



# IL CASTAGNO DA FRUTTO

**ecologia, avversità parassitarie,  
meccanizzazione innovativa**

*a cura di  
Salvatore Moricca, Matteo Bracalini e Tiziana Panzavolta*

<b>Prefazione</b>	1
-------------------	---

## CAPITOLO 1

<b><i>Castanea sativa</i> Miller, 1768 (Fagaceae): cenni botanici ed ecologia</b> (di Bussotti Filippo)	2
--	---

1.1. La famiglia delle Fagaceae	2
---------------------------------	---

1.1.1. Il genere <i>Castanea</i>	3
----------------------------------	---

1.2. Il castagno europeo: <i>Castanea sativa</i>	4
--	---

1.2.1 Espansione delle popolazioni e distribuzione attuale	4
--	---

1.2. Caratteri botanici	6
-------------------------	---

1.3. Ecologia	7
---------------	---

1.4. Prodotti e utilizzazioni	8
-------------------------------	---

1.5. Le varietà coltivate per frutto e legno	9
--	---

1.6. Il castagno in Toscana	10
-----------------------------	----

1.7. Il castagno ed il cambiamento climatico	12
--	----

1.8. I castagni esotici	12
-------------------------	----

## CAPITOLO 2

<b><i>Il castagno ed il suo legno</i></b> (di Lo Monaco Angela, Picchio Rodolfo, Venanzi Rachele, Mercurio Roberto)	15
--	----

2.1 Aspetto e caratteristiche del legno	16
---	----

2.2 Caratteristiche tecnologiche in relazione agli usi	18
--	----

## CAPITOLO 3

<b><i>Ambiente e castanicoltura nel Pratomagno (Toscana)</i></b> (di Mercurio Roberto)	25
--	----

3.1. L'ambiente	25
-----------------	----

3.2. Tipologia dei boschi di castagno	26
---------------------------------------	----

3.3 Castagneti da frutto	28	6.3 I balanini delle castagne	80
3.3.1 Le cultivar tradizionali	29	6.4 Gli Xylosandrus	81
3.3.2 La tecnica colturale tradizionale	31		
3.4 Boschi di castagno da legno	34	<b>CAPITOLO 7</b>	
3.5 Boschi di castagno abbandonati	37	<b>Nuovi strumenti per la diagnosi dei parassiti del castagno</b> (di Aglietti Chiara, Benigno Alessandra e Moricca Salvatore)	83
3.6. La gestione multifunzionale dei castagneti da frutto	38	7.1 Metodi di diagnosi tradizionale: vantaggi e svantaggi	83
3.7 Il recupero e la valorizzazione dei castagneti tradizionali	41	7.2 La nascita della diagnosi molecolare: la reazione di amplificazione polimerasica (PCR) e le sue varianti	85
<b>CAPITOLO 4</b>		7.3 La diagnosi molecolare in situ: la tecnica LAMP e le nuove metodiche	86
<b>Gestione delle malattie nel castagneto</b> (di Maresi Giorgio, Benigno Alessandra, Aglietti Chiara, Ragazzi Alessandro, Moricca Salvatore)	54	7.4 Metodi di diagnosi innovativi: le metodiche indirette più comunemente applicate	88
4.1 Mal dell'inchiostro	55	7.5 Conclusioni	89
4.2 Cancro della corteccia	58	<b>CAPITOLO 8</b>	
4.3 Altre malattie della chioma	61	<b>Meccanizzazione</b> (di Picchio Rodolfo, Venanzi Rachele, Lo Monaco Angela, Colantoni Andrea, Tocci Damiano e Di Marzio Nicolò)	90
4.4 Agenti di marciume delle castagne	62	8.1 Il supporto della meccanizzazione nelle operazioni di recupero dei castagneti	91
4.5 Agenti di marciume radicale e di carie	66	8.2 La meccanizzazione nelle operazioni di raccolta	107
<b>CAPITOLO 5</b>		<b>CAPITOLO 9</b>	
<b>Giallumi e virosi del Castagno</b> (di Murolo Sergio e Maresi Giorgio)	67	<b>Diversificazione delle produzioni e sottoprodotti</b> (di Picchio Rodolfo, Venanzi Rachele, Lo Monaco Angela, Tocci Damiano, Di Marzio Nicolò, Mercurio Roberto)	110
5.1 Giallume	67	9.1 Il prototipo INGECA	115
5.2 Il mosaico del castagno	69	9.2 I prodotti "Carbone"	121
5.3 Gestione dei giallumi e delle virosi	72	9.3 Ipotesi produttive	124
<b>CAPITOLO 6</b>		<b>BIBLIOGRAFIA</b>	127
<b>I principali insetti parassiti del castagno</b> (di Bracalini Matteo e Panzavolta Tiziana)	73		
6.1 Cinipide del castagno	73		
6.2 Tortrici del castagno	77		

## GLI AUTORI

<b>Aglietti Chiara</b>	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi Firenze.
<b>Benigno Alessandra</b>	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi Firenze.
<b>Bracalini Matteo</b>	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi Firenze.
<b>Bussotti Filippo</b>	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi Firenze.
<b>Colantoni Andrea</b>	Dipartimento di scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi della Toscana.
<b>Di Marzio Nicolò</b>	Dipartimento di scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi della Toscana.
<b>Lo Monaco Angela</b>	Dipartimento di scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi della Toscana.
<b>Maresi Giorgio</b>	Centro Trasferimento Tecnologico, Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige.
<b>Mercurio Roberto</b>	Università Mediterranea di Reggio Calabria.
<b>Moricca Salvatore</b>	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi Firenze.
<b>Murolo Sergio</b>	Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italia.
<b>Panzavolta Tiziana</b>	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi Firenze.
<b>Picchio Rodolfo</b>	Dipartimento di scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi della Toscana.
<b>Ragazzi Alessandro</b>	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi Firenze.
<b>Tocci Damiano</b>	Dipartimento di scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi della Toscana.
<b>Venanzi Rachele</b>	Dipartimento di scienze Agrarie e Forestali, Università degli Studi della Toscana.

## *Prefazione*

La castanicoltura da frutto ha storicamente rivestito un ruolo fondamentale per la sopravvivenza delle popolazioni delle aree più interne e svantaggiate del nostro Paese. Al valore inestimabile che essa continua a rappresentare per l'economia della montagna, si aggiungono oggi le funzioni sociale, culturale e paesaggistica. Il valore paesaggistico del castagneto è, tra l'altro, funzionale al mantenimento dei caratteri identitari del territorio e della sua immagine, garanzia per la promozione dei prodotti locali e volano dell'offerta turistica.

Negli ultimi decenni, purtroppo, la castanicoltura è stata pesantemente messa in ginocchio dai mutamenti climatici e dalle trasformazioni economiche e sociali verificatesi a partire dal secondo dopoguerra. Tali vicissitudini, in primo luogo lo spopolamento dei territori montani, hanno portato ad un progressivo abbandono ed all'invecchiamento dei castagneti. A queste congiunture sfavorevoli si è aggiunto anche il declino fisiologico dei castagneti, accentuato dalla recrudescenza o dall'introduzione di gravi malattie, come il "Mal dell'inchiostro" e il "Cancro del castagno", che hanno letteralmente devastato cedui e castagneti da frutto.

A partire dagli anni '80 del secolo scorso, tuttavia, dopo decenni di oblio, grazie anche al miglioramento della situazione fitosanitaria, conseguente alla remissione del cancro corticale dovuta alla diffusione dell'ipovirulenza, i castagni hanno cominciato a riprendersi ed a prosperare. Si è quindi registrato un rinnovato interesse per la coltura del castagno, il cui frutto si è affermato sul mercato, sia nazionale che estero, come un'importante risorsa dell'agroalimentare italiano. Ciò è stato favorito anche dal recupero e dal rilancio di alcune cultivar di marroni e di castagne di pregio. Tra i fattori che hanno incentivato la ripresa della castanicoltura, soprattutto in alcune aree castanicole orograficamente vocate, vi è l'impulso che il progresso tecnologico ha fornito al settore, con la meccanizzazione della raccolta e di altre operazioni di campo, quali la potatura.

Purtroppo, a partire dagli anni 2000, l'introduzione di nuovi parassiti, nella fattispecie il cinipide galligeno ed il marciume bruno o gessoso delle castagne, hanno nuovamente messo in crisi la castanicoltura, ancora oggi condotta in vaste aree del Paese con metodi tradizionali, decurtando pesantemente la produzione castanicola.

Per invertire tale trend negativo e salvaguardare questa preziosa coltura, come pure per provare ad arginare lo spopolamento della montagna, le cui popolazioni costituiscono un presidio fondamentale per la protezione del territorio (anche dal dissesto idrogeologico), diventa prioritaria la conoscenza dell'ospite castagno, delle sue avversità parassitarie e delle innovazioni tecnologiche che possono far conseguire un aumento ed una diversificazione del reddito. Questo manuale, dopo una disamina degli aspetti biologici ed ecologici della coltura del castagno e delle sue principali avversità parassitarie, fornisce conoscenze e criteri per una gestione del castagneto che riesca a coniugare tradizione e modernità.

Salvatore Moricca e Tiziana Panzavolta

## ***Castanea sativa* Miller, 1768 (Fagaceae): cenni botanici ed**

### ***ecologia***

Bussotti Filippo

## **1.1. La famiglia delle Fagaceae**

*Castanea sativa* Miller (castagno) appartiene alla famiglia delle Fagaceae (ordine Fagales). La famiglia delle Fagaceae include specie legnose monoiche, caducifoglie o sempreverdi (sono presenti anche specie a foglie semipersistenti), prevalentemente di portamento arboreo ma non mancano le specie arbustive. Le Fagaceae hanno fiori monossuali: i fiori maschili sono riuniti in infiorescenze perlopiù amentiformi di tipo pendulo o, meno frequentemente (in *Castanea*) eretto. I fiori femminili hanno ovario infero con 3 (6) carpelli (in *Castanea* sono 6-9) con tanti stili quanti sono i carpelli; gli ovuli sono 2 per carpello ma, ad eccezione di uno, tutti gli altri abortiscono e quindi per ogni ovario matura un solo seme/frutto. L'impollinazione è anemogama; solo in *Castanea* e *Castanopsis* può essere anche entomogama perché, avendo i fiori maschili dei nettari, diversi insetti possono comportarsi, sia pure casualmente, da pronubi. Il frutto è una noce (frutto secco monosperma, con cotiledoni carnosì) che matura in uno o due anni secondo la specie; ha forma trigonale o ovoidale con il pericarpo lignificato.

Durante lo sviluppo, il frutto è, parzialmente o totalmente, contenuto nella cupola che deriva da parti dell'infiorescenza connate o saldate fra loro. La cupola è lignificata e protetta da squame che possono essere spinose, e alla caduta dei frutti resta intera (come nel gen. *Quercus*) o si apre in due o più valve. Per la presenza di questa cupola era stato coniato il termine *Cupuliferae*. Il numero cromosomico di tutte le specie appartenenti a questa famiglia è  $2n = 24$ .

Le specie appartenenti alla famiglia delle Fagaceae sono largamente diffuse nelle regioni temperate dell'emisfero settentrionale, e costituiscono i boschi di maggiore estensione. In estremo oriente e nel sud America possono sconfinare nell'emisfero australe. In Europa esse sono diffuse dalle regioni più nettamente mediterranee (querce sempreverdi) fino alla Scandinavia meridionale, coprendo un vasto range di condizioni climatiche ed edafiche.

I più antichi fossili ascrivibili alla famiglia delle Fagaceae risalgono a circa 100-90 milioni di anni fa, cioè alle prime fasi del Cretaceo superiore (Crepet et al., 2004). In seguito alla revisione sistematica su basi filogenetiche (APG III, Angiosperm Phylogeny Group III) alcuni generi, come *Nothofagus* (genere tipico dell'emisfero australe) sono stati scorporati, per cui le

Fagaceae sono oggi considerate una famiglia monofiletica, omogenea per il numero dei cromosomi e per la morfologia dei frutti e delle cupole.

Attualmente i generi riconosciuti delle Fagaceae sono 8, ripartiti nelle due sottofamiglie delle Fagoideae e delle Quercoideae per un totale di un migliaio di specie.

Le Fagoideae comprendono un solo genere (*Fagus*) con 11 specie tipiche di regioni temperate dell'emisfero settentrionale.

Le Quercoideae comprendono 7 generi con un numero molto elevato di specie (circa un migliaio):

- *Castanea* Mill.: Europa, Asia e Nord America; piante decidue; comprende 8 specie;
- *Castanopsis* (D.Don) Spach: Asia; piante sempreverdi; comprende 120 specie;
- *Chrysolepis* Hjelmq.: Nord America; piante sempreverdi; comprende 2 specie;
- *Lithocarpus* Blume: Asia; piante sempreverdi; comprende circa 300 specie;
- *Notholithocarpus* Manos, Cannon & S.H.Oh: America nord-occidentale; piante sempreverdi; comprende 1 specie;
- *Quercus* L.: tutto l'emisfero settentrionale (sulle montagne dell'Indonesia travalica l'equatore); piante decidue, semipersistenti o sempreverdi; comprende ca 530 specie;
- *Trigonobalanus* Forman: Asia (Cina centrale e meridionale, Thailandia, Malesia e Indonesia) e Sud America (Colombia); piante sempreverdi; comprende 3 specie.

### **1.1.1. Il genere *Castanea***

Il genere *Castanea* comprende otto specie, quattro asiatiche, una euroasiatica e tre nordamericane. Nell'Asia orientale si ritrovano le seguenti specie:

- *Castanea crenata* Sieb. Et Zucc.: Corea e Giappone;
- *Castanea henryi* Rehder & E.H.Wilson: Cina meridionale;
- *Castanea mollissima* Blum: Cina e Corea;
- *Castanea seguinii* Dode: Cina meridionale;

Nella regione euro-asiatica si ha una sola specie:

- *Castanea sativa* Miller: Europa: regioni europee carpatico-danubiane e penisola italiana; Asia: dalla penisola anatolica alle regioni ponto-caucasica e iraniana;

Nel Nord America, soprattutto negli stati orientali, troviamo:

- *Castanea dentata* Borkhausen: Canada e USA: dall'Ontario al Golfo del Messico e dall'Oceano Atlantico alla Louisiana e al Missouri (circa 90° meridiano W);
- *Castanea ozarkensis* (Ashe): USA centromeridionale: dall'Oklahoma e dal Missouri fino al Golfo del Messico;

- *Castanea pumila* (L.) Miller: USA orientali, dallo stato di New York al Missouri e dalla Florida al Texas.

## 1.2. Il castagno europeo: *Castanea sativa*

Il castagno è una pianta plurifunzionale, coltivato per il legno e per il frutto, ma che offre anche molti altri prodotti quali miele, tannino, terriccio per le specie acidofile in floricoltura, foglie secche per strame e cenere ricca in potassio per produrre liscivia detergente. Il castagneto da frutto costituisce anche un ambiente adatto al pascolo in bosco. Per tutti questi prodotti la coltivazione del castagno ha accompagnato per millenni la civilizzazione nelle regioni montuose dell'Europa meridionale ed ha costituito una base economica e alimentare per le popolazioni montane dell'Appennino e aree prealpine. Il castagno da frutto costituisce oggi anche un'importante risorsa paesaggistica a supporto del turismo nelle aree rurali. Sono frequenti anche individui monumentali (il "castagno dei 100 cavalli", in Sicilia, è riconosciuto come patrimonio UNESCO). L'epiteto specifico «*sativa*», dal latino *sativus*: "che si coltiva"» evidenzia l'importanza culturale del castagno. Sinonimo obsoleto è *C. vesca* Gaertn.

### 1.2.1 Espansione delle popolazioni e distribuzione attuale

Secondo analisi palinologiche (Krebs et al., 2004) i più probabili rifugi quaternari di *C. sativa* sono rappresentati da sei macroregioni: la regione Transcaucasica; Anatolia nord-occidentale; l'entroterra della costa tirrenica dalla Liguria al Lazio lungo la catena appenninica; l'Italia meridionale; la costa cantabrica nella penisola iberica; la penisola greca (Peloponneso e Tessaglia) e l'Italia nord-orientale (Colli Euganei, Monti Berici, Emilia-Romagna). La Turchia nord-orientale e la regione del Caucaso sono probabilmente il centro di origine del castagno attuale, come è confermato da una maggiore diversità genetica all'interno delle popolazioni turche e da un più alto livello di differenziazione genetica tra le popolazioni (Villani et al., 1994; Villani et al., 1999). Fineschi et al. (2000) tuttavia non hanno potuto chiarire un possibile pattern migratorio di questa specie verso l'Europa centrale, mentre Mattioni et al. (2010) non sono stati in grado di confermare alcuna relazione genetica tra turco, greco e il resto della popolazione europea. L'assenza di aplotipi spagnoli in Turchia, unita alla loro presenza nella restante parte dell'areale del castagno, ha permesso a questi autori di ipotizzare la possibile esistenza di rifugi quaternari del castagno anche nella penisola iberica.

Studi palinologici (Lang et al., 2007) supportano la presenza precoce del castagno in Europa circa 9.000 anni fa e il verificarsi di due periodi di rapida espansione, circa 5.000 anni fa e durante l'Impero Romano, circa 2.000 anni fa. Tali ritrovamenti hanno fatto ipotizzare che il castagno non abbia colonizzato naturalmente le regioni del Mediterraneo occidentale, ma vi sia stato probabilmente ivi introdotto dall'uomo. In effetti, molti documenti storici (Conedera et al. 2004a, b) sottolineano una forte colonizzazione passiva mediata dall'uomo come una delle principali forze trainanti della distribuzione di castagno esistente. In molte aree di distribuzione, come per esempio nella Svizzera meridionale, il dibattito sulla possibile sopravvivenza o migrazione spontanea di *C. sativa* sul territorio dopo l'ultimo periodo glaciale

o l'introduzione dell'albero durante la colonizzazione romana (Conedera et al., 2004a) è ancora aperto.

Le prime testimonianze di una coltivazione attiva del castagno risalgono al terzo millennio a.C. nell'area balcanica (Conedera et al., 2004a). Conedera et al. (2016) hanno cercato di definire il ruolo della civiltà greca e romana nella coltivazione e nella diffusione del castagno su scala europea. In particolare, è stato dimostrato che l'uso alimentare del castagno non fu il principale motore dell'introduzione dell'albero in Europa da parte dei romani. A parte la Regione Insubrica nel nord della penisola italiana, in epoca romana non esisteva in Europa nessun altro centro di coltivazione del castagno. Da qui, i romani potrebbero aver iniziato a sviluppare sistematicamente la coltivazione di questa specie e, in certi casi, introdussero la specie stessa. L'interesse per la gestione del castagno finalizzata alla produzione dei frutti si sviluppò molto probabilmente dopo il periodo romano e può essere associato alle strutture socio-economiche di epoca medievale. Fu allora che si formarono culture autosufficienti basate sulla coltivazione del castagno come fonte di sussistenza.

A seguito di una lunga tradizione nella coltivazione del castagno, l'attuale areale della specie è stato fortemente influenzato dall'uomo (Mattioni et al., 2010, 2013, 2017, 2018) e si estende dal Caucaso attraverso Turchia, Grecia e Slovenia fino a Italia, Svizzera, Francia, Spagna, Portogallo, Germania e Inghilterra meridionale (Conedera et al., 2004b). *Castanea sativa* si trova in piccole aree al confine con il Nord Africa: Marocco, sui monti Beni-Hoçmar, Algeria, sulla catena dell'Atlante, Tunisia, dove fu probabilmente introdotta durante la dominazione francese. Cresce nelle Isole Canarie e Azzorre e si trova in misura minore in Siria e Libano. Alle basse latitudini, i castagneti si trovano sopra i 1500 m s.l.m., come sulle pendici dell'Etna in Italia, sulla Sierra Nevada in Spagna, e nel Caucaso dove la specie prospera a 1800 m di altitudine. *Castanea sativa* mostra una corrispondente elevata variabilità di caratteri morfologici ed ecologici, abitudini vegetative e riproduttive, morfologia della noce, caratteristiche del legno, adattabilità e resistenza a stress biotici e abiotici (Lauteri et al., 1997; 2004; Beccaro et al., 2004; 2012; Conedera et al., 2004b).

Attualmente *C. sativa* è da considerarsi diffuso e naturalizzato in tutto il Mediterraneo dalle regioni atlantiche della penisola iberica a quelle balcanica e anatoliche fino ai territori transcaucasici; è inoltre coltivato nella Francia centrale e settentrionale e anche più a nord-ovest (Gran Bretagna) e a nord-est (Germania) ma in stazioni isolate ed esclusivamente per la produzione di legno o per il verde ornamentale in quanto al di sopra del 47-48° parallelo generalmente non riesce a portare a maturazione i frutti. Dal momento che il castagno viene coltivato da alcuni millenni è ovvio che anche la sua diffusione nell'Europa meridionale è in buona parte di origine antropica. È quindi difficile definire l'effettivo areale di indigenato del castagno sia come confini sia come densità numerica; nell'Europa transalpina ne è stata iniziata l'introduzione in epoca romana ma anche nelle regioni di montagna all'interno dell'area di indigenato è stato oggetto di intensa coltivazione e diffusione perché costituiva una fra le specie arboree necessarie per la sopravvivenza di quelle popolazioni. Attualmente il castagno occupa più di 1.700.000 ha nell'Europa meridionale su un areale discontinuo, in cui forma centinaia di ettari di cedui e frutteti su suoli acidi. *Castanea sativa* non viene coltivato solo in Europa, ma dal XIX secolo è stato importato anche nell'emisfero australe, dall'America meridionale all'Australia.

In Italia il castagno è diffuso in tutte le regioni, compresa la Sardegna, ed è agevole seguirne la sua distribuzione anche sulla base dei numerosi toponimi che ricordano questa specie. Secondo i dati dell'Inventario Nazionale delle Foreste del 2005, il castagno si estende in Italia su 788.408 ha (pari al 9,2% della superficie classificata come bosco alto), a cui si aggiungono 3.378 ha classificati come Altre terre boscate, cioè Boschi bassi, Boschi radi e Boscaglie. Complessivamente, il castagno rappresenta il 7,5% della superficie forestale italiana. Le regioni più ricche di boschi castagno sono, nell'ordine, il Piemonte, la Toscana, la Liguria, la Lombardia, la Calabria e la Campania.

## 1.2. Caratteri botanici

La completa descrizione botanica di *Castanea sativa* è riferita dettagliatamente da Grossoni et al. (2020) nel "Trattato di Botanica Forestale". Se ne riportano di seguito i caratteri fondamentali.

### Morfologia

#### *Il portamento e il ritidoma*

Il castagno è un albero di media-grande altezza (20-25 m ma può arrivare anche a 30-35 m), che può raggiungere diametri molto importanti (anche 4-6 m) ed una notevole espansione della chioma. Questi caratteri sono legati alla longevità, che può superare anche i 500 anni. Il fusto è colonnare, si ramifica presto e la chioma diviene ampia e rotondeggiante. Rigenera facilmente per polloni dalla base. Nelle piante molto vecchie il fusto può essere cavo. Nelle piante giovani il ritidoma è liscio e di colore grigio olivastro, diventa poi grigio-bruno e inizia a fessurarsi formando cordoni longitudinali con andamento spiralato. L'apparato radicale è robusto, lateralmente molto espanso ma piuttosto superficiale.

#### *Legno*

Il legno del castagno è a porosità anulare, è mediamente pesante, compatto ed elastico, resistente agli urti e molto durevole. In sezione l'alburno è bianco giallastro ed è nettamente differenziato dal duramen, di color marrone chiaro (legno discoloro). Si differenzia dal legno delle querce caducifoglie perché i raggi midollari sono uniseriati e quindi non visibili ad occhio nudo.

#### *Rami, gemme e foglie*

Il ramo dell'anno ha sezione cilindrica, quadrangolare nei polloni. Le gemme sono piccole, ovoidi, con 2-3 perule visibili (gemme pauciperulate) bruno rossicce e glabre. La gemma apicale abortisce e abscinde rapidamente (ramificazione di tipo simpodiale). Le foglie sono caduche, semplici, e disposte in maniera alterna-spiralata, apparentemente distiche per torsione del picciolo. Le foglie sono di grandi dimensioni e possono essere lunghe fino a 20-25 cm e larghe fino a 6 cm, hanno forma ellittico-lanceolata e apice acuto. La lamina è coriacea, la nervatura è di tipo pennato, rilevata sulla pagina inferiore. Il picciolo è lungo 15-25 mm. Al

germogliamento il picciolo è di lunghe stipole caduche, mentre le foglie hanno una fitta pubescenza ghiandolare che le rende vischiose al tatto. L'emissione delle foglie è tardiva rispetto ad altre latifoglie (avviene fra la fine di aprile e maggio), e dipende dalla quota altitudinale.

### Riproduzione

#### *Fiori, infiorescenze e impollinazione*

La fioritura è tardiva e va dalla seconda metà di giugno alla metà di luglio (secondo la quota altitudinale). Il castagno è una specie monoica, con fiori disposti in amenti eretti lunghi 5-15 cm, che possono essere esclusivamente maschili (inseriti alla base del ramo dell'anno) o ospitare alla base anche fiori femminili (infiorescenze miste, più brevi, e posizionate verso l'apice del ramo). Le infiorescenze maschili ospitano circa 40 cime per amento. Il fiore maschile ha 8-12 stami, con un caratteristico odore di trimetilammina. Le infiorescenze femminili sono composte ciascuna da (2) 3 fiori racchiusi da un involucro membranaceo; l'ovario è infero con 6 (9) carpelli biovulari. Dopo la fecondazione l'involucro diventa la cupola (il 'riccio') e contiene un solo frutto per ogni fiore. L'impollinazione è essenzialmente anemogama ma la presenza di nettari fa sì che i fiori maschili vengano visitati dagli insetti. Gli insetti visitano solo i fiori maschili dal momento che quelli femminili sono privi o quasi di attrattori; il contatto con i fiori femminili è quindi fortuito.

#### *Frutti, semi, germinazione, plantule*

Il riccio ha 5-10 cm di diametro, dapprima è verde poi bruno giallastro, ed è molto pungente per le lunghe spine rigide ed è suddiviso in 4 valve. I frutti sono noci racchiuse nel riccio in numero normalmente di 2-3 ed hanno forma arrotondata. Il pericarpo è liscio e coriaceo, bruno scuro omogeneo solcato da striature appena accennate (molto più evidenti nei marroni), con alla base una larga cicatrice chiara (*ilo*) e all'apice dai resti degli stili (*torcia*). La faccia interna del pericarpo è fortemente pubescente. I cotiledoni, bianco avorio, sono voluminosi e sono protetti da una sottile pellicola membranacea (*episperma*). Il frutto è tendenzialmente deiscende ma molti ricci possono cadere interi e rimanere a lungo chiusi. La noce è dolce, saporita e quindi è ricercata da molti animali. Alla deiscenza il seme non è dormiente; la germinazione è ipogea. La plantula ha foglie primarie della stessa forma di quelle adulte anche se più piccole.

## 1.3. Ecologia

In Italia il castagno vegeta nella fascia sopra-mediterranea dell'Appennino e delle isole e in quella collino-planiziale delle Prealpi e delle Alpi; riferendoci alla classificazione di Pavari-De Philippis è ovviamente la specie "guida" della zona fitoclimatica del *Castanetum*. Le caratteristiche termiche della zona in cui vive il castagno sono:

- Temperatura media annua, da 10°C a 15°C;
- Temperatura media del mese più freddo: da 3°C a -1°C;
- Media delle temperature minime > -15°C.

Le piogge, nelle zone di coltura, raramente scendono sotto i 700 mm all'anno, ma precipitazioni più abbondanti sono preferibili. La sua diffusione è limitata dalle basse temperature e dalla siccità; ogni mutamento del clima in senso oceanico o temperato-umido ha favorito la diffusione del castagno mentre ogni modificazione verso l'aridità e la continentalità ha ristretto questa espansione.

È specie oceanica moderatamente termofila, tipicamente mesofila e richiede umidità del suolo, moderatamente eliofila, sensibile alle gelate tardive, esigente nei confronti del suolo (predilige suoli molto sciolti, profondi, leggeri, freschi e ricchi in potassio e fosforo), rifugge i terreni calcarei (specie calcifuga). Viene coltivato tipicamente su suoli acidi e subacidi; ma può crescere e dare buoni risultati anche su suoli di origine carbonatici quando gli ioni calcio vengono dilavati da piogge abbondanti (per es., sulle Alpi Apuane).

## 1.4. Prodotti e utilizzazioni

### *Il legno*

Il legno viene impiegato come per la produzione di assortimenti da opera e per produrre infissi, mobili, travature, tranciati, doghe per botti ecc. L'ottima durabilità naturale del legno di castagno, dovuta alla presenza di tannini, lo rendono molto resistente agli agenti atmosferici e all'attacco da parte di organismi vari. Inoltre, questa proprietà lo rende competitivo sul mercato con i legnami tropicali perché non necessita di ricorrere a trattamenti preservanti con sostanze tossiche o clima-alteranti. Durante il taglio, nella parte basale dei castagni arborei il legno può facilmente sfogliarsi a livello della porzione di legno primaverile degli anelli rendendolo così inutilizzabile (*cipollatura*). Dal ceduo si ricavano assortimenti diversificati usati prevalentemente per paleria, ottima perché il legno si deteriora molto lentamente. Ancora oggi la paleria rappresenta un importante sbocco commerciale del legno di castagno, per l'uso in vigneti e frutteti, per tutori in arboricoltura e vivaismo, per recinzioni e linee aeree. Il castagno non è un buon combustibile sia perché non ha un grande potere calorifico sia perché, se non è ben asciutto, produce fumo e tende a scoppiettare.

### *Il frutto*

Il seme del castagno è costituito per la maggior parte da carboidrati (oltre il 90% del peso), e da parti quasi uguali di lipidi e proteine (la castagna non contiene glutine). La parte commestibile è rappresentata dai cotiledoni. Quando fresco, il frutto viene utilizzato crudo oppure cucinato; quando secco, viene soprattutto convertito in farina e usato per dolci e per conserve. Malgrado le migliori qualità organolettiche del frutto di *C. sativa*, la maggiore richiesta del mercato mondiale riguarda soprattutto i frutti dei castagni asiatici e la produzione cinese che, con circa un milione di tonnellate/anno, ha ormai superato il 70% della produzione mondiale (Bellini e Morelli, 2016). Le farine di castagno si diffusero rapidamente durante l'Umanesimo, soprattutto fra le popolazioni montane, come surrogato alle farine di grano, farro e granturco. Le castagne venivano essiccate in foresta in appositi manufatti in pietra, detti "metati" (molti toponimi conservano questo nome). Il metato aveva una piccola porta d'ingresso, una finestrina ed alcune feritoie sulle pareti per una migliore fuoriuscita del fumo.

All'interno si trovavano le grate (piano a graticcio) dove venivano adagiate le castagne. Una volta essiccate, queste erano raccolte in balle di iuta e sbattute in modo da liberare l'involucro dalla buccia; quelle danneggiate dalla sbattitura erano macinate per farne farina mentre le rimanenti erano commercializzate per la vendita. La farina di castagne e le castagne essiccate sono alla base di molte preparazioni alimentari tradizionali.

### *Altri prodotti*

Il miele è un altro prodotto, sia pure indiretto, del castagno. I nettari visitati dagli insetti sono nei fiori maschili. Il miele di castagno tende a rimanere liquido, a causa della forte componente di fruttosio. L'eventuale cristallizzazione è molto lenta, non sempre regolare. Il colore è ambrato scuro, con tonalità rossiccio-verdastre nel miele liquido; se cristallizzato, assume un colore marrone. Sia l'odore che l'aroma sono intensi, è poco dolce, amaro, molto persistente. Studi recenti sul miele di castagno rivelano contenuti significativi di composti con attività antiossidante e antimicrobica come fenolici, flavonoidi e alcaloidi chinolinici (De Vasconcelos et al., 2009)

Il castagno è ricco di tannini, con alti livelli sia di procianidine (tannini condensati) che di ellagitannini (tannini idrolizzabili). La corteccia e il legno del castagno sono le prime fonti di tannini per la lavorazione del cuoio, la trasformazione di pellami e pelli in cuoio e come riconcianti. Il guscio del castagno risultante dalla pelatura dei frutti è utilizzato in alcuni paesi come combustibile (Spagna) ed è anche una ricca fonte di fenoli e antiossidanti. Questi antiossidanti e altri componenti presenti nei gusci, nel legno e nelle foglie sono utilizzati nei mangimi (De Vasconcelos et al., 2009). Un'applicazione particolare è l'uso del legno decomposto delle ceppaie come terriccio per le piante acidofile.

### *Il paesaggio e il turismo*

Le numerose formazioni boschive a castagno (fustaie e cedui) caratterizzano fortemente il paesaggio e, insieme alle faggete, definiscono quello di buona parte dei nostri rilievi peninsulari e prealpini. I castagneti da frutto costituiscono un paesaggio di grande valore estetico e un'attrazione turistica, grazie alla presenza di grandi alberi vecchi e con chioma estesa e dalla limitata presenza di sottobosco. Questo paesaggio è dovuto, e può essere mantenuto, solo con interventi culturali costanti. Sono frequenti individui monumentali come nel Catanese, dove sono famosi il «castagno di Sant'Agata» (a Mascali) e, soprattutto, il «castagno dei cento cavalli» (a Sant'Alfio) che hanno diametri di 7 m; entrambi sono stimati avere un'età di almeno 2.000 anni e, per il secondo castagno, una ceppaia veramente eccezionale che però si è ampliata nel tempo grazie ai polloni che, via via, ha prodotto. Castagni monumentali sono tuttavia conosciuti in tutta l'estensione della sua area di coltivazione.

## 1.5. Le varietà coltivate per frutto e legno

Il castagno è una specie agro-forestale, che non solo è una componente delle formazioni boschive, ma è stata anche selezionata in numerose varietà per la coltivazione ai fini della produzione del frutto (marroni) e del legno. È stato stimato che in Italia agli inizi del XX secolo

venissero coltivate circa 1.200 varietà di castagno impiegate soprattutto per la produzione del frutto ma, in alcuni casi, anche da legno. Attualmente sono ancora presenti circa 450 varietà (Bellini e Morelli, 2016). La distinzione commerciale fra ‘castagna’ e ‘marrone’ (quest’ultimo di qualità superiore) riguarda la produzione del frutto e si basa sulle differenze morfologiche e organolettiche del frutto stesso. I marroni portano in genere 2 frutti per cupola anziché 3 (i frutti sono pertanto più grandi che nei castagni selvatici) ed hanno l’episperma che si distacca facilmente dai cotiledoni (sono pertanto più facilmente lavorabili). I marroni hanno origine agamica (sono riprodotti per innesto in quanto la pianta da talea non si afferma), quindi le ‘varietà’ sono monoclonali o, almeno, geneticamente poco diverse. La selezione e la coltivazione compiuta dall’uomo nel corso dei millenni hanno portato non solo alla formazione di numerosissimi cloni ma anche, in aree geograficamente distinte, di cloni identici ma con nomi diversi (Fineschi et al., 1994; 2000; Bellini e Morelli, 2016).

Per quanto riguarda la produzione del legno, vi sono alberi che possono soddisfare le esigenze di rapidità di crescita, buon portamento, qualità del legno e scarsa attitudine alla cipollatura. Sono state così create delle varietà da legno come ‘Politora’, ‘Mozza’ e ‘Cardaccio’ (Alpi Apuane), ‘Mondistollo’ (Casentino) e ‘Perticaccio’ (Appennino parmense e piacentino).

## 1.6. Il castagno in Toscana

Il castagneto può considerarsi una derivazione antropica del bosco misto, del quale conserva numerosi tipi floristici ed ecologici. In particolare, esso deriverebbe dai boschi acidofili di rovere per effetto dell’azione antropica. Il castagno trova l’*optimum* nell’ambito del bosco misto mesofilo e in particolare sui substrati silicei soggetti a lisciviazione ed acidificazione. I castagneti acidofili sono da considerarsi in buona parte derivati dalla trasformazione antropica dei boschi originari. In Toscana il castagno occupa attualmente un orizzonte altitudinale che va dalle basse colline umide all’orizzonte montano inferiore del faggio. In tale fascia entra in contatto in basso con i boschi di rovere e cerro e in alto con boschi mesofili di cerro di cui sembra, almeno in parte, aver preso il posto per cause antropiche. In termini fisionomici si possono oggi distinguere i seguenti tipi:

- I cedui, quasi sempre a turno lungo, per paleria, densi, con scarso sottobosco sciafilo. In prevalenza derivano dalla ceduzione di vecchie colture da frutto e sono a volte indirizzati alla conversione ad alto fusto. Di frequente sono misti con pino marittimo.
- Le fustaie da legno, poco frequenti, a volte conifere, caratterizzate da coperture alte e da sottobosco floristicamente ricco di specie nemorali.
- Le fustaie rade da frutto, sopravvissute nelle aree più accessibili, fertili, prossime agli abitati. Sono costituite in genere da individui invecchiati a chioma rada e ampia, con sottobosco arbustivo di invasione, ricco di specie eliofile e decisamente acidofile.
- I boschi misti con latifoglie come la rovere, il cerro, il faggio, il carpino nero. Sono decisamente i boschi più naturali con presenza di castagno.
- I boschi misti con conifere, in primo luogo il pino marittimo e l’abete bianco.

Da un punto di vista fitosociologico, Arrigoni e Viciani (2001) e Viciani (2001), distinguono le seguenti associazioni e sotto-associazioni:

- Castagneti acidofili (*Teucrio scorodoniae-Castanetum sativae* assoc. nova). L’associazione raggruppa la maggior parte dei castagneti dell’Appennino toscano su substrato arenaceo.
- Castagneti degradati con *Sesleria argentea* (*Teucrio-Castanetum seslerietosum argenteae* sub-assoc. nova). Boschi acidofili su suoli inclinati, superficialmente erosi, caratterizzati dall’abbondanza di *Sesleria argentea*. Presenti nelle Alpi Apuane e sporadicamente anche sull’Appennino.
- Castagneti mesoacidofili submontani (*Teucrio-Castanetum aceretosum pseudoplatani* sub-assoc. nova). Castagneto acidofilo e mesofilo distinguibile per la presenza di specie faggeta. Si sviluppa soprattutto nella fascia superiore (600-1100) della montagna appenninica.
- Cerrete acidofile con castagno (*Teucrio-Castanetum quercetosum cerridis* sub-assoc. nova). Boschi acidofili a dominanza di cerro, con presenza di castagno. Si riscontrano su suoli arenacei acidi a quote prossime ai 1000 m, poco al di sotto del limite della faggeta.
- Cedui invecchiati e fustaie dense igro-eutrofiche e sciafile (*Rubo hirti-Castanetum sativae* assoc. nova). Si riscontra in castagneti densi, ombrosi, in corrispondenza di suoli arenacei freschi.
- Cedui termoacidofili (*Erico scopariae-Castanetum sativae* assoc. nova). Castagneti acidofili, subxerici, caratterizzati dalla presenza di specie termofile (es. *Quercus pubescens*, *Fraxinus ornus*) e da un certo contingente di eliofile dovuto ad una minore densità del soprassuolo.
- Castagneti termofili subxerici (*Arbuto unedi-Castanetum sativae* assoc. nova). Castagneti termofili dell’orizzonte collinare, debolmente acidofili, in genere impiantati in aree marginali dell’area potenziale del castagno, nelle quali esiste una modesta aridità estiva.
- Castagneti da frutto e cedui radi termoeliofile (*Digitali australi-Castanetum sativae*).
- Castagneti mesoigrofilo (*Symphyto tuberosi-Castanetum sativae* assoc. nova).
- Cedui e fustaie mesoigrofilo e sciafile (*Frangulo alni-Quercetum petraeae*).

In conclusione, a parte le trasformazioni economico-sociali della montagna appenninica, i castagneti hanno subito in tempi relativamente recenti una riduzione della superficie boschiva per effetto dello sviluppo di malattie crittogamiche e insetti alieni, responsabili di una quasi generale trasformazione della forma di governo da fustaia da frutto a ceduo; dell’invadenza dei boschi neogenici di robinia, soprattutto nelle stazioni più fresche della Toscana nord-occidentale; della penetrazione del pino marittimo nei boschi più aperti e xerici, favorita dall’uomo soprattutto sotto forma di coniferamento.

## 1.7. Il castagno ed il cambiamento climatico

Il castagno, in condizioni naturali, si comporta come specie eliofila pioniera, che soffre la competizione in foreste dense (Conedera et al., 2021) ed è soggetta a disturbi di origine antropica e biotica. Questa specie, quindi, mostra elevata mortalità soprattutto nelle classi diametriche in quanto da una condizione di coltivazione il bosco passa ad una evoluzione naturale. La probabilità di mortalità aumenta con il diminuire delle precipitazioni e l'aumento dell'aridità del suolo. Secondo Conedera et al. (2021), il castagno potrebbe non essere l'opzione migliore per far fronte ai previsti aumenti delle temperature estive e periodi di siccità nelle condizioni più xeriche, mentre la specie può essere conservata nei siti migliori quando è prevista una regolare gestione selvicolturale (Freitas et al., 2002). Inoltre, Castellana et al. (2021) hanno individuato nel genoma di alcune popolazioni la presenza di alleli relati a variabili climatiche, ponendo quindi le premesse per un possibile adattamento genetico ai cambiamenti climatici.

Nell'ambito delle indagini sulle condizioni dei boschi il castagno è risultata essere la specie più critica, con i livelli più elevati di defogliazione e mortalità, che hanno mostrato una tendenza crescente a partire dal 2000 (Bussotti et al., 2021; 2022). Queste precarie condizioni non sono da ascrivere solo alle note avversità biotiche, ma anche ad una spiccata sensibilità alle ricorrenti ondate di siccità e calore.

## 1.8. I castagni esotici

La storia di *C. sativa* nel quaternario è stata ben documentata, indicando che la specie si è ritirata dall'Asia occidentale ed è sopravvissuta come relitto in alcune località dell'Europa sudorientale e Turchia. L'attuale distribuzione del gen. *Castanea* in Asia orientale ed Europa è avvenuta dopo la fine del Pleistocene circa 5.000 anni fa. Le specie Americane furono spinte verso Sud in aree rifugio nella regione costiera del Golfo e in Florida durante la massima espansione glaciale del Wisconsin 18.000–20.000 anni fa, e migrò nuovamente verso nord lungo gli Appalachi dopo il ritiro del ghiaccio. L'attuale distribuzione degli areali disgiunti nell'Asia orientale e America nord-orientale potrebbe derivare da una combinazione di vicende evolutive e migratorie legate sia al primo che al tardo Terziario, sia attraverso lo stretto di Bering che ponti terrestri nel Nord Atlantico (Dane et al., 2003).

### Specie asiatiche

*Castanea crenata* (Giappone, Cina orientale e Corea)

È un albero di medie dimensioni (10-15 m) con foglie semplici, strette, con margine crenato-serrato. È specie monoica, il frutto è una noce arrotondata molto grossa rispetto a quella del castagno europeo. In ogni cupola vi sono 3-7 frutti. I frutti sono eduli ed è molto coltivato a scopo alimentare. È originario del Giappone e della Corea del Sud, ed è stato introdotto in Europa nel 1876 e in Italia negli anni venti del XX secolo. È resistente al mal dell'inchiostro,

per cui viene talvolta impiegato come porta-innesto. Le esigenze ecologiche sono simili a quelle del castagno europeo; tuttavia, le zone in cui vive sono caratterizzate da piogge, concentrate in estate (1.000-1.400 mm annui) e da un elevato tasso di umidità.

*Castanea mollissima* (Cina orientale e meridionale)

È un albero di media taglia che può raggiungere i 20 m di altezza, ed ha una chioma molto larga. Il nome “mollissima” deriva dai getti e dalle giovani foglie coperte da una morbida pubescenza. La cupola è densamente spinosa e contiene 3 frutti di 2-3 cm di diametro nelle piante selvatiche. È largamente coltivato in Cina per scopo alimentare e se ne conoscono oltre 300 cultivars. Si spinge fino ad oltre 2.000 m di altitudine, occupando un piano sub-tropicale – montano. È stato introdotto in Europa nel 1853; è stato diffusamente sperimentato, anche per la produzione di ibridi, perché resistente al cancro corticale. Tuttavia, l'importazione di questa specie in America è stata la causa della diffusione del cancro corticale prima nel Nord America e poi in Europa.

*Castanea senguinii* (Cina centrale)

È un piccolo albero o arbusto, che raramente raggiunge i 12 m. Cresce in foreste e boschetti mesofili da 400 a 2.000 m di altitudine. Fiorisce da maggio a luglio e fruttifica da settembre a novembre. Le cupole sono larghe da 3 a 5 cm e ricoperte da brattee con spine lunghe da 6 a 10 mm. Ogni cupola produce 2-3 frutti, raramente di più, con diametro compreso tra 1,5 e 2,0 cm. I frutti sono eduli, e la specie è talvolta coltivata per usi locali.

*Castanea henryi* (Cina centro-meridionale e sud-est, valle del fiume Yangtze)

È un grande albero che può raggiungere i 30 m di altezza e produce un legno di buona qualità. I ricci contengono un solo frutto di piccola pezzatura. È strettamente relata a *C. mollissima* e viene coltivato in Cina. Recentemente sono state selezionate alcune varietà per la produzione di legno.

### Specie Nord-Americane

*Castanea dentata* (Stati orientali U.S.A.)

È un grande albero che può superare i 40 m di altezza, con un fusto che può raggiungere i 3 m di diametro. È simile al castagno europeo, da cui si distingue per le foglie di grandi dimensioni e marcatamente dentate (da cui il nome), con apice e denti molto acuti. Sia le foglie, che appaiono lucenti, che le gemme e i rametti dell'anno sono completamente glabri. I frutti sono racchiusi in gruppi di 3 all'interno delle cupole spinescenti. Sono più piccoli rispetto a quelli del castagno europeo, ma di buona qualità. Il suo areale si espandeva sul versante atlantico degli Stati Uniti, dal Maine all'Alabama e alla Georgia, mentre ad ovest arrivava al sistema Ohio-Mississippi. L'attuale riduzione dell'areale è dovuta alla diffusione del cancro corticale introdotto in America dalla specie cinese *C. mollissima*. Attualmente sopravvive sporadicamente sotto forma di cespugli; forme arboree si ritrovano, coltivate, fuori dall'areale là dove il parassita non è potuto arrivare.

*Castanea pumila* (Stati Uniti orientali)

È un alberello di 3–8 m o più spesso un arbusto, piuttosto polimorfo, in alcuni ambienti assume addirittura un aspetto strisciante. Ha una grande capacità pollonifera. Il frutto è una noce racchiusa in una cupola spinosa e gialla di 2-3 cm di diametro. Ogni cupola contiene una sola noce.

*Castanea ozarkensis* (Stati Uniti centro-orientali)

È considerato da alcuni studiosi come una varietà di *C. pumila* (*C. pumila ozarkensis*). È suscettibile al cancro corticale ed è stato devastato dalla malattia, e oggi cresce in gran parte solo come un piccolo albero o arbusto. Tuttavia, alcuni individui maturi sono sopravvissuti e su questi è stato avviato un programma di miglioramento per la resistenza al cancro.

## *Il castagno ed il suo legno*

Lo Monaco Angela, Picchio Rodolfo, Venanzi Rachele, Mercurio Roberto

Dal legname di castagno, proveniente generalmente da soprassuoli governati a ceduo, si ricavano assortimenti destinati alla produzione di paleria di diverse dimensioni, nonché tavole, travature e assortimenti sia per falegnameria che per uso strutturale le cui dimensioni massime dipendono dalla lunghezza del turno (Corona, 1986). Dai residui della produzione principale possono essere ricavati assortimenti per legna da ardere (anche se meno apprezzata per il caminetto di quella di altre specie, a causa dello "scoppiettio"), per carbone ed estrazione di tannino. Il turno applicato dipende dall'indirizzo selvicolturale per la produzione commerciale e dalla fertilità della stazione: per produzione di paleria il turno è di 12-18 anni, mentre per ottenere una combinazione produttiva comprendente travi, paleria grossa e tronchi da sega, sono adottati turni più lunghi (Bernetti, 2015). La spiccata facoltà pollonifera e la vigoria dei polloni nel governo a ceduo indirizzano verso popolamenti prevalentemente puri, talvolta con sporadiche querce caducifoglie, aceri e ciliegio; ancor più raramente si possono riscontrare, leccio e faggio; quali specie del sottobosco si trovano in genere quelle del mantello.



**Fig. 1** - Semilavorati o prodotti in legno di castagno: **A)** elementi strutturali, **B)** tavole in stagionatura, **C)** tavolette per rivestimenti, **D)** fascine per forno utilizzate nella produzione di pane tipico, **E)** corbello.

È ben nota la capacità produttiva di questa specie quando vegeta in suoli vulcanici e in condizioni di fertilità ottimali, essendo in grado di assicurare incrementi medi di 20 m<sup>3</sup>/ha/anno, produttività che sottolinea quindi la buona capacità di sequestro del carbonio.

I polloni possono presentare difetti di forma come curvatura basale del fusto, ramificazione orizzontale o ascendente che genera nodosità elevata nei segati e legno cicatriziale dovuto a cancro corticale o a operazioni selvicolturali prevalentemente di diradamento. Inoltre, il difetto grave della cipollatura rende praticamente inutilizzabile i fusti per la produzione di paleria, segati e assortimenti per usi strutturali, relegando tali tronchi a destinazioni decisamente meno remunerative.

Tali capacità produttive e qualitative vengono riscontrate anche da materiale proveniente dal recupero e gestione dei castagneti da frutto. In alcuni casi addirittura le particolari peculiarità e conformazioni di determinati assortimenti derivanti da questa gestione offrono del materiale legnoso atipico assai apprezzato per oggettistica e arredi di elevato profilo artistico/architettonico.

In buona sostanza, il legno di castagno ha indubbi pregi estetici, capacità di rispondere alle tante esigenze di prodotti in legno (Fig. 1) (tanto che vengono anche importati tronchi per gli assortimenti da sega e strutturali) e attitudine ad assolvere con efficienza numerosi servizi ambientali, tra i quali l'immagazzinamento del carbonio.

## 2.1 Aspetto e caratteristiche del legno

Osservando una sezione trasversale si nota che il durame è distinto dall'alburno; il primo è di colore marrone chiaro mentre il secondo è di color bianco giallastro (Fig. 2A). Il durame è la zona interna del fusto, che la pianta «disattiva» per garantirsi un buon equilibrio fisiologico, dato che è la chioma la sede della produzione di energia impiegata anche per il sostentamento degli organi non produttivi.

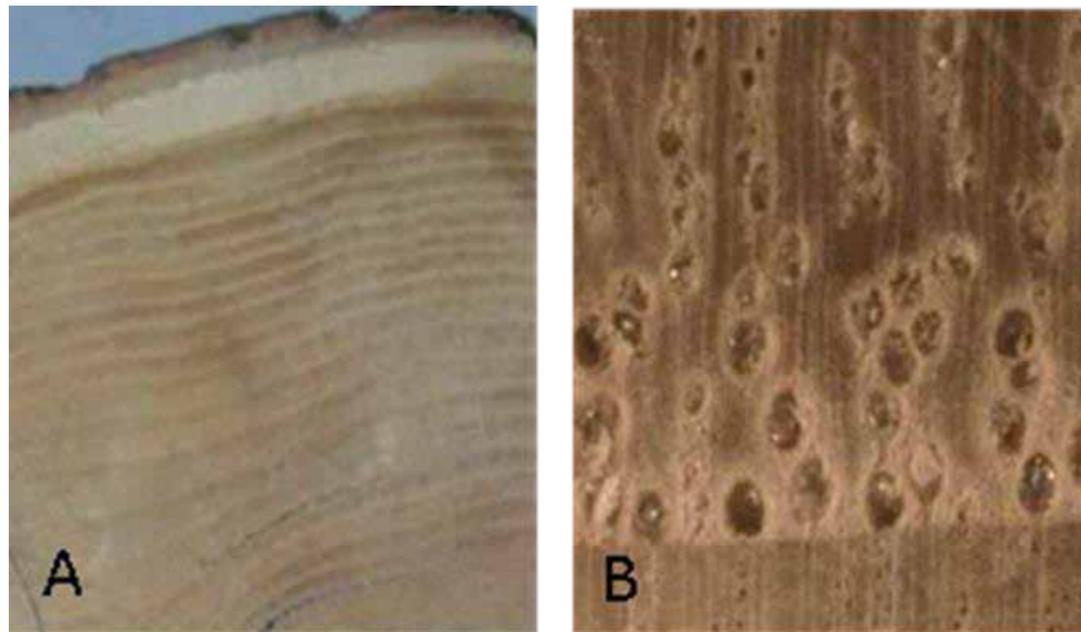


Fig. 2 - A) L'alburno ha una ampiezza ridotta. Si distingue dal durame per il colore chiaro. B) Vasi del legno primaticcio con lume ampio che danno luogo alla porosità anulare; nel durame i vasi sono occlusi da tulle.

Il durame può assumere colorazione bruna di varia intensità, talora con variegature notevolmente più cupe, specialmente con il tempo. L'estensione dell'alburno è in genere molto limitata e interessa pochi anelli annuali. In particolare, per il legno di castagno del centro Italia, è stato rilevato che la duramificazione inizia intorno ai 6 anni e progressivamente aumenta di anno in anno, non sempre seguendo con precisione l'andamento anulare, ma con un'alta correlazione con l'età della pianta (Bernabei, 1994), trovando un numero di anelli di alburno intorno a 4. Pertanto, all'aumentare dell'età della pianta la zona alburnosa si riduce mantenendo piuttosto costante nel tempo il numero di anelli.

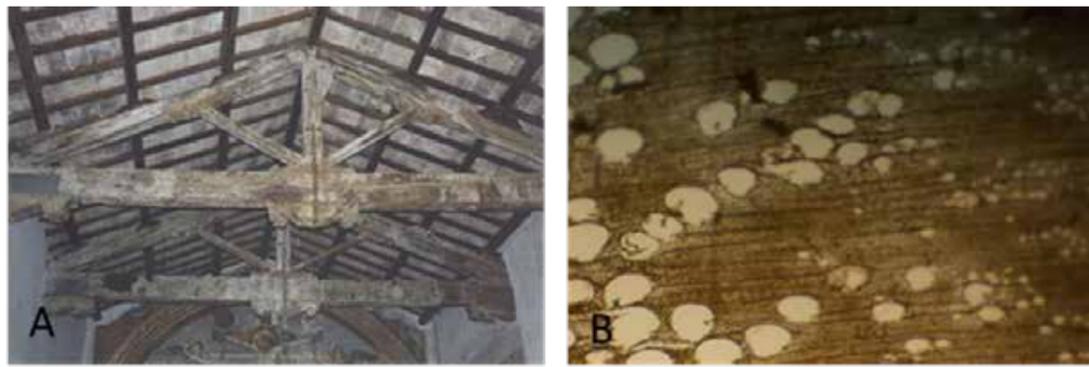
L'odore caratteristico è percepibile sul legno fresco. Il sapore è astringente. Entrambe le caratteristiche sono dovute agli estrattivi del legno.

Gli anelli di accrescimento sono facilmente visibili e marcati dai vasi del legno primaticcio (Fig. 2B). Per il lume ampio danno luogo alla porosità anulare che risulta facilmente individuabile ad occhio nudo. L'ampiezza degli anelli di accrescimento è un elemento assai variabile, che dipende da numerosi fattori, come il governo, i trattamenti selvicolturali quali i diradamenti, lo stato sociale e fisiologico dell'individuo, l'età, la stagione, citando i più importanti. Nel durame i vasi sono frequentemente occlusi da tulle.

La fibratura è diritta specialmente nei polloni che possono essere facilmente lavorati a spacco, dando luogo ad una superficie più brillante di quella lavorata a sega. Nelle piante annose è possibile osservare una fibratura elicoidale, talvolta annunciata dalla conformazione della corteccia. Per la conformazione anatomica la tessitura è grossolana e la venatura ben evidente. Infatti, la venatura in sezione radiale evidenzia disegno rigato, in sezione tangenziale fiammato.

### Il legno di castagno al microscopio

In figura 3B è riportata una sezione trasversale al microscopio ottico: si notano i vasi del legno primaticcio da tondeggianti ad ovali, di grandi dimensioni che determina il legno primaticcio con porosità anulare. Nella zona duramificata il lume dei vasi grandi è spesso occluso da tulle a parete sottile (Fig. 3B). Il lume dei vasi in questa zona può raggiungere un diametro fino a 500 micron (Nardi Berti, 1979). Nel legno tardivo i vasi sono solitari, disposti radialmente. Hanno un lume piccolo con diametro intorno a 30 micron. Gli elementi vasali si connettono tra loro con perforazioni semplici. Il parenchima assiale è poco abbondante, è presente in cellule sparse nell'anello o intorno ai vasi. I raggi sono monoseriati, cioè in sezione trasversale sono composti da una sola fila di cellule, raramente biseriati, pertanto, sono visibili solo su sezioni microscopiche. I raggi parenchimatici hanno un andamento rettilineo che in prossimità dei vasi grandi si incurva seguendone il contorno. In sezione radiale si constata che i raggi sono costituiti da cellule procombenti, che hanno cioè l'asse maggiore disposto radialmente. Le assise di cellule sono tra 10 e 30 (Schweingruber, 1978), con un'altezza del raggio fino a 360 micron (Giordano, 1981).



*Fig. 3 - A) Capriate in castagno della chiesa di S. Stefano di Collefabbri, (Valnerina, Umbria). B) Sezione trasversale sottile al microscopio ottico, si notano la zona primaticcia a porosità anulare, i vasi solitari disposti radialmente nel legno tardivo, i raggi monoseriati.*

## 2.2 Caratteristiche tecnologiche in relazione agli usi

Il legno di castagno è considerato durabile nei confronti delle alterazioni da funghi e pertanto adatto per l'impiego a contatto con le terre, senza necessità di trattamenti preventivi. Sono proprio gli estrattivi del durame che rendono il legno di castagno resistente agli attacchi di insetti xilofagi e durabilità alle alterazioni fungine (Fig. 4). Mentre l'alburno non è né resistente né durabile, il durame di castagno è classificato come resistente agli attacchi di molte specie di insetti, un po' meno alle termiti, ed è inserito nella classe "2-durabile" secondo la normativa UNI EN.



*Fig. 4 - Sezione di una trave di Santa Maria in Gradi (VT), sostituita, i cui anelli di accrescimento si collocano tra il 1561 e il 1596. L'alburno è assente, è rimasto solo il durame a testimonianza della capacità di resistenza agli agenti biologici.*

Tuttavia, nelle piante vetuste, monumentali come quelle dai castagneti da frutto, si osserva lo svuotamento del fusto proprio nella zona interna, talvolta con la formazione di ampie cavità (Fig. 5). Questo differente comportamento tra il legno in opera e la pianta vivente nei confronti dei funghi cariogeni è dovuta a una serie di fattori concomitanti.



*Fig. 5 - Castagno con grande cavità alla base.*

Negli assortimenti in opera l'umidità del materiale è in genere bassa, solo occasionalmente superiore al 20%, fatto che insieme al contenuto elevato di estrattivi, che hanno un'azione inibente l'attività dei microrganismi di degradazione, rende il legno durabile nel tempo. Il durame nelle piante viventi si trova in condizioni ambientali molto diverse. Ha la medesima resistenza passiva del legname in opera ma trova protezione attiva dovuta alla presenza della corteccia e dell'alburno. L'ampiezza radiale dell'alburno è di circa 1 cm (Bernabei, 1994). Quindi anche ferite o lesioni di scarsa gravità per altre specie possono privare il durame della

protezione attiva dell'alburno. Quando tale protezione viene meno, ad esempio per una ferita provocata dall'urto di un macchinario o dal fuoco, la recisione di ampie branche, si creano condizioni di umidità e di presenza di ossigeno all'interno dei tessuti duramificati che costituiscono un substrato adatto agli agenti di degradazione (Pearce, 1996), avviando fenomeni che la pianta non può controllare attivamente, se non con il tentativo di chiudere al più presto l'area lesionata.

È una delle specie con più elevato contenuto di estrattivi (Hillis, 1997), che oltre a conferire durabilità naturale al legno di castagno, possono essere estratti per la produzione di tannino, utilizzabile non solo per la concia delle pelli, ma anche nell'alimentazione degli animali, nella produzione di adesivi a bassa emissione di composti organici volatili o quali preservanti ecocompatibili. Anche la corteccia contiene un'elevata quantità di sostanze concianti attive composte principalmente da castalagina, vescalagina, castalina e vescalina (Comandini et al., 2014). Gli estrattivi di legno e corteccia contengono anche composti acidi organici che determinano la notevole astringenza del legno.

Il contenuto di estrattivi rende il durame di castagno adatto per la manifattura di vasi vinari, una tradizione che ha perso la diffusione di un tempo, ma che merita sicuramente un ripensamento, che rivaluti in senso più ampio il concetto di *terroir*.

La paleria di castagno è una tradizione antica che si rinnova nelle destinazioni d'uso tra le più diversificate, proprio per la capacità del legno di castagno di mantenersi efficiente anche dopo la permanenza in un ambiente difficile per diversi anni. La suddivisione in paleria grossa, media e piccola è sulla base del diametro e della lunghezza che determinano le possibilità d'impiego, il criterio qualitativo è la curvatura che deve essere inferiore a 4 cm per metro di lunghezza. La paleria può essere fornita tal quale, oppure con gradi di finitura come la manifattura della punta e la scortecciatura correntemente praticate (Fig. 6), fino alla tornitura più raramente eseguita.



Fig. 6 - Paleria con diversi gradi di finitura.

In ambiente agricolo, nonostante la resistenza all'urto sia non eccellente, ma media, la paleria in castagno riesce a garantire performance migliori della paleria in altri materiali. La durabilità, le caratteristiche tecnologiche e la ampia disponibilità spesso in loco lo rendono una delle specie apprezzate nelle opere di bioingegneria (Baldini e Lo Monaco, 2005).

Il legno di castagno è considerato di media pesantezza ed è molto apprezzato per le sue caratteristiche fisico meccaniche negli usi strutturali, nella realizzazione di travature, nell'

orditura primaria e secondaria di tetti e solai, sia nel passato che nel presente. La massa volumica è intorno a 1.000 kg/m<sup>3</sup> allo stato fresco, scende a 580 kg/m<sup>3</sup> in materiale ad umidità normale; la densità basale si attesta intorno a 490 kg/m<sup>3</sup> (Giordano, 1988). Le caratteristiche meccaniche sono apprezzabili (Tab. 1) e per diverse condizioni si trovano valori comparabili (Nardi Berti 1979; Berti et al., 1991; Tsoumis, 1991; Luziatelli, 2015).

Tab. 1 - Caratteristiche fisiche e meccaniche del castagno.

Proprietà	BERTI (1991 )	TSOUMIS (1991)	GIORDANO (1988)	NARDI BERTI (1993)	MONTE AMIATA (Luziatelli) (2015)
Densità (12%) g/cm <sup>3</sup>	0,58	0,61	0,58	0,57	0,58
Ritiro tangenziale (%)	7,8	6,4		6,6	4,6
Ritiro radiale (%)	4,1	4,3	da basso a medio	4,3	3,0
Ritiro volumetrico (%)	11,8	11,6		11,2	7,6
Coefficiente di anisotropia	1,9	1,49		1,54	1,53
Resistenza a compressione (MPa)	54,0	49,0	51,0	45,0	49,5
Resistenza a flessione (MPa)	102	75	108	96	110,8

L'uso del legno di castagno gode di tradizioni antichissime, in opere strutturali, infissi, mobilio, nonché in manufatti edili (Corona, 1986; Lo Monaco, 1998). Una crescente richiesta di travature in castagno è derivata dagli interventi di restauro di abitazioni rurali, di recupero di monumenti storici, di edifici in zone architettonicamente rilevanti (Baldini e Lo Monaco, 2005). Dai tronchi di diametro elevato e di miglior qualità si può ricavare anche tavolame idoneo alla produzione di serramenti, elementi di arredo (tavoli, cucine, mobili) oppure da rivestimento e listelli da parquet.

I semilavorati di castagno come i pannelli di legno massiccio, impiegati nell'industria del mobile e dell'arredamento, sono ottenuti grazie all'incollaggio di elementi privati dei difetti al fine di ottenere uniformità di caratteristiche, stabilità dimensionale e idoneità alle lavorazioni automatizzate, ma soprattutto ridotte perdite nelle successive lavorazioni (Berti, 2013).

Vengono realizzate strutture in legno per esterno come pergole, tettoie, capriate. Mobili da giardino, tutori per produzioni vivaistiche e pellets hanno ulteriormente ampliato il panorama di impiego del legno di castagno, così come la trasformazione in pannelli lamellari di diverso

tipo, da utilizzarsi non solo in falegnameria per interno, ma anche per esterno, come barriere fonoassorbenti o addirittura moduli abitativi (Berti et al., 2004; Tani et al., 2003).

La resistenza all'urto e all'indentazione (durezza) sono di media entità. Unita alla componente estetica dovuta al colore, la durezza rende il legno di castagno adatto all'impiego per pavimentazioni, sia all'interno che in esterno (Fig. 7).



**Fig. 7** - Particolare della pavimentazione della sala dell'Ecomuseo della Castagna e della Transumanza a Ortignano Raggiolo (AR). Si noti la traccia dei vasi grandi del legno primaticcio che danno luogo a tessitura grossolana.

Il materiale prodotto dal ceduo, da un punto di vista tecnico, si è dimostrato adatto per la produzione sia di elementi in massello sia di elementi prefiniti per pavimentazioni (Zanuttini et al., 2001). Il maggiore problema è connesso più che alla dimensione dei tronchi lavorati alla difettosità del materiale che richiede pertanto una selezione qualitativa adeguata (Fig. 8).

Inoltre, la maggiore sensibilità alle variazioni termoigrometriche ambientali e la durezza inferiore degli elementi provenienti da ceduo indicano che tali pavimentazioni dovrebbero essere impiegate in ambienti non soggetti ad uso intenso.



**Fig. 8** - Difetti frequenti in castagno: **A)** callo cicatriziale che ricopre una ferita; **B)** Nodo di grandi dimensioni marcio; **C)** cipollatura.

Per il miglioramento della stabilità dimensionale si può far ricorso al termotrattamento, che consiste in una breve esposizione ad alta temperatura del materiale. L'alta temperatura modifica chimicamente il legno. Il risultato è un legno meno sensibile alle variazioni termoigrometriche ambientali e con un colore più scuro, in relazione alla temperatura scelta. È stato dimostrato (Lo Monaco et al., 2020) che il trattamento con temperature a 140 °C ha in generale poca influenza sulle caratteristiche del legno di castagno, mentre il trattamento con temperatura di 200 °C modifica drasticamente le proprietà in senso peggiorativo. La temperatura di 170 °C è la temperatura alla quale la durezza superficiale non viene sostanzialmente modificata. Inoltre, aumentando sia la rugosità che la bagnabilità rispetto al legno non trattato termicamente, la modificazione termica a 170 °C migliora l'adesione dei *coatings* e l'applicazione di protettivi a base acqua (Pelosi et al., 2021).

La fissibilità è discreta, tanto che nel passato le doghe per vasi vinari o botti erano ottenuti a spacco. Il ritiro volumetrico totale generalmente non supera il 12%. Inoltre, poiché il ritiro tangenziale totale non è particolarmente elevato, il tavolame non è soggetto ad elevate variazioni di forma. Infatti, il coefficiente di anisotropia del ritiro o di deformabilità lo colloca tra i legni stabili, poco soggetti a modificazioni di forma al variare delle condizioni termoigrometriche ambientali. Nel legno derivato da piante giovani questa caratteristica positiva è meno pronunciata (Berti et al., 1991; Zanuttini et al., 2001). Il legno fresco dei polloni giovani è flessibile, motivo per il quale si adatta anche alla curvatura. Nel passato era fiorente l'uso per canestri, anche in associazione con altre specie di colore diverso per ottenere gradevoli effetti decorativi. I fusti giovani venivano sezionati a spacco longitudinalmente per ottenere robusti cesti. Queste destinazioni sono ormai limitate ad aspetti folcloristici.

Le lavorazioni sono agevoli, tuttavia con la piallatura e la levigatura i risultati non sono eccellenti perché la finitura delle superfici è condizionata dalla costituzione anatomica del legno primaticcio che rende la tessitura grossolana.

La sfogliatura è eseguita occasionalmente, la tranciatura riesce bene con fogli spessi. L'incollaggio non richiede particolari accorgimenti. In effetti il pH del legno di castagno è analogo a quello delle querce; nel durame si aggira intorno a 3-3,2; quello dell'alburno intorno al 4,3-4,5. L'unione con chiodo e vite è praticata facilmente, ma di media durata. In particolare, il contatto con le ferramenta, in presenza di umidità può dar luogo a macchie scure, nerastre, dovute alla reazione degli estrattivi con il metallo. Nei manufatti strutturali antichi si possono

## ***Ambiente e castanicoltura nel Pratomagno (Toscana)***

Mercurio Roberto

### **3.1. L'ambiente**

Il Pratomagno rappresenta un rilievo del preappennino toscano che separa il Valdarno dal Casentino, segnato dal percorso del fiume Arno. Si sviluppa per circa 15 chilometri in direzione nord-sud verso la piana di Arezzo. Raggiunge una quota massima di 1592 m.

*Tab. 2 - Precipitazioni e temperature medie nelle stazioni meteorologiche limitrofe*

<b>Stazione</b>	<b>Altitudine m</b>	<b>Pm mm</b>	<b>T m °C</b>
Vallombrosa	955	1298	9,9
Consuma	950	1254	12,9
Montemignaio	730	1527	
Ortignano	448	1206	
Montevarchi	170	840	
S. Giovanni V.no	132	805	13,8

Il regime pluviometrico è di tipo submontano appenninico con valore massimo assoluto in autunno, relativo in primavera e minimo assoluto nel mese di luglio.

La neve è presente sul Pratomagno nei mesi di gennaio-febbraio, ma il periodo di innevamento è generalmente breve.

Valori e distribuzione delle precipitazioni sono soggetti negli ultimi anni a oscillazioni e decrementi. Anche per le temperature si assiste a una variabilità stagionale che si discosta dai decenni precedenti con un aumento dei valori. Da tempo è stato osservato che il numero medio annuo di giorni tropicali ( $T_{max} > 30\text{ °C}$ ) aumenta dalla costa verso l'interno della Toscana (Rapetti e Signorini, 2012).

La formazione geologica che domina il complesso è l'arenaria macigno, che costituisce l'ossatura della dorsale. I due versanti presentano differenze morfologiche ben evidenti: pendenze prevalentemente elevate, anche con scoscendimenti di roccia quello che guarda il Valdarno e dolcemente digradante quello che guarda verso il Casentino. Il versante valdarnese è caratterizzato da intensi fenomeni erosivi.

I suoli prevalenti sono (AA.VV., 1978):

osservare riduzioni della sezione del corpo dei bulloni che dovrebbero essere monitorati per il mantenimento dell'efficienza strutturale.

Anche i residui delle diverse lavorazioni possono essere utilmente reimpiegati, per esempio sotto forma di cippato da scarti di operazioni selvicolturali o delle lavorazioni del legno, che può essere destinato alla combustione tal quale o carbonizzato per ottenere biochar.

Numerose indagini hanno messo in luce quanto il legno di castagno sia stato apprezzato nel passato per ogni genere di manufatto, travature, soffitti decorati, portoni ed infissi, arredi civili, ecclesiastici e domestici, oggettistica d'uso comune per la casa e per il lavoro (A.A.V.V., 1995; Salvo et al., 2005). Seppure ricco di estrattivi che potrebbero inficiare la realizzazione a regola d'arte, il castagno è stato utilizzato anche quale supporto di dipinti su tavola ed *ex voto* (Lo Monaco et al., 2005; Agresti et al., 2010). Numerose tecniche moderne di lavorazione industriale hanno indicato che il legno di castagno è in grado di rispondere brillantemente alle aspettative delle zone di produzione.

In questo progetto è stato messo in evidenza che i residui legnosi della coltivazione del castagneto da frutto possono trovare un'utile destinazione nella carbonizzazione ottenendo carbonella e *biochar* di qualità. Questo è possibile anche per i residui delle operazioni selvicolturali, specialmente se il sistema di utilizzazione è scelto anche in relazione a questa ulteriore prospettiva. Nella gestione del bosco di castagno è tuttavia necessario avere chiare le destinazioni a cui il legname, quale prodotto principale, è indirizzato. Ciò al fine di adeguare le scelte selvicolturali alla contemporaneità, che richiede una materia prima di qualità adeguata agli standard industriali.

-suoli bruni acidi tra 600 e 1600 m, a profilo AC o ABC;

- suoli bruni podzolici al di sotto dei 1200 m, a profilo ABC, sono acidi a tessitura sabbiosa quindi ben drenati più o meno ricchi di scheletro e rocce affioranti. Sono tipici del castagneto da frutto, in quanto collegati al pascolo e al decespugliamento;

-ranker a quote inferiori a 1000 m tipici delle zone in erosione, suoli a scarsa profondità e debole evoluzione, a profilo AC (ma spesso l'orizzonte A può mancare del tutto).

La vegetazione comprende a partire dalle sommità le seguenti macrocategorie:

- Praterie secondarie e arbusteti acidofili
- Boschi di faggio
- Boschi di castagno
- Boschi di querce caducifoglie (cerro, roverella, rovere)
- Boschi di neoformazione in ex coltivi e pascoli
- Boschi d'impianto e di invasione di latifoglie (robinia, ontano napoletano, pioppi)
- Rimboschimenti di conifere (pino nero, abete bianco, douglasia, pini mediterranei, cedri)
- Alneti ripari di ontano nero
- Ostrieti
- Piantagioni di arboricoltura da legno con latifoglie di pregio.
- Coltivi

### 3.2. Tipologia dei boschi di castagno

I boschi di castagno sono tipiche cenosi di sostituzione della vegetazione originaria, quindi sono di derivazione antropica.

Le tipologie forestali della Toscana (Mondino e Bernetti, 1998) individuano per la categoria CASTAGNETI i seguenti tipi:

- Castagneto mesofilo su arenaria
- Castagneto mesotrofico su rocce vulcaniche del Monte Amiata
- Castagneto acidofilo
- Castagneto neutrofilo su rocce calcaree e scisti marnosi.

Nel Pratomagno prevalgono:

- Castagneti mesofili su arenaria
- Castagneti acidofili

Tab. 3 - Inquadramento comparativo dei boschi di castagno con i sistemi internazionali:

European Forest Types 2014		Eunis Habitat Classification 2021		CORINE Biotopes 1991		Habitat Natura 2000 (Dir.92/43 EEC) EUR 28	
Codice	Nome tipo	Codice	Nome	Codice	Nome Unità	Codice	Nome Habitat
6.8.7	Chestnut forest	G1.7D6	Italo-Sicilian <i>Castanea sativa</i> forests	41.96	Chestnut woods	9260	<i>Castanea sativa</i> woods

Nel versante casentino del Pratomagno, il castagno è stato impiantato da 480 a 1200 m, in quello valdarnese da 600 a 1250 m. Ora, ai limiti inferiori, si stanno verificando diffusi disseccamenti presumibilmente da mettere in relazione con gli stress idrici degli ultimi anni che aggravano lo stato fisiologico e fitosanitario, per cui il limite di vegetazione ottimale della specie tende a spostarsi al di sopra dei 700 m.

I castagneti occupano situazioni stazionali molto diverse, in tutte le esposizioni, sia su giaciture pianeggianti che ripide.

Lo stato arboreo è formato da *Castanea sativa* allo stato puro, alle quote più elevate è frequente *Fagus sylvatica*, sporadicamente si ritrovano *Prunus avium*, *Ostrya carpinifolia*, *Acer pseudoplatanus*, e in basso varie querce caducifoglie (*Q. cerris*, *Q. pubescens*, *Q. petraea*).

Nello stato arbustivo sono ben rappresentate *Cytisus scoparius*, *Pteridium aquilinum*, *Rubus hirtus*, *Erica scoparia*, *Rosa canina*, *Crataegus monogyna*, *Juniperus communis*, *Calluna vulgaris* nonché lianose (*Clematis vitalba*).

Lo stato erbaceo è caratterizzato dalla presenza di *Teucrium scorodonia*, *Avenella flexuosa*, *Luzula nivea* e altre specie acidofile quali *Poa nemoralis*, *Hieracium murorum*, *Veronica officinalis*, *Festuca heterophylla*.

Le attuali tipologie fisionomico-strutturali del Pratomagno comprendono:

**-CASTAGNETI DA FRUTTO TRADIZIONALI**

**-BOSCHI DI CASTAGNO DA LEGNO**

**-BOSCHI DI CASTAGNO ABBANDONATI**



*Fig. 9 - Croce di Pratomagno nello sfondo, con faggio e praterie.*

### 3.3 Castagneti da frutto

La castanicoltura da frutto ha caratterizzato per secoli l'attività agricola e forestale del Pratomagno (Pontecorvo, 1932; AA.VV., 1978; Nanni, 2011). La viabilità (mulattiere e sentieri) capillare permetteva quasi ovunque l'accesso per le cure colturali, la raccolta e il trasporto delle castagne. Frequenti erano i piccoli manufatti isolati come i seccatoi o i ricoveri per gli animali che pascolavano il castagneto nel periodo estivo.

Il castagneto da frutto era inteso come una forma di agro-selvicoltura: oltre alla coltivazione della componente arborea si integrava la produzione con:

- semina a tempo di cereali sotto il castagneto, preceduta dai “fornelli” (abbruciamento dei residui della vegetazione e foglie);
- pascolo ovino e suino che sfruttava rispettivamente le erbe e le castagne di scarto;
- funghi (spesso il prodotto principale);
- legna da ardere dalle operazioni colturali (potature, spollonature ecc.) e carbone;
- miele sia selvatico che da allevamento delle api.

#### 3.3.1 Le cultivar tradizionali

Le principali cultivar descritte dal Vigiani (1900) per il Casentino, erano il ‘Marrone’, la ‘Pistolese’, la ‘Raggiolana’, la ‘Selvatica’, oltre ad altre cultivar meno diffuse (‘Perella’, ‘Giuggiolana’, ‘Fragonese’, ‘Tigolese’, ‘Mondistolli’). L’uso del ‘Marrone’ era destinato prevalentemente al consumo fresco, mentre ‘Raggiolane’, ‘Pistolessi’ e ‘Selvatiche’ erano utilizzate per la produzione di farina. Diverse le epoche di maturazione (precoce: ‘Pistolese’, tardiva: ‘Raggiolana’ e ‘Selvatica’), la capacità produttiva (maggiore per la ‘Raggiolana’ e ‘Pistolese’), la capacità di resistenza alle avversità e la qualità soprattutto della ‘Raggiolana’, i cui frutti erano giudicati «eccellenti per far farina», «molta ... e serbevole».



*Fig. 10 - Cultivar 'Raggiolana'*

Nel versante casentino del Pratomagno la composizione del castagneto variava in funzione della quota. Poteva raggiungere il 100% di 'Tigolese' in alta quota o il 100% di 'Raggiolana' a bassa quota. Diversamente si otteneva una mescolanza di cultivar in quanto, con la diversità del momento della fioritura, si poteva sempre assicurare una produzione anche in conseguenza di eventi atmosferici dannosi (grandine, abbassamenti di temperatura ecc.). In genere si usavano 3 o più cultivar per ottenere una buona farina.

I castagneti da frutto che presentano ancora la fisionomia originaria e, sono coltivati, ancorché sommariamente, sono ridotti a qualche decina di ettari.



*Fig. 11 - Castagneto da frutto in località Le Prata, Raggiolo, AR.*

### **3.3.2 La tecnica colturale tradizionale**

#### *La densità dei castagneti da frutto*

La distanza tra una pianta e l'altra era variabile: 5, 8, 10, 12 m, la densità era in media di (90) 100 (150) piante ad ettaro.

#### *La potatura*

Si articolava secondo tre tipologie:

La "potatura di rimonda" cioè la ripulitura delle branche secche o in via di deperimento.

La "potatura di produzione" con la quale si tendeva a regolarizzare e "svuotare" la chioma dei rami aduggiati. Veniva ripetuta ogni 4 anni (almeno fino agli anni '60).

La "scapezzatura" consisteva nel taglio della parte apicale della chioma. E' stata praticata dal periodo Mediceo fino al 1872. Consentiva tra l'altro di rimuovere i rami secchi dovuti al mal dell'inchiostro.



Fig. 12 - Piante "scapizzate".

Per le operazioni di potatura, tanto importanti per una buona coltivazione quanto pericolose (per la necessità di arrampicarsi sugli alberi), erano impiegati lavoratori stagionali, soprattutto montanari pistoiesi che emigravano in Casentino (Viciani, 1900).

In tempi più recenti le potature non sono state più eseguite con regolarità e semplificate: in pratica riguardavano la rimozione dei rami secchi e dei succhioni e dei rami vivi in ombra.

#### La ripulitura

Si tratta del taglio degli arbusti e dei polloni cresciuti alla base dei castagni, prima della raccolta, che veniva eseguito manualmente. Di solito venivano poi bruciati i residui (fornelli), per arricchire di sostanze minerali il castagneto dove si effettuavano le coltivazioni agrarie estive. Inoltre, nel castagneto pascolato con ovini, l'abbruciamento serviva per eliminare le foglie e i ricci e per favorire la crescita dell'erba.

Con il passare del tempo, e con il venire meno di altre esigenze di coltivazione, il materiale di risulta delle ripuliture (vegetazione arbustiva e di soggetti di invasione), è stato sempre meno bruciato ma accumulato e lasciato a macerare, essendo cresciuta la consapevolezza che l'abbruciamento dei residui avesse penalizzato la produzione di funghi e la fertilità del suolo.

#### La slupatura

Consiste nell'asportazione (attraverso aperture praticate alla base dei fusti) del legno cariato (lupa, busone, terriccio di castagno) che via via si forma all'interno dei fusti con l'invecchiamento, per essere venduto alle aziende vivaistiche. In passato, dopo la raccolta, l'interno del fusto veniva bruciato a scopo fitosanitario.

#### La concimazione

Gli apporti organici erano quelli delle deiezioni degli animali. Con la sospensione del pascolo e con la bruciatura dei residui si è causato, di conseguenza, un impoverimento di sostanza organica.

#### Gli innesti

Innesto a canello o bocciolo o zufolo. Si eseguiva su portainnesti di 1 o 2 anni "in succhio". Consentiva di evitare la conservazione delle marze: infatti la raccolta delle marze e l'innesto venivano effettuate contemporaneamente. Era preferito rispetto ad altri perché consentiva di disporre un maggiore periodo di tempo per poter innestare: da metà aprile a giugno. L'innesto veniva eseguito anche in alto per sfuggire al morso del bestiame.

Innesto a doppio spacco inglese. Era altrettanto diffuso e dava alte percentuali di attecchimento. La raccolta della marza avveniva a febbraio e l'innesto si eseguiva nel periodo compreso tra l'ultima decina di aprile e i primi 5 giorni di maggio. Di norma il portainnesto era di 2 anni. Seguiva la legatura dell'innesto anche con legacci vegetali in mancanza di rafia.

Innesto a corona. Si eseguiva su portainnesti con diametri più importanti > 5 cm e di più anni. Nelle zone pascolate si innestava a 2,40 m da terra (rispetto a 0,80-1,00 m) con più marze (2-4 a seconda del diametro). Era necessario un tutore del germoglio che si sviluppava, per evitare la scosciatura dell'innesto. Comunque venivano evitate le zone ventose.

Per proteggere l'innesto dal cancro in passato si usava la polvere di carbone, poi vernici, mastici artigianali.

Tab. 4 - Manodopera relativa alla reale coltivazione di un ettaro di castagneto (Pennacchini e Vanni, 1979)

Intervento	n. giornate lavorative	
	Castagneto da frutto	Castagneto da farina, gestione estensiva
Potatura	2,5	1,5
Sistemazione residui	1,0	0,6
Ripulitura	5,0	2,0
Raccolta	11,8*	13,3**
Essiccazione Sgusciatura Cernita		1,6

\*è stato considerato che una persona raccoglie 110 kg/giorno (produzione media 1300 kg) e

\*\*50-70 kg/giorno (produzione media per 800 kg)

### 3.4 Boschi di castagno da legno

Per quanto riguarda i cedui, Pontecorvo (1932) documenta all'inizio del '900 le forme di trattamento più frequenti nel Pratomagno:

#### Ceduo semplice

-a basso turno 7-12 anni e sterzatura a 5-6 anni.

-ad alto turno 30-50 anni con sterzatura a 5-6, 10-12, 20-24 anni.

#### Ceduo composto

- a basso turno 7-12 anni con sterzatura a 5-6 anni rilasciando 70-150 matricine per ettaro con età scalare multipla di quella del ceduo (36-50 anni).



*Fig. 13 - Ceduo matricinato di castagno, ad 1 anno dal taglio.*

Alcuni fattori hanno causato la modifica della gestione dei castagneti da frutto nella metà del '900. Con l'esodo dei montanari verso i nascenti poli industriali toscani, i migranti avevano bisogno di risorse finanziarie per affrontare la nuova vita, che potevano ricavare dal taglio dei castagneti per l'industria del tannino, oppure dalla vendita dei terreni allo Stato per la costituenda "Foresta Pratomagno" dell'ASFD. Con il cambiamento della proprietà, da privata

a pubblica, si sarebbero aperte nuove problematiche riguardanti la gestione dei cedui di castagno e dei soprassuoli transitori.



*Fig. 14 - Polloni originati dal taglio di un vecchio castagno.*

Dal taglio dei vecchi castagneti si originarono cedui. Con il subentro della Amministrazione Forestale statale cominciarono, intorno agli anni 1973-75, le "conversioni a fustaia" rilasciando, con il taglio, un solo pollone per ceppaia, il numero medio oscillava da 600 a 800 polloni per ettaro. Solo gli appezzamenti radi e compromessi furono rinfoltiti con douglasia, abete bianco e pino nero portando con il tempo alla scomparsa del castagno.

Il Piano Forestale dell'Unione de Comuni del Casentino (D.R.E.AM. Italia, 2014) prevede, per i soprassuoli transitori di castagno che hanno superato l'età di 50 anni, tagli intercalari selettivi per giungere alla costituzione di "fustaie definitive" di fine ciclo con una densità di circa 250 piante ad ettaro. I cosiddetti "tagli di maturità" vengono previsti a 60-65 anni e consistono in "prelievi a scelta da abbinare a interventi intercalari" con cadenza di 8-10 anni asportando di volta in volta i soggetti che hanno raggiunto le dimensioni di interesse commerciale (> 45-50 cm di diametro) e in un "diradamento culturale tenendo conto delle condizioni vegetative e fitosanitarie offerte dai vari individui". Il Piano Forestale prevede anche un "taglio raso fitosanitario con riserve" che consiste nel "taglio di tutte le piante con il rilascio di circa 25-40 soggetti ad ettaro da selezionare tra gli esemplari di altre specie diverse dal castagno di miglior sviluppo, in buone condizioni vegetative e fitosanitarie, e con chiome ben conformate e proporzionate".

Il Piano Forestale dell'Unione dei Comuni del Pratomagno-Valdarno (D.R.E.AM. Italia, 2007) prescrive invece che "nel caso dei cedui di castagno e delle fustaie transitorie gli interventi

devono essere differenziati nel tempo e nello spazio per creare un mosaico di stadi evolutivi del soprassuolo e di aree ecotonali. Nei cedui più scadenti (per fertilità, condizioni stazionali, ecc.) il piano deve valutare l'opportunità di escludere la ceduzione, lasciando che il soprassuolo si evolva naturalmente verso la fustaia. L'estensione massima delle tagliate nei cedui non deve superare i 10 ettari. Ciascuna tagliata deve presentare il lato maggiore disposto lungo le curve di livello. Le matricine rilasciate vanno scelte tra soggetti vigorosi con cancri ipovirulenti. Nei cedui in cui è alta l'incidenza del mal dell'inchiostro i fenomeni di ricolonizzazione da parte di altre specie vanno assecondate. I diradamenti nelle fustaie transitorie dovranno favorire, dove possibile, il passaggio a strutture complesse di tipo disetaneiforme. In tutte le formazioni vanno rilasciati almeno 2 individui vetusti ad ettaro, in assenza di questi ultimi vanno comunque destinate ad invecchiamento indefinito almeno 2 piante ad ettaro. Va inoltre valutata la possibilità di lasciare in bosco legno morto (valutando le condizioni fitosanitarie dei singoli soprassuoli)".

In pratica per i cedui di castagno il taglio consiste nel prelievo pari a circa l'85% in volume, destinando il resto a rilascio come quota delle matricine. Il turno di riferimento veniva stabilito in 25 anni. Per i soprassuoli transitori un taglio a raso con riserve: il numero di riserve da rilasciare era di 25-30 ad ettaro e il turno di 60 anni,

La ceduzione è stata la forma prevalente di governo che si è affermata in seguito all'abbattimento dei vecchi castagni nella proprietà privata, mentre in quella pubblica sono state scelte altre soluzioni non sempre convincenti e pertanto oggetto di riconsiderazione.

#### BOX 1. Normativa della Regione Toscana per i cedui e le fustaie di castagno

Il Regolamento Forestale della Regione Toscana (2015) art 21,22, 25 prevede un turno minimo di 8 anni e il rilascio di almeno 30 matricine ad ettaro. Nei cedui che superano i 50 anni è obbligatorio l'avviamento all'alto fusto. E' tuttavia ammesso, previa autorizzazione, il taglio di ceduzione quando le caratteristiche del soprassuolo o della stazione non sono ritenute idonee al taglio di avviamento ad alto fusto. Per le fustaie di castagno sono previsti diradamenti pari a un massimo del 30% delle piante vive (art 30) e il turno minimo è di 50 anni (art 31).

In tempi recenti, il turno minimo applicato nelle proprietà private è di oltre 20 anni per poter ottenere a seconda delle richieste del mercato:

- pali di testa per vigneto (diametro 10-12 cm in testa, lunghezza 2,50-3 m);
- pali intermedi da vigneto (diametro in testa 8-10 cm, lunghezza 2,50-2,80 m);
- pali da recinzioni (diametro 10-12 (15) cm in testa, lunghezza 2,70-3,00 m);
- travi di varia dimensione.

Gli assortimenti più richiesti hanno:

- altezza 1,50 m, diametro 8-10 cm;
- altezza 2,00 m, diametro 8-10 cm;

- altezza 2,50 m, diametro 12-14 cm;
- altezza 3,00 m, diametro 15 cm.

Gli altri prodotti che si possono ricavare sono:

-materiale per tannino (scarti della lavorazione dei pali, materiale proveniente dal taglio dei vecchi castagni decrepiti).

-legna da ardere (da materiale di scarto della lavorazione dei pali ecc.).

In alcuni casi le piante già innestate presenti nei cedui vengono rilasciate per cui si raccolgono le castagne anche se il prodotto è marginale rispetto al legno.

### 3.5 Boschi di castagno abbandonati

I castagneti da frutto sono mantenuti dall'azione dell'uomo, essendo tipiche cenosi di sostituzione. In conseguenza dell'abbandono e della bassa densità (essendo strutture aperte), si insediano e si diffondono molte specie arboree e arbustive (Paci et al., 2000; Maltoni e Paci, 2001; Bianchi et al., 2009; Mercurio et al., 2015), alterando composizione, struttura e funzionalità dei popolamenti. Gli effetti evolutivi sono riscontrabili un po' ovunque nell'areale del castagno, in special modo ai limiti ecologici della specie.

L'abbandono dei castagneti in Casentino comincia negli anni '40 (AA.VV. 1978; Becagli 2004). Negli anni '50-'60 la gran parte dei castagneti da frutto sono stati tagliati e sostituiti da cedui. Quelli che non sono stati tagliati, negli ultimi decenni sono stati abbandonati, con l'avvio di processi dinamici che hanno cambiato la fisionomia e la funzionalità di questi popolamenti. Come fa notare Viciani (2001) in condizioni ottimali, su terreni silicei, le tendenze dinamiche in Toscana (Appennino settentrionale) dei castagneti da frutto abbandonati sarebbero verso boschi misti mesofili dove il castagno potrebbe mantenere un ruolo importante.

Nei castagneti submontani, nelle situazioni al limite dell'*optimum* ecologico, di bassa quota o nelle esposizioni più calde, l'abbandono innesca un processo evolutivo verso il bosco misto di latifoglie con castagno sempre più minoritario a cui si aggiungono progressivamente le componenti del quercu-ostrieto, indici di una certa xericità stazionale dovuta al suolo e all'esposizione.

Colonizzano i castagneti al variare di topo-orografici, fattori edafici locali querce (roverella, cerro, rovere), tigli (nostrale), aceri (opalo, montano), pioppi (tremulo, gatterino), salicone, ciliegio selvatico, sorbi (domestico, ciavardello), carpini (nero, bianco), orniello, perastro, melastro, faggio.

Pioppi e salici dopo 40-50 anni collassano (ribaltamento-sradicamento) causando con il crollo la distruzione di antichi manufatti (seccatoi, ricoveri).

La presenza di una specie invasiva, come la robinia, rappresenta (come è avvenuto in Garfagnana o nei Monti Pisani) una nuova entità per la sostituzione dei castagneti negli ambienti mesofili.

Mentre negli ambienti più aridi, la nuova specie di sostituzione potrebbe essere il pino marittimo che poi diventa dominante in conseguenza dei incendi (come è avvenuto nei Monti Pisani).

La douglasia tende a colonizzare il castagneto pur non essendo invasiva, così come l'abete bianco.

Gli arbusti dominano la fase di "apertura" del castagneto per disseccamento delle piante o scopertura del soprassuolo: ginestra dei carbonai, erica scoparia, calluna, ginepro comune, rose, rovi.

Nei vecchi castagni si creano habitat ideali per i micro mammiferi (topi, rapaci notturni ecc) che richiamano i loro predatori.

Da rilevare che a seguito dell'abbandono, anche dei cedui, si è prodotto un accumulo di necromassa in piedi e a terra molto importante, localmente di 20-30 m<sup>3</sup> ad ettaro, che penalizza il transito, favorisce la diffusione di malattie al resto dei popolamenti e si possono sviluppare incendi di alta magnitudo.

Da un punto di vista strutturale, Maltoni e Paci (2001) avevano descritto per i castagneti da frutto, 7 tipologie, indicando già allora un complesso quadro operativo. Oggi, con il trascorrere del tempo e con l'evolversi dei processi dinamici, la situazione è ancora più articolata. Per cui ogni intervento di recupero sarà da considerare un caso a sé stante, difficilmente schematizzabile. Rimane inteso che l'opera di recupero è circoscritta ai castagneti nell'*optimum* ecologico (castagneti a struttura biplana, su suoli acidi, di media e alta quota, in esposizioni fresche) e ben serviti da strade. Sono esclusi i castagneti da frutto ai margini ecologici o fortemente degradati nei quali si dovranno prevedere altre destinazioni e non più la coltura castanicola.

### 3.6. La gestione multifunzionale dei castagneti da frutto

La castanicoltura potrà essere ancora uno dei perni su cui far ruotare il rilancio economico e sociale del Pratomagno. Nell'era della globalizzazione si impone una strategia che accentui l'attenzione sulle tipicità del territorio e sulle sue valenze. Nel quadro di una castanicoltura multifunzionale (Bellini e Vezzalini, 2011) si intravedono più obiettivi, pur avendo come denominatore comune quello della produzione del frutto.

*Obiettivo: produzione castanicola*

Castagne da farina e castagne per il consumo fresco. La castagna è un bene fortemente legato al proprio territorio di produzione. L'immagine di un prodotto coltivato in un luogo integro e non inquinato rappresenta l'antidoto alla concorrenza dei prodotti esteri che, pur essendo qualitativamente inferiori, sono più economici, in grado di penalizzare le produzioni locali.

*Obiettivo: produzione di funghi*

I funghi di interesse commerciale (porcini, ovuli) rappresentano spesso la maggiore risorsa del bosco. La materia necessita in sede locale di essere disciplinata: dalla raccolta, all'adozione di misure per garantirne e incrementarne la produzione, e in prospettiva, per la creazione di un marchio di origine e per la trasformazione.

*Obiettivo: paesaggio, turismo, educazione, cultura*

La presenza di castagni monumentali e di castagneti tradizionali caratterizza fortemente il paesaggio, attribuendogli valori estetici ed identitari significativi. La conservazione-ripristino del paesaggio del castagno può rappresentare una importante risorsa per il turismo e per la promozione dei prodotti.

I castagneti da frutto possono diventare attrattori turistici, ossia ambienti ideali per la stessa raccolta delle castagne, per attività ricreative, luoghi di sosta, escursioni, giochi all'aperto, per attività culturali. E non ultimo, importanti tasselli del mosaico paesaggistico come barriere frangi-incendio.

Il castagneto, rappresenta una vera e propria aula didattica all'aperto e lo strumento reale e più efficace per trasmettere i valori della "civiltà del castagno". Conservare la memoria storica delle tradizioni del territorio, dei saperi legati alla coltura del castagno.



Fig. 15 - Castagno del "Poro Moro".

#### BOX 2. Il castagneto da frutto nella normativa della Regione Toscana

“Legge Forestale (LF) della Toscana” L.R. 39/2000; “Regolamento Forestale (RF) della Toscana” D.P.G.R. 48/R/2003

Castagneti da frutto (Art. 54 LF, ART. 52 RF)

E' definito castagneto da frutto un'area di estensione non inferiore a 2000 m<sup>2</sup>, larghezza minima 20 m e con almeno 40 piante di castagno da frutto ad ettaro. I castagneti da frutto non devono avere più di 500 polloni o fusti ad ettaro o essere già stati oggetto di taglio boschivo per la produzione legnosa.

E' liberamente esercitabile: la capitozzatura delle piante vecchie ed adulte per rinvigorirne la chioma e delle piante giovani per prepararle all'innesto; l'esecuzione d'innesti; la potatura di produzione o di ringiovanimento; il taglio dei polloni di castagno e delle piante di castagno non da frutto; la formazione o il ripristino di ripiani sostenuti da muri a secco o da ciglioni inerbiti; il taglio della vegetazione arbustiva invadente; o la ripulitura della superficie da foglie, ricci, rami od altro per facilitare la raccolta delle castagne.

E' soggetto a dichiarazione: o la sostituzione delle piante di castagno da frutto morte o non più produttive; il taglio delle piante arboree di altre specie sparse o presenti in piccoli gruppi (senza alterazione dell'assetto idrogeologico e, se necessario, sostituzione con la messa a dimora di piante di castagno); l'estirpazione delle ceppaie delle piante da sostituire (buche subito colmate e sollecita messa a dimora delle piante di castagno in sostituzione).

E' soggetto ad autorizzazione: la formazione di nuovi castagneti da frutto da altre formazioni legnose; la riconversione alla produzione legnosa dei castagneti da frutto; il taglio dei castagni da frutto non finalizzato alla sostituzione delle piante morte o non più produttive; tutte le altre attività per le quali non sono espressamente previste procedure autorizzative semplificate.

Castagneti da frutto (Art. 66 RF)

L'abbruciamento dei materiali provenienti da potatura o ripulitura è liberamente esercitabile purché: nei periodi definiti a rischio sia effettuato tra l'alba e le ore 9 del mattino; sia effettuato in spazi vuoti preventivamente ripuliti da vegetazione infiammabile; materiale concentrato in piccoli cumuli; vi sia sorveglianza continua con mezzi e personale adeguato (il luogo può essere abbandonato solo dopo essersi accertati del completo spegnimento di tizzoni e braci); non sia effettuato in presenza di vento intenso.

### 3.7 Il recupero e la valorizzazione dei castagneti tradizionali

Il castagneto è una delle fitocenosi prese in considerazione dalle Direttive europee in materia di conservazione della natura (Habitat, Natura 2000). Tuttavia merita ricordare che nel caso dell'Italia rappresenta una forzatura, infatti i boschi di castagno sono una delle formazioni vegetali più diffuse: 788000 ettari, pari al 7,5% della superficie forestale e al 2,6% di quella territoriale (157000 ettari in Toscana), mentre, a livello europeo, hanno una maggiore importanza data la minore estensione territoriale.

Quindi in Italia è più appropriato parlare di *Recupero* del castagneto da frutto, piuttosto che di *Conservazione* perché si tratta di recuperare, laddove possibile, queste formazioni per la valenza economico-sociale e paesaggistica (Mercurio et al., 2015).

In più occasioni sono state proposte strategie e tecniche di recupero per i castagneti da frutto (Beccaro et al., 2009; Tani et al., 2009; Sabbatini et al., 2014).

Gli interventi di recupero riguardano i castagneti abbandonati da anni che mantengono la loro fisionomia originaria o solo parzialmente ceduti ma rientranti nel loro *optimum* ecologico.

In un arco temporale di almeno 10-20 anni si susseguono interventi scalati in base alla priorità:

**1. Ripuliture.** Cioè l'eliminazione degli arbusti e delle piante arboree che hanno invaso il castagneto e il taglio dei ricacci alla base dei castagni. Particolare attenzione merita la gestione dei residui delle potature e delle ripuliture del sottobosco: bisogna evitare gli abbruciamenti (Maltoni et al., 2011) dannosi per la fertilità del suolo e nella lotta biologica al cinipide, mentre occorre favorire il compostaggio dei residui e curare la distribuzione del compost nel castagneto. L'erba e l'altro materiale vegetale va ordinatamente accumulato in conche o depressioni per permettere la formazione di un compost che assieme alle foglie decomposte verrà distribuito sul terreno nella primavera successiva.

**2. Taglio.** Riguarda gli interventi a livello di ceppaia dei castagni del vecchio ciclo, secchi, a rischio di crollo e pericolosi, quelli deperienti e irrecuperabili con le potature. Inoltre riguarda anche l'abbattimento di altre piante arboree o di piante di castagno soprannumerarie. Può essere rilasciato qualche castagno selvatico come impollinatore e le piante di particolare pregio estetico e ecologico (ciliegi, sorbi).

**3. Rilascio** parziale dei castagni secchi del vecchio ciclo per la conservazione della biodiversità vegetale e animale.

**4. Potature** dei castagni ancora vitali e comunque recuperabili.

I criteri generali (Maresi e Pinzauti 1998; Bini e Proietti 2001; Tani et al., 2009; Maltoni 2014; Maltoni et al., 2018; Mariotti et al., 2019) devono tener conto che:

- sono più produttivi i rami dell'anno di adeguato vigore e ben illuminati;
- si opera spesso su soggetti senescenti;
- si è di fronte a piante attaccate da funghi e insetti.

Gli obiettivi della potatura sono:

- illuminazione della chioma anche nelle parti interne (Ferrini e Pisani, 1993; Maresi e Pinzauti, 1998);
- ringiovanimento delle parti senescenti per mantenere un buono stato vegetativo (Maresi e Pinzauti, 1998);
- eliminazione delle parti necrosate, danneggiate da agenti biotici e abiotici (Maresi e Pinzauti, 1998);
- riequilibrio della chioma.

Inoltre bisogna tener conto, come operazione preliminare, delle condizioni della pianta: tipo di cultivar, dello stato vegetativo e fitosanitario, dell'età, delle dimensioni, della tipologia architettonica della chioma. Nel caso del recupero dei castagneti del Pratomagno si distinguono:

- piante di grandi dimensioni già "scapezzate" a 4-5 m da terra che hanno una chioma a candelabro;
- soggetti relativamente giovani con chioma ben conformata, ma su cui non si è intervenuti da decenni.

La potatura procede dall'alto al basso, evitando, con il taglio, di non danneggiare il colletto del ramo, in modo da favorire una più veloce cicatrizzazione. E' dato acquisito che si devono usare strumenti adatti, affilati e disinfettati.

Nel Pratomagno sono frequenti situazioni difficili dal punto di vista morfologico, per cui è da preferire la potatura in *tree-climbing* rispetto a quella su piattaforme aeree. Sono da evitare le salite sulle piante con ramponi o con scale e va garantito il rispetto delle norme di sicurezza degli operatori.

I tipi di taglio riguardano: la spuntatura (taglio di poche gemme sul rametto di 1 anno), la speronatura (un intervento più deciso sul rametto di 1 anno), il taglio di diradamento (interessa un ramo intero recidendo sul punto di inserzione sul fusto o di una branca principale), il taglio di ritorno (consente di raccorciare un ramo principale con un taglio immediatamente al di sopra di un ramo secondario).

La potatura tradizionale si effettua in inverno (potatura invernale o secca) durante il riposo vegetativo (dicembre a marzo ad esclusione dei giorni di gelo). E' stata proposta anche quella nel periodo estivo (inizio estate), evitando primavera e autunno (potatura verde) (Maltoni et al., 2012, 2018; Maltoni, 2014; Mariotti et al., 2019). Le potature verdi sono utili per contenere il cinipide nelle piante giovani (non nelle piante di grandi dimensioni dei castagneti tradizionali) ma sono sconsigliate nei comprensori dove è stato lanciato il *Torymus sinensis*, antagonista del cinipide.

Va tenuto presente che le potature possono essere eseguite solo su piante che abbiano già mostrato segni di ripresa vegetativa (dopo gli attacchi del cinipide), mentre aggraverebbero l'indebolimento di piante deperenti.

Per quanto riguarda l'intervallo di ripetizione delle potature, Rinaldelli et al. (1993) ritengono, sulla base di esperienze su piante di 'Marrone' di 12-15 anni in Casentino che, la durata poliennale che si effettua nei castagneti tradizionali comporta inconvenienti nella variabilità

quali-quantitativa della produzione oltre che problemi fitosanitari per il taglio di grosse branche e propongono una potatura annuale o biennale basata "sulla eliminazione delle branchette fruttifere in via di esaurimento produttivo e capace di stimolare lo sviluppo di nuovi germogli sufficientemente vigorosi e produttivi". Anche Maltoni et al. (2018) ritengono che le potature nei castagneti in esercizio si debbano ripetere ogni 2-3 anni.

Si distinguono diverse tipologie di potatura:

- di rimonda (abbassamento della chioma): eliminando le parti secche e ammalate;
- di alleggerimento: localizzate nella parte terminale dei rami orizzontali;
- di selezione: diradamento della chioma soprattutto dei rami secondari nelle parti interne, dei rami epicormici e dei ricacci;
- di contenimento: cioè ridurre le dimensioni della chioma non oltre il 20%;
- capitozzatura: si asporta quasi completamente la chioma di piante adulte, allo scopo di ringiovanirla, dal momento che il castagno è molto reattivo a questa operazione.

La ricostituzione della chioma che segue gli interventi di capitozzatura (nei 2-3 anni successivi) consiste in un diradamento dei ricacci, cioè nel rilasciare i soggetti ben inseriti e con una equilibrata distribuzione spaziale.

Per le potature bisogna tener conto degli aspetti fitopatologici e in particolare della diffusione dell'antagonista del cinipide galligeno e del cancro corticale del castagno.

Per il cancro bisogna rilasciare i rami con attacchi ipovirulenti (quelli in cui la pianta può superare senza danni). In ogni caso sono interventi su sezioni di piccolo diametro in modo da favorire la cicatrizzazione. Il taglio va fatto 20 cm al di sotto della parte attaccata dal cancro virulento. L'uso di ricoprire con mastici anticancro le ferite è più teorica che di pratica fattibilità per l'aggravio dei costi e la scarsa efficacia in caso di cattiva applicazione.

Per quanto riguarda il cinipide galligeno l'obiettivo è di conservare la presenza dell'antagonista introdotto e di mantenere l'equilibrio nel rapporto preda-predatore. Ridurre quanto possibile le interazioni negative con il ciclo vitale degli antagonisti introdotti e indigeni e di conservare in buono stato vegetativo le piante. Le potature non possono essere considerate come un mezzo per eradicare il cinipide (Maltoni et al., 2011). E' però possibile intervenire efficacemente con le potature, di media intensità, con tagli di ritorno che mirino ad aumentare il vigore e il grado di illuminazione delle branche rilasciate e, quindi, consentire alle piante di vegetare (e presumibilmente produrre) in maniera soddisfacente anche in presenza del cinipide (Mariotti et al., 2019). Per quanto riguarda l'antagonista vanno lasciati al suolo i rametti più giovani (dell'anno o dell'anno precedente) dal momento che l'antagonista permane nelle galle secche. La potatura secca ovviamente non interferisce con la conservazione dell'antagonista.

Nei castagneti abbandonati le procedure di potatura e le operazioni connesse prevedono:

- taglio dei ricacci alla base della pianta e di tutti i rami inseriti sotto il punto d'innesto;
- asporto di tutte le parti secche e deperenti della chioma (potatura di rimonda);
- riduzione dell'altezza e dell'espansione laterale della chioma per stimolare l'emissione di nuovi getti dalle parti più basse (potatura di ringiovanimento);

- capitozzatura su grosse branche per favorire il ringiovanimento delle parti ancora vitali, che sono in grado di riprendersi molto bene (Bassi et al., 1986).

Per la gestione dei residui bisogna considerare, da una parte, che vanno evitati gli abbruciamenti (Maltoni et al., 2011; 2018); e dall'altra, che sulle lesioni cancerose presenti sul materiale accatastato l'agente del cancro *Cryphonectria parasitica* continua a sporulare per molto tempo ancora (Santagata et al., 1996). Le galle secche, come già detto, potrebbero contenere le larve degli antagonisti, per cui dovrebbero essere lasciate in loco per almeno due anni e, comunque eliminato solo dopo il periodo di volo di *T. sinensis*, che in genere si conclude entro maggio-giugno. In pratica la trasformazione obbligata del materiale riguarda o la cippatura e la distribuzione nel castagneto o la carbonificazione che ha una antica tradizione in Casentino (Barlucchi, 2011).



Fig. 16 - Andane lungo le curve di livello dei rametti di 1-2 anni e di altri residui.

BOX 3. Progetto INGECA - Potatura e recupero produttivo di castagneti abbandonati presso l'Azienda Agricola di Riccardo Giorgini (Raggiolo, AR), località Bandina

Il primo intervento è stato effettuato in tree-climbing durante il mese di marzo 2020. E' stata esclusa la salita con ramponi per motivi fitosanitari e l'uso di piattaforme aeree data l'asperità dei luoghi.

Le potature sono state effettuate in due tempi (anni diversi) interessando il 50 % delle piante ogni volta.

Criteri seguiti: potatura straordinaria (riforma-capitozzatura) con eliminazione di tutte le parti secche, (abbassamento della chioma dove le cime erano secche), rimonda delle parti ancora vitali, "apertura della chioma" dove possibile, illuminazione interna della chioma.

Gli interventi di potatura ha tenuto conto della forma della architettura delle chiome delle diverse cultivar:

'Raggiolana', ha fusto dritto poco ramificato e la chioma raccolta in alto, così si è cercato di mantenere questa forma.

'Marrone', ha la chioma rotondeggiante con rami che si piegano in basso, si è cercato per quanto possibile eseguire la "svuotatura" della chioma in modo da creare un vaso, eliminando i rami soprannumerari e aduggiati.

'Tigolese', con rami dritti che vanno in alto, si è cercato di eliminare i rami soprannumerari e aduggiati.

Ha fatto seguito il trattamento delle parti tagliate ancora verdi: non sono stati usati né mastici specifici, né vernici acriliche e viniliche, ma è stata eseguita una aspersione di una soluzione conidica di 1 milione di spore x ml a base di *Trichoderma* sp. messa a punto dal DAGRI, dell'Università di Firenze.

Oltre alle potature si sono rese necessarie, l'eliminazione dei polloni alla base della pianta e delle piante eccedentarie presenti nel castagneto.

Il materiale ricavato è stato allestito, caratterizzato dal punto di vista tecnologico (90% legna da ardere e 10% paleria) e quantificato.

Sono stati eseguiti i rilievi dei tempi di lavoro delle unità impiegate (un potatore tree-climber che anche aspergeva il prodotto sui rami e un lavoratore generico che allestiva il materiale di risulta a terra).



Fig. 17 - Potatura straordinaria nell'Azienda Agricola di Riccardo Giorgini (Raggiolo, AR), località Bandina.

**5. Innesto e reinnesti.** Le tecniche sono conosciute (Ferrini e Pisani, 1993; FAINI, 1997; Giannini e Proietti-Placidi, 1997; Bianchi et al., 2009; Bounous, 2014) e consentono di ottimizzare la diffusione delle cultivar pregiate locali: 'Marrone del Casentino', 'Marrone di Raggiolo', 'Raggiolana', allo scopo di conservare il patrimonio vegetale e i prodotti tipici come la farina di castagne del Pratomagno.

I tipi di innesti più frequenti per il castagno sono: corona, doppio spacco inglese, spacco pieno, gemma tipo zufolo, gemma tipo scudetto con gemma dormiente, gemma tipo scudetto con gemma vegetante (Faini, 1997).

Nell'innesto a corona il portainnesto ha un diametro di 5-6 cm, in quello a zufolo, doppio spacco inglese il portainnesto ha 1-2 anni.

L'altezza di innesto si colloca, per motivi pratici, a 1,00-1,20 m da terra, ma poi si deve valutare la coincidenza tra marza e portainnesto, la frequenza degli ungulati. Le operazioni ancillari sono: la protezione e la legatura degli innesti, la protezione delle piante innestate con reti metalliche contro brucatura e sfregamenti delle corna del capriolo, la potatura verde degli innesti (dopo 1-2 mesi), la legatura (inverno successivo), la scacchiatura degli innesti e ripulitura dei ricacci dalle ceppaie.

Le nuove tecniche d'innesto per mettere in sicurezza gli innesti dagli ungulati (caprioli) prevedono di innestare a 2 m da terra eseguendo 5-6 innesti per pianta, ma non sono state ancora sperimentate in Pratomagno.

Tab. 5 - Manodopera necessaria al ripristino e coltivazione di un ettaro di castagneto (Pennacchini e Vanni, 1979).

Intervento	n. giornate lavorative	Mese dell'anno
Potatura e sistemazione residui	10,6	Gennaio, Febbraio
Innesto	1,0	Aprile
Ripulitura	1,5	Settembre
Raccolta	11,8	Ottobre, Novembre



Fig. 18 - Innesto a doppio spacco inglese, seguito da attacco di cancro corticale, come risulta evidente dal colore rossastro della corteccia e dalle screpolature al di sotto del punto d'innesto; le porzioni di corteccia verde (parte alta della foto) non sono state ancora raggiunte dalla malattia.

**Tab. 6 - Manodopera necessaria all'ordinaria coltivazione di un ettaro di castagneto**  
(Pennacchini e Vanni, 1979).

Intervento	n. giornate lavorative		Mese dell'anno
	Marroneto	Castagne da farina	
Potatura e sistemazione residui	4,2	4,2	Gennaio, Febbraio
Ripulitura	1,5	1,5	Settembre
Raccolta	12,0	17,5	Ottobre Novembre
Essiccazione Sgusciatura Cernita		2,8	Dicembre

## 6. Reinnesto di polloni nei cedui

E' stata maturata una lunga esperienza sulla ricostituzione dei castagneti attraverso il reinnesto dei polloni da ceppaia (Bassi e Sansavini, 1984; Carlini, 1986; Caraffini, 1986; Ferrini e Pisani, 1993; Faini, 1997).

Dapprima si selezionano le ceppaie su cui eseguire gli innesti, distanziate almeno 8 m una dall'altra, prima di procedere con gli innesti dei polloni.

Caraffini (1986) consiglia di selezionare il miglior pollone di ogni ceppaia: fusto dritto e regolare, con corteccia liscia e sana, di 3-4 anni e con un diametro a 1,60 cm di altezza di 4-6 cm, su cui eseguire l'innesto sottocorteccia.

Maresi (1998) propone di innestare 2 polloni rilasciando 2 tirsucchi.

Seguono cure collaterali. Protezioni individuali contro il capriolo. Potatura verde degli innesti da effettuarsi dopo 1 mese dall'esecuzione dell'innesto per controllare la vigoria dei nuovi getti. Slegatura degli innesti alla ripresa vegetativa. Scacchiatura degli innesti e eliminazione dei ricacci dalle ceppaie.

Secondo Tosco et al. (1986) usando le tecniche del "sesto dinamico" si selezionano al primo anno (previo sfollamento) un numero elevato (1200) di polloni (sani, ben inseriti nella ceppaia e non soggetti a scosciatura) di 1 anno. Lo scopo è di giungere a un impianto definitivo di 110 piante ad ettaro. Nel secondo anno si esegue l'innesto a zufolo, 2 spollonature delle ceppaie e la scacchiatura dei portainnesti. Nel terzo anno, si eseguono interventi protettivi contro il cancro, reinnesto eventuale del 2%, 2 spollonature delle ceppaie, scacchiatura dei portainnesti e ripulitura del sottobosco. Negli anni successivi si riducono le cure sugli innesti e si esegue la ripulitura del sottobosco. La forma di allevamento è un "vaso" impalcato a 1,50- 1,80 m con 3 o 4 branche, poi tendenzialmente libero. La potatura è invernale, annuale fino al sesto anno, poi biennale fino a ridurla a cicli di 3-4 anni. Diversamente se si vuole adottare un "sesto definitivo" il numero iniziale da innestare è più basso: 400 per giungere a una densità finale di 110 piante ad ettaro.

La procedura messa a punto nella Valle del Teggina (Pratomagno casentinese) prevede: primo anno: taglio raso del ceduo senza rilascio di matricine. Selezione delle ceppaie ogni 10-12 m. Secondo anno: innesto dei polloni di 1 anno, più vigorosi, ben conformati e stabili ossia ben inseriti nella ceppaia, alla stessa altezza 0,80/1,20 (1,50) m. Si usano come marze le cultivar da farina della zona ('Raggiolana', 'Tigolese', 'Proventana', 'Pistolese') o 'Marrone' in relazione alla quota. In ogni ceppaia vengono innestati 2 polloni a zufolo (orientamento della gemma a SE) o a doppio spacco inglese. Nella stessa ceppaia si rilasciano 2 polloni come tirsucchio. Seguono le cure collaterali.

Per l'innesto a spacco pieno, a spacco inglese, zufolo e scudetto, Faini (1997) consiglia di innestare 2-3 polloni per ceppaia di 1 o 2 anni e di rilasciarne 2 con funzione protettiva e di tirsucchio. Per l'innesto a corona raccomanda invece di rilasciare 3-4 polloni con diametro di 5-6 cm a petto d'uomo di cui 2 verranno innestati. L'innesto a corona protetto (dal cancro corticale) da Cerafix e legato con nastro adesivo si è rivelato efficace.

**BOX 4.** Osservazioni alla normativa forestale della Regione Toscana sul recupero dei castagneti da frutto.

Il Regolamento Forestale della Regione Toscana (BURT n. 26 8 maggio 2015) all'art. 52 disciplina tutti gli interventi relativi alla gestione dei castagneti in produzione, nonché di quelli in stato di abbandono da convertire o recuperare alla coltura.

La normativa prevede che, ove sulla superficie siano presenti "fusti" in numero superiore a 500 per ettaro, non sia possibile inquadrare l'intervento nella categoria di semplice recupero, ma vada richiesta una specifica autorizzazione con eventuale fidejussione a garanzia della riuscita dell'intervento selvicolturale.

Resta aperta una questione interpretativa della norma: non è chiaro cosa s'intenda per "fusti", dato che non viene espresso alcun riferimento diametrico. Nelle superfici aperte, illuminate è facile ritrovare oltre 500 fusti per ettaro. Così diviene incerta la definizione del contesto nel quale l'utente opera e del percorso amministrativo (dichiarazione o autorizzazione generica) che egli debba seguire.

Sembra opportuno elevare il limite di fusti per l'obbligo di procedura autorizzativa > 1000 soggetti ad ettaro, fissando poi il diametro minimo di rilievo > 5 cm.

**7. Reintegro della densità del castagneto.** Si può eseguire per semina di 2-3 castagne per buca, cui fa seguito la protezione dagli ungulati e l'innesto dei nuovi virgulti. Oppure si può eseguire la messa a dimora di semenzali già innestati, sempre con una protezione individuale con reti metalliche.

**8. Irrigazione.** E' una pratica sempre più attuale e indispensabile a seguito delle ricorrenti crisi idriche estive. Si tratta di una irrigazione localizzata a goccia. Le quantità consigliate sono in generale di 3-4 mm/giorno/m<sup>2</sup> di superficie media di proiezione verticale della chioma, impiegando 4 gocciolatori per le piante adulte. È necessario apportare acqua in modo regolare o nei momenti in cui le piante lo necessitano, ad esempio durante il mese di agosto, quando i

ricci cominciano a svilupparsi o poco prima della maturazione dei ricci, cioè nel periodo di massimo accrescimento delle castagne. Ha infatti lo scopo dell'irrigazione è di far "ingrossare" i frutti.

**9. Messa in salute del castagneto.** Un'espressione che racchiude più operazioni e approcci metodologici diversi, il cui scopo è di evitare situazioni di stress per le piante. Comprende lo spargimento di compost (previa triturazione) da bilanciare con altre pratiche per non acuire problemi fitopatologici. La concimazione organica (stallatico mescolato a foglie) alla base di ogni castagno è sempre auspicabile, ma contrasta con l'aggravio dei costi. I prodotti chimici sono da evitare nel quadro di coltivazioni biologiche. Le tecniche di biocontrollo (BCA) si vanno progressivamente affermando. Tra queste il ricorso a trattamenti endoterapici a base di *Trichoderma* sp. nel castagneto (che rappresenta l'elemento innovativo sperimentato proprio con il progetto INGECA). Dalle prime osservazioni compiute dal DAGRI-UNIFI risulta che hanno effetti positivi contro i funghi e insetti, riducono l'incidenza del marciume della castagne e migliorano la fisiologia e lo sviluppo dei castagni. Si tratta di valutare i costi-benefici di questa procedura e la durata dei trattamenti.

BOX 5. Progetto INGECA. Recupero produttivo di castagneti abbandonati presso l'Azienda Agricola di Andrea Giovannuzzi (Raggiolo, AR), località Raggiolana e Ribuio.

In località Raggiolana le cultivar prevalenti erano 'Raggiolana', 'Tigolese', 'Pistolese' e 'Marrone'. I rilievi preliminari, pianta per pianta, hanno messo in evidenza un popolamento dalla struttura molto complessa pur mantenendo la fisionomia del castagneto da frutto, essendo stato abbandonato da molti anni. L'intervento, cominciato nell'inverno 2021 si è focalizzato sulla rimozione dei polloni alla base dei castagni, nella regolarizzazione della densità del soprassuolo. La potatura a carattere straordinario (riforma-capitozzatura) ha riguardato un riequilibrio generale, un abbassamento e la "svuotatura" della chioma, ogni pianta è stata valutata e trattata singolarmente, fatti salvi i principi generali dell'intervento. Il materiale ricavato è stato allestito, caratterizzato dal punto di vista tecnologico (circa 50% legna da ardere, circa 50% paleria, le parti dritte) e quantificato. Sono stati eseguiti i rilievi dei tempi di lavoro delle unità impiegate. Il materiale è stato poi impiegato nella carbonificazione sperimentale.

In località Ribuio i rilievi preliminari di ogni pianta sono stati eseguiti nell'inverno 2020. Qui la componente della necromassa e arboreo-arbustiva d'invasione era molto più importante rispetto alle altre aree sperimentali e le condizioni operative molto più difficili per l'elevata pendenza. Le cultivar prevalenti erano 'Raggiolana' 'Mondistollo' e 'Pistolese'. I criteri di intervento sono stati simili al caso precedente. Il materiale ricavato è stato allestito, caratterizzato dal punto di vista tecnologico (circa 80% legna da ardere, circa 20% paleria, le parti dritte) e quantificato. Sono stati eseguiti i rilievi dei tempi di lavoro delle unità impiegate. In entrambi i casi hanno fatto seguito i trattamenti e il monitoraggio a cura del DAGRI dell'Università di Firenze.



Fig. 19 - Castagneto prima e durante gli interventi nell'Azienda Agricola di Andrea Giovannuzzi (Raggiolo, AR), località Raggiolana.



Fig. 20 - Castagneto prima degli interventi nell'Azienda Agricola di Andrea Giovannuzzi (Raggiolo, AR), località Ribuio.

**10. Recinzioni.** Un aspetto controverso ma ineludibile se si vuole salvaguardare la produzione di castagne e di funghi nel caso di alta frequenza di cinghiali, caprioli, daini, tassi (al netto dei raccoglitori abusivi). Per la costituzione del fondo chiuso occorrono le debite autorizzazioni. Le recinzioni che si usano nei castagneti da frutto non sono impattanti. Vengono effettuate con pali di castagno del diametro di 10-12 cm in testa, posti alla distanza di 2-4 m. Si usa una rete metallica a maglia di 10x10 o 15x15 cm, alta 1,25 m fuori terra con un ordine di filo spinato e con una fascia a terra di rete elettrosaldata alta 0,50 m. Oppure si usano “colonne” di 12-15 cm in testa, della lunghezza di 3 m, interrate 0,50 m impiegando una rete metallica alta 2 m.

**11. Eliminazione dei ricacci delle ceppaie.** A tal riguardo sono da preferire, in quanto più economici, i teli antigerminazione rispetto alla asportazione manuale dei polloni sulle ceppaie in cui sono stati eseguiti gli innesti (Bassi e Sansavini, 1984; Antonaroli, 1992).

**12. Contenimento delle specie invasive.** Una delle specie a cui porre attenzione è la robinia che ha una grande capacità di colonizzazione. Le procedure di contenimento si differenziano se si tratta di interventi a livello di singolo albero o di intero bosco.

Per devitalizzare una pianta si può procedere mediante:

- taglio a terra e copertura della ceppaia con teli antigerminazione;
- taglio a 1 m (più facile da eseguirsi) da terra;
- cercinatura della pianta in piedi;
- i trattamenti chimici con prodotti chimici sulle parti tagliate o cercinate anche se efficaci sono da evitare.

Nel caso di boschi di robinia bisogna distinguere:

1) Dove la specie è dominante:

- sospendere qualsiasi intervento di taglio e far invecchiare le piante.

2) Dove la specie è minoritaria:

- favorire strutture articolate in modo da creare una costante copertura che penalizzi la robinia;
- evitare di creare radure o buche troppo ampie che la robinia può colonizzare facilmente o quanto meno reintegrarle con specie autoctone;
- eliminare le piante disseminatrici con cercinatura.

I pioppi tremoli comprendono in una semplificazione dendrologica: il pioppo tremolo (*Populus tremula* L.) e il pioppo gatterino o pioppo grigio (*Populus canescens* –Aiton- Sm). Il pioppo tremolo vegeta fino a 1900 m negli Appennini anche se trova la sua zona ottimale da 700 ai 1200 m. Può raggiungere dimensioni ragguardevoli di 25-30 m in altezza e di 4 m in diametro: in Pratomagno sono stati osservati soggetti di circa 60 anni di 70 cm in diametro e di 30 m in altezza. Specie poco longeva se si considera che non supera i 100-150 anni. Apparato radicale diffuso e superficiale. Nel Pratomagno il pioppo tremolo ha colonizzato i castagneti da frutto abbandonati nelle zone più umide e ora si assiste al crollo dei gruppetti che hanno raggiunto

60-70 anni. Il pioppo gatterino è alto fino a 30 (50) m e raggiunge un diametro di oltre 100 cm. Poco longevo non oltre 90-100 anni. Esigente di luce. Frequente sui suoli alluvionali limoso-sabbiosi/argillosi, umidi al limite pantanosi, come pure sui suoli ghiaiosi. Vegeta fino a 1000 m. I pioppi (tremolo e gatterino) si diffondono per seme e polloni radicali. Bisogna fare attenzione a mantenere abbastanza chiuso il popolamento altrimenti, in caso di forti interventi, si favorisce la diffusione del pioppo per polloni radicali.

Il salicone (*Salix caprea* L.) è un albero che raggiunge 10-15 m (20) m di altezza. Vegeta tra 600 e 1800 m. Specie frugale di spiccato carattere pioniero, esigente di luce, quindi predilige gli spazi aperti, si insedia su substrati freschi ma anche relativamente aridi in estate, acidi, ricchi di azoto. Il salicone si propaga per seme, per polloni e per talee, la facoltà pollonifera è spiccata nella ceppaia ma non nel fusto (quindi non si presta alla capitozzatura). Come tutte le pioniere, non è un albero longevo (al massimo 50-60 anni) e in particolare crolla per ribaltamento dopo 40-50 anni. Per questo il salicone è particolarmente pericoloso per la distruzione dei seccatoi quando cade sopra di essi.

Nel caso di pino marittimo, douglasia e abete bianco, non essendo in Pratomagno specie invadenti, può essere sufficiente il taglio precoce delle piante prima che producano seme.

## Gestione delle malattie nel castagneto

Maresi Giorgio, Benigno Alessandra, Aglietti Chiara, Ragazzi Alessandro, Moricca Salvatore

Il castagneto tradizionale, pur essendo di origine antropica, è in tutto e per tutto un ecosistema forestale, un bosco rado con piante di alto fusto; pertanto, la gestione delle malattie deve basarsi sul rispetto degli equilibri naturali che hanno garantito per secoli la sopravvivenza di questi soprassuoli (García-Ruiz et al., 2011). In un contesto forestale, infatti, i patogeni sono una componente dell'ecosistema e trovano un loro equilibrio con le altre componenti provocando, di solito, danni limitati o gestibili. La loro azione viene modulata dai fattori meteorologici o edafici e la loro pericolosità è generalmente legata a situazioni di stress pronunciato o a condizioni stazionali particolari. Gli equilibri instauratisi in millenni di coevoluzione tra i patogeni e l'ospite castagno fanno sì che i danni siano limitati e rientrino nelle normali dinamiche evolutive dell'ecosistema e del patosistema.

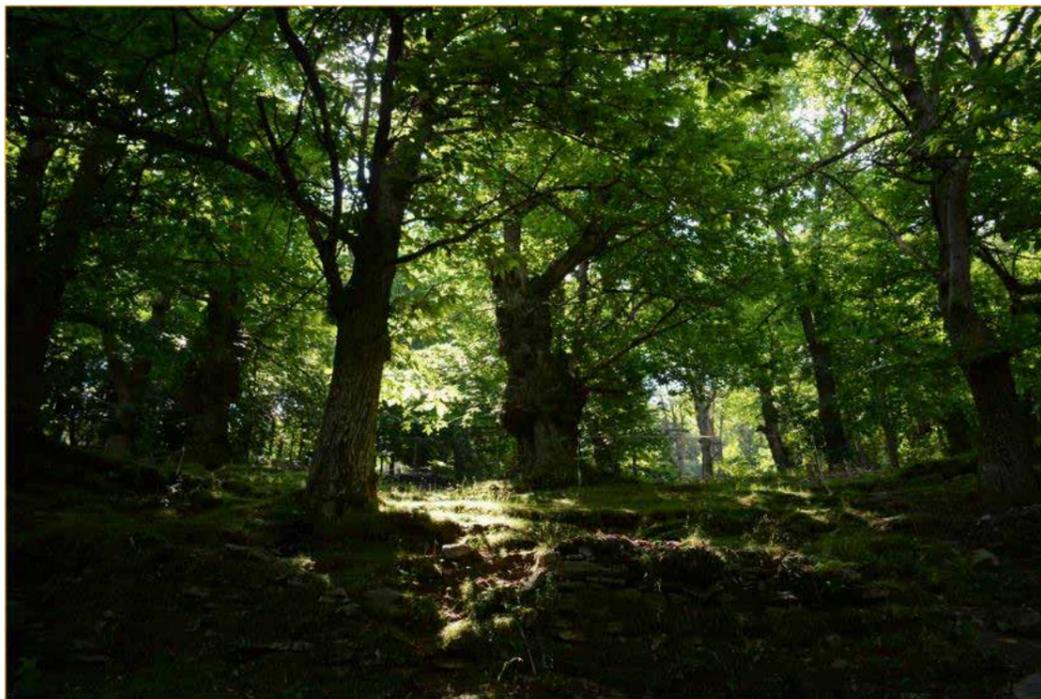


Fig. 21 - Il castagneto tradizionale è un ecosistema forestale costituito da piante adulte e rade.

Nel caso del castagneto, questi equilibri sono stati alterati dall'arrivo di due patogeni invasivi, provenienti da ambienti completamente diversi, che hanno messo in seria crisi l'esistenza stessa della castanicoltura italiana: l'oomicete *Phytophthora cambivora*, agente del mal

dell'inchiostro, intorno alla metà del 1800; ed il fungo ascomicete *Cryphonectria parasitica*, agente cancro della corteccia, subito prima della seconda guerra mondiale. L'arrivo di organismi patogeni non coevoluti con gli ospiti locali è sempre fonte di grossi problemi e di gravi danni che in alcuni casi possono essere tali da modificare completamente gli ecosistemi coinvolti. Nel caso dei due patogeni sopra citati, la situazione si è per fortuna evoluta in un'altra maniera, permettendo di fatto la sopravvivenza dei castagneti e della castanicoltura. Una terza invasione, stavolta non di microrganismi fitopatogeni bensì di un insetto alieno, il cinipide galligeno, o vespa cinese, ha sconvolto la castanicoltura all'inizio di questo secolo.

### 4.1 Mal dell'inchiostro

Attualmente, questa malattia è da considerarsi la più pericolosa per il castagno. Infatti, aggredendo le radici, essa può arrivare ad uccidere l'albero causando quindi un danno grave, da un punto di vista economico ed ambientale (Jung et al., 2018). Dalla identificazione dell'agente causale, l'oomicete *Blepharospora cambivora*, riconosciuto in seguito come *Phytophthora cambivora*, avvenuta nel 1917 (Petri 1917-1919), la malattia si è subito rivelata un problema enorme per i castanicoltori, specialmente laddove dalle castagne dipendeva la stessa sopravvivenza della popolazione. Il patogeno, diffuso più o meno ubiquitariamente nei castagneti italiani, viene tollerato solamente in quei soprassuoli ove, a livello del suolo, si riscontra un certo equilibrio tra le componenti micro- e macro-organiche. In tali contesti, l'oomicete non è comunque riuscito a far sparire il castagno dai nostri boschi e gli equilibri presenti a livello del suolo hanno consentito la sopravvivenza degli impianti e la rinascita del castagno (Fernandes et al., 2022).

*P. cambivora* è un microorganismo che vive nel terreno e che riesce a diffondersi con l'acqua, essendo dotato di spore flagellate, le zoospore. In un contesto naturale, esso può essere controllato dalla vitalità dei microorganismi che compongono la rizosfera, il bioma che vive intorno e sulla radice, di cui fanno parte anche i funghi micorrizici. In presenza però di un forte inoculo del patogeno e di condizioni stress per l'ospite, *P. cambivora* può colonizzare le radichette e risalire verso il colletto, mandando in sofferenza la pianta. L'alternanza di forti periodi siccitosi con altri molto piovosi crea condizioni ottimali per il patogeno: i primi indeboliscono la pianta ed il corredo microbico delle radici; i secondi aiutano la sua proliferazione e diffusione. I sintomi sono rappresentati da una evidente riduzione di vigore di tutta la chioma che si manifesta con ingiallimenti fogliari e microfillia (foglie ingiallite e minute), e con ricci piccoli portati solo nella parte apicale. La malattia può anche avere un andamento fulminante ed uccidere subito l'albero colpito, che viene portato a morte con tutta la chioma con le foglie secche. Normalmente però l'andamento è più lento, dando la possibilità di intervenire sui soggetti sintomatici. Al piede della pianta, sotto la corteccia, nelle fasi più avanzate, appare un caratteristico imbrunimento a fiamma o diagramma; possono altresì formarsi delle colate nerastre di tannini, da cui deriva il nome tipico della malattia.



**Fig. 22** - Chioma rada e con foglie ingiallite di un castagno colpito dal mal dell'inchiostro (a sinistra) a confronto con la chioma di una pianta sana (a destra); in questa fase si può ancora tentare di salvare la pianta con una concimazione di soccorso.



**Fig. 24** - Essudati tanninici al colletto di un castagno, che danno il nome alla malattia ("mal dell'inchiostro").



**Fig. 23** - Classico imbrunimento a fiamma o diagramma alla base di un castagno ucciso dal mal dell'inchiostro.

La lotta contro questo patogeno si basa fundamentalmente sul mantenimento della fertilità e della biodiversità microbica del suolo, intervenendo su piante sintomatiche con concimazioni organiche a base di pollina e con concimi ricchi di microelementi, da eseguire alla ripresa vegetativa. Questi interventi ridanno vigore alla pianta e permettono il recupero anche della fertilità del suolo e della sua carica microbica laddove esse siano state degradate, garantendo la ripresa delle piante se non sono troppo compromesse (Benavent-Celma et al., 2022). La lotta chimica con fosfito di alluminio, tramite endoterapia, può fornire risultati analoghi, ma è pur sempre un trattamento chimico che può lasciare tracce nell'ambiente e nei frutti senza peraltro migliorare la situazione del suolo.

Gli interventi di drenaggio possono evitare situazioni di ristagno idrico favorevoli al patogeno, mentre il mantenimento dello strato organico costituito da foglie e ricci garantisce la ricchezza microbica del suolo. Trattamenti con funghi micorrizici, o con funghi antagonisti del patogeno, come i funghi del genere *Trichoderma*, attraverso endoinfusioni al tronco, sono attualmente allo studio e potranno eventualmente integrare l'attuale gestione fitosanitaria.

Particolare attenzione deve esser posta nell'uso di semenzali innestati provenienti da vivaio. Queste piantine, se non controllate e certificate, possono introdurre il patogeno nei castagneti e creare nuovi focolai. In particolare, è da temere l'introduzione di *P. cinnamoni*, oomicete strettamente correlato a *P. cambivora*, ma molto più pericoloso non solo per la sua aggressività ma anche per la sua polifagia (Hardham e Blackman, 2018). Questo patogeno è stato già identificato in alcuni castagneti italiani dove è associato a gravi danni.

Il fatto che il mal dell'inchiostro non abbia interamente devastato i castagneti italiani nel giro di quasi 200 anni suggerisce che l'ecosistema castagneto, almeno laddove il suolo ha una carica microbica adeguata, è riuscito nel tempo a trovare un equilibrio con il patogeno.

*P. cambivora*, nello scenario castanicolo italiano, rimane capace di creare nuovi focolai ed ingenti danni, anche perché è in grado di persistere nel terreno per molti anni. Non è tuttavia in grado di produrre forti ondate epidemiche in funzione della estrema variabilità climatica del nostro Paese e a causa della frammentarietà dei castagneti. In diversi casi, nei cedui colpiti dalla malattia, si è assistito al naturale ritorno del castagno ed all'affermazione della sua rinnovazione. Tuttavia, va tenuto presente che, perdurando le condizioni di stress derivanti dall'attuale andamento meteorologico, contraddistinto da lunghi periodi siccitosi e piogge improvvise ed intense, è possibile si verifichi una recrudescenza della malattia. Occorrerà pertanto mantenere alto il livello di attenzione ed all'occorrenza ricorrere alle tecniche di gestione sopra menzionate.

## 4.2 Cancro della corteccia

L'ipovirulenza è la “parola magica” che indica un evento praticamente unico nella storia della Patologia vegetale e soprattutto delle malattie causate da patogeni alieni ed invasivi negli ecosistemi forestali. Nei castagneti infetti dall'agente del cancro corticale *Cryphonectria parasitica*, ad un certo punto cominciò a diffondersi naturalmente l'ipovirulenza (= virulenza attenuata), conferita da un *Hypovirus* della famiglia Hypoviridae. *L'Hypovirus* parassitizza le cellule di *Cryphonectria parasitica*, diffondendosi contagiosamente da ceppo a ceppo attraverso il citoplasma fungino, riducendone così la virulenza. Dal momento che l'ipovirulenza rende meno aggressivi i ceppi di *C. parasitica*, trasformandoli da ipervirulenti in ipovirulenti, si pensò di impiegare utilmente il micovirus per il controllo biologico della malattia, attraverso la diffusione artificiale dell'ipovirulenza (Kolp et al., 2018). Grazie alla diffusione dell'ipovirulenza, la malattia, ancora oggi presente e diffusa, sta di fatto provocando danni lievi, permettendo alle piante di sopravvivere. Alla base del fenomeno vi è dunque l'interazione tri-trofica “castagno – cancro – ipovirulenza”: laddove è presente un castagneto è oggi presente l'agente di cancro corticale *C. parasitica*, ma altrettanto presente è l'*Hypovirus*, portatore dell'ipovirulenza.



Fig. 25 - Polloni di castagno colpiti da cancri cicatrizzanti attivi e tutti vivi.

Il patogeno *C. parasitica*, che sul castagno cinese si comporta da debole parassita, è arrivato in Italia nel 1938 dopo aver devastato i castagneti americani, di fatto facendo scomparire *Castanea dentata* come specie forestale (Cipollini et al., 2017). Negli anni '50 del secolo scorso, i danni provocati dalla malattia fecero temere in Italia la fine della castanicoltura e favorirono indirettamente l'esodo delle popolazioni montane. La situazione migliorò poi gradualmente e già nel 1952 venivano segnalati i primi casi di cancri cosiddetti “anomali” che si contraddistinguevano per la sopravvivenza delle piante attaccate. Oggi, a distanza di 80 anni dall'arrivo di questo pericoloso patogeno, si può affermare che i cancri “anomali”, dovuti all'ipovirulenza, sono ormai ubiquitari, predominanti e persistenti nel corso degli anni, garantendo così la sopravvivenza dei castagni e la ripresa della castanicoltura. Il cancro della corteccia è infatti una malattia che provoca alterazioni diffuse dei tessuti corticali, che prendono appunto il nome di “cancri”. Il parassita entra nella pianta attraverso le ferite, specie quelle ben irrorate sulla corteccia giovane. Il micelio, colonizzando i tessuti, assume l'aspetto di caratteristici ventagli gialli, arrivando ad uccidere il cambio e quindi a far disseccare l'asse, i rami ed anche il fusto (Rigling e Prospero, 201). Nelle piante ove si è manifestata l'ipovirulenza, lo sviluppo del fungo avviene solo negli strati superficiali della corteccia. Non interessando l'infezione il tessuto cambiale, la pianta può reagire con nuovi strati di cellule e quindi sopravvivere.

I “cancri virulenti” mostrano corteccia arrossata e depressa con evidenti riscoppi di vegetazione sotto l'area attaccata e, una volta circondato il fusto, ne provocano la morte; i “cancri anomali”, chiamati “cicatrizzanti attivi”, mostrano anch'essi corteccia arrossata, ma non sono presenti né depressione dei tessuti né riscoppi alla base; l'asse attaccato, quando circondato dal

cancro, rimane vivo e produttivo. Il processo infettivo prosegue comportando, sui tessuti alterati, propri della lesione cancerosa, la formazione un manicotto nerastro che costituisce il cancro vero e proprio ormai cicatrizzato. Ci possono essere forme intermedie tra le due tipologie dette “cancri intermedi”, ma in generale nei castagneti italiani predominano i cancri ormai cicatrizzati e quelli cicatrizzanti (Demené et al., 2019). Cancri virulenti sono ancora presenti, ma provocano danni limitati su singoli rami e su fusti sottoposti (Rigling e Prospero, 2018).



Fig. 26 - Cancro cicatrizzante attivo e cancro cicatrizzato: il primo cicatrizza in tempi più o meno brevi.

L’ipovirulenza è un fenomeno complesso nel quale giocano diversi fattori: il più importante è la diffusione di un inoculo del patogeno costituito sia da ceppi virulenti sia da ceppi ipovirulenti i quali ultimi si caratterizzano per ospitare l’*Hypovirus* a dsRNA sopra descritto, che determina la minore pericolosità di *C. parasitica* (Stauder et al., 2019). L’azione di quest’inoculo è favorita dalla maggior resistenza del nostro castagno alla malattia, venendo però anche influenzata dai fattori ambientali, che possono creare stress al soggetto attaccato.

Dal punto di vista gestionale, la diffusione naturale dell’ipovirulenza ha fornito il miglior mezzo di difesa biologica: di fatto, basta agire con la sola, regolare rimozione dei rami seccati dal cancro, ben visibili per le foglie disseccate persistenti, per ridurre così la massa di inoculo del fungo ipovirulento (Zamora et al., 2014). Negli interventi di potatura andranno evitate le ferite sulle cortecce giovani, mentre i grossi tagli di potatura difficilmente vengono infettati dal fungo e quindi è sufficiente una corretta esecuzione (Diamandis, 2018).

Più problematica è la protezione degli innesti. Questi, infatti, sono a tutti gli effetti ferite continuamente irrorate e quindi un ottimo *pabulum* per il fungo; la pianta fa fatica a reagire e spesso, anche in presenza di ceppi ipovirulenti, gli innesti finiscono per morire. Pertanto, per ridurre i rischi di infezione degli innesti, oltre a preferire quelli a rapida chiusura, come quelli a gemma dormiente o a doppio spacco inglese, è opportuno proteggere il punto di innesto con mastice additivato. Un mastice che ha fornito risultati apprezzabili è Cerafix plus, che contiene un antagonista biologico di *C. parasitica*. Inoltre, allorché si debba procedere a praticare un innesto, sarà fondamentale non utilizzare pali di sostegno di castagno non scortecciati; durante le cure colturali occorrerà altresì evitare di provocare ferite.

Nonostante la predominanza di ceppi ipovirulenti, i castagneti abbandonati spesso si presentano con un aspetto quasi spettrale per la presenza di molte branche secche, dovute sia a vecchi attacchi dell’agente di cancro sia ai danni dovuti ai ricorrenti periodi di siccità; in questo caso, una buona potatura può permettere il recupero di piante anche apparentemente molto compromesse, che possono ricostituire la chioma una volta riportate in piena luce.

Recentemente, tendono a manifestarsi più frequentemente disseccamenti della parte alta della chioma, spesso in coincidenza con forti periodi di stress idrico (Romon-Ochoa et al., 2022). Dal momento che la maggior parte dei castagneti non possono essere irrigati, l’unico mezzo per mitigare gli effetti della siccità è una buona gestione del suolo, da perseguire tramite il rilascio di un adeguato strato di sostanza organica che assicuri una migliore gestione dell’acqua, favorendo il superamento dei periodi siccitosi.

### 4.3 Altre malattie della chioma

La “fersa “ è una fitopatia provocata da *Mycosphaerella maculiformis*, un fungo che causa danni alla chioma. Il patogeno è praticamente ubiquitario nei castagneti e si manifesta con maculature fogliari che compaiono già durante l’estate (Cristinzio e Testa, 2005). L’intensità degli attacchi è fortemente correlata alle condizioni di umidità all’interno degli impianti, ma generalmente il danno è lieve interessando le foglie della parte inferiore e coperta della chioma. In annate di forte piovosità, gli attacchi possono diventare intensi e provocare defogliazioni precoci e la caduta dei ricci in formazione. Generalmente non si interviene contro questo parassita, se non in vivaio. Una buona spaziatura degli impianti, sia vecchi che nuovi, è già garanzia di non avere condizioni di ristagno di umidità, evitando pertanto gravi attacchi (Pastirčáková e Adamčíková, 2016).

Foglie colpite dall’agente di oidio *Microsphaera alphitoides*, sono nei castagneti una visione abbastanza comune, specie sulla rinnovazione. Anche in questo caso, non si tratta mai di danni intensi e pericolosi per le piante adulte, mentre un attacco ripetuto può rallentare la crescita della rinnovazione. Non si interviene se non in vivaio (Phillips e Burdekin, 1992).



Fig. 27 - Foglie interessate dalla maculatura data dalla fersa.

#### 4.4 Agenti di marciume delle castagne

Castagne e marroni sono facilmente attaccati da alcuni funghi in grado di decomporli e di renderli immangiabili o non commercializzabili. Tra questi agenti fungini, negli ultimi anni ha assunto particolare significato il genere *Gnomoniopsis* (ordine *Diaporthales*), che include il maggior numero di specie segnalate su ospiti delle famiglie *Fagaceae*, *Onagraceae* e *Rosaceae* (Jiang e Tian, 2019). Sebbene la maggior parte delle specie del genere *Gnomoniopsis* siano considerate saprofiti, in grado di colonizzare tessuti morti (es. foglie, rami e rametti), alcune di esse sono state riconosciute come patogene, segnalate come funghi ospite-specifici (Jiang et al., 2020). Fra queste, *Gnomoniopsis castaneae* Tamietti (sinonimo *G. smithogilyyi* L. A. Shuttleworth, E. C. Y. Liew, and D. I. Guest) ha assunto notevole importanza come patogeno emergente del castagno (Lione et al., 2019). Questo fungo, agente del “marciume bruno o gessoso” delle castagne, provoca prima l'imbrunimento e la perdita di consistenza del frutto, che risulta molliccio al tatto; successivamente ne causa l'indurimento e l'aspetto bianco gessoso. Il frutto attaccato è immangiabile ed inutilizzabile, per cui l'infezione è causa di notevoli perdite di produzione (Turco et al., 2021). *G. castaneae* causa anche cancri su fusto e rami di giovani castagni, che possono venire portati a morte (Lewis et al., 2017; Trapiello et al., 2018; Dar and Rai, 2015; Pasche et al., 2016).

Un'abbondante e anomala presenza di castagne marce venne osservata sia in alcune zone europee che in Oceania a partire dal 2005, ma i sintomi osservati vennero per alcuni anni confusi con quelli causati in passato da *Phoma endogena*, patogeno segnalato in Italia fin dalla fine dell'800 (Lione et al., 2015; Lione et al., 2021). Il fenomeno fu inizialmente spiegato con variazioni nelle condizioni ambientali conseguenti al cambiamento climatico. Solo a partire dal 2012 si comprese che si aveva a che fare con una nuova malattia, il cui agente causale venne identificato come *G. castaneae* (Trapiello et al., 2018). La pressoché contemporanea segnalazione della malattia sia in Europa che in Oceania, aveva inizialmente portato a ritenere che essa fosse causata da due specie diverse. Successivamente, in seguito ad analisi di morfologia comparativa e ad approcci di filogenesi, si comprese che si aveva a che fare con un unico agente causale (Vettraino et al., 2021). Ad oggi, tuttavia, nonostante gli studi di popolazione condotti e le caratterizzazioni tassonomiche, l'origine del fungo non è ancora del tutto chiarita e v'è una certa controversia nella comunità scientifica sulla possibile esistenza di differenti entità e sul nome legittimo della specie (Sillo et al., 2017). Alcuni autori hanno ipotizzato che l'arrivo di *G. castaneae* possa esser stato facilitato dall'invasione di alcuni insetti che attaccano il castagno (es. *Dryocosmus kuriphilus*) (Vannini et al., 2017). Tuttavia, sebbene in Italia i danni da *G. castaneae* si siano sovrapposti spazialmente e temporalmente a quelli provocati dall'invasione di insetti esotici, non sono state trovate evidenze sperimentali di possibili relazioni tra tali eventi. Risulta pertanto necessario indagare maggiormente l'eziologia e epidemiologia di questo fungo (Lione et al., 2016).

Benché si conoscano ancora poco i fattori determinanti l'aumento o la riduzione dell'incidenza di *G. castaneae*, sembra che i fattori principalmente connessi con la produzione e la dispersione delle spore siano i cambiamenti di temperatura, unitamente al vento ed alle abbondanti precipitazioni (Lione et al., 2021). Inoltre, il fungo può vivere come endofita nella corteccia dei rami giovani, nelle galle del cinipide e nei ricci, su cui fruttifica durante la stagione vegetativa. Inoltre, è stato isolato anche da fiori e da castagne, sia durante la loro maturazione che dopo (Shuttleworth e Guest, 2017). Non è ancora chiaro se l'infezione della castagna avvenga durante la fioritura o nelle fasi successive e se il fungo entri nel frutto attraverso il rametto o mediante le spore al momento dell'impollinazione. La forte dipendenza dall'andamento delle temperature fa ritenere che gli eventi infettivi verificatisi negli ultimi anni possano essere legati al cambiamento climatico (Pérez-Girón et al., 2020; Van Drunen et al., 2018). Tuttavia, alcuni autori hanno ipotizzato un ruolo della comunità endofitica nella variazione e nello sviluppo della malattia (Fernandez-Conradi et al., 2019; Jason et al., 2018). Infatti, la possibilità di interazioni tra l'agente del marciume bruno o gessoso e gli altri microorganismi presenti nei tessuti dell'ospite potrebbe portare a nuove sinergie, influenzando le popolazioni di *G. castaneae* e le sue dinamiche di sviluppo (Vannini et al., 2018; Morales-Rodriguez et al., 2019). Dati i molteplici aspetti ancora poco chiari circa l'epidemiologia della malattia, è difficile al momento definire misure adeguate di controllo ed i metodi applicati finora sono risultati poco efficaci. La lotta è basata oggi principalmente su cura e sterilizzazione in post-raccolta (Morales-Rodriguez et al., 2022; Silva-Campos et al., 2022). Questi metodi vengono applicati prevalentemente nella fase di conservazione: il trattamento con un bagno caldo a 50°C per 45 minuti venne utilizzato fin dagli anni trenta del XX secolo ed ancora adesso mantiene la sua efficacia. Successivamente, le castagne ben asciutte possono essere conservate in frigorifero possibilmente in atmosfera controllata di CO<sub>2</sub>, o anche

congelate. Tuttavia, l'efficacia di questi metodi è strettamente legata al grado di incidenza della malattia, rivelandosi inefficaci con elevati livelli di infezione, come quelli solitamente riportati per *G. castaneae* (Vettrano et al., 2021). Data la diffusa presenza del fungo nei castagneti, i trattamenti chimici sono inefficaci e rischiano di peggiorare la situazione alterando la componente microbica dell'ecosistema. Alcuni autori hanno proposto l'uso di integratori e concimazioni per favorire lo stato di salute delle piante in modo da aumentarne la capacità di risposta a questo agente di marciume. Altri hanno suggerito l'utilizzo di metodi molecolari per identificare precocemente la malattia, quando essa presenta ancora livelli bassi di infezione, in modo da poter ricorrere con maggiore efficacia a trattamenti di controllo (Vettrano et al., 2021). Alcuni studi si sono invece orientati verso l'utilizzo di organismi antagonisti di *G. castaneae*, per cercare di prevenire e controllare la malattia con metodi di lotta biologica (Pasche et al., 2016).



Fig. 28 - Castagne colpite da marciume bruno o gessoso.

Fino all'inizio degli anni 2000, una delle specie fungine maggiormente associate al deterioramento delle castagne era l'agente del marciume nero *Ciboria batschiana*, patogeno latente isolato da frutti asintomatici, gemme e tessuti legnosi, come pure da frutti sintomatici (Vettrano et al. 2005; Blaiotta et al. 2014). Le castagne colonizzate da questo fungo diventano rapidamente nere, marcescenti e al loro interno si sviluppa un micelio di colore scuro. L'infezione si verifica sui frutti al momento della caduta a terra prima della raccolta, tramite ascospore prodotte dagli apotecii formati durante l'inverno sui frutti infetti (Tian e Bertolini, 1997). La diffusione di *C. batschiana* è favorita da condizioni di piovosità alla raccolta e dalle basse temperature. Questo fungo, presente anch'esso come endofita nel frutto, è stato recentemente riportato anche da tessuto asintomatico di castagno, suggerendo una sua latenza nell'ospite (Vettrano et al., 2005). *C. batschiana* è in grado di svilupparsi anche a basse temperature e quando le condizioni di conservazione sono sfavorevoli, ad es. a temperature di stoccaggio intorno a 0°C (Delatour et al., 1982). Attualmente, due sono i trattamenti validi per il suo contenimento: la termoterapia, con immersione in acqua calda a 41°C per due ore; e la conservazione in frigorifero, ad atmosfera controllata di CO<sub>2</sub>. La tradizionale cura sembra essere poco efficace sia contro *G. castaneae* che contro *C. batschiana*.

Il “marciume rosa” da *Collethotricum acutatum* viene riscontrato piuttosto raramente e può essere considerato una rarità, ma va ricordato che anche questo fungo è reperibile come endofita nei rametti. La sua presenza nei castagneti è stata segnalata per la prima volta in Italia su galle necrotizzate da *Dryocosmus kuriphilus* (Gaffuri et al., 2015).

Più pericolosa è la muffa da *Penicillium expansum*, che può svilupparsi a carico delle castagne mal conservate. Questo fungo, causa del marciume verde-azzurro del frutto (Washington et al., 1997), agisce infatti prevalentemente come contaminante in post-raccolta, anche dentro i magazzini (Nielsen, 2003). In condizioni favorevoli al suo sviluppo, *P. expansum* riesce a degradare estesamente le castagne, il cui interno diventa morbido e acquoso; sull'area in decomposizione compaiono masserelle di micelio ricoperto da spore verdi-azzurrognole. Le contaminazioni delle castagne a opera di questa muffa psicrofila non sono da sottovalutare perché essa, oltre a causare consistenti perdite economiche, produce pericolose micotossine, come la patulina e la citrinina (Adams e Moss, 2000).



Fig. 29 - Marciume verde-azzurro, causato da *Penicillium expansum*.

Altro importante agente di mummificazione delle castagne è *Phomopsis endogena* (sin. *Phoma endogena*), agente del marciume bruno. I sintomi causati da questo fungo sulle castagne sono stati sovente associati a *Gnomoniopsis* sp., suggerendo una similarità sintomatologica tra i due patogeni. Sebbene il marciume causato da *Phomopsis endogena* possa rappresentare un problema in castagneto e nell'industria (Shuttleworth et al., 2013), in genere esso non costituisce una minaccia importante per la castanicoltura. Il marciume bruno si verifica principalmente in post-raccolta ed è legato alle condizioni di conservazione ed alle infestazioni di insetti, mentre i metodi di raccolta non sembrano giocare un ruolo rilevante sulla sua incidenza (Jermine et al., 2006; Migliorini et al., 2010).

## ***Giallumi e virosi del castagno***

Murolo Sergio e Maresi Giorgio

Nel corso degli ultimi anni, sul territorio nazionale, sono state registrate sempre più frequentemente improvvise alterazioni cromatiche della chioma di castagni sia giovani che secolari. Tali alterazioni, genericamente definite “giallumi”, ad un’attenta osservazione possono esprimere caratteristiche differenziali, che permettono, con una buona attendibilità, di ipotizzarne la causa e l’eventuale natura infettiva. Dalle numerose osservazioni effettuate in occasione dei sopralluoghi in diversi castagneti da frutto nelle Marche, Emilia-Romagna, Toscana e Trentino Alto Adige, supportate da analisi di laboratorio, è stato possibile definire due quadri sintomatologici, descritti rispettivamente come giallume e mosaico del castagno.

### **5.1 Giallume**

L’alterazione a carico delle foglie che va sotto il nome generico di “giallume”, può essere determinata da agenti biotici (fitoplasmi) e agenti abiotici (carenze nutrizionali), che inducono clorosi, ingiallimento, arricciamento e presenza di macchie necrotiche, a carico della lamina fogliare. A partire dagli anni ‘90, il giallume del castagno fu segnalato sulle Alpi e sull’Appennino (Mitterpergher et al., 1998; Antonaroli et al., 2000). Nonostante siano stati condotti alcuni studi specifici sui castagneti emiliani per verificare la presenza di fitoplasmi su campioni prelevati da piante sintomatiche, non fu possibile definire l’agente eziologico del giallume (Mitterpergher et al., 1998). Nel 2002 in Corea su piante di *Castanea crenata* che presentavano foglie con dimensioni ridotte e ingiallimenti, fu determinata la presenza di “Candidatus *Phytoplasma castaneae*” associato a Chestnut witches’ broom” (CnWB)”. Successivamente, nel 2011, anche su piante di *Castanea mollissima* affette da “Chestnut yellow crinkle” (CnYC) fu riscontrato lo stesso fitoplasma in Giappone (Jung et al., 2002; Lin et al., 2011). Le piante colpite da questa malattia manifestavano ingiallimenti, arricciamento delle foglie, microfilliae e accorciamento degli internodi. Più recentemente, in Italia piante di castagno con alterazioni della chioma descritte come giallumi sono risultate infette da ‘Candidatus *Phytoplasma asteris*’ e ‘Candidatus *Phytoplasma solani*’ (Ferrari et al., 2019). Dopo la comparsa nel 2014 di estese aree interessate da ingiallimenti della chioma nella zona di Tenno e Campi, il fenomeno è stato studiato in maniera approfondita in Trentino Alto Adige (Fig. 30). Nell’agosto 2014 si sono verificati degli ingiallimenti improvvisi, parziali o su tutta la chioma, di piante adulte e giovani (Bertoldi et al., 2020). All’ingiallimento internervale di tutta la foglia (Fig. 31), seguiva la necrosi del bordo e l’accartocciamento della stessa verso la fine della stagione vegetativa.

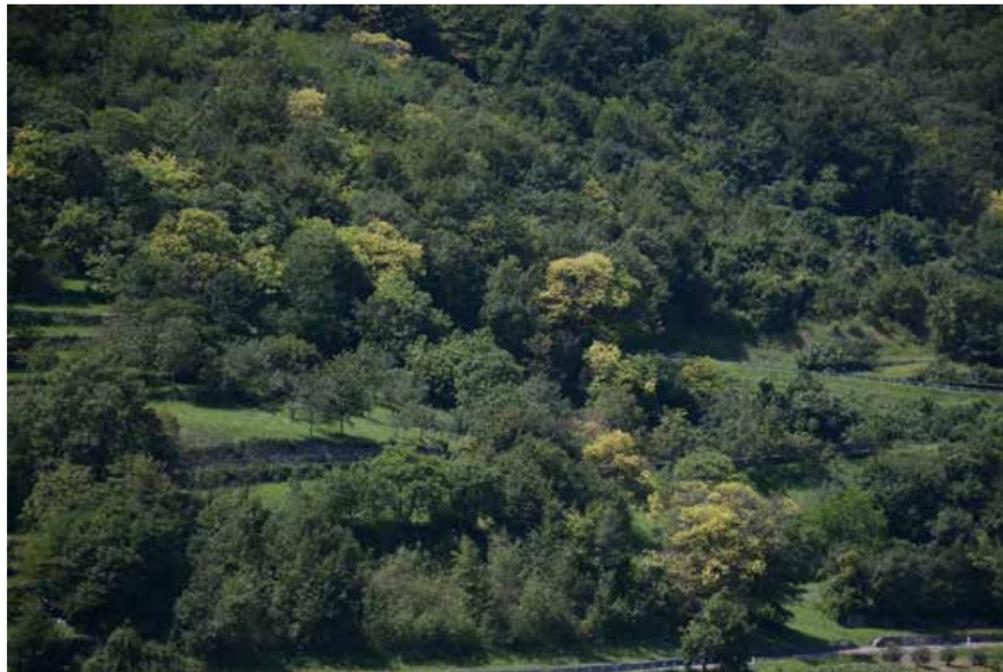
## **4.5 Agenti di marciume radicale e di carie**

Tra le molteplici cause di deperimento del castagno, rivestono particolare importanza gli agenti di marciume radicale e di carie del legno. Tra i più pericolosi, *Armillaria mellea*, patogeno fungino cosmopolita, che attacca un gran numero di ospiti arborei. L’infezione può avvenire rapidamente attraverso le rizomorfe o il micelio del fungo, che può muoversi fino a un metro l’anno (Redfern, 1973). Il sintomo tipico è il caratteristico micelio a ventaglio, che si forma sotto la corteccia alla base del fusto. Il fungo sviluppa caratteristici corpi fruttiferi color miele (i cosiddetti “chiodini”) che si differenziano talvolta alla base degli alberi attaccati (de Mattos-Shipley et al., 2016). Il controllo chimico del marciume radicale da *A. mellea*, oltre ad essere pressoché inefficace, è stato vietato a causa dei suoi impatti negativi sull’ambiente. Pertanto, per il controllo della malattia, vi sono solo opzioni costose e ad alta intensità di manodopera (Ristaino e Thomas, 1997).

Altro importante agente di marciume radicale è l’ascomicete *Rosellinia necatrix*, che attacca un’ampia gamma di specie forestali. Sulle radici delle piante legnose, il fungo può localizzarsi tra la corteccia e il legno, sviluppando i tipici ventagli di micelio, invadendo l’intera radice e provocando marciumi diffusi. Lo sviluppo del micelio di *R. necatrix* e dei filamenti miceliali dipende dalla temperatura, dalla disponibilità di ossigeno, ma soprattutto dall’umidità. Quest’ultima è il fattore che più influenza la crescita del fungo: nei terreni sabbioso-limosi, la crescita ottimale del suo micelio si osserva alla capacità di campo, mentre si riduce quando l’umidità si avvicina al punto di appassimento (Anselmi e Giorcelli, 1990).

Altri agenti di carie del castagno sono alcune specie del genere *Stereum*, *Laetiporus sulphureus* e *Fistulina hepatica* (Diamandis et al., 2001; Regué et al., 2019). I membri del genere *Stereum*, riconoscibili per la morfologia dei loro corpi fruttiferi a forma di crosta sono agenti di carie bianca. *Laetiporus sulphureus* e *Fistulina hepatica* sono invece agenti di carie bruna. Questi due funghi modificano la lignina della parete cellulare senza decomporla, alterandola abbastanza da poter decomporre cellulosa ed emicellulosa. *Laetiporus sulphureus*, specie anche saprotrofa, attacca il durame ma non l’alburno, colonizzando quindi soltanto i tessuti ben lignificati e sviluppandosi principalmente nella porzione centrale del tronco e delle branche principali. Talvolta è possibile osservare strati di micelio gommoso che si originano nelle spaccature e nelle fessure radiali.

Per verificare la causa di questi ingiallimenti repentini sono state effettuate analisi chimiche di laboratorio sul suolo e sulle foglie. Dai dati raccolti nel corso della sperimentazione, è apparso evidente come il sintomo rilevato fosse associabile ad una forte carenza di Mn, aggravata in qualche caso anche dalla mancanza di Fe, verificatasi improvvisamente dopo la primavera assai piovosa del 2014. Questa carenza si è manifestata in particolare lungo i pendii, con evidenti fasce di castagni sofferenti, probabilmente in corrispondenza delle linee di circolazione dell'acqua. Sulle piante campionate si è potuta escludere finora una correlazione fra i sintomi e la presenza di fitoplasmi o altri agenti patogeni. La possibile spiegazione della improvvisa carenza di minerali, che risultano comunque presenti nel suolo, potrebbe essere stata causata dalle elevate precipitazioni e dall'indebolimento delle piante in conseguenza degli attacchi della vespa cinese, che probabilmente hanno anche ridotto la sostanza organica nel suolo e, di conseguenza, l'acidità delle soluzioni circolanti in un contesto comunque calcareo.



*Fig. 30 – Evidente Giallume della chioma di piante di castagno in Trentino.*

Dopo alcuni anni da tale evento, gran parte delle piante segnalate si sono riprese risultando ora asintomatiche: ciò sembrerebbe confermare l'ipotesi di una carenza improvvisa e momentanea di minerali legata ad un mix di condizioni ambientali (forti precipitazioni, scarsa sostanza organica, suolo calcareo) (Bertoldi et al., 2020). Fenomeni analoghi sono stati osservati anche in Appennino, sempre molto localizzati e in presenza di situazioni anomale come intrusioni di marna calcarea in substrati acidi.



*Fig. 31 – Foglie interessate da carenza di Manganese (Mn).*

## 5.2 Il mosaico del castagno

Il mosaico del castagno, pur essendo stato segnalato per la prima volta già negli anni '60 (Gualaccini, 1958), è una malattia rimasta ad eziologia ignota per lungo tempo. Sono seguite nel tempo segnalazioni in Campania (Ragozzino et al., 1986), in Emilia Romagna e nelle Marche, negli anni '90 (Antonaroli et al., 2000). Nello stesso periodo, anche in Francia, Desvignes et al. (1992, 1996) definivano, in seguito ad esperimenti basati sull'innesto, la trasmissibilità della malattia, ipotizzando che si trattasse di una malattia ad eziologia virale o virus-simile.

I sintomi del mosaico possono essere descritti come macchie di colore verde chiaro e scuro sulle foglie, che possono manifestare deformazione asimmetrica della lamina fogliare (Fig. 32).



Fig. 32 – Esempi di iniziale alterazione cromatica a mosaico e deformazione della lamina fogliare.

Questo sintomo è generalmente progressivo; dapprima si presenta lieve e poco visibile, poi, con la stagione, la gravità aumenta, ed è caratterizzato da mosaico brillante, arricciatura fogliare e disseccamento del lembo (Fig. 33). Inizialmente, le foglie sintomatiche si concentrano su alcune branche, e ciò produce sulla chioma delle aree a colorazione più giallastra, piuttosto caratteristiche e distinguibili anche a distanza per la differenza di colore. In seguito, le alterazioni si estendono anche sulle altre branche fino ad interessare talvolta l'intera chioma. La malattia colpisce piante di qualsiasi età, sia completamente sane sia affette da altri patogeni fungini, come *Cryphonectria parasitica* e *Phytophthora cambivora*, gli agenti rispettivamente del cancro corticale e del mal dell'inchiostro. Poiché il mosaico, colpendo l'apparato fogliare, è un sintomo legato a una non adeguata e sufficiente attività fotosintetica, il danno più serio che ne deriva è un deperimento progressivo della pianta, che compromette la produzione dei frutti e causa quindi una perdita in termini di resa economica dei castagneti da frutto.

Il mosaico del castagno è determinato dal Chestnut mosaic virus (ChMV) (Marais et al., 2021), appartenente al genere Badnavirus e alla famiglia Cauloviridae, che comprende 32 specie di pararetrovirus in grado di infettare un ampio range di piante coltivate in tutto il mondo (Borah et al., 2013; Lockhart et al., 1994; Medberry et al., 1990). Trattasi di piante anche importanti a livello economico, che subiscono perdite di raccolta variabili dal 10% al 90%, in base alle specie coinvolte (Bhat et al., 2016). I badnavirus hanno virioni del diametro di circa 30 nm e lunghezza compresa tra 120 e 150 nm che proliferano nel citoplasma e nei vacuoli delle piante

infette (Staginnus et al., 2006). Il genoma è costituito da una molecola singola e circolare a doppio filamento di DNA, della lunghezza totale di 7200 bp, ed è organizzato in tre regioni codificanti (open reading frames).

E' stato dimostrato che il virus del mosaico del castagno è trasmissibile attraverso la comune tecnica dell'innesto (Desvignes et al., 1996; Vetraino et al., 2005). La suscettibilità all'agente ChMV delle specie/cultivar del genere *Castanea* è stata valutata in diversi studi (Desvignes, 1992; 1999b; Desvignes e Lecoq, 1995). In base a tali studi, si potrebbero definire tre categorie di cultivar, da tollerante a moderatamente suscettibile e completamente suscettibile. La maggior parte delle cultivar e degli ibridi di *C. sativa* sono tolleranti al ChMV, sebbene alcuni ibridi francesi ben noti, come "Maraval" (Ca 74), siano completamente suscettibili ed utilizzati come indicatori biologici per rilevare l'agente ChMV in cultivar tolleranti (Desvignes e Lecoq, 1995).

Con la ricostruzione recente del genoma di ChMV, è stato possibile mettere a punto protocolli diagnostici in grado di verificare la presenza del virus, su un ampio numero di campioni di diversa provenienza regionale (Marche, Emilia Romagna, Toscana, Trentino Alto Adige e Piemonte) e di diversa origine genetica (*C. sativa*, *C. crenata*, *C. mollissima*, ibridi). Da tale analisi, circa il 90% dei campioni che mostravano sintomi di mosaico è risultato positivo al test molecolare in PCR, e circa il 30% dei campioni asintomatici presentava infezione virale.



Fig. 33 - (a) Decolorazione a mosaico; (b) arricciamento della lamina fogliare e macchie necrotiche irregolari localizzate ai margini, registrate nei periodi estivi.

Nella frutticoltura specializzata, da decenni la produzione di piante certificate sotto il profilo fitosanitario e della rispondenza varietale, è un processo collaudato in grado di soddisfare standard qualitativi elevati, tracciabilità di filiera e garanzie sulle produzioni. Oggi diventa cogente che anche per una castanicoltura moderna e competitiva, tradizionale o intensiva, si possa intraprendere questo percorso virtuoso di valorizzazione delle produzioni vivaistiche, che partendo dall'individuazione di piante sane capostipite, custodite nei centri di conservazione, per moltiplicazioni successive (premultiplicazione e moltiplicazione), possa

raggiungere i vivai (campo di piante madri) per la distribuzione agli agricoltori (Gamba e Mellano, 2021).

### 5.3 Gestione dei giallumi e delle virosi

Dalle prove sperimentali condotte in campo, il giallume del castagno appare gestibile con concimazioni mirate sia fogliari che al terreno, di manganese o di solfato di ferro. Le piante sembrano comunque anche recuperare in maniera autonoma una volta ripristinato l'equilibrio a livello del suolo. Sotto quest'aspetto il rilascio di foglie e ricci per formare un adeguato strato di *humus* si conferma come una pratica fondamentale nella gestione del suolo del castagneto. Più complessa è la problematica del mosaico: al momento non ci sono segnalazioni di piante morte per la malattia ma ci sono molte evidenze che forti attacchi possano indebolire i castagni aprendo la strada a infezioni a opera dell'agente del mal dell'inchiostro o comunque a fenomeni di deperimento. Anche in questo caso, concimazioni organiche di supporto possono essere utili ad evitare peggioramenti della situazione.

## *I principali insetti parassiti del castagno*

Bracalini Matteo e Panzavolta Tiziana

In condizioni ottimali di equilibrio l'ecosistema "bosco" è sede di innumerevoli relazioni tra organismi differenti, le quali contribuiscono all'evoluzione naturale della biocenosi. Nelle catene alimentari, ad esempio, si assiste ad un costante ed equilibrato consumo di sostanza trofica da parte dei consumatori primari (erbivori) senza l'impoverimento della fonte alimentare. Tuttavia, tali condizioni di equilibrio spesso possono essere alterate da fattori di varia natura, sia abiotica che biotica. Si pensi a come i fattori abiotici (ad esempio gli stress idrici), l'inquinamento, l'introduzione di organismi esotici, il tutto inasprito dall'impatto dei cambiamenti climatici, possano innescare un progressivo deperimento dei boschi a partire dall'alterazione delle relazioni tra gli insetti fitofagi (*i.e.* che si sviluppano alimentandosi di sostanze vegetali) e le loro piante ospiti. In questi casi si osserva, spesso, l'esplosione demografica della specie fitofaga con conseguenti danni alle piante su cui si alimenta. Questi danni alterano le condizioni fitosanitarie del bosco, andandosi a ripercuotere sulla redditività dello stesso. Tali principi sono validi anche per i castagneti da frutto, i quali, più che a una coltura arborea da frutto, sono assimilabili a boschi seminaturali. Gli insetti annoverati tra i fitofagi di *Castanea sativa* in Italia ammontano a circa 50 specie, tuttavia, soltanto alcune di queste sono considerate dannose per la castanicoltura ed i suoi prodotti. Tra i principali insetti nocivi si ricordano il cinipide galligeno del castagno (*Dryocosmus kuriphilus*), le tortrici del castagno (*Pammene fasciana*, *Cydia fagiglandana* e *C. splendana*), i balanini del castagno (*Curculio elephas* e *C. propinquus*) ed infine gli scoltidi del genere *Xylosandrus*. L'esotico *D. kuriphilus* ha causato la perturbazione dei delicati equilibri ecologici del castagneto dopo la sua accidentale introduzione nell'areale del castagno europeo. Più recentemente, in nord Italia, anche altri insetti esotici, appartenenti al genere *Xylosandrus*, stanno creando problemi ai giovani castagni da frutto. Tutti gli altri fitofagi sopramenzionati sono da sempre noti nell'ambito della castanicoltura italiana e, sebbene non mettano a repentaglio la salute delle piante, essi rivestono un ruolo molto importante per i danni arrecati ai frutti.

### 6.1 Cinipide del castagno

*D. kuriphilus* è un imenottero appartenente alla famiglia dei cinipidi (*Cynipidae*). I cinipidi sono insetti galligeni, ossia inducono la formazione di galle sugli organi vegetali delle piante attaccate. Le galle sono sede dello sviluppo larvale dei cinipidi e possono avere forme e dimensioni diverse a seconda della specie. In Italia i cinipidi indigeni sono solitamente associati alle querce, dove non arrecano particolari danni. Il cinipide del castagno, invece, una volta diffusosi al di fuori del suo areale di origine è presto diventato l'insetto più dannoso per la

castanicoltura a livello mondiale. In particolare, i suoi ospiti sono le specie e gli ibridi del genere *Castanea* (e.g. *C. crenata*, *C. dentata*, *C. mollissima*, *C. sativa*). Tale imenottero, originario della Cina, è stato accidentalmente introdotto in altri Paesi a partire dagli anni '40 del secolo scorso ed è oggi un insetto esotico invasivo in Giappone, Corea, Nepal, tutta l'Europa, Turchia, Russia meridionale, Stati Uniti orientali e Ontario. La prima segnalazione in Europa è avvenuta nel 2002 (Brussino et al., 2002), dove dal primo focolaio in territorio italiano, la specie si è poi rapidamente diffusa negli altri paesi europei (EPPO, 2010). Il galligeno si diffonde naturalmente mediante il volo delle femmine adulte in cerca di nuovi siti per la deposizione delle uova. Tuttavia, il materiale di propagazione infestato (marze, talee, piantine, ecc.), commerciato in tutto il mondo, costituisce la via principale di diffusione. Infatti, le difficoltà nel riconoscere le piante attaccate dal cinipide prima dell'apertura delle gemme, del tutto asintomatiche ad una sommaria analisi esterna, complicano notevolmente le operazioni di controllo alle frontiere. Le popolazioni del cinipide sono costituite esclusivamente da esemplari femminili, i quali si riproducono per partenogenesi, ossia senza la fecondazione da parte del maschio. Le femmine adulte misurano circa 2 mm e sono caratterizzate da una colorazione nera di capo, torace e addome, quest'ultimo di forma rotondeggiante. Le zampe sono di colore giallo-brunastro come le antenne le quali, però, diventano più scure nella parte più apicale. Le uova (0,1-0,2 mm) sono di colore bianco e sono dotate di sottile peduncolo. Le larve a maturità misurano 2,5 mm, sono anch'esse bianche e prive di zampe e occhi. Le pupe (2,5 mm) sono dapprima bianche per poi diventare nerastre in prossimità dello sfarfallamento. Il cinipide del castagno compie una generazione all'anno. Le femmine adulte sfarfallano dalle galle a partire dalla metà giugno fino ad inizio agosto (Cho e Lee, 1963). La loro vita è della durata di pochi giorni ed è prevalentemente dedicata alla deposizione delle uova. Queste vengono inserite all'interno delle gemme di castagno, mediante il sottile ovopositore della femmina, che depone fino a 150 uova, singolarmente o in gruppi di più uova, su gemme già attaccate o ancora sane. Dopo poco più di un mese nascono le larve che, durante la prima età, hanno uno sviluppo molto lento che interesserà tutti i mesi autunno-invernali e parte della primavera (Dixon et al., 1986). Alla ripresa vegetativa, di pari passo al progredire dello sviluppo larvale, iniziano anche a svilupparsi le galle su germogli, foglie, stipole ed infiorescenze. Queste sono inizialmente di colore verde per poi arrossare con il passare delle settimane. Le dimensioni delle galle dipendono dal numero di larve al loro interno, con forme irregolari e consistenza sempre turgida fino alla fuoriuscita dei cinipidi (Panzavolta et al., 2012). A fine estate le galle seccano, si induriscono e, se localizzate alla base dei germogli, possono rimanere a lungo sulle piante prima di cadere. Le larve di cinipide si nutrono per 20-30 giorni erodendo le pareti delle cellette interne alla galla, dopodiché si impupano. La femmina adulta si scava una via di uscita con le proprie mandibole ed emerge da un piccolo foro praticato sulla galla. Il danno del cinipide dipende dalla formazione delle galle, le quali possono ridurre o bloccare lo sviluppo degli organi attaccati con effetti negativi sulla fotosintesi, sugli accrescimenti legnosi e sulla fruttificazione. Inoltre, in seguito a forti infestazioni la pianta può subire uno stress fisiologico e diventare così suscettibile ad altre avversità.

#### Lotta al Cinipide del castagno

Per il contenimento di *D. kuriphilus*, data la complessità del contesto forestale dei castagneti, sono da evitare trattamenti con sostanze chimiche. Tali sostanze, oltre ad essere poco efficaci, altererebbero gli equilibri della componente biotica di questi ecosistemi, non facendo altro, in definitiva, che favorire proprio i parassiti del castagno. L'impiego di ibridi di castagno resistenti al cinipide (e.g. *Bouche de Bétizac*) o a ripresa vegetativa tardiva ha avuto risultati incoraggianti, sebbene il valore organolettico dei loro frutti risulti spesso al di sotto degli standard richiesti dal mercato. Dopo 20 anni di convivenza con il problema è possibile affermare che la lotta biologica si è dimostrata la misura più efficace per riportare le popolazioni di *D. kuriphilus* sotto la soglia di danno.

La lotta biologica classica consiste nell'introduzione di un antagonista naturale (un predatore o un parassitoide) proveniente dallo stesso areale della specie dannosa, al fine di ripristinare nel minor tempo possibile gli equilibri perturbati da quest'ultima. L'obiettivo è quello di assicurare l'insediamento della specie antagonista, la sua proliferazione e la sua diffusione, in modo da innescare un naturale processo di contenimento della specie dannosa senza ulteriori interventi da parte dell'uomo. La lotta biologica richiede tempi più lunghi rispetto alla lotta chimica prima che si possano registrare i risultati attesi ed è incompatibile con questa nella misura in cui gli antagonisti naturali risultino minacciati dai fitofarmaci impiegati. Tuttavia, i costi della lotta biologica sono ben più contenuti e si applicano solo nelle fasi iniziali di allevamento e rilascio. Nel caso del cinipide del castagno l'antagonista utilizzato è stato il parassitoide *Torymus sinensis*, imenottero appartenente alla famiglia *Torymidae*, introdotto nei boschi italiani a partire dal 2005 (Quacchia et al., 2008).

L'areale di questo parassitoide coincide con quello del cinipide del castagno (Cina) e l'alimento di cui si nutrono le sue larve sono proprio larve di cinipide. In primavera, infatti, dopo l'accoppiamento degli adulti di *T. sinensis*, le femmine depongono le uova all'interno delle galle di cinipide, esattamente sulla larva all'interno della sua celletta. Questo è possibile grazie al lungo ovopositore delle femmine che garantisce loro di raggiungere anche le cellette più in profondità. Una volta schiuso l'uovo, le larve del parassitoide iniziano a cibarsi delle larve di cinipide. Già in estate le cellette parassitizzate risulteranno occupate esclusivamente dalla larva matura di *T. sinensis*. Lo sfarfallamento avverrà soltanto la primavera dell'anno successivo (parte della popolazione addirittura sfarfallerà dopo un ulteriore anno), quando le galle sono ormai secche e possono trovarsi sia nella lettiera che ancora sulle piante di castagno. Nel caso della diapausa prolungata per un ulteriore anno è la larva matura a sostenere questo periodo di stasi fino al secondo inverno, quando finalmente si impuperà e darà un nuovo adulto in primavera (Ferracini et al., 2015). Sebbene non si tratti di un parassitoide esclusivo di *D. kuriphilus* nel suo areale di origine, *T. sinensis* è stato considerato come 'specifico' nei territori dove è stato rilasciato come agente di lotta biologica. Di fatto, anche a distanza di 17 anni dalla sua introduzione in Italia, sono stati segnalati solo pochi casi di parassitizzazione a spese di cinipidi diversi da *D. kuriphilus*. Inoltre l'impatto sulle loro popolazioni è apparso basso, soddisfacendo comunque il requisito di specificità alla base di ogni piano di lotta biologica.

In Italia, molti parassitoidi indigeni, oltre all'esotico *T. sinensis*, si sono adattati al cinipide del castagno riconoscendolo come nuovo potenziale ospite oltre agli abituali cinipidi delle querce (Panzavolta et al., 2013; Quacchia et al., 2013; Francati et al., 2015; Panzavolta et al., 2018). Tra questi ci sono specie appartenenti a varie famiglie di imenotteri, tra cui anche altri torimidi. In nessun caso, tuttavia, i parassitoidi indigeni sono risultati in grado di contenere in modo

affidabile *D. kuriphilus*, riuscendo a raggiungere solo tassi di parassitizzazione molto bassi o comunque altalenanti. A differenza di *T. sinensis*, che compie una sola generazione all'anno ben sincronizzata con quella del cinipide del castagno, i parassitoidi indigeni ne compiono almeno due. Questo comporta delle difficoltà per i parassitoidi indigeni, infatti, sebbene durante la prima generazione questi possano incrementare le proprie densità di popolazione grazie a grandi quantità di cinipide sulle quali alimentarsi, si avrà successivamente, durante la seconda generazione, un fisiologico decremento in quanto le larve di *D. kuriphilus* non saranno più disponibili. Inoltre, la sincronia tra la prima generazione dei parassitoidi indigeni e le larve del cinipide non è sempre garantita ed è generalmente dovuta al caso. Ne consegue che il loro ruolo appare secondario rispetto a quello sostenuto da *T. sinensis*.

La lotta biologica con *T. sinensis*, tuttavia, prevede, oltre alle iniziali operazioni di rilascio degli individui, un'attenta gestione dei castagneti, in modo da non interferire con l'attività di contenimento dell'agente biologico. È infatti importante favorire l'insediamento del torimide esotico con attente pratiche colturali, oltre che con l'eventuale rilascio di nuovi individui dove necessario. Risulta fondamentale diffondere la consapevolezza dell'importanza delle galle secche di cinipide, le quali contengono, in autunno-inverno, l'intera popolazione di *T. sinensis*. Tali galle devono essere salvaguardate durante le attività di potatura e pulizia del castagneto. Se buona parte delle galle secche venisse inavvertitamente rimossa e distrutta insieme al materiale di risulta delle potature, si andrebbe ad incidere negativamente sulla densità di popolazione di *T. sinensis*, vanificando gli sforzi della lotta biologica. È quindi importante valorizzare questa risorsa e, compatibilmente con le pratiche di prevenzione nei riguardi delle altre malattie del castagno, si consiglia di conservare le galle secche in appositi cumuli di ramaglia o in specifiche gabbie adibite agli sfarfallamenti del parassitoide per un paio di anni (tenendo conto della diapausa prolungata del parassitoide esotico). Il sostegno delle densità di popolazione del *Torymus* può anche essere realizzato mediante il trasferimento di galle secche da castagneti con elevata presenza del parassitoide a castagneti dove il cinipide risulti particolarmente dannoso a causa dell'insufficiente tasso di parassitizzazione.

Per favorire ulteriormente il raggiungimento del desiderato equilibrio tra insetto dannoso e parassitoide è importante salvaguardare le popolazioni di quest'ultimo con semplici pratiche gestionali. Ad esempio, oltre a quanto detto sulla gestione dei residui delle potature, è importante non effettuare le potature verdi nel periodo immediatamente successivo al rilascio in campo degli adulti di *T. sinensis*, come anche l'anno successivo. Infatti, il disseccamento dei getti interessati, oltre ad interrompere lo sviluppo del cinipide, inciderebbe negativamente anche sulle popolazioni del torimide. Infine, è sempre sconsigliato intervenire con fitofarmaci (lotta chimica) poiché non esistono prodotti specifici selettivi che possano garantire la tutela di *T. sinensis*.

Nelle varie Regioni italiane i risultati positivi della lotta biologica al cinipide del castagno, che hanno permesso di ridurre le popolazioni del cinipide sotto la soglia di danno, sono stati registrati in tempi variabili (5-10 anni). Tuttavia, le popolazioni dei due insetti (il fitofago e il suo antagonista) sono soggette a normali oscillazioni della loro densità. Infatti, al diminuire delle popolazioni del cinipide grazie all'attività del parassitoide, segue una fisiologica diminuzione delle popolazioni di quest'ultimo. Tuttavia, generalmente il parassitoide esotico riesce in poco tempo a recuperare in autonomia, incrementando nuovamente la sua densità di

popolazione non appena il cinipide si ripresenta con infestazioni più intense, garantendo quindi una convivenza accettabile per la castanicoltura.

## 6.2 Tortrici del castagno

Come già anticipato, le tortrici del castagno (*Pammene fasciana*, *Cydia fagiglandana* e *Cydia splendana*) non costituiscono un rischio per la vitalità delle piante di castagno, in quanto i loro danni si ripercuotono solo sulla fruttificazione. Tuttavia, il loro ruolo di insetti dannosi alla castanicoltura è senza dubbio considerevole, con danni al raccolto che possono superare abbondantemente il 50%. Si tratta di lepidotteri appartenenti alla famiglia *Tortricidae* ed il danno è causato dalle loro larve che si sviluppano a spese delle castagne.

Il ciclo di sviluppo delle tre specie è caratterizzato dallo sfarfallamento degli adulti in momenti diversi della stagione vegetativa, che pur sovrapponendosi in parte, evidenziano dei picchi di attività ben distinti durante il periodo della fruttificazione del castagno. Ne consegue anche la scalare comparsa dei danni a seconda delle specie presenti che, per questo, sono conosciute anche con i nomi comuni di tortrice precoce delle castagne (*P. fasciana*), tortrice intermedia delle castagne (*C. fagiglandana*) e tortrice tardiva delle castagne (*C. splendana*). *P. fasciana* ha una distribuzione euroasiatica ed è associata anche ai frutti di quercia, faggio e acero. La specie è già presente come adulto in tarda primavera, con un picco di intensità a maggio-giugno, quando i castagni sono in fioritura e si differenziano i primi ricci. Gli adulti hanno un'apertura alare di 15-18 mm e sono caratterizzati da una macchia bianca che ricopre buona parte delle ali anteriori. Dopo gli accoppiamenti, l'ovideposizione avviene sulle foglie e le giovani larve riescono a sopravvivere alcuni giorni alimentandosi di queste o dei tessuti esterni alla base dei giovani ricci. Una volta penetrate nei ricci, viste le dimensioni ancora ridotte di questi ultimi, le larve sono costrette ad abbandonare più volte i frutti, andando a danneggiare fino a sei ricci prima di completare il loro sviluppo. Questi ricci danneggiati spesso cadono precocemente rispetto al periodo della 'normale' cascola. È invece meno frequente il danno a carico delle castagne, poiché ad opera di larve più tardive. Di fatto questa caratteristica precocità può portare ad una sottostima dei danni di questa specie qualora ci si basasse soltanto sull'esame dei frutti bacati alla raccolta. In questo momento le poche larve di *P. fasciana* osservabili nei frutti bacati sono solitamente mature e si riconoscono per la presenza di tubercoli piliferi di un colore rosso scuro. Una volta mature, le larve fuoriescono definitivamente dai frutti e cercano un ricovero dove trascorrere l'inverno, solitamente nelle screpolature della corteccia del fusto o nel terreno. Nella primavera successiva avverrà l'impupamento, seguito dagli sfarfallamenti della nuova generazione.

*C. fagiglandana* è la tortrice intermedia, i suoi voli hanno un picco di attività in piena estate per poi proseguire, con minore intensità, nei primi mesi autunnali. Questa specie, i cui adulti hanno un'apertura alare di 14-17 mm con un aspetto obliquamente striato, predilige i frutti di faggio e quercia. In via generale, nocciolo e castagno sono meno attaccati. Tuttavia, in alcune aree come la regione Campania, il danno a carico delle castagne può superare quello della congenere *C. splendana*. Le uova vengono deposte direttamente sui ricci e le larve penetrano

immediatamente nei frutti. Una volta matura, la larva, di colore rosato, si apre un foro circolare nella buccia della castagna e si lascia cadere a terra dove troverà riparo per lo svernamento.

*C. splendana* inizia il volo a fine estate con un picco di massima attività in settembre. Gli adulti (apertura alare di 16-19 mm) si possono riconoscere dalla presenza di una banda nera sulle ali anteriori e dall'assenza della striatura propria di *C. fagiglandana*. Le ovideposizioni avvengono quando ormai i frutti sono in buona parte formati e, una volta schiuse le uova, le giovani larve penetrano subito nei ricci. Dapprima, viene scavata una galleria periferica causando un danno superficiale a tutte le castagne presenti. Dopodiché, la larva penetra in una delle castagne, rimanendoci fino alla raggiunta maturità. I ricci attaccati nel giro di 30-40 giorni cadono prematuramente e le larve mature, biancastre, fuoriescono per svernare nel terreno come in *C. fagiglandana*. Per entrambe le cidae l'impupamento avverrà una volta trascorso l'inverno: in tarda primavera per *C. fagiglandana*, in estate per *C. splendana*.

#### Lotta alle tortrici del castagno

Per le stesse ragioni menzionate per la lotta al cinipide del castagno non esistono trattamenti di lotta chimica sostenibili per il contenimento delle tortrici. Anche l'impiego di prodotti biologici più o meno selettivi come alcuni formulati a base del batterio *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* è di difficile attuazione. Infatti, la somministrazione dei trattamenti deve coincidere con il momento di schiusura delle uova, prima che le giovani larve penetrino nei frutti, richiedendo quindi la massima sincronizzazione con il ciclo di ogni specie target. L'attuazione delle strategie di contenimento è resa più difficoltosa dalla convivenza delle tre specie di tortrici, che essendo spesso presenti in momenti diversi negli stessi castagneti, costringono a trattamenti ripetuti nel tempo.

Per produzioni di elevata qualità è contemplabile il ricorso a tecniche di contenimento utilizzate nel passato, ma ancora oggi meritevoli di considerazione. Tra queste si ricorda la 'curatura' e le 'ricciaie'. La curatura consiste nell'immersione delle castagne raccolte in acqua calda (50 °C) per 45 minuti e di nuovo in acqua fredda (15-18°C) per altri 45 minuti. Il procedimento porta alla morte tutte le larve presenti nelle castagne, evitando che i danni si intensifichino in post raccolta. Recentemente sono stati effettuati studi che hanno dimostrato l'efficacia di alcuni prodotti derivati dall'agente di biocontrollo *Trichoderma harzianum* che, se aggiunti all'acqua della curatura, possono contribuire significativamente ad allungare la durata di conservazione delle castagne in post raccolta, proteggendole, ad esempio, dai funghi del marciume (Ruocco et al., 2016). La tecnica delle ricciaie consiste nell'accumulare i frutti raccolti su basi di cemento o pietra (oggi anche plastica), in modo da impedire l'interramento delle larve a fine sviluppo. Ciò impedisce lo sfarfallamento delle nuove generazioni, contribuendo al contenimento delle specie responsabili del bacato delle castagne. Entrambi metodi di cui sopra, se accompagnati da un'attenta eliminazione dei ricci caduti precocemente, possono contribuire al contenimento delle due cidae senza costi eccessivi, mentre non sono efficaci nei confronti della più precoce *P. fasciana*.

Tra le tecniche di lotta di più recente introduzione si ricordano, invece, il 'disorientamento sessuale' e la lotta biologica con organismi entomopatogeni. Per disorientamento sessuale si intende la creazione di numerose tracce odorose feromoniche che imitando quelle della

femmina sono in grado di distrarre i maschi, così da ostacolare gli accoppiamenti con conseguente riduzione della densità delle future generazioni della specie. Tali sostanze vengono rilasciate nell'ambiente mediante una grande quantità di erogatori, solitamente appesi alle chiome dei castagni. L'area trattata deve essere sufficientemente grande da limitare l'impatto delle femmine fecondate provenienti da castagneti limitrofi non trattati. Recentemente sono stati sviluppati nuovi metodi di erogazione in modo da agevolarne l'applicazione e renderla più ecosostenibile (Rama et al., 2020). Ad esempio, l'impiego di fili diffusori di feromone in bio-plastica biodegradabile e cellulosa. I primi risultati ottenuti con questi nuovi sistemi di disorientamento sessuale sono incoraggianti e meritano ulteriori sperimentazioni in modo da perfezionare il metodo di lotta, ad esempio cercando di abbattere i costi, al momento piuttosto elevati.

Per quanto riguarda la lotta biologica gli organismi utili in grado di svilupparsi a spese delle cidae (organismi entomopatogeni) possono essere funghi ascomiceti (e.g. *Beauveria bassiana*, *Metarhizium brunneum*) o nematodi (e.g. *Steinernema* spp., *Heterorhabditis* spp.). Tra i due gruppi di antagonisti naturali il più promettente nei confronti delle tortrici del castagno è quello dei nematodi, in quanto l'impiego dei suddetti funghi in ambito castanicolo trova forti limitazioni. Infatti, è difficile raggiungere le larve con il trattamento all'interno dei frutti, dal momento che questi offrono alle larve un'ottima protezione. Se invece il trattamento è diretto alle larve svernanti nel suolo, i funghi potrebbero trovare in questo ambiente delle condizioni di sviluppo non idonee. I nematodi entomopatogeni, invece, sono dei vermi cilindrici di piccolissime dimensioni in grado di muoversi e cacciare attivamente le larve svernanti delle tortrici nel terreno sfruttando l'acqua presente. Una volta raggiunto l'ospite, i nematodi vi penetrano attraverso le aperture naturali e iniziano a riprodursi. Durante il ciclo riproduttivo i nematodi rilasciano dei batteri simbiotici che causano la morte dell'insetto. In commercio esistono formulati di nematodi entomopatogeni, ciascuno con le proprie modalità consigliate di impiego, ma generalmente si tratta di stadi giovanili infettivi (dotati di particolari adattamenti fisiologici per resistere alle condizioni di stress) in una matrice polverulenta da diluire in acqua subito prima del trattamento e da distribuire sul terreno irrorando soprattutto le zone più pianeggianti dove si accumulano naturalmente le castagne e i ricci caduti. Il fattore limitante nel caso dei nematodi è proprio l'acqua, senza la quale essi non sono in grado di esplicare al meglio la loro azione. Per questo, al fine di garantire l'insediamento dei nematodi, i momenti migliori per un eventuale trattamento contro le tortrici svernanti nel terreno sono la primavera (prima dell'incrisalidamento) o l'autunno, possibilmente in concomitanza di eventi piovosi, oppure utilizzando grandi quantitativi di acqua al momento del trattamento.

Come per la distrazione sessuale, anche l'impiego dei nematodi entomopatogeni dovrebbe avvenire su ampie superfici, in modo da ridurre l'impatto di insetti provenienti da castagneti limitrofi non trattati. L'efficacia dei nematodi entomopatogeni, quando applicata su ampie superfici, è stata dimostrata in varie prove di campo, con una riduzione del bacato che ha raggiunto in alcuni casi il 50-55% (Curto et al., 2009). Nuove sperimentazioni sono, comunque, necessarie per valutare la persistenza in campo dei nematodi distribuiti con un singolo trattamento, che può variare a seconda dei nematodi utilizzati e delle condizioni climatiche delle aree trattate. È anche necessario massimizzare la resa in termini di mortalità delle tortrici a fronte di costi generalmente elevati.

### 6.3 I balanini delle castagne

Appartenenti alla famiglia dei curculionidi *Curculio elephas* e *Curculio propinquus* sono conosciuti come i balanini o punteruoli delle castagne. Gli adulti possono raggiungere i 10 mm di lunghezza e sono caratterizzati, come avviene in molti curculionidi, da un lungo rostro all'estremità del quale si trova l'apparato boccale. I balanini attaccano la fruttificazione del castagno (insieme a quella delle querce caducifoglie) durante il periodo di agosto-settembre. Le femmine raggiungono la superficie del riccio con il loro rostro, più lungo rispetto a quello dei maschi, lo forano erodendolo con le mandibole e vi depongono le uova. Solitamente non si osservano più di 2-3 larve di balanino nelle castagne infestate. Non è raro, poi, trovare larve di *Cydia* insieme a quelle di balanino all'interno della stessa castagna. Le larve, a differenza di quelle delle tortrici, non hanno zampe ed hanno una caratteristica forma a 'C'. Al termine del loro sviluppo, le larve mature si scavano un foro di uscita circolare e abbandonano la castagna per andare a prepararsi una celletta terrosa a 5-15 cm di profondità nel terreno, dove trascorreranno l'inverno. L'impupamento avviene nei mesi di giugno-luglio dell'anno successivo, sebbene parte della popolazione possa rimanere allo stadio di larva per una diapausa prolungata anche alcuni anni. I nuovi adulti saranno presenti in sincronia con la maturazione dei frutti e si porteranno sulle chiome per ripetere il ciclo.

I danni arrecati dai balanini alla produzione di castagne risultano, in molte zone di Italia, più gravi rispetto a quelli delle tortrici, con percentuali di bacato talvolta superiori al 90%. *C. propinquus* sembra essere più comune e dannoso di *C. elephas* nella regione Lazio, mentre altrove i ruoli sono invertiti (Paparatti e Speranza, 2005).

#### Lotta ai balanini delle castagne

Sebbene esistano dei fitofarmaci registrati per la lotta ai balanini delle castagne, questi non sono prodotti selettivi e quindi possono incidere negativamente sull'entomofauna utile (e.g. insetti impollinatori). Inoltre, tali sostanze sono spesso sottoposte a restrizioni normative nelle Regioni in cui il castagneto è equiparato al bosco, piuttosto che ad una coltura specializzata. Tuttavia, per contenere le popolazioni dei balanini possono essere effettuate le comuni pratiche gestionali finalizzate a ridurre il numero delle larve che riescono ad interrarsi con successo. Ad esempio, è sufficiente rimuovere tempestivamente tutte le castagne da terra durante la raccolta (infestate e non) per poi distruggere quelle infestate prima dello stoccaggio. Inoltre, l'allestimento di reti a maglia fine sul terreno, sotto la proiezione delle chiome, impedisce da un lato l'interramento delle larve della generazione in corso e dall'altro ostacola la fuoriuscita dei nuovi adulti già presenti nel terreno.

Infine, quanto detto per le tortrici riguardo alle 'ricciaie' e alla 'curatura' continua a valere anche per la lotta ai balanini. Lo stesso dicasi per gli agenti di biocontrollo già menzionati (funghi e nematodi entomopatogeni), che sono utilizzabili anche per la lotta biologica nei confronti dei balanini. In particolare, esistono dei formulati in commercio a base di nematodi dei generi *Steinernema* e *Heterorabditis* che possono essere impiegati per il contenimento delle larve interrate dei due curculionidi. Per di più, per quanto riguarda i funghi entomopatogeni, i risultati delle prove nei confronti dei balanini sono più incoraggianti rispetto a quanto osservato

fino ad oggi per le tortrici. Infatti, il fungo entomopatogeno *Metarhizium brunneum* è stato testato in campo per il contenimento di *C. elephas* con buoni risultati (Asan et al., 2017). La pratica di ammucciare i ricci prima dei trattamenti permette di ottenere tassi di mortalità delle larve di balanino anche dell'80%.

### 6.4 Gli *Xylosandrus*

Due specie di scolitidi esotici appartenenti al genere *Xylosandrus* sono state fino ad oggi segnalate come responsabili di danni rilevanti su castagno in Italia: *Xylosandrus germanus* e *X. crassiusculus*. Nel 2018 sono stati osservati importanti attacchi dello scolitide *X. germanus* in giovani castagneti del Nord Italia. Tale specie è stata introdotta accidentalmente in Europa a partire dalla metà del XX secolo e segnalata per la prima volta in Italia nel 1992 (Dutto et al., 2018). Il suo areale di origine è il Sud-Est Asiatico e si tratta di un insetto xilomicetofago associato a molte specie vegetali, principalmente latifoglie. Infatti, come avviene per tutti i coleotteri xilomicetofagi, le larve di *X. germanus* si sviluppano nel legno delle piante ospiti, ma si nutrono di funghi simbionti veicolati sulla pianta dall'insetto stesso che ne trasporta le spore. Il micelio di questi funghi si sviluppa nelle gallerie scavate dagli adulti e diventa l'alimento per le larve in via di sviluppo. Sempre nel 2018 anche *X. crassiusculus* è stato segnalato per la prima volta su castagno in Italia (Piemonte), alcuni anni dopo le prime osservazioni su piante di carrubo in altre Regioni italiane (Ferracini et al., 2019).

A partire dal mese di marzo gli individui adulti di *Xylosandrus* (lungi circa 2 mm) scavano delle gallerie nel legno delle piante ospiti e la risultante rosura viene espulsa dal foro di ingresso sotto forma di caratteristici cilindri compatti, lunghi anche 3-4 centimetri. Questo è un segno distintivo che permette un più facile riconoscimento delle prime fasi dell'infestazione, quando i cilindretti di rosura non sono ancora stati fatti cadere dalla pioggia o dal vento. La femmina ovidepone nelle gallerie, dove si svilupperanno anche le larve della nuova generazione. Una volta giunti a maturità gli individui della stessa covata si accoppiano tra loro sempre all'interno delle stesse gallerie e saranno solo le femmine fecondate a sfarfallare, fuoriuscendo dal medesimo foro scavato dai progenitori al momento dell'ovideposizione. Nel fuoriuscire, le femmine si imbrattano ulteriormente con le spore dei funghi simbionti e spiccano il volo alla ricerca di nuovi ospiti. Le generazioni completate ogni anno possono essere 2-3 e sarà quella autunnale a trascorrere l'inverno allo stadio di adulto all'interno delle gallerie.

L'attacco può essere a carico sia di rami che fusto e nel caso di infestazioni a carico di astoni di 1-3 anni post-impianto le piante sono sempre destinate a morire in breve tempo, mentre quelle di 4-7 anni subiscono un forte deperimento (Dutto et al., 2018). Il danno è dovuto all'azione patogena dei funghi simbionti di *Xylosandrus* unitamente allo scavo di gallerie da parte dell'insetto. Il micelio fungino che si sviluppa all'interno delle gallerie non solo costituisce l'alimento per le larve che se ne nutrono in forma gregaria, ma viene assunto anche dai nuovi adulti che devono maturare sessualmente. Le piante attaccate deperiscono rapidamente, i rami attaccati disseccano nel giro di poche settimane e nel caso di gravi infestazioni l'intera pianta può andare incontro alla morte. Internamente, oltre alla presenza delle gallerie di riproduzione, i segni dell'infestazione da *Xylosandrus* sono riconoscibili

## ***Nuovi strumenti per la diagnosi dei parassiti del castagno***

Aglietti Chiara, Benigno Alessandra e Moricca Salvatore

La possibilità di rilevare in maniera certa la presenza e la quantità di un parassita in un tessuto vegetale analizzato, anche prima che i sintomi diventino visibili, costituisce un fattore fondamentale per l'implementazione di efficienti strategie di prevenzione, controllo e gestione delle avversità parassitarie (Thompson et al., 2016). Infatti, la possibilità di identificare in maniera certa un patogeno in tessuti vegetali anche in stadi asintomatici e in presenza di basse quantità di inoculo è uno degli scopi principali di una diagnosi efficiente, volta a prevenire l'introduzione di specie aliene e la diffusione incontrollata di patogeni e insetti. Nel caso di insetti e patogeni invasivi, come ad esempio *Cryphonectria parasitica* e *Dryocosmus kuriphilus*, le cui invasioni hanno minacciato nel corso della storia i castagneti, sono richiesti sistemi integrati di allerta precoce e interventi rapidi capaci di prevenire i danni che questi organismi potrebbero creare nei nuovi ambienti, portando a diffusioni incontrollate che potrebbero ripercuotersi sia sull'equilibrio dell'ecosistema invaso che sull'economia locale (Rainford et al., 2020). Tuttavia, gli strumenti di diagnosi possono rivelarsi estremamente utili anche quando si verificano recrudescenze di malattie note (e.g. *Septoria* sp. leaf blotch, Chestnut mosaic virus, deterioramento o mummificazione delle castagne causate da *Phomopsis*) o in caso di epidemie causate da nuovi parassiti emergenti (e.g. *Gnomoniopsis spp.*). Tali avversità sono spesso legate a cambiamenti delle condizioni climatiche e/o ambientali, ma richiedono interventi mirati a mitigarne l'impatto (Silva-Campos et al., 2022; Turco et al., 2021). In ogni caso, prima il parassita viene identificato, prima sarà possibile decidere quali strategie di gestione applicare, permettendo anche di scegliere come allocare i fondi e le risorse nei diversi siti di interesse (Hamelin et al., 2020). Un esempio dell'importanza dell'identificazione precoce di un'infezione può essere dato, ad esempio, dalla necessità di avere prodotti di qualità nella catena di produzione e vendita delle castagne. Infatti, la possibilità di isolare tempestivamente le castagne infette o verificare con sicurezza l'incidenza del marciume, permette di applicare efficaci misure di gestione per minimizzare le perdite economiche.

### **7.1 Metodi di diagnosi tradizionale: vantaggi e svantaggi**

La diagnosi visiva, che generalmente viene usata nei contesti castanicoli, e che è la tipologia più frequentemente adottata anche nell'analisi di piante infette, può portare a sottostimare la presenza di un marciume, lasciandolo proliferare in maniera incontrollata (Vettraino et al., 2021). In patologia vegetale è infatti importante identificare e segnalare quanto prima una malattia ed il relativo agente causale, perché dalla tempestività con cui il parassita viene

dall'imbrunimento o azzurrimento dei tessuti legnosi, dovuti all'azione patogena dei funghi simbionti che, a partire dalle gallerie di *Xylosandrus*, possono poi colonizzare l'intera pianta.

#### Lotta agli *Xylosandrus*

La lotta nei confronti di questi scolitidi deve basarsi innanzitutto sulla prevenzione, favorendo le condizioni vegetative dei castagni da difendere. Occorre, quindi, essere consapevoli di tutti i fenomeni che possono causare l'indebolimento (anche solo temporaneo) delle piante, come ad esempio traumi da potatura, crisi post trapianto, stress idrico, come anche l'azione parassitaria di altri organismi. Saper riconoscere le piante più suscettibili alla colonizzazione da parte di *Xylosandrus* permette di prendere provvedimenti colturali atti a ristabilire nel minor tempo possibile la normale vigoria dei castagni. Inoltre, l'attento monitoraggio del castagneto consente di potere effettuare una precoce diagnosi di eventuali focolai in modo da poter intervenire repentinamente con le dovute misure di eradicazione. Infatti, non essendo disponibili rimedi chimici o biologici efficaci, tutto il materiale infestato deve essere pirodistrutto prima dello sfarfallamento delle nuove generazioni, così che l'infestazione non possa diffondersi ulteriormente nei castagneti limitrofi. Nel caso in cui l'infestazione interessi solo parte delle chiome, la lotta meccanica mediante la potatura dei soli rami attaccati permette di ottenere buoni risultati di contenimento, avendo cura di tagliare 10 cm a monte del primo foro di *Xylosandrus*. Anche in questo caso è importante distruggere tutto il materiale di risulta mediante bruciatura, in quanto la cippatura non garantisce la totale mortalità degli scolitidi presenti all'interno del legno infestato.

identificato dipende spesso l'efficacia del monitoraggio e della sorveglianza fitosanitaria (Brown et al., 2020). Generalmente, nella diagnosi di routine, i metodi convenzionali, che possono spaziare dall'analisi visiva dei sintomi alla coltura del parassita (seguita dall'osservazione dei suoi caratteri morfologici), sono preferiti in quanto sono i più semplici, ripetibili ed economici (Ray et al., 2017). Tuttavia, per identificare con certezza l'agente causale di una malattia con i metodi convenzionali, è necessario allevare in purezza l'organismo da analizzare. L'isolamento e l'analisi di alcuni parassiti piuttosto recalcitranti alla coltura in laboratorio su mezzo agarizzato (ad es., *Phytophthora* spp.), a partire da materiale vegetale, suolo o acqua, possono richiedere l'uso di substrati selettivi (es. PARP, PARPNH, PCH), che possono essere addizionati con sostanze selettive ed inibenti i microorganismi indesiderati, quali ampicillina, rifampicina, pimarcina o pentacloronitrobenzene, ed affiancati da tecniche di isolamento specifiche (es. baiting) (Sena et al., 2018). Altri parassiti, come ad esempio *Cryphonectria parasitica* e *Gnomoniopsis* spp., possono essere coltivati su substrati universali quali PDA (Potato Dextrose Agar) e MEA (Malt Extract Agar). Data la necessità di lavorare in condizioni sterili per non contaminare la coltura e di evitare di usare sostanze che possono essere nocive per l'operatore, questi metodi richiedono un laboratorio all'uopo attrezzato e notevoli competenze specializzate (Baldi e La Porta, 2020). Inoltre, i sintomi osservati in campo potrebbero essere aspecifici e non facilmente individuabili da un occhio poco esperto, così come organismi tassonomicamente correlati potrebbero risultare difficili da discriminare sulla base dei solcaratteri morfologici. Tali difficoltà limitano l'efficacia del metodo diagnostico, richiedendo ulteriori test per arrivare a una diagnosi certa (Hariharan e Prasannath, 2021). Nel caso degli insetti, invece, risulta necessario avere un'elevata esperienza e conoscenza dei principali caratteri morfologici che possono essere discriminanti per una specie, ma esistono specie che non possono essere distinte basandosi solo su osservazioni morfologiche. Inoltre, anche disponendo delle competenze e di un laboratorio attrezzato, non è sempre possibile allevare in purezza tutti i microorganismi (ad es., i funghi biotrofi). Soprattutto, quindi, per l'identificazione di alcuni patogeni fungini si richiedono talvolta competenze di microbiologia avanzate e lunghi tempi di attesa, che possono variare da settimane a mesi (Sena et al., 2018). In aggiunta, i metodi convenzionali sono spesso etichettati come poco sensibili, non riuscendo a rilevare basse quantità dell'organismo di interesse che possono presentarsi in corrispondenza di bassi livelli di infestazione o di stadi di latenza della malattia (Ivanov et al., 2021). Per risolvere alcune di queste problematiche, la ricerca si è in tempi recenti concentrata sullo sviluppo di metodi diagnostici basati su tecniche immunoenzimatiche, in grado di riconoscere il parassita sulla base di specifiche reazioni "antigene-anticorpo". Fra questi, stanno avendo ampio successo alcune tipologie di test rapidi per *Phytophthora* ad altri microorganismi fitopatogeni come la tecnica lateral flow device (LFD). Questa metodica si pone come una valida soluzione diagnostica perché permette di identificare il parassita in pochi minuti e in maniera semplice (Benavent-Celma et al., 2022). Tuttavia, sebbene queste tecniche risultino valide alternative per la diagnosi dei virus, per organismi più complessi, come i funghi, la selezione di anticorpi sufficientemente specifici per ottenere saggi immunoenzimatici sufficientemente discriminanti è laboriosa, costosa e richiede molto tempo (Hariharan e Prasannath, 2021). Come conseguenza, spesso questi metodi non riescono a discriminare i parassiti vegetali a livello di specie, richiedendo ulteriori analisi per ottenere identificazioni precise. Essi vengono quindi usualmente impiegati soltanto in saggi di

screening iniziale, che devono essere successivamente integrati da analisi diagnostiche più accurate (Ray et al., 2017).

## 7.2 La nascita della diagnosi molecolare: la reazione di amplificazione polimerasica (PCR) e le sue varianti

La scoperta negli anni '80 del secolo scorso della reazione a catena della polimerasi (PCR) ha posto le basi per la diagnosi molecolare, ritenuta ad oggi uno dei metodi diagnostici di più alte sensibilità e specificità che permette l'amplificazione e l'analisi di determinate sequenze di DNA o RNA presenti nel genoma dell'organismo di interesse (Silva et al., 2021). La PCR è una reazione mediante la quale il DNA può essere copiato e amplificato. Sfrutta enzimi (DNA polimerasi) per amplificare specifiche regioni di DNA utilizzando brevi e specifici oligonucleotidi (primer) che vengono aggiunti alla reazione e che agiscono da innesco per la costruzione *in vitro*, di una di sequenza di DNA complementare a partire da un filamento a singola elica. Il primo e più comunemente usato di questi enzimi è la Taq DNA polimerasi (da *Thermus aquaticus*); anche la Pfu DNA polimerasi (da *Pyrococcus furiosus*) è ampiamente utilizzata a causa della sua maggiore fedeltà durante la copia del DNA. Sebbene questi enzimi siano leggermente diversi, entrambi hanno due capacità di base che li rendono utili per la PCR: 1) possono generare nuovi filamenti di DNA utilizzando un modello di DNA e primer e 2) sono resistenti al calore. La resistenza al calore è necessaria perché dopo ogni ciclo di copiatura del DNA, il risultante DNA a doppio filamento (dsDNA) deve essere denaturato, intorno ai 95°C, affinché si svolga e si separi in due singoli filamenti. La reazione viene quindi raffreddata per consentire ai primer di appaiarsi al DNA stampo e consentire alla DNA polimerasi di iniziare l'allungamento aggiungendo i singoli nucleotidi complementari, per creare un nuovo filamento completo di DNA. Le reazioni di amplificazione non mantengono una perfetta efficienza dopo diversi cicli di amplificazione perché i reagenti all'interno della PCR vengono consumati dopo molti cicli e la reazione raggiunge un plateau. Inoltre, anche il riscaldamento del prodotto in accumulo può contribuire all'effetto plateau. Poiché la reazione è in grado di amplificare in modo efficiente il DNA solo fino a un certo punto (prima che si raggiunga il plateau), non c'è modo di desumere in modo affidabile la quantità di DNA iniziale sulla base della quantità di DNA sintetico ottenuto al termine della PCR (Valasek and Repa, 2005). Un miglioramento in tal senso è stato dato dallo sviluppo della PCR quantitativa, in grado di analizzare i prodotti in tempo reale (Heid et al., 1996). Si tratta di una modifica alla reazione a catena della polimerasi che si basa sulla rilevazione di un segnale fluorescente prodotto durante l'amplificazione di un bersaglio di DNA. La rilevazione mediante fluorescenza consente una precisa quantificazione di specifici acidi nucleici anche da una miscela complessa (Fraga et al., 2014). Piuttosto che dover esaminare la quantità di DNA target accumulato dopo un numero fisso di cicli, il test real-time PCR prende a riferimento il numero di cicli effettuati nel momento in cui viene rilevato per la prima volta il segnale di amplificazione, cioè il numero di cicli in corrispondenza del quale l'intensità di emissione di fluorescenza sale al di sopra del rumore di fondo. Quel numero di ciclo è indicato come ciclo di soglia (Ct). Il Ct è determinato nella fase esponenziale della reazione PCR ed è inversamente proporzionale al numero di copie del target. Pertanto,

maggiore è il numero di copie iniziale dell'acido nucleico target, prima si osserva un aumento significativo della fluorescenza (ad un valore Ct inferiore). I test di real-time PCR sono altamente riproducibili e possono essere utilizzati come analisi qualitativa. La diagnosi può essere ottenuta con real-time PCR utilizzando fluorofori generici non specifici che legano il DNA (ad esempio, SYBR Green), primer marcati con fluorofori (ad esempio, LUX, FRET) o sonde specifiche per sequenza (ad esempio, Scorpions, TaqMan). Lo sviluppo di saggi basati su questa reazione e sulle sue successive varianti (es. PCR real-time quantitativa, multiplex) per i parassiti del castagno, ha permesso diagnosi sensibili, specifiche, accurate e ripetibili direttamente nella matrice di interesse (pianta, suolo, acqua) senza necessità di allevarli in laboratorio (Rubio et al., 2017; Chandelier et al., 2019; Puertolas et al., 2021; Turco et al., 2021; Silva-Campos et al., 2022). Queste tecniche, oltre ad essere usate per scopi di sorveglianza, possono essere usate anche come strumenti di ricerca per lo studio di caratteri ancora poco conosciuti dei parassiti, come, ad esempio, per studiare la struttura di una popolazione, caratterizzare i mating-types, esplorare l'efficacia o la resistenza a trattamenti (Sillo et al., 2017). Consentendo di rilevare anche quantità minime di DNA target (ad esempio il DNA di una singola spora fungina), tali metodiche si prestano validamente per distinguere tra entità subspecifiche all'interno di una singola specie. Esse vengono dunque largamente utilizzate quando è richiesta una maggiore sensibilità o un maggiore controllo sulla specificità (Williams et al., 2001; McCartney et al., 2003).

### 7.3 La diagnosi molecolare *in situ*: la tecnica LAMP e le nuove metodiche

Gli sforzi della ricerca, oltre a ricercare un miglioramento della rapidità, semplicità ed economicità dell'identificazione molecolare, si sono da alcuni anni indirizzati verso l'applicazione della diagnosi direttamente *in situ* (Baldi e La Porta, 2020). Il trasferimento della diagnosi direttamente in campo si pone come una sfida importante per controllare e limitare la diffusione di agenti patogeni, consentendo risposte più rapide alle minacce portate dai parassiti. La diagnosi molecolare *in situ* non è utile solo ai servizi di ispezione, che possono trarre vantaggio da queste tecniche, ma può essere sfruttata anche dagli agricoltori, dai produttori di sementi, i trasformatori, centri di confezionamento, quindi nelle varie filiere agro-alimentari per limitare le perdite causate dagli agenti patogeni (Boonham, 2014). Sebbene protocolli basati su PCR standard siano stati già applicati in campo, il loro utilizzo richiede competenze avanzate, necessità di impiegare numerosi reagenti e elevata purezza del campione (Hamelin and Roe, 2020). Queste difficoltà, unitamente al costo elevato di tale tipo di diagnosi, alle lunghe tempistiche della stessa, come pure al fatto che i termociclatori classici sono strumenti ingombranti e poco maneggevoli, hanno portato allo sviluppo di tecniche dell'amplificazione di DNA e RNA basate su reazioni isoterme (Ivanov et al., 2021). Tra queste, la reazione isoterma maggiormente implementata ed applicata per la diagnosi di patogeni vegetali, inclusi quelli del Castagno, è la Loop mediated isothermal AMPlification (LAMP), che offre vantaggi per l'applicazione *in situ*, restituendo in pochi minuti risultati

facilmente interpretabili e consentendo di processare campioni non purificati su strumenti portatili, resistenti e di facile utilizzo (Hariharan e Prasannath, 2021). La LAMP è dunque una reazione messa a punto di recente che può amplificare poche copie di DNA (fino a  $10^9$ ) in meno di un'ora in condizioni isoterme (Notomi et al., 2000). Essa si basa sulla sintesi del DNA con spostamento del filamento a ciclo automatico, eseguita da una DNA polimerasi dotata di un'elevata attività di spostamento del filamento. Di solito, il metodo utilizza il frammento più grande della Bst DNA polimerasi ottenuto da *Geobacillus stearothermophilus* che è fuso con la proteina legante il maltosio (MBP) di *E. coli* (Niessen et al., 2015). L'MBP viene utilizzato per la purificazione e rimosso mediante scissione delle proteine fuse mentre il frammento più grande della DNA polimerasi Bst, contenente l'attività polimerasica 5'→3' ma privo dell'attività esonucleasica 5'→3', viene utilizzato nella reazione per amplificare e spiazzare il DNA. Un set di due primer interni e due esterni appositamente progettati, in grado di ibridare sei diverse regioni del DNA bersaglio, è strettamente necessario per la reazione LAMP. Le sei regioni in cui i primer si appaiano sono denominate come segue: le sequenze all'interno di entrambe le estremità della regione target sono designate F2c e B2; due sequenze interne a 40nt dalle estremità di F2c e B2 sono designate F1c e B1; e due sequenze all'esterno delle estremità di F2c e B2 sono designate F3c e B3. I primer interni sono chiamati rispettivamente primer interno in forward (FIP) e primer interno in backward (BIP), e ciascuno contiene due sequenze distinte corrispondenti alle sequenze senso e antisense del DNA bersaglio, una per l'innescare nel primo stadio e l'altra per il self-priming nelle fasi successive. FIP è infatti composto da F1c e dalla sequenza (F2) complementare a F2c mentre BIP contiene la sequenza (B1c) complementare a B1 e B2. I due primer esterni sono costituiti rispettivamente da B3 e dalla sequenza (F3) complementare a F3c. Pertanto, nella reazione LAMP la sequenza target viene amplificata 3 volte ogni mezzo ciclo. L'incessante reazione ciclica accumula prodotti con sequenze ripetute di DNA bersaglio di diverse dimensioni. Per accelerare ulteriormente la reazione, è possibile aggiungere facoltativamente alla reazione una terza coppia di primer (loop primer), che andranno a ibridarsi agli stem-loop, ad eccezione dei loop che erano stati ibridati dai primer interni (Nagamine et al., 2002). La tecnica è stata sviluppata e applicata per molti patogeni vegetali, incluse alcune specie di *Phytophthora* e *Gnomoniopsis smithogilyvi*, che attaccano il castagno (Li et al., 2019; Vettrano et al., 2021). Successive implementazioni della diagnosi molecolare specie-specifica hanno preso a riferimento l'uso di microchip e di biosensori (Ray et al., 2017). Sebbene lo sviluppo di protocolli specie-specifici basati su riconoscimento di DNA e RNA abbia portato numerosi vantaggi per il monitoraggio e la sorveglianza di specie già note, queste tecniche possono portare inconvenienti quando gli agenti di danno sono nuovi o appena identificati, principalmente a causa della mancanza di sufficienti dati sul loro genoma (Chandelier et al., 2021). Approcci di bioinformatica, come il metabarcoding, la metagenomica ed sequenziamento anche sul luogo di interesse (e.g. MinION), sono promettenti per la diagnosi di nuovi parassiti ma richiedono competenze e strumentazioni specializzate, spesso con elevati costi (Piombo et al., 2021). Per quanto riguarda le avversità parassitarie del castagno, approcci basati su queste tecniche sono stati usati per l'analisi e l'identificazione degli organismi presenti come endofiti nelle galle di *Dryocosmus kuriphilus* o nei tessuti interni dell'ospite (Fernandez-Conradi et al., 2019), ma anche per caratterizzare le comunità fungine presenti nei suoli castanicoli (Baptista et al., 2015) e per analizzare la biodiversità di *Phytophthora* spp. (Vannini et al., 2013).

## 7.4 Metodi di diagnosi innovativi: le metodiche indirette più comunemente applicate

Oltre ai metodi sopra descritti, la diagnosi dei parassiti del castagno può basarsi su approcci indiretti, che non si concentrano sull'identificazione del parassita di interesse nel tessuto analizzato ma sull'analisi della risposta fisiologica della pianta in seguito all'attacco di funghi o insetti (Ray et al., 2017). Fra questi, sono stati sviluppati metodi basati su analisi spettroscopiche e di immagine per la valutazione dello stato fitosanitario delle piante, tramite la raccolta di informazioni riguardanti caratteristiche fisico-chimiche del campione (Marques et al., 2019). Ad esempio, Di Girolamo et al. (2021) hanno sviluppato un saggio diagnostico per rilevare le infezioni fungine all'interno delle castagne basato sull'utilizzo di sistemi portatili in grado di analizzare l'immagine interna della castagna tramite segnali restituiti da radiazioni emesse ad alte frequenze (100 GHz-10 THz). Il metodo, che non necessita la distruzione del campione, è stato principalmente messo a punto su infezioni causate da *Gnomoniopsis smithogilvyi* ma i risultati preliminari suggeriscono che potrebbe essere validamente utilizzato anche per altri funghi che causano danni ai tessuti interni delle castagne (es. *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Phomopsis castanea* e *Sclerotinia pseudotuberosa*). Dati ottenuti da analisi multispettrali possono essere anche affiancati da analisi geostatistiche o matematiche in modo da analizzare le differenti tipologie di sintomi e imputarle all'attacco di specifici parassiti. Ad esempio, Pádua et al. (2020), hanno implementato un metodo basato su immagini raccolte da droni e sistemi di "machine learning" capace di discriminare le diverse problematiche del Castagno con tassi di precisione dall' 80% all'85%. Inoltre, analisi di immagini affiancate a modelli matematici possono essere anche utilizzate come modelli predittivi in grado di analizzare caratteristiche di insetti e patogeni che possono essere utilizzate per prevederne la diffusione e l'insediamento, nonché per stimare l'efficacia dei trattamenti di controllo (Gilioli et al., 2013; Lione et al., 2015; Balsa et al., 2021). Ad esempio, Lione et al. (2015) hanno investigato l'influenza di differenti caratteristiche climatiche sulla diffusione e l'incidenza di *G. smithogilvyi*, ipotizzando le principali aree a rischio e i periodi maggiormente favorevoli alla sua diffusione. Allo stesso modo, Gilioli et al. (2013) hanno sviluppato un modello predittivo per analizzare le probabilità di diffusione e le dinamiche di popolazione di *Dryocosmus kuriphilus* in Europa. La possibilità di fare affidamento su queste metodiche potrebbe favorire diagnosi più accurate e implementare le reti di monitoraggio e sorveglianza, offrendo la possibilità di acquisire e usare precisi dati fitosanitari riguardanti caratteristiche e distribuzione di determinate specie di insetti e patogeni così come lo stato fitosanitario generale di specie vegetali (Silva et al., 2021). Sebbene l'insieme degli strumenti di diagnosi e allerta precoci sia riconosciuto come una delle principali vie di successo per programmi di controllo e gestione delle avversità parassitarie, soprattutto per quanto concerne le specie invasive, le risorse messe a disposizione per l'applicazione di monitoraggio sorveglianza sono spesso limitate, non permettendo a ricercatori e organi competenti di raccogliere dati sufficientemente accurati per implementare soluzioni gestionali di lungo termine (Pocock et al., 2020). I sistemi di sorveglianza passiva (ad es., le segnalazioni di stakeholders o volontari) giocano un ruolo

cruciale nella diagnosi di problemi fitosanitari e possono essere sfruttati dai ricercatori e operatori del settore (ad es., il personale dei servizi fitosanitari) applicando principi di citizen science (Brown et al., 2020). Modelli basati su questo approccio sono stati implementati per il monitoraggio di piante urbane e di specie esotiche ma anche per stimare la presenza di piante resistenti all'attacco dell'agente di cancro del castagno *Cryphonectria parasitica* (Crocker et al., 2020; Norman-Burgdolf et al., 2021; Westbrook et al., 2020).

## 7.5 Conclusioni

Molte rimangono le sfide e le problematiche nell'ambito della fitodiagnostica, come ad esempio la qualità dei dati raccolti da persone non specializzate (Pocock et al., 2020). La possibilità di ottenere metodiche di allerta e gestione efficaci è, infatti, strettamente legata alla possibilità di implementare collaborazioni tra enti e ricercatori che si occupano di sviluppare metodi di diagnostica ed utenti finali, in modo da garantire una accurata analisi da parte dei decision-makers delle allerte generate (Rainford et al., 2020). Infatti, sebbene tutte le tecnologie discusse possano portare vantaggi per il miglioramento della diagnosi, migliorando l'implementazione di sorveglianza e biosicurezza, nessuna tecnologia da sola può ritenersi valida per tutti gli scenari. Reali vantaggi si possono conseguire solo in presenza di approcci interdisciplinari che prendano a riferimento gli obiettivi di tutte le parti interessate, riflettendo le migliori pratiche di gestione, la comprensione scientifica e l'ambiente di lavoro che devono affrontare gli attori coinvolti in prima linea nei processi di monitoraggio e sorveglianza (Silva et al., 2021).

## Meccanizzazione

Picchio Rodolfo, Venanzi Rachele, Lo Monaco Angela, Colantoni Andrea, Tocci Damiano e Di Marzio Nicolò

La meccanizzazione studia e sviluppa il mutuo adattamento fra macchine, ambiente, operazioni svolte in campo e l'uomo (Hippoliti, 1997). Si tratta di compiti complessi, il cui mancato, parziale o insoddisfacente assolvimento determina cattivi risultati nella gestione delle risorse naturali e materiali, nonché degli investimenti mobili e immobili messi in atto. Sia in campo agrario sia forestale, la meccanizzazione rende possibili diverse operazioni che oggi risulterebbero impossibili da condursi con le vecchie tecniche. Il grado di innovazione delle tecnologie meccaniche è in grado di influenzare l'ambiente, nel quale le tecnologie vengono applicate, e l'operatore che di tali tecnologie fa uso. La necessità da un lato di esaltare gli aspetti quanti-qualitativi delle produzioni e dall'altro di operare con tecniche sostenibili ha reso necessario evolvere macchine e attrezzature che siano in grado di soddisfare tali esigenze. L'ampliamento delle possibilità di lavoro ha visto progressivamente trasformati trattori e macchine operatrici, nel giro di qualche decennio, in macchine sempre più comode e sicure per chi le guida, con requisiti tecnici all'avanguardia. Le superfici di suolo destinate alle pratiche meccanizzate sono state quindi incrementate grazie proprio alla dinamicità e alla vasta gamma di mezzi presenti. Oggi, infatti, quasi tutte le colture si adeguano alle attrezzature che sono disponibili per la loro coltivazione o gestione, e continuamente vengono progettate e immesse sul mercato nuove attrezzature con l'intento di assolvere in maniera sempre migliore, rispetto a quanto fatto in precedenza, gli obiettivi gestionali.

Nel settore dell'agricoltura, l'innovazione mira fondamentalmente all'incremento delle prestazioni, della sicurezza e dell'ergonomia di utilizzo delle macchine motrici, delle macchine operatrici e delle attrezzature (Amirante e Baraldi, 2004). Il campo d'azione di queste nuove tecnologie è ormai molto vasto ed in continua espansione, poiché i lavori da eseguire nella pratica agricola e forestale sono molti, e per ciascuno di essi vi è la possibilità di un'applicazione meccanizzata. Ad esempio, nell'ambito delle lavorazioni che preparano il terreno per accogliere una coltura, si esegue dapprima una pulizia del terreno attraverso l'eliminazione di sassi e vegetazione spontanea, per poi eseguire una lavorazione profonda con un aratro da scasso. Successivamente il terreno viene rivoltato, sminuzzato ed affinato per permettere la semina. Vengono quindi utilizzate macchine per la lavorazione principale del terreno e quella secondaria di amminutamento, con una successiva concimazione di fondo, detta anche di pre-impianto, al fine di aumentare la fertilità biologica del terreno e ad assicurare un corretto sviluppo produttivo. Altre tipologie di macchine vengono poi utilizzate per le lavorazioni agrarie di specie orticole.

Una vasta gamma di macchine agricole è inoltre destinata alla raccolta dei prodotti da terra o dagli alberi, e al trasporto al centro aziendale, mediante carri-rimorchio appositamente studiati. Infine, vi sono le macchine per i trattamenti post-raccolta, come ad esempio le macchine per

selezionare le cariossidi dei cereali, per essiccare i foraggi o per refrigerare frutta e verdura. Attraverso una dettagliata organizzazione delle diverse fasi di lavoro, sarà dunque possibile coordinare tutte le risorse necessarie a raggiungere gli obiettivi di rendimento economico, di sicurezza, di tutela ambientale, del benessere e del comfort. Questo vasto complesso di attività necessita dunque di conoscenze e interazioni con tutte le altre branche delle Scienze Agrarie e Forestali, quali selvicoltura, agronomia, economia, biologia, zootecnia, coltivazioni. Parallelamente a ciascuna di queste discipline è doveroso considerare sempre gli aspetti legati all'ergonomia e alla sicurezza sul lavoro. L'introduzione di nuove macchine e tecnologie ha infatti portato con sé anche l'introduzione di ulteriori fattori di rischio e nuovi problemi di salute e sicurezza, quali le malattie legate allo stress da lavoro. Questi aspetti richiedono specifica attenzione per la sostenibilità del lavoro in foresta e in azienda.

### 8.1 Il supporto della meccanizzazione nelle operazioni di recupero dei castagneti

L'Italia, pur essendo uno dei leader mondiali per la produzione di castagne e marroni, continua a rimanere arretrata in questo settore ed a perdere competitività. Nel corso dell'ultimo secolo si è infatti assistito ad una drastica riduzione della superficie a fustaia di castagno, passando dai 700.000 ha dei primi del '900 agli attuali 275.000 ha; con la conseguente contrazione della produzione a scala Nazionale. Mentre negli ultimi decenni l'arboricoltura da frutto italiana ha vissuto straordinarie evoluzioni tecniche, la castanicoltura non ha sviluppato alcun livello di innovazione. Ciò nonostante, negli anni la castanicoltura in Italia si è dimostrata una risorsa consistente, le cui potenzialità sono in grado di stimolare l'interesse degli agricoltori, a seguito della crescente richiesta sul mercato di prodotti di qualità, quali il frutto ed il legno. Appare dunque necessario che il rilancio della castanicoltura da frutto passi attraverso un percorso di valorizzazione che sia sostenibile economicamente, ma anche sul piano ambientale e sociale, in modo da rispecchiare sia la visione autentica del rapporto dei castanicoltori con i loro alberi e il territorio, sia le moderne esigenze tecnologiche e gestionali.

Tuttavia, nel tempo molte dinamiche sono cambiate, aumentando di fatto soprattutto le criticità, che sono da attribuire principalmente alla struttura della filiera e agli impianti. Per ultimo, ma non meno importante, l'aumento delle avversità di origine biotica non ha sicuramente aiutato il settore a prendere una fetta importante nell'economia. Infatti, accanto al cancro corticale e al mal dell'inchiostro, che tuttora costituiscono un problema per molti castanicoltori, la diffusione del cinipide (*D. kuriphilus*) rappresenta una nuova emergenza cui la ricerca sta dedicando notevole attenzione. Tutte queste cause concorrono a far sì che la domanda interna di castagne non sia pienamente soddisfatta dalla produzione Nazionale, e gran parte del prodotto venga importato dall'estero, risultando spesso di qualità inferiore rispetto a quello italiano.

Per quanto appena detto, la produzione castanicola può quindi essere considerata una coltura su cui investire, passando inevitabilmente attraverso una gestione agronomica innovativa, che parta dal recupero dei castagneti abbandonati presenti nell'Appennino centrale, dove la gestione del castagneto da frutto è stata da sempre il perno del settore agroforestale. In alcune

comunità montane, come quelle della Valle di Susa, della Val Pellice e della Valle della Dora Baltea, sono stati avviati veri e propri progetti di imprenditoria agricola che puntano a recuperare castagneti da frutto intervenendo con potature fitosanitarie e con innesti prelevati da cultivar locali, mentre in altre realtà si sono avviati progetti riguardanti sentieri o strade del castagno, per creare un pacchetto turistico completo. In tal senso, molti agricoltori hanno quindi già intrapreso un'opera di ricostituzione dei castagneti da frutto abbandonati o di conversione di cedui. Questa fase rappresenta infatti un passaggio iniziale che ci si trova a dover affrontare se si vuole aumentare la produzione delle castagne. Prima di intraprendere interventi spesso onerosi, è opportuno condurre un'accurata analisi del bosco sul quale s'intende operare, valutando fattori tecnici operativi ed economici che potranno, in seguito, determinare la riuscita dell'intervento.

Un aspetto fondamentale, da valutare per un drastico miglioramento della produttività, e per far sì che più persone siano interessate al recupero dei castagneti e al loro mantenimento, è la meccanizzazione. Il suo impiego e la razionalizzazione nella scelta delle tecniche da applicare, in base a ciascun contesto e momento, permette infatti di ottenere numerosi vantaggi:

- **Economici:** riduzione di tempi e costi, risparmio di manodopera. Il valore della produzione ottenibile con tecniche di lavoro manuali riesce ormai difficilmente a rendere le operazioni sostenibili sul piano economico. Inoltre, oggi è possibile avvalersi di macchine che sono manovrabili da un solo operatore.
- **Qualitativi:** la riduzione dei tempi di giacenza a terra del prodotto, grazie alla possibilità di effettuare più passaggi, assicura una maggiore qualità ed un minore scarto di prodotto, oltre a una maggiore pulizia, grazie ad un sistema di cernita all'interno delle macchine (conseguente riduzione dei fitofagi).
- **Di utilizzo:** possibilità di lavorare agevolmente anche in pendenza, grazie all'applicazione di ruote motrici dotate di grande manovrabilità, data dal ridotto raggio di sterzata, e possibilità di eseguire contemporaneamente andatura e raccolta.

Nell'ambito delle diverse operazioni coinvolte nel recupero di un castagneto da frutto, la ricerca ha sviluppato negli anni delle attrezzature a supporto degli operatori, i quali dovranno inoltre essere correttamente formati al fine di ottimizzare tutti gli aspetti legati all'organizzazione del lavoro, alla sicurezza e alla compatibilità ambientale.

Nella pratica di restauro delle tipologie colturali, le lavorazioni da eseguire all'interno di un castagneto sono molteplici, e possono essere modulate in maniera diversa a seconda delle condizioni in cui si opera; tuttavia, si possono raggruppare nelle seguenti fasi:

- ripulitura della vegetazione arborea e arbustiva che può interferire con la coltivazione del castagneto da frutto;
- abbattimento di polloni soprannumerari di castagno o di individui fortemente deperienti;
- potatura ed eliminazione di branche colpite da cancro corticale o altre patologie (riequilibrare lo sviluppo della chioma in seguito ad attacchi parassitari);
- asportazione del materiale di risulta di abbattimento e/o potature;

- innesti (sono da privilegiare gli innesti a rapida cicatrizzazione che richiedono piccoli tagli, come gli innesti a spacco inglese e a spacco pieno).

Per quanto riguarda le operazioni di ripulitura, sono ormai di uso comune i decespugliatori. Ne troviamo di vari modelli e varia grandezza; si passa infatti dai decespugliatori con i motori montati a fine asta (Fig. 34b), in genere di piccola cilindrata, ai decespugliatori con motore a spalla (Fig. 34a) di cilindrata maggiore.



Fig. 34 - Modelli di decespugliatori spalleggati. A) modello a zainetto; B) modello spalleggiato con tracolla.

I decespugliatori solitamente utilizzati hanno cilindrata che vanno dai 25 cm<sup>3</sup> ai 75 cm<sup>3</sup>, il peso sarà dunque legato alla potenza, e può andare dai 6 kg agli 11 kg. A seconda delle condizioni di lavoro e alle specie erbacee/arbustive presenti, è possibile montare diversi organi di taglio, dalle semplici testine con filo (Fig. 35b) ai modelli con coltelli o dischi taglienti (Fig. 35a, c).

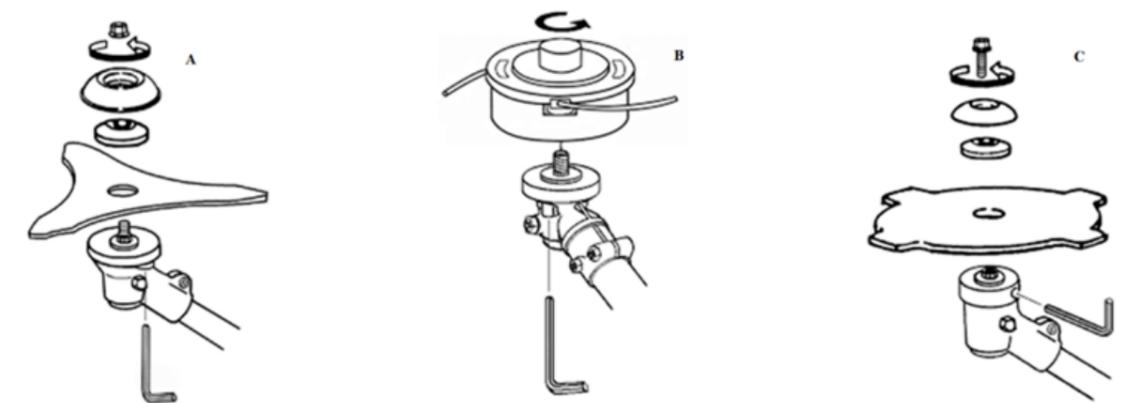


Fig. 35 - Accessori di taglio per decespugliatori spalleggati da applicare alle comuni testine. A) modello coltello da bosaglia a tre punte; B) modello testina con filo per aree boscate; C) modello a disco con 4 coltelli per materiale legnoso.

Le diverse condizioni che si riscontrano nelle diverse pratiche in campo influiscono quindi sulla scelta della meccanizzazione più adeguata, e ciò inevitabilmente influenza anche la produttività media degli operatori. Stimare la quantità di tempo necessaria per eseguire un lavoro di manutenzione del verde o un'operazione in bosco è spesso faccenda abbastanza ardua. Lavorando con organismi viventi, e in situazioni costantemente mutabili, le variabili che devono essere tenute in considerazione sono infatti molto diverse fra loro, e spesso anche soggettive. Ad esempio, il tempo necessario per tagliare l'erba di un prato varia in funzione della produttività dell'operatore, della resa delle macchine ma anche in base all'altezza dell'erba e alla quantità di rifiuti presenti sul manto erboso. Pertanto, quando deve essere determinato il valore economico di un servizio di manutenzione relativo a superfici molto estese e di durata pluriennale, non possono essere fatte delle valutazioni prendendo in considerazione specifici lavoratori o macchine particolari. Devono invece essere utilizzate delle rese di lavorazioni medie, che tengano conto della variabilità tanto degli operatori quanto delle macchine. Solitamente i valori restituiti sono calcolati su base teorica, non avendo casi specifici a cui far riferimento per un confronto. Per questo motivo, oltre alla resa di lavorazione media, compaiono spesso sulle tabelle anche le possibili rese massime e minime, al fine di ragionare su riferimenti da tutti conosciuti. Il calcolo del valore temporale, che è inevitabilmente correlato al valore economico di un servizio attraverso l'applicazione delle rese di lavorazione, permette un duplice controllo del valore economico conseguito. Innanzitutto, il valore economico può essere comparato con una serie di valori economici medi per quella lavorazione specifica. Inoltre, è possibile ricavare dal numero di ore complessive della manodopera il numero di operatori necessari. Nel caso di servizi complessi, poter disporre di tutte queste informazioni per ogni lavorazione agevola notevolmente il controllo della valutazione complessiva del costo finale presunto per l'intero servizio, oltre a minimizzare le possibilità di errore nelle stime.

Tornando ora a fare riferimento alle operazioni di ripulitura nell'ambito del recupero di un castagneto da frutto, le rese sono quindi molto variabili; si passa infatti da più di 1.000 m<sup>2</sup>/h in condizioni ottimali, dove l'erba non è molto alta, la pendenza è minima e vi è scarsa presenza di impedimenti ed elementi di intralcio, a circa 200 m<sup>2</sup>/h nella situazione opposta.

Inoltre, laddove possibile le operazioni di ripulitura sono solitamente coadiuvate dall'utilizzo di decespugliatori forestali, una macchina molto apprezzata nelle operazioni di *land-clearing* (decespugliatura), in quanto riesce a sminuzzare anche piccoli alberi che hanno un diametro massimo basale di 15 cm.

I decespugliatori solitamente usati per la triturazione di ramaglie e arbusti possono lavorare materiale fino a 15 cm di diametro, come ad esempio nel caso della triturazione dei residui di potatura in agricoltura. I rotor sfruttano delle nuove tecnologie con profili in acciaio che limitano la profondità d'azione degli utensili, riducendo la richiesta di potenza e garantendo allo stesso tempo prestazioni sempre eccezionali. Inoltre, sono dotati solitamente di slitte d'appoggio regolabili, avvitate e intercambiabili, di due file di controlame che garantiscono una triturazione fine e omogenea, e di cofano idraulico con cilindro integrato, protetto dalla struttura della macchina; infine sono presenti portautensili in acciaio forgiato trattati termicamente abbinati a lame e utensili.

Anche per questa operazione le produttività sono estremamente variabili, da qui ne consegue una vasta gamma di attrezzature, ognuna delle quali è più adeguata a una tipologia di

lavorazione. Nei due casi riportati nella Fig. 36 sono indicati due modelli agli antipodi, da questo punto di vista. In Fig. 36A troviamo un modello di decespugliatore poco impattante sul suolo, date le ridotte dimensioni; questa macchina si rivela di ottimo impiego nel castagneto soprattutto per le ripuliture annuali di preparazione alla raccolta. In Fig. 36B è illustrato un modello di decespugliatore forestale portato da una trattoria, che riesce a triturare anche piccoli alberi con diametro massimo alla base di 15 cm, e solitamente viene utilizzato in suoli abbandonati.



**Fig. 36** - Decespugliatori forestali a martelli, portati. **A)** modello ad asse orizzontale a martelli di piccole dimensioni montato su motocarriola cingolata; **B)** modello ad asse orizzontale a martelli da applicarsi su sollevatore idraulico dei trattori, preferibilmente anteriormente.

Nei castagneti abbandonati per lungo tempo, la vegetazione spontanea che si insedia e si afferma in assenza delle ordinarie operazioni colturali è costituita prevalentemente da roverella, ornello e carpino nero. Al fine di mantenere i castagneti da frutto in purezza, preservandone anche gli aspetti produttivi e tecnici, tutte queste specie arboree e arbustive sono da considerarsi infestanti, quindi sarà necessario eliminarle. Tutti questi interventi di ripulitura avranno ovviamente una durata molto variabile in funzione del grado di abbandono del castagneto. Dovranno poi essere eliminati anche i castagni soprannumerari o in condizioni fitosanitarie tali da non poter essere recuperati. L'intervento mira, infatti, a ripristinare la composizione e la struttura del popolamento originario, avendo cura di assicurare alle piante residue le migliori condizioni di illuminazione della chioma. Durante questa fase dell'intervento si dovrà altresì valutare la possibilità di rilasciare alcuni polloni o semenzali da innestare successivamente, per sostituire soggetti morti o non più recuperabili. Fra questi, è opportuno rilasciarne alcuni con cancri cicatrizzati e/o di tipo ipovirulento in quanto la loro diffusione, ostacolando la ipervirulenza, facilita la salute del castagneto nel tempo. Sia il taglio che la sistemazione ed eliminazione di tutto il materiale di risulta andranno effettuati prima della ripresa vegetativa; questo per evitare di danneggiare i ricacci delle ceppaie destinate all'innesto, eliminare

eventuali focolai di infezione presenti nel legname abbattuto, prevenire possibili incendi e facilitare tutte le successive fasi di lavorazione.

Prima di iniziare eventuali interventi di recupero, è fondamentale provvedere ad un'attenta valutazione circa la viabilità di accesso e interna al castagneto, nonché al suo stato. Qualora necessario, essa andrà migliorata o ripristinata, per favorire tutte le operazioni connesse ai vari interventi (eventuale utilizzo di piattaforme, trasporto di materiale e personale, esbosco del legname prodotto, celerità di spostamenti in caso di incidente, ecc.). Molto spesso, gli aspetti legati alla viabilità forestale sono relegati in secondo ordine, ma in realtà svolgono un ruolo fondamentale e insostituibile nella gestione dei boschi, non solo nell'ambito dei castagneti. Nei comprensori a marcata vocazione forestale dove la viabilità è carente e inadeguata, se non assente, vengono meno i presupposti per valorizzare le potenzialità dei boschi e aumentano i rischi di abbandono colturale. Inoltre, sempre operando nel rispetto della normativa vigente, possono essere necessari periodici interventi di manutenzione delle sedi stradali e delle strutture eventualmente annesse come ponticelli, guadi, piccoli imposti, e di tutte le opere di scolo delle acque quali: fossi, scannafossi, taglia-acqua, chiaviche, pozzetti di raccolta. L'importanza di queste operazioni è legata ad evitare fenomeni erosivi e di ristagno idrico, ed a facilitare l'accesso al bosco per le regolari operazioni di raccolta, pulizia, e in caso di incendio.

Le operazioni di abbattimento, che possono interessare piante infestanti, soprannumerarie o non recuperabili, vengono generalmente eseguite attraverso motoseghe (Fig. 37) (Baldini e Picchio, 2005). Queste sono senza dubbio tra le macchine più utilizzate nel settore forestale, da sempre al fianco degli operatori nei lavori di taglio, sramatura e sezionatura, in grado di lavorare in ogni condizione e su qualsiasi pianta. Le motoseghe possono essere provviste sia di motore a scoppio (endotermico) (Fig. 37A) sia di motore elettrico (Fig. 37B), alimentato a batteria; quest'ultima tipologia si avvale al giorno d'oggi dei recenti progressi nello sviluppo di batterie sempre più performanti e durevoli. Tuttavia, nella maggior parte delle lavorazioni in bosco la motosega con motore a scoppio risulta essere ancora quella maggiormente utilizzata. Queste macchine, evolute dal punto di vista tecnico ed ergonomico, non necessitano di elevate logistiche di cantiere, ma richiedono una buona professionalità nell'uso corretto e soprattutto in sicurezza. Bisogna infatti sottolineare che la necessità di disporre di macchine all'avanguardia dal punto di vista tecnologico ed ergonomico non può prescindere dalla necessità che il personale sia altamente qualificato e che le motoseghe siano dotate di adeguati sistemi di protezione.

Per le operazioni descritte in precedenza, le motoseghe utilizzate possono essere di molteplici cilindrata e potenze, si passa infatti da motoseghe con cilindrata di 35 cm<sup>3</sup> ai 90 cm<sup>3</sup>. Di conseguenza, anche la lunghezza di taglio data dalla barra della motosega è molto variabile, infatti si passa dalle più compatte che montano barre di 30 cm, a quelle provviste di barre lunghe 90 cm. La variabilità nelle attrezzature è in funzione delle dimensioni delle piante da abbattere e dell'organizzazione del cantiere. Variando la tipologia di motosega varia anche la produttività giornaliera per operatore.

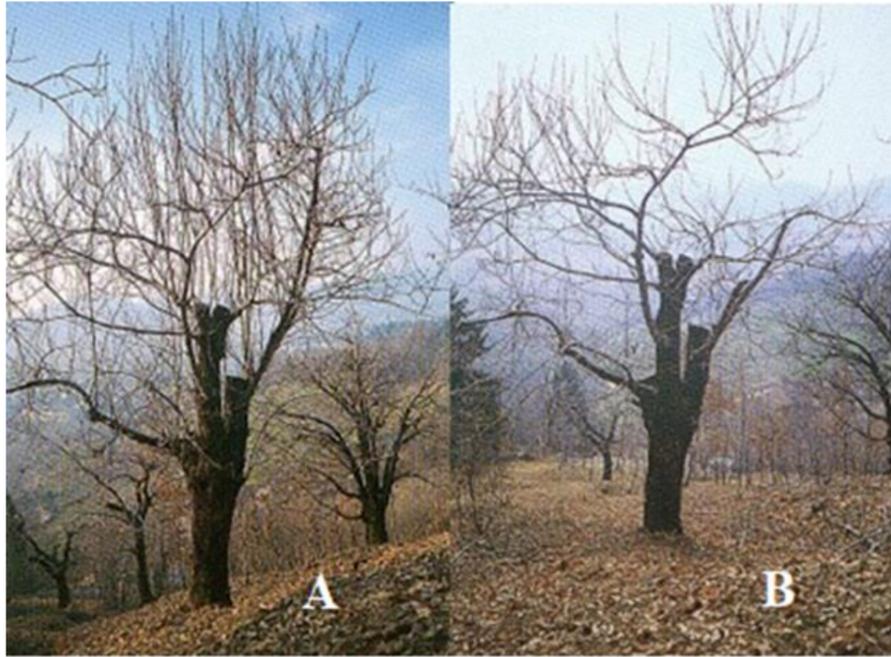
Le produttività medie per l'abbattimento di piante di dimensioni medio piccole, ovvero 15-20 cm di diametro a petto d'uomo, e di scarsa densità nell'impianto variano dalle 0,2 alle 0,5 t/h per operaio, a seconda delle caratteristiche della stazione, mentre se l'operatore si trova a

lavorare su piante di dimensioni medio grandi, la produttività si alza notevolmente fino a valori di 1-1,5 t/h ad operaio.



Fig. 37 - Motoseghe di media potenza. A) modello a motore endotermico; B) modello a motore elettrico con batteria incorporata.

In presenza di chiarie (spazi aperti non boscati) e dove non vi siano polloni da innestare, si potranno trapiantare semenzali di castagno di un anno prodotti in vivaio (con caratteristiche di robustezza, salute e vigoria); oppure si potranno seminare delle castagne ad una distanza di circa 10 metri dalle piante mature esistenti, ed intervenire successivamente con l'innesto. Una volta riportata la monocultura sul soprassuolo, è necessario che gli esemplari rimasti tornino ad essere produttivi. Per far avvenire ciò, essi dovranno essere sapientemente potati asportando quelle porzioni superflue dell'albero che non permettono il giusto passaggio di aria e luce, donando oltretutto alla chioma un aspetto più equilibrato e bilanciato (Fig. 38).



**Fig. 38** - Esempio di intervento di potatura ordinaria su castagno da frutto. **A)** pianta già potata negli anni passati con interventi di pesante capitozzatura (risanamento), ma in uno stato di chioma folta e non armonica; **B)** pianta oggetto di potatura di produzione (ordinaria manutenzione).

Per queste operazioni è senza dubbio conveniente l'uso di motoseghe leggere e generalmente monoimpugnatura, per questioni di affaticamento e di sicurezza. Alcune operazioni di potatura necessitano di essere ripetute annualmente (interventi ordinari di mantenimento), altre invece solo in caso di necessità (potature di risanamento). Nel dettaglio, devono essere eliminati prima di tutto i polloni che si formano alla base del fusto e successivamente i succhioni che si sviluppano sulle branche e sul tronco; quest'ultimo dovrà infatti rimanere pulito (privo di ramificazioni) almeno fino ad un'altezza di 3-3,5 m dal suolo. Tutti i ricacci presenti sul fusto sotto il punto d'innesto della chioma competono fortemente con la parte produttiva nell'assunzione della linfa, gravando quindi sul bilancio energetico della pianta senza produrre frutti. Altre potature riguardano essenzialmente la chioma, che dovrà risultare uniforme affinché la luce possa penetrare in modo uguale sia nella parte bassa che in quella centrale. Per ottenere ciò, si elimineranno le ramificazioni intricate e quelle danneggiate, diminuendo di conseguenza anche la quantità di organismi patogeni e stimolando lo sviluppo di un nuovo apparato radicale attraverso l'emissione di nuovi getti sani.

I vantaggi dati dalle potature sono quindi:

- Favorire l'intercettazione luminosa, positiva per l'allegagione e la pezzatura dei frutti;
- Favorire una maggiore areazione delle parti interne della chioma, al fine di prevenire lo sviluppo di malattie fungine;
- Prevenire eventuali problemi legati alle nevicature precoci, fenomeno che negli ultimi anni ha determinato ingenti danni soprattutto nei giovani impianti;

- Una gestione razionale della chioma permette di controllare la fruttificazione ed evitare rotture dovute ad un carico produttivo eccessivo, soprattutto nei primi anni d'impianto;
- Rinnovare le strutture produttive.

Pur essendo una lavorazione per ottimizzare la produzione di castagne, la potatura può presentare dei lati negativi. Tra questi è opportuno citare:

- Il costo della manodopera;
- I tagli come potenziali vie d'ingresso per il cancro corticale;
- Il calo produttivo iniziale in relazione alla tipologia di potatura.

Per ovviare a gran parte di questi inconvenienti apparentemente insormontabili è possibile effettuare due operazioni preventive, ovvero una scelta adeguata della meccanizzazione e degli strumenti da utilizzare, e provvedere ad una formazione attenta e quanto più possibile adeguata degli operatori, al fine di ottimizzarne la produttività e tutti gli aspetti legati alla sicurezza.

La potatura si esegue nel periodo di riposo vegetativo, preferibilmente dalla fine dell'inverno all'inizio della primavera. Il termine del periodo utile per l'esecuzione della potatura è l'entrata in vegetazione della pianta: a fine aprile in castagno non ha ancora sviluppato la nuova vegetazione, ma i processi fisiologici collegati a questa delicata fase fenologica sono già avviati, ed è fondamentale interrompere le operazioni di taglio soprattutto nel caso di interventi di risanamento.

L'architettura delle piante di castagno in produzione deve essere mantenuta tramite potature ordinarie di coltivazione, questo consente di mantenere nel tempo una produzione buona e costante. Nel caso di interventi cesori di gestione ordinaria, risultano sufficienti come strumenti da taglio segacci montati su canne telescopiche (svettatoi) e piccole motoseghe (Fig. 39).



**Fig. 39** - Modelli di motoseghe leggere monoimpugnatura. **A-B)** motoseghe superleggere monoimpugnatura modello a pistola alimentate a batteria incorporata; **C)** motosega leggera monoimpugnatura alimentata a batteria incorporata; **D)** motosega leggera monoimpugnatura modello a motore endotermico.

Per le lavorazioni di recupero o anche per alcuni tagli più impegnativi si ricorre spesso all'utilizzo di motoseghe mono-impugnatura di vario tipo, a seconda del tipo di lavorazione da eseguire (Baldini e Picchio, 2005). Queste motoseghe sono molto diverse dalle precedenti per dimensione, potenza, peso e prestazioni. Infatti, le cilindrate variano tra i 24 cm<sup>3</sup> e i 40 cm<sup>3</sup>, e le barre di guida della catena di taglio arrivano al massimo a 35 cm. I tempi necessari per la potatura di un albero dipendono dall'abilità degli operatori, e soprattutto dal tipo di potatura necessaria, dall'altezza di lavoro e dal luogo in cui la pianta si trova a dimora. È interessante

osservare come in questo tipo di lavorazioni, al giorno d'oggi, stia prendendo sempre più piede l'utilizzo di motoseghe elettriche a batteria (Fig. 40 A,B,C), la quale può essere installata direttamente sul corpo macchina o portata a spalla mediante uno zainetto, agevolando così i movimenti dell'operatore grazie al peso ridotto.

Un altro importante aspetto da considerare negli interventi di potatura sono le lavorazioni in quota. In passato, queste venivano svolte mediante l'impiego di attrezzatura artigianale ed attuando scarsissime misure di sicurezza; in questi casi erano la destrezza fisica e le doti naturali di equilibrio ed abilità del potatore a permettere la realizzazione di interventi anche su piante di notevoli dimensioni, in cui i fattori di rischio divenivano massimi. Oggi, grazie al diverso tenore di vita, al passaggio della castanicoltura da economia di sussistenza a filiera di mercato, alla maggior consapevolezza dei rischi sul lavoro ed agli alti costi sociali per il sostentamento degli infortunati ed invalidi sul lavoro, gli operatori impegnati nella potatura di castagni da frutto stanno sempre più specializzandosi ed approfondendo le giuste tecniche di potatura e di lavoro in sicurezza tramite le corde. Attraverso la tecnica di *tree-climbing* è infatti possibile assicurare il potatore ad una corda che arriva fino a terra e sulla quale può scendere celermente in caso di necessità. Nell'impiego di queste tecniche avanzate, così come nell'utilizzo di piattaforme elevabili (cestelli), inevitabilmente si alza il livello di professionalità e di meccanizzazione richiesto, con possibili ripercussioni sui costi di utilizzazione, anche se le maggiori produttività potrebbero poi riportare in pareggio il bilancio. In alternativa alle lavorazioni eseguite direttamente in quota, si sta ultimamente dando ampio spazio alla mecatronica, con risultati che tuttavia sono ancora lontani dal rendere ultrafunzionali i diversi prototipi sperimentati.



Fig. 40 - Prototipo sviluppato nell'ambito del PROGETTO INTEGRATO DI FILIERA PSR 2007/13 Toscana VACASTO "Valorizzazione del comparto Castanicolo da frutto Toscano". A-B) prototipo motorizzato portante con braccio idraulico a quattro snodi; C) motosega a motore idraulico montata sul braccio idraulico del prototipo.

Durante l'esecuzione di un intervento di potatura normalmente viene prodotta una cospicua quantità di materiale legnoso che deve essere prontamente allontanata dal castagneto soprattutto se si tratta di residui di piante interessate da attacchi di cancro attivo. I tronchi ed i rami più grandi possono essere utilizzati come legna da ardere o inviati a stabilimenti per la produzione del tannino, mentre da eventuali polloni riscoppiati alla base delle piante può essere ricavata paleria di varie dimensioni. Nel caso in cui il materiale di risulta sia sano, può essere cippato e lasciato nel bosco con funzione di pacciamante al piede di giovani piante e come ammendante organico apportatore di elementi nutritivi al suolo (si tratta comunque di pratiche estemporanee da non rendere come *best practice*). In questi casi per ridurre tale materiale di risulta in cippato, vengono impiegate macchine come le sminuzzatrici (cippatrici) (Fig. 41) e i

frantumatori. Sono macchine che riducono le piante, i tronchi, i rami e i residui di segheria in piccoli frammenti, regolari nel caso delle sminuzzatrici, irregolari nel caso dei frantumatori. Queste macchine possono essere montate su rimorchi o adattate per l'attacco al sollevatore idraulico dei trattori. La potenza richiesta per il loro funzionamento è influenzata da vari parametri, si va da 35 a 150 kW, con rispettivi diametri lavorabili di 10-45 cm (Baldini e Picchio, 2003).



Fig. 41 - Sminuzzatrici per la riduzione in cippato del materiale legnoso reperibile dagli interventi di recupero dei castagneti da frutto. A) sminuzzatrice a disco alimentata dalla presa di potenza di un trattore agricolo e portata dal sollevatore idraulico dello stesso, si tratta di una macchina ad alimentazione manuale; B) sminuzzatrice a tamburo alimentata da motore autonomo e montata su rimorchio, si tratta di una macchina ad alimentazione meccanico-idraulica.

Nell'ambito degli interventi di gestione ordinaria del castagneto da frutto, risulta fondamentale l'operazione di spollonatura, ovvero l'eliminazione dei polloni derivati da gemme dormienti presenti al colletto o nelle radici. Lo scopo primario è quello di ridurre la competizione per l'acqua e le sostanze nutritive, tra la pianta madre e i nuovi getti, nonché facilitare la raccolta dei frutti sia manuale che meccanizzata. La spollonatura può essere praticata con utensili manuali o in maniera meccanizzata. L'utilizzo di utensili manuali quali ad esempio roncole, falci, accette, cesoie e troncaremi, non richiede elevate competenze e i livelli di rischio sono inferiori. Di contro, il lavoro risulta più scadente a causa dei tagli mal praticati e ovviamente faticoso. Un'alternativa più pratica è dunque quella della spollonatura semi meccanica, che si avvale di attrezzature quali cesoie idrauliche e decespugliatori portati, equipaggiati con appositi accessori (Fig. 42). In questo caso, gli utensili da applicare per la spollonatura variano in funzione del materiale da recidere; dal filo in nylon di vario spessore ai coltelli da boscaglia a due o tre denti, in grado di recidere diametri fino a 40-50 mm, alle lame circolari dentate che si possono utilizzare per diametri fino ai 100 mm. È importante prestare attenzione a non danneggiare il colletto della pianta "madre" causando pericolose ferite, e al lancio di schegge e detriti che possono entrare in contatto con gli organi taglienti, in questo caso dischi selettivi dal basso possono essere la soluzione ideale (Fig. 42A).



**Fig. 42** - Modelli di dischi selettori/spollonatori per teste di taglio di polloni legnosi, adatte a decespugliatori spallegggiati. **A)** disco selettore posto lato suolo per protezione ceppaia e contatto lama/soolo; **B)** disco selettore posto lato superiore.

Il materiale legnoso ritraibile dalle operazioni di recupero e manutenzione dei castagneti da frutto dovrebbe essere movimentato con celerità dal cosiddetto letto di caduta, principalmente per motivi fitosanitari. Di norma queste operazioni riconducibili a vere e proprie operazioni di concentramento, esbosco e trasporto possono avvenire con le classiche attrezzature forestali. Di regola considerando gli ampi spazi di manovra e le discrete condizioni di accidentalità i mezzi impiegabili sono in genere di natura polivalente. Si va dai rimorchi forestali ai verricelli forestali entrambi azionati da trattori agricoli, in alternativa anche gli stessi trattori equipaggiati con gabbie da esbosco. In questo caso, considerati i moderati quantitativi di materiale legnoso da movimentare, rispetto ad un classico intervento selvicolturale, si tratta di impiegare macchine di medio-bassa potenza (35-60 kW) e massa (1-3,5 t), ciò aumenta l'agilità di guida e diminuisce il compattamento del suolo.

L'impiego dei trattori agricoli nei lavori selvicolturali è assai diffuso. I modelli cingolati sono maggiormente utilizzati per l'esbosco a soma su terreni pendenti, ma nel complesso sono meno versatili e veloci dei modelli a ruote. È tuttavia molto usato nelle operazioni di decespugliatura, lavorazione del terreno e come fornitore di potenza fisso. Il trattore gommato, data la maggior versatilità d'impiego è di gran lunga il più impiegato. Caratteristiche essenziali di queste macchine, nell'uso in bosco, sono la doppia trazione, la robustezza dei componenti, la luce libera da terra, un maggior carico sull'avantreno ed un buon impianto idraulico. I modelli a ruote isodiametriche sia a telaio rigido sia articolato, risultano particolarmente adatti all'uso forestale. Forte dell'esperienza europea, e dopo i continui progressi ottenuti anche grazie alla ricerca, il trattore agricolo versione forestale compare ufficialmente in qualche listino e nei boschi italiani e riscuote una crescente approvazione sia da parte delle case costruttrici che degli utilizzatori. Il comune trattore agricolo, grazie ad opportune modifiche, volte a rinforzare la struttura della cabina, del corpo motore e di parti deboli della trasmissione, nonché ad aumentare la massa gravante sull'asse anteriore, diviene una macchina estremamente polivalente per un uso forestale e rurale (Picchio, 2004).

Il verricello forestale (Fig. 43A) è impiegato nel concentramento e nell'esbosco. Espleta l'operazione di concentramento tramite i ganci scorrevoli che permettono di raggiungere più tronchi o piante e riunirli in un unico fastello. Permette di esboscare con buone produttività fino a 120 m di distanza, nel caso di esbosco in salita, in zone altrimenti inavvicinabili da altri mezzi. Una volta portato il carico bordo pista, si esbosca il materiale fino all'imposto, per strascico diretto (Cavalli, 1997). I verricelli forestali possono essere fissi o mobili, i primi sono

solidali al telaio del trattore, i secondi sono applicati al sollevatore idraulico. I verricelli forestali possono essere ad uno e a due tamburi, il secondo a differenza del primo presenta due bobine di fune con movimento autonomo. L'impiego di quest'ultimo è indicato in situazioni dove il limite non è la massa, ma il volume apparente del carico. I verricelli possono essere meccanici o idraulici: qui a fare la differenza è il tipo di trasmissione, nei primi a cinghie, catene o ingranaggi, nei secondi con sistema oleodinamico. I dispositivi che caratterizzano i verricelli forestali e che contribuiscono ad aumentarne la sicurezza sul lavoro, sono: la bocca di esbosco, la staffa posta all'entrata della carrucola, il robusto carter che cela tutti gli organi in movimento, il freno di sicurezza e i comandi a disinnesto automatico che si azionano solo con azioni volontarie. Una variante ai verricelli forestali sono i miniverricelli - macchine adatte esclusivamente per il concentramento, su distanze inferiori ai 100 m e dotate di motore autonomo. Risultano facilmente trasportabili da due persone, pesando al massimo 40 kg.



**Fig. 43** - Trattori agricoli equipaggiati con gabbie da esbosco **A)** e pinze forestali idrauliche applicate al sollevatore idraulico dotato di attacco a tre punti del trattore agricolo **B)**.

Le gabbie (Fig. 44A) e le pinze forestali sono due accessori impiegabili solo nel caso di terreni facilmente percorribili dal trattore. Le pinze forestali o pinze da esbosco sono costituite da una pinza idraulica, azionata da uno, raramente due martinetti e montata sul sollevatore idraulico posteriore del trattore. Le gabbie sono costituite da un pianale con i soli lati anteriore e superiore aperti, applicato al sollevatore idraulico posteriore ed anteriore (dove sia presente, altrimenti è fissata rigidamente al telaio) del trattore. I modelli più capienti, montati su trattori di 50-80 kW hanno portate massime di circa 3 t, complessive per le due gabbie.

I rimorchi forestali (Fig. 44B), rispetto al comune rimorchio agricolo, rappresentano un mezzo sovradimensionato in termini di struttura, ma nel contempo con ingombri limitati, ampia luce libera da terra e baricentro basso. Si presentano con assale singolo o doppio, ma sempre trazione, pneumatici a sezione larga e bassa pressione e normalmente sono muniti anche di una gru idraulica per il carico e la movimentazione del materiale. Le principali tipologie si differenziano per le modalità di trasmissione del moto all'assale (meccanico o idraulico) e per il timone che può essere rigido o dotato di snodo idraulico.



**Fig. 44** - Trattori agricoli equipaggiati con verricello forestale (A) e rimorchio forestale con braccio idraulico per il carico del materiale (B).

Una valida alternativa, soprattutto per i castagneti più marginali, può essere rappresentata da mezzi specialistici definiti meccanizzazione leggera (ATV, minitrattori, motocarriole) (Picchio et al., 2005). Queste macchine possono essere validamente impiegate nelle operazioni di concentramento ed esbosco. L'ATV (Fig. 45A) - definito veicolo tuttoterreno - nasce da una concezione motociclistica e negli ultimi anni ha subito sostanziali modifiche volte a migliorarne l'affidabilità, la stabilità e l'aderenza. È dotato di quattro ruote motrici, doppio differenziale, sospensioni indipendenti, pneumatici a bassa pressione, cambio a più velocità con ridotte, motori a benzina da 300-600 cm<sup>3</sup>, raffreddamento ad aria forzata o a liquido. I minitrattori (Fig. 45B) sono mezzi sviluppati per impieghi specifici, contraddistinti per le dimensioni ridotte, l'elevata manovrabilità e la buona aderenza. Hanno una struttura protettiva della postazione di guida e scaricano la loro potenza al suolo attraverso pneumatici, cingoli in metallo o gommati. Sono motorizzati con motori diesel o a benzina, sviluppano 10-25 kW, hanno trasmissioni meccaniche o idrauliche e cambio con almeno una gamma di ridotte, il tutto con ingombri ridotti e masse di 0,4-3 t. Le motocarriole (Fig. 45C) vengono guidate dall'operatore che cammina accanto alla macchina, tramite un manubrio dove si trovano i vari comandi. Sono dotate di uno o due cingoli in gomma oppure di pneumatici. Queste macchine sono equipaggiate con piccoli motori endotermici a due o quattro tempi, in grado di erogare 3-13 kW. La loro massa varia da 250 a 500 kg.



**Fig. 45** - ATV equipaggiati con varie attrezzature (A), minitrattori cingolati (B), motocarriole cingolate (C).

Un piccolo accenno merita infine l'innesto, ovvero la tecnica di propagazione vegetativa che da sempre è stata impiegata per moltiplicare e diffondere le varietà di castagno selezionate dall'uomo. Infatti, fin dai tempi più remoti, i castagneti da frutto hanno avuto origine da innesto di polloni o semenzali. I motivi principali per cui si ricorre all'innesto nella gestione dei castagneti da frutto sono:

- Sostituzione di piante morte o molto compromesse dal punto di vista vegetativo e/o produttivo conservando al contempo la varietà tradizionale;
- Rinfoltimento di castagneti radi;
- Cambiamento di cultivar in risposta alle esigenze di mercato.

Tra le operazioni preliminari da svolgere prima di eseguire un innesto vi è l'approvvigionamento del materiale di propagazione, a seconda delle varietà prescelte, e la preparazione dei soggetti da innestare. Nella scelta dei polloni da innestare bisogna poi fare molta attenzione anche alla loro stabilità, prediligendo quei polloni affrancati alla base della ceppaia anziché quelli originati da gemme avventizie. Negli anni sono state messe a punto varie tecniche di innesto, che principalmente si possono suddividere in due macro categorie: innesto a legno ed innesto a gemma

Nell'innesto a legno, la marza è costituita da una porzione di rametto lignificato che porta una o più gemme. Questo metodo si adotta quando si hanno a disposizione ceppaie con polloni di circa 5 cm di diametro. A seconda del tipo di spacco praticato sul soggetto portainnesto possiamo distinguere più tipologie:

- Lo spacco pieno;
- Lo spacco diametrico;
- Il doppio spacco inglese;
- Gli innesti a corona e a triangolo.

L'innesto a gemma è invece chiamato così perché la porzione di legno interessata è quasi impercettibile, e la marza si riduce ad una gemma cui è annessa una piccola porzione di corteccia e di legno circostante della varietà prescelta. Questo metodo comprende molte varianti, dovute alla forma del taglio praticato per inserire la gemma tra la corteccia e il legno del soggetto, ed anche in questo caso è possibile distinguere tra due tipologie principali:

- Innesto a zuffolo o ad anello;
- Innesto a gemma dormiente o a scaglia.

Anche in queste lavorazioni il grado di meccanizzazione può essere aumentato grazie ad attrezzature innovative che agevolano i vari passaggi, come nel caso di particolari cesoie utilizzate nella preparazione dell'innesto a spacco pieno.



Fig. 46 - Strumenti manuali con meccanica sviluppata per l'aumento della precisione di lavoro nell'operazione d'innesto.

## 8.2 La meccanizzazione nelle operazioni di raccolta

La raccolta delle castagne rappresenta senza dubbio la voce di uscita più elevata nel bilancio dell'azienda castanicola, in quanto richiede più dispendio di energie quantificabili in ore lavoro durante il ciclo produttivo annuale del castagneto, ed è quindi notevole l'impegno di manodopera richiesto, essendo eseguita, di norma, manualmente.

La produttività del lavoro manuale oscilla da circa 5 kg/h in condizioni disagiate quali terreno sporco per la presenza di erbe infestanti, castagne piccole, terreno non pianeggiante, fino ad un massimo di 30 kg/h in buone condizioni. In questi ultimi anni si sono moltiplicate le ricerche e gli sforzi dei costruttori per la messa a punto di alcuni prototipi di macchine raccogliatrici, anche se pochi sono poi stati messi sul mercato. Grazie a questi mezzi avanzati, le produttività sono aumentate fino a raggiungere i 1.000 kg/h; questo influisce in maniera positiva sui tempi di raccolta, ma in maniera negativa sulla qualità del prodotto. Infatti, è parso subito chiaro come il principale problema connesso all'introduzione di nuovi cantieri di raccolta meccanizzati non consisteva tanto nell'aumentare la capacità di raccolta delle macchine stesse, quanto nell'evitare o rendere economicamente compatibili i danni meccanici arrecati dalle macchine

alla frutta stessa. Le attrezzature presenti oggi sul mercato hanno infatti un comportamento più aggressivo sulla castagna rispetto alla raccolta manuale.

Attualmente, i principali metodi di raccolta meccanizzata si basano sull'impiego di:

- Raccogliatrici portate;
- Macchine trainate (47A);
- Raccogliatrici semoventi (47B).

Come già accennato, le produttività di alcune macchine superano abbondantemente i 1.000 kg/h in condizioni ottimali, ovvero nei castagneti più pianeggianti e produttivi per superfici di almeno 10 ha.

Tra i benefici apportati dalla raccolta meccanizzata ricordiamo:

- Maggior asportazione del potenziale di infestazione rispetto alla raccolta manuale. La raccolta meccanica viene effettuata senza cernita, con asportazione di tutto il prodotto a terra, infestato e sano;
- Tempestività della raccolta, utilizzando macchine in grado di abbattere i costi e i tempi di raccolta si riduce il tempo di permanenza a terra dei frutti;
- Controllo degli scarti. È possibile inserire sulle macchine dei dispositivi di triturazione degli scarti (castagne vuote, ricci, ecc.) per eliminare le larve dei fitofagi.

Con l'avvento dell'agricoltura di precisione 4.0 è possibile, inoltre, un controllo da remoto grazie a dispositivi GPS, di telediagnosi, teleassistenza e di interfaccia uomo-macchina.

La funzione o il componente di un determinato dispositivo o di un'applicazione software consente all'uomo di operare e interagire con le macchine. Alcune interfacce uomo-macchina che incontriamo normalmente nella nostra vita quotidiana sono ad esempio i *touch-screen* e le tastiere.

I futuri scenari nel settore della meccanizzazione prevedono siti internet e applicazioni *smartphone* da cui è possibile avere un riscontro circa i risultati della macchina, che andranno sempre più incrementandosi, con l'obiettivo di arrivare ad avere informazioni in tempo reale sulle produzioni e sulla qualità potenziale del prodotto, lavorando con sistemi NIR (infrarosso vicino) e altri sensori. La raccolta meccanizzata permette una svolta sensibile nell'economia dell'impresa, infatti mentre per la raccolta manuale il costo risulta costante e non variabile (generalmente) per la superficie del frutteto, le macchine per la raccolta hanno il vantaggio di diventare sempre più convenienti all'aumentare delle superfici; questo avviene perché il costo iniziale di acquisto della macchina, ma anche tutti gli altri costi legati al suo utilizzo, si vanno a spalmare sulla superficie del frutteto. Maggiore è la superficie e minori saranno i costi unitari ad ettaro che si dovranno affrontare nel corso degli anni.



Fig. 47 - Macchine raccogliatrici per frutti a guscio e castagne. A) modello di raccogliatrici aspiranti portate/trainate; B) modello di macchina andanatrice/spazzolatrice e raccogliatrice semovente.

## ***Diversificazione delle produzioni e sottoprodotti***

Picchio Rodolfo, Venanzi Rachele, Lo Monaco Angela, Tocci Damiano, Di Marzio Nicolò, Mercurio Roberto

La valorizzazione economica dei sottoprodotti non alimentari in particolare della coltivazione del castagneto da frutto nasce dall'esigenza di rilancio delle aree collinari e montane. Gli interventi generalmente sono rivolti agli imprenditori del settore agricolo-forestale, che devono poter trovare motivazioni economiche per continuare a presidiare il territorio. In questo contesto è stato sviluppato il progetto INGECA. L'ottica è nella innovazione e nella diversificazione dei prodotti e delle produzioni, sviluppata nell'ambito della *green economy* e della economia circolare per definire modelli replicabili in situazioni simili.

Negli ultimi anni il prezzo dell'energia, in particolare quello dei combustibili fossili, sta crescendo vertiginosamente con un incremento non atteso nell'ultimo anno. Anche le emissioni nell'atmosfera sono in aumento, per questo si stanno valutando altre fonti rinnovabili d'energia con grande interesse verso le biomasse forestali, ma ancora con poca programmazione e pianificazione (Latterini et al., 2022). Le biomasse potrebbero infatti fornire un certo supporto energetico alle esigenze del Paese ed offrire uno sbocco al materiale proveniente dalle filiere agro-forestali, attualmente ancora poco impiegato. Tuttavia, il vero ostacolo nel recupero degli scarti agro-forestali è la frammentarietà e l'eterogeneità della produzione e la convenienza economica del loro impiego a scala maggiore di quella aziendale.

Una possibile e interessante alternativa al tradizionale recupero del semplice sminuzzato a fini energetici è la possibile trasformazione in forme energetiche più complesse attraverso piccoli indotti artigianali a misura aziendale. Le trasformazioni più comuni e diffuse del legno in biocombustibile sono il pellet, il cippato e le briquettes.



*Fig. 48 - Pellet di legno.*



*Fig. 49 - Cippato o sminuzzato di legno.*



*Fig. 50 - Briquettes di legno.*

Tab. 7 - Principali caratteristiche dei biocombustibili legnosi.

	<b>Pellet</b> <b>(U 12%)</b>	<b>Cippato</b> <b>(U 30%)</b>	<b>Briquette</b> <b>(U 15%)</b>
Lunghezza (mm)	10-50	3-100	250-350
Diametro/larghezza (mm)	6-10	7,5-35	80-120
Spessore (mm)	-	1,5-10	-
Densità apparente (kg/m <sup>3</sup> )	650-780	180-450	680-850
Contenuto idrico medio (w) (%)	6-12	20-30	8-15
PCI (MJ/kg)	16-21	12-18	16-21
Ceneri (% in peso)	0,2-1,1	0,5-5,5	0,2-1,1
*valori riportati all'umidità massima consigliata di immissione in caldaia.			

Tab. 8 - Caratteristiche dei principali assortimenti a confronto.

<b>Sminuzzato o cippato</b>	<b>Pellet e briquette</b>
<b>Pro</b>	
1 Maggior semplicità di applicazione nelle filiere corte ed autoconsumo	1 Omogenei e standardizzati
2 Più economico	2 Facilità di gestione e manutenzione dell'impianto
3 Minor dispendio energetico nella produzione	3 Minor volume di stoccaggio
	4 Minore umidità
<b>Contro</b>	
1 Scarsa uniformità nelle dimensioni	1 Più costosi
2 Maggiori costi per la gestione e la manutenzione dell'impianto	2 Maggiori difficoltà nell'applicarli alle filiere corte ed autoconsumo
3 Richiede un volume di stoccaggio maggiore	3 Maggior dispendio energetico nella produzione
4 Difficile gestione dell'umidità	

Tali trasformazioni sono attuabili anche su microscala con strumentazioni attualmente in rapida diffusione, come frantumatori di ramaglia e pellettizzatori o bricchettatori. Tali sistemi sono caratterizzati da limitate rese e bassi input energetici e risultano abbastanza funzionali per piccole realtà aziendali. I biotrituratori per ramaglia di piccola scala sono in genere ad azionamento elettrico mono o trifase o in alternativa azionati dalla presa di potenza di piccoli trattori. In genere hanno potenze di 3-5 kW e sono in grado di lavorare materiale con diametri massimi inferiori agli 8 cm, con possibilità di applicare più vagli ed in grado di produrre frantumato con pezzature variabili da 0,6 cm a massima 3 cm, le produttività di lavoro in questo caso sono molto influenzate dal materiale in ingresso essendo il tutto ad alimentazione manuale. I pellettizzatori di piccola scala sono in genere ad azionamento elettrico mono o trifase o in alternativa azionati dalla presa di potenza di piccoli trattori. In genere hanno potenze di 3-7 kW e sono in grado di lavorare materiale con dimensioni massime inferiori a 1 cm, con possibilità di applicare più trafilie ed in grado di produrre pellet con produttività di lavoro di 30-80 kg/h, produttività di lavoro in questo caso sono molto influenzate dalla pezzatura (sempre inferiore a 1 cm) e dall'umidità (sempre inferiore al 35%) del materiale in ingresso.

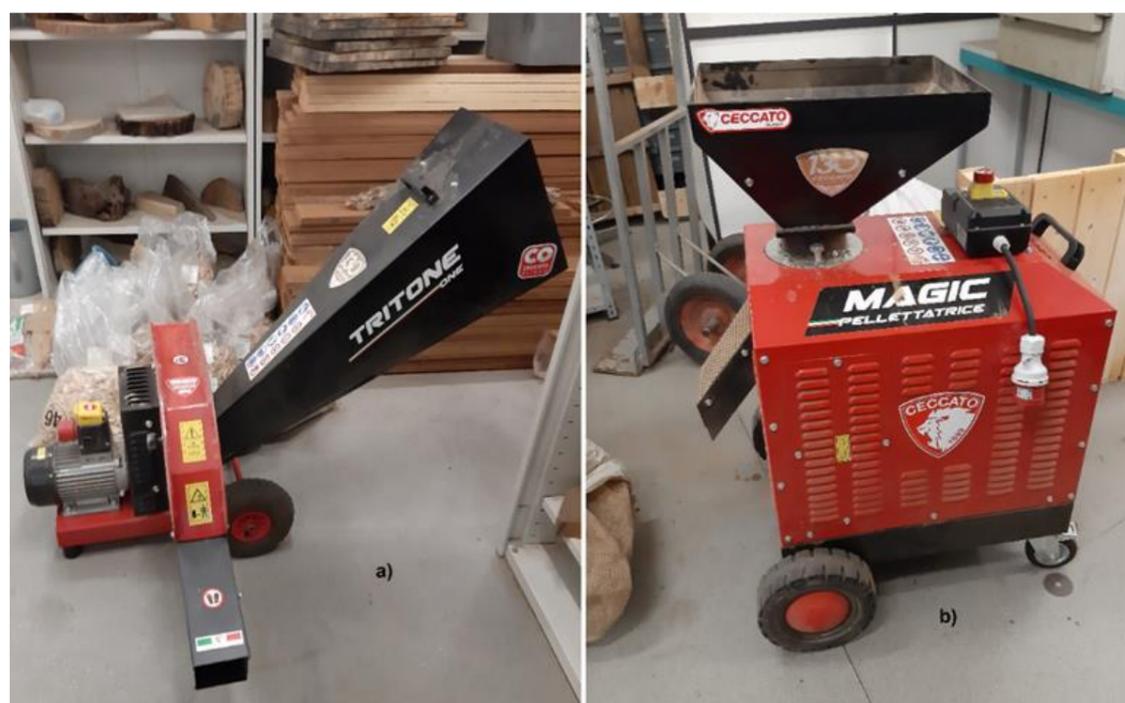


Fig. 51 - Frantumatore per ramaglie a motore elettrico (a). Pellettizzatore di piccola taglia a motore elettrico (b).

Oltre a queste trasformazioni volte all'impiego puramente energetico, recentemente il mercato del carbone e dei prodotti da esso composti sta ritrovando nuova vitalità, nasce da qui l'interesse di sistemi di carbonizzazione su piccola scala. Una carbonaia verticale, dimensionata su scala aziendale, e il suo impiego concreto in azienda per utilizzare gli scarti

legnosi di valore nullo o limitato provenienti dalle attività di coltivazione, come i residui della potatura, permette di ottenere indubbi vantaggi: l'allontanamento di siti favorevoli alla diffusione di patogeni e parassiti e una completa sterilizzazione degli scarti una volta trasformati; la valorizzazione degli scarti che sarebbe necessario allontanare, trasformandoli in carbone di cui è nota l'origine; la realizzazione di un prodotto che può essere impiegato in azienda o commercializzato. Nello specifico la linea di sviluppo concepita è stata rivolta alla carbonizzazione dei sottoprodotti colturali sia derivanti dalla gestione del castagneto da frutto, sia dalle comuni pratiche selvicolturali o agro-forestali. La necessità di soddisfare le richieste specifiche del territorio di trovare un valido impiego al materiale di risulta proveniente da sistemi castanicoli, in fase progettuale iniziale, ha dovuto tener conto della eterogeneità dei residui generati dalla coltivazione del castagneto. Il materiale di input della carbonaia presenta infatti molto spesso pezzatura e umidità non omogenea. Deriva infatti, prevalentemente dai residui di potatura. Le dimensioni diametriche dei tronchetti ottenibili sono di qualche centimetro nelle potature ordinarie, ma in occasione delle potature di risanamento possono aumentare decisamente. Le lunghezze utili per l'inserimento nella carbonaia sono di circa un metro. Tuttavia, è possibile impiegare quale input anche lo sminuzzato. Proprio nell'ambito del progetto INGECA, è stato concepito un prototipo di forno mobile verticale per la produzione in discontinuo di carbone vegetale, in grado di lavorare pezzature differenti e generare produzioni differenziate che vanno dalla comune carbonella ad uso energetico al carbone vegetale più fine, ad uso cosmetico e alimentare, fino alla produzione di ammendante (*biochar*) che può contribuire al miglioramento della fertilità del suolo del castagneto o di altre coltivazioni.

## 9.1 Il prototipo INGECA

Il prototipo è strutturato con uno sviluppo verticale, che delinea una tipologia di forni mobili denominati appunto "forni verticali a funzionamento discontinuo", in grado di operare in carbonizzazione diretta ed indiretta (Fig. 52 e 53)



carbonizzare attraverso un sistema a depressione e non per contatto diretto fiamma/legno. I contenitori sono riempiti disponendo verticalmente il tronchettame avendo cura di occupare il volume disponibile, oppure inserendo pezzature fini alla rinfusa con un medio grado di costipamento (esempio del cippato di legno).

Uno dei contenitori presenta un foro a circa metà della sua altezza che deve essere collocato in corrispondenza dello spioncino d'ispezione che si apre sul corpo della carbonaia. Il monitoraggio del processo avviene tramite apposita sonda termica e/o meccanica che può essere ivi inserita. Con questo metodo possono essere caricati e quindi carbonizzati tra i 190-280 kg di legname con una resa di circa il 22-26% quindi tra i 50-85 kg di carbone. Il processo ha una durata di circa 6-9 ore dalla fase di accensione a quella di spegnimento. Prima di aprire la carbonaia si devono attendere altre 12-36 h (fase di raffreddamento). Per l'alimentazione sono impiegati circa 50-100 kg di legname. Questo metodo risulta più veloce ma meno produttivo in termini di carbone prodotto rispetto al metodo diretto, in conseguenza del fatto che il materiale immesso è circa la metà.



*Fig. 54 - Interno della carbonaia, si possono osservare i tre fori di comunicazione con le tubazioni di raccordo con la canna fumaria che devono essere coperte con le griglie adottando il metodo di carbonizzazione diretto.*

Nell'intero processo, l'unico input energetico richiesto è quello di legna da ardere per l'unità di alimentazione, che fornisce l'energia termica necessaria per innescare il processo di carbonizzazione, poi il processo si autoalimenta.

Ogni fase può essere gestita da un unico operatore, dalla fase di carico allo scarico. Nel procedimento diretto sia il carico di legname che lo scarico sono manuali. Con il sistema indiretto in particolare può essere d'aiuto un paranco che permette sia il sollevamento del coperchio, sia la movimentazione dei contenitori che possono contenere un centinaio di chilogrammi di legna o sminuzzato ciascuno.

#### Funzionamento del prototipo

In fase iniziale di preparazione è necessario porre attenzione al posizionamento della carbonaia in piano, avendo cura che vi sia una leggera inclinazione in direzione del rubinetto di scarico dei liquidi di condensa.

Una volta caricata la camera di carbonizzazione, con la legna o con i contenitori cilindrici, si procede alla chiusura con il coperchio (cappello) che permette una chiusura ermetica. Quindi viene inserita la canna fumaria centrale ed effettuato il controllo dell'apertura di tutte le valvole per la gestione dei flussi gassosi in uscita ed entrata.

Durante la fase di accensione tutte le saracinesche, che verranno in seguito regolate per modulare il processo attraverso un adeguato flusso dei gas, devono essere aperte al massimo per agevolare il passaggio dell'aria. L'abbondante flusso d'aria accelera la combustione iniziale e l'innalzamento delle temperature. Per un corretto flusso dell'aria, è opportuno lasciare aperti inizialmente anche lo spioncino, lo sportello dell'unità termica e quello della fossa delle ceneri.

Dopo i primi 20-30 minuti la temperatura interna dovrebbe oscillare attorno ai 50 °C, quindi si procede chiudendo la saracinesca del camino centrale, e dopo ulteriori 15 minuti bisogna caricare completamente la camera di alimentazione, lasciando vuoto circa ¼ della sua profondità. Successivamente si chiude anche lo sportello della unità di alimentazione ed eventualmente lo spioncino di controllo. A questo punto, il circolo dell'aria interna è azionato, e inizia il processo di essiccazione del materiale inserito. Lo sportello delle ceneri è quindi lasciato aperto così come le tre saracinesche, per permettere alla combustione interna di alzare le temperature nella camera di carbonizzazione intorno ai 100 °C. Questa temperatura coincide con l'inizio della fuoriuscita dei liquidi di condensazione prelevabili dal rubinetto di scarico. Si procede con il chiudere di ¾ lo sportello delle ceneri, per limitare l'accesso di aria.

L'accensione del fuoco nella camera di combustione dell'unità di generazione termica dà inizio al processo. Da questo momento la carbonaia inizia a scaldarsi e il fumo a fuoriuscire dalle 2 canne fumarie (principale e secondaria). A questo punto del processo è essenziale controllare che il fumo in uscita dai camini sia di colore bianco candido. Se il fumo vira verso un colore più grigio o addirittura nero, è necessario chiudere l'entrata dell'aria per evitare che si propaghi il fenomeno della combustione rapida nella carbonaia, attendendo di nuovo l'emissione del fumo di colore bianco, così da poter riprendere il processo di carbonizzazione.

La temperatura si innalza seguendo un sistema forzato inverso (accesso di aria, attraverso l'apertura della fossa delle ceneri, che si riscalda grazie al calore del fuoco di alimentazione che passa all'interno della camera di carbonizzazione, attorno alla legna dal basso verso l'altro). Il monitoraggio della temperatura interna avviene grazie a termometri a sonda e laser. Dopo circa 3 ore, la temperatura interna dovrebbe aver superato i 150 °C, a questo punto si inizia ad agire anche sulle saracinesche che si trovano sui tubi di fuoriuscita dei fumi. In concomitanza con questa operazione, si apre lo sportello della stufa per controllare il consumo di legname, ed eventualmente caricarne altro. L'operazione di riempimento della stufa viene fatta soltanto quando il carico precedente si è esaurito. Dopo circa 3-7 ore il processo di essiccazione dovrebbe essere terminato; quindi, è necessario chiudere ulteriormente lo sportello delle ceneri. Questa fase si riesce ad individuare sia perché le temperature superano abbondantemente i 250 °C, sia perché è terminata la fuoriuscita del liquido dal rubinetto di scarico; dunque, inizia la vera e propria carbonizzazione. Le temperature a questo punto continuano a salire fino a oltre 350 °C. Durante il processo, l'immissione di ossigeno e la fuoriuscita dei fumi e dei liquidi

viene gestita attraverso l'azionamento delle altre due valvole che vengono progressivamente chiuse per limitare l'accesso di ossigeno e favorire la carbonizzazione (Fig. 55).



Fig. 55 - Le 3 saracinesche per la gestione dell'aria nella carbonaia.

Il processo volge al termine quando il fumo diventa trasparente; a questo punto si chiudono definitivamente tutti i flussi gassosi. Le temperature, che dopo circa mezz'ora si aggirano intorno a 400 °C, dovrebbero iniziare a scendere e il fumo a virare verso un colore azzurro. Al termine del processo di carbonizzazione l'unità termica è spenta ed è necessario chiudere ogni punto di accesso per l'aria, così che le braci si estinguano e rimanga il residuo solido costituito dal carbone. Da questo momento in poi inizia la fase di raffreddamento. Si lascia tutto così per 12-36 ore e successivamente si procede con l'apertura e lo scarico del materiale carbonizzato. Durante il processo di carbonizzazione i fumi che si svolgono rappresentano un fattore da monitorare, perché danno utili indicazioni dello stadio raggiunto dal processo. Durante le prime ore di accensione, si assiste all'essiccazione del materiale che è indicata da emissioni di colore bianco candido, compatte, costituite in gran parte da vapore acqueo. Questa fase dipende all'umidità del materiale: maggiore è l'umidità del materiale immesso più lunga è questa fase che termina quando il materiale è pressoché anidro. Il colore dei fumi vira quindi ad un bianco più chiaro, poi bianco giallastro durante la carbonizzazione, e sempre più tendente al trasparente durante la fase vera e propria di carbonizzazione. Il termine del processo viene indicato da fumo trasparente con colorazione bluastra.

Oltre al carbone prodotto, gli altri output del processo sono gassosi (fumi), liquidi di condensazione e solidi (ceneri). Solo i fumi risultano attualmente dispersi, mentre i liquidi di pirolisi e le ceneri sono completamente recuperabili.

## 9.2 I prodotti “Carbone”

La produzione di carbone è un'ottima strategia per convertire gli scarti delle colture arboree, come potature e cimali, ricci e castagne scartate alla raccolta, in un prodotto organico stabilizzato. Al tempo stesso permette l'eliminazione di siti favorevoli alla diffusione di organismi indesiderati in una produzione di castagne di qualità.

Sia la carbonella sia il *biochar* sono prodotti (carbone) ricchi in carbonio che si ottengono dalla trasformazione termica di biomasse legnose. Le caratteristiche dipendono dal materiale di origine, come dimensione, quantità di corteccia e umidità, e dal processo di produzione. Le condizioni operative che durante la pirolisi possono influire sulle caratteristiche fisiche del prodotto sono la velocità di riscaldamento, la temperatura di carbonizzazione, il tempo di permanenza, la pressione, i pretrattamenti della biomassa.

Il materiale di input può essere sotto forma di legna con diametri variabili e lunghezza ridotta a circa un metro, (sistema diretto o indiretto), ma anche sminuzzato o altri residui (sistema indiretto), provenienti dalla coltivazione del castagneto da frutto, ma anche forniti da altre fonti interne all'azienda, come residui di potature di altri fruttiferi o residui di operazioni selvicolturali. Il prodotto ottenuto ha pertanto caratteristiche, anche solo dimensionali, peculiari e quindi destinazione diversa.

La carbonizzazione effettuabile in questo prototipo è un processo lento che si svolge a bassa media temperatura (inferiore a 500 °C), ed è il sistema che restituisce una resa più elevata in prodotto solido (carbone), rispetto a sistemi rapidi e/o ad alte temperature di pirolisi (Bridgwater, 2007), elemento da non sottovalutare a livello aziendale.

*Biochar* e carbonella sono prodotti che possono essere ulteriormente valorizzati in azienda o venduti a terzi, trasformandosi così in una fonte ulteriore di reddito derivante da materiali altrimenti da smaltire. Altri prodotti assai promettenti sono costituiti dai liquidi di condensazione derivati dal processo di pirolisi.

### Carbonella

La carbonella è carbone prodotto con legna di piccola pezzatura. Per l'impiego nella cottura, la carbonella ha un certo interesse economico ed è decisamente apprezzata per le caratteristiche organolettiche che conferisce agli alimenti. Le caratteristiche specifiche della carbonella prodotta dal prototipo di forno verticale a funzionamento discontinuo, sia operante in carbonizzazione diretta che indiretta, sono riportate in Tabella 9. Il confronto tra due tipi di carbonella commerciale, di basso ed alto profilo, con la carbonella prodotta evidenzia ottimi risultati a favore della produzione in carbonaia verticale.

Tab. 9 - Confronto tra alcune tipologie di carbone commercializzato e quello prodotto nella carbonaia verticale.

Parametri	Carbonella commerciale di medio profilo	Carbonella commerciale di elevato profilo	Metodologia indiretta	Metodologia diretta
Dimensioni mm	10-90	20-80	16-45	16-45
Densità <i>bulk</i> kg/m <sup>3</sup>	225	241	465	472
Umidità %	7	6	0	0
Carbonio fisso	82	82	84	83
Sostanze volatili %	15	16	14	14
Residuo in cenere %	2,5	2	2,2	3,1
PCS MJ/kg	n.d	n.d	34,6	36.1
PCI MJ/kg	30,3	31,5	30.4	32.1

Il risultato dipende dal materiale di partenza, ma anche dal tipo di processo di carbonizzazione che nel caso della carbonella prodotta nel forno verticale è lento e condotto a temperature non elevate. Questa metodologia è in grado di preservare la struttura anatomica del legno e di fornire le basi per una produzione di qualità. Le dimensioni e il contenuto in ceneri sono imputabili alla materia prima utilizzata che è di piccole dimensioni. Tuttavia, si ottiene un prodotto che è costituito soprattutto da elementi a sezione circolare, considerati di pregio. Altre caratteristiche notevoli per l'uso a cui è destinata la carbonella sono sia la densità *bulk* sia la bassa emissione di sostanze volatili. Il residuo in cenere è decisamente variabile, ma in linea con il materiale impiegato. Al momento le analisi condotte in comparativa sono indirizzate al

solo contesto alimentare/energetico, ma i presupposti evidenziano ottime potenzialità anche per altri possibili impieghi.

#### Biochar

Il termine '*biochar*' sottolinea l'origine biologica del carbone prodotto ed è definito come "la materia organica carbonizzata prodotta con l'intento di applicarla ai terreni per sequestrare il carbonio e migliorarne le proprietà" (Picchio et al., 2022). Le proprietà agronomiche dei residui della combustione sono infatti note per incrementare la produttività dei suoli. Il *biochar* è un ammendante riconosciuto, ed è incorporato nei suoli per migliorare le caratteristiche strutturali, la ritenzione idrica, la capacità di scambio cationico. Il *biochar* per sua natura ha un pH elevato, come quello riscontrato nelle produzioni della carbonaia in esame, e questo è un elemento che deve essere valutato attentamente. Il *biochar* è un prodotto carbonioso che non viene rapidamente mineralizzato, grazie alla sua elevata stabilità chimica e fisica. Questa capacità di lunga permanenza nel suolo lo rendono apprezzato quale sistema per costituire un serbatoio di stoccaggio della CO<sub>2</sub> per un lungo periodo.

#### Liquidi condensati e ceneri

Durante le diverse fasi di carbonizzazione si formano dei composti di degradazione del legno che possono condensare ed essere raccolti (Fig. 56). Il quantitativo è risultato variabile con il metodo di carbonizzazione adottato e correlato anche con il rendimento in carbone. I quantitativi di ceneri, non sono sorprendenti dato che il materiale di partenza è con corteccia e di piccolo diametro. Le ceneri prodotte ed i liquidi di condensazione risultano leggermente superiori nella metodologia di carbonizzazione indiretta.

I liquidi condensati, prodotti durante la carbonizzazione, non erano propriamente oggetto di studio; tuttavia, sembrano un prodotto interessante da potersi usare quale "fumo liquido" peraltro già utilizzato nell'industria per conferire un sentore di affumicatura a prodotti alimentari. Inoltre, trova uso in preparati contro organismi nocivi in agricoltura o ambito forestale. Un elemento a favore di un approfondimento sulle caratteristiche di questo prodotto risiede nel fatto che ne è nota la provenienza e che soprattutto deriva da legno vergine.



Fig. 56 - Liquidi di condensati delle diverse fasi di essiccazione durante la carbonizzazione.

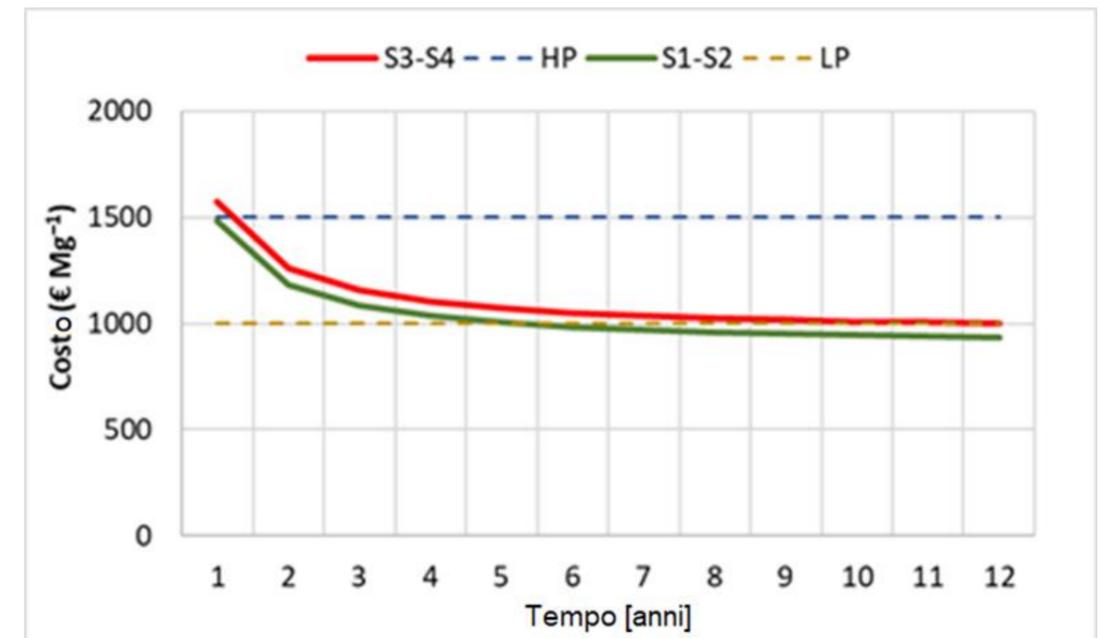


Fig. 57 - Calcolo economico del costo di produzione di biochar da potature di castagno, considerando un prezzo di mercato del biochar di € 1000 (LP) e 1500 (HP), anno riferimento secondo semestre 2022 per gli scenari ante crisi energetica S1-S2 e post crisi S3-S4.

### 9.3 Ipotesi produttive

Nella descrizione del prototipo e suo funzionamento, si è fatto riferimento a due metodologie differenti, che permettono di processare il materiale in entrata, ciascuna delle quali porta a risultati diversi in termini di produttività e di costi per le risorse umane e il materiale. Nell'ambito di INGECA è stata condotta anche un'analisi di mercato preliminare, in particolare le analisi economiche riportate nelle figure 57 e 58, hanno riguardato la produzione di *biochar* e carbonella, rivolte ad un'azienda castanicola locale di tipologia standard.

Nelle ipotesi, si è valutato l'eventuale interesse in scenari di mercato variabili, considerando un periodo temporale di 12 anni. Prendendo in esame due tipologie produttive ed ipotizzando due filiere differenti di trattamento dei residui di potatura e recupero, si prospettano due scenari diversi.

Un primo scenario ha considerato la sminuzzatura del materiale come input per la produzione di *biochar* (Fig. 57), mentre un altro ha considerato come input tronchetti per la produzione di carbonella (Fig. 58).

Inoltre, il processo è stato valutato in due scenari riferiti ai costi (S1-S2: costi di base antecedenti alla crisi energetica attuale; S3-S4: costi incrementati a seguito della crisi di cui sopra), considerando diversi livelli ipotetici di prezzo di mercato per il *biochar* e per la carbonella.

La metodologia indiretta di produzione del carbone trova il suo ottimo impiego nel processare materiale di pezzatura piccola o fine, indirizzato principalmente a *biochar* in qualità di ammendante. Il ciclo ideale prevede la presenza di un frantumatore di materiale in entrata, per ottenere materiale collocabile sul mercato per valori che variano dai 3 ai 9 €/kg tal quale.

La metodologia diretta di produzione del carbone trova il suo ottimo impiego nel processare materiale di pezzatura media, simile a legna da ardere, proprio per il fatto che il fuoco entra a diretto contatto con il materiale da carbonizzare. Il risultato è indirizzato principalmente a carbonella per diversi usi alimentari. Il ciclo ideale prevede l'assortimentazione con motosega in tronchetti di un metro di lunghezza, per ottenere materiale collocabile sul mercato a valori variabili dai 3 alle 5 €/kg tal quale.

Da una prima interpretazione dei risultati è evidente che, a seconda delle combinazioni di scenario, si può avere un rientro dell'investimento in un tempo variabile, stimato tra 1 e 4 anni. Nella realtà agricola italiana la riduzione dei margini di guadagno per gli agricoltori è un fenomeno sempre più diffuso. La castanicoltura da frutto, al contrario, offre ancora numerose possibilità di incrementare il reddito dei produttori. Ad esempio, l'aumento di valore (o valore aggiunto) che la castagna riceve all'inizio della filiera produttiva è frutto delle lavorazioni e, eventualmente, prime trasformazioni alle quali viene sottoposta direttamente dal castanicoltore. Allo stesso modo, la valorizzazione di tutti gli eventuali sottoprodotti connessi alla coltivazione e gestione del castagneto da frutto rappresentano, oggi più che mai, una possibilità per rafforzare e rilanciare questa filiera in linea con le attuali necessità e tecnologie presenti, senza tuttavia dimenticare la storia e la tradizione plurisecolare di alcune tecniche.

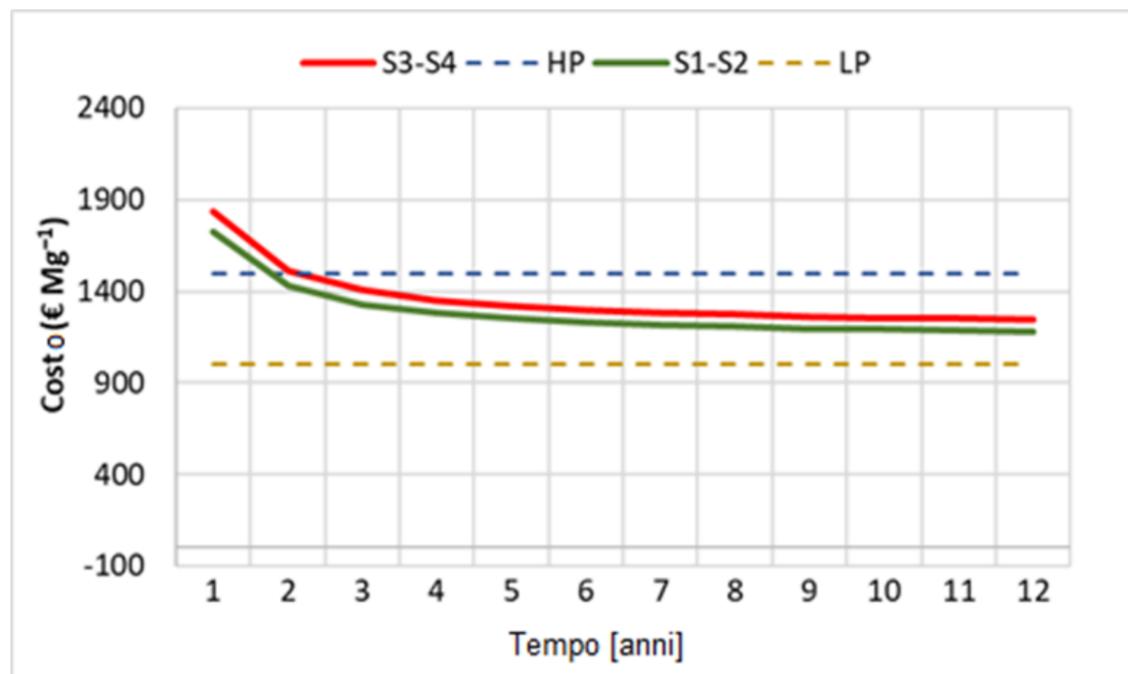


Fig. 58 - Calcolo economico del costo di produzione di carbonella da potature di castagno, considerando un prezzo di mercato del carbone di € 1000 (LP) e 1500 (HP), anno riferimento secondo semestre 2022 per gli scenari ante crisi energetica S1-S2 e post crisi S3-S4.

La carbonaia si è rivelata un macchinario in grado di rispondere alle esigenze a scala di azienda castanicola, ma la versatilità del sistema diretto e indiretto la rende anche adatto a tutte quelle aziende che dispongono di scarti agro-forestali, come le potature di oliveti e vigneti, rendendo il progetto multiruolo nel creare indotti economici e occupazionali a partire da elementi prima considerati di scarto e soprattutto non vincolati esclusivamente alla castanicoltura.

## BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1978). Piano di Bonifica del comprensorio Casentino-Valadarno Arezzo. Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Arezzo (Datiloscritto).

Adams, Martin R., Maurice O. Moss, and Maurice O. Moss. Food microbiology. Royal society of chemistry, 2000.

Agresti G., Castorina R., Genco G., Giagnacovo C., Lo Monaco A., Pelosi C. (2010). Wood of chestnut in cultural Heritage. Acta Horticulturae, 866: 51-57.

Agrios, G.N. (2005). Plant Pathology. 5th. Edition. Elsevier Academic Press, Burlington, MA

Amirante P., Baraldi G. (2004). Realizzazioni del recente passato e potenzialità della ricerca per lo sviluppo di una moderna meccanizzazione agricola. Atti della giornata "Innovazione tecnologica e ricerca per lo sviluppo di una moderna meccanizzazione agricola", Accademia Nazionale di Agricoltura, Bologna.

Anselmi, N., and A. Giorelli. "Factors influencing the incidence of *Rosellinia necatrix* Prill. in poplars 1." European Journal of Forest Pathology 20, no. 3 (1990): 175-183.

Antonaroli R. (1992). Confronto tra diversi materiali pacciamanti su ceppaie di castagno (*Castanea sativa* Mill.) secondo contributo. Informatore Agrario 28: 43-45.

Antonaroli, R., Perna, M.R. (2000). Una fitopatia ad eziologia ancora incerta: il giallume del castagno in Emilia-Romagna e nelle Marche. Sherwood 57, 43-46.

Arrigoni PV, Viciani D. (2001). Caratteri fisionomici e fitosociologici dei castagneti toscani. Parlatorea V: 55 - 99. 2001

Asan C., Hazir S., Cimen H., Ulug D., Taylor J., Butt T., Karagoz M., (2017). An innovative strategy for control of the chestnut weevil *Curculio elephas* (Coleoptera: Curculionidae) using *Metarhizium brunneum*. Crop Protection, 102:147-153.

Autori Vari (1995). Il legno nell'arte. Lazio. Progetto Cultura. Ministero Delle risorse agricole alimentari e forestali. Federlegno Arredo. IGER Roma pp. 211.

Bagnaresi U., Bassi D., Casini E., Conticini L., Magnani G.P. (1979). Contributo alla individuazione delle cultivar di castagno tosco-emiliane. Atti Giornata del Castagno, Caprese Michelangelo 3 dicembre 1977, pp. 165-233.

Baldi, P., & La Porta, N. (2020). Molecular approaches for low-cost point-of-care pathogen detection in agriculture and forestry. Frontiers in Plant Science, 11, 570862.

Baldini E. (1959). Contributo allo studio delle cultivar di castagno della provincia di Arezzo. Centro di studio sul Castagno, C.N.R., Anno 29 pp. 17-63.

Baldini S., Lo Monaco A. (2005). Il legno di castagno (*Castanea sativa* Mill.): Aspetti tecnologici e impieghi. ITALUS HORTUS 12 (5): 47-49, ISSN: 1127-3496.

Baldini S., Picchio R. (2003). Cippatrici, frantumatori, sminuzzatrici! Che confusione!!, Acer, 5/2003.

Baldini S., Picchio R. (2005). Uso e caratteristiche delle motoseghe "l'insostituibile"; rivista Acer, 2005, 5, p.67-71.

Balsa, C., Bento, A., & Paparella, F. (2021). Biological control of the Asian chestnut gall wasp in Portugal: Insights from a mathematical model. Plos one, 16(7), e0254193.

Baptista, P., Reis, F., Pereira, E., Tavares, R. M., Santos, P. M., Richard, F., Selosse M., Lino-Neto, T. (2015). Soil DNA pyrosequencing and fruitbody surveys reveal contrasting diversity for various fungal ecological guilds in chestnut orchards. Environmental microbiology reports, 7(6), 946-954.

Barlucchi A. 2011. Osservazioni sulla produzione del carbone di castagno in Casentino (secoli XI-V-XV). I «Colloqui di Raggiolo» Il castagno: aspetti materiali e immaginario tra Medioevo ed età contemporanea. Atti della Sesta e Settima Giornata di Studi. Annali Aretini XIX: 291-308 (2012), Fraternita dei Laici, Arezzo.

Bassi D., Sansavini S. (1984). Ricostituzione dei castagneti da frutto: utilizzazione delle ceppaie e allevamento dei polloni innestati. *Frutticoltura* 3-4: 27-31.

Bassi S., Giannini R., Lambardi M., Tani A. (1986). Primi risultati sugli effetti di potatura e capitozzatura in castagneti abbandonati. *Giornate di studio sul castagno, Caprarola (VT) 6-7 novembre 1986*, pp. 233-241.

Becagli C. (2004). Soprasuoli di castagno del Pratomagno casentino (AR). *Uso del suolo e forme di governo dal 1955 al 1997*. *Sherwood* 104: 35-39.

Beccaro G. L., Torello-Marinoni D., Binelli G., Donno D., Boccacci P., Botta R., Cerutti A. K., Conedera M. (2012). Insights in the chestnut genetic diversity in Canton Ticino (Southern Switzerland). *Silvae Genetica* 61, 6

Beccaro, G. L., R. Botta, D. Torello Marinoni, A. Akkak and G. Bounous (2004): Application and evaluation of morphological, phenological and molecular techniques for the characterization of *Castanea sativa* Mill. cultivars. *Acta Horticulturae* 693: 453-457.

Beccaro, G.L., Mellano, M.G., Barrel, A. Trasi-no, C. (2009). Restoration of old and abandoned chestnut plantations in Northern Italy. *International Workshop on Chestnut Management in Mediterranean Countries-Problems and Prospects*. *Acta Hort. (ISHS)* 815: 185-190.

Bellini E. Vezzalini L. (2011). La multifunzionalità del castagno. I «Colloqui di Raggiolo» Il castagno: aspetti materiali e immaginario tra Medioevo ed età contemporanea. *Atti della Sesta e Settima Giornata di Studi*. *Annali Aretini* XIX: 309-322 (2012), Fraternita dei Laici, Arezzo.

Bellini E., Morelli D. (2016) - Castagno. In: C. Fideghelli (ed.) *Atlante dei fruttiferi autoctoni italiani*. Vol. II. 553-693. MIPAAF-CREA Centro di Ricerca per la Frutticoltura..

Bellini E., Morelli D. (2016). Castagno. In: Fideghelli C. (ed) *Atlante dei fruttiferi autoctoni italiani*. CREA, MIPAAF Vol. II, pp. 557-698.

Benavent-Celma, C., López-García, N., Ruba, T., Ściślak, M. E., Street-Jones, D., van West, P., Woodward, S., Witzell, J. (2021). Current practices and emerging possibilities for reducing the spread of oomycete pathogens in terrestrial and aquatic production systems in the European Union. *Fungal Biology Reviews*.

Benavent-Celma, C., López-García, N., Ruba, T., Ściślak, M. E., Street-Jones, D., van West, P., Woodward, S. & Witzell, J. (2021). Current practices and emerging possibilities for reducing the spread of oomycete pathogens in terrestrial and aquatic production systems in the European Union. *Fungal Biology Reviews*.

Bernabei M. (1994). Aspetti della duramificazione nel castagno dell'Italia centrale. *Linea ecologica - Economia montana*, 2: 49-54.

Bernetti G. (2015). *Le piante del bosco. Il castagno. In Forme, vita e gestione*. Compagnia delle foreste editore Arezzo 145-156.

Berti S. (2013). Valorizzazione del legname di castagno In: *I castagneti dell'Insubria*. ERSAF - Regione Lombardia.

Berti S., Brunetti M., Monti M., Pellegrini P., Sorbetti Guerri F. (2004). La valorizzazione del legno toscano nella costruzione di barriere stradali antirumore e di sicurezza (CD)- Arsia (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-Forestale), Regione Toscana, Firenze.

Berti S., De Luca L., Edlmann Abbate M. L., Gambetta A., Orlandi E. (1991). Per una Migliore Utilizzazione del Legno Ritraibile dal Bosco Ceduo Contributi scientifico-pratici per una migliore conoscenza ed utilizzazione del legno Istituto per la Ricerca sul Legno: Florence, Italy, 1991; No. 86.

Bertoldi, D., Miorelli, P., Pedrazzoli, F., Delugan, S., Deromedi, M., Maresi, G., 2020. Investigations on yellowing of chestnut crowns in Trentino (Alps, Northern Italy). *iForest – Biogeosciences For.* 13, 466-472. <https://doi.org/10.3832/ifor3488-013>

Bhat AI, Hohn T, Selvarajan R. Badnaviruses: The Current Global Scenario. *Viruses*. 2016 Jun 22;8(6):177. doi: 10.3390/v8060177. PMID: 27338451; PMCID: PMC4926197.

Bianchi L., Maltoni A., Mariotti B., Paci M. 2009. La selvicoltura dei castagneti da frutto abbandonati della Toscana. *ARSIA, Regione Toscana*, pp. 138.

Bini S, Proietti AM 2001. Potatura: tecniche tradizionali ed innovative. In: *Il castagno*. Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali, Consiglio Nazionale delle Ricerche: 64-97.

Blaiotta, G., Di Capua, M., Romano, A., Coppola, R., and Aponte, M. (2014). Optimization of water curing for the preservation of chestnuts (*Castanea sativa* Mill.) and evaluation of microbial dynamics during process. *Food Microbiology*, 42, 47-55.

Boonham N. (2014): On-site testing: moving decision making from the lab to the field. In *Detection and Diagnostics of Plant Pathogens* (pp. 135-146). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9020-8>.

Borah B.K., Sharma S., Kant R., Anthony-Johnson A.M., Saigopal D.V.R., Dasgupta I. Bacilliform DNA-containing plant viruses in the tropics: Commonalities within a genetically diverse group. *Mol. Plant Pathol.* 2013;14:759-771. doi: 10.1111/mpp.12046.

Bounous A. 2014. *Il castagno*. Edagricole, pp. 420.

Breviglieri N. 1955. Indagini e osservazioni sulle migliori varietà italiane di castagno. *CNR- Centro di Studio sul Castagno* (2), 1:166.

Brown, N., Pérez-Sierra, A., Crow, P., & Parnell, S. (2020). The role of passive surveillance and citizen science in plant health. *CABI Agriculture and Bioscience*, 1(1), 1-16.

Brussino, G., Bosio, G., Baudino, M., Giordano, R., Ramello, F. & Melika, G. (2002) Pericoloso insetto esotico per il castagno Europeo. *Informatore Agrario*, 37: 59-61.

Bussotti F., Cenni E., Bettini D., Sarti C., Stergule F., Feducci M., Capretti P., 2014. Le condizioni dei boschi in Italia. Risultati dalle indagini estensive di Livello I (1997-2010). *Forest@* 11: 8-12. doi: 10.3832/efor1005-011

Bussotti F., G. Papitto, D. Di Martino, C. Cocciuffa, C. Cindolo, E. Cenni, D. Bettini, G. Iacopetti, M. Pollastrini, 2021. Defoliation, Recovery and Increasing Mortality in Italian Forests: Levels, Patterns and Possible Consequences for Forest Multifunctionality. *Forests* 2021, 12, 1476

Bustin S. A. (2005): Real-time PCR. *Encyclopedia of diagnostic genomics and proteomics*, 10(1), 117-1. DOI: 10.1081/E-EDGP 120020684

Caraffini B. 1986. Con l'innesto si può recuperare il vecchio ceduo di castagno. *Informatore Agrario* 2: 43-45.

Carlini I. 1986. Conversione di ceduo castanile in castagneto da frutto. *Giornate di studio sul castagno, Caprarola (VT) 6-7 novembre 1986*, pp. 257-261.

Castellana S, Martin MÁ, Solla A, Alcaide F., Villani F., Cherubini M, Neale D, Mattioni C., 2021. Signatures of local adaptation to climate in natural populations of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) from southern Europe. *Annals of Forest Science* (2021) 78: 27. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01027-6>

Cavalli R. (1997). Il trattore agricolo a 4RM e il vericello nel concentramento e nell'esbosco di legname, *Sherwood*, 21, 3/1997.

Chandelier, A., Hulin, J., San Martin, G., Debode, F., & Massart, S. (2021). Comparison of qPCR and Metabarcoding Methods as Tools for the Detection of Airborne Inoculum of Forest Fungal Pathogens. *Phytopathology*, 111(3), 570-581.

Chandelier, A., Massot, M., Fabreguettes, O., Gischer, F., Teng, F., & Robin, C. (2019). Early detection of *Cryphonectria parasitica* by real-time PCR. *European Journal of Plant Pathology*, 153(1), 29-46.

Cho, D.Y. & Lee, S.O. (1963). Ecological studies on the chestnut gallwasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu, and observations on the damages of the chestnut trees by its insect. *Korean Journal of Plant Protection*, 2:47-54.

- Cipollini, M., Dingley, N. R., Felch, P., Maddox, C. (2017). Evaluation of phenotypic traits and blight-resistance in an American chestnut backcross orchard in Georgia. *Global Ecology and Conservation*, 10, 1-8.
- Comandini, P., Lerma-García, M.J., Simó-Alfonso, E.F., Toschi, T.G. (2014). Tannin analysis of chestnut bark samples (*Castanea sativa* Mill.) by HPLC-DAD-MS. *Food Chem.* 157, 290–295.
- Conedera M., Krebs P., Gehring E, Wunder J, Hülsmann L, Abegg M, Maringer J. (2021). How future-proof is Sweet chestnut (*Castanea sativa*) in a global change context? *Forest Ecology and Management* 494, 119320. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119320>
- Conedera, M., P. Krebs, W., M. Pradella and D. Torriani (2004a): The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Vegetation History and Archaeobotany* 13: 161–179.
- Conedera M., Tinner W., Krebs P., de Rigo D., Caudullo G. 2016. *Castanea sativa* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e0125e0+
- Conedera, M., M. C. Manetti, F. Giudici and E. Amorini (2004b): Distribution and economic potential of the Sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in Europe. *Ecologia Mediterranea* 30, 2: 179–193.
- Corona E. (1996). Il legno di Castagno, caratteristiche e impieghi. *Atti del Convegno: Il legno di Castagno: una risorsa da valorizzare*, Canepina (VT) 1986.
- Cristinzio, G., & Testa, A. (2005). Main fungal diseases on different chestnut parts [*Castanea sativa* Mill.]. *Italus Hortus* (Italy).
- Crocker, E., Condon, B., Almsaeed, A., Jarret, B., Nelson, C. D., Abbott, A. G., Main, D. & Staton, M. (2020). TreeSnap: A citizen science app connecting tree enthusiasts and forest scientists. *Plants, People, Planet*, 2(1), 47-52.
- Curto G., Reggiani A., Dallavalle E., Bariselli M. (2009). Control of carpophagous Lepidoptera in chestnut by means of entomopathogenic nematodes. *Insect Pathogens and Insect Parasitic Nematodes IOBC/wprs Bulletin*, 45:345-348.
- D.R.E.A.M. Italia 2007. Piano di Gestione del complesso forestale regionale “PRATOMAGNO VALDARNO” - (2007-2021).
- D.R.E.A.M. Italia 2014. Piano di Gestione del complesso agroforestale regionale “PRATOMAGNO CASENTINO” - (2014-2028).
- Dane F, Lang P, Huan H, Fu Y, 2003. Intercontinental genetic divergence of *Castanea* species in eastern Asia and eastern North America. *Heredity* 91, 314–321
- Dar, M. A., & Rai, M. (2015). *Gnomoniopsis smithogilvyi*, a canker causing pathogen on *Castanea sativa*: First report. *Mycosphere*, 6(3), 327-336.
- Delatour, C., Muller C., Bonnet-Masimbert M. 1982. Progress in acorns treatment in a long term storage prospect. In: Wang, B.S.P. and Pitel, J.A. (eds.): IU-FRO Working Party on Seed Problems. Proc. of the International Symposium on Forest Tree Storage, Sept. 23–27 1980, Petawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service: 126–133.
- De Mattos-Shiple, K. M., Ford, K. L., Alberti, F., Banks, A. M., Bailey, A. M., & Foster, G. D. (2016). The good, the bad and the tasty: the many roles of mushrooms. *Studies in mycology*, 85(1), 125-157.
- Demené, A., Legrand, L., Gouzy, J., Debuchy, R., Saint-Jean, G., Fabreguettes, O., & Dutech, C. (2019). Whole-genome sequencing reveals recent and frequent genetic recombination between clonal lineages of *Cryphonectria parasitica* in western Europe. *Fungal Genetics and Biology*, 130, 122-133.
- Desvignes, J. C. 1992. Characterization of the chestnut mosaic. *Acta Hort.* 309:353-358.
- Desvignes, J.-C., Boye, R., Cornaggia, D., Grasseau, N., 1999. *Virus Diseases of fruit trees*. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris.
- Desvignes, J. C., and Cornaggia, D. 1996. Mosaïque du chataignier: Transmission par le puceron *Myzocallis castanicola*. *Phytoma* 481:39-41.
- Desvignes, J. C., and Lecocq, G. 1995. New knowledges on the chestnut mosaic virus disease. *Acta Hort.* 386:578-584.
- De Vasconcelos MCBM, Bennett R.N., Rosa EAS, Ferreira-Cardoso J.V., 2010. Composition of European chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and association with health effects: fresh and processed products. *J Sci Food Agric* 2010; 90: 1578–1589.
- Diamandis, S. (2018). Management of chestnut blight in Greece using hypovirulence and silvicultural interventions. *Forests*, 9(8), 492.
- Diamandis, Stephanos, and Chariklia Perlerou. “The mycoflora of the chestnut ecosystems in Greece.” *Forest Snow and Landscape Research* 76.3 (2001): 499-504.
- Di Girolamo, F. V., Pagano, M., Tredicucci, A., Bitossi, M., Paoletti, R., Barzanti, G. P., Benvenuti C., Roversi P.F., Toncelli, A. (2021). Detection of fungal infections in chestnuts: a terahertz imaging-based approach. *Food Control*, 123, 107700.
- Dixon, W.N., Burns, R.E. & Stange, L.A. (1986) Oriental chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: *Cynipidae*). *Entomology Circular, Division of Plant Industry, Florida Department of Agriculture and Consumer Services*, 287:1-2.
- Dutto M., Ferracini C., Faccoli M. (2018). Serious infestations of *Xylosandrus germanus* (Blandford, 1894) (Coleoptera: *Curculionidae*, *Scolytinae*) in chestnut plantations of North-Western Italy. *Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology*, 15:112-116.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization) (2010). First Report of *Dryocosmus kuriphilus* in Molise Region (IT). *OEPP/EPPO Reporting service*, 8 (2010/136), p. 3.
- Faini A. 1997. Innesto del castagneto da frutto. *Sherwood* 22: 3-7.
- Fernandes, P., Colavolpe, M. B., Serrazina, S., & Costa, R. L. (2022). European and American chestnuts: An overview of the main threats and control efforts. *Frontiers in Plant Science*, 13, 951844
- Fernandez-Conradi, P., Fort, T., Castagneyrol, B., Jactel, H., & Robin, C. (2019). Fungal endophyte communities differ between chestnut galls and surrounding foliar tissues. *Fungal Ecology*, 42, 100876.
- Ferracini C., Dutto M., Faccoli M., (2019). Prima segnalazione di *Xylosandrus crassiusculus* su castagno in Piemonte. *Acta Italus Hortus*, 25:173-174.
- Ferracini C., Gonella E., Ferrari E., et al. (2015). Novel insight in the life cycle of *Torymus sinensis*, biocontrol agent of the chestnut gall wasp. *BioControl* 60:169–177.
- Ferrari, D., Contaldo, N., Bertaccini, A., 2018. Association of phytoplasmas with a chestnut yellows in Italy. *Phytopathogenic Mollicutes* 8, 69. <https://doi.org/10.5958/2249-4677.2018.00009.9>
- Ferrini A., Pisani P.L. 1993. Propagazione, impianto, allevamento e tecnica colturale del castagneto: Aspetti tecnici e scientifici. *Proceedings of the International Congress on Chestnut Spoleto october 20-23 1993*, pp. 151-163.
- Fineschi S, Malvolti ME, Morgante M, Vendramin GG (1994) Allozyme variation within and among cultivated varieties of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.). *Canadian Journal of Forest Research*, 24, 1160–1165.
- Fineschi, S., Turchini, D., Villani, F., Vendramin, G.G., 2000. Chloroplast DNA polymorphism reveals little geographical structure in *Castanea sativa* Mill. (Fagaceae) throughout southern European countries. *Mol.Ecol.* 9, 1495–1503.
- Flinn, K. M., Dolnicek, M. N., Cox, A. L. (2022). Gap dynamics and disease-causing invasive species drive the development of an old-growth forest over 250 years. *Forest Ecology and Management*, 508, 120045.
- Fraga D., Meulia T., Fenster S. (2014): Real-time PCR. *Current protocols essential laboratory techniques*, 8(1), 10-3. <https://doi.org/10.1002/9780470089941.et1003s08>

Francati S., Alma A., Ferracini C., Pollini A., Dindo M.L. (2015). Indigenous parasitoids associated with *Dryocosmus kuriphilus* in a chestnut production area of Emilia Romagna (Italy). *Bulletin of Insectology*, 68(1):127-134.

Freitas TR., Santos JA., Silva AP., Fraga H, 2022. Influence of Climate Change on Chestnut Trees: A Review. *Plants* 2021, 10, 1463. <https://doi.org/10.3390/plants10071463>

Gaffuri, F., Maresi, G., Pedrazzoli, F., Longa, C. M. O., Boriani, M., Molinari, M., & Tantardini, A. (2015). *Colletotrichum acutatum* associated with *Dryocosmus kuriphilus* galls on *Castanea sativa*. *Forest Pathology*, 45(2), 169-171.

Gamba G. e Mellano M.G., 2021. Nasce la certificazione vivaistica volontaria per la castanicoltura italiana: istituito dal Mipaaf il centro per la conservazione e la premoltiplicazione del castagno. *Castanea* 18, 16-17.

García-Ruiz, J.M.; Lana-Renault, N. Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region—A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2011, 140, 317–338.

Ghosh, S. K., Panja, A. (2021). Different mechanisms of signaling pathways for plant protection from diseases by fungi. In *Biocontrol Agents and Secondary Metabolites* (pp. 591-630). Woodhead Publishing.

Giannini R., Proietti-Placidi AM. 1997. Il castagneto da frutto tecniche colturali, d'impianto e principali metodi d'innesto. Regione Veneto.

Gilioli, G., Pasquali, S., Tramontini, S., Riolo, F. (2013). Modelling local and long-distance dispersal of invasive chestnut gall wasp in Europe. *Ecological Modelling*, 263, 281-290.

Giordano G. (1981). *Tecnologia del legno* Vol. 1 UTET. Pp. 1256.

Giordano G. (1988). *Tecnologia del legno* Vol. 3 tomo 2. UTET.

Grossoni P., Bruschi P., Bussotti F., Pollastrini M., Selvi F., 2020. *Trattato di Botanica Forestale*. 2. Angiosperme. CEDAM – Scienze Naturali. Wolters Kluwer, Milano (IT). Pp 670. ISBN 9 788813 373412

Gualaccini, G., 1958. Una virosi nuova del castagno. *Boll. Della Stn. Di Patol. Veg. di Roma* 16, 67–75.

Hamelin, R. C., Roe, A. D. (2020). Genomic biosurveillance of forest invasive alien enemies: A story written in code. *Evolutionary applications*, 13(1), 95-115.

Hardham, A. R., Blackman, L. M. (2018). *Phytophthora cinnamomi*. *Molecular plant pathology*, 19(2), 260-285.

Hariharan, G., Prasannath, K. (2021). Recent advances in molecular diagnostics of fungal plant pathogens: a mini review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, 829.

Heid C. A., Stevens J., Livak K. J., Williams P. M. (1996): Real time quantitative PCR. *Genome research*, 6(10), 986-994. doi: 10.1101/gr.6.10.986

Hillis, W.E. (1997). Tannin Chemistry. In: Brown, A.G., Ko, H.C. (Eds.), *Black Wattle and Its Utilization*. 97/72, RIRDC publication, p. 167.

Hippoliti G. (1997). *Appunti di meccanizzazione forestale*, Studio Editoriale Fiorentino, monografia, 318 pp.

Iason, G. R., Taylor, J., Helfer, S. (2018). Community-based biotic effects as determinants of tree resistance to pests and pathogens. *Forest Ecology and Management*, 417, 301-312.

Ivanov, A. V., Safenkova, I. V., Zherdev, A. V., Dzantiev, B. B. (2021). The potential use of isothermal amplification assays for in-field diagnostics of plant pathogens. *Plants*, 10(11), 2424.

Jermine, M., Conedera, M., Sieber, T. N., Sassella, A., Schärer, H., Jelmini, G., Höhn, E. (2006). Influence of fruit treatments on perishability during cold storage of sweet chestnuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(6), 877-885.

Jiang, N., Liang, L. Y., Tian, C. M. (2020). *Gnomoniopsis chinensis* (Gnomoniaceae, Diaporthales), a new fungus causing canker of Chinese chestnut in Hebei Province, China. *MycKeys*, 67, 19.

Jiang, N., & Tian, C. (2019). An emerging pathogen from rotted chestnut in China: *Gnomoniopsis daii* sp. nov. *Forests*, 10(11), 1016.

Jung, T., Pérez-Sierra, A., Durán, A., Jung, M. H., Balcı, Y., & Scanu, B. (2018). Canker and decline diseases caused by soil-and airborne *Phytophthora* species in forests and woodlands. *Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 40(1), 182-220.

Jung, H.-Y., Sawayanagi, T., Kakizawa, S., Nishigawa, H., Miyata, S., Oshima, K., Ugaki, M., Lee, J.-T., Hibi, T., Namba, S., 2002. “*Candidatus Phytoplasma castaneae*”, a novel phytoplasma taxon associated with chestnut witches’ broom disease. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52, 1543–1549. <https://doi.org/10.1099/00207713-52-5-1543>

Kolp, M., Fulbright, D. W., & Jarosz, A. M. (2018). Inhibition of virulent and hypovirulent *Cryphonectria parasitica* growth in dual culture by fungi commonly isolated from chestnut blight cankers. *Fungal biology*, 122(10), 935-942.

Krebs P, Conedera M, Prandella M, Torriani D, Felber M, Tinner W (2004) Quaternary refugia of the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.): an extended palynological approach. *Veg Hist Archaeobot* 13:145–160

Lang P, Dane F, Kubisiak TL., Huang H. 2007. Molecular evidence for an Asian origin and a unique westward migration of species in the genus *Castanea* via Europe to North America. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 43 (2007) 49–59. doi:10.1016/j.ympev.2006.07.022

Latterini, F., Civitarese, V., Walkowiak, M., Picchio, R., Karaszewski, Z., Venanzi, R., Bembenek, M., Mederski, P. S. (2022). Quality of pellets obtained from whole trees harvested from plantations, coppice forests and regular thinnings. *Forests*, 13(4).

Lauteri, M., Pliura, A., Monteverdi, M.C., Brugnoli, E., Villani, F., Eriksson, G., 2004. Genetic variation in carbon isotope discrimination in six European populations of *Castanea sativa* Mill: originating from contrasting localities. *J. Evol. Biol.* 17, 1286–1296.

Lauteri, M., Scartazza, A., Guido, M.C., Brugnoli, E., 1997. Genetic variation in photosynthetic capacity: carbon isotope discrimination and mesophyll conductance in provenances of *Castanea sativa* adapted to different environments. *Funct. Ecol.* 11, 675–683.

Lewis, A., Gorton, C., Rees, H., Webber, J., & Perez-Sierra, A. (2017). First report of *Gnomoniopsis smithogilvyi* causing lesions and cankers of sweet chestnut in the United Kingdom. *New Disease Reports*, 35, 20-20.

Li, G. R., Huang, G. M., Zhu, L. H., Lv, D., Cao, B., Liao, F., & Luo, J. F. (2019). Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) detection of *Phytophthora hibernalis*, *P. syringae* and *P. cambivora*. *Journal of Plant Pathology*, 101(1), 51-57.

Lin, C.L., Li, H.F., Zhang, G.Z., Wei, W., Zhu, X.Q., Li, Z.P., Wang, H., Xu, Q.C., Zhou, T., Tian, G.Z., 2011. Molecular identification and characterization of a new phytoplasma strain associated with Chinese chestnut yellow crinkle disease in China. *For. Pathol.* 41, 233–236. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2010.00679.x>

Lione, G., Danti, R., Fernandez-Conradi, P., Ferreira-Cardoso, J. V., Lefort, F., Marques, G., Meyer G. B., Prospero S., Radócz L., Robin C., Turchetti T., Vettrano A.M., Gonthier, P. (2019). The emerging pathogen of chestnut *Gnomoniopsis castaneae*: the challenge posed by a versatile fungus. *European Journal of Plant Pathology*, 153(3), 671-685.

Lione, G., Giordano, L., Ferracini, C., Alma, A., Gonthier, P. (2016). Testing ecological interactions between *Gnomoniopsis castaneae* and *Dryocosmus kuriphilus*. *Acta Oecologica*, 77, 10-17.

Lione, G., Giordano, L., Sillo, F., Brescia, F., Gonthier, P. (2021). Temporal and spatial propagule deposition patterns of the emerging fungal pathogen of chestnut *Gnomoniopsis castaneae* in orchards of north-western Italy. *Plant Pathology*, 70(9), 2016-2033.

Lione, G., Giordano, L., Sillo, F., Gonthier, P. (2015). Testing and modelling the effects of climate on the incidence of the emergent nut rot agent of chestnut *Gnomoniopsis castanea*. *Plant pathology*, 64(4), 852-863.

Lockhart B.E.L. Purification and serology of a bacilliform virus associated with banana streak disease. *Phytopathology*. 1986;76:995-999. doi: 10.1094/Phyto-76-995

Lo Monaco A (1998). Santa Maria di Foro Cassio, strutture lignee: aspetti xilologici. *Studi vetralllesi*, vol. 2, p. 11-13, ISSN: 1826-0349.

Lo Monaco A, Giagnacovo C, Falcucci C, Pelosi C (2015). The Triptych of the Holy Saviour in the Tivoli cathedral: diagnosis, conservation and religious requirements. *European Journal of Science and Theology*, vol. 11, p. 73-84, ISSN: 1841-0464.

Lo Monaco A., Pelosi C., Agresti G., Picchio R., Rubino, G. (2020) Influence of thermal treatment on selected properties of chestnut wood and full range of its visual features. *Drewno* 63 (205).

Luziatelli G. (2015). Caratteristiche tecnologiche del legno di castagno (*Castanea sativa* Mill.). Tesi Relatore A. Lo Monaco Università degli studi della Toscana. Dipartimento di scienze e tecnologie per l'agricoltura, le foreste, la natura e l'energia (DAFNE).

Maltoni A. 2014. Il sostegno del castagno mediante le potature verdi e invernali. In: Sabbatini Peverieri G. et al., (eds). Linee guida per la gestione delle problematiche fitosanitarie del castagno, pp. 41-44. Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (CRA), ISBN:978-88-97081-71-5.

Maltoni A., Bandini F., Mariotti B., Teri S., Tani A. 2018. Approcci razionali ed innovativi alla potatura dei castagneti. *Sherwood* 233: 3-7.

Maltoni A., Mariotti B., Jacobs D.F., Tani A. 2012. Pruning methods to restore *Castanea sativa* stands attacked by *Dryocosmus kuriphilus*. *New Forests* 43 (5.6): 869-885.

Maltoni A., Mariotti B., Tani A 2011. Interventi colturali per ridurre l'impatto del cinipide. *Sherwood* 177: 24-28.

Maltoni A., Paci M 2001. Strutture spaziali in castagneti abbandonati della Toscana: relazioni con il dinamismo delle vegetazione. *Monti e Boschi* 6: 14-20.

Marais, A., Murolo, S., Faure, C., Brans, Y., Larue, C., Maclot, F., Massart, S., Chiumenti, M., Minafra, A., Romanazzi, G., Lefebvre, M., Barreneche, T., Robin, C., Petit, R.J., Candresse, T., 2021. Sixty years from the first disease description, a novel *Badnavirus* associated with chestnut mosaic disease. *Phytopathology* 111, 1051-1058. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-09-20-0420-R>

Maresi G., 1998. Indicazioni per la realizzazione dei progetti di recupero dei castagneti da frutto. *Sherwood* 30: 9-14.

Maresi G., C.M. Oliveira Longa and T. Turchetti, 2013. Brown rot on nuts of *Castanea sativa* Mill: an emerging disease and its causal agent. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 6, 294-301.

Maresi G., Pinzauti S., 1998. La potatura del castagneto da frutto. *Sherwood* 32:

Mariotti B., Castellotti T., Conedera M., Corona P., Manetti M.C., Romano R., Tani A., Maltoni A., 2019. Linee guida per la gestione selvicolturale dei castagneti da frutto. Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Scheda n. 22.2 - Foreste, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA), Roma, ISBN 978-88-3385-017-7

Marques, P., Pádua, L., Adão, T., Hruška, J., Peres, E., Sousa, A., & Sousa, J. J. (2019). UAV-based automatic detection and monitoring of chestnut trees. *Remote Sensing*, 11(7), 855.

Masoni, M., C. Dibari, Siddi E. (2005). I Sistemi Informativi Territoriali. Provincia di Pisa. [online] URL: [http://sit.provincia.pisa.it/sisterims/html/Corso\\_SIT/Corso\\_pagina\\_iniziale](http://sit.provincia.pisa.it/sisterims/html/Corso_SIT/Corso_pagina_iniziale).

Mattioni C, Cherubini M, Micheli E, Villani F, Bucchi G (2008) Role of domestication in shaping *Castanea sativa* genetic variation in Europe. *Tree Genet Genomes* 4:563-574. <https://doi.org/10.1007/s11295-008-0132-6>

Mattioni C, Martin MA, Chiocchini F, Cherubini M, Gaudet M, Pollegioni P et al (2017) Landscape genetics structure of European sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill): indications for conservation priorities. *Tree Genet Genomes* 13:39. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1123-2>

Mattioni C, Martin MA, Pollegioni P, Cherubini M, Villani F (2013) Microsatellite markers reveal a strong geographical structure in European populations of *Castanea sativa* (Fagaceae): evidence for multiple glacial refugia. *Am J Bot* 100:951-961. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200194>

Mattioni C., Cherubini M., Turchini D., Villani F., Martin M.A., 2010 - Genetic diversity in European Chestnut populations. *Acta Horticulturae*, 866: 163-167.

McCartney H. A., Foster S. J., Fraaije B. A., Ward E. (2003): Molecular diagnostics for fungal plant pathogens. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 59(2), 129-142. <https://doi.org/10.1002/ps.575>

Medberry S.L., Lockhart B.E.L., Olszewski N.E. The Commelinayellow mottlevirus promoter is a strong promoter in vascular and reproductive tissues. *Plant Cell*. 1992;4:185-192. doi: 10.1105/tpc.4.2.185.

Mercurio R., Nocentini L., Picchio R. 2015, Castagneti da frutto abbandonati: quali le opportunità di recupero? *Sherwood* 213: 31-37.

Migliorini, M., Funghini, L., Marinelli, C., Turchetti, T., Canuti, S., & Zanoni, B. (2010). Study of water curing for the preservation of marrons (*Castanea sativa* Mill., Marrone fiorentino cv). *Postharvest biology and technology*, 56(1), 95-100.

Mittempergher L, Sfalanga A 1998. Chestnut yellows: a new disease for Europe. *Phytopathologia Mediterranea* 37: 143-145.

Mondino G., Bernetti G. 1998. I tipi forestali. In *Boschi e macchie di Toscana, Regione Toscana, Giunta Regionale, Firenze*, pp. 358.

Morales-Rodriguez, C., Bastianelli, G., Caccia, R., Bedini, G., Massantini, R., Moschetti, R., Thomidis T., Vannini, A. (2022). Impact of 'brown rot' caused

by *Gnomoniopsis castanea* on chestnut fruits during the post-harvest process: critical phases and proposed solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(2), 680-687.

Morales-Rodriguez, C., Sferrazza, I., Aleandri, M., Dalla Valle, M., Mazzetto, T., Speranza, S., Contarini M., Vannini, A. (2019). Fungal community associated with adults of the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus* after emergence from galls: Taxonomy and functional ecology. *Fungal biology*, 123(12), 905-912.

Nagamine K., Hase T., Notomi T. (2002): Accelerated reaction by loop-mediated isothermal amplification using loop primers. *Molecular and Cellular Probes* 16(3): 223-229. <https://doi.org/10.1006/mcpr.2002.0415>

Nanni P. 2011. Il castagno da frutto nel Casentino. I «Colloqui di Raggiolo» Il castagno: aspetti materiali e immaginario tra Medioevo ed età contemporanea. *Atti della Sesta e Settima Giornata di Studi. Annali Aretini XIX* 271-290 (2012), Fraternalità dei Laici, Arezzo.

Nardi Berti R. (1979). La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego CNR Istituto del legno Firenze.

Nielsen KF (2003) Review: mycotoxins production by indoor moulds. *Fungal Genet Biol* 39:103-117.

Niessen L. (2015). Current state and future perspectives of loop-mediated isothermal amplification (LAMP)-based diagnosis of filamentous fungi and yeasts. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(2), 553-574. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6196-3>

Norman-Burgdolf, H., & Rieske, L. K. (2021). Healthy trees—Healthy people: A model for engaging citizen scientists in exotic pest detection in urban parks. *Urban Forestry & Urban Greening*, 60, 127067.

Notomi T., Okayama H., Masubuchi H., Yonekawa T., Watanabe K., Amino N., Hase T. (2000). Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic acids research*, 28(12), e63-e63. <https://doi.org/10.1093/nar/28.12.e63>

- Paci M., Maltoni A., Tani A. (2000). I castagneti abbandonati della Toscana: dinamismo e proposte gestionali. In: Bucci G.; Minotta G.; Borghetti M. (eds) Applicazioni e prospettive per la ricerca forestale italiana. Atti del II congresso della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, Bologna, 20–23 ottobre 1999, pp. 9–16.
- Pádua, L., Marques, P., Martins, L., Sousa, A., Peres, E., & Sousa, J. J. (2020). Monitoring of chestnut trees using machine learning techniques applied to UAV-based multispectral data. *Remote Sensing*, 12(18), 3032.
- Panzavolta T., Bernardo U., Bracalini M., Cascone P., Croci F., Gebiola M., Iodice L., Tiberi R., Guerrieri E. (2013). Native parasitoids associated with *Dryocosmus kuriphilus* in Tuscany, Italy. *Bulletin of Insectology*, 66(2):195-201.
- Panzavolta T., Bracalini M., Croci F., Campani C., Bartoletti T., Miniati G., Benedettelli S., Tiberi R. (2012). Asian chestnut gall wasp in Tuscany: gall characteristics, egg distribution and chestnut cultivar susceptibility. *Agricultural and Forest Entomology*, 14:139-145.
- Panzavolta T., Croci F., Bracalini M., Melika G., Benedettelli S., Tellini Florenzano G., Tiberi R. (2018). Population Dynamics of Native Parasitoids Associated with the Asian Chestnut Gall Wasp (*Dryocosmus kuriphilus*) in Italy. *Psyche*: 2078049.
- Paparatti B., Speranza S., (2005). Management of Chestnut weevil (*Curculio* spp.) insect key-pest in Central Italy. *Acta Horticulture*, 693:551-556.
- Pasche, S., Calmin, G., Auderset, G., Crovadore, J., Pelleteret, P., Mauch-Mani, B., Barja, F., Paul, B., Jermini, M. & Lefort, F. (2016). *Gnomoniopsis smithogilvyi* causes chestnut canker symptoms in *Castanea sativa* shoots in Switzerland. *Fungal Genetics and Biology*, 87, 9-21.
- Pastirčáková, K., & Adamčíková, K. (2016). Species diversity of pathogenic fungi on sweet chestnut in different types of stands. *Dendrologické dni v Arboréte Mlyňany SAV 2016*” *Dreviny v meniacom sa prostredí Vieska nad Žitavou, Slovakia 2016*. *Recenzovaný zborník príspevkov z vedeckej konferencie*, 205-207.
- Pearce R. B. (1996). Antimicrobial defences in the wood of living trees. *New Phytol.* (1996). 132, 203-233.
- Pelosi C., Rubino G., Capobianco G., Lanteri L., Agresti G., Bonifazi G., Serranti S., Picchio R., Lo Monaco A. (2021). A Multi-Technique Approach to Evaluate the Surface Properties of Heat-treated Chestnut Wood Finished with a Water-Based Coating. *Coatings* 2021, 11, 706.
- Pennacchini V., Nanni G. (1979). La coltura e la mano d’opera. *Atti Giornata del Castagno, Caprese Michelangelo*, 3 dicembre 1977, pp. 57-69.
- Pérez-Girón, J. C., Alvarez-Alvarez, P., Díaz-Varrela, E. R., & Lopes, D. M. M. (2020). Influence of climate variations on primary production indicators and on the resilience of forest ecosystems in a future scenario of climate change: Application to sweet chestnut agroforestry systems in the Iberian Peninsula. *Ecological Indicators*, 113, 106199.
- Phillips, D. H., & Burdekin, D. A. (1992). Diseases of sweet chestnut (*Castanea* spp.). In *Diseases of Forest and Ornamental Trees* (pp. 273-283). Palgrave Macmillan, London.
- Picchio R. (2004). Stato dell’arte della Meccanizzazione forestale in Italia; rivista *Alberi e Territorio*, 2004 n°10/11, p.24-27.
- Picchio R., Cantamessa S., Paris P., Grendele M. (2022). Caratterizzazione del biochar di pioppo: primi aspetti agronomici e biochimici; *SHERWOOD*, gennaio-febbraio 2022, 256, 29-32.
- Picchio R., Savelli S., Di Fulvio F. (2005). Sviluppi nei lavori forestali di ATV e mini trattori; rivista *Alberi e Territorio*, 2005 n°10/11, p.26-30.
- Piombo, E., Abdelfattah, A., Droby, S., Wisniewski, M., Spadaro, D., & Schena, L. (2021). Metagenomics approaches for the detection and surveillance of emerging and recurrent plant pathogens. *Microorganisms*, 9(1), 188.
- Pocock, M. J., Marzano, M., Bullas-Appleton, E., Dyke, A., De Groot, M., Shuttleworth, C. M., & White, R. (2020). Ethical dilemmas when using citizen science for early detection of invasive tree pests and diseases. *Management of Biological Invasions*, 11(4), 720-732.
- Polacco E. (1938). Indagine sulla coltivazione del castagno da frutto in Italia. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- Pontecorvo G. (1932). Le condizioni dell’economia rurale nell’Appennino Toscano II. Pratomagno e Appennino casentino. *R. Accademia dei Georgofili*, Firenze, pp. 283.
- Puertolas, A., Bonants, P. J., Boa, E., & Woodward, S. (2021). Application of real-time PCR for the detection and quantification of oomycetes in ornamental nursery stock. *Journal of Fungi*, 7(2), 87.
- Quacchia A., Moriya S., Bosio G., Scapin I., Alma A. (2008). Rearing, release and settlement prospect in Italy of *Torymus sinensis*, the biological control agent of the chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. *BioControl*: 53(6):829-839.
- Quacchia, A., Ferracini, C., Nicholls, J.A., Piazza, E., Saladini, M.A., Tota, F., Melika, G., Alma, A. (2013). Chalcid parasitoid community associated with the invading pest *Dryocosmus kuriphilus* in north-western Italy. *Insect Conservation and Diversity*, 6 (2):114-123.
- Ragozzino, A., Lahoz, E. (1986). Una malattia virus-simile del castagno in provincia di Avellino, in: *Giornate Di Studio Sul Castagno. Soc. Orti. Italiana*, pp. 307–311.
- Rainford, J., Crowe, A., Jones, G., & van den Berg, F. (2020). Early warning systems in biosecurity; translating risk into action in predictive systems for invasive alien species. *Emerging Topics in Life Sciences*, 4(5), 453-462.
- Rama F., Del Pane M., Cotromino M. (2020). Risultati sperimentali ottenuti nel triennio 2016/2018 con il prodotto biologico di ECODIAN CT, erogatore biodegradabile per il Disorientamento Sessuale di *Cydia fagiglandana* e *Cydia splendana* del castagno. In: Palmieri L., Beccaro G., Cristofori V., Maresi G., Salvadori C. (a cura di) *Atti del VII Convegno Nazionale sul Castagno Pergine Valsugana (TN) 11-14 giugno 2019*. Firenze: Società di Ortoflorofruitticoltura Italiana (SOI). (Acta Italus Hortus): 58-60.
- Rapetti F., Vittorini S. (2012). Note illustrative della carta climatica della Toscana. *Atti Società Toscana Scienze Naturali Mem. Serie A.*, 117-119, pp. 41-74.
- Ray, M., Ray, A., Dash, S., Mishra, A., Achary, K. G., Nayak, S., & Singh, S. (2017). Fungal disease detection in plants: Traditional assays, novel diagnostic techniques and biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 87, 708-723.
- Redfern, D. B. (1973). Growth and behaviour of *Armillaria mellea* rhizomorphs in soil. *Transactions of the British Mycological Society*, 61(3), 569-IN16.
- Regué, Adrià, et al. “Environmental and stand conditions related to *Fistulina hepatica* heart rot attack on *Castanea sativa*.” *Forest Pathology* 49.3 (2019): e12517.
- Rigling, D., & Prospero, S. (2018). *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight: invasion history, population biology and disease control. *Molecular Plant Pathology*, 19(1), 7-20.
- Rinaldelli E., Mancuso S., Pisani PL., Vignozzi N. (1993). Ricerca sulla potatura del castagneto da frutto. *Frutticoltura* 12: 49-51.
- Ristaino, J. B., & Thomas, W. (1997). Agriculture, methyl bromide, and the ozone hole: can we fill the gaps?. *Plant Disease*, 81(9), 964-977.
- Romon-Ochoa, P., Kranjec Orlović, J., Gorton, C., Lewis, A., van der Linde, S., & Pérez-Sierra, A. (2022). New detections of chestnut blight in Great Britain during 2019–2020 reveal high *Cryphonectria parasitica* diversity and limited spread of the disease. *Plant Pathology*, 71(4), 793-804.
- Rubio, S., Barnes, A., Webb, K., & Hodgetts, J. (2017). A real-time PCR assay for improved rapid, specific detection of *Cryphonectria parasitica*. *Annals of Applied Biology*, 171(1), 52-61.
- Ruocco M. Lanzuise S. Lombardi N. Varlese R. Aliberti A. Carpenito S. Woo S.L. Scala F. Lorito M. (2016). New tools to improve the shelf life of Chestnut fruit during storage *Acta Horticulturae*, 1144:309-315.
- Sabbatini Peverieri G., Alma A., Manzo A., Vezzali L., Bellini E., Fazzi L., Poli I., Ferracini C., Ferri A., Turchetti T., Maltoni A., Ferrarese G.B., Pennacchio F., Roversi P.F. (2014). Linee guida per la gestione delle problematiche fitosanitarie del castagno. Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (CRA), pp. 1-48
- Salvo M., Lo Monaco A., Marabelli M., Pelosi C. (2005). I beni demotico antropologici. *Edifir Firenze*, 176.

- Santagata A., Maresi G., Turchetti T. (1996). Alcune indicazioni pratiche sulla difesa dei castagneti, *Sherwood* 12: 18-21.
- Schweingruber F.H. (1978). *Microscopic wood anatomy* Kommissionsverlag Zürcher Editor pp. 226.
- Sena, K., Crocker, E., Vincelli, P., & Barton, C. (2018). *Phytophthora cinnamomi* as a driver of forest change: Implications for conservation and management. *Forest Ecology and Management*, 409, 799-807.
- Shuttleworth L.A., Liew E.C.Y., Guest D.I. (2013). Survey of the incidence of chestnut rot in south-eastern Australia. *Australasian Plant Pathology* 46, 63–72.
- Shuttleworth, L. A., & Guest, D. I. (2017). The infection process of chestnut rot, an important disease caused by *Gnomoniopsis smithogilvyi* (Gnomoniaceae, Diaporthales) in Oceania and Europe. *Australasian Plant Pathology*, 46(5), 397-405.
- Sillo, F., Giordano, L., Zampieri, E., Lione, G., De Cesare, S., & Gonthier, P. (2017). HRM analysis provides insights on the reproduction mode and the population structure of *Gnomoniopsis castaneae* in Europe. *Plant Pathology*, 66(2), 293-303.
- Silva, G., Tomlinson J., Onkokesung N., Sommer S., Mrisho L., Legg J., Adams I.P., Gutierrez-Vazquez Y., Howard T.P., Laverick A., Hossain O., Wei Q., Gold K.M., Boonham N. (2021). Plant pest surveillance: from satellites to molecules. *Emerging topics in life sciences*, 5(2), 275-287.
- Silva-Campos, M., Islam, M. T., & Cahill, D. M. (2022). Fungicide control of *Gnomoniopsis smithogilvyi*, causal agent of chestnut rot in Australia. *Australasian Plant Pathology*, 51(5), 483-494
- Spinelli R., Hartsough B., Magagnotti N., Secknus M., Nocentini G. (2008). Linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici. *GAL Prealpi e Dolomiti, Sedico (BL)*, p. 222.
- Staginnus C., Richert-Poggeler K.R. (2006) Endogenous pararetroviruses: Two-faced travelers in the plant genome. *Trends Plant Sci.* ;11:485–491. doi: 10.1016/j.tplants.2006.08.008.
- Stauder, C. M., Nuss, D. L., Zhang, D. X., Double, M. L., MacDonald, W. L., Metheny, A. M., & Kasson, M. T. (2019). Enhanced hypovirus transmission by engineered super donor strains of the chestnut blight fungus, *Cryphonectria parasitica*, into a natural population of strains exhibiting diverse vegetative compatibility genotypes. *Virology*, 528, 1-6.
- Tani A., Maltoni A., Mariotti B. (2003). La produzione legnosa di castagno in Italia. Situazioni attuali e prospettive. *Sherwood*, 92:5-9.
- Tani A., Maltoni A., Mariotti B. (2009). Il recupero produttivo del castagneto. *Tip. Tommasi, Lucca*.
- Thompson, R. N., Gilligan, C. A., Cunniffe, N. J. (2016). Detecting presymptomatic infection is necessary to forecast major epidemics in the earliest stages of infectious disease outbreaks. *PLoS computational biology*, 12(4), e1004836.
- Tian, S. P., & Bertolini, P. (1997). Biology and pathogenicity of *Rhacodiella castaneae* in chestnuts stored at low temperatures/Biologie und Pathogenität von *Rhacodiella castaneae* an Kastanien bei Lagerung in niedrigen Temperaturbereichen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection*, 23-28.
- Tosco D., Santangelo I., Grassi G. (1986). Aspetti agronomici ed economici della coltivazione del castagneto da frutto. Giornate di studio sul castagno, Caprarola (VT) 6-7 novembre 1986, pp. 263-286.
- Trapiello, E., Feito, I., & González, A. J. (2018). First report of *Gnomoniopsis castaneae* causing canker on hybrid plants of *Castanea sativa* × *C. crenata* in Spain. *Plant Disease*, 102(5), 1040-1040.
- Tsoumis G. (1991). *Science and technology of wood*. Chapman & Hall, pp.494.
- Turco, S., Bastianelli, G., Morales-Rodriguez, C., Vannini, A., & Mazzaglia, A. (2021). Development of a TaqMan qPCR assay for the detection and quantification of *Gnomoniopsis castaneae* in chestnut tissues. *Forest Pathology*, 51(4), 1-10.
- Valasek M. A., Repa J. J. (2005): The power of real-time PCR. *Advances in physiology education*, 29(3), 151- 159. <https://doi.org/10.1152/advan.00019.2005>
- Van Drunen, S. G., McCune, J. L., & Husband, B. C. (2018). Distribution and environmental correlates of fungal infection and host tree health in the endangered American chestnut in Canada. *Forest Ecology and Management*, 427, 60-69.
- Vannini, A., Bruni, N., Tomassini, A., Franceschini, S., & Vettrai, A. M. (2013). Pyrosequencing of environmental soil samples reveals biodiversity of the *Phytophthora* resident community in chestnut forests. *FEMS microbiology ecology*, 85(3), 433-442.
- Vannini, A., Morales-Rodriguez, C., Aleandri, M., Bruni, N., Dalla Valle, M., Mazzetto, T., Martignoni, D. & Vettrai, A. (2018). Emerging new crown symptoms on *Castanea sativa* (Mill.): Attempting to model interactions among pests and fungal pathogens. *Fungal biology*, 122(9), 911-917.
- Vannini, A., Vettrai, A., Martignoni, D., Morales-Rodriguez, C., Contarini, M., Caccia, R., Papparatti, B. & Speranza, S. (2017). Does *Gnomoniopsis castaneae* contribute to the natural biological control of chestnut gall wasp?. *Fungal Biology*, 121(1), 44-52.
- Vettrai, A. M., Luchi, N., Rizzo, D., Pepori, A. L., Pecori, F., & Santini, A. (2021). Rapid diagnostics for *Gnomoniopsis smithogilvyi* (syn. *Gnomoniopsis castaneae*) in chestnut nuts: new challenges by using LAMP and real-time PCR methods. *AMB Express*, 11(1), 1-11.
- Vettrai, A. M., Paolacci, A., and Vannini, A. (2005). Endophytism of *Sclerotinia pseudotuberosa*: PCR assay for specific detection in chestnut 640 tissues. *Mycological Research*, 109(1), 96–102.
- Vettrai, M., Vannini, A., Flamini, L., Lagnese, R., Pizzichini, L., Talevi, S., and Fulbright, D. W. (2005). A new transmissible symptomology on sweet chestnut in Italy. *Acta Hort.* 693:547-550.
- Viciani D. (2001). Analisi geobotanica della flora dei castagneti della Toscana. *Webbia* 56 (1): 1-68.
- Vigiani D., (1900). *Coltivazione del castagno in Casentino, L'agricoltura italiana*, XXVI, pp. 3-32.
- Villani F, Pigliucci M, Cherubini M (1994) Evolution of *Castanea sativa* Mill. In Turkey and Europe. *Genet Res Cambridge* 63:109–116
- Villani F, Sansotta A, Cherubini M, Cesaroni D, Sbordoni V (1999) Genetic structure of natural populations of *Castanea sativa* in Turkey: evidence of a hybrid zone. *J Evol Biol* 12:233–244
- Visentin I., S. Gentile, D. Valentino, P. Gonthier, G. Tamietti and Cardinale F. (2012). *Gnomoniopsis castanea* sp. nov. (Gnomoniaceae, Diaporthales) as the causal agent of nut rot in sweet chestnut. *Journal of Plant Pathology* 94, 411–419.
- Washington, W. S., Allen, A. D., and Dooley, L. B. (1997). Preliminary studies on *Phomopsis castanea* and other organisms associated with healthy and rotted chestnut fruit in storage. *Australasian Plant-Pathology* 26, 37–43.
- Westbrook, J. W., Holliday, J. A., Newhouse, A. E., & Powell, W. A. (2020). A plan to diversify a transgenic blight-tolerant American chestnut population using citizen science. *Plants, People, Planet*, 2(1), 84-95.
- Williams R. H., Ward E., McCartney H. A. (2001): Methods for integrated air sampling and DNA analysis for detection of airborne fungal spores. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67(6), 2453-2459. DOI: 10.1128/AEM.67.6.2453-2459.2001
- Zamora, P., Martín, A. B., San Martín, R., Martínez-Álvarez, P., & Diez, J. J. (2014). Control of chestnut blight by the use of hypovirulent strains of the fungus *Cryphonectria parasitica* in northwestern Spain. *Biological Control*, 79, 58-66
- Zanuttini R., Cielo P., Borsarelli B. (2001). Caratterizzazione tecnologica di elementi prefiniti per pavimenti di legno realizzati con assortimenti di castagno provenienti da bosco ceduo. *Monti e boschi* 1:23-31 Edagricole Bologna.



© Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi utilizzazione, totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente portale, ivi inclusa la memorizzazione, riproduzione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque piattaforma tecnologica, supporto o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta.



Regione Toscana



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
**DAGRI**  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
E TECNOLOGIE AGRARIE  
ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DELLA  
**TUSCIA** | DIPARTIMENTO  
DI SCIENZE AGRARIE  
E FORESTALI



Comune di  
Ortignano Raggiolo



Questo Manuale è stato realizzato nell'ambito del Progetto INGECA - Strategie INnovative a basso impatto per la GEstione delle avversità dei CAstagneti da frutto, di cui al Reg. (UE) n. 1305/2013 - PSR 2014-2020. Bando relativo al Sostegno per l'attuazione dei PS-GO del Partenariato Europeo per l'Innovazione in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura (PEI - AGRI) - Annualità 2017. Decreto dirigenziale n. 17516 del 27/11/2017 e ss. mm. e ii.