

Il dataset di inventario è stato caratterizzato utilizzando il metodo ReCiPe 2016 Midpoint (H), versione 1.04/World. Complessivamente, sono state considerate 15 categorie di impatto di tipo midpoint.

Il metodo ReCiPe 2016 è stato scelto in quanto ampiamente utilizzato negli studi di Life Cycle Assessment (LCA) applicati ai sistemi agricoli e perché include diverse categorie di impatto legate alla **tossicità** e agli **effetti ambientali** dei pesticidi, risultando quindi particolarmente adatto al confronto tra pratiche colturali convenzionali e biologiche.

Nel presente lavoro, l'analisi si concentra in particolare su alcune categorie ritenute più rilevanti per la valutazione della sostenibilità della coltivazione del nocciolo: Global Warming (GW), Fossil Resource Scarcity (FFP), Freshwater Eutrophication (FEP), Human Toxicity (HTPc e HTPnc), Freshwater Ecotoxicity (FEFP), Terrestrial Ecotoxicity (TEFP) e Marine Ecotoxicity (MEFP).

La *Tabella 5-4* riporta i **risultati** dell'impatto ambientale della produzione di nocciole convenzionale e biologica per le categorie di impatto selezionate. I risultati sono espressi rispetto all'unità funzionale di 1 kg di nocciole in guscio con un contenuto di umidità del 6%, al cancello dell'impianto di essiccazione.

Nel complesso, la coltivazione biologica mostra **valori di impatto più elevati** rispetto alla coltivazione convenzionale per la maggior parte delle categorie considerate. In particolare, per il **cambiamento climatico (GW)**, l'impatto aumenta del 39%, passando da 1,287 kg CO₂ eq/kg nel sistema convenzionale a 1,793 kg CO₂ eq/kg nel sistema biologico.

Un aumento significativo si osserva anche per **l'eutrofizzazione delle acque dolci (FEP)**, con un incremento dell'81% nel biologico rispetto al convenzionale. Analogamente, **l'esaurimento delle risorse fossili (FFP)** risulta maggiore nel sistema biologico (+49%).

Per quanto riguarda la **tossicità umana**, il sistema biologico mostra un impatto leggermente superiore rispetto al convenzionale, con un aumento del 24% per la **tossicità cancerogena (HTPc)** e del 5% per quella **non cancerogena (HTPnc)**.

Al contrario, la coltivazione biologica presenta prestazioni migliori nelle categorie legate all'ecotossicità. In particolare, **l'ecotossicità delle acque dolci (FEFP)** risulta inferiore dell'81% nel sistema biologico rispetto a quello convenzionale. Anche per **l'ecotossicità terrestre (TEFP)** e per **l'ecotossicità marina (MEFP)** si osserva una riduzione dell'impatto rispettivamente del 42% e del 66%.

Tale risultato è principalmente attribuibile all'assenza di pesticidi sintetici nella gestione biologica, che rappresentano uno dei principali fattori responsabili degli impatti ecotossicologici negli ecosistemi terrestri e acquatici.

Le differenze osservate tra i due sistemi di coltivazione sono dovute principalmente alla **minore resa** della coltivazione biologica e alle diverse pratiche di fertilizzazione, che comportano emissioni più elevate di composti di azoto e fosforo.

Tabella 5-4: Confronto degli impatti ambientali tra coltivazione convenzionale e biologica

Categoria di impatto	Acr.	Unità	Convenzionale (C)	Biologico (O)	Δ
<i>Cambiamento climatico</i>	GW	kg CO ₂ eq	1,287	1,793	+39%
<i>Eutrofizzazione delle acque dolci</i>	FEP	g P eq	0,244	0,442	+81%
<i>Ecotossicità terrestre</i>	TEFP	kg 1,4-DCB eq	4,743	2,758	-42%
<i>Ecotossicità delle acque dolci</i>	FEFP	kg 1,4-DCB eq	0,178	0,034	-81%
<i>Tossicità umana cancerogena</i>	HTPc	g 1,4-DCB eq	22,880	28,472	+24%
<i>Tossicità umana non cancerogena</i>	HTPnc	kg 1,4-DCB eq	1,172	1,233	+5%
<i>Esaurimento delle risorse fossili</i>	FFP	kg oil eq	0,174	0,259	+49%
<i>Ecotossicità marina</i>	MEFP	kg 1,4-DCB eq	0,138	0,047	-66%

La *Figura 5-1* mostra i risultati dell'analisi dei contributi per le categorie di impatto selezionate. I sottoprocessi sono stati raggruppati in: meccanizzazione, essiccazione, fertilizzanti, altri fattori produttivi, emissioni dovute alla fertilizzazione, emissioni dovute all'applicazione dei pesticidi e impatto evitato per la produzione di legna da ardere.

I principali risultati evidenziano che:

- La **meccanizzazione** delle operazioni in campo rappresenta uno dei principali contributori agli impatti ambientali, risultando dominante per diverse categorie non incluse nella presente analisi e particolarmente rilevante per le categorie di **tossicità** (HTPc, HTPnc) ed **ecotossicità** (TEFP, FEFP, MEFP), nonché per **l'esaurimento delle risorse fossili** (FFP) nel sistema biologico. Nel caso della coltivazione biologica, il contributo della meccanizzazione risulta più elevato rispetto al convenzionale e, in termini assoluti, può essere anche più che doppio, principalmente a causa della minore resa e dell'assenza di fertilizzanti sintetici.
- **L'essiccazione** ha un ruolo marginale (<5%) per tutte le categorie considerate, ad eccezione dell'esaurimento delle risorse fossili (FFP) nel sistema convenzionale e della **tossicità umana cancerogena** (HTPc) nel sistema biologico.
- La **fertilizzazione** svolge un ruolo differente nei due sistemi colturali. Nel sistema convenzionale, l'impatto è principalmente legato alla produzione dei fertilizzanti sintetici, in particolare quelli azotati, caratterizzati da un elevato fabbisogno energetico e quindi responsabili di un maggiore contributo **all'esaurimento delle risorse fossili** (FFP). Al contrario, nel sistema biologico, l'impatto è principalmente associato alle emissioni di **composti di azoto e fosforo** durante l'applicazione dei fertilizzanti organici, che determinano effetti rilevanti soprattutto **sull'eutrofizzazione delle acque dolci** (FEP) e, in parte, sul **cambiamento climatico** (GW), a causa delle emissioni di N₂O.
- I benefici derivanti dalla produzione di legna da ardere **riducono** parzialmente l'impatto di GW, FFP, FEP e HTP nel sistema biologico, grazie alla minore produzione totale di nocchie rispetto al sistema convenzionale.
- Le emissioni dei pesticidi hanno un ruolo rilevante nella coltivazione convenzionale per le categorie legate all'**ecotossicità** (in particolare FEFP e MEFP), dove possono contribuire per oltre il 50% dell'impatto totale. Al contrario, nella coltivazione biologica il loro contributo è sempre molto basso (<3,5%).

In generale, la coltivazione biologica mostra prestazioni migliori per le categorie legate **all'ecotossicità** (TEFP, FEFP, MEFP) e alla **tossicità umana**, mentre presenta un impatto più

elevato per GW, FFP e FEP, principalmente a causa della **minore resa** e delle pratiche di fertilizzazione.

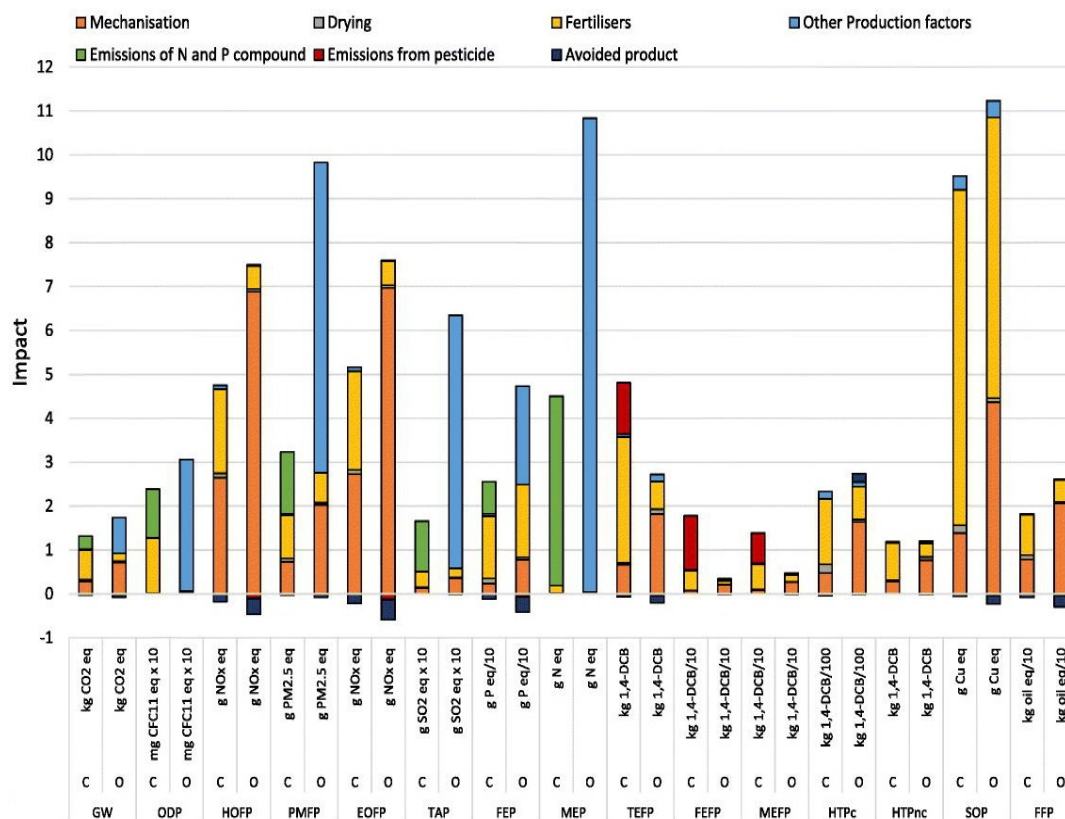


Figura 5-1: Analisi dei contributi per le due pratiche colturali

5.6.1.6 Ruolo della meccanizzazione

La **meccanizzazione** delle operazioni in campo svolge un ruolo rilevante nella definizione del carico ambientale di entrambe le pratiche colturali analizzate, risultando il principale hotspot per due categorie di impatto nella produzione convenzionale e per otto categorie nel caso della coltivazione biologica.

La *Figura 5-2* mostra il **contributo** delle diverse **operazioni in campo**, raggruppate per sottosistemi, evidenziando la quota dell'impatto totale attribuibile alla meccanizzazione. In particolare, la percentuale riportata sull'asse delle ascisse rappresenta la frazione dell'impatto complessivo imputabile alla meccanizzazione per ciascuna categoria di impatto. Tale quota potrebbe risultare leggermente più elevata qualora si considerasse un utilizzo annuo del trattore non ottimale. Tuttavia, è importante sottolineare che molte operazioni agricole sono

generalmente affidate a contoterzisti, i quali tendono a utilizzare in modo più efficiente macchinari e attrezzature rispetto alle singole aziende agricole.

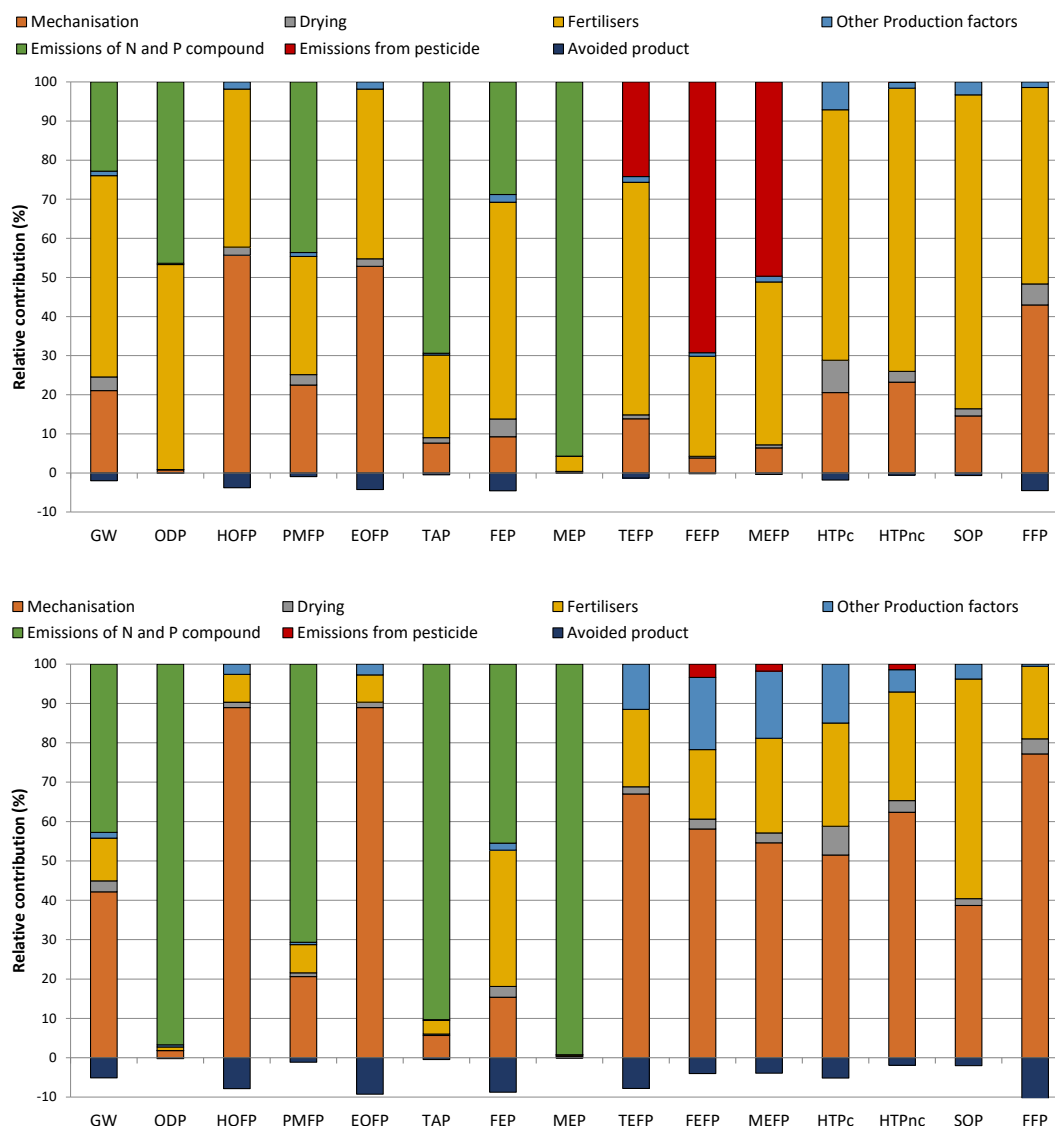


Figura 5-2: Analisi dei contributi della meccanizzazione nei sistemi convenzionale (in alto) e biologico (in basso).

Come atteso, la quota principale dell'impatto associato alla meccanizzazione deriva dalle operazioni svolte con maggiore frequenza durante il ciclo colturale. In particolare, le attività di gestione della coltura (sottosistema 3) e le operazioni di raccolta e post-raccolta (sottosistema 4) rappresentano di gran lunga i **contributi più rilevanti**, con una quota complessiva dell'impatto della meccanizzazione compresa tra il 90% e il 94%.

5.6.1.7 Analisi di sensibilità

L'analisi di sensibilità è stata condotta per valutare l'effetto della **variabilità della resa** sulla prestazione ambientale delle due pratiche colturali.

In particolare, l'impatto ambientale è stato calcolato considerando, oltre alla resa media, anche i valori minimo e massimo osservati nel periodo analizzato. I risultati evidenziano come la **resa** rappresenti uno dei principali fattori che influenzano l'impatto ambientale della produzione di nocciole.

Nel caso della **resa minima**, l'impatto aumenta fino al 27,9% nella coltivazione convenzionale e al 12,8% in quella biologica. Al contrario, considerando la **resa massima**, il carico ambientale si riduce del 38,2% nel sistema convenzionale e del 22,6% in quello biologico.

Il ruolo della resa emerge chiaramente anche nel confronto tra i due sistemi produttivi. A **parità di resa** (media, minima o massima), la coltivazione convenzionale presenta sempre un impatto ambientale **inferiore** rispetto a quella biologica. Tuttavia, considerando la resa minima per il sistema convenzionale e la resa massima per quello biologico, quest'ultimo può risultare più sostenibile, mostrando un impatto inferiore per 8 delle 15 categorie di impatto valutate; in particolare, per il cambiamento climatico si osserva una riduzione pari al 15,6%.

5.6.1.8 Conclusioni

In questo studio è stato valutato l'impatto ambientale dei sistemi di coltivazione convenzionale e biologica del nocciolo nell'area dei Monti Cimini (Provincia di Viterbo), principale distretto corilicolo italiano.

I risultati LCA evidenziano che il sistema biologico presenta un **impatto** generalmente **più elevato** (da +5% a +285%) per la maggior parte delle categorie considerate, pur mostrando **prestazioni migliori** per le categorie legate all'ecotossicità (da -42% a -81%).

La **resa** rappresenta il principale fattore determinante dei risultati ambientali: la minore produttività del sistema biologico spiega gran parte delle differenze osservate tra le due pratiche. Un ruolo rilevante è inoltre svolto dalla **fertilizzazione** e dalle emissioni associate, in particolare per gli impatti legati al rilascio di azoto e fosforo (eutrofizzazione, acidificazione e formazione di particolato).

La **co-produzione di legna** da ardere comporta benefici ambientali limitati, sebbene presenti potenzialità di valorizzazione a livello locale.

Il confronto tra i due sistemi evidenzia la presenza di compromessi tra le diverse categorie di impatto, rendendo impossibile individuare una soluzione complessivamente migliore. Tuttavia, i risultati possono supportare lo sviluppo di politiche e strategie di gestione:

la coltivazione biologica risulta preferibile in aree ad elevato valore ecologico, mentre nel sistema convenzionale è opportuno intervenire in particolare sull'uso dei pesticidi, ad esempio attraverso l'adozione di tecnologie di distribuzione più efficienti.

Infine, futuri sviluppi potrebbero considerare unità funzionali alternative (ad esempio basate sul valore economico o nutrizionale) e analizzare cicli colturali con diversa durata e produttività, al fine di valutare meglio le differenze tra i sistemi.

5.6.2 *Analisi multi-sistema in Campania (Pergola et al., 2024)*

Un lavoro coordinato da Pergola e colleghi (63) ha applicato l’approccio Life Cycle Assessment (LCA), secondo gli standard ISO 14040 e 14044, a **21 sistemi corilicoli** localizzati nella regione Campania, con l’**obiettivo** di valutare l’impatto ambientale della produzione di nocciole e il ruolo del recupero dei residui di potatura e dei gusci in un’ottica di economia circolare. L’**unità funzionale** adottata (ovvero il riferimento quantitativo rispetto al quale vengono calcolati tutti gli impatti) è stata 1 kg di nocciole con guscio. Al fine di migliorare il confronto tra i sistemi analizzati, è stata inoltre considerata come unità funzionale alternativa anche la superficie di 1 ettaro di terreno coltivato.

5.6.2.1 Descrizione dei sistemi analizzati

Le principali **caratteristiche** dei sistemi di coltivazione del nocciolo analizzati sono riportate nelle seguenti Tabelle: Tabella 5-5, Tabella 5-6, Tabella 5-7 e Tabella 5-8. In particolare, la *Tabella 5-5* mostra che le cultivar più coltivate erano Mortarella (M), Tonda di Giffoni (TG), Tonda Gentile Romana (TGR) e San Giovanni (SG) mentre Tonda Bianca (TB) e Tonda Rossa (TR) erano presenti, seppur in percentuali minori. Negli impianti analizzati l’età degli alberi, il metodo di allevamento e la densità di piantumazione erano variabili. La **resa media** di noccioli per ettaro, che variava molto tra i sistemi, è stata influenzata da diversi fattori, come la cultivar, l’età degli alberi e il sistema di coltivazione.

Riferendosi al **sistema di coltivazione**, gli impianti analizzati erano gestiti secondo tre diverse tecniche: 4 seguivano metodi biologici (**BIO**), 16 adottavano tecniche integrate (**INT**) e 1 era gestito secondo le pratiche convenzionali (**CONV**).

Tabella 5-5: Principali caratteristiche dei sistemi analizzati. Parte 1

Sistema	Provincia	Cultivar (CV)	Età Alberi (anni)	Forma Alberi	Densità Impianto (alberi/ha)	Produzione Media (kg/ha anno)
BIO1	Caserta	SG	15	A più fusti e a vaso	5 × 5	2200
BIO2	Avellino	M, TG	30–50	A vaso	4 × 4	2098
BIO3	Avellino	M	10–20	A più fusti e a vaso	4 × 4	1906

<i>BIO4</i>	Salerno	TG	25	A più fusti e a vaso	4 × 4	4325
<i>INT1</i>	Caserta	TGR, SG, M	35	A vaso	4,5 × 4,5	3500
<i>INT2</i>	Avellino	M 80%, TB, SG, TR	15–30	A più fusti	5 × 5 / 6 × 5	2500
<i>INT3</i>	Avellino	M 80%, TB, SG, TR	25	A più fusti	6 × 4	3000
<i>INT4</i>	Avellino	M, TG	20–40	A più fusti e a vaso	5 × 5 / 5 × 4	2950
<i>INT5</i>	Avellino	M 90%, SG 5%, P 5%	30–35	A più fusti e a vaso	5 × 5 / 2,5 × 2,5	2450
<i>INT6</i>	Salerno	TG	40	A più fusti	3 × 4	2000
<i>INT7</i>	Salerno	TG	15	A vaso	5 × 4	1800
<i>INT8</i>	Salerno	TG	30	A più fusti	3 × 4	1000
<i>INT9</i>	Salerno	TG	10	A vaso	5 × 4	1000
<i>INT10</i>	Salerno	TG	20	A vaso	5 × 4	1700
<i>INT11</i>	Salerno	TG	40	A più fusti	3 × 4	1800
<i>INT12</i>	Salerno	TG	25	A più fusti e a vaso	4 × 4	6055
<i>INT13</i>	Caserta	M	1–40	A vaso	4 × 4 / 5 × 4	2900
<i>INT14</i>	Caserta	Diverse CV	1–40	A vaso	5 × 5	3000
<i>INT15</i>	Caserta	TG	20	A più fusti	2 × 1,5	3000
<i>INT16</i>	Caserta	TG	20	A più fusti	2 × 1,5	2000
<i>CONV</i>	Caserta	TGR, SG, M	35	A vaso	4,5 × 4,5	3300

La maggior parte degli impianti era situata su terreni sabbiosi e limosi, prevalentemente pianeggianti o leggermente inclinati. Alcuni noccioleti, invece, erano coltivati su terrazze o argini, permettendo così di confrontare sistemi coltivati su terreni pianeggianti con quelli in condizioni più complesse.

Il **metodo di potatura** in tutti i sistemi analizzati era manuale, mentre la **gestione dei residui** di potatura variava: in 13 casi i residui furono sminuzzati direttamente in campo; in 7 casi furono rimossi e bruciati, sia all'aperto sia in impianti a biomassa. Solo in 1 caso i residui furono bruciati direttamente in campo.

Per quanto riguarda le **tecniche agronomiche** adottate, solo tre sistemi di coltivazione integrati prevedevano l'**irrigazione**. (Tabella 5-6)

Tabella 5-6: Principali caratteristiche dei sistemi analizzati. Parte 2

Sistema	Tessitura del suolo	Pendenza	Sistema di coltivazione	Smaltimento dei residui di potatura	Irrigazione
BIO1	sabbioso-limoso	0%	Biologico	Tritati in campo	no
BIO2	sciolto	3%	Biologico	Rimossi e bruciati all'aperto	no
BIO3	sciolto	20%	Biologico	Tritati in campo	no
BIO4	sabbioso-limoso	5–20%	Biologico	Bruciati in campo	no
INT1	sabbioso-sciolto	5%	Integrato	Tritati in campo	no
INT2	sabbioso-limoso	argini	Integrato	Rimossi e bruciati in impianto	no
INT3	sabbioso-limoso	0%	Integrato	Rimossi e bruciati in impianto	no
INT4	media-textura	0–20%	Integrato	Tritati in campo	no
INT5	sabbioso-limoso	0–20%	Integrato	Tritati in campo	no
INT6	sabbioso-limoso	0–20%	Integrato	Tritati in campo	sì

<i>INT7</i>	sabbioso-limoso	0–20%	Integrato	Tritati in campo	sì
<i>INT8</i>	sabbioso-limoso	terrazze	Integrato	Tritati in campo	no
<i>INT9</i>	sabbioso-limoso	terrazze	Integrato	Tritati in campo	no
<i>INT10</i>	sabbioso-limoso	0–20%	Integrato	Tritati in campo	no
<i>INT11</i>	sabbioso-limoso	0–20%	Integrato	Tritati in campo	no
<i>INT12</i>	sabbioso-limoso	5–20%	Integrato	Bruciati in campo	no
<i>INT13</i>	sabbioso-limoso	0%	Integrato	Rimossi e bruciati all'aperto	sì
<i>INT14</i>	sabbioso-limoso	0%	Integrato	Rimossi e bruciati all'aperto	no
<i>INT15</i>	sabbioso-limoso	0%	Integrato	Rimossi e bruciati all'aperto	no
<i>INT16</i>	argilloso	argini	Integrato	Rimossi e bruciati all'aperto	no
<i>CONV</i>	sabbioso-limoso	5%	Convenzionale	Tritati in campo	no

5.6.2.2 Tecniche colturali, operazioni agronomiche e gestione post-raccolta

In tutti gli impianti analizzati, il **controllo delle infestanti** veniva effettuato mediante trinciatura, e in alcuni casi anche tramite l'impiego di erbicidi (glifosato). La **difesa fitosanitaria** variava in funzione del sistema di coltivazione adottato, e di conseguenza, l'uso di prodotti di sintesi era limitato ai sistemi integrati e convenzionali.

Le **lavorazioni del suolo** più comuni erano l'erpatura e la fresatura; tuttavia, in alcuni sistemi tali operazioni erano completamente assenti, in particolare negli impianti terrazzati o localizzati su terrazze. La **fertilizzazione** era praticata in 17 sistemi (CONV e INT) ed era di

tipo annuale e minerale; in due sistemi BIO la fertilizzazione era annuale e di origine naturale, mentre in altri due BIO veniva adottata la pratica del sovescio. La **spollonatura** veniva eseguita prevalentemente in modo manuale, mentre risultava meccanizzata solo in alcuni sistemi. La **raccolta**, era generalmente meccanizzata, eccetto in pochi casi manuale. (Tabella 5-7)

Tabella 5-7: Specifiche delle tecniche colturali adottate nei sistemi analizzati

Sistemi	Fertilizzazio ne	Controll o delle infestanti	Gestione della copertura del suolo	Difesa fitosanitar ia	Metodo di spollonatura	Raccolta
<i>BIO1</i>	sovescio	trinciatur a	erpicoltura e trinciatur a	prodotti naturali	manuale	manuale
<i>BIO2</i>	annuale e naturale	trinciatur a	Erpicatur a	prodotti naturali	manuale	meccanizzat a
<i>BIO3</i>	sovescio	trinciatur a	Fresatura	prodotti naturali	manuale	meccanizzat a
<i>BIO4</i>	annuale e naturale	trinciatur a	fresatura ed erpicoltura	prodotti naturali	manuale	manuale
<i>INT1</i>	annuale e minerale	trinciatur a	fresatura ed erpicoltura	prodotti convenzio nali	manuale	meccanizzat a
<i>INT2</i>	annuale e minerale	trinciatur a e glifosato	fresatura e trinciatur a	prodotti convenzional i	manuale	meccanizzat a
<i>INT3</i>	annuale e minerale	trinciatur a e glifosato	fresatura e trinciatur a	prodotti convenzional i	manuale	meccanizzat a

<i>INT4</i>	annuale e minerale	trinciatura e glifosato	Erpicatura	prodotti convenzionali	manuale	meccanizzata
<i>INT5</i>	annuale e minerale	trinciatura	Fresatura	prodotti convenzionali (raramente)	manuale	meccanizzata
<i>INT6</i>	annuale e minerale	trinciatura e glifosato	nessun intervento	prodotti convenzionali	meccanizzata	meccanizzata
<i>INT7</i>	annuale e minerale	trinciatura e glifosato	nessun intervento	prodotti convenzionali	meccanizzata	meccanizzata
<i>INT8</i>	annuale e minerale	trinciatura e glifosato	nessun intervento	prodotti convenzionali	meccanizzata	meccanizzata
<i>INT9</i>	annuale e minerale	trinciatura e glifosato	nessun intervento	prodotti convenzionali	meccanizzata	meccanizzata
<i>INT10</i>	annuale e minerale	trinciatura e glifosato	nessun intervento	prodotti convenzionali	meccanizzata	meccanizzata
<i>INT11</i>	annuale e minerale	trinciatura e glifosato	nessun intervento	prodotti convenzionali	meccanizzata	meccanizzata
<i>INT12</i>	annuale e minerale	trinciatura	fresatura ed erpicatura	prodotti convenzionali	manuale	manuale
<i>INT13</i>	annuale e minerale	trinciatura e glifosato	nessun intervento	prodotti convenzionali	manuale	meccanizzata
<i>INT14</i>	annuale e minerale	trinciatura	nessun intervento	prodotti convenzionali	manuale	meccanizzata
<i>INT15</i>	annuale e minerale	trinciatura	nessun intervento	prodotti convenzionali	manuale	meccanizzata

<i>INT16</i>	annuale e minerale	trinciatur a	nessun intervento	prodotti convenzional i	manuale	meccanizzat a
<i>CONV</i>	annuale e minerale	trinciatur a e raramente glifosato	fresatura ed erpicoltura	prodotti convenzional i	manuale	meccanizzat a

Per quanto riguarda le **operazioni post-raccolta** (*Tabella 5-8*), solo 3 degli impianti analizzati commercializzavano le nocciole tal quali (INT 1 , INT 14, CONV) immediatamente dopo la raccolta; 4 sistemi vendevano il prodotto sia allo stato fresco sia dopo le operazioni di pulizia ed essiccazione, 9 sistemi commercializzavano le nocciole dopo aver effettuato anche la calibrazione e in 2 casi veniva eseguita anche la sgusciatura, infine in altri 4 impianti il prodotto veniva ulteriormente confezionato.

Quando presente, la fase di **pulizia** era effettuata con impianti elettrici in 12 sistemi, manualmente in 4 e in 1 solo caso, mediante una macchina meccanica alimentata a gasolio. L'**essiccazione**, in alcuni impianti, avveniva naturalmente all'aria aperta, mentre negli altri casi era di tipo elettrico o meccanico. Le operazioni di **calibrazione** e **sgusciatura**, quando presenti, erano sempre effettuate con impianti elettrici.

Il **confezionamento** veniva effettuato esclusivamente in 4 aziende. Le modalità di confezionamento differivano: in 2 casi venivano utilizzati sacchetti di carta da 1 kg per le nocciole in guscio, mentre per le nocciole sgusciate erano adottate confezioni sottovuoto in plastica da 0,150 kg, 0,250 kg e 1 kg; negli altri 2 sistemi, invece, venivano impiegate reti in plastica riciclabile da 1 kg.

Tabella 5-8: Operazioni post-raccolta adottate nei sistemi analizzati

Sistem a	Nocciol e fresche	Pulizia	Essiccazion e	Calibratur a	Sgusciatur a	Confezionament o
<i>BIO1</i>	no	elettrica	meccanica	No	No	no
<i>BIO2</i>	no	elettrica	all'aria aperta	No	No	no
<i>BIO3</i>	no	manuale	all'aria aperta	No	No	no
<i>BIO4</i>	sì	elettrica	elettrica	Elettrica	Elettrica	sì
<i>INT1</i>	sì	No	no	No	No	no
<i>INT2</i>	no	elettrica	meccanica	No	No	no
<i>INT3</i>	no	elettrica	meccanica	No	No	no
<i>INT4</i>	no	elettrica	elettrica	Elettrica	No	no
<i>INT5</i>	no	manuale	all'aria aperta	No	No	no
<i>INT6</i>	no	elettrica	elettrica	Elettrica	No	no
<i>INT7</i>	no	elettrica	elettrica	Elettrica	No	no
<i>INT8</i>	no	elettrica	elettrica	Elettrica	No	no
<i>INT9</i>	no	elettrica	elettrica	Elettrica	No	no
<i>INT10</i>	no	elettrica	elettrica	Elettrica	No	no
<i>INT11</i>	no	elettrica	elettrica	Elettrica	No	no
<i>INT12</i>	sì	elettrica	elettrica	Elettrica	Elettrica	sì
<i>INT13</i>	no	Meccanica	elettrica	No	No	no
<i>INT14</i>	sì	No	no	No	No	no
<i>INT15</i>	sì	manuale	all'aria aperta	No	No	sì
<i>INT16</i>	sì	manuale	all'aria aperta	No	No	sì
<i>CONV</i>	sì	No	no	No	No	no

Dopo aver descritto i sistemi analizzati, sono state considerate le seguenti quattro fasi standardizzate della LCA: definizione di obiettivi e ambiti; inventario del ciclo di vita;

valutazione dell'impatto sul ciclo di vita e interpretazione. Inoltre è stata condotta un'analisi di sensibilità.

5.6.2.3 Definizione di obiettivi e ambito

Per raggiungere l'obiettivo della presente ricerca, i **confini del sistema** (*Figura 5-2*) sono stati definiti secondo un approccio **cradle-to-farm gate** (dalla culla al cancello dell'azienda agricola), includendo le fasi dall'estrazione delle materie prime fino all'uscita del prodotto dall'azienda. In funzione del sistema analizzato, sono state considerate la fase agricola, le operazioni post-raccolta e, ove presenti, le successive attività di confezionamento svolte all'interno delle aziende. L'analisi ha pertanto incluso le diverse operazioni agronomiche della coltivazione del nocciolo (lavorazione del suolo, operazioni meccanizzate, fertilizzazione, controllo delle infestanti, controllo delle malattie e irrigazione), nonché la raccolta e il trasporto in azienda e, quando previste, le fasi di pulizia, essiccazione, calibrazione, stoccaggio e confezionamento.

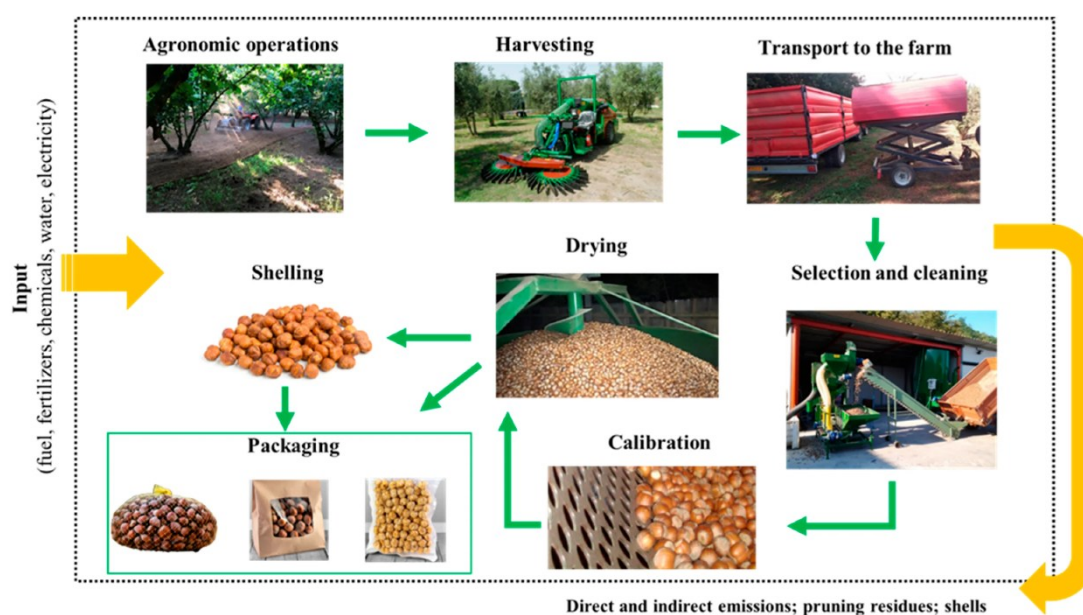


Figura 5-3: Confini del sistema

5.6.2.4 Inventario del ciclo di vita (LCI)

I dati utilizzati per l'analisi dei sistemi studiati, come quantità di combustibile, fertilizzanti, prodotti chimici, acqua, energia e altre risorse, sono stati raccolti direttamente in campo. Dall'analisi emerge che la **concimazione** variava in funzione della tipologia di gestione adottata: in alcuni casi venivano utilizzati fertilizzanti minerali, mentre in altri si ricorreva a fertilizzanti organici, come letame o pellet. Per quanto riguarda i prodotti chimici, i più comuni erano fungicidi, erbicidi e insetticidi a base di zolfo, glifosato e lambda-cialotrina; in alcune aziende venivano impiegate combinazioni di più principi attivi.

L'impiego di **risorse umane** e **meccaniche** variava notevolmente tra i sistemi, con alcuni che richiedevano maggiore lavoro manuale e altri un maggior utilizzo di macchinari. L'**irrigazione** era presente solo in determinate aziende, mentre il consumo di **elettricità** si riscontrava prevalentemente laddove le operazioni post-raccolta venivano svolte mediante impianti elettrici.

Per ciascuna operazione, le emissioni dirette e indirette sono state stimate considerando le **quantità di ingrediente attivo** dei prodotti impiegati. Le emissioni derivanti dai carburanti sono state stimate usando **database LCI** di SimaPro come Ecoinvent 3 e Agri-Footprint 5, mentre le emissioni legate ai fertilizzanti azotati, come ammoniaca e ossido di diazoto, sono state calcolate utilizzando **fattori di emissione** consolidati in letteratura. Per quanto riguarda i pesticidi sintetici, le emissioni dirette sono state stimate sulla base della quantità di **principio attivo** applicato, seguendo le metodologie proposte in studi precedenti.

I dati secondari, utili per stimare le emissioni indirette legate alla produzione di diesel, fertilizzanti, pesticidi, elettricità, acqua e materiali di imballaggio, sono stati ricavati da **database scientifici** affidabili come Ecoinvent v.3. In diversi casi, a causa della mancanza di dati specifici sui prodotti impiegati, sono state adottate alcune semplificazioni: per i fertilizzanti minerali è stato considerato un equivalente sintetico standard, mentre per i fertilizzanti organici è stato utilizzato il letame come riferimento. Gli impatti derivanti dalla pelletizzazione dei fertilizzanti non sono stati considerati a causa dell'assenza di un coefficiente tecnico consolidato.

5.6.2.5 Analisi di sensibilità

L'analisi di sensibilità è stata condotta per valutare come diverse pratiche di gestione dei **residui** di potatura e dei gusci influenzino gli impatti ambientali.

Per i **residui di potatura**, sono state considerate tre alternative:

1. Sminuzzamento direttamente in campo;
2. Bruciatura in campo;
3. Raccolta e utilizzo come legna da ardere in camini/stufe, in caldaie da 50 kW o in impianti da 1 MW.

Per i **gusci delle nocciole**, normalmente smaltiti come frazione organica dei rifiuti urbani, sono state valutate le possibilità di:

- Uso come combustibile in camini/stufe, caldaie da 50 kW o impianti da 1 MW;
- Impiego nelle operazioni post-raccolta come fonte energetica.

Per entrambe le tipologie di residui, sono state calcolate le **emissioni di CO₂ equivalenti** delle diverse alternative. Inoltre, sono state stimate le **emissioni evitate** derivanti dal risparmio di pellet, metano e diesel, utilizzando i coefficienti di emissione presenti in studi precedenti

5.6.2.6 Valutazione dell'impatto sul ciclo di vita

La **valutazione degli impatti ambientali** è stata condotta utilizzando il **software SimaPro 9**. La fase di caratterizzazione è stata effettuata applicando il metodo ReCiPe midpoint (2008), adottando la prospettiva gerarchica, comunemente utilizzata negli studi di Life Cycle Assessment.

Nel presente lavoro, pur partendo dall'insieme completo delle categorie di impatto previste dal metodo ReCiPe midpoint (2008), sono state inizialmente considerate tutte le categorie di impatto ambientale: cambiamento climatico (Climate Change, CC), esaurimento dell'ozono (Ozone Depletion, OD), acidificazione terrestre (Terrestrial Acidification, TA), eutrofizzazione delle acque dolci (Freshwater Eutrophication, FEu), eutrofizzazione marina (Marine Eutrophication, MEu), tossicità umana (Human Toxicity, HT), formazione di ossidanti fotochimici (Photochemical Oxidant Formation, POF), formazione di particolato (Particulate Matter Formation, PMF), ecotossicità terrestre (Terrestrial Ecotoxicity, TEc), ecotossicità delle acque dolci (Freshwater Ecotoxicity, FEc), ecotossicità marina (Marine Ecotoxicity, MEc), radiazione ionizzante (Ionizing Radiation, IR), occupazione del suolo agricolo (Agricultural Land Occupation, ALO), occupazione urbana del suolo (Urban Land Occupation, ULO), trasformazione naturale del territorio (Natural Land Transformation,

NLT), esaurimento della risorsa idrica (Water Depletion, WD), esaurimento dei metalli (Metal Depletion, MD) ed esaurimento delle risorse fossili (Fossil Depletion, FD).

Tuttavia, ai fini della discussione dei risultati, l'analisi si è focalizzata su un sottoinsieme di categorie ritenute maggiormente rappresentative degli impatti ambientali associati alla produzione di nocciole e più sensibili alle pratiche agronomiche adottate. In particolare, sono state approfondite le categorie cambiamento climatico (**CC**), esaurimento delle risorse fossili (**FD**), esaurimento della risorsa idrica (**WD**), eutrofizzazione delle acque dolci (**FEu**), tossicità umana (**HT**), ecotossicità delle acque dolci (**FEC**) e occupazione del suolo agricolo (**ALO**).

5.6.2.7 Risultati

Gli impatti ambientali sono stati calcolati per kg di nocciole con guscio, considerando separatamente la fase agricola e le operazioni post-raccolta, per poi determinarne il valore complessivo.

Per quanto riguarda la **FASE AGRICOLA**, si osservano differenze significative tra i sistemi biologici (BIO), integrati (INT) e convenzionali (CONV), a seconda della categoria di impatto analizzata.

Per il **cambiamento climatico (CC)**, il valore più basso è stato registrato in BIO4 (0,32 kg CO₂ eq), mentre il più alto è stato osservato in INT8 (2,48 kg CO₂ eq), in gran parte attribuibile alla fertilizzazione con NPK.

Nell'**esaurimento fossile (FD)**, i valori più alti si trovano nei sistemi integrati INT8 (0,68 kg oil eq), dovuti principalmente al consumo di carburante e fertilizzanti, mentre i valori più bassi sono stati osservati in INT14 (0,09 kg oil eq).

Per l'**esaurimento idrico (WD)**, gli impatti sono concentrati nei sistemi irrigati, con INT13 che presenta il valore più alto (0,08 m³) a causa del maggiore uso di acqua.

Nella categoria di **tossicità umana (HT)**, il valore più basso è stato registrato in INT14 (0,06 kg 1,4-DB eq), mentre il più alto in INT8 (0,49 kg 1,4-DB eq), principalmente dovuto alla fertilizzazione.

Per l'**eutrofizzazione in acqua dolce (FEu)** e l'**ecotossicità delle acque dolci (FEC)**, i valori più bassi si osservano nei sistemi biologici e in diversi sistemi integrati (0,001–0,02 kg 1,4-DB eq), mentre i valori più elevati si registrano nel sistema convenzionale (0,07 kg 1,4-DB eq per FEC), causati soprattutto dall'uso di pesticidi e fertilizzanti minerali.

Il valore più basso di **occupazione del suolo agricolo (ALO)** è stato registrato nel sistema INT16 (0,02 m² di terreno annuale coltivato per kg di nocciole), mentre il valore più elevato è stato osservato nel sistema BIO1 (0,37 m² per kg). Questo risultato è principalmente

attribuibile alle rese per ettaro inferiori dei sistemi biologici e alle pratiche agronomiche adottate, come la gestione della copertura erbosa, che comportano una maggiore superficie necessaria per ottenere la stessa quantità di prodotto.

Al fine di migliorare la leggibilità dei risultati e rendere più chiaro il confronto tra le diverse modalità di gestione, gli impatti ambientali della fase agricola sono stati **aggregati** per sistema di coltivazione (biologico, integrato e convenzionale) ed espressi come **valori medi**. (Tabella 5-9)

Le differenze tra i singoli sistemi all'interno di ciascun gruppo sono comunque discusse nel testo, evidenziando i valori minimi e massimi osservati.

Tabella 5-9: Confronto degli impatti ambientali tra i sistemi di coltivazione. Valori medi per kg di nocciole non sgusciate e per ettaro

Categoria d'impatto	Unità	BIO (per kg)	BIO (per ha)	INT (per kg)	INT (per ha)	CONV (per kg)	CONV (per ha)
<i>Cambiamento climatico (CC)</i>	kg CO ₂ eq	0,482	1171,7	0,969	1956,8	0,745	2457,69
<i>Esaurimento fossile (FD)</i>	kg eq petroliferi	0,132	325,1	0,236	459,5	0,196	648,28
<i>Esaurimento idrico (WD)</i>	m ³	0,001	3,2	0,009	23,3	0,005	17,02
<i>Eutrofizzazione acque dolci (FEu)</i>	kg P eq	0,000	0,2	0,000	0,8	0,000	0,78
<i>Tossicità umana (HT)</i>	kg 1,4- DB eq	0,117	292,3	0,184	380,9	0,311	1026,80
<i>Ecotossicità acque dolci (FEc)</i>	kg 1,4- DB eq	0,013	33,6	0,019	41,8	0,069	227,48
<i>Occupazione del suolo agricolo (ALO)</i>	m ² anno/ha	0,152	353,3	0,102	192,9	0,086	283,21

L'aggregazione dei dati medi per sistema di coltivazione mostra che i **sistemi biologici** presentano impatti inferiori per quasi tutte le categorie considerate, sia per kg di prodotto che

per ettaro di terreno coltivato. Al contrario, i sistemi **convenzionali** risultano i più impattanti, con valori significativamente più alti soprattutto in CC, FD e FEC.

In sintesi, i principali **hotspot ambientali** della fase agricola sono rappresentati dalla **fertilizzazione**, dall'uso di **carburante e macchinari** e, nei sistemi convenzionali, dall'uso dei **pesticidi**, confermando l'importanza delle pratiche agronomiche nella sostenibilità della produzione di nocciole.

La gestione del suolo (terreni pianeggianti o terrazzati; sistemi irrigati o meno) influisce sugli impatti ambientali. La coltivazione su terreni in pendenza o terrazzati comporta impatti più elevati, principalmente per il maggiore consumo di **combustibile** durante il **trasporto** e la limitata meccanizzazione.

L'irrigazione di soccorso non sembra influenzare significativamente gli impatti per kg di prodotto, mentre a livello di ettaro i campi irrigati risultano leggermente più sostenibili per quasi tutte le categorie, eccetto l'esaurimento idrico. Tuttavia, questi risultati devono essere interpretati con cautela, dato il numero limitato di sistemi irrigati analizzati (3 vs 18 non irrigati).

Per quanto riguarda le **OPERAZIONI POST-RACCOLTA**, solo una parte dei sistemi commercializza il prodotto immediatamente dopo la raccolta, mentre negli altri casi vengono effettuate pulizia, essiccazione, calibrazione, sgusciatura e confezionamento.

Tra le operazioni considerate (*Tabella 5-10*), **pelatura e tostatura** risultano quelle maggiormente impattanti, in particolare per le categorie cambiamento climatico (CC), tossicità umana (HT), ecotossicità delle acque dolci (FEc), esaurimento idrico (WD) ed esaurimento delle risorse fossili (FD), principalmente a causa dei consumi energetici associati.

La **sgusciatura** presenta contributi complessivamente molto contenuti; tuttavia, mostra un impatto, seppur marginale, nella categoria di eutrofizzazione delle acque dolci (FEu), mentre le operazioni di **riempimento e confezionamento** sottovuoto presentano impatti generalmente ridotti per tutte le categorie analizzate.

Per quanto riguarda il formato di **confezionamento**, il confronto tra diverse tipologie di sacchetti evidenzia che l'uso di sacchetti in plastica da 0,150 kg comporta gli impatti più elevati per cambiamento climatico (CC) ed esaurimento delle risorse fossili (FD). Al contrario, i sacchetti da 0,250 kg consentono una riduzione degli impatti di circa il 20%, mentre quelli da 1 kg permettono una riduzione fino al 75%, confermando l'importanza della scelta del formato di imballaggio nel contenimento degli impatti ambientali complessivi.

Tabella 5-10: Impatti ambientali delle operazioni post-raccolta e confezionamento

Categoria d'impatto	Unità	Sgusciatura	Pelatura	Tostatura	Riempimento e confezionamento sottovuoto	Sacchetti 0,150 kg	Sacchetti 0,250 kg	Sacchetti 1 kg
<i>Cambiamento climatico (CC)</i>	kg CO ₂ eq	0,015	0,089	0,076	0,011	0,017	0,013	0,004
<i>Eutrofizzazione acque dolci (FEu)</i>	kg P eq	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Tossicità umana (HT)</i>	kg 1,4-DB eq	0,001	0,016	0,014	0,002	0,002	0,002	0,001
<i>Ecotossicità acque dolci (FEc)</i>	kg 1,4-DB eq	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Occupazione del suolo agricolo (ALO)</i>	m ² ·anno	0,000	0,006	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000
<i>Esaurimento idrico (WD)</i>	m ³	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Esaurimento delle risorse fossili (FD)</i>	kg olio eq	0,000	0,028	0,030	0,003	0,014	0,011	0,003

Per stimare l'**impatto ambientale complessivo** della produzione di 1 kg di nocciole, gli impatti della fase agricola e della fase di trasformazione sono stati sommati per ciascuna categoria di impatto considerata e suddivisi per sistema produttivo (biologico, integrato e convenzionale). (Tabella 5-13).

Le categorie non sono state aggregate tra loro, ma analizzate separatamente, in quanto espresse in unità differenti.

Per la fase di trasformazione, gli impatti sono stati calcolati sommando i contributi delle singole operazioni (sgusciatura, pelatura, tostatura e riempimento/confezionamento), mentre per il confezionamento è stato utilizzato il **valore medio** dei tre formati di sacchetto analizzati (0,150 kg, 0,250 kg e 1 kg). (Tabella 5-11)

Tabella 5-11: Valori medi del confezionamento (media dei 3 sacchetti)

Categoria d'impatto	Unità	Media sacchetti
CC	kg CO ₂ eq	0,0113
FEu	kg P eq	0,0000
HT	kg 1,4-DB eq	0,0017
FEc	kg 1,4-DB eq	0,0000
ALO	m ² ·anno	0,0000
WD	m ³	0,0000
FD	kg olio eq	0,0093

Ora sommiamo **per ogni categoria**, i contributi di: sgusciatura, pelatura, tostatura, riempimento e confezionamento sottovuoto e valore medio dell'impatto associato ai diversi formati di sacchetto. (Tabella 5-12)

Tabella 5-12: Impatti complessivi della fase di trasformazione

Categoria d'impatto	Unità	Trasformazione totale
Cambiamento climatico (CC)	kg CO ₂ eq	0,202
Eutrofizzazione acque dolci (FEu)	kg P eq	0,003
Tossicità umana (HT)	kg 1,4-DB eq	0,035
Ecotossicità acque dolci (FEc)	kg 1,4-DB eq	0,002

Occupazione del suolo agricolo(ALO)	m ² ·anno	0,012
Esaurimento idrico (WD)	m ³	0,004
Esaurimento risorse fossili (FD)	kg olio eq	0,070

Tabella 5-13: Impatto ambientale complessivo per la produzione di 1 kg di nocciole nei sistemi biologico, integrato e convenzionale.

SISTEMA BIOLOGICO

Categoria	Unità	Agricoltura	Trasformazione	Totale
CC	kg CO ₂ eq	0,482	0,202	0,684
FD	kg olio eq	0,132	0,070	0,202
WD	m ³	0,001	0,004	0,005
FEu	kg P eq	0,000	0,003	0,003
HT	kg 1,4-DB eq	0,117	0,035	0,152
FEc	kg 1,4-DB eq	0,013	0,002	0,015
ALO	m ² ·anno	0,152	0,012	0,164

SISTEMA INTEGRATO

Categoria	Unità	Agricoltura	Trasformazione	Totale
CC	kg CO ₂ eq	0,969	0,202	1,171
FD	kg olio eq	0,236	0,070	0,306
WD	m ³	0,009	0,004	0,013
FEu	kg P eq	0,000	0,003	0,003
HT	kg 1,4-DB eq	0,184	0,035	0,219
FEc	kg 1,4-DB eq	0,019	0,002	0,021
ALO	m ² ·anno	0,102	0,012	0,114

SISTEMA CONVENZIONALE

Categoria	Unità	Agricoltura	Trasformazione	Totale
CC	kg CO ₂ eq	0,745	0,202	0,947
FD	kg olio eq	0,196	0,070	0,266
WD	m ³	0,005	0,004	0,009
FEu	kg P eq	0,000	0,003	0,003
HT	kg 1,4-DB eq	0,311	0,035	0,346
FEc	kg 1,4-DB eq	0,069	0,002	0,071
ALO	m ² ·anno	0,086	0,012	0,098

5.6.2.8 Recupero dei residui e analisi di sensibilità nel calcolo dell'impatto finale

Per approfondire il ruolo della gestione dei residui agricoli sull'impatto complessivo della produzione di nocciole, è stata condotta **un'analisi di sensibilità** sui diversi metodi di smaltimento di potatura e gusci. I risultati mostrano che alcune opzioni di smaltimento, come la combustione in caldaie di piccola e media scala, aumentano le emissioni di CO₂ della fase agricola.

Tuttavia, se i residui vengono utilizzati come combustibile per sostituire metano, gasolio o pellet, le **emissioni evitate** riducono significativamente l'impatto, fino a quasi compensare completamente quello della fase agricola. L'impiego diretto di gusci e residui in azienda per le operazioni post-raccolta (essiccazione, sgusciatura, tostatura) evita inoltre gli impatti legati al trasporto, stimando un risparmio medio di **0,28 kg CO₂ eq per kg di nocciole**.

Nel complesso, questi risultati evidenziano come la gestione integrata dei residui agricoli possa ridurre in modo significativo l'impatto climatico della filiera delle nocciole, contribuendo a migliorare le prestazioni ambientali del sistema produttivo.

Per stimare l'**impatto climatico complessivo** della produzione di 1 kg di nocciole, sono stati sommati gli impatti della fase agricola e della fase di trasformazione per ciascun sistema produttivo. È stato inoltre considerato il risparmio derivante dal riutilizzo dei residui (potatura e gusci) in azienda, stimato in 0,28 kg CO₂ eq per kg di nocciole tostate. (Tabella 5-14)

Tabella 5-14: Effetto del riutilizzo di potatura e gusci sull'impatto climatico complessivo (kg CO₂ eq)

Sistema	Fase agricola (kg CO ₂)	Fase trasformazione (kg CO ₂)	Totale prima residui (kg CO ₂)	Totale dopo riuso residui (kg CO ₂)
<i>Biologico</i>	0,482	0,202	0,684	0,404
<i>Integrato</i>	0,969	0,202	1,171	0,891
<i>Convenzionale</i>	0,745	0,202	0,947	0,667

I risultati hanno evidenziato che la gestione **biologica** risulta la più sostenibile dal punto di vista ambientale per quasi tutte le categorie di impatto considerate, mentre i sistemi gestiti secondo le tecniche colturali ordinarie mostrano complessivamente le prestazioni ambientali peggiori. Allo stesso tempo, in un'ottica di transizione ecologica, l'**agricoltura integrata** si è dimostrata una valida alternativa in diversi sistemi analizzati. Essa rappresenta una strategia produttiva basata su un approccio razionale e consapevole alla gestione agronomica, supportata da adeguata preparazione tecnica, aggiornamento continuo delle competenze, strumenti appropriati e strategie di intervento integrate che combinano prevenzione, monitoraggio e interventi mirati.

Lo svolgimento delle operazioni post-raccolta fino al confezionamento sottovuoto, come osservato nei sistemi INT12 e BIO4, non ha determinato un aumento complessivo degli impatti ambientali rispetto agli altri sistemi, in quanto tali aziende presentavano una gestione agricola più sostenibile. Un ulteriore obiettivo dello studio era valutare come gli impatti ambientali della produzione di nocciole variassero in funzione delle modalità di gestione dei residui di potatura e dei gusci. Da una prospettiva di ciclo di vita, il **recupero energetico** di questi residui direttamente in azienda si è rivelato particolarmente efficace nel ridurre gli impatti, soprattutto quando utilizzato in sostituzione di combustibili fossili quali metano e gasolio. Tuttavia, gli impatti associati al **trasporto** della biomassa verso gli impianti di conversione energetica devono essere attentamente considerati, poiché distanze elevate e una gestione inefficiente dei trasporti possono compromettere il bilancio complessivo delle emissioni di gas serra. Per questo motivo, è fondamentale ottimizzare la relazione tra quantità di biomassa trasportata e distanza percorsa e privilegiare filiere corte, in quanto un trasporto non ottimizzato può annullare i benefici ambientali legati all'uso energetico delle biomasse.

5.6.2.9 Hotspot ambientali

Dall'analisi dei dati emerge chiaramente quali siano le fasi e le pratiche agronomiche più critiche per gli impatti ambientali della produzione di nocciole. Tra gli hotspot principali si identificano:

- **Fertilizzazione:** l'uso di fertilizzanti minerali, in particolare NPK, rappresenta il contributo maggiore al cambiamento climatico (CC), all'esaurimento fossile (FD) e alla tossicità umana (HT), soprattutto nei sistemi integrati con alte quantità di concime.

- **Consumo di carburante e macchinari:** le operazioni meccanizzate per lavorazione del suolo, raccolta e trasporto dei residui agricoli incidono significativamente sulle emissioni di CO₂, con valori più elevati nei sistemi terrazzati o su terreni inclinati.

- **Uso di pesticidi:** nei sistemi convenzionali l'impiego di prodotti chimici di sintesi aumenta la tossicità umana (HT) e l'ecotossicità delle acque dolci (FEc).

- **Gestione dei residui agricoli:** lo smaltimento inefficiente dei residui di potatura e dei gusci può incrementare gli impatti ambientali; al contrario, il loro recupero energetico in azienda riduce significativamente le emissioni, soprattutto se impiegato in sostituzione di metano e gasolio.

- **Operazioni post-raccolta** ad alta intensità energetica: pelatura, tostatura e confezionamento, pur rappresentando un contributo minore rispetto alla fase agricola, incidono sul cambiamento climatico (CC), sull'esaurimento delle risorse fossili (FD) e sulla tossicità umana (HT), con una certa variabilità legata al tipo di impianto e al formato dei sacchetti utilizzati.

Nel complesso, gli hotspot identificati evidenziano come la fase agricola sia il driver principale degli impatti ambientali, mentre le scelte gestionali riguardanti residui, fertilizzazione, trasporti e operazioni post-raccolta possano modulare in maniera significativa la sostenibilità complessiva del sistema. Ottimizzare queste pratiche, insieme all'adozione di filiere corte e sistemi più razionali e integrati, rappresenta la chiave per ridurre l'impatto climatico della filiera delle nocciole.

5.6.3 Gusci come fonte di composti bioattivi (Di Michele et al., 2021)

I sottoprodotti della lavorazione delle nocciole, in particolare i **gusci**, rappresentano una risorsa preziosa per la produzione di composti bioattivi e contribuiscono a ridurre l'impatto ambientale complessivo della filiera. Secondo lo studio di Di Michele et al. (2021) (43), i gusci costituiscono circa il 42% della massa totale del frutto e contengono numerosi fenoli, tra

cui **acido gallico, catechina, acido protocatecuico e acido clorogenico**, che conferiscono una significativa attività antiossidante e proprietà antimicrobiche contro *Bacillus subtilis* e *Bacillus cereus* (Tabella 5-3). La valorizzazione di questi sottoprodotti consente di attribuire **crediti ambientali**, in quanto i composti naturali possono sostituire antiossidanti sintetici, riducendo l'impronta ecologica della filiera corilicola.

5.6.4 Valorizzazione degli scarti: cuticole e gusci (Frazzini et al., 2023)

La valorizzazione dei sottoprodotti della nocciola non si limita ai soli gusci, ma comprende anche le **cuticole**, ovvero la pellicina esterna del seme. Lo studio di Frazzini et al. (2023) (47) ha applicato tecniche metabolomiche per analizzare sia gusci sia cuticole, rivelando un'elevata **attività antiossidante** e una significativa capacità di **inibire** la crescita di *Escherichia coli* verocitotossico (Tabella 5-15). Questi risultati suggeriscono che tali sottoprodotti possano essere impiegati come ingredienti funzionali per alimenti o integratori, con il duplice vantaggio di valorizzare materiali di scarto e ridurre l'impatto ambientale complessivo della filiera corilicola.

Tabella 5-15: Composti bioattivi nei sottoprodotti del nocciolo

Sottoprodotto	Composti principali	Attività biologica	Studio di riferimento
<i>Gusci</i>	Acido gallico, catechina, ac. protocatecuico, ac. Clorogenico	Antiossidante, antimicrobico	Di Michele et al., 2021
<i>Cuticole</i>	Polifenoli vari	Attività antiossidante e inibizione E. coli	Frazzini et al., 2023
<i>Pellicine</i>	Catechina, flavonoidi	Alta TAC (3120 µmol Trolox/g con MAE)	Elmas et al., 2025

5.6.5 Essiccazione e qualità del prodotto (Akgün et al., 2024)

La fase di essiccazione rappresenta un passaggio critico nella trasformazione delle nocciole, influenzando sia la qualità del prodotto finale sia il consumo energetico della filiera. Lo studio di Akgün et al. (2024) (60) ha evidenziato come l'applicazione di **cicli periodici di essiccazione** migliori l'efficienza energetica, preservando allo stesso tempo le caratteristiche qualitative delle nocciole, come aroma, colore e integrità del seme. Dal punto di vista dell'**LCA**, l'ottimizzazione di questa fase costituisce una leva concreta per ridurre l'**impronta climatica** della trasformazione, minimizzando l'energia necessaria per ottenere un prodotto standardizzato e di alta qualità.

5.6.6 Considerazioni conclusive

Dalla sintesi degli studi emerge chiaramente che la sostenibilità della filiera del nocciolo dipende da molteplici fattori:

- a livello **agricolo**, la resa produttiva è la variabile chiave;
- a livello **industriale**, la tostatura e l'essiccazione sono gli hotspot energetici più rilevanti;
- a livello di **sottoprodotti**, la scelta di valorizzare gusci e cuticole mediante tecnologie green di estrazione può trasformare scarti a basso valore in risorse ad alto valore aggiunto, migliorando al contempo il bilancio ambientale complessivo.

L'**LCA** si conferma dunque uno strumento essenziale per fornire un quadro integrato e comparabile, capace di supportare sia gli operatori economici sia le politiche di settore nella transizione verso un modello di **bioeconomia circolare**.

CONCLUSIONI

Nel complesso, il percorso sviluppato nella presente tesi evidenzia come la sostenibilità della filiera del nocciolo debba essere interpretata in un'ottica sistemica anche attraverso l'applicazione della metodologia Life Cycle Assessment (LCA), che ha permesso a vari autori di quantificare l'**impatto ambientale** della produzione di 1 kg di nocciole e di individuare in modo chiaro i principali **hotspot** della filiera. I risultati mostrano che l'impatto climatico varia in funzione del sistema produttivo, con valori medi pari a circa 0,95 kg CO₂ eq/kg per il sistema convenzionale, 1,17 kg CO₂ eq/kg per il sistema integrato e 0,68 kg CO₂ eq/kg per il sistema biologico, riducibili fino a circa 0,40 kg CO₂ eq/kg attraverso il riutilizzo dei residui colturali. In tutti i casi studio analizzati, la **fase agricola** rappresenta il principale contributo all'impatto complessivo della filiera, incidendo in maniera nettamente superiore rispetto alla fase di trasformazione, che si attesta mediamente intorno a 0,20 kg CO₂ eq/kg.

All'interno della fase agricola, gli hotspot principali sono identificati nella **meccanizzazione** delle operazioni colturali, nella **fertilizzazione** e nei sistemi convenzionali, nell'impiego di **prodotti fitosanitari**. Un ulteriore elemento determinante che influenza significativamente i risultati è la **resa produttiva**, che rappresenta uno dei principali fattori esplicativi delle differenze tra sistemi: la **minore produttività** del sistema biologico contribuisce infatti ad aumentare l'impatto per unità funzionale, amplificando il peso relativo delle operazioni colturali. In particolare, la **meccanizzazione** risulta il maggiore contributore agli impatti complessivi a causa del consumo di gasolio e dell'elevata intensità delle lavorazioni, mentre la **fertilizzazione** incide sia sulle emissioni climatiche sia sui fenomeni di eutrofizzazione, con differenze tra sistemi legate all'uso di input minerali o organici. I **prodotti fitosanitari** risultano invece determinanti soprattutto per le categorie di ecotossicità nel sistema convenzionale. La fase di trasformazione, legata principalmente ai processi di **essiccazione**, costituisce un hotspot energetico secondario ma costante, influenzato dal consumo di combustibili per la riduzione del contenuto di umidità del prodotto.

Alla luce di tali evidenze, il percorso di analisi ha permesso di formulare tre principali messaggi chiave. In primo luogo, la **fase agricola** rappresenta il cuore critico della sostenibilità della filiera: pur caratterizzata da un ridotto fabbisogno idrico e da una buona resistenza del

nocciolo agli stress ambientali, l'espansione della coltivazione in forma intensiva e monocolturale comporta, oltre agli impatti ambientali già evidenziati dalle analisi LCA, anche **rischi significativi** quali erosione del suolo, perdita di fertilità e omogeneizzazione del paesaggio, rendendo necessarie pratiche conservative e sistemi di certificazione ambientale. In secondo luogo, la **fase di trasformazione industriale**, in particolare essiccazione e tostatura, costituisce un importante hotspot energetico, per il quale l'ottimizzazione dei profili termici, l'utilizzo di fonti rinnovabili e il recupero del calore residuo rappresentano leve fondamentali di mitigazione. Infine, la **valorizzazione degli scarti**, quali gusci, cuticole e residui di lavorazione, attraverso tecnologie di estrazione green e approcci LCA basati su crediti di sostituzione, consente di trasformare la filiera in un modello di bioeconomia circolare, integrando produzione alimentare, bioenergia e sviluppo di nuovi materiali e ingredienti ad alto valore aggiunto.

In prospettiva, la filiera corilicola italiana può quindi **evolvere** verso un sistema più sostenibile e competitivo, capace di coniugare efficienza economica, responsabilità ambientale e resilienza ai cambiamenti climatici, trasformando la nocciola da semplice prodotto agricolo a piattaforma multifunzionale per la **sostenibilità**. Questa prospettiva si colloca potenzialmente anche nel quadro del carbon farming nel caso si progetti un passaggio da seminativo a corilicoltura.

BIBLIOGRAFIA

1. Bounous, G. *Il nocciolo*. s.l. : Edagricole, 2002.
2. Baldini, E. *Frutticoltura speciale*. s.l. : Edagricole, 1992.
3. Liberto, D. Coltivazione del nocciolo: cosa sapere. *Fruit Journal*. 2021.
4. *Fatty acid composition of nuts – implications for cardiovascular health*. ROS, Emilio e MATAIX, José. s.l. : British Journal of Nutrition, 2006, Vol. 96.
5. Nutrizione, CREA – Centro di Ricerca Alimenti e. *Tabelle di composizione degli alimenti*. 2025.
6. Clara Padovani, Gigi Padovani con Irma Brizi. *Enciclopedia della nocciola. Il frutto della felicità. Storia, curiosità, territori e ricette*. Milano : Mondadori, 2019.
7. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations -. *FAOSTAT – Crops and livestock products: Hazelnuts, Production Quantity*.
8. *Unraveling Genetic Diversity Amongst European Hazelnut (Corylus avellana L.) Varieties in Turkey*. Oztolan-Erol, N., Helmstetter, A. J., İnan, A., Buggs, R. J. A., Lucas, S. J. 2021, *Frontiers in Plant Science*.
9. *Geographical Origin Affects the Nut Traits, Bioactive Compounds, and Fatty Acid Composition of Turkish Hazelnut Cultivars (Corylus avellana L. cvs. Çakıldak, Palaz, and Tombul)*. KURT, Haydar e KARAKAYA, Orhan. 8, 2025, *Horticulturae*, Vol. 11.
10. Catalogna), Unió Nuts (cooperativa agroalimentare della. Hazelnut – Negreta variety: estimated yield after de-shelling. [Online] <https://unio-nuts.coop/en/producto/hazelnut/>.
11. Generalitat de Catalunya. Departament d’Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Direcció General d’Alimentació, Qualitat i Indústries Agroalimentàries. Pliego de condiciones de la Denominación de Origen Protegida “Avellana de Reus”. [Online] 2025.
12. Germain, E. Hazelnut cultivar list and some important characteristics and remarks. *FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations*. [Online]
13. Service, Oregon State University Extension. Growing Hazelnuts in the Pacific Northwest: Hazelnut Varieties. *Oregon State University*. [Online] 2013.
14. LLC, IG Agro. Why Georgian hazelnuts. *IG Agro LLC*. [Online]

15. *Chilean Hazelnut Situation and Perspectives*. Ellena, M., et al. 2014, *Acta Horticulturae*, Vol. 1052.
16. Nutsoil.az. Azerbaijan Hazelnut Industry. *Nutsoil.az*. [Online]
17. ISTAT. *Coltivazioni legnose agrarie: superfici e produzioni*. Istituto Nazionale di Statistica. Roma : s.n.
18. ISMEA. *Elaborazioni su dati Censimento agricoltura ISTAT 2010–2020*. Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare. Roma : s.n., 2024.
19. ISTAT. *Banca dati del commercio estero: importazioni ed esportazioni di nocciole*. Istituto Nazionale di Statistica. Roma : ISTAT, 2024.
20. Nocciole: rese in calo, settore a rischio. *L'Informatore Agrario*. 2024.
21. Palmieri, Alessandro. L'altalena delle rese non aiuta la redditività del nocciolo. *L'Informatore Agrario*. 2024.
22. ISMEA, Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare -. *Elaborazioni Ismea su dati FAOSTAT e INC: superfici e produzione di nocciole*. Roma : s.n., 2024.
23. Paolo Boccacci, Roberto Botta. La tutela della «Nocciola Piemonte». *L'Informatore Agrario*. 2024.
24. Griseri, G. (Asco Piemonte). *La coltivazione del nocciolo – sesti di impianto e forme di allevamento*. 2016.
25. *Ruolo delle biotecnologie molecolari nella identificazione, moltiplicazione e diffusione del materiale di propagazione in frutticoltura*. Sansavini, Silviero e Pancaldi, Marco. Cesena : s.n., 1994. Agro-Bio-Frut.
26. Sansavini, Silviero e Pancaldi, Marco. Brevettabilità e tutela dell'identità genetica delle nuove varietà . *Rivista di Frutticoltura*. 2000.
27. Moraldi, Moreno. *Il nocciolo. Impianto e gestione delle coltivazioni da frutto*. Regione Umbria - Giunta regionale. 2021.
28. Roversi, Alessandro, Pansecchi, Alberto e Malvicini, Gian Luca. Potatura meccanica del nocciolo per migliorare resa e qualità. *L'Informatore agrario*. 2009, 34.
29. T., Migliozi, et al. Cimici nocciolaie: presenza e contenimento. *L'Informatore Agrario*. 2012.
30. Giovanelli, F., et al. Biostimolanti su nocciolo, effetti positivi sulla produzione. *L'Informatore Agrario*. Edizioni L'Informatore Agrario S.r.l., 2024.
31. Blandini, Giacomo e Schillaci, Giampaolo. La raccolta delle nocciole può essere meccanizzata. *L'Informatore Agrario, supplemento Meccanica*. 2007, 27, p. 11-12.

32. Brizi, Irma. Filiera di produzione del nocciolo. *Nocciola italiana*. [Online] 2023. <https://nocciolaitalianashop.it/corso-base/>.
33. BRIZI, Irma. Trasformazione della nocciola. *Nocciola italiana*. [Online] 2023. <https://nocciolaitalianashop.it/corso-base/>.
34. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali – Settore Corilicolo Italiano. *Allegato Tecnico del Piano Corilicolo – Uso dell’olio di nocciola*. 2022.
35. *Hazelnut oil production using pressing and supercritical CO₂ extraction*. Jokić, Stela; Moslavac, Tihomir; Aladić, Krunoslav; Bilić, Mate; Ačkar, Đurđica; Šubarić, Drago. 4, 2016, Hemijska Industrija, Vol. 70.
36. Nocciolare.it. Nocciole in GDO, cresce il mercato degli sgusciati. *Nocciolare.it – Ultime Notizie*. [Online] 08 09 2025. <https://nocciolare.it/ultime-notizie/nocciole-in-gdo-dati-2025>.
37. GuidaFood. La Nocciola del Piemonte IGP. *GuidaFood*. [Online] 18 04 25.
38. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali – Settore Corilicolo Nazionale. *Allegato Tecnico del Piano del settore corilicolo 2022-2025*. 2022.
39. *Trascrizione e rielaborazione di incontro con Ferrero, Macfrut 2024*. Rimini : s.n., 2024. Relazione personale.
40. *Verifica del tenore di micotossine e qualità microbiologica della frutta a guscio imballata e sfusa - Campagna 2024*. Dipartimento della sanità e della socialità. 2025.
41. Rosati, Mauro. *La qualità e la sua certificazione - il sistema dei prodotti agroalimentari*. s.l. : Qualivita, Fondazione per le Indicazioni Geografiche e la Qualità Alimentare, 2016.
42. *Potential applications of hazelnut industry waste based on material properties*. Aguado-González, L. Sierra-Pérez, J. Blanc, S. Moles, S. 2, 2025, Applied Food Research, Vol. 5.
43. *Hazelnut Shells as Source of Active Ingredients: Extracts Preparation and Characterization*. Di Michele, Alessandro, et al. 21, 2021, Molecules, Vol. 26.
44. *A Sustainable Alternative for Cosmetic Applications: NADES Extraction of Bioactive Compounds from Hazelnut By-Products*. Bencresciuto, Grazia Federica, et al. 2025, Sustainability, Vol. 17.
45. Taş, N. G., & Gökmen, V. Bioactive compounds in different hazelnut varieties and their skins. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015, Vol. 43.
46. Bergante, S., Acampora, A. e Civitarese, V. Energia con gli scarti delle potature. *crea.gov.it*. [Online] 27 01 2023. <https://creafuturo.crea.gov.it/8752/>.

47. *Repurposing Hazelnut Waste Products for a Sustainable Economy: A Metabolomic Analysis of Cuticles and Shells to Highlight Their Antioxidant Potential and Inhibitory Activity against Verocytotoxic Escherichia coli*. Frazzini, S., Zuorro, A., Panseri, S., Pavlovic, R., Sgoifo Rossi, C. A., Rossi, L. 4, 2023, Sustainability, Vol. 15.
48. Detoma, S. Nocciola: dalle cuticole mangimi per animali. *Fruit Journal*. 2024.
49. *Chemical composition, phytochemical content, and antioxidant activity of hazelnut (Corylus avellana L.) skins from Oregon*. Pfeil, J. A., Zhao, Y. e McGorin, R. J. 2024, LWT – Food Science and Technology, Vol. 201.
50. *Valorization of Hazelnut (Corylus avellana L.) Skin By-Product as a Multifunctional Ingredient for Cosmetic Emulsions*. Mencherini, T., et al. 10, 2025, Antioxidants, Vol. 14.
51. *The Use of Waste Hazelnut Shells as a Reinforcement in the Development of Green Biocomposites*. Ceraulo, Manuela, et al. 11, 2022, Polymers, Vol. 14.
52. *Circular Hazelnut Protection by Lignocellulosic Waste Valorization for Nanopesticides Development*. D. Schiavi, R. Ronchetti, V. Di Lorenzo, M. Salustri, C. Petrucci, R. Vivani, S. Giovagnoli, E. Camaioni, and G. M. Balestra., 5, 2022, Applied Sciences, Vol. 12.
53. *Classifying and browsing LCA studies: the new functionalities of the LCA Resource Directory*. Sanfélix Forner, Javier - Mathieux, Fabrice - De La Rúa Lope, Carlos - Chomkamsri, Kiatkittipong. Basel, Switzerland : sciforum.net (MDPI), 2013. Proceedings of the 1st World Sustainability Forum.
54. *Progetto filiera corilicola sostenibile in Piemonte*. G, COMBA. Cuneo : s.n., 2021. Presentazione al convegno “Il Nocciolo – Qualità e sostenibilità nella produzione”.
55. BRESOLIN, Bianca Maria. Confronto della sostenibilità attraverso l’analisi LCA di processi di riconcilia, ingrasso e tintura . *Stazione Sperimentale per l’Industria delle Pelli e delle Materie Concianti (SSIP)*. [Online] 2023.
56. CELANO, Giuseppe, et al. Cosa serve alle nocciole irpine per migliorare la sostenibilità. *L’Informatore Agrario*. Edizioni L’Informatore Agrario S.r.l., 2024, 15.
57. (ISO), International Organization for Standardization. *Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. s.l. : ISO, 2006. ISO 14044:2006.
58. Greenhut, R., Dufour, R., Kendall, A. M., Strong, E. B., Steenwerth, K. L. Life-Cycle Assessment in Agricultural Systems. *ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service*. [Online] 2013.
59. Coppola, G., Costantini, M., Fusi, A., Ruiz-Garcia, L., Bacenetti, J. Comparative life cycle assessment of conventional and organic hazelnuts production systems in Central Italy. *Science of The Total Environment*. 20 06 2022, Vol. 826.

60. AKGÜN, Mithat. The effect of the periodic drying method on the drying time of hazelnuts and energy utilization. *Foods*. 2024, Vol. 13, 6.
61. URBANO, Dario Giuseppe - AQUINO, Andrea - SCRULLA, Flavio. Energy performance, environmental impacts and costs of a drying system: Life cycle analysis of conventional and heat recovery scenarios. *Energies*. 2023, Vol. 16, 3.
62. ELMAS, Ervanur, et al. Green Extraction of Antioxidants from Hazelnut By-products Using Microwave-Assisted Extraction, Ultrasound-Assisted Extraction, and Pressurized Liquid Extraction. *Food and Bioprocess Technology*. 2025, Vol. 18.
63. *Hazelnut Cultivation in the Campania Region: Environmental Sustainability of the Recovery of Pruning Residues and Shells through the Life Cycle Assessment Methodology*. Pergola, Maria, et al. 17, 2024, Sustainability, Vol. 16.