



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali

TESI DI LAUREA IN TECNOLOGIE FORESTALI E AMBIENTALI

EFFETTI DELLA LOTTA BIOLOGICA AL CINIPIDE SULLA PRODUZIONE DI CASTAGNE NELLE
PREALPI TREVIGIANE

Effects of biological control of gall wasp on chestnut production in the Treviso Prealps

Relatore: Prof. Andrea Battisti

Correlatore: Dott. Giorgio Maresi

Laureanda:

Moz Matilde

Matricola 2077036

ANNO ACCADEMICO 2024/2025

Indice

Riassunto	1
Summary	2
Introduzione	3
1.1 .Il cinipide	3
1.2 Il castagno	6
1.3 Danni	9
1.4 Lotta biologica	12
1.5 Obiettivi	14
2 Materiali e metodi	15
2.1 Area di studio	15
2.2 Raccolta dei dati di produzione	18
2.3 Raccolta dei dati climatici	18
3 Risultati	19
3.1 Elaborazione dei dati di produzione di Combai	19
3.2 Elaborazione dei dati di produzione di Monfenera	21
3.3 <i>Gnomoniopsis castaneae</i>	23
3.4 Elaborazione dei dati climatici	24
3.5 Elaborazione dei dati di precipitazione di Monfenera	36
4 Discussione	38
5. Conclusione	42
Bibliografia	43
Ringraziamenti	48

Riassunto

Dryocosmus kuriphilus Yasumatsu è un imenottero cinipide galligeno, specifico del genere *Castanea*. Si tratta di una specie aliena invasiva, originaria della Cina, introdotta accidentalmente in Italia nel 2002, ha dimostrato una notevole capacità di adattamento e di diffusione, causando danni significativi alle produzioni di castagne, determinando una forte riduzione delle rese in numerose aree produttive italiane.

Nel presente lavoro è stata valutata l'efficacia della lotta biologica in Italia mediante l'introduzione di *Torymus sinensis* Kamijo, un parassitoide specifico del cinipide galligeno, anch'esso originario della Cina che si è evoluto col fitofago nel suo areale di origine e rappresenta pertanto un agente di biocontrollo altamente specializzato, in grado di esercitarne un'azione di contenimento mirata.

L'indagine ha riguardato due aree situate nelle Prealpi Trevigiane, ovvero i siti di Combai e Monfenera, dove è stato analizzato l'andamento produttivo dei marroni nel periodo compreso tra il 2010 e il 2024. I dati raccolti hanno permesso di mettere in evidenza la ripresa della produzione derivante dall'introduzione dell'antagonista naturale.

Nonostante l'elevata efficacia dimostrata da *T. sinensis* nel contenimento delle popolazioni di *D. kuriphilus*, i dati relativi alla produzione di marroni nei due siti considerati mostrano comunque una marcata variabilità nell'andamento produttivo.

Al fine di comprendere le cause di tali fluttuazioni, è stata condotta un'analisi climatica per gli anni in cui è stato osservato un calo della produzione di marroni, indipendentemente dalla presenza del cinipide. È stata posta maggiore attenzione al regime pluviometrico, in particolare dei mesi di giugno (importante per la fioritura e l'impollinazione del castagno) e agosto e settembre (importanti per la loro incidenza sulla fase di fruttificazione).

Lo studio delle precipitazioni evidenzia che queste non sono state tali da compromettere la produzione dei frutti.

In particolare, non è stato possibile vedere una produzione a seguito di eventi di precipitazione abbondante durante la fioritura. In alcuni anni, infatti, si è registrata un'elevata piovosità nel mese di giugno, senza che ciò abbia compromesso negativamente la produzione; al contrario, in tali anni si sono spesso ottenute buone produzioni.

Si è concluso dicendo che le diminuzioni produttive osservate negli anni successivi all'avvio della lotta biologica non sono riconducibili né ad una ripresa del fitofago infestante né a condizioni climatiche sfavorevoli durante la fioritura. Tali oscillazioni sembrano essere attribuibili a fattori riguardanti la fenologia del castagno, in particolare al fenomeno dell'alternanza produttiva.

Summary

Dryocosmus kuriphilus Yasumatsu is a gall-inducing hymenopteran insect, specific to the genus *Castanea*. It is an invasive alien species, native to China, which was accidentally introduced into Italy in 2002. Since its arrival, it has demonstrated a remarkable capacity for adaptation and spread, causing significant damage to chestnut production and leading to substantial yield reductions in numerous Italian cultivation areas.

The present study aimed to evaluate the effectiveness of biological control in Italy through the introduction of *Torymus sinensis* Kamijo, a parasitoid specific to the gall wasp, also native to China. This parasitoid coevolved with the phytophagous insect within its native range and thus represents a highly specialized biocontrol agent capable of exerting a targeted suppressive effect.

The investigation focused on two sites located in the Treviso Prealps, namely Combai and Monfenera, where chestnut production trends were analyzed over the period from 2010 to 2024. The collected data highlighted a recovery in production associated with the introduction of the natural antagonist.

Despite the high efficacy demonstrated by *T. sinensis* in controlling *D. kuriphilus* populations, chestnut production data from the two study sites exhibited considerable variability over time.

To understand the causes of these fluctuations, a climatic analysis was conducted on the years in which a decline in chestnut production was observed, independently of the presence of the gall wasp. Particular attention was paid to precipitation patterns, especially during June (critical for chestnut flowering and pollination) and August–September (important for their influence on fruit development).

The study of precipitation data revealed that rainfall was not significantly detrimental to fruit production. Specifically, no decrease in productivity could be linked to episodes of heavy rainfall during flowering. In some years, high precipitation was recorded in June without negatively affecting production; conversely, these years often corresponded to good yields.

In conclusion, the observed reductions in productivity in the years following the initiation of biological control cannot be attributed either to a resurgence of the invasive phytophagous insect or to adverse climatic conditions during flowering. Rather, these fluctuations appear to be related to factors intrinsic to the phenology of the chestnut tree, in particular the phenomenon of alternate yield level.

Introduzione

1.1 .Il cinipide

Descrizione generale del cinipide

Il cinipide galligeno del castagno (*Dryocosmus kuriphilus Yasumatsu*), anche noto come vespa del castagno, è una specie aliena invasiva originaria della Cina, è generalmente riconosciuto come il più grave insetto fitofago del castagno a livello mondiale (EFSA, 2010). Questo imenottero, appartenente alla famiglia Cynipidae ha mostrato una straordinaria capacità di adattamento e diffusione, danneggiando gravemente le produzioni castanicole e alterando l'equilibrio ecologico dei boschi in molte aree del mondo.

Dryocosmus kuriphilus appartiene alla tribù Cynipini ed è una delle quattro specie non associate al genere *Quercus*, in grado di indurre la formazione di galle globose su foglie e germogli in attiva crescita di tutte le specie del genere *Castanea* e dei loro ibridi (Stone et al., 2002; Buffington & Morita, 2009). L'infestazione determina gravi alterazioni morfologiche e fisiologiche nelle piante ospiti, con una conseguente riduzione dell'attività fotosintetica, della fioritura e della fruttificazione (ERSAF, 2010).

Diffusione globale

L'insetto è stato accidentalmente introdotto al di fuori dal suo areale naturale già a partire dagli anni '40 del Novecento: in Giappone nel 1941, in Corea nel 1950, negli Stati Uniti nel 1970, in Nepal nel 1990 e infine in Europa, dove il primo focolaio è stato segnalato a Cuneo (Piemonte, Italia) nel 2002 (Colombari & Battisti, 2016). La diffusione è avvenuta prevalentemente tramite materiale vivaistico contaminato, come astoni e marze prelevati in stagioni in cui l'infestazione è asintomatica (Regione Veneto, 2010). Da lì, si è diffuso molto rapidamente in tutte le aree di coltivazione del castagno, colonizzando ampiamente non solo le piantagioni da frutto, ma anche le aree forestali. Si è affermato nella pedemontana trevigiana in Veneto nel 2007 e nei Colli Euganei di Padova nel 2009 (Regione Veneto - Unità Periferica per i Servizi Fitosanitari, 2010).

Dopo l'introduzione in Piemonte, *D. kuriphilus* ha rapidamente colonizzato l'intero territorio nazionale, propagandosi poi in Europa: Slovenia e Francia (2005), Ungheria e Svizzera (2009), Spagna, Croazia e Paesi Bassi (2010), Repubblica Ceca (2012), Austria e Germania (2013), Grecia e Portogallo (2014), Regno Unito (2015) e Belgio (2016) (Ipekdal et al., 2022).

Ciclo biologico

Il ciclo vitale di *Dryocosmus kuriphilus* è univoltino (compie una sola generazione all'anno) e si riproduce per partenogenesi telitoca, ovvero con formazione di uova che producono solo esemplari femminili, in totale assenza di individui maschili (Nohara, 1956), quindi è necessario un unico esemplare per avviare una nuova colonizzazione (EFSA, Panel on Plant Health, 2010). Le femmine adulte compaiono tra la fine di giugno e l'inizio di luglio, ciò dipende dalle condizioni climatiche della stazione e dalla varietà di castagno e ovidepongono le uova nelle gemme dormienti del castagno attraverso un sottile ovidepositore.

Ogni femmina può deporre oltre 100 uova, distribuendole in gruppi di 3-5 per gemma. Le uova si schiudono dopo circa 40 giorni e le giovani larve svernano all'interno delle gemme sviluppandosi lentamente, in assenza di sintomi visibili sul castagno. (Graziosi & Santi, 2008).

Con l'arrivo della primavera successiva, le larve stimolano la formazione di galle, ovvero strutture di forma globosa che alterano l'anatomia vegetativa dell'albero. Le galle, inizialmente verdi e successivamente rossastre, possono svilupparsi su germogli, foglie, rametti e infiorescenze. Il loro diametro varia da 0,5 a 2-3 cm. Lunghe fino a 3-4 cm e possono contenere da una a nove larve (EFSA, 2010). La presenza di galle riduce la fotosintesi e compromette sia lo sviluppo vegetativo che quello riproduttivo della pianta, portando a una drastica riduzione della produzione di castagne. (EFSA, Panel on Plant Health, 2010).

Le larve di *Dryocosmus kuriphilus* si nutrono per un periodo di circa 20-30 giorni dei tessuti i che circondano la camera larvale, utilizzando un apparato boccale masticatore che consente loro, una volta mature, di scavare la via d'uscita dalla galla in cui si sono sviluppate (EFSA, 2010). Successivamente, l'insetto entra nella fase pupale, durante la quale gli individui, inizialmente di colore bianco, subiscono un progressivo oscuramento fino a raggiungere una colorazione nera al termine della maturazione. Completata la metamorfosi, emergono gli adulti, ovvero femmine di dimensioni comprese tra 2,5 e 3 mm, caratterizzate da un corpo nero lucente, un addome tondeggiante e zampe di colore giallo-brunastro, ad eccezione dell'ultimo segmento tarsale, di tonalità bruno scura (Graziosi & Santi, 2008; EFSA, Panel on Plant Health, 2010). Questi adulti presentano una breve longevità, con una durata vitale media di circa quattro giorni, variabile da un minimo di due a un massimo di dieci giorni in funzione delle condizioni ambientali (Graziosi & Santi, 2008).

Le uova deposte sono ialine, di forma piriforme e provviste di un lungo peduncolo che ne facilita l'inserimento all'interno delle gemme dormienti. Le larve sono apode e cieche, inizialmente trasparenti e successivamente di colore biancastro con lo sviluppo (EFSA, 2010). La diffusione del cinipide avviene secondo modalità sia attive sia passive: le femmine adulte possono infatti spostarsi autonomamente tramite volo, ma la dispersione è spesso favorita anche dal trasporto passivo tramite il vento. Tuttavia, il principale vettore di diffusione rimane l'attività antropica, in

particolare attraverso il commercio e il trasporto di materiale vivaistico infestato. In tale contesto, un ruolo particolarmente critico è attribuito allo scambio di marze e astoni durante la stagione autunno-invernale, fase fenologica in cui la presenza dell'insetto è difficilmente rilevabile a causa dell'assenza di sintomi evidenti (Regione Veneto – Unità Periferica per i Servizi Fitosanitari, 2010).

Impatto economico ed ecologico

Attualmente, l'Italia è il quinto produttore mondiale di castagne, preceduta da Cina, Spagna, Bolivia e Turchia (FAOSTAT, 2024) e l'introduzione del cinipide ha avuto un impatto devastante, in particolare nelle aree del Piemonte, dove si sono registrati cali di produzione fino all'80% (Bosio et al., 2009). Gli alberi infettati manifestano indebolimento generalizzato, risultando più suscettibili ad altre fitopatie, come il cancro corticale (*Cryphonectria parasitica*) e il "mal dell'inchiostro" (*Phytophthora cambivora*) (Turchetti et al., 2010).

Sebbene alcune fonti indichino che attacchi particolarmente gravi da parte del cinipide galligeno possano condurre alla morte delle piante colpite (Dixon et al., 1986), nei castagneti del Piemonte tale esito non è mai stato riscontrato. Nei casi più estremi è stata osservata la morte di singoli rami fortemente infestati (Bosio et al., 2009), oppure un indebolimento generale della pianta, che ha reso gli esemplari maggiormente vulnerabili ad altri patogeni (Quacchia et al., 2007). Le infestazioni più intense sono tuttavia responsabili di significative perdite produttive: in Piemonte, ad esempio, si è registrata una riduzione della resa annuale di castagne compresa tra il 60% e l'80% (EFSA, Panel on Plant Health, 2010).

A differenza di quanto osservato in alcune regioni asiatiche, in Europa *D. kuriphilus* non trova antagonisti naturali efficaci in grado di limitarne efficacemente la diffusione e questo ha favorito una rapida esplosione demografica. I tentativi di contenimento mediante interventi meccanici o trattamenti chimici si sono dimostrati sostanzialmente inefficaci (Quacchia et al., 2008). In tal senso, la pressione predatoria naturale si è rivelata estremamente bassa, sebbene in alcuni casi isolati siano stati segnalati aumenti significativi di antagonisti locali (Santi & Maini, 2011; Aebi et al., 2006; Matosevic & Melika, 2013).

Misure di contenimento

A fronte della gravità della situazione, il Decreto Ministeriale del 23 febbraio 2006 (GU n. 61 del 14 marzo 2006) ha introdotto misure obbligatorie per la lotta al cinipide in Italia. Tali disposizioni sono state ampliate con il Decreto del 30 ottobre 2007, includendo ulteriori prescrizioni per il controllo e monitoraggio dell'insetto. Inoltre, *D. kuriphilus* è stato inserito nella lista di quarantena dell'Unione Europea (EC, 2000), in quanto organismo nocivo di rilevanza fitosanitaria.

Il provvedimento ha previsto l'istituzione di diverse tipologie di aree delimitate, funzionali al contenimento del fitofago e alla prevenzione della sua ulteriore diffusione.

In particolare, sono state definite:

- **Zone focolaio**, all'interno delle quali l'organismo nocivo è stato già rilevato, ma si ritiene ancora possibile l'eradicazione mediante l'eliminazione completa del materiale vegetale infetto o potenzialmente infetto;
- **Zone di insediamento**, in cui il fitofago risulta ampiamente distribuito sul territorio che risulta impossibile eliminarlo in breve tempo.

Queste zone sono circondate da fasce tampone di larghezza minima pari a 15 km, con funzione di barriera fitosanitaria. All'interno di tali aree è imposto il divieto di movimentazione di materiali vegetali a rischio, nonché l'obbligo di eseguire interventi di lotta obbligatoria contro il cinipide.

Ogni Regione ha emanato decreti specifici per adattarsi alla normativa nazionale (Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, DM 30/10/2007).

1.2 Il castagno

Il castagno europeo (*Castanea sativa* Mill.): importanza storica, ecologica e produttiva

La castanicoltura rappresenta una delle forme più antiche e radicate di gestione agroforestale in Italia, con una tradizione plurisecolare strettamente intrecciata allo sviluppo economico, culturale e paesaggistico delle aree collinari e montane della penisola.

Il castagno europeo (*Castanea sativa* Mill.), appartenente alla famiglia delle Fagaceae, ha storicamente costituito una risorsa importante, sia per la produzione di castagne, sia per l'approvvigionamento di legname durevole e resistente, nonché come risorsa mellifera, ornamentale e paesaggistica (Bounous, 2002).

Nelle aree rurali interne, la castagna ha rappresentato per secoli una risorsa alimentare di primaria importanza, svolgendo un ruolo strategico soprattutto nei periodi di carestia, durante i quali ha sostituito i cereali come alimento di base per le popolazioni montane; inoltre, veniva impiegata anche come foraggio per l'alimentazione animale, contribuendo alla sostenibilità dei sistemi agro-silvo-pastorali tradizionali. La sua trasformazione in farina ha reso possibile un ampio utilizzo culinario, oggi ripreso e valorizzato attraverso la riscoperta di preparazioni tipiche locali.

Oltre all'impiego alimentare, il legno di castagno ha trovato e continua a trovare applicazioni in edilizia, falegnameria, artigianato e nella produzione di infissi e pali, grazie alla sua resistenza alla degradazione biologica e agli agenti atmosferici.

Dal punto di vista ecologico, i castagneti rivestono un ruolo fondamentale nella stabilità degli ecosistemi forestali. Essi partecipano attivamente alla conservazione della biodiversità, alla protezione idrogeologica del suolo e alla regolazione del microclima e rappresentano componenti essenziali delle reti trofiche animali e delle comunità forestali.

Declino e problematiche fitosanitarie del castagno

Tuttavia, nel corso del XX secolo, l'equilibrio di questi sistemi è stato compromesso da una progressiva riduzione della superficie coltivata e dalla perdita di pratiche tradizionali di gestione. Se all'inizio del Novecento l'areale di castagno nazionale ammontava a circa 800.000 ettari, con una produzione annua di circa 6 milioni di quintali di frutti (Giannini et al., 2021), nel corso dei decenni successivi si è osservato un netto declino, favorito da fattori socioeconomici, fitosanitari e climatici.

In particolare, lo spopolamento delle aree montane e l'abbandono della gestione tradizionale hanno determinato un degrado strutturale dei castagneti, aggravato dalla diffusione di patogeni come *Cryphonectria parasitica* (agente del cancro corticale) e *Phytophthora spp.* (responsabile dell'inchiostro del castagno). Più recentemente, l'invasione del cinipide galligeno del castagno (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu), ha ulteriormente compromesso la produttività e la vitalità dei castagneti europei.

Morfologia del castagno

Il castagno europeo (*Castanea sativa* Mill.) è una pianta longeva e vigorosa, che può superare i 30 metri di altezza. Esempari secolari possono raggiungere diametri di 6-7 metri. Le foglie sono semplici, alterne, inserite a spirale, con lamina coriacea e margine dentato. La pagina superiore è verde scuro, lucida e glabra, mentre quella inferiore è più chiara e lievemente pubescente. La specie è monoica, con infiorescenze maschili costituite da amenti lunghi 10–20 cm di colore giallo-verde, e fiori femminili riuniti alla base degli amenti in gruppi di 2-3, protetti da una cupola che si sviluppa nel tipico riccio spinoso (Bounous, 2002). La fioritura è tardiva e si verifica solo dopo la completa espansione fogliare, con impollinazione che può avvenire per via anemofila o entomofila, a seconda delle condizioni ambientali e delle cultivar.

Il frutto, la castagna, è contenuto all'interno del riccio (cupola spinosa) e si presenta con pericarpo coriaceo, generalmente bruno, con striature longitudinali. All'interno si trova un tegumento sottile e peloso, che ricopre il seme. La forma e la dimensione del frutto variano in funzione della varietà e della posizione all'interno del riccio.

Il castagno europeo è una specie eliofila, mesofila e termofila, tipica degli ambienti collinari e montani con clima temperato-umido. La sua distribuzione altimetrica in Italia si estende

mediamente tra i 200 e i 1.300 m s.l.m., prediligendo suoli acidi, profondi, ben drenati e non soggetti a ristagni idrici. Le condizioni ottimali prevedono precipitazioni annuali comprese tra 750 e 1.200 mm e temperature medie annue tra 8°C e 15°C. La specie è sensibile alle gelate tardive e alla siccità estiva, elementi che limitano fortemente la sua espansione in condizioni climatiche non idonee.

Valorizzazione attuale del castagno

Nonostante il declino del secolo scorso, negli ultimi anni si sta assistendo a un rinnovato interesse nei confronti della castanicoltura, anche grazie alla riscoperta del suo valore multifunzionale. Oltre agli aspetti produttivi, i castagneti sono oggi apprezzati per il loro ruolo nel mantenimento del paesaggio rurale, nella tutela della biodiversità, nella valorizzazione del territorio e nella promozione di un'agricoltura sostenibile e integrata.

1.3. Danni

L'introduzione in Europa del cinipide galligeno del castagno (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu), ha causato gravi danni a tutte le specie e agli ibridi del genere *Castanea*. Considerato uno dei più pericolosi fitofagi per il castagno europeo (*Castanea sativa* Mill.), è in grado di sincronizzare il proprio ciclo biologico con la fenologia dell'albero ospite, aumentando l'efficacia della colonizzazione e dell'attività trofica (Gilioli et al., 2013; Graziosi & Santi, 2008).

Dryocosmus kuriphilus Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) è in grado di infestare quasi tutte le specie di castagno sia selvatiche sia innestate. L'insetto induce la formazione di galle a carico di gemme, foglie e giovani germogli, compromettendo gravemente lo sviluppo vegetativo e la produzione di castagne delle piante colpite.

Il castagno europeo risulta particolarmente suscettibile, vengono attaccati dall'imenottero anche quelli asiatici *Castanea mollissima* (castagno cinese), il *Castanea crenata* (castagno giapponese) e il *Castanea dentata* (castagno nordamericano) e tutti gli ibridi che si ottengono da essi.

Tuttavia, sono state documentate alcune eccezioni: negli Stati Uniti, *C. pumila* (L.) Mill. sembra presentare una minore suscettibilità agli attacchi del fitofago (Rieske, 2007), mentre *C. alnifolia* Nutt. risulta apparentemente immune, come riportato dall'EPPO Bulletin (2005).

Anche tra le cultivar selezionate dall'uomo a fini produttivi esistono differenze, in particolare, la cultivar euro-giapponese 'Marsol' e la piemontese 'Madonna' sono risultate tra le più suscettibili, mostrando sintomi intensi e compromissione della produttività. Di contro, la cultivar francese 'Bouche de Bétizac' ha dimostrato un'elevata resistenza o addirittura immunità nei confronti del parassita, sebbene la qualità della produzione non sia risultata particolarmente elevata (Ministero delle Politiche Agricole, Protocollo di attuazione, 2010).



Fig 1 e 2: Galle causate dal cinipide su germogli e foglie

(Foto di Giorgio Maresi)



Fig. 3: Galle causate dal cinipide sul castagno (Foto di Giorgio Maresi)

Impatti fisiologici sugli alberi

Gli attacchi della cinipide si manifestano attraverso la formazione di galle su germogli, foglie e infiorescenze, con conseguente deformazione dei tessuti e compromissione del loro sviluppo. Ciò porta a una ridotta crescita vegetativa, soppressione della formazione di gemme fiorali e riduzione dell'area fogliare (Kato & Hijii, 1997; Gehring et al., 2018). L'attività fotosintetica viene compromessa, con un calo nella conduttanza stomatica e nella capacità di assimilazione del CO₂ (Ugolini et al., 2014), riducendo la biomassa dell'albero con effetti che possono perdurare negli anni successivi all'attacco iniziale.

Nel giro di pochi anni, *Dryocosmus kuriphilus* ha compromesso significativamente la produzione di castagne italiane. L'insetto provoca la formazione di galle vistose su germogli, foglie e infiorescenze. Tali galle determinano la deformazione dei tessuti colpiti, riducono la crescita vegetativa e sopprimono lo sviluppo delle gemme fiorali, causando un impatto diretto sulla fruttificazione. In condizioni di forte infestazione, la produzione può essere ridotta fino al 70-80%.

Oltre ai danni economici legati alla perdita di raccolto, è stato osservato un peggioramento dello stato fitosanitario generale degli alberi, specialmente in combinazione con stress ambientali o con la presenza di altre patologie, come il cancro corticale (*Cryphonectria parasitica*) e l'inchiostro del castagno (*Phytophthora* spp.).

Conseguenze sulla produttività

Le perdite produttive sono state significative: si stima che in condizioni di forte infestazione la produzione di frutti possa ridursi fino al 70–80% (Battisti et al., 2014) e anche la produzione di miele ha subito una grande perdita (Gehring, Kast et al., 2018). Parallelamente, l'infestazione ha aumentato la vulnerabilità degli alberi a patogeni fungini come *Cryphonectria parasitica* e

Gnomoniopsis castaneae (Lione et al., 2016; Meyer et al., 2015), peggiorando lo stato fitosanitario generale.

Effetti sulla crescita legnosa

Le conseguenze si sono estese anche sulla crescita legnosa. Utilizzando analisi dendrocronologiche, è stato rilevato un calo medio del 60% nella crescita degli anelli durante il periodo epidemico del cinipide. Tali riduzioni hanno comportato un incremento del rischio di “ring shake”, ovvero fessurazioni interne agli anelli di accrescimento, che compromettono la qualità del legname (Fonti & Macchioni, 2003). I cedui di castagno hanno mostrato una drastica riduzione dell’incremento annuo della superficie basale tra il 40% e il 79%, indipendentemente dall’età della piantagione.

Persistenza degli effetti del cinipide nel tempo

Sebbene l’introduzione del controllo biologico tramite il parassitoide specifico *Torymus sinensis* abbia contribuito a ridurre l’impatto dell’infestazione, la ripresa fisiologica degli alberi è risultata lenta. In media, è stato osservato un ritorno a una crescita normale solo dopo 3–4 anni dall’introduzione del parassitoide (Marcolin et al., 2021).

Considerazioni

Il caso del cinipide galligeno del castagno evidenzia l’elevato rischio ecologico ed economico legato all’introduzione di specie aliene invasive. La capacità di *D.kuriphilus* di compromettere contemporaneamente la produzione di frutti, la qualità del legno, l’integrità fisiologica degli alberi e i servizi ecosistemici offerti dai castagneti, evidenzia la necessità di adottare strategie di prevenzione, monitoraggio e controllo tempestivo in ambito agroforestale. In Cina, la presenza dell’insetto segue andamenti ciclici grazie all’azione regolatrice di nemici naturali; in Europa, invece, la mancanza iniziale di antagonisti ha portato a danni estesi e prolungati per i castagneti (

1.4. Lotta biologica

Controllo biologico del cinipide galligeno del castagno

Per fronteggiare la rapida espansione e gli effetti dannosi causati da *D. kuriphilus*, in Italia è stato adottato un programma di controllo biologico classico. Questo è fondato sull'introduzione del suo antagonista naturale specifico, *Torymus sinensis* Kamijo (Hymenoptera: Torymidae), un parassitoide, originario della Cina, rappresenta un agente di biocontrollo altamente specializzato, in quanto si è coevoluto con il fitofago nella sua area di origine e contribuisce in modo significativo alla regolazione naturale delle popolazioni del cinipide galligeno del castagno.

Caratteristiche biologiche di *Torymus sinensis*

Torymus sinensis è un antagonista specifico delle larve di *D. kuriphilus* Yasumatsu, che si sviluppa all'interno delle galle indotte dall'ospite. Le femmine adulte depongono le uova in galle giovani contenenti larve vitali del cinipide. La larva del parassitoide consuma quella del suo ospite, determinandone la morte. Il ciclo vitale è perfettamente sincronizzato con quello dell'ospite e questo è un aspetto essenziale per garantire l'efficacia del controllo biologico. Inoltre, *T. sinensis* è dotato di una buona capacità dispersiva tramite voli a breve e lunga distanza ed è in grado di utilizzare segnali visivi e olfattivi per localizzare l'ospite, adattandosi così a una varietà di condizioni ambientali (Graziosi & Rieske, 2013; Colombari & Battisti, 2016b). Il parassitoide ha dunque un'elevata capacità di localizzare e colonizzare nuove aree infestate dal cinipide.

Un altro aspetto rilevante è rappresentato dalla diapausa che consente al parassitoide di superare periodi di bassa disponibilità dell'ospite o condizioni climatiche avverse, migliorando la resilienza del controllo (Quacchia et al., 2014; Ferracini et al., 2015a).

Programma italiano di controllo biologico classico

Il primo ritrovamento di *D. kuriphilus* in Italia risale al 2002 nella provincia di Cuneo, in Piemonte, segnando l'inizio di una rapida invasione che ha interessato progressivamente l'intero territorio nazionale, espandendosi successivamente in tutta Europa. Già nel 2005 sono stati effettuati i primi rilasci sperimentali di *T. sinensis* in alcune aree del Nord Italia, dopo valutazioni di rischio ecologico e studi di specificità d'ospite per assicurarsi che il parassitoide non andasse ad attaccare altre specie autoctone al posto del cinipide.

Nel nord-est italiano (Regione Veneto), il primo rilascio del parassitoide (150 individui) avvenne nel 2010 nel sito in cui il fitofago fu segnalato per la prima volta; altri quattro rilasci (150 individui ciascuno) furono effettuati tra il 2011 e il 2012 con individui forniti dall'Università di Torino. Dal 2013 al 2015 furono eseguiti quasi 500 rilasci utilizzando individui allevati dal centro di produzione.

Dal 2010 al 2012, la diffusione del parassitoide è stata estesa a livello nazionale, grazie alla collaborazione tra università, enti di ricerca, amministrazioni pubbliche e consorzi castanicoli. Centri di allevamento specifici, come quello istituito in Veneto, hanno prodotto individui a partire da galle raccolte in campo (Progetti LOBIOCIN e BIOINFOCAST).

Efficacia e risultati del controllo

Il successo della lotta biologica è stato documentato in numerosi studi, in Italia ha portato a risultati concreti e positivi. In Veneto, ad esempio, a soli 3–5 anni dai primi rilasci (2010–2012), la percentuale di galle parassitizzate da *T. sinensis* ha raggiunto l'82,3%, con un calo della presenza di *D. kuriphilus* al di sotto della soglia di danno e un incremento della produzione castanicola fino al 50% (Battisti et al., 2013).

Simili risultati sono stati ottenuti anche in altre regioni italiane e in contesti internazionali (Giappone, Stati Uniti), con percentuali di parassitizzazione superiori all'85% a distanza di otto anni dal rilascio (Ferracini et al., 2015b). L'efficacia del parassitoide si è rivelata maggiore in ambienti boschivi e in castagneti, dove altre forme di controllo (come la lotta chimica o le pratiche agronomiche) risultano impraticabili o economicamente insostenibili.

Il successo della lotta biologica in Veneto è stato raggiunto in tempi relativamente più brevi rispetto ad altri programmi (Colombari & Battisti, 2016a).

L'insediamento stabile e la riproduzione efficiente di *Torymus sinensis* sono stati verificati in tutti i siti di rilascio, indipendentemente dalla densità delle galle e dal tempo di coesistenza tra parassitoide e ospite. Tra i principali fattori che hanno favorito il successo del programma di controllo biologico classico, un ruolo chiave sembra essere stato svolto dalla struttura dell'habitat (ovvero la distribuzione delle risorse). In particolare, popolamenti di *Castanea sativa* Mill. caratterizzati da una distribuzione continua e aggregata hanno potuto garantire una costante disponibilità di ospiti (*D. kuriphilus*) per il parassitoide negli anni successivi alla sua introduzione. Inoltre, fattori abiotici come il vento hanno probabilmente facilitato la dispersione naturale di *T. sinensis*, contribuendo alla colonizzazione di nuove aree infestate (Colombari & Battisti, 2016a).

Ad oggi, *T. sinensis* si è insediato stabilmente in tutte le regioni italiane interessate, mostrando una buona capacità di colonizzazione autonoma, inoltre, non sono stati registrati impatti significativi su specie non bersaglio, confermando la sicurezza dell'introduzione (Ferracini et al., 2015b).

Tuttavia, il controllo biologico non garantisce l'eradicazione dell'ospite, né il recupero immediato delle condizioni produttive ottimali. Il pieno recupero delle chiome arboree può richiedere diversi anni dopo l'inizio della riduzione dell'infestazione (Gehring et al., 2020). Sarà pertanto fondamentale continuare il monitoraggio della dinamica popolazionale di entrambi i fitofagi e dei

loro antagonisti, per assicurare il mantenimento dell'equilibrio ecologico raggiunto e prevenire eventuali squilibri futuri.

L'esperienza italiana costituisce un caso di studio esemplare per l'applicazione del controllo biologico classico in Europa, dimostrando come un approccio fondato su solide basi ecologiche e scientifiche, possa offrire una soluzione efficace e sostenibile alla gestione di insetti alieni invasivi.

1.5 Obiettivi

L'obiettivo della tesi è valutare l'efficacia della lotta biologica attuata mediante l'introduzione del parassitoide specifico *Torymus sinensis* Kamijo (Hymenoptera: Torymidae) nei confronti del cinipide galligeno del castagno *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae) nelle Prealpi Trevigiane, con particolare riferimento agli impatti sulla ripresa della produzione di castagne. L'analisi è stata condotta in Veneto, in due aree della provincia di Treviso: Combai e Monfenera.

Per questa indagine sono stati analizzati i dati relativi alla produzione di castagne nel periodo compreso tra il 2010 e il 2024, al fine di valutare l'andamento produttivo in relazione all'insediamento e alla diffusione di *T. sinensis*. Oltre al monitoraggio produttivo, la ricerca prende in esame anche i dati meteorologici relativi a precipitazioni e temperature annue, con l'obiettivo di distinguere gli effetti dovuti alla pressione del fitofago da quelli attribuibili a variabili climatiche.

Uno degli aspetti centrali dell'analisi riguarda la verifica del nesso causale tra la progressiva riduzione dell'infestazione da *D. kuriphilus* e l'incremento della produzione di castagne, nonché l'individuazione di eventuali fluttuazioni produttive successive, potenzialmente attribuibili a condizioni climatiche avverse piuttosto che a un ritorno dell'insetto infestante.

2 Materiali e metodi

2.1 Area di studio

Le aree di studio prese in considerazione nella tesi sono Combai e Monfenera, ovvero due siti delle Prealpi Trevigiane. Combai fa parte della sinistra Piave, mentre Monfenera fa parte della destra Piave.



Fig.4: Posizione di Combai e Monfenera (foto satellitare di Google Earth).



Fig.5: Posizione di Combai in Veneto (foto satellitare di Google Earth).

Descrizione dell'area di studio di Combai

Combai è una frazione del comune di Miane in provincia di Treviso, è situata in una zona collinare a 395 m s.l.m.(coordinate 45°55'48"N, 12°04'15"E) ed è famosa per la Festa del Marrone di Combai che attira ogni anno moltissimi turisti. E' un'area che è dedicata alla castanicoltura fin dall'antichità e nel 1995 è stata costituita l'Associazione del Marrone di Combai con lo scopo di valorizzare il frutto, unire tutti i produttori della zona e di rendere omogenee le pratiche colturali.

Dal punto di vista di climatico, Combai è caratterizzata da temperature medie annue che variano da 8°C a 13°C con luglio e agosto che sono i mesi più caldi (con temperature medie che oscillano da 16°C a 26°C) e gennaio e febbraio i mesi più freddi dove le temperature medie oscillano da -2°C a 7°C.

Le precipitazioni annue si aggirano intorno ai 1400mm, con due picchi massimi: uno primaverile a maggio-giugno di 152mm e uno autunnale a novembre di 158mm (www.arpa.veneto.it).

Descrizione dell'area di studio di Monfenera

Monfenera è un rilievo che sovrasta il paese di Pederobba in provincia di Treviso, è una propaggine del massiccio del Monte Grappa, è un territorio ricco di latifoglie e ha un'altitudine di 780 m s.l.m. Fin dall'antichità offriva pascoli per il bestiame, boschi per poter fare legna e per raccogliere le castagne adatte ad alimentare gli animali e le persone.

Dal punto di vista climatico, Monfenera è caratterizzata da temperature medie annue di 10,9°C e precipitazioni medie annue di 1429 mm (www.arpa.veneto.it).

Marrone di Combai IGP (Identificazione Geografica Protetta)

La zona di produzione comprende vari territori nei comuni di Cison di Valmarino, Cordignano, Follina, Fregona, Miane, Revine Lago, Sarmede, Segusino, Tarzo, Valdobbiadene e Vittorio Veneto, in Provincia di Treviso. Complessivamente, la superficie interessata dalla coltivazione si estende per circa 274,69 ha, in un contesto collinare-montano che è favorevole alla crescita del castagno.

Fonti storiche attestano la coltivazione del marrone nell'area di Combai sin dal 1665, a testimonianza di una lunga tradizione castanicola radicata nel territorio, che ha contribuito al riconoscimento del Marrone di Combai come prodotto di pregio. (sito www.agraria.org).

Il marrone di Combai necessita di terreni più fertili rispetto alla castagna tradizionale e maggiori cure colturali per preservarne la qualità e le caratteristiche qualitative.

Dal punto di vista morfologico, il frutto si presenta con una forma tendenzialmente ellissoidale e l'apice appiattito. La buccia esterna è liscia, brillante, di colore marrone scuro, con evidenti

striature e solcature longitudinali. Una caratteristica fondamentale del Marrone di Combai è la facilità con cui la buccia si separa dalla pellicola interna, la quale si presenta di colore nocciola. Il frutto è generalmente indiviso internamente (a differenza di molte castagne che presentano setti interni) e protetto da un riccio dotato di numerosi aculei.

La polpa è di colore biancastro, dalla consistenza farinosa e croccante, con un sapore dolce e delicato, elementi che lo rendono particolarmente apprezzato per il consumo diretto e per l'impiego in pasticceria. Ogni riccio contiene mediamente due frutti, e raramente più di tre. La pezzatura è medio-grossa: la resa si attesta in media tra 85 e 90 frutti per chilogrammo, parametro considerato ottimale per questa varietà.

Marrone di Monfenera IGP (Identificazione Geografica Protetta)

La zona di produzione comprende vari territori nei comuni della Provincia di Treviso: Borso del Grappa, Crespano del Grappa, Paderno del Grappa, Possagno, Cavaso del Tomba, Pederobba, San Zenone degli Ezzelini, Fonte, Asolo, Maser, Castelcuoco, Monfumo, Cornuda, Montebelluna, Caerano di San Marco, Crocetta del Montello, Volpago del Montello, Giavera del Montello, Nervesa della Battaglia. Questi territori offrono un habitat ideale per i marroni del Monfenera e ne permettono lo sviluppo vegetativo e produttivo grazie alle condizioni pedo-climatiche.

Testimonianze storiche attestano la coltivazione del castagno nell'area del Monfenera già dal 1351, anno a cui risale un documento ufficiale che regolava la raccolta dei frutti, evidenziando l'antica vocazione castanicola della zona. (<https://www.qualigeo.eu/prodotto-qualigeo/marroni-del-monfenera-igp/> ; <https://marcadoc.com/it/prodotti-tipici/marrone-del-monfenera>).

Dal punto di vista morfologico, il Marrone del Monfenera si presenta con una forma ovoidale, leggermente appiattita lateralmente. La buccia è liscia, sottile ma resistente, con striature marcate, e presenta una colorazione che può variare dal marrone chiaro al bruno scuro. Alla base del frutto è visibile l'ilo, una zona più chiara che rappresenta il punto di attacco del seme al pericarpo, mentre all'apice sono presenti i residui del perianzio e degli stili, noti come "torcia".

Il frutto è contenuto all'interno di un riccio protettivo ricoperto da aculei, al cui interno si trovano solitamente due o tre marroni. La parte edule del frutto è avvolta da un sottile rivestimento, l'episperma, e presenta una polpa soda e consistente. Internamente la colorazione è biancastra, mentre verso l'esterno assume tonalità giallastre. . La pezzatura è grossa e di norma varia dai 48 ai 65 frutti per kg.

2.2 Raccolta dei dati di produzione

I dati della produzione di marroni delle località di Combai e Monfenera sono stati raccolti dalle associazioni castanicole competenti, nel primo caso dall'Associazione Produttori del Marrone di Combai, nel secondo caso sono stati forniti dall'Associazione Produttori Marroni della Marca Trevigiana.

Per il sito di Combai sono stati raccolti i dati della produzione di castagne dall'anno 2010 al 2024, mentre per Monfenera dall'anno 2011 al 2024, in quanto il dato relativo al 2010 risulta mancante. Questa raccolta di dati ha permesso di analizzare l'andamento delle dinamiche produttive locali degli ultimi quindici anni.

2.3 Raccolta dei dati climatici

Per analizzare l'andamento della produzione di castagne nelle località di Combai e Monfenera nel periodo compreso tra il 2010 e il 2024, sono stati presi in considerazione i dati climatici delle due zone.

Tale approccio è utile per individuare eventuali correlazioni tra le variabili meteorologiche e le fluttuazioni produttive osservate nel periodo considerato.

Per quanto riguarda l'area di Combai, i dati climatici sono stati ottenuti dalla stazione meteorologica "Follina Antincendio", situata nel comune di Follina (provincia di Treviso) e tra i punti di rilevamento disponibili, questo è quello più vicino geograficamente a Combai.

Fino al 2017, la stazione era collocata a un'altitudine di 311m s.l.m., con coordinate geografiche: longitudine 12.11707864 e latitudine 45.95703378 (EPSG:4258). A partire dal 2017, la stazione è stata ricollocata in un nuovo sito, sempre all'interno del territorio comunale di Follina, a un'altitudine di 208 m s.l.m. e con coordinate geografiche 12.12185345 longitudine e 45.96032669 latitudine (EPSG:4258).

Per l'area di Monfenera, invece, l'analisi è stata condotta utilizzando i dati provenienti dalla stazione meteorologica di Crespano del Grappa, situata nel comune di Pieve del Grappa (provincia di Treviso). Tale stazione si trova a un'altitudine di 404 m s.l.m. e presenta le seguenti coordinate geografiche: longitudine 11.84066348 e latitudine 45.84169964 (EPSG:4258).

In entrambe le aree, la temperatura dell'aria è stata rilevata ad un'altezza di 2m dal suolo.

I dati raccolti comprendono le temperature medie, massime, minime giornaliere e le precipitazioni dei mesi di maggio, giugno, della seconda metà di agosto e della prima metà di settembre di ogni anno, in quanto sono parametri rilevanti per la fenologia del castagno e la sua produttività.

https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/dati-storici/meteo-idro-nivo/ultimi_anni).

3 Risultati

3.1 Elaborazione dati di produzione di Combai

ANNO	MARRONI ITALIA [Kg]	MARRONI IGP[Kg]	TOTALE MARRONI [Kg]
2005	21198,00		21198,00
2006	10948,00		10948,00
2007	7133,00		7133,00
2008			0,00
2009	16170,00		16170,00
2010	2414,50	9896,50	12311,00
2011	186,00	2625,00	2811,00
2012	317,50	2714,50	3032,00
2013	1360,50	898,00	2258,50
2014	1151,00	1292,00	2443,00
2015	14309,80	19832,70	34142,50
2016	61,50	4004,90	4066,40
2017	1416,00	24306,50	25722,50
2018	3548,00	40842,00	44390,00
2019	93,50	13166,00	13259,50
2020	333,60	11545,00	11878,60
2021	144,50	5259,80	5404,30
2022	1094,60	47685,20	48779,80
2023	4833,60	43063,90	47897,50
2024	337,40	5944,50	6281,90
TOTALE	87051,00	233076,50	320127,50

Fig. 6 Dati della produzione di marroni di Combai dal 2010 al 2024.

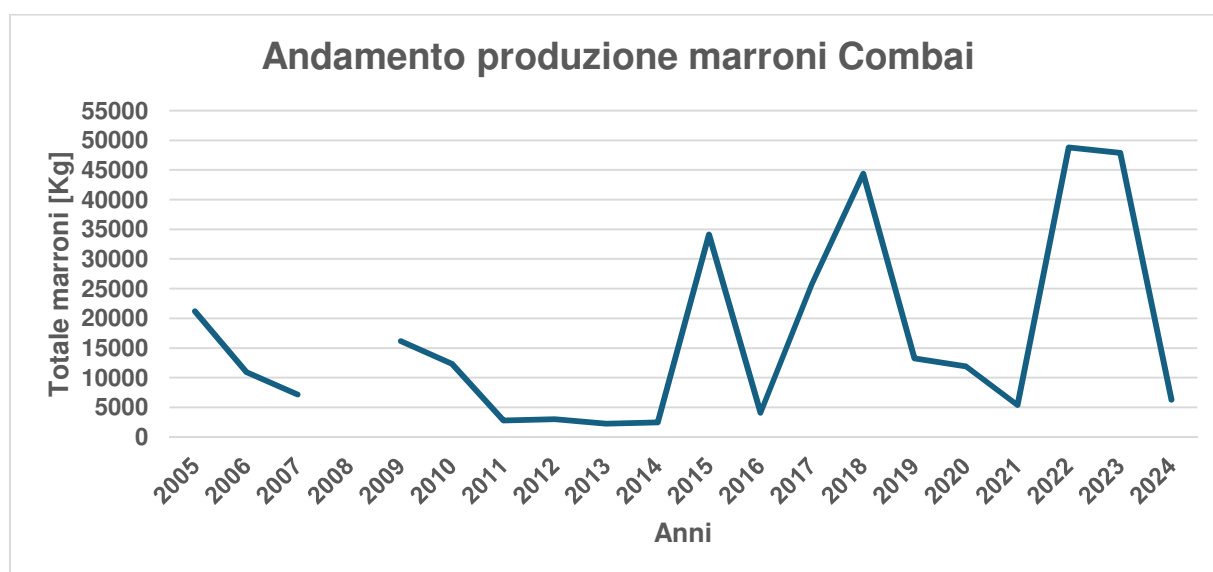


Fig. 7: Andamento della produzione dei marroni di Combai dal 2005 al 2024.

Anni	Anomalie Combai
2005	Nessuna anomalia climatica rilevata
2006	Nessuna anomalia climatica rilevata
2007	Inverno molto mite, tanti frutti guasti con balanino
2008	Settembre e ottobre molto piovosi
2009	Buon raccolto
2010	Cinipide
2011	Cinipide
2012	Cinipide
2013	Cinipide
2014	Cinipide
2015	Primo anno dopo il cinipide, buon raccolto
2016	Maggio e giugno piovosi (fioritura compromessa)
2017	Nessuna anomalia
2018	Annata molto buona
2019	Grandinata il 27 aprile
2020	Nessuna anomalia
2021	Grandinata il 19 maggio
2022	Ottima produzione, un po' di gnomoniopsis
2023	Ottima produzione con parecchia gnomoniopsis
2024	Eccessiva piovosità e temperature basse in fioritura

Fig. 8: Anomalie della produzione dei marroni di Combai dal 2005 al 2024.

La figura 3 mostra l'andamento della produzione di marroni nel sito di Combai nel periodo compreso tra il 2005 e il 2024. Un evento di rilievo nel contesto produttivo locale è rappresentato dall'introduzione del cinipide, la cui presenza è stata registrata per la prima volta in questi siti nel 2009, e nel 2011 sono stati rilasciati gli esemplari dell'antagonista *Torymus sinensis*. Negli anni 2014 e 2015, il parassitoide si trovava in più del 75% delle galle analizzate (Colombari and Battisti, 2016).

Il dato del raccolto relativo al 2008 risulta mancante; tuttavia, si può ipotizzare che la produzione in quell'anno non fosse ancora significativamente compromessa, in quanto il cinipide era in fase iniziale di insediamento e non aveva ancora raggiunto uno stadio epidemico. A partire dal 2010 e fino al 2014, si osserva un netto calo produttivo, riconducibile alla diffusione ben affermata del cinipide, che in questo periodo ha raggiunto la massima presenza.

Nel 2015 si registra una ripresa della produzione, grazie alla lotta biologica attraverso l'introduzione dell'antagonista naturale *Torymus sinensis*.

Quest'anno segna, pertanto, un punto di svolta, poiché nei successivi cali produttivi le cause non sono più da ricondurre alla pressione del cinipide, bensì a fattori climatici sfavorevoli.

In particolare, nel 2016 la produzione ha subito una nuova flessione. Secondo quanto riportato dall'associazione castanicola di Combai, tale riduzione è stata causata da condizioni meteorologiche avverse, in particolare precipitazioni intense durante i mesi di maggio e giugno, che hanno compromesso la fioritura.

L'anno 2021 ha registrato un'ulteriore contrazione della produzione, anch'essa attribuita a variabili climatiche non favorevoli. Al contrario, il biennio 2022–2023 è stato caratterizzato da rese produttive elevate. Tuttavia, nel 2022 è stata segnalata una presenza moderata del patogeno *Gnomoniopsis castanea*, la cui incidenza è aumentata sensibilmente nel 2023.

Nel 2024 si è verificato un nuovo calo della produzione. Anche in questo caso, l'Associazione Castanicola locale attribuisce la causa a fattori climatici, in particolare a precipitazioni eccessive nel periodo della fioritura, che hanno ostacolato l'impollinazione e compromesso lo sviluppo dei frutti.

3.2 Elaborazione dati di produzione di Monfenera

ANNO	MARRONI IGP [Kg]
2011	3922
2012	5079
2013	512
2014	1270
2015	15515
2016	11423
2017	31039
2018	45285
2019	22131
2020	20856
2021	14966
2022	31530
2023	34527
2024	5295
TOTALE	243350

Fig.9: dati della produzione di marroni di Monfenera dal 2011 al 2024.

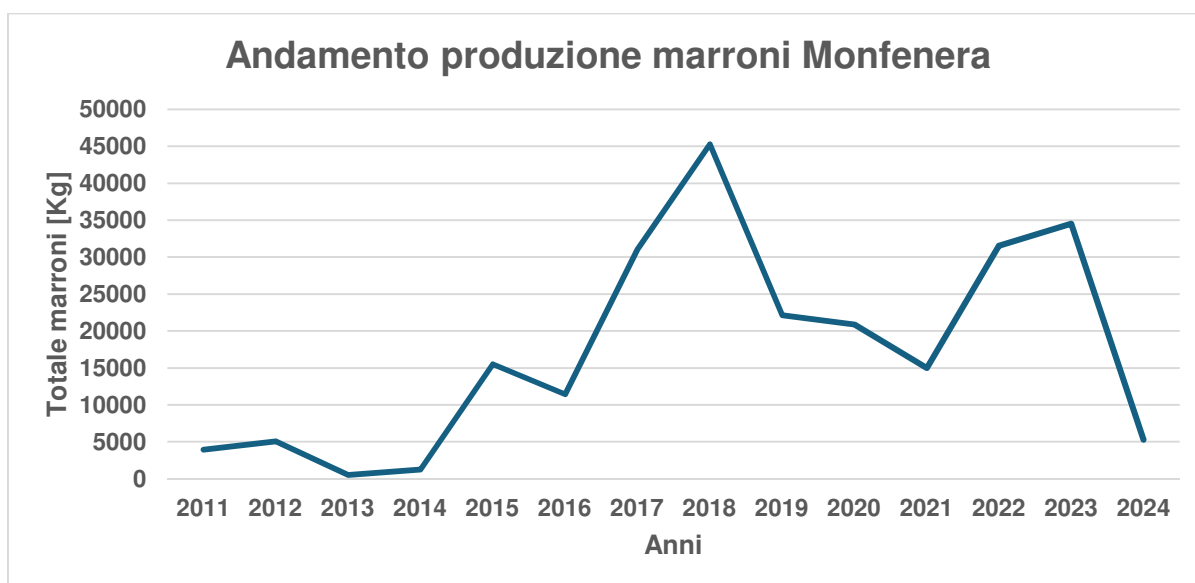


Fig. 10: Andamento della produzione dei marroni di Monfenera dal 2011 al 2024.

Anomalie Monfenera
Pioggia in fioritura
Periodi siccitosi
Grandinate (ad esempio l'1 luglio 2024)
No fenomeni pesanti di marcescenza, la gnomoniopsis fino ad ora non ha creato molti danni.

Fig. 11: Anomalie della produzione dei marroni di Monfenera.

Sebbene le produzioni dei marroni registrate nelle località di Combai e Monfenera presentino valori differenti, il loro andamento generale nel periodo considerato risulta sostanzialmente analogo. Per quanto riguarda Monfenera, i dati di produzione disponibili coprono l'intervallo temporale dal 2011 al 2024.

Analogamente a quanto osservato per Combai, anche a Monfenera il periodo dal 2011 al 2014 è stato caratterizzato da rese particolarmente contenute, imputabili alla fase epidemica del cinipide galligeno del castagno (*Dryocosmus kuriphilus*), che in quegli anni ha avuto un grande impatto sulla produzione di marroni.

Nel 2015 si registra una netta ripresa della produzione, che rappresenta il primo anno di buon raccolto successivo alla fase più critica dell'infestazione da cinipide. I cali produttivi osservati negli anni successivi non risultano più riconducibili al fitofago, bensì a fattori di natura climatica, come evidenziato in Figura 6. Le principali criticità riportate includono precipitazioni durante la fioritura, periodi di siccità, eventi di grandine e, ad oggi, una presenza ancora contenuta di marcescenze causate dal fungo *Gnomoniopsis castanea*.

In linea con quanto rilevato a Combai, anche a Monfenera gli anni 2021 e 2024 hanno fatto registrare una contrazione significativa della produzione. L'Associazione Castanicola attribuisce tali

riduzioni a condizioni meteorologiche avverse, escludendo un eventuale ritorno della pressione del cinipide, ormai sotto controllo grazie all'attività dell'agente di biocontrollo *Torymus sinensis*.

3.3. *Gnomoniopsis castaneae*

Negli ultimi anni, sia il sito di Monfenera sia quello di Combai hanno segnalato la presenza crescente di *Gnomoniopsis castaneae*, un fungo appartenente all'ordine *Diaporthales*, noto per la sua capacità di causare gravi danni alle produzioni di castagne, sviluppando marciume bruno nei frutti. Questo patogeno emergente, descritto scientificamente nei primi anni 2000 in Europa e Oceania (Visentin et al., 2012; Shuttleworth et al., 2012), si è rapidamente diffuso a livello globale con comportamento opportunistico ed ha creato grandi problemi economici alla castanicoltura (Shuttleworth et al., 2013).

Il marciume bruno causato da *G. castaneae* interessa soprattutto l'endosperma del frutto, provocando una decolorazione che può variare dal marrone chiaro al bruno scuro. Tali alterazioni non sono visibili esternamente, rendendo la diagnosi particolarmente complessa fino alla fase di post-raccolta (Maresi et al., 2013; Shuttleworth et al., 2013; Vettrano et al., 2019). L'endosperma infetto appare spesso disidratato, con consistenza spugnosa (Lione et al., 2015). Inoltre, il fungo può essere presente in forma latente nei frutti raccolti, senza manifestazioni sintomatiche esterne (Dennert et al., 2015). La progressione del marciume è influenzata dalla temperatura, con sviluppo tra 4°C e 27°C e blocco della crescita a 0°C (Gatti et al., 2024, Vademecum per la corretta gestione di *Gnomoniopsis castaneae* in post-raccolta).

Oltre al danno diretto ai frutti, *G. castaneae* è stato isolato anche in rami, fusti, foglie e galle.

Si manifesta frequentemente in forma endofitica asintomatica nei tessuti vegetativi dell'anno corrente o del precedente (Pasche, Calmin et al., 2016; Shuttleworth & Guest, 2017; Vannini et al., 2017, 2018). In particolari condizioni ambientali o su piante stressate, il fungo può passare dallo stato endofitico a quello patogeno, causando cancri corticali simili a quelli da *Cryphonectria parasitica* (Dar & Rai, 2015), necrosi fogliare (Magro et al., 2010) e deperimento dei germogli (Lewis et al., 2017).

Originariamente ritenuto specifico per il genere *Castanea*, *G. castaneae* è stato successivamente individuato anche in altre latifoglie come *Fraxinus ornus*, *Corylus avellana*, *Buxus sempervirens* e *Quercus ilex*, avendo quindi a disposizione più ospiti suscettibili (Ibrahim et al., 2017; Linaldeddu et al., 2016; Şimşek et al., 2019).

Finora non sono stati trovati legami con *Dryocosmus kuriphilus*, mentre non è ancora chiara la modalità con cui il fungo riesce a penetrare nel frutto (Lione et al., 2016; Vinale et al., 2014).

Oggi, *G. castanea* rappresenta una minaccia reale per la produzione castanicola essendo ormai confermata la sua presenza e massiccia nei tessuti vegetali del castagno e il suo forte legame con le alte temperature, sempre più comune al momento della raccolta.



Fig.12 Effetto dell'imbrunimento ai frutti causato da G. castanea (foto di Giorgio Maresi).

3.4 Elaborazione dei dati climatici

Ai fini dell'analisi, sia per il sito di Combai sia per quello di Monfenera, sono state prese in considerazione le precipitazioni registrate nei mesi di maggio, agosto e settembre per gli anni 2016, 2021 e 2024, ovvero le annualità in cui si è osservato un netto calo della produzione di marroni, indipendentemente dalla presenza del cinipide. Si ha la necessità di indagare l'influenza dei fattori climatici, con particolare attenzione al regime pluviometrico.

Le precipitazioni di giugno sono state analizzate in quanto influiscono sulla fioritura del castagno ostacolando l'impollinazione, mentre quelle di agosto e settembre sono state considerate per la loro incidenza sulla fase di fruttificazione (Rutter et al,1991).

Elaborazione dei dati di climatici di Combai

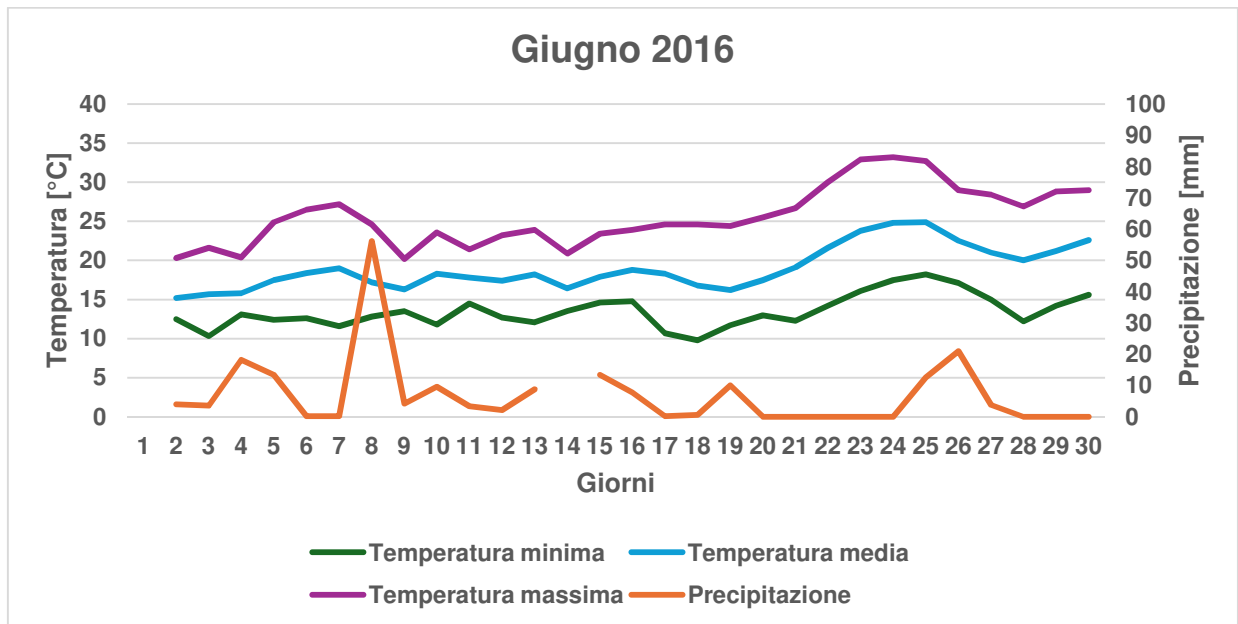


Fig. 13: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di giugno 2016 per il sito di Combai.

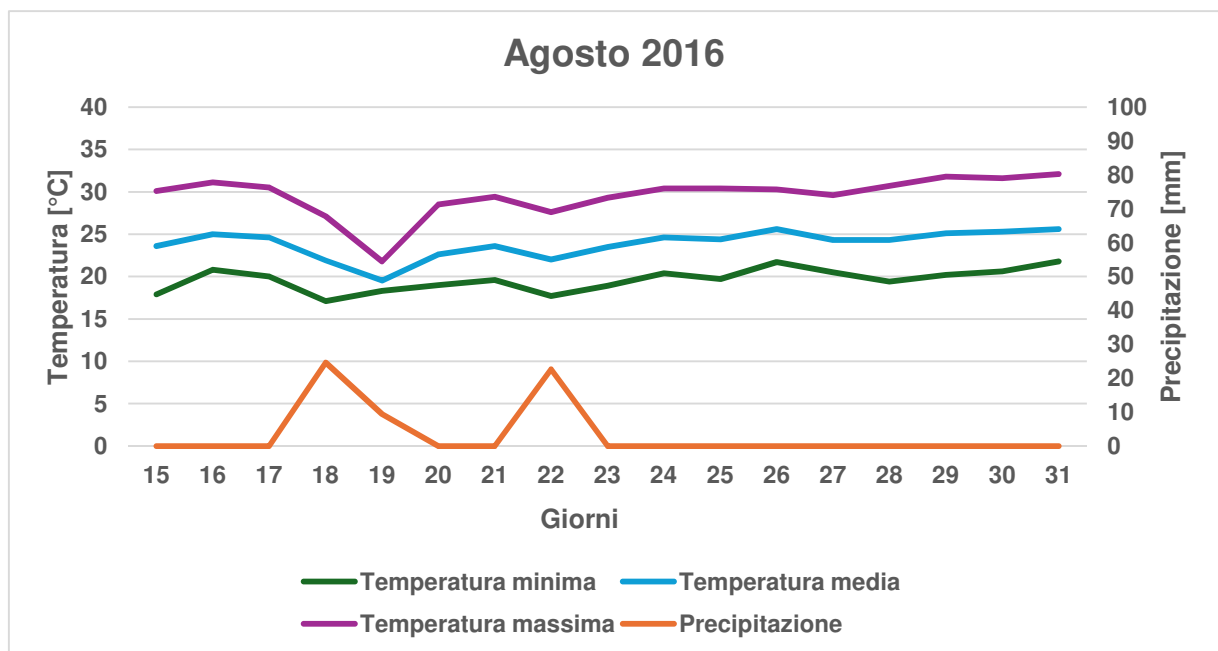


Fig. 14: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di agosto 2016 per il sito di Combai.

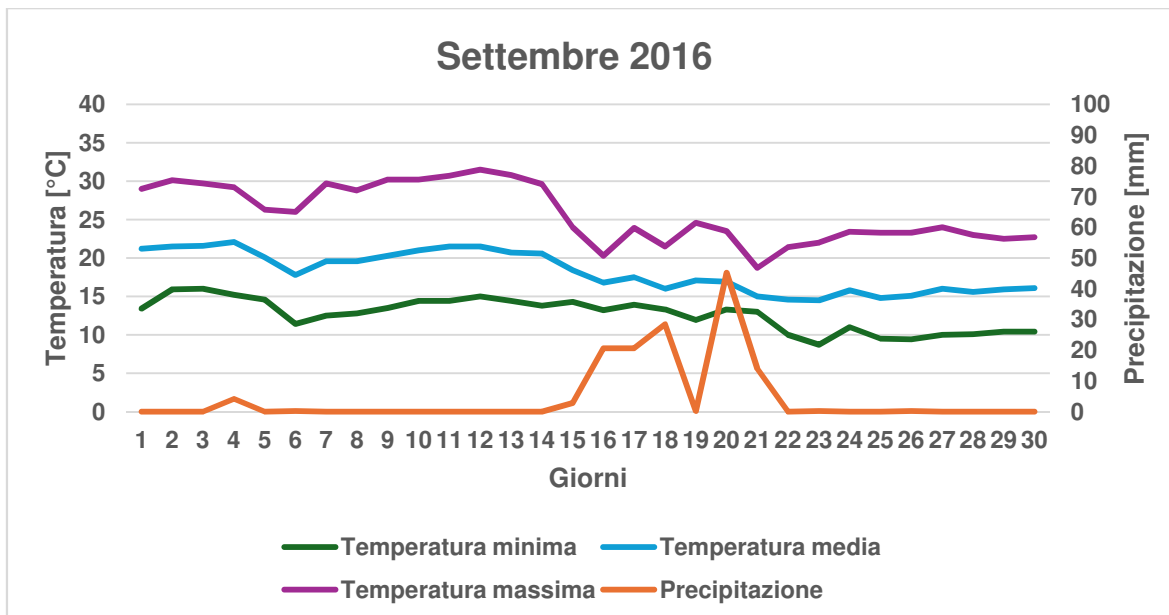


Fig. 15: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di settembre 2016 per il sito di Combai.

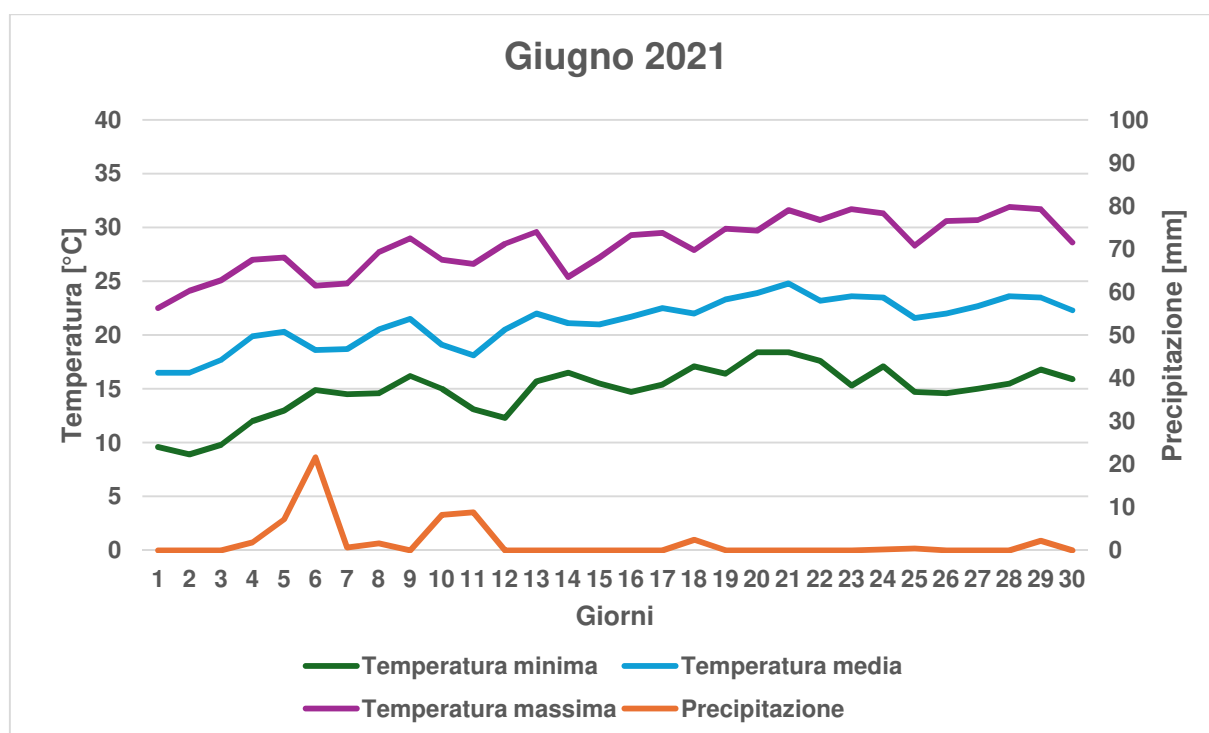


Fig. 16: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di giugno 2021 per il sito di Combai.

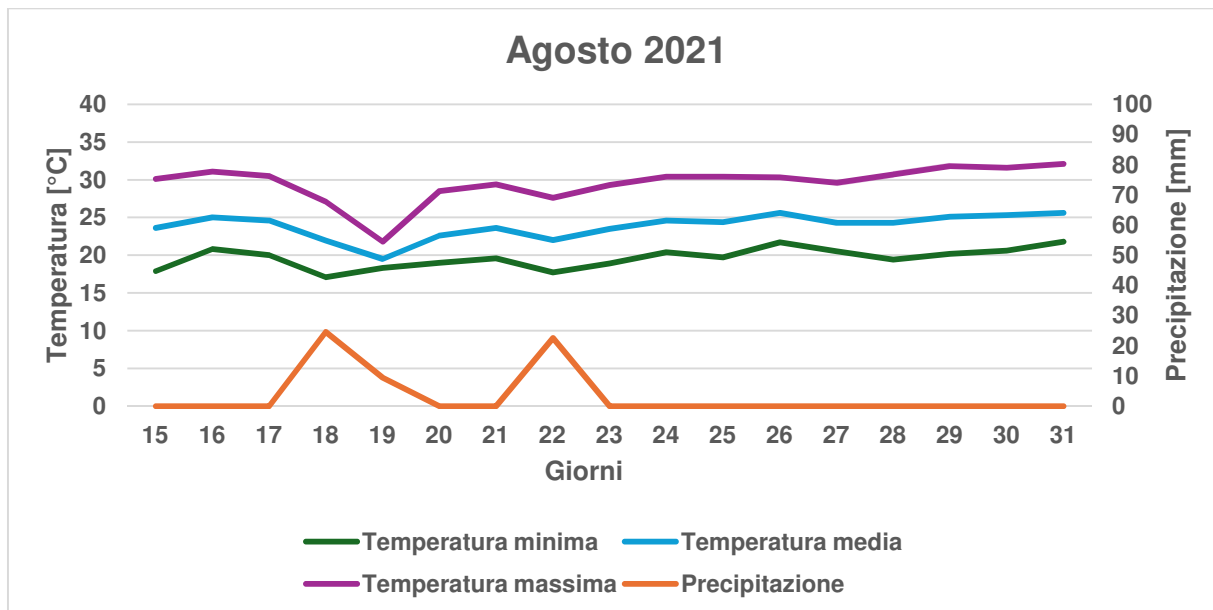


Fig. 17: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di agosto 2021 per il sito di Combai.

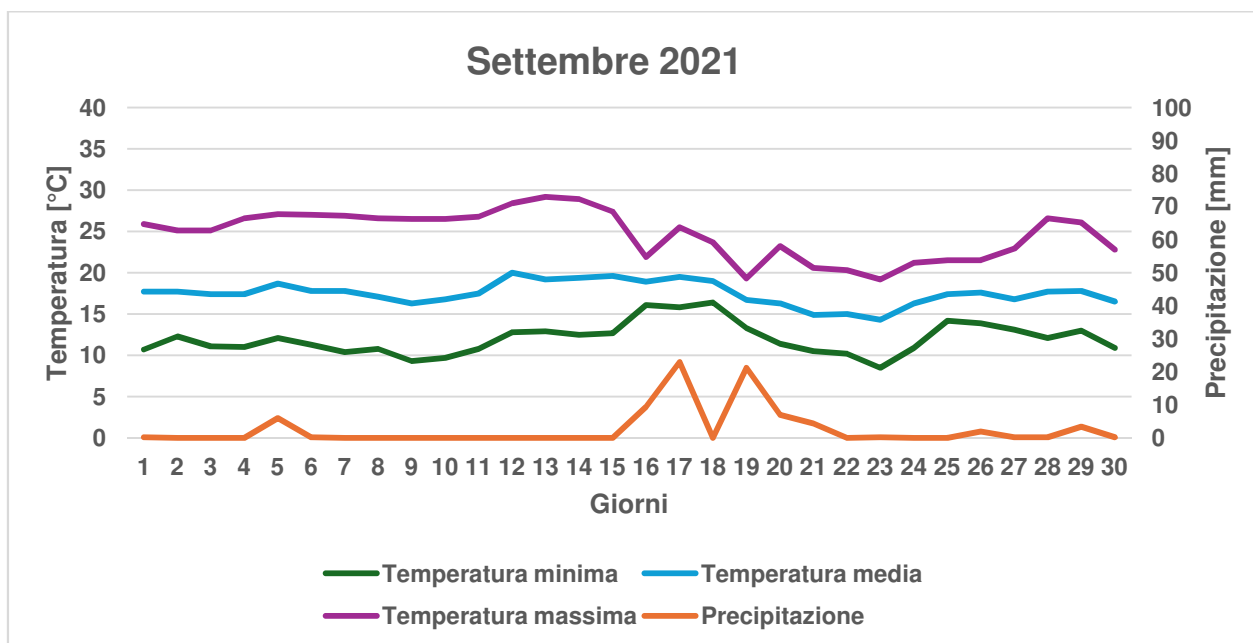


Fig. 18: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di settembre 2021 per il sito di Combai.

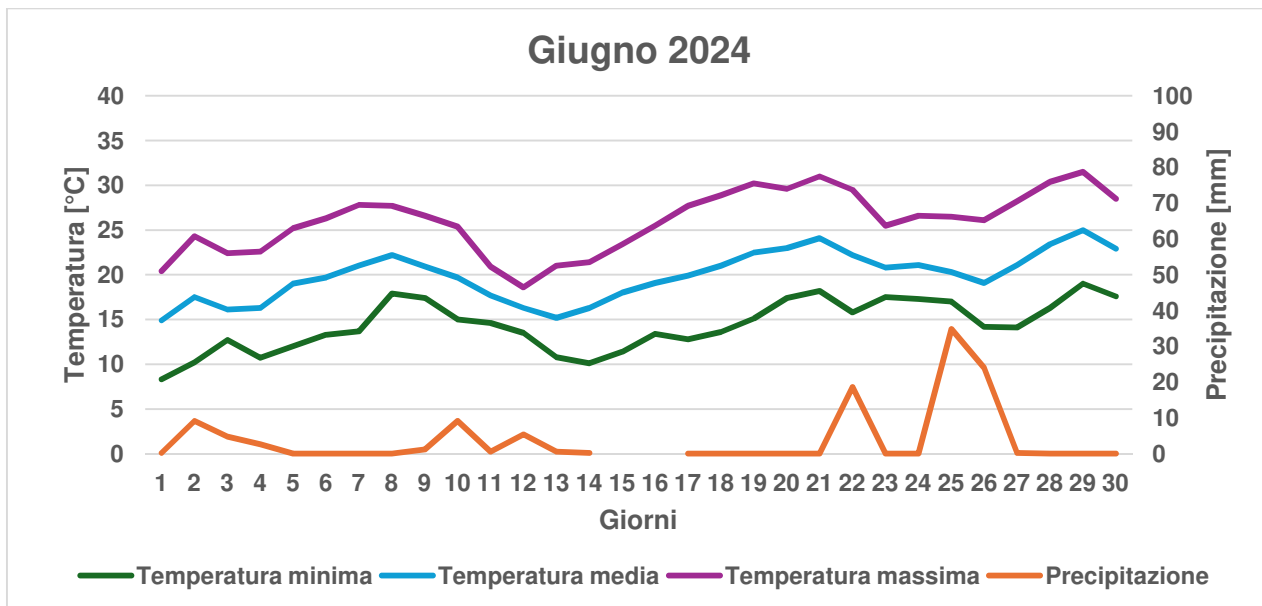


Fig. 19: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di giugno 2024 per il sito di Combai.

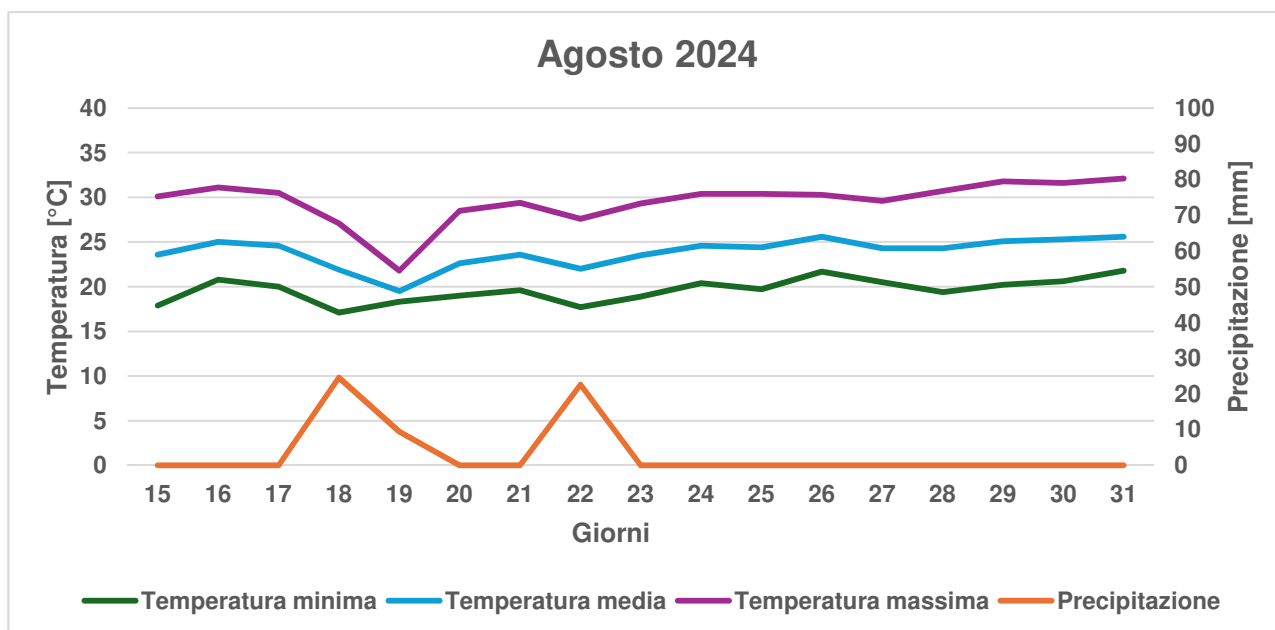


Fig. 20: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di agosto 2024 per il sito di Combai.

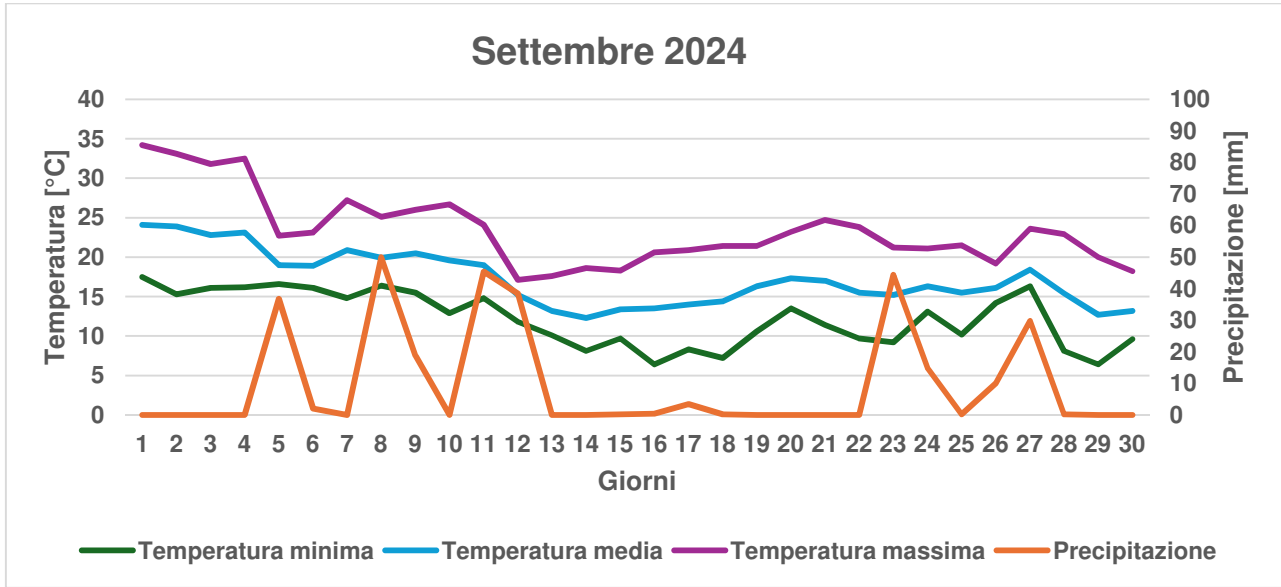


Fig. 21: Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di giugno 2016 per il sito di Combai.



Fig 22: Precipitazione totale del mese di giugno dal 2010 al 2024 per Combai, con i dati raccolti dalla stazione metereologica di Follina.

Durante la fase di fioritura del castagno che avviene nel mese di giugno, dall'analisi dei dati pluviometrici, non sembra emergere alcun legame con l'andamento della produzione di marroni di Combai.

In particolare nel 2016 è stato registrato un calo della produzione rispetto al 2015 in cui era stata osservata una notevole ripresa produttiva in seguito all'avvio della lotta biologica al cinipide.

I dati di precipitazione raccolti nel mese di giugno 2016 (Fig. 13 e Fig. 22), evidenziano un regime pluviometrico non particolarmente anomalo, né tale da compromettere in modo evidente la fioritura.

Un'altra conferma della mancanza di un effetto delle precipitazioni durante la fase di fioritura e la resa produttiva si osservano nell'anno 2020, in cui il mese di giugno è risultato il più piovoso negli anni presi in considerazione (2010-2024) e, nonostante ciò, la produzione di marroni a Combai ha superato quella del 2016.

Anche negli anni 2021 e 2024 le precipitazioni registrate nel mese di giugno non risultano essere state tali da compromettere significativamente la fase di fioritura del castagno. I valori pluviometrici, come mostrato in (fig.16 e fig. 19), si attestano su livelli relativamente contenuti, con picchi giornalieri modesti, che non indicano condizioni di eccessiva piovosità in corrispondenza della fioritura.

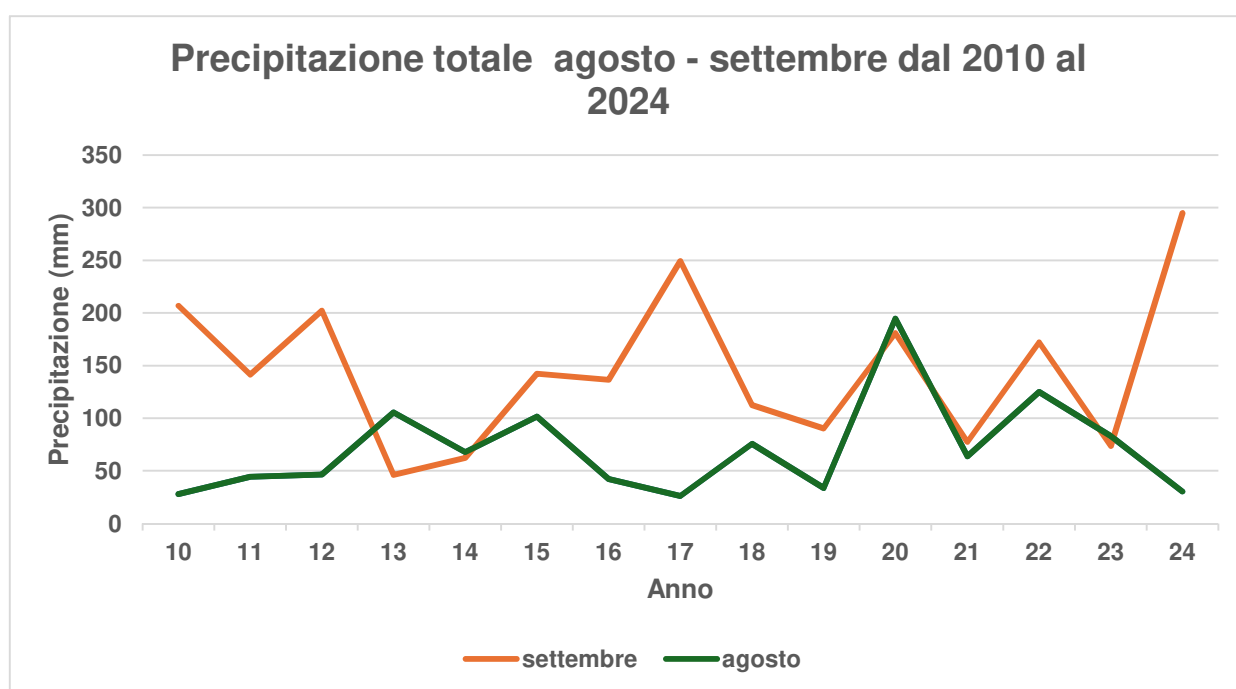


Fig.23: Precipitazione totale dei mesi di agosto e settembre dal 2010 al 2024 per Combai, con i dati raccolti dalla stazione metereologica di Follina.

Le precipitazioni registrate nei mesi di agosto e settembre rivestono un ruolo significativo nel determinare il successo della fruttificazione del castagno, influenzando i processi di accrescimento e maturazione del frutto.

Come evidenziato nella (fig.14), nel mese di agosto 2016 si nota una scarsità di precipitazioni, infatti per la gran parte del mese, infatti, non si sono verificati eventi piovosi rilevanti.

Negli anni 2021 e 2024 si riscontra un andamento pluviometrico analogo dove il mese di agosto è stato caratterizzato da contenute precipitazioni. La mancanza di apporto idrico al suolo in questo periodo fenologico della pianta può influenzare la fruttificazione.

Al contrario, nel mese di settembre di tali annualità si rilevano quantitativi di precipitazioni più consistenti. Tuttavia, queste piogge tardive risultano essere meno efficaci, poiché intervengono in una fase ormai avanzata del ciclo riproduttivo, quando i processi fondamentali legati allo sviluppo dei frutti sono già stati in gran parte determinati.

Tali osservazioni suggeriscono che la disponibilità idrica nel mese di agosto risulta più critica rispetto a quella di settembre, ai fini di una fruttificazione ottimale.

Elaborazione dei dati di climatici di Monfenera

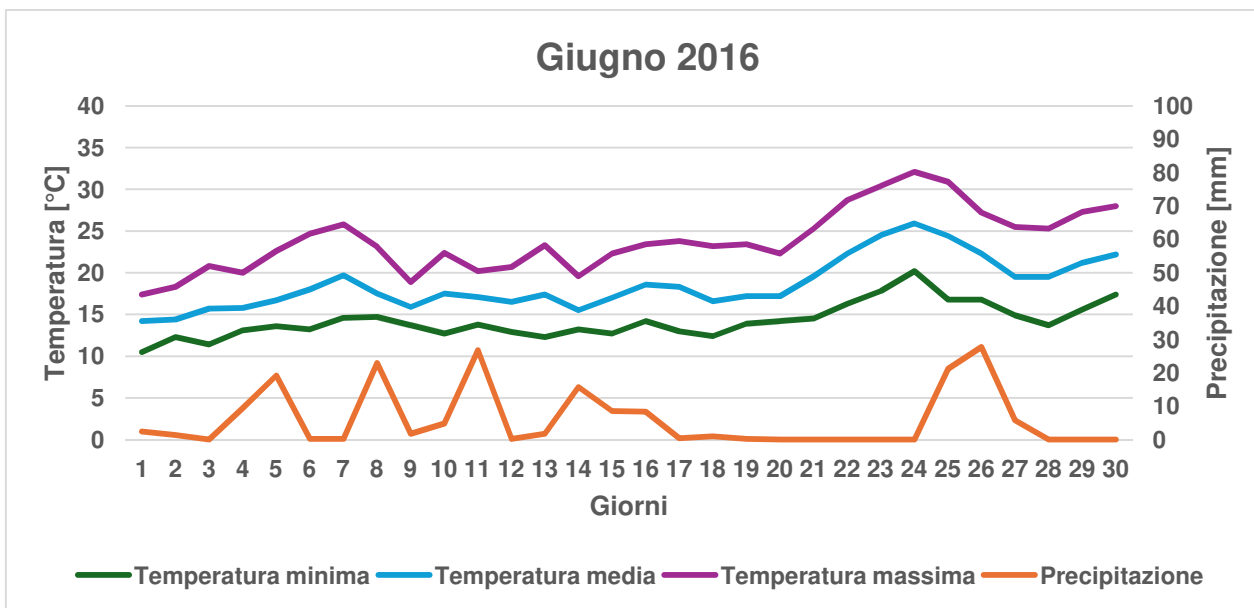


Fig.24 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di giugno 2016 per il sito di Monfenera.

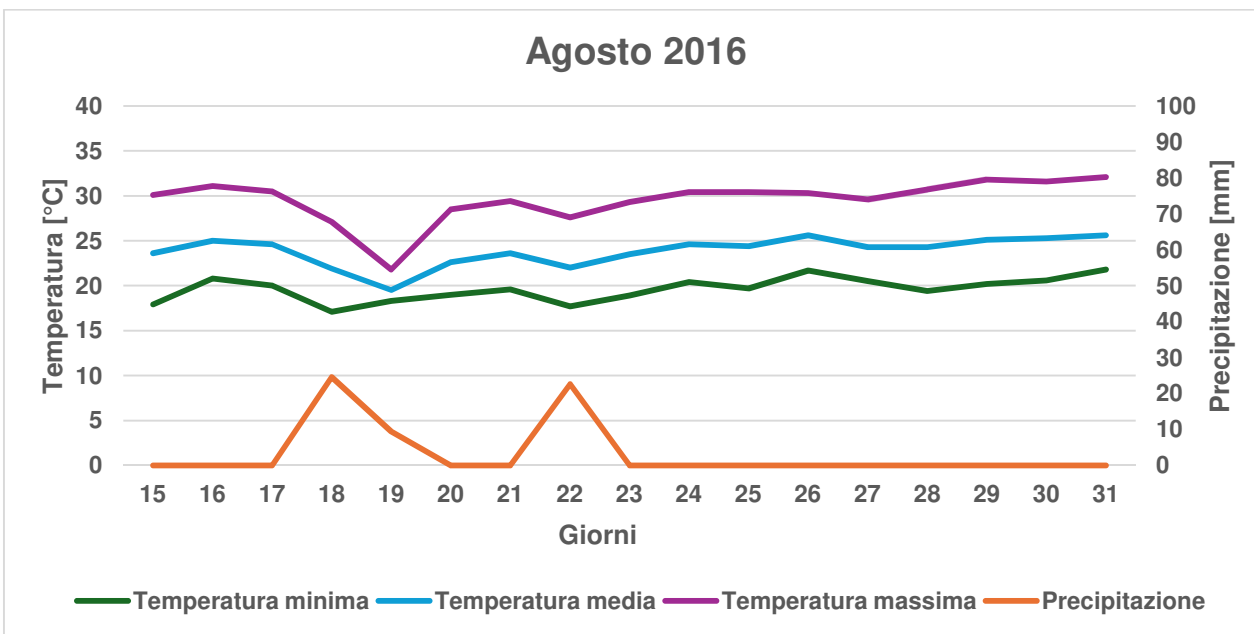


Fig.25 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di agosto 2016 per il sito di Monfenera.

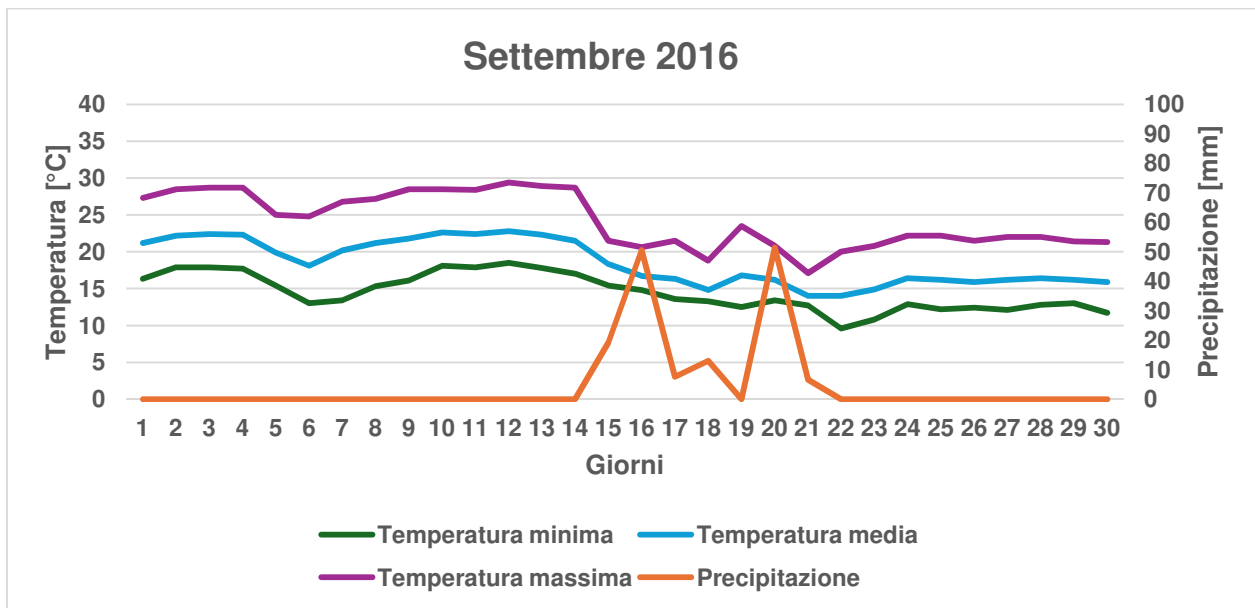


Fig.26 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di settembre 2016 per il sito di Monfenera.

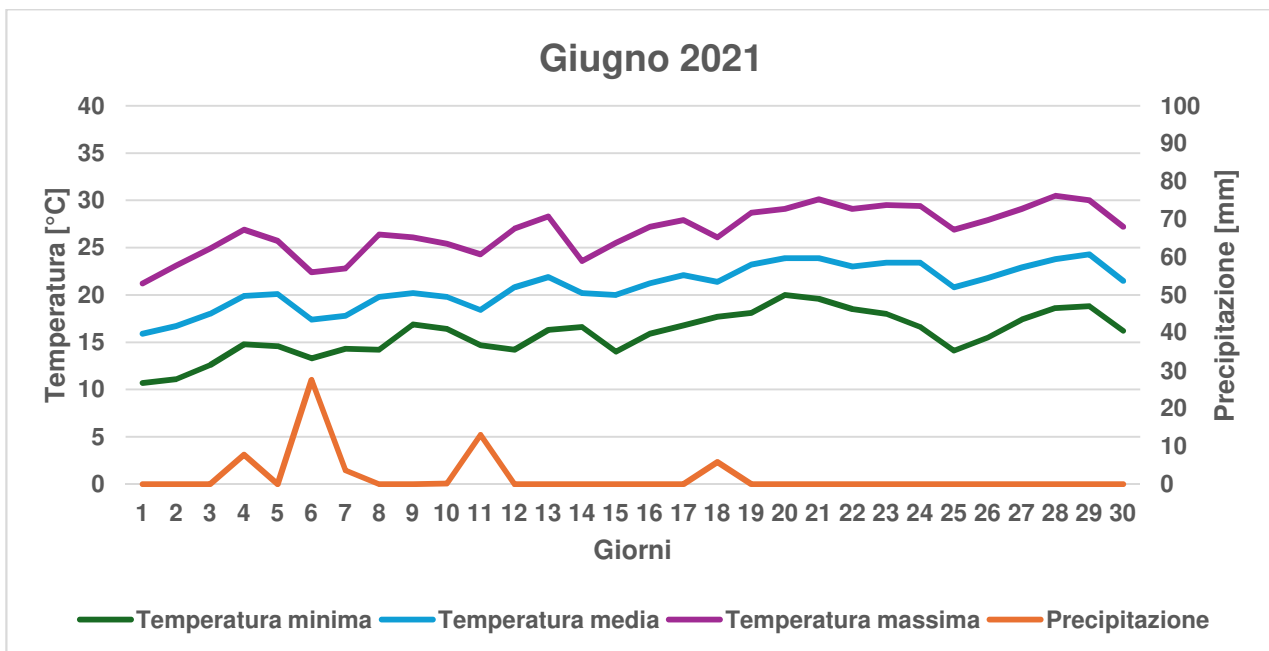


Fig.27 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di giugno 2021 per il sito di Monfenera.

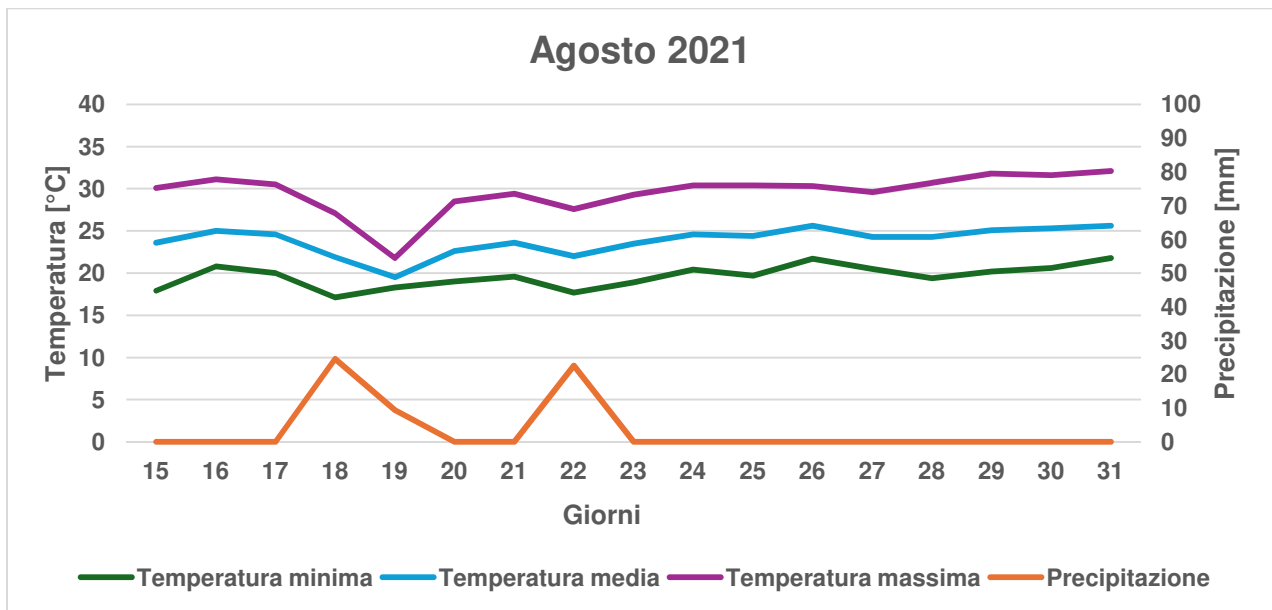


Fig.28 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di agosto 2021 per il sito di Monfenera.

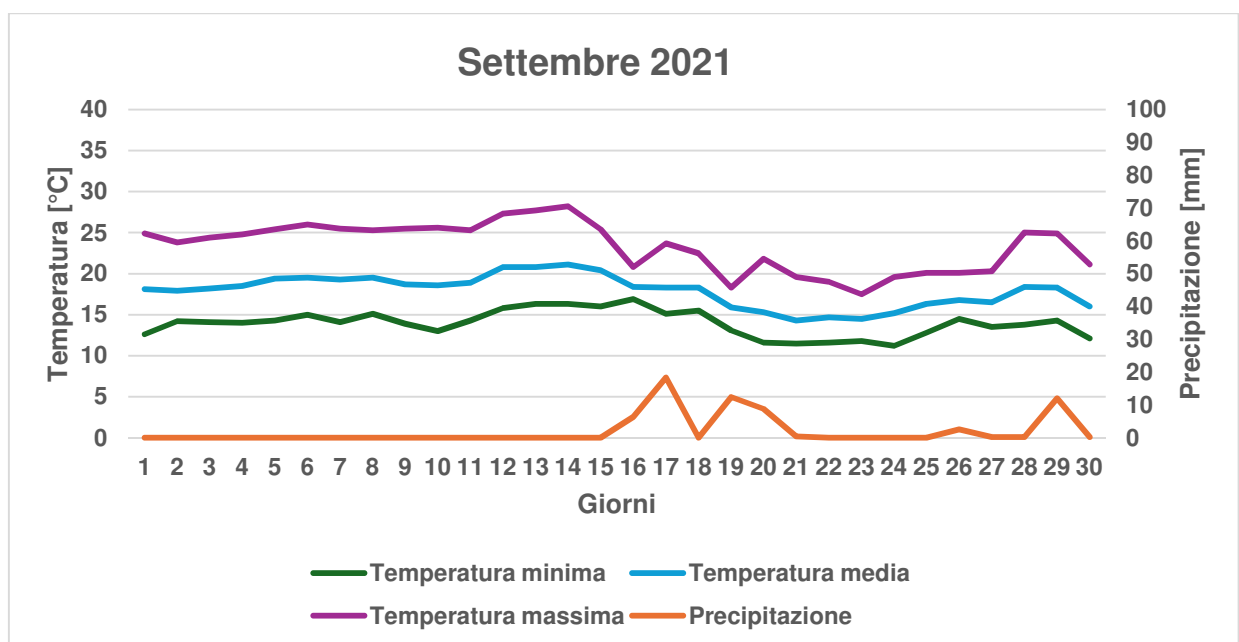


Fig.29 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di settembre 2021 per il sito di Monfenera.

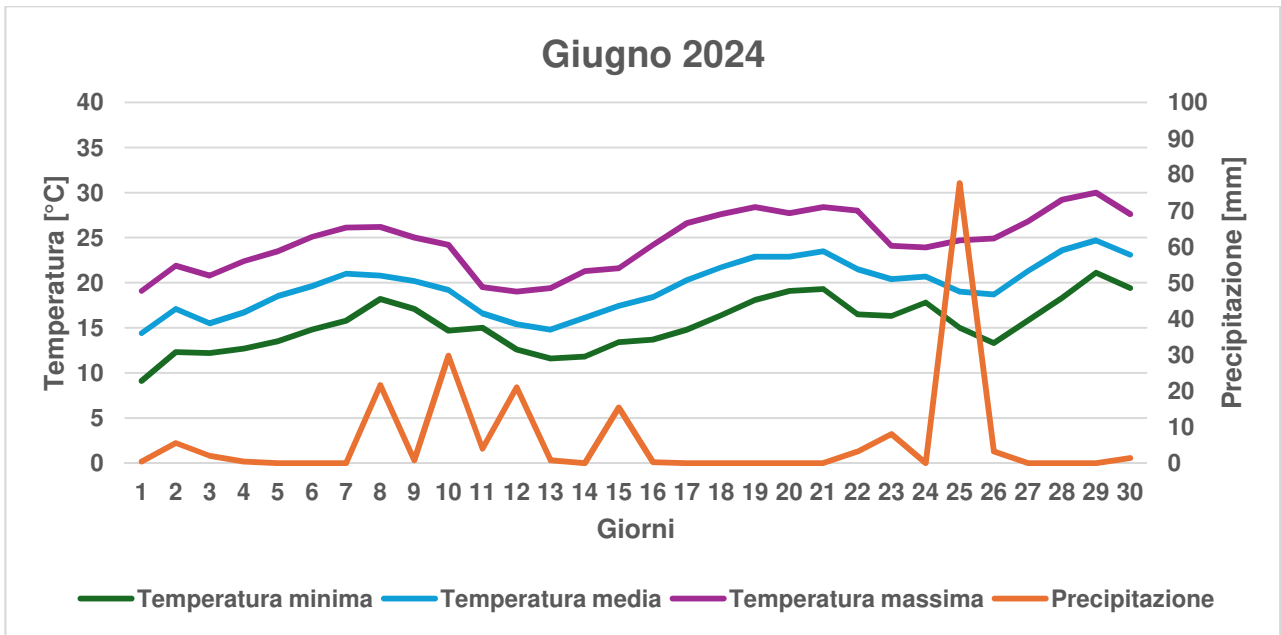


Fig.30 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di giugno 2024 per il sito di Monfenera.

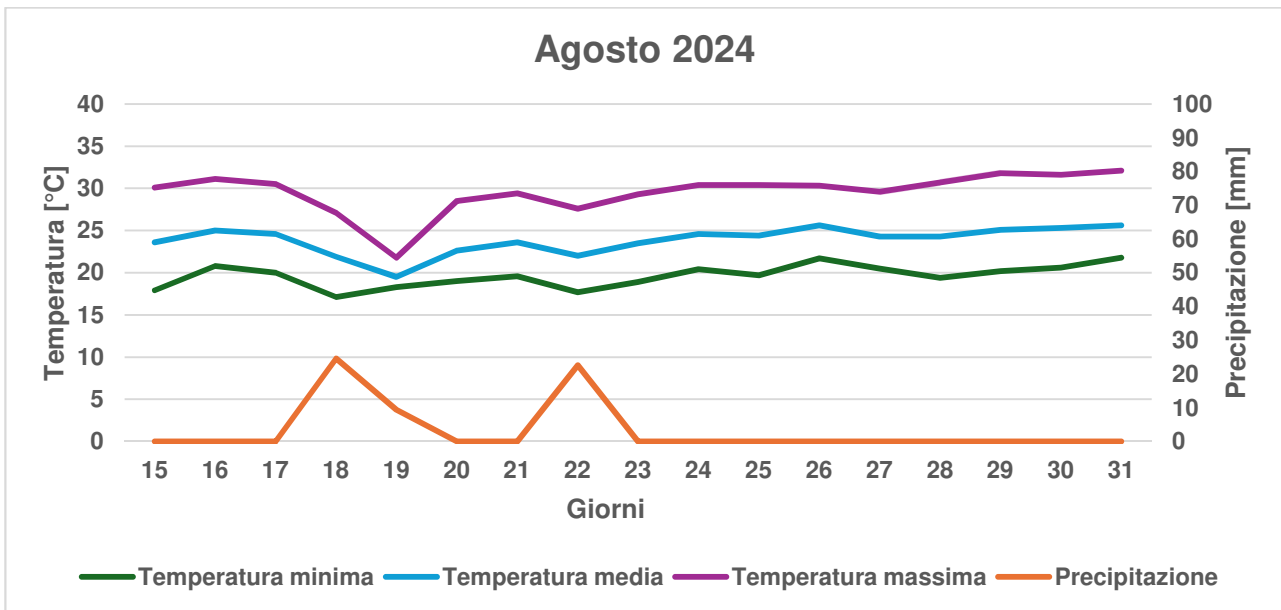


Fig.31 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di agosto 2024 per il sito di Monfenera.

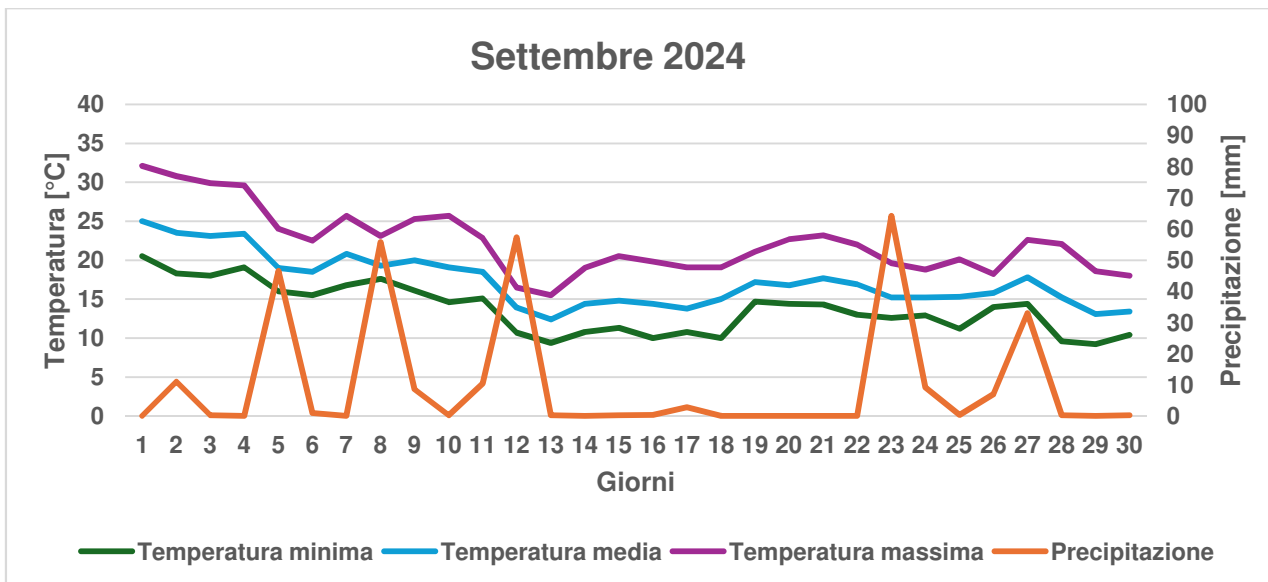


Fig.32 : Andamento delle condizioni climatiche di temperatura minima, media e massima e di precipitazione del mese di settembre 2024 per il sito di Monfenera.

3.5 Elaborazione dei dati di precipitazione di Monfenera



Fig.33: Precipitazione totale del mese di giugno dal 2010 al 2024 per Combai, con i dati raccolti dalla stazione metereologica di Cresapano del Grappa.

L'andamento delle precipitazioni di Combai e Monfenera rappresenta delle analogie.

In particolare, il mese di giugno 2016 a Monfenera è stato caratterizzato da una pluviometria moderata e distribuita in maniera regolare, con assenza di precipitazioni intense o eventi estremi. Tuttavia è ipotizzabile che esse abbiano influito il processo di impollinazione.

Tale ipotesi, tuttavia, non viene confermata nei dati relativi ad altri anni di osservazione. Ad esempio, nel giugno 2020 si è registrato il valore di precipitazione mensile più elevato nel periodo oggetto di esame (2010-2024). Nonostante ciò, la produttività registrata in quell'anno è risultata superiore al 2016, suggerendo che l'eccesso di pioggia, in quel caso, non abbia compromesso la fase di fioritura e dunque di impollinazione.

Analogamente, il mese di giugno 2024 è stato anch'esso piuttosto piovoso e corrisponde ad una produzione ridotta. Ma nell'anno 2024 l'associazione dei Marroni di Monfenera, ha riportato una grandinata il 1 luglio 2024 che ha causato un calo produttivo attribuito alla fase critica post-fioritura.

Tuttavia, considerando l'andamento generale degli anni osservati, non c'è coerenza tra la quantità di precipitazioni durante il periodo della fioritura e la produzione finale. Ciò suggerisce che altri fattori possano avere un ruolo più determinante nella variabilità produttiva annuale rispetto al solo parametro pluviometrico.

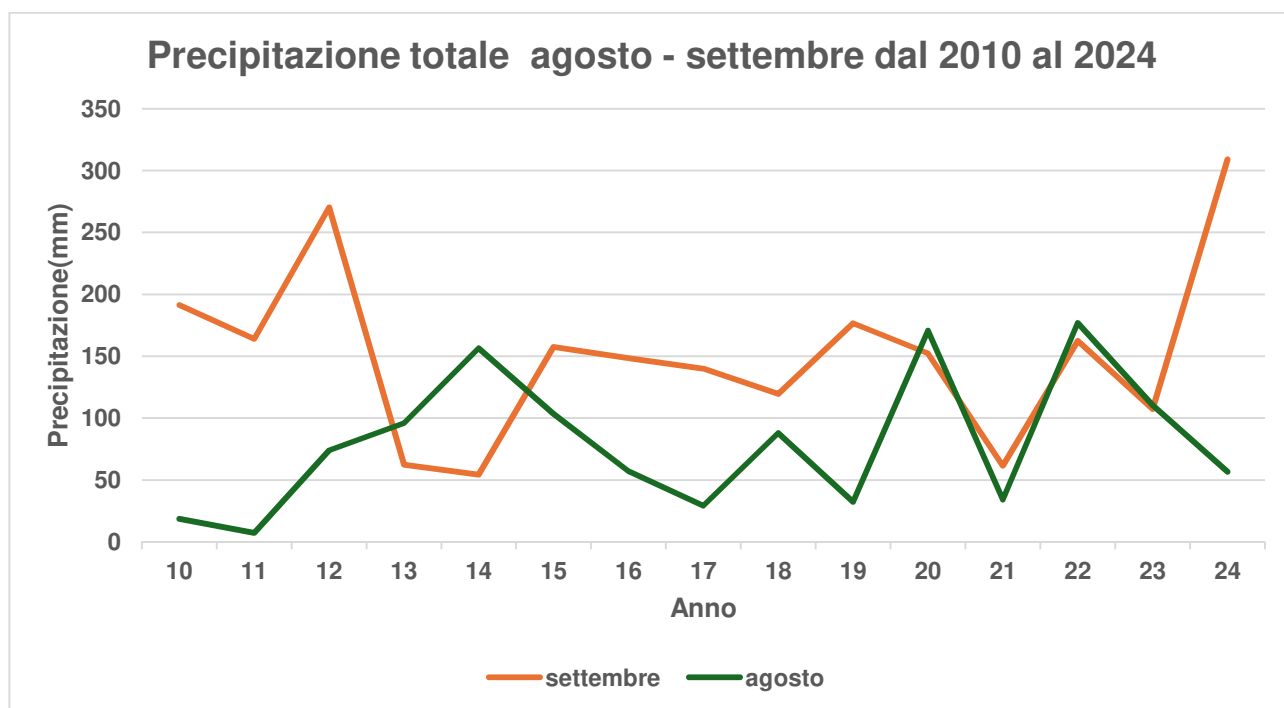


Fig.34: Precipitazione totale dei mesi di agosto e settembre dal 2010 al 2024 per Combai, con i dati raccolti dalla stazione meteorologica di Crespano del Grappa.

Le precipitazioni registrate nei mesi di agosto e settembre rivestono un ruolo significativo nel determinare il successo della fruttificazione del castagno, influenzando i processi di accrescimento e maturazione del frutto.

Come evidenziato nella figura, nel mese di agosto 2016 si nota una scarsità di precipitazioni, infatti per la gran parte del mese, non si sono verificati eventi piovosi.

Negli anni 2021 e 2024 si riscontra un andamento pluviometrico analogo dove il mese di agosto è stato caratterizzato da contenute precipitazioni. La mancanza di apporto idrico al suolo in questo periodo fenologico della pianta può influenzare la fruttificazione.

In particolare, i dati meteorologici analizzati evidenziano che nel mese di settembre delle annualità considerate, le precipitazioni sono risultate più abbondanti rispetto ai mesi estivi precedenti. Questo fenomeno è particolarmente evidente per l'anno 2024, in cui il mese di settembre è il più piovoso tra quelli presi in esame nel periodo di studio (2010–2024).

Tuttavia, queste piogge tardive risultano essere meno efficaci, poiché intervengono in una fase ormai avanzata del ciclo riproduttivo, quando i processi fondamentali legati allo sviluppo dei frutti sono già stati in gran parte determinati.

Tali osservazioni suggeriscono che la disponibilità idrica nel mese di agosto risulta più critica rispetto a quella di settembre, ai fini di una fruttificazione ottimale.

4 Discussione

L'introduzione del cinipide ha rappresentato gravi danni ai castagneti, infatti la capacità di questo imenottero di sincronizzare il proprio ciclo biologico con quello dell'albero ospite e l'assenza iniziale di antagonisti naturali in Europa in grado di contrastarlo (Aebi et al., 2006; Matosevic & Melika, 2013), hanno portato a cali nella produzione castanicola anche dell'80% in alcune aree del Piemonte (Bosio et al., 2009; EFSA, 2010).

L'analisi condotta nelle aree di Combai e Monfenera, dal 2010 al 2024, ha evidenziato l'impatto iniziale del cinipide sulla produzione di marroni e, allo stesso tempo, il ruolo decisivo della lotta biologica mediante l'introduzione dell'antagonista naturale *Torymus sinensis* nel determinare una significativa ripresa.

Il rilascio del parassitoide, a partire dal 2011 nelle Prealpi Trevigiane, si è dimostrato altamente efficace, già nel 2014–2015, il tasso di parassitizzazione delle galle ha superato il 75% (Colombari & Battisti, 2016), e nei siti di Combai e Monfenera si è registrata una marcata ripresa della produzione di marroni dal 2015.

I dati di produzione raccolti tra il 2010 e il 2024 mostrano infatti che il periodo di massimo impatto del cinipide (2010–2014) è seguito da una fase di ripresa produttiva, con il 2015 che rappresenta il primo anno di raccolto buono in entrambe le aree di studio.

Tuttavia, negli anni successivi al 2015 sia a Combai sia a Monfenera si riscontrano marcate fluttuazioni nell'andamento produttivo. Queste fluttuazioni non sono più attribuibili alla pressione del cinipide, ormai sotto controllo, ma si sono ricercate le motivazioni nelle condizioni climatiche, in particolare la piovosità in fioritura che può ostacolare l'impollinazione e la siccità che ostacola la fruttificazione, ma i risultati ottenuti non sono soddisfacenti.

Tuttavia, lo studio dei dati degli ultimi anni sono difficili da spiegare. Si può affermare che le precipitazioni del mese di giugno degli anni 2016, 2021 e 2024 non sono state dannose per l'impollinazione. In particolare nel mese di agosto 2021 si è verificata una scarsissima precipitazione e questo fattore potrebbe aver influito sulla fruttificazione, ma per gli altri anni oggetto di studio, la precipitazione non rappresenta un problema.

Ci sono state delle grandinate (ad esempio l'1 luglio 2024 a Monfenera il 27 aprile del 2019 a Combai e il 19 maggio del 2021 sempre a Combai), nonostante ciò, questi eventi non sono sufficienti per spiegare il calo della produttività.

A questo si aggiunge un'ulteriore criticità, ovvero la progressiva diffusione del fungo *Gnomoniopsis castaneae*, agente del marciume bruno dei frutti, che negli ultimi anni ha interessato entrambe le aree oggetto di studio, anche se ancora non ha rappresentato particolari problemi per la produzione.

Tuttavia l'analisi delle precipitazioni non ha riportato risultati soddisfacenti e le cause devono essere ricercate nelle caratteristiche fenologiche del castagno, infatti, osservando gli andamenti delle produzioni sia di Combai sia di Monfenera, si riscontrano marcate fluttuazioni di annate con un buon raccolto seguite da annate con forti cali produttivi.

E' stata condotta un'analisi statistica con la correlazione di Pearson ed i risultati ottenuti non hanno indicato alcuna correlazione tra le condizioni climatiche e l'andamento produttivo.

Sono stati forniti dei dati della produzione dell'appennino bolognese, riportati qui di seguito:

Anni	Superfici coltivate - ha			PLV - quintali		Valore PLV	
	Consortili	Non consortili	TOTALE	Media per ha	TOTALE	Prezzo medio al quintale	Totale EURO
2010	240	320	570	8,5	4845	2,95	14.293
2011	240	320	570	2,2	1254	3,83	4.803
2012	240	320	570	1	570	478	272.460
2013	240	320	570	4,5	2565	4,19	10.747
2014	240	320	570	1,2	684	6,17	4.220
2015	240	320	570	5,5	3135	476	1.492.260
2016	240	320	570	6,5	3705	549	2.034.045
2017	240	320	570	2,5	1425	414	589.950
2018	270	300	570	6,7	3819	472	1.802.568
2019	270	300	570	2,2	1254	599	751.146
2020	270	300	570	7	3990	539	2.150.610
2021	270	300	570	4,2	2394	540	1.292.760
2022	290	280	570	8	4560	480	2.188.800
2023	290	280	570	4,5	2565	600	1.539.000
2024	290	280	570	9	5130	530	2.718.900

Fig.35: Dati della produzione di Marroni dell'Appennino Bolognese dal 2010 al 2024.

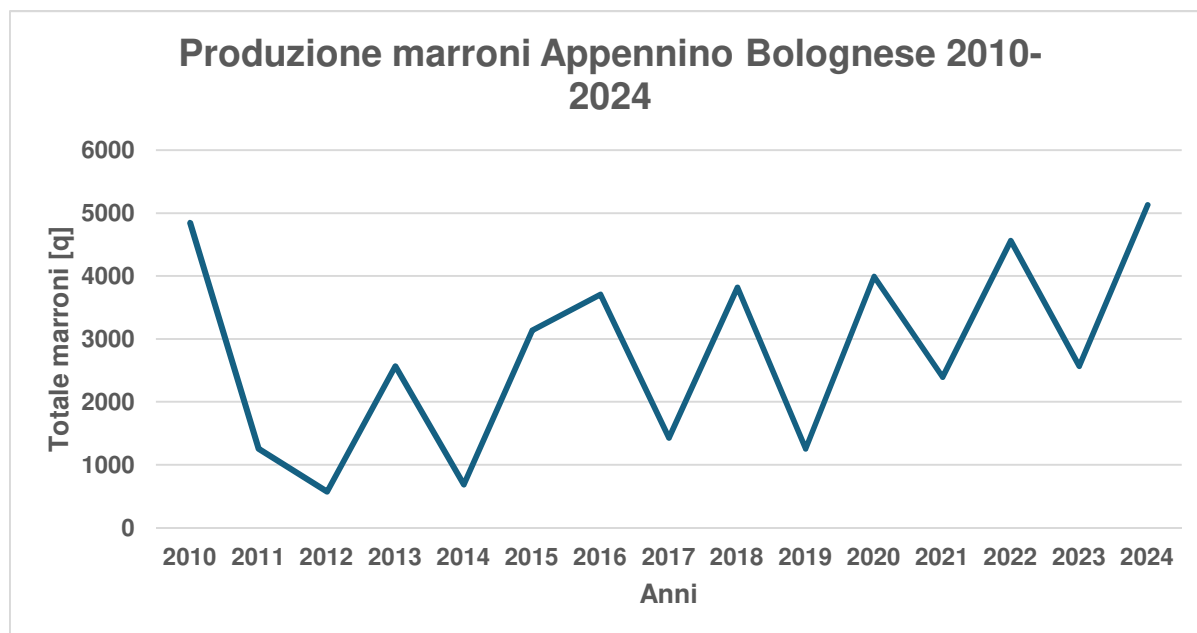


Fig.36: Andamento della produzione di marroni nell'Appennino Bolognese dal 2010 al 2024.

Confrontando l'andamento produttivo di Combai e Monfenera con quanto accade anche in altre zone castanicole italiane, come l'Appennino Bolognese, emerge un quadro simile, ovvero forti fluttuazioni annuali, non sempre spiegabili solo con il clima, ma spesso attribuibili alla stessa fisiologia della pianta.

In particolare, nella Figura 36 le fluttuazioni tra l'annata di abbondante produzione e quella successiva, caratterizzata da un calo produttivo, risultano maggiormente evidenti rispetto a quanto osservabile negli andamenti produttivi di Combai e Monfenera (Figure 7 e 10).

I castagni sono soggetti a un'elevata alternanza di produzione, con cicli biennali o irregolari che alternano annate ad alta resa a raccolti inferiori, o addirittura nulli (Christisen e Kearby, 1984).

Questo si può notare anche nel caso in cui vengano forniti acqua e fertilizzanti: i frutteti che producono raccolti buoni un anno, sono seguiti da raccolti scarsi l'anno successivo (Rutter et. al 1991).

Tale alternanza rappresenta un limite all'affermazione commerciale dei marroni, la cui produzione, a differenza di altre colture agricole, non è costante o prevedibile.

A causa di una fruttificazione irregolare del castagno, la presenza dei marroni sul mercato non può essere garantita o assicurata ogni anno come succede invece per altre colture agricole.

Le oscillazioni produttive nei diversi anni, determinate dall'insieme di fattori climatici, fitopatologici e fisiologici, compromettono la stabilità dell'offerta del frutto e costituiscono un ostacolo significativo alla sua piena affermazione nel mercato agroalimentare. A differenza delle colture agricole gestite con sistemi intensivi con lo scopo di massimizzare la produttività e la resa, il castagno rimane una specie forestale, con cicli di produzione legati alla sua fenologia naturale.

E' opportuno rispettare il suo ciclo biologico, valorizzando anche i suoi ruoli ambientali e paesaggistici oltre a quello produttivo e non trattare in modo intensivo questa coltura con lo scopo di regolarizzarne la produttività.

Conclusioni

Lo studio ha evidenziato l'importanza della lotta biologica contro *Dryocosmus kuriphilus*, attraverso l'introduzione dell'antagonista naturale *Torymus sineasis*, un parassitoide coevoluto con il fitofago, introdotto nelle aree di studio per contenere efficacemente l'infestazione.

Lo studio dell'andamento produttivo delle due zone ha evidenziato l'importanza della lotta biologica nel ripristino della produttività castanicola. In particolare, a partire dall'introduzione del parassitoide nel 2011, è stato registrato un primo anno di raccolto soddisfacente già nel 2015, evidenziando una significativa ripresa in tempi relativamente brevi

Tuttavia, una ricerca più approfondita delle fluttuazioni produttive successive all'infestazione ha permesso di evidenziare che gli anni caratterizzati da una bassa resa non si possono attribuire, se non in casi limitati, a fattori climatici avversi come un'eccessiva piovosità durante la fioritura, che può ostacolare l'impollinazione o precipitazioni scarse nel mese di agosto, che influenzano negativamente la fruttificazione. Piuttosto, tali fluttuazioni sembrano essere riconducibili alla fenologia del castagno, alternando annate produttive, con annate poco produttive.

Alla luce di questi risultati, appare fondamentale rispettare il ciclo biologico naturale della pianta, valorizzandone non solo l'aspetto produttivo, ma anche il ruolo ecologico e paesaggistico..

E' importante rispettare il ciclo biologico del castagno e non incorrere in futuro in metodi intensivi per aumentarne la produttività come viene fatto invece per altre culture agricole

Bibliografia

- Aebi, A., Schönrogge, K., Melika, G., Quacchia, A., Alma, A., & Stone, G. N. (2006). **Parasitoid recruitment to the globally invasive chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus***. *Biological Invasions*, 8(3), 457–468.
- Battisti, A., Colombari, F., Quacchia, A., & Alma, A. (2013). **Success of classical biological control of the chestnut gall wasp in Italy**. *IOBC/WPRS Bulletin*, 90, 103–108.
- Bosio, G., Quacchia, A., Giordano, R., & Alma, A. (2009). **Ruolo dell'insetto cinipide del castagno nel deperimento dei castagneti**. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 2, 471–476.
- Bounous, G. (2002). *Il castagno: coltura, ambiente, economia*. Edagricole.
- Buffington, M. L., & Morita, S. I. (2009). **A re-description of *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu (Hymenoptera: Cynipidae)**. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 111(3), 530–537.
- Christisen, D. M., & Kearby, W. H. (1984). **Effects of biennial bearing in wild trees**. *University of Missouri Press*.
- Colombari, F., & Battisti, A. (2016a). **Il controllo biologico del cinipide galligeno del castagno in Veneto**. *L'informatore Agrario*, 18, 56–61.
- Colombari, F., & Battisti, A. (2016b). **La gestione sostenibile del cinipide galligeno: esperienze e prospettive**. *Atti del Convegno Regionale sulla castanicoltura*, Regione Veneto.
- Dar, G. H., & Rai, M. K. (2015). **Plant Pathology and Fungal Biology: Recent Trends**. *New India Publishing Agency*.
- Dennert, F. G., Shuttleworth, L. A., & Guest, D. I. (2015). **Latent infection of *Gnomoniopsis castaneae* in chestnut fruit**. *Australasian Plant Pathology*, 44, 421–429.
- Dixon, R. W., Bruns, H. A., & Coleman, W. L. (1986). **Impact of gall wasps on the physiology of host trees**. *Forest Ecology and Management*, 17(1–3), 179–186.
- EFSA (European Food Safety Authority), Panel on Plant Health. (2010). **Pest risk analysis for *Dryocosmus kuriphilus***. *EFSA Journal*, 8(6), 1619.
- EPPO Bulletin. (2005). ***Dryocosmus kuriphilus*: a new invasive pest of chestnut in Europe**. *EPPO Bulletin*, 35(3), 489–492.

ERSAF (Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste). (2010). *La difesa del castagno in Lombardia*.

FAO/STAT. (2024). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. <https://www.fao.org/faostat>

Ferracini, C., Ferrari, E., Saladini, M. A., Pontini, M., Corradini, E., & Alma, A. (2015a). **Classical biological control of *Dryocosmus kuriphilus*: effectiveness and side effects of *Torymus sinensis***. *Agricultural and Forest Entomology*, 17(3), 257–266.

Ferracini, C., et al. (2015b). **Performance of *Torymus sinensis* in different environments**. *BioControl*, 60(4), 569–577.

Fonti, P., & Macchioni, N. (2003). **Ring shake and growth stress in chestnut: causes and effects**. *Dendrochronologia*, 21(1), 67–75.

Gatti, E., Maresi, G., & Vettraino, A. (2024). *Vademecum per la corretta gestione di *Gnomoniopsis castaneae* in post-raccolta*. CREA, Italia.

Gehring, M., Kast, C., & Rigling, D. (2018). ***Dryocosmus kuriphilus* and *Gnomoniopsis castaneae*: interaction and impact**. *Forest Pathology*, 48(1), e12369.

Gehring, M., et al. (2020). **Recovery of chestnut production following *Torymus sinensis* establishment**. *Biological Control*, 150, 104342.

Giannini, R., et al. (2021). *Storia e prospettive della castanicoltura italiana*. Accademia Italiana di Scienze Forestali.

Gilioli, G., Pasquali, S., & Ciampitti, M. (2013). **Phenological models for the chestnut gall wasp**. *Bulletin of Insectology*, 66(2), 273–280.

Graziosi, I., & Rieske, L. K. (2013). **Potential for biological control of the Asian chestnut gall wasp in North America**. *Biological Control*, 65(2), 234–240.

Graziosi, I., & Santi, F. (2008). **Biology of the chestnut gall wasp in Italy**. *Bulletin of Insectology*, 61(2), 343–348.

- Ibrahim, S., Linaldeddu, B. T., & Scanu, B. (2017). **New host records of *Gnomoniopsis castaneae***. *Forest Pathology*, 47(4), e12321.
- Ipekdal, K., Quacchia, A., & Alma, A. (2022). ***Dryocosmus kuriphilus*: a global invader**. *Journal of Insect Science*, 22(1), 1–12.
- Kato, K., & Hijii, N. (1997). **Effect of galling by *Dryocosmus kuriphilus* on growth of chestnut**. *Ecological Research*, 12(2), 199–206.
- Lewis, R., et al. (2017). **Endophytic colonization and pathogenic potential of *Gnomoniopsis castaneae***. *Plant Disease*, 101(4), 645–652.
- Linaldeddu, B. T., Deidda, A., Franceschini, A., & Scanu, B. (2016). **Emerging fungal diseases of forest and ornamental trees in Europe**. *Forest Pathology*, 46(1), 85–97.
- Lione, G., Giordano, L., Gonthier, P., & Vannini, A. (2016). ***Gnomoniopsis castaneae*: epidemiology and ecology**. *Forest Pathology*, 46(5), 447–456.
- Magro, P., et al. (2010). **Necrosi fogliare da *Gnomoniopsis* su castagno**. *Informatore Fitopatologico*, 60(10), 41–45.
- Maresi, G., Oliveira Longa, C. M., & Turchetti, T. (2013). **First report of *Gnomoniopsis castaneae* on chestnut in Italy**. *Plant Disease*, 97(8), 1118
- .
- Matosevic, D., & Melika, G. (2013). **Recruitment of native parasitoids to a new invasive host**. *Bulletin of Insectology*, 66(2), 231–238.
- Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MIPAAF). (2010). *Protocollo di attuazione per la lotta al cinipide del castagno*.
- Nohara, S. (1956). **Studies on *Dryocosmus kuriphilus***. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology*, 1(1), 1–7.
- Pasche, S., Calmin, G., & Maresi, G. (2016). **Detection of *G. castaneae* in vegetative organs**. *Forest Pathology*, 46(2), 136–144.
- Quacchia, A., Moriya, S., Bosio, G., Scapin, I., & Alma, A. (2008). **Rilasci di *Torymus sinensis* per il controllo biologico del cinipide del castagno**. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1, 405–412.

- Quacchia, A., et al. (2014). **Host specificity and ecological impact of *Torymus sinensis***. *BioControl*, 59(4), 345–356.
- Regione Veneto – Unità Periferica per i Servizi Fitosanitari. (2010). *Piano regionale per il controllo del cinipide del castagno*.
- Rieske, L. K. (2007). **Host suitability of North American chestnut species to *Dryocosmus kuriphilus***. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 125(3), 237–247.
- Rutter, P. A., Miller, G., & Payne, J. A. (1991). **Chestnut production systems: physiology and yield variability**. *Proceedings of the Northern Nut Growers Association*, 82, 50–61.
- Santi, F., & Maini, S. (2011). **Native parasitoids in response to the gall wasp invasion**. *Redia*, 94, 87–91.
- Shuttleworth, L. A., Guest, D. I. (2013). **Emerging pathogens of chestnut**. *Australasian Plant Pathology*, 42(5), 473–479.
- Shuttleworth, L. A., Guest, D. I. (2017). **Latent infection of chestnuts by *Gnomoniopsis castaneae***. *Plant Pathology*, 66(6), 970–980.
- Stone, G. N., Schönrogge, K., Atkinson, R. J., Bellido, D., & Pujade-Villar, J. (2002). **Host shifts and diversification in gallwasps**. *Molecular Ecology*, 11(8), 1793–1809.
- Turchetti, T., Maresi, G., Gonthier, P., & Robin, C. (2010). **Il cancro corticale del castagno**. *Informatore Fitopatologico*, 60(2), 9–15.
- Ugolini, F., Mariotti, B., Tognetti, R., & Raschi, A. (2014). **Effect of gall formation on gas exchange**. *Acta Horticulturae*, 1043, 209–214.
- Vannini, A., Lione, G., Giordano, L., & Gonthier, P. (2018). **Emerging fungal diseases in Europe**. *Forest Pathology*, 48(1), e12384.
- Vettraino, A. M., et al. (2019). ***Gnomoniopsis castaneae* in European chestnut fruit rot**. *Forest Pathology*, 49(6), e12536.
- Vinale, F., et al. (2014). **Metabolites of *G. castaneae* and implications for chestnut quality**. *Journal of Plant Pathology*, 96(2), 401–408.

Visentin, I., Gentile, S., Valentino, D., Cardinale, F., & Giordano, L. (2012). **Gnomoniopsis castanea, a new species causing chestnut rot in Italy.** *Mycologia*, 104(4), 996–1005.

Zhang, Y. (2009). **Biological control of *Dryocosmus kuriphilus* in China.** *Chinese Journal of Biological Control*, 25(1), 78–82.

<https://www.qualigeo.eu/prodotto-qualigeo/marrone-di-combai-igp/>

<https://marcadoc.com/it/prodotti-tipici/marrone-di-combai>

<https://www.agricombai.it/il-marrone-di-combai-igp/>

<https://marronidelmonfenera.it/marroni/>

<https://www.qualigeo.eu/prodotto-qualigeo/marroni-del-monfenera-igp/>

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia più sincera gratitudine al Dottor Maresi per la sua costante disponibilità, il supporto scientifico e l'attenta supervisione durante tutte le fasi di elaborazione di questa tesi. Il suo prezioso aiuto, sia nella strutturazione del lavoro che nell'analisi dei dati, è stato fondamentale per la riuscita di questo progetto.

Un sentito ringraziamento va anche al Professor Battisti per la disponibilità.

Ringrazio Gianni Pagos per aver messo a disposizione i dati relativi alla zona di Combai e Lucio Bresolin per i dati forniti sull'area di Monfenera. La loro collaborazione ha rappresentato un contributo essenziale per la riuscita dell'analisi territoriale.

Un grazie speciale va anche a tutti coloro che hanno contribuito alla raccolta e alla condivisione dei dati bolognesi, permettendomi di effettuare un confronto utile e significativo con un'altra realtà produttiva.

Ringrazio profondamente i miei genitori per il loro costante supporto, la pazienza e l'incoraggiamento dimostrati durante tutto il mio percorso universitario. Un grazie di cuore anche alla nonna Loredana, a mio zio Sandro e a mia santola Antonella, per la loro vicinanza e il loro affetto e supporto.

Infine, un ringraziamento speciale a Mario, per avermi sempre sostenuta, motivata e incoraggiata, anche nei momenti più impegnativi.
