



A.D. MDLXII

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SASSARI
FACOLTÀ DI AGRARIA

DOTTORATO DI RICERCA

Monitoraggio e Controllo degli Ecosistemi Forestali in Ambiente Mediterraneo

XX Ciclo – Triennio 2005-2007

**STUDI SULLA STRUTTURA DELLE POPOLAZIONI DI *CRYPHONECTRIA*
PARASITICA DEI CASTAGNETI DEL CENTRO SARDEGNA FINALIZZATI
ALLA SELEZIONE DI CEPPI IPOVIRULENTI DA UTILIZZARE
NELLA LOTTA BIOLOGICA**

Dottorando:

Dr. Stefano Nieddu

Relatore: Prof. Antonio Franceschini

Correlatore: Dr. Benedetto T. Linaldeddu

Coordinatore: Prof. Antonio Franceschini

Anno Accademico 2007-2008

Indice

1	INTRODUZIONE	Pag.	4
2	SISTEMATICA, CENNI STORICI, E DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA	”	7
3	IL CASTAGNETO DA FRUTTO	”	10
4	IL BOSCO CEDUO	”	15
5	LA CASTANICOLTURA IN ITALIA	”	18
6	LA CASTANICOLTURA IN SARDEGNA	”	24
	DATI STORICI SULLE SUPERFICI CASTANICOLE	”	25
	DISTRIBUZIONE DEI CASTAGNETI	”	27
	LE CULTIVAR SARDE DI CASTAGNO	”	28
	IL COMPENSORIO CASTANICOLO BARBAGIA-MANDROLISAI	”	29
	Geologia	”	30
	Pedologia	”	30
	Clima	”	31
	Aspetti colturali e produttivi	”	33
7	LE MALATTIE DEL CASTAGNO	”	35
	MALATTIE DELLE RADICI E DEL COLLETO	”	35
	Marciume radicale fibroso	”	35
	Marciume radicale lanoso	”	35
	Mal dell'inchiostro	”	36
	MALATTIE DEL FUSTO E DELLE BRANCHE	”	39
	Cancro della corteccia	”	39
	Carie del legno	”	41
	MALATTIE DELLE FOGLIE	”	42
	Fersa del castagno	”	42
	Mal bianco	”	43
	MALATTIE DEL FRUTTO	”	44
	Marciume nero delle castagne	”	44
	Mummificazione delle castagne	”	44

8	SCOPO DELLA RICERCA	Pag.	45
9	MATERIALI E METODI	”	49
	SITI D'INDAGINE	”	49
	VALUTAZIONE DELL'INCIDENZA DELLA MALATTIA	”	51
	PRELIEVO DI CAMPIONI E ISOLAMENTO DEL PATOGENO	”	52
	DIVERSITÀ DELLE POPOLAZIONI DEL PATOGENO	”	53
	Subpopolazioni sarde	”	53
	Confronto con i ceppi tester	”	54
	PROVE DI CONVERSIONE DEGLI ISOLATI VIRULENTI	”	54
	SAGGI FISIOLGICI	”	55
	VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ RIPRODUTTIVA DEI CEPPI IPOVIRULENTI	”	56
	SAGGI DI PATOGENICITÀ	”	56
	Su astoni	”	56
	Su polloni	”	57
	ANALISI STATISTICA	”	58
10	RISULTATI E DISCUSSIONE	”	59
	VALUTAZIONE DELL'INCIDENZA DELLA MALATTIA	”	59
	ISOLAMENTO DEL PATOGENO	”	61
	DIVERSITÀ DELLE POPOLAZIONI	”	63
	Subpopolazioni sarde	”	63
	Confronto con i ceppi tester	”	65
	PROVE DI CONVERSIONE	”	66
	BAVENDAMM TEST	”	66
	VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ RIPRODUTTIVA DEI CEPPI IPOVIRULENTI	”	68
	SAGGI DI PATOGENICITÀ	”	69
	Su astoni	”	69
	Su polloni	”	71
11	CONCLUSIONI	”	73
12	RIASSUNTO	”	76
13	ABSTRACT	”	78
14	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	”	79

INTRODUZIONE

Il castagno caratterizza il paesaggio collinare e montano di molte regioni d'Italia dove riveste la duplice attitudine di coltura agricola e forestale e dove svolge molteplici funzioni di notevole importanza sia per la difesa idrogeologica dei suoli, sia sotto l'aspetto paesaggistico, ricreativo, socioculturale e di salvaguardia della biodiversità (Bounous, 1998).

In passato questa specie ha sempre rappresentato una risorsa fondamentale per l'alimentazione delle popolazioni montane: era infatti chiamata "albero del pane" perché, proprio come per il frumento, i suoi frutti erano destinati all'autosostentamento alimentare delle famiglie.

In epoche più recenti, la castanicoltura ha continuato a rappresentare il perno dell'economia di molte zone montane, ma ha subito una sensibile fase di regressione. Ciò soprattutto in seguito alla graduale integrazione della società rurale nel tessuto urbano e industriale con progressivo abbandono delle campagne, ma anche a causa della diffusione di gravi malattie parassitarie che hanno ridotto sensibilmente la produttività e la consistenza di molti popolamenti, nonché per la mancanza di adeguate azioni politiche a sostegno della castanicoltura e per incentivare il recupero dei territori castanicoli degradati (Bounous, 1998).

Tuttavia, negli ultimi decenni si è assistito ad un rinnovato interesse verso questa coltura con il rifiorire di numerose iniziative tese a conoscere e individuare gli elementi costitutivi delle diverse realtà castanicole al fine di ottimizzarne le valenze e le potenzialità turistiche e ricreative. Esse mirano a considerare l'ecosistema castagneto inserito in una visione integrata della montagna e della collina dove il reddito complessivo è costituito dalle pluralità agro-silvo-pastorali, turistiche, di artigianato e di servizi. A ciò si è aggiunta una sempre crescente domanda del mercato di castagne e di marroni che ha incentivato il miglioramento della coltura soprattutto in quelle regioni come la Campania, il Lazio, il Piemonte e la Toscana tradizionalmente vocate alla coltivazione dei castagneti da frutto.

Attualmente gran parte della produzione di castagne è destinata al mercato del prodotto fresco ed essiccato (80%), al cibo per il bestiame (5-10%) soprattutto suino (la cui carne assume caratteristiche superiori quando viene alimentato con castagne) e all'industria dolciaria (10-15%) (Pirazzoli, 1991).

Ancora limitato, rispetto al passato, è invece l'uso del castagno come legname da costruzione e per la produzione di tannino. Attualmente dal legno di castagno si ricava una grande varietà di assortimenti di dimensioni sia grandi (tronchi da sega, travi, pali telefonici), sia medie (pali da recinzione, pali per usi strutturali) e sia piccole (tondelli da triturazione o da tannino, pali piccoli per colture agrarie e vivai).

Comunque, nella maggior parte delle regioni italiane i castagneti potenzialmente produttivi continuano a vegetare in condizioni precarie, sia per la mancanza di cure adeguate, sia perché spesso versano in stato di completo abbandono. Essi necessitano di appropriati interventi di recupero che di volta in volta potranno essere definiti in funzione dello stato fitosanitario, dell'indirizzo produttivo e della situazione orografica e stagionale (Bernetti, 1995). Per esempio, per quei castagneti situati in condizioni ambientali sfavorevoli si può ipotizzare la conversione dei soprassuoli oppure, a seconda dei casi, la destinazione a fustaia da legno o la ceduzione per soddisfare la crescente domanda dell'industria del legno che oggi non trova nel nostro Paese un'offerta sufficiente di assortimenti mercantili (Bounous, 2002). Invece, per i castagneti degradati situati in aree con parametri climatici, pedologici, idrici e nutrizionali soddisfacenti, assumono rilevanza soprattutto gli interventi volti a creare le migliori condizioni vegetative delle piante e, soprattutto, a prevenire e limitare i danni causati dalle avversità parassitarie.

Una delle malattie più dannose è senza dubbio il "cancro della corteccia" causato da *Cryphonectria parasitica* (Murrill) Barr, ampiamente diffusa in tutti i Paesi castanicoli, Italia compresa, e responsabile di danni tanto gravi che in molte zone ha portato all'abbandono dei castagneti.

In Sardegna, il “cancro della corteccia” è presente da tempo in tutte le aree castanicole dove ha assunto ormai caratteri endemici e cronici tanto da rendere impossibile la sua eradicazione. Di conseguenza, le strategie di difesa contro questa malattia, pur consentendo solo di attenuarne i danni, rappresentano comunque la premessa indispensabile per la costituzione o ricostituzione dei castagneti.

Tra le diverse misure fitoiatriche, senza dubbio quelle più efficaci si basano sulla possibilità di sfruttare la diffusione di ceppi ipovirulenti del patogeno, cioè isolati di *C. parasitica* tollerati dalle piante per via della loro minore patogenicità che sono capaci di trasmettere ai ceppi virulenti. Ciò tuttavia si realizza solo se tra i due individui, ipovirulento e virulento, esiste una compatibilità vegetativa su base genetica che permette loro di stabilire anastomosi ifali e di scambiarsi il materiale citoplasmatico. Pertanto, l'efficacia dell'ipovirulenza come mezzo di lotta biologica contro questa malattia dipende principalmente dal numero di gruppi di compatibilità vegetativa esistenti nelle popolazioni del patogeno infeudate nelle diverse aree castanicole: tanto minore sarà il loro numero, tanto maggiori saranno le possibilità di conversione dei ceppi virulenti del patogeno e, di conseguenza, le possibilità di risanamento dei castagneti.

SISTEMATICA, CENNI STORICI E DISTRIBUZIONE GEOGRAFICA

Il castagno appartiene alla famiglia delle *Fagaceae* o *Cupuliferae* composta da sei generi (*Castanea* Miller, *Castanopsis*, *Fagus*, *Lithocarpus*, *Nothofagus* e *Quercus* L.) e circa mille specie.

Il genere *Castanea* secondo alcuni autori annovera 12 specie mentre per altri 13. Fonti basate su studi palinologici attribuiscono la sua comparsa nell'era Terziaria (oltre 60 milioni di anni fa) (Bellini, 1995a), mentre altre la riportano alla fine del Miocene (15 milioni di anni fa), durante il periodo di dispersione delle *Cupuliferae* (Bounous, 2002).

Per quanto riguarda l'Europa i dati bibliografici sono discordanti: alcuni riferiscono la presenza del castagno già nel periodo Miocenico (circa 23 milioni di anni fa), altri basati sul ritrovamento di castagne e foglie fossili molto simili a quelle dell'attuale castagno europeo daterebbero la sua comparsa a non più di 8,5 milioni di anni fa (Breisch, 1995).

Anche la derivazione europea del castagno è ancora in dubbio. L'ipotesi più accreditata fa risalire il suo centro di origine nell'Asia Minore. Da questo punto il genere *Castanea* si sarebbe diffuso in tutti i continenti generando specie differenti. Le più importanti per diffusione e importanza si sono affermate in tre grandi areali: in quello europeo *C. sativa* Miller, in quello americano *C. dentata* Borkh e nell'Estremo Oriente *C. mollissima* Blume e *C. crenata* Sieb. et Zucc.

Sotto il profilo tassonomico, tuttora in revisione, il genere *Castanea* viene suddiviso in tre sezioni: *Eucastanon*, *Balanocastanon* e *Hypocastanon* (Johnson, 1988). L'ampio areale in cui è diffuso il genere ne determina un'elevata variabilità legata all'esigenza di adattamento alle differenti condizioni ambientali. Le diverse specie originatesi manifestano tratti morfologici ed ecologici ben differenziati per quanto riguarda l'habitus vegetativo, le dimensioni, le caratteristiche del frutto e del legno, l'adattabilità e la resistenza ai fattori biotici ed abiotici.

L'areale complessivo del castagno europeo (Fig. 1), senza distinguere la porzione colturale da quella di indigenato, gravita sulla sponda sud e

sud-est del Mar Nero e su tutto l'arco settentrionale del bacino del Mediterraneo (Bernetti, 1995).



Figura 1. Distribuzione del castagno europeo (da: Bernetti, 1995).

Il castagno è una specie eliofila, moderatamente termofila che predilige suoli profondi, leggeri, con pH compreso tra 4 e 6,5. Le esigenze termiche la includono tra le specie della fascia basale con optimum di sviluppo corrispondente a valori termici propri di stazioni sopramediterranee (temperatura media annua compresa tra 8 e 10 °C). L'albero è un mesofanerofita caducifoglio a portamento eretto, che può raggiungere e superare i 30 metri di altezza e i 400 anni di vita. Le dimensioni del fusto possono raggiungere e superare i due metri di diametro. Le foglie sono semplici, di dimensioni variabili di 10-20 x 3-8 cm, con un breve picciolo; la lamina è oblunگو-lanceolata con margini grossolanamente seghettati ed evidenti nervature laterali. I fiori maschili sono degli amenti eretti mentre quelli femminili sono riuniti in gruppi di 1-4 normalmente alla base degli amenti maschili. Il frutto è un achenio di

grandi dimensioni con involucro liscio e coriaceo di colore bruno-scuro – marrone-chiaro con colorazione della polpa che varia dal bianco al crema (Camarda e Valsecchi, 1983).

La fioritura a seconda dell'altitudine in cui vegeta inizia a maggio e prosegue fino a tutto giugno; fruttifica a ottobre.

Il castagno in natura si propaga principalmente per seme, invece la moltiplicazione delle cultivar è affidata all'innesto che viene eseguito in campo e non in vivaio come per le comuni piante da frutto, perché l'attecchimento delle piantine è in genere modesto.

La coltivazione di questa specie ha favorito la sua ampia diffusione e la selezione di un numero elevato di cultivar, anche di origine molto antica, in funzione della qualità delle castagne, del legno o della loro duplice attitudine.

IL CASTAGNETO DA FRUTTO

L'attuale produzione di castagne e marroni proviene pressoché totalmente da impianti da frutto tradizionali costituiti da piante secolari, molto spesso senescenti o in precarie condizioni sanitarie. I motivi che pregiudicano lo stato vegetativo di questi popolamenti sono molteplici: talvolta legati al fatto che le piante vegetano in ambienti pedoclimatici poco idonei, talaltra perché le stesse sono soggette a ricorrenti attacchi di fitofagi e patogeni fungini, oppure perché sono gestite in modo irrazionale, spesso quale conseguenza dell'eccessivo frazionamento della proprietà, della viabilità scarsa o assente, della mancanza di manodopera specializzata e, più in generale, della carenza di adeguate politiche di sostegno alla castanicoltura (Bounous, 2002).

In ogni caso, la crescente richiesta da parte del mercato nazionale ed estero di castagne di qualità, ha stimolato i centri di ricerca e gli agricoltori a definire e attuare strategie di rinnovamento e di risanamento dei castagneti da frutto con l'obiettivo di incrementare soprattutto le produzioni delle cultivar locali di pregio che, per le loro caratteristiche qualitative, sono facilmente collocabili sul mercato e allo stesso tempo consentono di mantenere i naturali equilibri ecologici nel territorio (Bounous *et al.*, 1992; Bellini 1995a).

A tale proposito è parso utile richiamare in sintesi le principali tecniche selvicolturali (cfr.: Bernetti, 1995, Bounous, 2002), che dovrebbero essere sempre seguite soprattutto nella costituzione di nuovi impianti. Questi ultimi dovrebbero prevedere una densità di piante più elevata (in media 100 – 120 per ettaro) di quella ottimale per far fronte alle inevitabili perdite sia in fase di impianto sia in seguito all'insuccesso degli innesti. L'impiego di selvaggioni raccolti in bosco è da sconsigliare in quanto il castagno ha basse percentuali di attecchimento; per lo stesso motivo, non è consigliabile l'impiego di piantine innestate in vivaio. I risultati migliori si ottengono con la semina diretta, avendo però cura di

impiegare un numero elevato di castagne in quanto cinghiali e roditori potrebbero causare grosse perdite.

Particolare attenzione dovrà essere riposta nella scelta delle cultivar da utilizzare in modo da destinarle ad ambienti con caratteristiche pedologiche ed ecologiche a loro più confacenti. Ciò consentirà di contenere i costi di gestione del castagneto e, nel contempo, di massimizzare la produttività delle piante.

I suoli dovranno essere profondi, leggeri, freschi privi di calcare attivo e ben drenati. I terreni pesanti, asfittici e con presenza di ristagni idrici sono assolutamente da evitare in quanto favoriscono l'insorgenza di marciumi radicali a cui il castagno è particolarmente sensibile. I più indicati sono i terreni di origine vulcanica o quelli provenienti dalla degradazione di graniti e scisti. La loro reazione dovrà essere compresa in un intervallo di pH tra 5 e 6,5.

Per quanto concerne il clima, il castagno essendo una pianta eliofila e moderatamente termofila ha un fabbisogno di luce che si riduce progressivamente dal nord al sud della Penisola. La temperatura media annua deve essere compresa tra 8 e 15 °C, e per almeno 6 mesi deve essere superiore a 10 °C. Si sconsigliano le stazioni caratterizzate da gelate tardive in quanto il castagno, nonostante abbia un germogliamento tardivo, può subire danni gravi. Le precipitazioni medie ottimali sono comprese tra 800 e 900 mm annui, mentre l'altitudine non deve essere superiore ai 700-800 m s.l.m. privilegiando le zone al riparo dai venti più intensi.

L'impianto prevede una lavorazione andante su tutta la superficie; la semina si esegue praticando 300-400 fori per ettaro e utilizzando almeno 2-3 castagne per foro.

Gli schemi di impianto maggiormente utilizzati possono essere: in quadro (con le piante disposte ai vertici di un quadrato), a rettangolo, a settonce (le piante sono disposte ai vertici di triangoli equilateri) e a quinconce (la disposizione delle piantine avviene ai vertici di un triangolo isoscele) e prevedono una densità finale di piante che può variare da 100 a

170-180 per ettaro in relazione alla varietà, al portainnesto, al clima e alla fertilità del terreno.

Si consiglia dopo 2-3 anni dalla semina di eseguire una ceduazione in modo che si sviluppino polloni robusti e vigorosi e pertanto maggiormente adatti ad accogliere l'innesto. I portainnesti saranno quindi costituiti da polloni.

Prima di procedere alle operazioni di innesto sarà necessario eseguire un diradamento dei polloni riservandone non più di 160-200 per ettaro. Per ogni ceppaia si rilasceranno due polloni portainnesto in modo poi da scegliere quello che si presenterà più robusto e con una chioma meglio conformata.

I rami da marze verranno prelevati da branche di 1-2 anni quando le piante sono in riposo vegetativo. Taglio e sagomatura delle marze si eseguono al momento dell'innesto che di solito viene eseguito alla ripresa della stagione vegetativa. Gli innesti maggiormente praticati sono:

- a *spacco diametrico*: il piede è costituito da un pollone di 3-5 anni mozzato nel punto in cui presenta 3-4 cm di diametro (solitamente ad un metro di altezza). Sulla testa del pollone si pratica un'incisione laterale (spacco) ai cui estremi si inseriscono le marze sagomate a cuneo costituite da dei segmenti di ramo di 10-15 cm contenenti in media 5-6 gemme vitali;
- a *corona*: è simile al precedente, ma invece dello spacco diametrico, si eseguono due o più incisioni di piccole dimensioni lungo il bordo del portainnesto all'interno delle quali si inseriscono le marze che saranno precedentemente sagomate a linguetta;
- a *spacco pieno*: il portainnesto è costituito da un pollone di 1 o 2 anni di età. La marza è costituita da branche sagomate a cuneo di 10-15 cm di lunghezza con in media 5-6 gemme vitali. Il piede viene reciso all'altezza in cui il suo diametro risulta identico a quello della base della marza; normalmente da 30 a 60 cm dal suolo. Sulla testa del portainnesto si esegue un'incisione che permette di alloggiare la marza che sarà preventivamente forgiata a cuneo;

- a *zufolo* (o ad anello): la marza è semplicemente costituita da una gemma con una piccola porzione di corteccia. Il portainnesto è costituito da un pollone di 1-2 anni. Dal portainnesto si esegue una scorzatura che parte dalla testa e procede verso il basso e che comunque deve essere della stessa dimensione della marza. L'innesto a *zufolo* è molto raccomandabile ma per dare buoni risultati deve essere eseguito in un periodo preciso: dalla prima entrata in succhio e prima della schiusura delle gemme.

In alternativa sono stati utilizzati alcuni metodi di innesto su castagne in stadio più o meno avanzato di germinazione e consistono nell'inserimento della marza su un taglio trasversale effettuato sulla castagna (Jaynes, 1965; Ackerman e Jaynes, 1980; Vieitez e Vieitez, 1981a, 1981b, 1982, 1983) o mediante taglio trasversale della radichetta della castagna ed inserimento di una marza in un taglio a spacco longitudinale (Park, 1967; Miniati, 1983). Questi metodi d'innesto offrono dei vantaggi rispetto a quelli tradizionali in quanto non occorre allevare i polloni per due o tre anni, possono essere praticati in ambiente controllato, l'epoca di esecuzione non è limitante e possono essere usate marze di diametro ridotto (Bellini, 1995b).

Con gli innesti tradizionali, è di fondamentale importanza per la riuscita degli stessi l'immediata protezione del punto di contatto per impedire l'insediamento di parassiti fungini ed in particolare di *Cryphonectria parasitica* agente del "cancro della corteccia" (Bellini, 1995b). Le infezioni di questo patogeno sono le più frequenti; il loro esito è mortale, talvolta anche quando sono provocate da ceppi ipovirulenti del patogeno (Ferrini, 1992). Per proteggere le ferite d'innesto vengono adoperati di solito mastici disinfettanti e cicatrizzanti ma si possono ottenere buoni risultati anche con l'applicazione di una "boiaccia" costituita da argilla da vasaio, acqua e bagnanti (Bellini, 1995b).

Molta importanza rivestono anche le cure colturali che dovranno iniziare dopo 2-3 anni dall'innesto con la rimozione dei piedi innestati non riusciti o soprannumerari, con la ripulitura dei polloni selvatici (scacchiatura) e con le potature di formazione delle piantine da allevare.

L'impollinazione potrà essere garantita lasciando 2-3 soggetti di castagno selvatico per ettaro oppure di una cultivar che possiede una buona capacità impollinatrice.

Con la potatura di formazione si capitozzano i fusti gentili ad una altezza di circa 2-2,5 m in modo da ottenere 3-4 branche con la tendenza ad espandersi lateralmente.

Le cure di esercizio del castagneto da frutto consistono in potature di mantenimento e in potature straordinarie. Le prime servono per sopprimere i rami malati o secchi e i cosiddetti "succhioni" troppo vigorosi e dotati di dominanza apicale che di solito si sviluppano in seguito a interventi cesori troppo intensi. Le potature straordinarie si praticano invece su piante senescenti, deperienti o che presentano una chioma unilaterale o mal conformata. Solitamente sono potature molto energiche, spesso simili a capitozzature sui rami più grossi.

I giovani castagneti entrano in produzione dopo 8-15 anni dall'innesto ed arrivano alle produzioni di regime (30-40 qli di castagne o marroni) dopo 30-50 anni.

Sui castagneti eccessivamente vecchi e abbandonati sarà conveniente effettuare degli interventi di recupero solo in caso di cultivar pregiate o che rischiano di scomparire e, comunque, in presenza di un sufficiente numero di piante valide. La prima operazione da effettuare sarà una potatura straordinaria, seguita dall'eliminazione mediante estirpazione e lavorazione del terreno della vegetazione arborea ed arbustiva che si sarà insediata durante la fase di abbandono della coltura.

La conversione di un ceduo in castagneto da frutto trova convenienza solo nei popolamenti dotati di buona fertilità e non eccessivamente ricchi di ceppaie. Le operazioni da effettuare saranno simili a quelle praticate in un nuovo impianto subito dopo la ceduazione delle piantine, con taglio di polloni e selezione dei piedi da innestare.

IL BOSCO CEDUO

La produzione del legno di castagno deriva in massima parte dal governo a ceduo; i pochi esempi di fustaie da legno sono relativi ad impianti artificiali di estensione limitata.

La coltura del ceduo di castagno fornisce assortimenti di dimensioni variabili in funzione dell'uso a cui sono destinati:

- a. assortimenti “grossi” quali i tronchetti da sega, le travi e i pali telefonici;
- b. assortimenti “intermedi” rappresentati dai pali per le recinzioni e da altri tronchetti destinati a usi vari;
- c. assortimenti “piccoli” dai quali si ricava la paleria sottile per diverse colture;
- d. assortimenti “minuti” che costituiscono la ramaglia da intreccio e le fascine per graticciate.

Il castagno ha una capacità di rigenerazione per polloni di notevole durata tanto da consentire ampie alternative sulla scelta del turno da adottare e, di conseguenza, dell'assortimento che si intende produrre. La massa legnosa prodotta è tra le più elevate: nei cedui invecchiati può arrivare fino a 200 m³/ha (Bounous, 2002), con incrementi medi che nelle stazioni più idonee, come ad esempio nel viterbese, raggiungono anche i 21 m³/ha/anno (Bagnaresi e Giannini, 1979). Tuttavia, la capacità rigenerativa delle ceppaie è molto variabile in funzione della fertilità della stazione e della vigoria della pianta o della ceppaia, ma anche dell'incidenza degli attacchi di patogeni fungini, quali *Armillaria mellea* (Vahl) Kummer e *Phytophthora* sp., che provocano il marciume delle radici e del colletto.

Il castagno, a causa del suo ampio areale di diffusione, si riscontra spesso anche in stazioni poco idonee che non consentono di ottenere prodotti di pregio o dove più frequentemente si incontrano fusti con difetti

del legno, principalmente rappresentati dalla “cipollatura” (particolare tipo di fessurazione che si sviluppa sul piano longitudinale – tangenziale del fusto, localizzato tra due anelli di accrescimento adiacenti) e dalla “sciabolatura” che di solito si verifica alla base di polloni sviluppatisi su ceppaie di grosse dimensioni e non affrancati.

La gestione del ceduo di castagno è piuttosto semplice e consiste in un taglio raso con rilascio di poche matricine (non oltre 40 – 60 per ettaro) che sono tenute in piedi solamente per il doppio del turno, oppure in un taglio che interessa tutto il soprassuolo (cfr.: Bernetti, 1995; Bounous, 2002). Altre forme di trattamento come il ceduo disetaneo sono utilizzate limitatamente a poche zone d'Italia; in Sardegna, per esempio, solo nella Barbagia di Belvi.

I cedui di castagno possono derivare da conversioni recenti di castagneti destinati alla produzione di frutto, oppure possono essere in esercizio già da parecchio tempo. Nel primo caso le grosse ceppaie preesistenti coesistono con le ceppaie più giovani di recente taglio che si sono originate dalla rinnovazione naturale del castagno durante il periodo di abbandono della coltura. Per avere una buona produzione in questo ambito la densità delle ceppaie non deve essere superiore a 400 – 600/ha. Nel secondo caso, i popolamenti già a regime sono costituiti da molte ceppaie, anche 2000/ha, di dimensioni uniformi e generalmente non tanto grandi.

La durata del turno è molto variabile e non dipende dalla capacità pollonifera della ceppaia che si può considerare praticamente illimitata, bensì dagli assortimenti che si intendono ricavare. Per le produzioni di piccole dimensioni i turni possono variare da 3 a 6 anni, anche se ormai sono poco praticati in quanto meno remunerativi. Oggigiorno il materiale per queste produzioni si ricava di solito dai diradamenti o dai sottoprodotti delle utilizzazioni.

Le produzioni attuali sono per lo più orientate ad ottenere tronchi da sega utilizzando turni di 16 – 18 anni. Per i turni superiori destinati alla produzione di assortimenti di grosse dimensioni è necessario

prevedere dei diradamenti dopo che le piante hanno raggiunto un'altezza di 9 – 10 metri per favorire gli accrescimenti diametrici.

Per produzioni di pregio il diametro minimo è di circa 25 cm a petto d'uomo; di conseguenza, il turno da adottare per raggiungere tale dimensione dovrà essere superiore ai 20 anni. Inoltre, bisognerà effettuare dei diradamenti per mantenere costante l'accrescimento diametrico e ridurre al minimo il rischio della cipollatura.

Le cure colturali dopo la ceduazione consistono in sfolli e diradamenti. Generalmente il primo sfollo si esegue quando i polloni raggiungono i 5 – 6 anni di età in modo da rilasciare gli elementi migliori per un massimo di 2000 – 3000 individui ad ettaro; si procede quindi con diradamenti intorno ai 14 – 16 anni fino a raggiungere una densità finale di 1500 – 2000 polloni per ettaro. Nel caso invece che si adottino dei turni più lunghi (40 – 50 anni) per ricavare assortimenti di grosse dimensioni (diametri superiori a 40 cm), oltre allo sfollo iniziale si opera una serie di 2 – 3 diradamenti selettivi da realizzarsi entro 25 anni.

Le operazioni di ceduazione sono molto importanti e vanno eseguite con un taglio netto che deve avvenire il più in basso possibile sulla ceppaia per agevolare l'affrancamento dei polloni con la produzione di radici autonome rispetto a quelle della ceppaia (Merendi, 1954). Inoltre, subito dopo l'abbattimento è consigliabile modellare la superficie del taglio in modo da evitare ristagni idrici sul legno e scongiurare pertanto l'instaurarsi di fenomeni di marciume.

LA CASTANICOLTURA IN ITALIA

La coltivazione del castagno in Italia è distribuita in tre grandi areali: uno comprende le regioni Nord occidentali, abbraccia il Piemonte e la Liguria e si estende lungo l'arco Alpino fino al Veneto; un altro annovera l'Emilia Romagna, la Toscana ed il Lazio e si sviluppa lungo l'Italia centrale; il terzo include l'Italia meridionale e le due isole maggiori.

Il 76,9% della superficie totale nazionale occupata dal castagno si estende in territori di media e bassa montagna, il 21,8% in collina ed il restante 1,3% in pianura (Fig. 2) (Bounous, 1998).

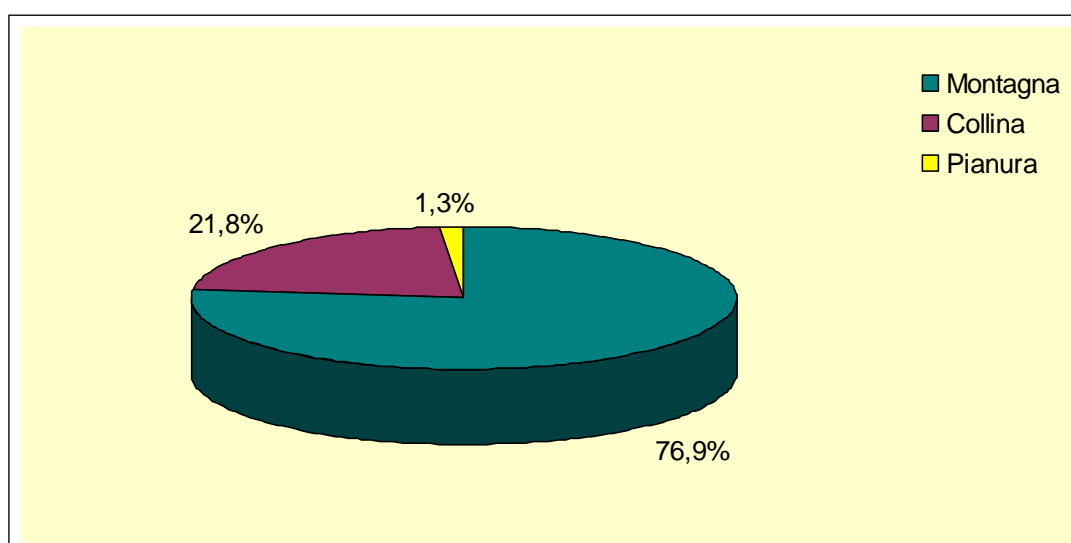


Figura 2. Distribuzione dei castagneti italiani per zone altimetriche.

La gran parte dei castagneti è adibita alla produzione di legno; quelli destinati alla produzione di castagne e marroni rappresentano appena il 25% circa del totale (Fig. 3).

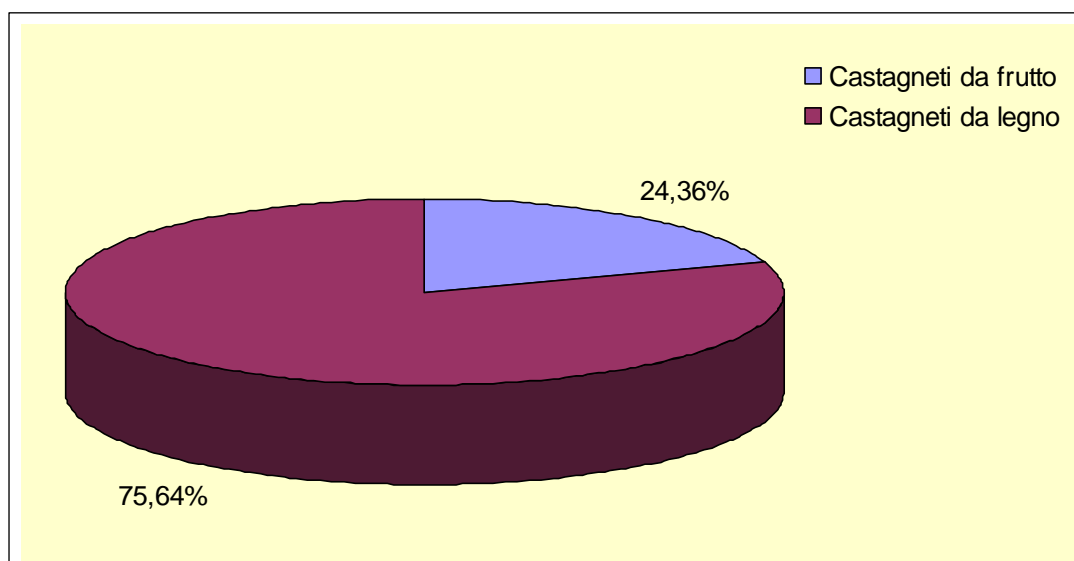


Figura 3. Percentuale della superficie destinata a castagneti da frutto e da legno in Italia.

Le regioni che detengono le maggiori superfici occupate da castagneti da legno sono il Piemonte, la Toscana e la Liguria (Tab. 1). Complessivamente in queste tre regioni la superficie coltivata supera 350.000 ettari, pari a circa il 60% della superficie totale nazionale (fonte: I.N.F.C. - Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio, 2005).

La Campania, e ancora la Toscana e il Piemonte, detengono il primato della superficie destinata alla coltivazione di castagni da frutto (I.N.F.C., 2005).

A tale riguardo, l'Italia è sempre stato il primo Paese europeo produttore di castagne e marroni, sebbene le sue produzioni siano diminuite progressivamente durante il secolo scorso, e nell'ultimo decennio si siano ridotte di quasi il 28% (Tab. 2).

Tale contrazione è dovuta a molteplici fattori tra i quali si ricordano le modificazioni intervenute nella società rurale in seguito alla sviluppo industriale, alle difficili condizioni di vita della montagna che hanno indotto la popolazione a cercare nei grossi centri condizioni di vita più

agevoli, al miglioramento della viabilità e dei mezzi di trasporto che hanno reso superflua l'economia di autosufficienza e, infine, alla sostituzione del castagno con colture cerealicole o comunque con ciclo produttivo più breve e maggiormente redditizio.

Tabella 1. Superficie adibita alla coltivazione del castagno da frutto e del castagno da legno nelle Regioni italiane (Fonte: I.N.F.C., 2005).

<i>Regione</i>	<i>Castagneti da legno (ha)</i>	<i>Castagneti da frutto (ha)</i>	<i>Totale</i>
Piemonte	143.575	20.652	164.227
Toscana	111.495	33.964	145.459
Liguria	100.020	9.526	109.546
Lombardia	67.885	9.257	77.142
Calabria	54.818	9.328	64.146
Emilia Romagna	30.159	11.402	41.561
Lazio	27.266	5.895	33.161
Veneto	16.434	1.868	18.302
Campania	13.509	35.640	49.149
Friuli V.G.	12.634	743	13.377
Sicilia	8.718	379	9.097
Basilicata	4.096	2.605	6.701
Valle D'Aosta	3.468	0	3.468
Abruzzo	3.258	1.810	5.068
Umbria	2.936	378	3.314
Trentino A.A.	2.212	369	2.581
Marche	1.486	1.858	3.344
Sardegna	1.119	1.119	2.238
Molise	390	0	390
Puglia	388	777	1.165
<i>ITALIA</i>	<i>605.866</i>	<i>147.570</i>	<i>753.436</i>

Tabella 2. Produzione in tonnellate di castagne in Italia.

<i>Anno (fonte)</i>	<i>Tonnellate di castagne</i>
1910 (Vigiani, 1943)	644.780
1922 (Bignani e Salotto, 1983)	471.300
1948 (Bignani e Salotto, 1983)	327.360
1950 (ISTAT)	258.483
1960 (ISTAT)	189.800
1970 (ISTAT)	66.424
1985 (ISTAT)	38.800
1997 (ISTAT)	72.847
2005 (FAO)	52.000

Tuttavia, ancora oggi l'Italia detiene il primato produttivo in Europa. Nel 2005 sono state prodotte 52.000 t di castagne che rappresentano il 40,7% circa della produzione complessiva continentale (www.FAO.org). Gli altri principali Paesi europei produttori sono il Portogallo, la Francia, la Grecia e la Spagna. Recentemente piccoli areali di produzione si sono costituiti anche in Svizzera e nell'Europa centro-orientale (Slovacchia e Ungheria) dove sono in atto interventi di miglioramento delle tecniche colturali e di specializzazione delle produzioni (Adua, 2002).

Attualmente l'Europa, nonostante attraversi un trend negativo dovuto in massima parte alla riduzione della produzione italiana, è il secondo continente produttore di castagne: con oltre 127 mila tonnellate annue contribuisce per circa l'11% alla produzione mondiale. Ciò a fronte, secondo stime effettuate dalla FAO, di un incremento della produzione mondiale di castagne e marroni – nell'ultimo decennio la produzione è progressivamente aumentata fino a raggiungere nel 2005 il valore di 1,12 milioni di tonnellate annue – grazie al contributo del Continente asiatico che fornisce l'85% del prodotto totale e, in particolare, della Cina che con circa 825 milioni di tonnellate annue rappresenta il maggior produttore mondiale di castagne.

In relazione alla bilancia dell'import – export si rileva che circa il 38% della produzione italiana – pari a 19.800 tonnellate – è destinata all'esportazione, in prevalenza verso la Francia (25%), Svizzera (16%), Stati Uniti (13%), Australia (12%), Germania (9%), Giappone, Taiwan e Singapore (6%). L'importazione verso l'Italia è invece modesta, l'ammontare è mediamente di 3-4.000 tonnellate annue di castagne e 60-70 tonnellate annue di purea e pasta di marroni, provenienti principalmente dalla Turchia ed in misura minore dalla Spagna e dal Portogallo (ISTAT 1995).

Comunque, dall'analisi dei dati illustrati precedentemente (Tab. 2) si rileva che dal 1985 la castanicoltura risulta in leggera ripresa. Il rilancio della coltura e delle produzioni castanicole sembra essere determinata sia dall'aumento della domanda di castagne da parte dei consumatori e delle industrie dolciarie, che contribuiscono così al mantenimento dei prezzi su livelli soddisfacenti, sia dall'attenuazione della virulenza del “cancro corticale” in seguito alla diffusione di ceppi meno aggressivi del patogeno che consentono alle piante il recupero vegetativo.

Pertanto sulla base di questi presupposti si dovrebbero sviluppare dei progetti per il rilancio della castanicoltura soprattutto in quelle aree dove è difficile la sostituzione del castagno con altre specie vegetali anche in funzione di una difesa idrogeologica che oggi appare di fondamentale importanza soprattutto per le aree montane maggiormente esposte alle conseguenze di eventi meteorici eccezionali.

Il ceduo di castagno che, come detto in precedenza, occupa oltre il 75% della superficie nazionale, ha costituito per molto tempo una risorsa importantissima per l'azienda agricola. Dai polloni si ricavavano infatti tutta una serie di assortimenti utilizzati quotidianamente per l'attività agricola tra i quali in prevalenza manici per gli attrezzi, tutori per le piante e paleria minuta per le recinzioni.

L'abbandono delle tradizionali forme di gestione dell'azienda agraria e l'avvento di nuovi materiali hanno determinato un forte calo sulla

domanda degli assortimenti sinteticamente riassumibili col termine di piccola paleria e di fatto hanno portato ad una profonda crisi del settore.

Invece, per gli assortimenti di grosse dimensioni che si ricavano dai cedui invecchiati, si sono aperti negli ultimi anni interessanti prospettive di mercato. Il loro ulteriore sviluppo rimane comunque abbastanza confinato in quanto gli stessi presentano un valore di macchiatico positivo solo per i cedui di fertilità medio-alta dove le dimensioni richieste vengono raggiunte in tempi relativamente brevi.

LA CASTANICOLTURA IN SARDEGNA

Sulle origini del castagno in Sardegna non si hanno notizie certe. Secondo il Cerchi-Paba (1974-1977) questa specie fu introdotta nell'Isola fin dal neolitico attraverso gli scambi commerciali tra i Sardi e le popolazioni tirreniche della penisola. Di sicuro in epoca romana il castagno veniva coltivato per i suoi frutti ma anche per ottenere utensili da lavoro e soprattutto pali di sostegno per i vigneti. In ogni caso in passato il castagno in Sardegna ha significato un sicuro punto di riferimento per le popolazioni di molte zone povere di montagna non solo per l'utensileria ma anche per far fronte alle difficoltà di approvvigionamento alimentare e come risorsa di scambio in attività commerciali.

Tuttavia, in epoche più recenti, verso la metà del secolo scorso, tali formazioni hanno subito una grave crisi soprattutto, come già detto, in seguito alle modificazioni della società rurale e alla comparsa di problemi gravi di natura fitosanitaria. Ciò ha comportato un progressivo abbandono delle buone pratiche colturali e una conseguente riduzione in superfici investite e in produttività dei popolamenti. Per esempio, proprio in seguito alla recrudescenza degli attacchi del "cancro della corteccia", la pratica degli innesti in bosco è diventata sempre meno frequente. Inoltre, poiché l'ordinaria coltivazione del castagno richiedeva un numero elevato di giornate lavorative – mediamente in un anno occorrono 20-30 giornate per ettaro – e poiché alla progressiva e costante lievitazione del costo della manodopera, non faceva riscontro un altrettanto progressivo aumento del prezzo della materia prima, i castanicoltori hanno trascurato gradualmente anche le fondamentali operazioni selvicolturali necessarie per mantenere le piante in buone condizioni vegetative. Attualmente, ad esclusione di quelle regioni storicamente vocate per la castanicoltura, gli interventi colturali si sono ridotti quasi ovunque esclusivamente alle ripuliture autunnali e alla raccolta dei frutti.

Di certo il patrimonio castanico isolano è stato progressivamente ridimensionato: in passato a causa della costruzione delle ferrovie e delle attività di miniera e dei carbonai e, ancora oggi, in seguito agli incendi ricorrenti e allo sfruttamento eccessivo del bosco. In molti casi, inoltre, il particolare ambiente climatico insulare, caratterizzato da scarsa piovosità e da venti forti e frequenti, ha ostacolato la naturale ricostituzione dei boschi degradati, favorendo spesso la graduale trasformazione di popolamenti mono-specifici di castagno in boschi misti dove prevalgono altre specie più resistenti alle avversità climatiche e parassitarie.

DATI STORICI SULLE SUPERFICI CASTANICOLE

Secondo il Catasto agrario, nel 1929 il castagno da frutto era presente in Sardegna su una superficie totale di 1.060 ettari, così ripartiti: Provincia di Nuoro 975 ha, Provincia di Cagliari 54 ha, Provincia di Sassari 31 ha.

Ovviamente questi dati si riferiscono ai soli castagneti da frutto e non forniscono un quadro reale della consistenza del castagno in Sardegna.

Secondo un aggiornamento del 1938 gli ettari di castagneti puri in Sardegna erano ripartiti come riportato in tabella 3.

Tabella 3. Distribuzione per Provincia delle superfici castanicole della Sardegna (Catasto, 1938).

	<i>Fustaie (ha)</i>	<i>Cedui (ha)</i>	<i>TOTALE (ha)</i>
Nuoro	334	1377	1711
Sassari	-	-	-
Cagliari*	6	315	321
Sardegna	340	1692	2032

*) Comprende anche l'attuale provincia di Oristano.

Nel 1964, secondo il Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna, la superficie complessiva investita a castagno ammontava a 2.565 ettari, distribuiti per Provincia come riportato nella tabella 4. Gli ultimi dati disponibili riferiti al 1985 sono riportati nella tabella 5.

Tabella 4. Distribuzione per Provincia delle superfici castanicole della Sardegna (Corpo Forestale e di Vigilanza Ambientale della Regione Sardegna, 1964).

	<i>Fustaie (ha)</i>	<i>Cedui (ha)</i>	<i>TOTALE (ha)</i>
Nuoro	569	1592	2161
Sassari	46	-	46
Cagliari*	27	331	358
Sardegna	642	1923	2565

*) Comprende anche l'attuale provincia di Oristano.

Tabella 5. Distribuzione per Provincia delle superfici castanicole della Sardegna (Elaborazione dati Ispettorati Forestali e ISTAT, 1985).

	<i>Fustaie (ha)</i>	<i>Cedui (ha)</i>	<i>TOTALE (ha)</i>
Nuoro	407	1360	1767
Sassari	59	-	59
Cagliari	6	-	6
Oristano	11	331	342
Sardegna	483	1691	2174

DISTRIBUZIONE DEI CASTAGNETI

Il castagno in Sardegna si riscontra tra i 500 e i 1300 m s.l.m., con maggiore frequenza tra gli 800 e i 1000 m s.l.m. I nuclei maggiori sono localizzati nella Sardegna centrale e, più precisamente, sul versante occidentale del massiccio del Gennargentu e all'interno del distretto della Barbagia-Mandrolisai. Popolamenti minori o con piante sparse si riscontrano nella Sardegna centro-orientale nei pressi di Lanusei (Ogliastra), nella Sardegna centro-occidentale presso Santu Lussurgiu (Montiferru) e nella Sardegna nord-occidentale presso Tempio Pausania (Gallura). Presenze ancora più sporadiche si ritrovano in diverse zone dell'Isola prive di calcare attivo su altimetrie superiori ai 500 m s.l.m. (Milella e Dettori, 1987). Nuclei artificiali molto ridotti sono presenti un po' ovunque nelle zone montane meridionali del Sarrabus e Gerrei, nelle quali il castagno viene coltivato sporadicamente. Il limite meridionale di diffusione corrisponde al nucleo della Barbagia di Seulo, poco al di sopra del 39° - 40° parallelo di latitudine. Di certo il limite meridionale è segnato dalle regioni caratterizzate da una bassa umidità ambientale, mentre per il limite settentrionale assumono maggiore importanza le determinanti topografiche ed edafiche. A tale proposito, la parte settentrionale dell'Isola è caratterizzata da una orografia piuttosto bassa, tormentata e discontinua; inoltre in essa mancano dei centri abitati montani veri e propri che, così come nella Barbagia, fungono da nuclei di propagazione della coltura. Sotto l'aspetto edafico la zona settentrionale è caratterizzata da suoli (terre brune e litosuoli su graniti e porfidi) che per le caratteristiche fisiche, forse eccessivamente permeabili (suoli arenizzati), e per la mediocrità dei rilievi, non conservano sufficienti riserve di acqua per le esigenze del castagno.

LE CULTIVAR SARDE DI CASTAGNO

Milella e Dettori (1987), affermano che “la selezione massale realizzata nel triennio 1984/86 ha portato all’individuazione di 16 tipi varietali di castagno con caratteristiche interessanti, di cui 11 rappresentati da cultivar propagate da tempo per innesto e 5 ascrivibili a popolazioni con caratteristiche generali riconducibili a un fenotipo dominante” (Tab. 6).

Tabella 6. Tipi varietali di castagno sardi, struttura genetica, area di provenienza e numero di frutti per kg (da: Milella e Dettori, 1987).

<i>Cultivar</i>	<i>Struttura genetica</i>	<i>Provenienza</i>	<i>N° frutti/kg</i>
Belledda	popolazione	Tiana	85,4
Binzta 'e Beracca	popolazione	Belvi	109,6
Coa 'e Serra	cultivar	Belvi	82
Craeddu	cultivar	Belvi	92,6
De su leporo	cultivar	Tiana	69,4
Ilduba	cultivar	Belvi	94,3
Is Sales	cultivar	Tiana	68,5
Locheddu	cultivar	Belvi	104,2
M.A. Zedde	cultivar	Tonara	75,8
Marronada	popolazione	Tiana	70,9
M. Urru	cultivar	Belvi	62,9
Pala 'e Crabile	popolazione	Belvi	114,0
Tanu Giorgi	cultivar	Belvi	65,9
Tinozzo	popolazione	Tiana	97,6
Tiu Padre	cultivar	Tonara	106,7
Zia Orrofela	cultivar	Tonara	93,5

In base alle norme ICE (Bellini, 1995a), l’esportazione di massa per il consumo fresco prevede 4 categorie di qualità: AAA (< 48 frutti/kg); AA (da 48 a 65 frutti/kg); A (da 65 a 85 frutti/kg); B (> 85 frutti/kg). La maggior parte delle cultivar locali presenti in Sardegna ricadono nella categoria “B” e tutte le altre (ad eccezione della cv “M. Urru” ricompresa nella categoria “AA”) appartengono nella categoria “A”.

Di seguito si riferisce brevemente sui caratteri peculiari del comprensorio castanico della Barbagia-Mandrolisai dove sono state svolte le indagini relative a questa tesi. Per quanto riguarda gli aspetti geopedologici, climatici e culturali si riferisce quanto riportato da Casula (1992).

IL COMPRESORIO CASTANICOLO BARBAGIA-MANDROLISAI

I castagneti sono distribuiti in 10 Comuni: Aritzo, Belvi, Desulo, Gadoni, Meana Sardo, Ovodda, Sorgono, Teti, Tiana e Tonara; tutti ricadono nel distretto amministrativo della Comunità montana n°12.

La maggiore concentrazione di castagneti si ha nel territorio dei Comuni di Aritzo, Desulo e Tonara (Tab. 7).

Tabella 7. Distribuzione dei castagneti nei Comuni della Comunità Montana n° 12 (Dati Ispettorato Ripartimentale delle Foreste di Nuoro, 1987).

<i>Comuni</i>	<i>Fustaie (ha)</i>	<i>Cedui (ha)</i>	<i>TOTALE (ha)</i>
Aritzo	19	300	319
Belvi	34	10	44
Desulo	44	320	364
Gadoni	13	-	13
Meana Sardo	3	-	3
Ovodda	6	-	6
Sorgono	8	10	18
Teti	-	1	1
Tiana	1	-	1
Tonara	37	580	617

Geologia

Le caratteristiche geologiche del comprensorio sono riassunte nella Carta Geologica d'Italia, rispettivamente ai fogli 207 e 218. Dal loro esame si rileva una prevalente diffusione del basamento paleozoico con:

gruppo pregranitico costituito da:

- 1) formazioni delle filladi grigie del Gennargentu relative al siluriano quali, filladi quarzifere, micascisti e paragneis;
- 2) formazioni di micascisti con arenarie scistose, micascisti e quarziti; riferibili al siluriano superiore;
- 3) formazioni di gneiss porfiroidi e sericitici, derivati dal metamorfismo di prodotti vulcanici (lave e tufi).

gruppo intrusivo ercinico costituito da:

- 1) formazioni granitiche a grana media;
- 2) litofacies da metamorfismo di contatto con aureole metamorfiche indotte dal magma granitico nel mantello scistoso, riferibili al carbonifero;
- 3) sistema filloniano riferibile al carbonifero, che interessa tutto il basamento Paleozoico (scisti e graniti), costituito da filoni lamprofirici e filoni di porfido quarzifero;
- 4) formazioni dei porfidi porfiriti e loro tufi, del Permiano inferiore;
- 5) formazioni di copertura del basamento Paleozoico costituito dalla residua serie di tacchi calcarei a Gasteropodi di dolomie e calcarei dolomitici.

Pedologia

La Barbagia Mandrolisai presenta un substrato pedogenetico costituito in genere da un colluvium di scisti Paleozoici, formati da miche, quarzi e ortoclasti cementati tra di loro da limo e argilla.

Da un punto di vista morfologico è una situazione favorevole in quanto agli strati scistosi seguono esigui affioramenti rocciosi.

Il terreno si presenta mediamente profondo e umido. Secondo ARU *et al.* (1967), i suoli derivati da questo substrato sono da ascrivere

all'associazione delle terre brune liscivate. Il profilo è di tipo A-B-C con orizzonte B argillico spesso evidente e con orizzonti superficiali organici. Sono suoli con valore di saturazione molto elevato. Essi, sia per la copertura arborea che per le condizioni climatiche, possono essere considerati come suoli tipici di ambienti mesofili.

Di seguito viene riportato un profilo rilevato nel 1967 dall'Istituto di Mineralogia e Geologia dell'Università di Sassari (in: Baragliu, 1979) in Comune di Aritzo, ad una quota di 850 m s.l.m. e con una pendenza del 25%, sotto copertura di ceduo di castagno, con erosione moderata. In particolare sono stati riscontrati i seguenti orizzonti:

- O', costituito da lettiera di foglie di castagno in parte alterate;
- O", costituito da parti vegetali assai alterate e decomposte;
- A, umido, di colore bruno-rossastro; tessitura franco-sabbiosa con aggregazione evidente, grumosa e poliedrica sub angolare fine, drenaggio normale, buona attività biologica. Questo orizzonte presenta le radici che seguono un andamento verticale e nel senso della pendenza;
- B, comprende la maggior parte del profilo. È caratterizzato dal possedere una colorazione che va dal bruno intenso in superficie al rosso giallastro verso la profondità. La tessitura è franco-sabbioso-argillosa, con aggregazione moderata e buona attività biologica. Come il precedente ha drenaggio normale ed è compenetrato dalle radici.
- C, si trova ad una profondità di circa un metro, il colluvium di scisti si presenta alterato.

Clima

Nelle zone centrali della Sardegna il clima può essere definito, come nel resto dell'Isola, temperato-caldo e bistagionale, cioè con un periodo freddo umido e caldo arido che si alternano nel corso dell'anno, intervallati da due stagioni a carattere intermedio. L'inverno si presenta mite, ma diviene freddo e piovoso nelle zone di montagna; la durata del periodo

secco inizia intorno alla metà di giugno e si protrae per tutto agosto sino a metà settembre.

La maggior parte del territorio preso in considerazione rientra, secondo il Pavari nella sottozona fredda del *Lauretum*; solo i castagneti siti sopra i centri abitati di Desulo e Tonara, a una quota compresa tra i 1000 e 1300 m s.l.m. possono essere ascritti alla sottozona calda del *Castanetum*.

Al fine di caratterizzare sotto il profilo storico l'andamento climatico della zona in esame, sono stati utilizzati i valori medi di temperatura e precipitazione di cinque stazioni pluviometriche: Cossatzu (860 m s.l.m.), Desulo (920 m s.l.m.), Rio Torrei (920 m s.l.m.), Sorgono (814 m s.l.m.) e Tonara (938 m s.l.m.) riportati da Marras (1988), nonché i valori medi di temperatura e precipitazione riportati da Arrigoni (1968).

Temperatura. Dall'analisi dei valori medi di temperatura relativi alle stazioni di Cossatzu (21 anni di osservazione), Desulo (53 anni di osservazione) e Rio Torrei, (16 anni di osservazione) si rileva che:

- la temperatura media annua è compresa tra 11 e 13°C;
- i mesi più freddi risultano gennaio e febbraio con medie di 4 – 5°C;
- la temperatura media si eleva progressivamente in primavera, fino a raggiungere i valori massimi in luglio e agosto, di 20°C a Rio Torrei e 22°C a Desulo.
- la stagione calda è piuttosto marcata nonostante l'altitudine; si registrano infatti nel mese più caldo (agosto) valori di temperatura media massima di 28°C.

Precipitazioni. Dai dati rilevati in 4 stazioni pluviometriche – Cossatzu (53 anni di osservazione), Desulo (57 anni di osservazione), Rio Torrei (10 anni di osservazione) e Tonara (57 anni di osservazione) – risulta che la piovosità media annua è intorno ai 1000 mm.

Aspetti colturali e produttivi

I caratteri più salienti della castanicoltura nel comprensorio della Barbagia-Mandrolisai possono essere così sintetizzati:

- ridotta estensione territoriale;
- prevalenza di boschi cedui da legno sulle fustaie a duplice funzione;
- assenza di “marroni”, cioè di castagne di pregio;
- presenza di poche varietà locali di castagno, propagate esclusivamente per innesto;
- elevata produttività dei cedui con accrescimenti che possono raggiungere a 18 anni 19mc/ha;
- produzione di paleria e legname da lavoro di ottima qualità;
- proprietà prevalentemente privata;

Come fenomeno indotto si può constatare:

- la presenza di alcune segherie artigiane per una prima lavorazione del legno collegate a piccole imprese boschive;
- la disponibilità di manodopera specializzata nel settore forestale;

Le attività colturali del castagno si differenziano per diversi aspetti nei quattro principali centri castanicoli:

Tonara. La proprietà dei castagneti è interamente privata. Prevalgono i castagneti cedui da legno, spesso trattati a sterzo con turni di 18-20 anni. Il loro accrescimento è notevole e le caratteristiche tecnologiche del legno sono ottime. Il prodotto principale del ceduo è rappresentato dalla paleria grossa che in passato veniva utilizzato essenzialmente dall'ENEL e dalla SIP per la costruzione di linee elettriche e telefoniche. Pertanto, il periodo dei tagli veniva stabilito con criteri selvicolturali in base al diametro raggiunto dai polloni. Altri assortimenti ritraibili dai cedui sono le “filagne”, utilizzate per gli allevamenti dei mitili, e in misura minore la paleria fine per chiudende. Fino a non molto tempo addietro, venivano utilizzati per la confezione di manufatti artigianali (ceste) le cosiddette “pedagne” provenienti dai primi sfolli effettuati all'età di 3-5 anni. Dai cedui invecchiati viene ricavato legname da lavoro di ottimo pregio per colore, disegno e caratteristiche tecnologiche. Le fustaie si sono

notevolmente ridotte soprattutto nell'ultimo decennio, in quanto numerose piante di grosse dimensioni sono cadute al taglio con lo scopo di risanare i castagneti, senza che venissero sostituite. Scarse se non del tutto assenti sono le cure colturali effettuate nelle poche fustaie ancora esistenti. Esse consistono, essenzialmente nella ripulitura del sottobosco durante il periodo della raccolta dei frutti.

Desulo. Vi si rivengono ancora fustaie su discrete superfici, con piante di notevoli dimensioni e in buone condizioni vegetative. Anche in questo Comune vi è prevalenza di cedui, sempre di proprietà privata, trattati a taglio raso. L'ordine dei tagli è anche qui stabilito con criteri selvicolturali, in base al diametro minimo per ottenere determinati assortimenti. Merita di essere menzionata l'iniziativa intrapresa dall'Associazione Castanicola Forestale di Desulo per il miglioramento e il recupero dei castagneti abbandonati. Il piano di valorizzazione prevede la realizzazione su circa 250 ettari di castagneti sia di infrastrutture, sia di interventi necessari per una gestione efficiente degli stessi, consistenti in: potature di produzione, tagli fitosanitari, tagli di grosse branche per favorirne il ricaccio, infittimento, ripulitura del sottobosco e abbruciamento del materiale di rimonda.

Belvì. Tra tutti i Paesi castanicoli, Belvì è senza dubbio quello dove la tradizione della coltivazione del castagno è ancora attuale. I castagneti sono rappresentati quasi per intero da fustaie da frutto di proprietà privata, hanno sesti di impianto regolari (6x6), sono costituiti da varietà da frutto locali che spesso vengono innestate con cultivar pregiate, dando origine a piante che dopo 50 anni possono produrre 150-200 Kg di castagne/pianta.

Aritzo. Anche nei castagneti di Aritzo prevalgono i cedui di proprietà privata, trattati a taglio raso con turni di almeno 14 anni. Gli assortimenti ottenibili sono: paleria minuta, paleria di medie dimensioni per uso agricolo, paleria grossa per linee elettriche e telefoniche. Si tratta di cedui che pur essendo a rapido accrescimento, si trovano spesso in una situazione di quasi totale abbandono. Pertanto, per essi non si pone tanto il problema della conversione ad alto fusto, quanto piuttosto quello della gestione colturale e fitosanitaria.

LE MALATTIE DEL CASTAGNO

Il castagno è soggetto ad attacchi da parte di numerosi patogeni, per lo più di origine fungina, in grado di arrecare danni anche molto gravi in tutti gli organi della pianta sia ipogei che epigei.

Di seguito vengono brevemente passate in rassegna le principali malattie fungine che colpiscono le radici, il fusto, le foglie e i frutti, descrivendo in particolare quelle più gravi: il “mal dell’inchiostro” da *Phytophthora* spp. e il “cancro della corteccia” da *Cryphonectria parasitica*.

MALATTIE DELLE RADICI E DEL COLLETTO

Marciume radicale fibroso. È causato da specie del genere *Armillaria*, in particolare *A. mellea* (Vahl:Fr.) Kummer e *A. gallica* Marxmüller et Romagnesi. Le piante colpite vegetano stentatamente e manifestano un progressivo ingiallimento e disseccamento della chioma. Il patogeno differenzia sotto la corteccia, nella zona del colletto, un caratteristico feltro miceliare bianco disposto a ventaglio che col tempo si estende progressivamente verso l’alto e tende ad avvolgere l’intero fusto. Negli stadi più avanzati il micelio invade il cilindro legnoso originando processi di carie. In condizioni favorevoli è possibile rinvenire i basidiomi del fungo sui grossi alberi anche a due metri di altezza. Il patogeno si diffonde nel terreno tramite le rizomorfe che penetrano nelle radici vive delle piante avviando la colonizzazione necrotrofica dei tessuti.

Marciume radicale lanoso. L’agente responsabile è *Rosellinia necatrix* Prill.

I sintomi sono simili a quelli descritti per il “marciume radicale fibroso” ma il patogeno si manifesta con caratteristici cordoni miceliari sulle radici infette e nel colletto, formando un fitto reticolo di colore bianco che col tempo diventa più scuro.

Mal dell'inchiostro. È una delle malattie più dannose del castagno (Fig. 4). Fu segnalata per la prima volta nel 1824 su castagno americano, mentre la prima segnalazione su castagno europeo risale al 1838 in Portogallo. Altri autori ne segnalano la presenza in alcune zone della Spagna fin dal 1726 (Crandall *et al.*, 1945). Petri nel 1917a ne descrisse l'agente eziologico, prima come *Blepharospora cambivora* Petri, e successivamente come *Phytophthora cambivora* (Petri) Buism. (Petri, 1917b; Petri, 1930). In Italia, *P. cambivora* è stata ritenuta l'unica specie responsabile del "mal dell'inchiostro" fino al 1986, quando nel Lazio fu associata alla malattia anche un'altra specie, *Phytophthora cinnamomi* Rands, già segnalata su castagno negli Stati Uniti d'America (Cristinzio, 1986). Dopo i gravi danni causati all'inizio del XX secolo in tutte le aree castanicole, l'incidenza della malattia si è progressivamente attenuata; tuttavia negli ultimi anni, le numerose segnalazioni sembrerebbero indicare una rinnovata recrudescenza epidemica della stessa (Anselmi *et al.*, 1996; Turchetti *et al.*, 2000).

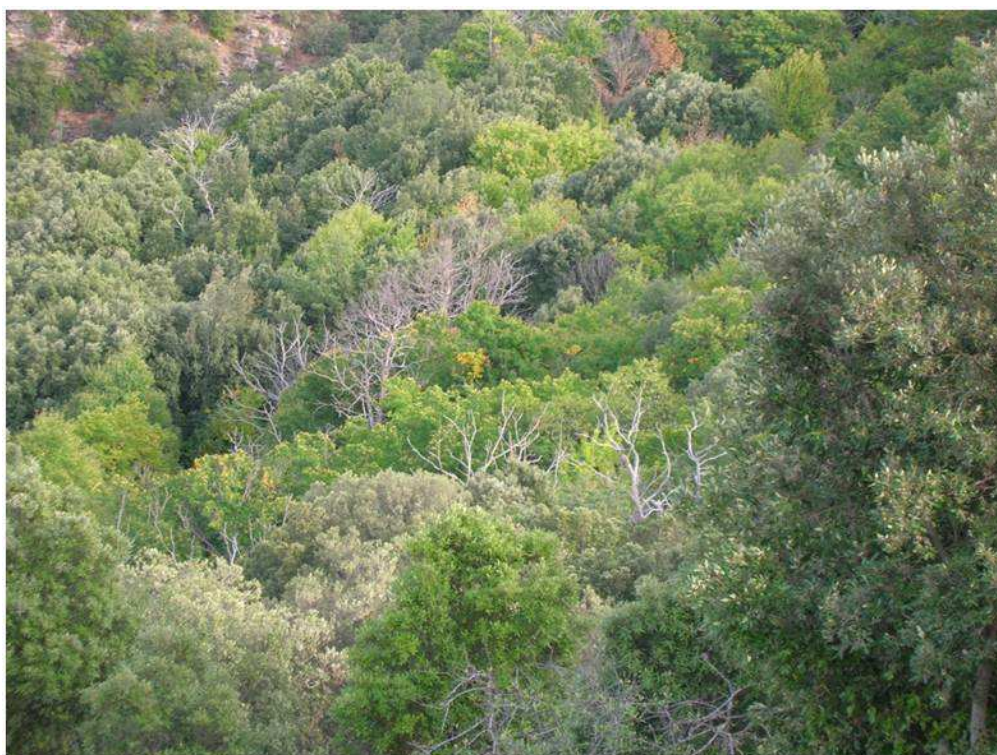


Figura 4. Piante di castagno disseccate da attacchi di *Phytophthora* spp.

Il “mal dell’inchiostro” si manifesta inizialmente con un deperimento generalizzato o settoriale della pianta a cui segue un rallentamento nello sviluppo con rarefazione della chioma che appare con foglie più piccole e spesso clorotiche. La fruttificazione è concentrata sulla sommità della chioma ed è costituita da ricci più piccoli del normale che presto avvizziscono rimanendo comunque attaccati ai rami. Segue il progressivo disseccamento delle branche e infine dell’intera pianta. Un sintomo caratteristico è dato dalla presenza nella porzione basale del fusto di aree necrotiche più o meno estese, di colore bruno-rossiccio e di forma simile a un triangolo con la base inserita a livello del colletto. Dalle fessure corticali, fuoriesce un liquido nerastro, denso, che rapprendendosi forma striature nerastre lungo il fusto con un forte odore tannico. Asportando la corteccia è visibile sul legno la necrosi causata dal fungo che si manifesta con un tipico andamento a “fiamma” (Fig. 5). Nell’area del colletto, all’inserzione delle grosse radici si formano delle macchie da molto scure a nere che rappresentano un ulteriore sintomo caratteristico dell’infezione. Gli attacchi del patogeno si verificano principalmente in concomitanza di forti piogge durante i mesi primaverili-estivi, tra aprile e luglio. In tale periodo si verificano anche le condizioni migliori per l’isolamento del fungo (Turchetti *et al.*, 2000). I fattori predisponenti la malattia sono infatti rappresentati dalla presenza di ristagni idrici o di umidità elevata nel terreno, e di lesioni a livello del colletto o sulle radici che costituiscono le vie preferenziali di penetrazione per i propaguli del patogeno. Se la pianta si presenta in buono stato vegetativo ed in piena vigoria reagisce attraverso l’emissione di nuove radici; se invece è indebolita da altre avversità, il patogeno si insedia nella zona cambiale e risale verso l’alto provocando la morte di porzioni di corteccia sempre più ampie che prima si fessurano in vasti cancri e poi si staccano del tutto. In condizioni ottimali le infezioni progrediscono rapidamente fino a interessare l’intera circonferenza del fusto e a causare la morte della pianta nel giro di due anni.



Figura 5. Sintomi di “mal dell’inchiostro” su piante di castagno.

La lotta in bosco contro questa fitopatia si basa su strategie di difesa integrata che prevedono interventi di tipo genetico, agronomico e chimico. I primi consistono nell'uso di portainnesti ibridi euro-giapponesi resistenti o tolleranti al “mal dell'inchiostro”. Il loro utilizzo tuttavia è risultato finora poco soddisfacente a causa della limitata compatibilità genetica con le varietà locali (Bounous e Gomes Abreu, 1998). Anche la lotta chimica effettuata mediante fungicidi sistemici (per es.: fosetyl-Al) presenta forti limitazioni a causa dei costi elevati (Bounous e Gomes Abreu, 1998). Maggiore interesse suscitano invece i sistemi di lotta alternativi, ecocompatibili e a basso impatto ambientale, come la micorrizzazione delle piante *in vitro* e in vivaio – che ne migliora la resistenza al patogeno – o l'uso di “terreni repressivi” meno favorevoli allo sviluppo del fungo e più vocati alla coltura del castagno (Bounous e Gomes Abreu, 1998).

MALATTIE DEL FUSTO E DELLE BRANCHE

Diversi patogeni fungini provocano cancri o lesioni necrotiche sugli organi legnosi di piante sia giovani che mature, in genere debilitate da altri fattori avversi di natura biotica o abiotica (Vannini *et al.*, 2002). Tra i principali si ricordano: *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) Kuntze, *Diplodia castanea* Sacc., *Melanconis modonia* Tul et C. Tul., *Valsa ceratophora* Tul et C. Tul., *Coryneum* spp. e *Nectria* spp. Si tratta per lo più di parassiti opportunisti capaci di sopravvivere in quiescenza nei tessuti dell'ospite, ma anche di esprimere caratteri di virulenza non appena diminuisce la reattività degli stessi tessuti nei periodi di riposo vegetativo o in seguito a eventi di stress.

Cancro della corteccia. È la malattia più diffusa in tutto l'areale di distribuzione del castagno. Il suo agente, l'ascomicete *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr, fu riscontrato per la prima volta in un giardino zoologico del Bronx a New York all'inizio dello scorso secolo, ma si ritiene che la sua presenza nel Nord America derivi dall'introduzione accidentale di materiale vegetale infetto proveniente dal Giappone (Milgroom *et al.*, 1996). Da allora il patogeno si è rapidamente diffuso, causando la completa distruzione delle foreste di castagno americano costituite dalla specie *Castanea dentata* (Anagnostakis, 1987). Lo sviluppo epidemico della malattia è stato tale da non permettere alle piante di vegetare oltre la fase di giovane pollone; solo pochi ettari di castagneto adulto sopravvivono ancora in Michigan, in un'area ristretta geograficamente isolata (Fulbright *et al.*, 1983; Liu, 1995; Liu *et al.*, 1996).

In Italia questa malattia è stata segnalata per la prima volta nel 1938 nell'entroterra ligure e da qui, in pochi anni, si è diffusa in tutte le principali aree castanicole del Paese (Baldacci e Orsenigo, 1952). Comunque, sia in Italia che nel resto dell'Europa, gli attacchi si sono mostrati meno gravi rispetto a quelli verificatisi nel continente

americano sia per la comparsa di individui del patogeno ipovirulenti che causano lesioni non letali per la pianta (Grente, 1965; Bisiach *et al.*, 1988; Heiniger e Rigling, 1994), sia per una maggiore resistenza naturale della specie europea *Castanea sativa* alla malattia (Graves, 1950).

Gli attacchi di *Cryphonectria parasitica* interessano soprattutto il tronco e i rami e raramente i ricci (Collins, 1915). Sugli organi legnosi provoca la comparsa di aree che assumono una colorazione rossastra o violacea, a contorno irregolare, in corrispondenza delle quali i tessuti corticali tendono a sollevarsi. Al di sotto di queste aree, asportando la corteccia è possibile osservare una massa feltrosa color crema costituita dal micelio del fungo che assume una caratteristica disposizione a ventaglio. L'infezione può avere un decorso rapido e causare la necrosi dei tessuti corticali e cambiali, oppure cronico in seguito alla reazione della pianta con formazione di tessuto cicatriziale che determina ingrossamenti dell'organo colpito e fessurazioni longitudinali del ritidoma. La formazione di cancri veri è propri non è molto frequente; quando si formano manifestano un aspetto irregolare con i tessuti corticali profondamente segnati da lesioni, fessurazioni e screpolature con i margini vistosamente sfilacciati. Se l'infezione interessa l'intera circonferenza del fusto, la parte sovrastante muore e le foglie disseccandosi rimangono attaccate alla pianta. Al di sotto della zona infetta, invece, si ha l'emissione di numerosi getti epicormici.

Sugli organi colpiti il fungo differenzia le strutture di riproduzione, dapprima quella picnidica, in forma di pustole arancioni, e successivamente quella ascofora. I conidi e le spore prodotte rispettivamente in tali strutture possono essere dispersi per mezzo del vento, pioggia, acari, insetti e uccelli vettori (Nannelli e Turchetti, 1994). Questi ultimi in particolare si imbrattano le zampe con i propaguli del fungo che trasportano anche a lunghe distanze posandosi sui rami di piante sane dove, per di più, provocano con gli artigli micro ferite che facilitano la penetrazione del fungo.

Le misure di lotta si basano essenzialmente:

- sulla stretta applicazione delle norme di prevenzione, volte in particolare a: i) impedire l'importazione da altre regioni o Paesi di legno di castagno con corteccia e di piantine infetti. *C. parasitica* è compreso nella lista A2 degli organismi nocivi sottoposti a quarantena stilata dalla Organizzazione Europea per la Protezione delle Piante (EPPO); ii) verificare la sanità del materiale che viene messo a dimora; iii) eliminare tempestivamente i primi focolai d'infezione; iv) disinfettare gli attrezzi utilizzati per gli innesti o la potatura delle piante; v) trattare accuratamente le ferite da innesto con mastici additivati con fungicidi;
- sul controllo biologico attraverso la selezione e diffusione di ceppi indigeni del patogeno ipovirulenti.

Carie del legno. Può causare danni gravi sia sulle piante in piedi, per lo più di età avanzata, sia su legname da opera. È indotta da diversi organismi fungini, in gran parte Basidiomiceti appartenenti all'ordine degli *Aphyllorphorales*, in grado di degradare per via enzimatica la lignina e la cellulosa dei tessuti legnosi che vengono così ridotti in ammassi spugnosi o polverulenti. Le piante in piedi manifestano sintomi visibili di un progressivo declino vegetativo solo quando l'attacco fungino interessa oltre che il legno anche l'alburno. In ogni caso lo sviluppo di processi di carie nel fusto delle piante compromette la sua funzione meccanica di sostegno e predispone le stesse al rischio di schianto. Molti dei funghi che colpiscono le piante di castagno sono agenti di "carie bianca" (capaci di demolire primariamente la lignina); tra i principali meritano di essere menzionati *Fomes fomentarius* (L.) J.J. Kickx, *Hypholoma fascicolare* (Huds.) P. Kumm., *Schizophyllum commune* Fr., *Stereum* spp., *Trametes versicolor* (L.) Lloyd, *Tremella mesentérica* Retz. e *Vuilleminia comedens* (Nees) Maire. Su legname da opera sono invece particolarmente dannosi gli agenti di "carie bruna o cubica" (capaci di demolire primariamente la cellulosa), in particolare: *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With., *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill e *Dedalea quercina* (L.) Pers.

MALATTIE DELLE FOGLIE

Fersa del castagno. Malattia nota anche con il nome di “Nebbia delle castagne”. Il suo agente è l’ascomicete *Mycosphaerella maculiformis* (Pers.) J. Schröt. che attacca di preferenza le foglie e meno frequentemente i nuovi germogli, i ricci, i piccioli fogliari e i peduncoli fiorali. Le foglie colpite presentano inizialmente numerose macchioline angolose di colore bruno – rossiccio (Fig. 6) che successivamente confluiscono determinando il disseccamento, l’accartocciamento e la caduta prematura delle foglie.



Figura 6. Foglia di castagno con sintomi causati da *Mycosphaerella maculiformis*.

I ricci infetti assumono un aspetto rossastro e anch’essi sono soggetti a caduta anticipata. In genere le piante sopravvivono agli attacchi di questo patogeno, ma quando gli stessi sono molto intensi le piante si defogliano prematuramente, vegetano in maniera stentata e manifestano una produttività ridotta (Fig. 7).



Figura 7. Attacco epidemico di *Mycosphaerella maculiformis* in popolamenti di castagno.

La lotta viene effettuata solo nel caso di frequenti e gravi infezioni e consiste in energiche potature e successivo bruciamento delle porzioni di chioma infette. Gli attacchi in vivaio si prevencono normalmente con trattamenti anticrittogamici a base di rame e tubeconazolo.

Mal bianco. Questa malattia, causata dall'ascomicete *Microsphaera alphitoides* Griffon et Maubl., colpisce le piante in primavera ed in autunno quando la temperatura si assesta attorno ai 20-25°C e l'umidità relativa è superiore al 50-60%. Attacca preferibilmente i giovani ricacci provocando alterazioni così gravi da comprometterne la vitalità. Gli organi colpiti si ricoprono con il caratteristico micelio bianco del fungo: le foglie prima ingialliscono e quindi cadono prematuramente dopo essersi deformate, mentre i rametti si sviluppano con internodi più brevi e spesso originano "scopazzi". Raramente, invece, provoca danni sensibili sulle piante adulte.

MALATTIE DEL FRUTTO

La castagna pur essendo considerata un frutto secco, è in realtà facilmente deperibile e pertanto necessita di cure ed attenzioni specifiche sia nelle fasi immediatamente successive alla raccolta sia in quelle che ne precedono l'utilizzo (Giacalone e Bounous, 1993). Quando il frutto cade a terra bisogna raccoglierlo subito in quanto l'ilo ancora permeabile costituisce una via preferenziale per l'ingresso dei patogeni.

Marciume nero delle castagne. Colpisce i frutti in conservazione. L'agente è l'ascomicete *Ciboria batschiana* (Zopf) N.F. Buchw. che attacca le castagne cadute al suolo provocando l'annerimento della polpa, e si diffonde per contatto durante la loro conservazione. La malattia si combatte attraverso la pratica della "curatura" che consiste nell'immergere le castagne, subito dopo la raccolta, in vasche contenenti acqua a temperatura ambiente per 7-9 giorni (per tale ragione è anche chiamata "novena"). Subito dopo vengono allontanate le castagne galleggianti, mentre quelle rimaste sul fondo vengono accatastate per alcuni giorni. In questo modo all'interno della massa si innalzano la temperatura e l'umidità per cui i frutti infetti si ricoprono velocemente del micelio fungino bianco e possono essere allontanati con una semplice cernita (Giacalone e Bounous, 1993). Successivamente le castagne vengono disposte su strati di 40-50 cm movimentandole spesso con delle pale di legno (trapalatura) al fine di favorire una rapida asciugatura.

Mummificazione delle castagne. L'agente è *Phomopsis endogena* (Speg.) Cif. Le castagne infette presentano la polpa rinsecchita, bianca, gessosa e dura. Anche in questo caso la lotta si basa sulla curatura delle castagne e sulla loro conservazione a temperature di 0° per periodi non superiori a 5 settimane o a -2 -4 °C per periodi più lunghi.

SCOPO DELLA RICERCA

Nelle regioni montane della Sardegna centrale si assiste in questi ultimi anni ad un rinnovato interesse verso la castanicoltura. Ciò in seguito all'esigenza maturata in queste zone di salvaguardare l'ambiente e le tradizioni delle aree rurali sfruttando le molteplici valenze del castagno, in particolare quella produttiva, peraltro sostenuta dall'esistenza di un mercato attivo soprattutto in relazione alle castagne di buona qualità.

Sono state così avviate diverse iniziative per il recupero, il miglioramento e la gestione razionale dei castagneti che vedono tra le azioni prioritarie quelle indirizzate a limitare l'incidenza del "cancro della corteccia" causato da *Cryphonectria parasitica*, la cui ampia diffusione ha rappresentato e costituisce ancora oggi un ostacolo allo sviluppo della castanicoltura in Sardegna.

Come già accennato, la lotta contro questa malattia si basa essenzialmente sulla diffusione naturale o artificiale dell'ipovirulenza nelle popolazioni del patogeno. Gli studi finora effettuati in Sardegna hanno riguardato principalmente la valutazione dell'incidenza della malattia in alcune selve castanili del centro dell'Isola; solo in un caso è stata esaminata la diversità della popolazione del patogeno, senza tuttavia, fornire alcuna indicazione pratica su eventuali strategie di lotta basate sull'impiego di ceppi autoctoni a virulenza attenuata (Palmas, 1993; Cortesi *et al.*, 1996; Turchetti e Maresi, 1997).

L'ipovirulenza in *C. parasitica* è causata dalla presenza nel citoplasma miceliare di entità virali a doppia elica (dsRNA) (Peever *et al.*, 1997) che attraverso anastomosi ifali vengono trasmesse ai ceppi virulenti vegetativamente compatibili trasformandoli in ipovirulenti (conversione).

Diversi studi hanno dimostrato come le ife di *C. parasitica* possono essere infettate da numerosi virus appartenenti a tre distinte famiglie: *Hypoviridae*, *Narnaviridae* (genus *Mitovirus*) e *Reoviridae* (Nuss, 2005). Tuttavia, i virus appartenenti alla famiglia *Hypoviridae* sono quelli che rivestono un ruolo primario nella lotta biologica in quanto sono in grado di interferire profondamente nella fisiologia del patogeno attenuandone la

virulenza e riducendo la capacità sia di moltiplicazione agamica che di riproduzione sessuale (Milgroom e Cortesi, 2004). Attualmente si conoscono 4 specie di *Hypovirus* associati a *C. parasitica*: CH-1 (*Cryphonectria Hypovirus 1*) riscontrato per la prima volta in Italia e in Francia, attualmente diffuso soprattutto in Europa e in alcune località della Cina e del Giappone (Peever *et al.* 1998; Allemann *et al.* 1999); CH-2 riscontrato nel New Jersey (USA) e in una popolazione in Cina (Hillman *et al.* 1992; Peever *et al.* 1998); CH-3 diffuso nel Michigan (USA) mentre risulta assente in Asia (Smart *et al.*, 1999); CH-4 riscontrato nella regione montuosa degli Appalachi nell'Est degli USA. Quest'ultima specie di *Hypovirus*, al contrario delle altre tre, non sembrerebbe avere alcuna influenza negativa sulla virulenza di *C. parasitica* (Enebak *et al.*, 1994).

Come detto, all'interno delle popolazioni di *C. parasitica* le particelle virali vengono trasmesse in modo orizzontale attraverso anastomosi ifali tra isolati infetti e isolati virus-free. Tuttavia, la trasmissione delle particelle virali tra gli isolati del fungo è regolata da un meccanismo di incompatibilità vegetativa governato da 6 *vic loci* con due forme alleliche per *locus* (Milgroom e Cortesi, 1999). Di conseguenza, solo quando si incontrano le ife di isolati caratterizzati dal possedere le stesse forme alleliche per ciascun *locus* le particelle virali possono essere trasferite con successo da un isolato all'altro.

Pertanto, l'incompatibilità vegetativa costituisce il principale ostacolo alla naturale diffusione dei determinanti dell'ipovirulenza all'interno delle popolazioni di *C. parasitica* (Anagnostakis, 1983). Questo meccanismo di "controllo" genetico limita e rallenta la diffusione naturale dell'ipovirulenza, soprattutto in quelle aree geografiche, quali il Nord America e l'Asia, dove sono presenti numerosi gruppi di compatibilità vegetativa e dove il fungo si riproduce preferibilmente per via gamica (Milgroom e Cortesi, 2004).

I principali problemi applicativi legati all'impiego di ceppi ipovirulenti nei programmi di risanamento dei castagneti, sono legati al grado di variabilità genotipica della popolazione del patogeno e al numero di gruppi di compatibilità vegetativa (VCG) presenti nel territorio. Ne

deriva che l'identificazione e la valutazione dell'incidenza e della distribuzione geografica dei VCG in una determinata popolazione di *C. parasitica* è di fondamentale importanza per il successo di un piano di difesa.

Nelle ricerche condotte in America dove la popolazione del patogeno è caratterizzata da un elevato grado di diversità genotipica, l'utilizzo di ceppi ipovirulenti per il contenimento della malattia non ha finora fornito risultati soddisfacenti (Anagnostakis, 1990; Liu *et al.*, 2002).

Anche nelle popolazioni europee, dove il fungo si riproduce soprattutto agamicamente, esiste una discreta diversità genotipica delle popolazioni, caratterizzata dalla presenza di numerosi gruppi di compatibilità vegetativa; tuttavia, su scala regionale, le popolazioni sono contraddistinte da un basso grado di diversità, soprattutto nel Sud e nell'Est europeo, e dalla presenza di uno o massimo due VCG dominanti. Quest'ultimo aspetto ha consentito di sviluppare in vari Paesi europei efficaci strategie di risanamento e di controllo biologico della malattia.

I gruppi di compatibilità vegetativa più diffusi in Europa sono 31, alcuni caratterizzati da una netta separazione geografica (Robin e Heiniger, 2001), mentre in Italia ne sono stati individuati 20. Di questi ultimi, però, 4 racchiudono oltre l'85% dei genotipi del fungo diffusi nel territorio nazionale (Cortesi *et al.*, 1996).

In Sardegna, le uniche ricerche per accertare la diffusione dei gruppi di compatibilità vegetativa nelle popolazioni di *C. parasitica* sono state effettuate da Cortesi e coll. nel 1996 su una popolazione di 33 ceppi del patogeno isolati in un castagneto della superficie di circa 1 ettaro nel territorio del Comune di Tonara. Da tali ricerche è emerso che sono presenti 5 VCG, di cui uno solo dominante che comprende circa il 76% dei ceppi indagati. Di conseguenza la diffusione naturale dell'ipovirulenza, almeno nel territorio indagato, appare molto probabile, anche se l'esiguità del campione esaminato non consente ovviamente di generalizzare i risultati.

Pertanto, sulla base di quanto finora esposto in relazione alla biologia di questo importante patogeno del castagno, all'importanza che la variabilità dei gruppi di compatibilità vegetativa riveste nella diffusione dell'ipovirulenza, e tenendo conto sia dell'ampia diffusione della malattia nei castagneti della Sardegna, sia della scarsità di informazioni sulla composizione e struttura delle popolazioni sarde di *C. parasitica*, è parso interessante nell'ambito della tesi di dottorato svolgere ricerche più approfondite per verificare la diffusione dei gruppi di compatibilità vegetativa nelle popolazioni del patogeno presenti nel principale comprensorio castanicolo della Sardegna centrale. Ciò con l'intento non solo di accertare le possibilità di diffusione naturale dell'ipovirulenza nei castagneti, ma anche di porre le basi per lo sviluppo di eventuali programmi di lotta biologica con ceppi ipovirulenti autoctoni appartenenti ai gruppi di compatibilità vegetativa più diffusi nella regione.

Più in particolare le ricerche sono state indirizzate a conseguire i seguenti obiettivi:

1. verificare la diffusione delle tipologie di "cancri" e dei morfotipi di *C. parasitica* presenti nei castagneti esaminati;
2. accertare la diversità delle popolazioni del patogeno;
3. selezionare ceppi ipovirulenti utilizzabili in programmi di lotta biologica.

MATERIALI E METODI

SITI D'INDAGINE

Le ricerche sono state effettuate in 5 castagneti ubicati nel territorio dei Comuni di Aritzo, Belvì, Desulo, Sorgono e Tonara, tutti ricadenti nel distretto castanicolo della Barbagia-Mandrolisai nella Sardegna centrale (Fig. 8). Ogni area di studio è stata georiferita e corredata da una scheda contenente i principali caratteri stazionali e selvicolturali (Tab. 8).

Tabella 8. Principali caratteri stazionali dei castagneti esaminati.

Comune	Tipologia castagneto	Altimetria (m s.l.m.)	Esposizione	Coordinate geografiche
Aritzo	Ceduo	811	Nord-Ovest	39°57' N; 9°11' E
Belvì	Fustaia/ceduo	842	Nord-Est	39°57' N; 9°09' E
Desulo	Fustaia/ceduo	1053	Nord-Est	40°00' N; 9°15' E
Sorgono	Ceduo	843	Sud	40°02' N; 9°05' E
Tonara	Ceduo	943	Nord-Ovest	40°02' N; 9°10' E

Tutti i castagneti in esame, pur caratterizzati da situazioni fortemente eterogenee per età, densità e forme di governo versano in un sostanziale stato di abbandono selvicolturale, più evidente in quelli governati a ceduo dove non è praticato un vero e proprio turno di taglio e le piante sono lasciate in piedi finché non mostrano chiari segni di degrado vegetativo. In essi è stata riscontrata la presenza di piante con età superiore ai 100 anni e piante di appena 20 o 30 anni originatesi dai tagli di ceppaia.

Nei castagneti di Sorgono e di Tonara le cure colturali praticate consistono in una sporadica ripulitura del sottobosco durante il periodo di raccolta delle castagne. Solo, nei castagneti siti in Comune di Belvì e Desulo vengono effettuate con una maggiore frequenza spollonature, tagli di rimonda e potature.

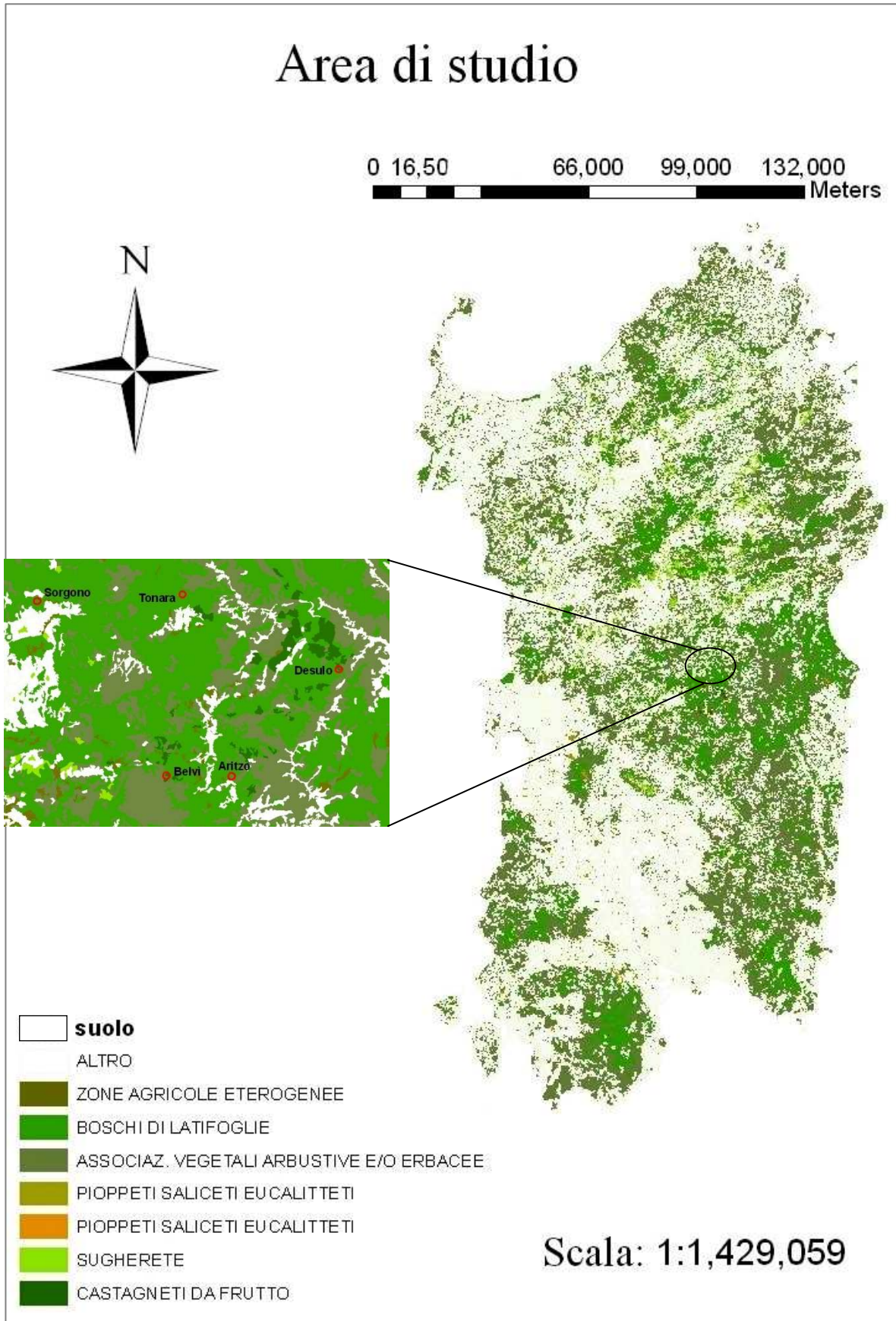


Figura 8. Carta georeferenziata della Sardegna con ubicazione dei siti d'indagine.

VALUTAZIONE DELL'INCIDENZA DELLA MALATTIA

L'incidenza e la gravità degli attacchi di *C. parasitica* in ciascun sito è stata valutata su un campione di 30 piante di castagno individuate *at random* lungo le diagonali di un ipotetico quadrato.

Per ciascuna pianta è stato monitorato lo stato sanitario generale (presenza di rami disseccati, necrosi corticali, strutture riproduttive fungine, ecc.) e, indipendentemente dal numero, la presenza e la tipologia dei cancri causati da *C. parasitica*. A tale proposito, nel corso degli ultimi decenni sono state proposte varie classificazioni per descrivere le tipologie di cancri su castagno (cfr. Turchetti e Maresi, 1990; Turchetti *et al.*, 2008). In questo studio è stato adottato lo schema proposto da Pennisi e coll. (1991) che prevede le seguenti tipologie:

1. cancro iniziale: la corteccia mostra aree di colore rossastro a contorno irregolare che col tempo si fessurano longitudinalmente, spesso associate a una cospicua presenza di picnidi erompenti di colore arancione;
2. cancro evolutivo: la corteccia presenta fessurazioni ampie e profonde fino al legno e tende a sfaldarsi longitudinalmente. Di norma le lesioni si estendono fino ad interessare tutta la circonferenza del ramo o del pollone. Al di sotto dell'area infetta è presente una anomala proliferazione di rami epicormici.
3. cancro involutivo: la corteccia palesa lesioni superficiali che tendono a sfaldarsi sotto forma di piccole scaglie. La presenza di fruttificazioni picnidiche e di rami epicormici è in genere rara.
4. cancro cicatrizzato: le lesioni sono in parte o completamente risanate da un callo di cicatrizzazione.

PRELIEVO DI CAMPIONI E ISOLAMENTO DEL PATOGENO

In ciascun sito sono state individuate *at random* 30 piante di castagno (distanti approssimativamente una decina di metri una dall'altra) con cancri causati da *C. parasitica* (Tab. 9) e nell'autunno del 2004 è stato prelevato dal margine di ciascun cancro un tassello (2 x 2 cm) di tessuto corticale e legnoso. Tutti i campioni sono stati numerati, conservati in una borsa frigo e trasferiti in laboratorio per l'isolamento delle colonie fungine.

Tabella 9. Diverse tipologie di cancro esaminate in ciascun sito.

Comune	Evolutivo	Involutivo	Cicattrizzato
Aritzo	5	23	2
Belvi	8	21	1
Desulo	9	20	1
Sorgono	9	19	2
Tonara	9	20	1
Totale	40	103	7

I tasselli prelevati dai cancri sono stati disinfettati superficialmente mediante immersione per 15 minuti in acqua ossigenata al 10%, risciacquati in acqua sterile ed infine posti ad asciugare su carta sterile in ambiente asettico. Successivamente da ciascun tassello sono stati prelevati alcuni frammenti e posti in piastre Petri contenenti patata-destrosio-agar (PDA). Le piastre così ottenute sono state quindi trasferite in termostato a 25°C per tre giorni, al buio.

Tutte le colonie di *C. parasitica* sviluppatasi sono state trapiantate sempre su PDA in coltura pura e suddivise in base ai loro caratteri morfologici in: *normali* (virulente) di colore rosso-aranciato con numerose fruttificazioni picnidiche; *intermedie* pigmentate di colore arancio senza o

con scarse fruttificazioni picnidiche; *bianche* (ipovirulente) senza o con limitata produzione di picnidi, in accordo con la nomenclatura proposta da Grente e Sauret (1969) e da Bonifacio e Turchetti (1973).

Da tutte le colonie che hanno differenziato picnidi sono state ottenute colture monoconidiche col metodo delle diluizioni successive. Tali colture sono state infine trasferite su PDAMB (PDA addizionato con 100 mg/l di metionina e 1 mg/l di biotina) (Anagnostakis *et al.*, 1986), siglate e conservate a 4°C presso la micoteca del Dipartimento di Protezione delle Piante dell'Università degli Studi di Sassari.

DIVERSITÀ DELLE POPOLAZIONI DEL PATOGENO

SUBPOPOLAZIONI SARDE

La diversità delle popolazioni di *C. parasitica* nei 5 castagneti sardi è stata valutata attraverso lo studio dei gruppi di compatibilità vegetativa. A tale scopo, dischetti di micelio (5 mm Ø), prelevati da colonie di 4 giorni di età, di ognuno dei 131 isolati ottenuti, sono stati appaiati in tutte le possibili combinazioni, alla distanza di circa 2 cm uno dall'altro, in piastre Petri (90 mm Ø) contenenti PDAG (PDB 24 g/l; estratto di malto 7 g/l; estratto di lievito 2 g/l; acido tannico 0,8 g/l; metionina 0,1 g/l; biotina 0,002 g/l; tiamina 0,002 g/l, agar 20 g/l; verde di bromocresolo 0,05 g/l) (Powell, 1995).

La reazione d'incompatibilità tra i differenti isolati, associata alla formazione di una linea di "barrage" di colore bruno-nerastro nella zona di interazione dei miceli, è stata osservata nel retro della piastra dopo 4-10 giorni d'incubazione a 25°C, al buio. Tutti i saggi sono stati effettuati in triplice copia e tutto l'esperimento è stato ripetuto due volte.

Gli isolati risultati incompatibili sono stati inclusi in gruppi di compatibilità vegetativa (VCG) differenti, a ciascuno dei quali è stata attribuita una sigla progressiva. Gli isolati appartenenti allo stesso VCG sono stati considerati come singolo fenotipo.

La diversità presente in seno alla popolazione di una determinata località, è stata valutata sia attraverso il calcolo dell'*Indice V/N*, dove V rappresenta il numero di VCG e N il numero di isolati, sia attraverso il calcolo dell'*indice di Shannon «SI»*, calcolato mediante l'equazione:

$SI = - \sum p_i \times \ln p_i$ dove p_i corrisponde alla frequenza osservata di ciascun fenotipo (Bowman *et al.*, 1971; Cortesi *et al.*, 1996).

La diversità tra le differenti sub-popolazioni è stata confrontata utilizzando l'*indice di Shannon* normalizzato «Hs», espresso dall'equazione

$Hs = \frac{SI}{\ln N}$ dove N rappresenta il numero di isolati di quella popolazione

(Burgess *et al.*, 2001).

CONFRONTO CON I CEPPI TESTER

Al fine di rendere confrontabili i risultati ottenuti in questo studio con quelli ottenuti da altri ricercatori sulle popolazioni di *C. parasitica* in altre regione d'Europa, i 131 isolati sono stati inoltre appaiati con ognuno dei 31 ceppi tester di *C. parasitica*¹ più diffusi in Italia e in Europa, utilizzando la stessa metodica riportata nel precedente paragrafo. Tutti i saggi sono stati effettuati in triplice copia e tutto l'esperimento è stato ripetuto due volte.

PROVE DI CONVERSIONE DEGLI ISOLATI VIRULENTI

È stata saggiata *in vitro* la capacità di due isolati a morfologia bianca (IP II) e (IP VII), appartenenti a ognuno dei due gruppi di compatibilità vegetativa maggiormente diffusi nelle aree esaminate, di convertire 3 isolati a morfologia normale appartenenti allo stesso VCG. A tale scopo dischetti di micelio (5 mm Ø) prelevati da colonie di 4 giorni di età, di

¹ Gli isolati dei ceppi tester EU – pubblicati in: Cortesi P., Milgroom M.G. 1998. Genetics of vegetative incompatibility in *Cryphonectria parasitica*. Applied and Environmental Microbiology, 64 (8): 2988-2994 – sono stati forniti dal prof. Paolo Cortesi dell'Istituto di Patologia vegetale dell'Università di Milano.

ciascun isolato, sono stati posti alla distanza di circa 3 cm l'uno dall'altro in piastre Petri da 90 mm contenenti PDAmb. Le piastre, sono state sigillate con Parafilm e poste ad incubare per 15 giorni in termostato a 25°C, al buio.

I saggi sono stati effettuati in triplice copia e l'esperimento è stato ripetuto due volte.

Trascorsi 15 giorni, dal centro delle colonie a morfologia normale sono stati prelevati 3 dischetti di micelio e trasferiti in nuove piastre Petri contenenti lo stesso substrato di crescita. Dopo una settimana è stato osservato il morfotipo delle colonie (normale, bianco o intermedio) e confrontato con quello della colonia parentale.

Al fine di valutare la stabilità del carattere dopo la conversione le colonie sono state sub-trapiante due volte sempre su PDAmb.

SAGGI FISIOLÓGICI

Il saggio per l'enzima fenolo ossidasi (Bavendamm test) è stato effettuato utilizzando 12 differenti isolati di *C. parasitica*: 2 normali, 2 intermedi; 2 bianchi e 6 artificialmente convertiti. A tal fine, dischetti di micelio (5 mm Ø), prelevati da colonie di 4 giorni di età, sono stati posizionati, alla distanza di circa 3,8 cm uno dall'altro, in piastre Petri da 23 cm di lato contenenti un substrato costituito da: 1,5% di estratto di malto; 2% di Bacto agar; 0,5% acido tannico (Rigling *et al.*, 1989). Il valore di pH finale del substrato è stato aggiustato a 4,5.

L'intensità della colorazione del substrato da parte di ciascun isolato, dopo 4 giorni di incubazione a 25°C al buio, è stata utilizzata come indicatore dell'attività enzimatica.

I saggi sono stati effettuati in triplice copia e l'esperimento è stato ripetuto due volte.

VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ RIPRODUTTIVA DEI CEPPI IPOVIRULENTI

La capacità di due isolati di *C. parasitica* a morfologia bianca IP II e IP VII, di produrre picnidi *in vitro* è stata valutata sia in condizioni di luce naturale, sia al buio e con o senza la presenza di un rametto sterile di castagno posto sulla superficie del substrato. I saggi sono stati effettuati, inoculando al centro di piastre Petri da 60 mm contenenti PDAMB, dischetti di micelio (5 mm Ø) prelevati da colonie di 4 giorni di età. Le piastre, sono state sigillate con Parafilm e poste ad incubare per 15 giorni sia in termostato a 25°C al buio sia su un ripiano esposto a condizioni di luce naturale sempre a 25°C.

I saggi sono stati effettuati in triplice copia e l'esperimento è stato ripetuto due volte.

SAGGI DI PATOGENICITÀ

SU ASTONI

Il grado di virulenza di 11 isolati di *C. parasitica* (2 normali, 1 intermedio, 2 bianchi e 6 artificialmente convertiti) utilizzati anche nei saggi fisiologici, è stato valutato in due distinti esperimenti su astoni di castagno della lunghezza di 50 cm e del diametro di circa 2 cm ottenuti dal taglio di giovani polloni asintomatici.

Prima delle infezioni gli astoni sono stati disinfettati superficialmente con etanolo al 70% per ridurre il rischio di infezioni dovute alla germinazione di eventuali spore fungine già presenti sulla corteccia.

Su ciascun astone è stata praticata con un bisturi sterile un'incisione longitudinale di circa 0,5 cm; nella ferita è stata quindi inoculata una porzione di micelio di circa 3-5 mm², prelevata dal margine di colonie di 5 giorni di età su PDA. Per evitare la rapida disidratazione del micelio, il punto d'inoculo è stato avvolto per 3 giorni con cotone sterile inumidito e protetto con carta stagnola. I testimoni trattati allo stesso

modo sono stati inoculati solo con una porzione di PDA. Le prove sono state effettuate in laboratorio alla temperatura di 25°C in condizioni di luce naturale.

Nel primo esperimento sono stati saggiati tre isolati: uno normale (N I), uno intermedio (I XI) e uno bianco (IP II). In totale sono stati inoculati 24 astoni, 6 per ciascun isolato fungino e 6 testimoni.

Nel secondo esperimento sono stati saggiati 10 isolati: 2 normali, 2 bianchi e 6 convertiti. In totale sono stati inoculati 66 astoni, 6 per ciascun isolato fungino e 6 testimoni. Entrambi gli esperimenti sono stati ripetuti 2 volte.

Alla fine della prova (14 giorni) è stata rilevata su ciascun astone sia la lunghezza dell'imbrunimento a livello sotto-corticale sia l'ampiezza della lesione, stimata attraverso l'utilizzo di una scala empirica riportata in tabella 10.

Tabella 10. Scala di valutazione dell'ampiezza delle necrosi causate dagli isolati di *Cryphonectria parasitica* su astoni di castagno.

Valore	Sintomo
0	Nessun imbrunimento
1	Imbrunimento confinato in prossimità del punto d'inoculo
2	Imbrunimento esteso almeno fino a metà circonferenza del fusto
3	Imbrunimento esteso a tutta la circonferenza

SU POLLONI

Sulla base dei risultati ottenuti nei saggi di patogenicità condotti sugli astoni sono stati successivamente scelti 3 isolati (1 normale, 1 bianco e 1 artificialmente convertito) per le inoculazioni su polloni di castagno.

Le infezioni sono state effettuate nel sito di Desulo a maggio del 2008 su 16 polloni secondo il seguente schema: 4 polloni per ognuno dei 3

isolati fungini e 4 polloni inoculando contemporaneamente l'isolato normale e quello bianco alla distanza di 2 cm. Le infezioni sono state effettuate tramite ferita come riportato in precedenza.

Dopo sei mesi dall'inizio della prova è stata rilevata su ciascun pollone la lunghezza della necrosi corticale e calcolata la sua area utilizzando la formula dell'area dell'ellisse $A = \pi \times a \times b$ dove, a e b sono i due semi assi. È stata utilizzata l'area dell'ellisse in quanto quella maggiormente simile alla forma delle necrosi causate dal fungo sui polloni infettati artificialmente.

ANALISI STATISTICA

I dati rilevati ai saggi di patogenicità sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) a una via e le medie confrontate attraverso il test di confronto multiplo LSD con il programma XLSTAT-2008 (Addinsoft, USA).

RISULTATI E DISCUSSIONE

VALUTAZIONE DELL'INCIDENZA DELLA MALATTIA

I risultati delle indagini effettuate nei 5 castagneti situati nel distretto castanicolo della Barbagia - Mandrolisai hanno messo in evidenza l'ampia diffusione delle infezioni di *C. parasitica* nel territorio. La frequenza di piante con cancri variava da un minimo del 77% nell'area di Desulo ad un massimo del 100% in quelle di Tonara e Belvi (Tab. 11; Fig. 9). Confrontando questi dati con quelli ottenuti da Turchetti e Maresi (1997) in una precedente indagine svolta in Sardegna su 5768 polloni situati in diversi castagneti, si rileva che negli ultimi 10 anni la frequenza delle infezioni di *C. parasitica* è progressivamente aumentata passando da un valore medio del 23% a quello attuale dell'88,6%.

Tabella 11. Percentuale di piante esenti da cancri e di piante con cancri iniziali, evolutivi, involutivi e cicatrizzati in ciascun sito esaminato.

Sito	% di piante				
	esenti da cancri	con cancri iniziali	con cancri evolutivi	con cancri involutivi	con cancri cicatrizzati
Aritzo	13	3	20	40	30
Belvi	0	7	30	63	37
Desulo	23	0	30	37	17
Sorgono	20	3	23	40	13
Tonara	0	0	27	43	30

Tuttavia, dall'esame degli stessi dati si evince che la malattia si trova attualmente in una fase di regressione. Ciò è testimoniato sia dalla bassa percentuale di piante che presentano cancri nello stadio iniziale, sia dall'elevata frequenza in ciascun sito di piante con cancri involutivi causati dagli isolati ipovirulenti del patogeno. I disseccamenti sporadici causati da cancri evolutivi letali interessavano nella maggior parte dei casi i polloni dominati di piccolo diametro.



Figura 9. Differenti tipi di cancri osservati su polloni di castagno: a) cancro iniziale caratterizzato dalla comparsa sulla corteccia di aree rossastre fessurate e rami epicormici; b) cancro evolutivo con profonde fessurazioni della corteccia e numerosi rami epicormici; c) cancro involutivo contraddistinto da lesioni superficiali ed assenza di rami epicormici; d) vecchio cancro in fase di completa cicatrizzazione.

I valori sulla frequenza della malattia riscontrati in questo studio sono simili a quelli riportati da Feducci *et al.* (2008) in una recente ricerca condotta in varie selve castanili della Toscana. Tali autori hanno riscontrato che su un campione di 1431 piante, ben l'88% circa delle stesse era affetta da almeno una delle 4 forme di cancro causate da *C. parasitica*, e che la forma di cancro involutiva era quella più diffusa nell'intero comprensorio con un'incidenza del 40.61%.

ISOLAMENTO DEL PATOGENO

Dai 150 cancri esaminati sono state ottenute 131 colonie di *C. parasitica*. In particolare:

- da 40 cancri evolutivi sono state isolate complessivamente 33 colonie appartenenti a tutti i tipi morfologici (Fig. 10), precisamente: 4 *normali*, 14 *intermedie* e 15 *bianche*. Da 7 cancri non è stata isolata alcuna colonia di *C. parasitica*;



Figura 10. Differenti tipi morfologici delle colonie di *Cryphonectria parasitica* isolate. A sinistra, il tipo *normale* (virulento) con micelio pigmentato di colore arancione e abbondanti fruttificazioni picnidiche; al centro, il tipo *intermedio* con micelio pigmentato di colore arancione ma senza picnidi; a destra, il tipo *bianco* (ipovirulento) con assenza di picnidi.

- da 103 cancri involutivi sono state isolate 8 colonie di tipo *normale*, 35 di tipo *intermedio* e 50 di tipo *bianco*. Da 10 cancri non si è sviluppata alcuna colonia fungina;

- da 7 cancri completamente cicatrizzati sono state isolate 2 colonie di tipo *normale*, 1 di tipo *intermedio* e 2 di tipo *bianco*; da 2 cancri non è stata isolata nessuna colonia.

La distribuzione dei morfotipi di *C. parasitica* nelle aree esaminate è risultata molto variabile. In particolare, dai cancri prelevati sia a Belvi che a Tonara non sono mai state isolate colonie con morfologia di tipo *normale*. In entrambi questi due siti sono state isolate con un'elevata frequenza soprattutto colonie di tipo *bianco* (Tab. 12). Questi risultati differiscono marcatamente da quelli ottenuti da Robin *et al.* (2000) nei castagneti della Corsica meridionale, dove la percentuale di isolati a morfologia *bianca* era appena dell'11%.

Tabella 12. Distribuzione dei morfotipi (*normali*, *intermedi* e *bianchi*) di *Cryphonectria parasitica* nei siti d'indagine.

Siti	Morfotipi di <i>C. parasitica</i>							Totale n.
	Normali		Intermedi		Bianchi		Normali e intermedi/ bianchi	
	n.	(%)	n.	(%)	n.	(%)		
Aritzo	4	15,4	10	38,5	12	46,2	1,2	26
Belvi	0	0	10	38,5	16	61,5	0,6	26
Desulo	8	29,6	11	40,7	8	29,6	2,4	27
Sorgono	2	8,7	8	34,8	13	56,5	0,8	23
Tonara	0	0	11	37,9	18	62,1	0,6	29
Totale	14	10,6	50	38,2	67	51,1	0,9	131

Il rapporto tra i ceppi *normali + intermedi* e i ceppi *bianchi* fornisce una misura dell'entità della conversione naturale dei ceppi virulenti in ipovirulenti in una determinata area. Quando tale rapporto assume valori inferiori a 1 e tendenti allo zero, dimostra una netta prevalenza della forma ipovirulenta ed evidenzia come la conversione naturale di un ceppo nell'altro sia piuttosto

frequente. Al contrario nei castagneti dove il rapporto assume valori superiori ad 1, la forma virulenta è ancora fortemente radicata ed il processo di conversione più contenuto.

I valori ottenuti in questo studio variavano da un minimo di 0,6 ad un massimo di 2,4; quello medio era 0,9. Pertanto si può affermare che il fenomeno della conversione naturale dei ceppi virulenti risulta ancora limitato solo nei castagneti di Desulo. Ciò probabilmente perché i bassi valori termici che caratterizzano queste stazioni non hanno favorito la trasmissione del fattore dell'ipovirulenza tra i ceppi del fungo, mantenendo di fatto all'interno della popolazione del patogeno un'elevata presenza di ceppi *normali*. D'altronde, è noto che il processo di trasferimento del dsRNA da un ceppo all'altro può essere influenzato oltre che da fattori genetici anche da vari fattori ambientali tra i quali in particolare la temperatura (Frieese *et al.*, 1992).

DIVERSITÀ DELLE POPOLAZIONI

SUBPOPOLAZIONI SARDE

I saggi di compatibilità vegetativa hanno consentito di individuare 4 VCG, siglati come S1, S2, S3 e S4 (Tab. 13). Gli isolati fra loro incompatibili formavano, nella zona di contatto tra i miceli, una linea di barrage ben marcata, spesso associata a un'abbondante barriera picnidica (Fig. 11).

I miceli degli isolati compatibili confluivano dando luogo ad anastomosi ifali. Solo due gruppi di compatibilità vegetativa (S1 e S2) comprendevano isolati di differente origine geografica e, solo nel primo gruppo erano compresi isolati provenienti da tutti i siti esaminati.

Il numero di gruppi di compatibilità vegetativa nei differenti siti variava da 2 (nei castagneti di Aritzo, Belvì, Desulo e Tonara) a 3 (Sorgono). In ciascun sito, tuttavia, solo un VCG era dominante: S1 a Belvì e Tonara; S2 ad Aritzo, Desulo e Sorgono. I gruppi dominanti S1 e S2 includevano rispettivamente il 48,9 e il 46,6% degli isolati saggiati, mentre il gruppo S4 il 3,8% e il gruppo S3 lo 0,7%. Inoltre, solo i VCG S1 e S2 comprendevano tutte le tipologie di colonie: *normali*, *intermedie* e *bianche*.



Figura 11. Saggio di compatibilità vegetativa tra isolati di *Cryphonectria parasitica*. Isolati compatibili (C); isolati incompatibili (I).

Per quanto concerne il grado di diversità delle popolazioni, il valore dell'indice V/N , basato sul rapporto tra il numero di gruppi di compatibilità vegetativa e il totale degli isolati esaminati, è risultato più elevato nella popolazione di Sorgono e più basso nelle popolazioni di Desulo e Tonara.

Anche dall'*Indice di Shannon* normalizzato è emerso un valore maggiore di biodiversità per la popolazione di Sorgono ($H_s=0,25$) e minore per quella di Belvì ($H_s=0,15$).

Il grado di diversità delle popolazioni sarde di *C. parasitica* è molto simile a quello osservato recentemente in altre regioni dell'Italia meridionale (Sidoti *et al.*, 2005; Mannerucci *et al.*, 2008), del Sud dei Balcani (Sotirovski *et al.*, 2004) e della Grecia (Perlerou e Diamandis, 2006), mentre risulta inferiore rispetto a quello riportato da Cortesi *et al.* (1998) nel Nord Italia e nel Sud della Svizzera, e da Robin *et al.* (2000), nei castagneti della Francia e della Corsica meridionale dove è stata riscontrata la presenza di 6 VCG su una popolazione di 181 isolati con un valore dell'Indice di diversità di Shannon pari 1,11.

Tabella 13. Distribuzione dei gruppi di compatibilità vegetativa (VCG) di *Cryphonectria parasitica* e relativo numero di isolati per singola località.

VCG	Aritzo	Belvi	Desulo	Sorgono	Tonara	N
S 1	9	21	6	7	21	64
S 2	17	0	21	15	8	61
S 3	0	0	0	1	0	1
S 4	0	5	0	0	0	5
N	26	26	27	23	29	131
V	2	2	2	3	2	
V/N	0,08	0,8	0,07	0,13	0,07	
SI	0,65	0,49	0,53	0,78	0,59	
Hs	0,20	0,15	0,16	0,25	0,17	

N = Numero isolati

V = Numero VCG

SI = Indice di diversità di Shannon

H_s = Indice di diversità di Shannon normalizzato

CONFRONTO CON I CEPPI TESTER

Il confronto dei VCG sardi con i ceppi tester europei del patogeno ha consentito di rilevare che i due VGC dominanti S1 e S2 appartengono rispettivamente al gruppo EU-12 ed EU-2, mentre il VGC S3 al gruppo EU-1, già segnalato in Sardegna (Cortesi *et al.*, 1996) e in Corsica (Robin *et al.*, 2000), e il VCG S4 al gruppo EU-14 finora presente solo in Toscana e mai riscontrato in Sardegna.

La co-presenza dei VCG EU-12 e EU-2 e la loro elevata frequenza nei castagneti esaminati evidenzia un'importante singolarità delle popolazioni sarde di *C. parasitica*, in quanto questi due VCG a livello europeo mostrano una marcata differenziazione geografica: il gruppo EU-12 è diffuso soprattutto nei castagneti del Sud Italia, dei Balcani e della Grecia (Robin e Heiniger, 2001; Sotirovski *et al.*, 2004), mentre il gruppo EU-2 è

maggiormente presente nei castagneti del centro Nord Italia, dell'Austria, del Sud della Svizzera, della Francia e della Spagna (Cortesi *et al.*, 1998; Robin e Heiniger, 2001).

Peraltro, in relazione ai castagneti di Tonara, Cortesi e coll. (1996) avevano riscontrato nella loro indagine che il VCG dominante apparteneva al gruppo EU-2, mentre in questo studio è risultato dominante il gruppo EU-12. Ciò suggerisce che la presenza e la distribuzione dei VCG nelle popolazioni sarde di *C. parasitica* può variare anche nell'ambito dello stesso ambito castanicolo.

PROVE DI CONVERSIONE

I saggi in coltura duale tra gli isolati di *C. parasitica* di tipo *normale* e *bianco* hanno consentito di dimostrare la capacità di 2 di questi ultimi, uno appartenente al VCG EU-2 e uno al VCG EU-12, di convertire i ceppi *normali* in ceppi a morfologia *bianca* con scarsa o nulla produzione picnidica. In particolare, l'isolato (IP II) appartenente al VCG EU-12 è stato in grado di convertire tutti e tre gli isolati a morfologia *normale* con cui è stato saggiato (Fig. 12). La stabilità dei caratteri morfologici degli isolati convertiti è stata confermata anche dopo due sub-trapianti. Invece, l'isolato (IP VII) appartenente al VCG EU-2, è stato in grado di convertire solo uno dei 3 isolati a morfologia *normale* con cui è stato saggiato. I trapianti effettuati dagli altri due appaiamenti hanno originato sempre colonie a morfologia *intermedia* pigmentata ma senza picnidi.

BAVENDAMM TEST

I saggi fisiologici sulla attività enzimatica della fenolo ossidasi hanno consentito di evidenziare la presenza di differenze stabili e ripetibili tra gli isolati a morfologia *normale* e *intermedia* e quelli a morfologia *bianca* (Fig. 13).

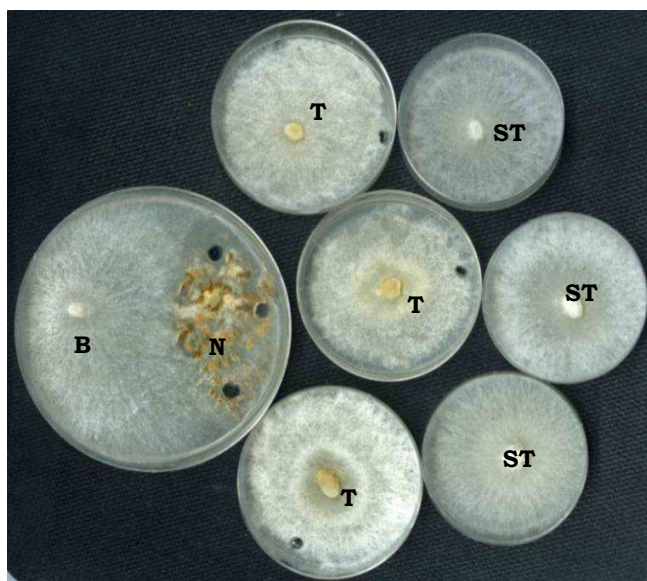


Figura 12. Saggi di conversione in coltura duale. B = colonia a morfologia *bianca* (ceppo IP II); N = colonia a morfologia *normale*; T = colonie trapiantate; ST = sub-trapianti.

Gli isolati sia a morfologia *normale* che *intermedia* dopo 4 giorni d'incubazione coloravano in modo marcato il substrato evidenziando una netta attività enzimatica, mentre gli isolati a morfologia *bianca* producevano solo una blanda e impercettibile colorazione del substrato.

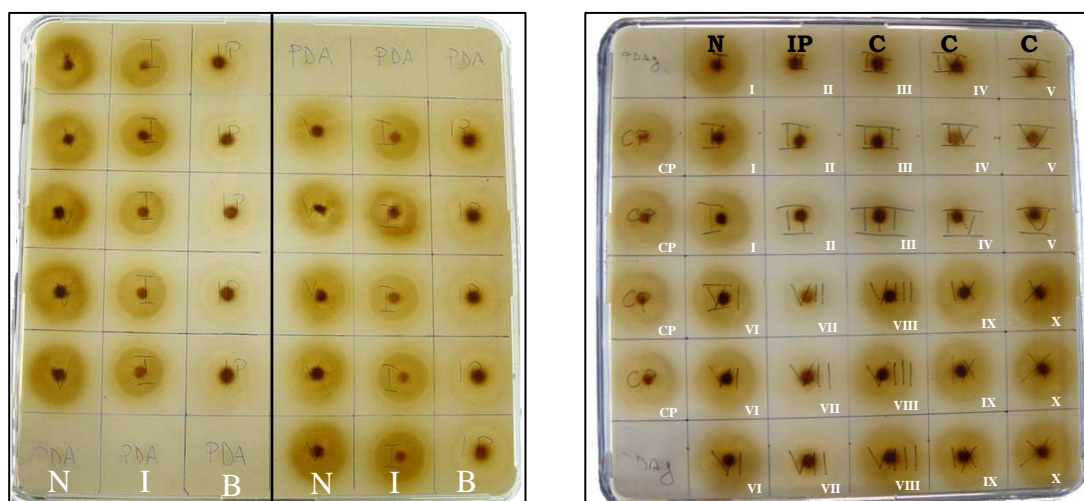


Figura 13. Bavendamm Test: a sinistra reazione colorimetrica degli isolati di *Cryphonectria parasitica* a morfologia *normale* (N), *intermedia* (I) e *bianca* (B); a destra reazione colorimetrica degli isolati utilizzati nei saggi di conversione: CP (Ceppo normale test), N I e N VI (*normali*), IP II e IP VII (*bianchi*), C III, C IV e C V (convertiti dall'isolato IP II), C VIII, C IX e C X (convertiti dall'isolato IP VII).

VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ RIPRODUTTIVA DEI CEPPI IPOVIRULENTI

Entrambi gli isolati a morfologia *bianca* IP II e IP VII hanno mostrato una scarsa capacità di differenziare picnidi nelle condizioni sperimentali impostate.

Una limitata produzione di picnidi è stata osservata solo nelle prove condotte sotto luce naturale e con la presenza di un piccolo rametto sterile di castagno posto sulla superficie del substrato (Fig. 14). Mentre in assenza del ramo di castagno, né al buio né sotto luce naturale gli isolati hanno differenziato strutture picnidiche. Pertanto, la contemporanea presenza dei tessuti dell'ospite e dell'alternanza luce/buio sembrerebbe influire positivamente sulla differenziazione dei picnidi.

Questi risultati confermano la forte influenza che il micovirus esercita nel condizionare la capacità di moltiplicazione agamica di questo fungo.

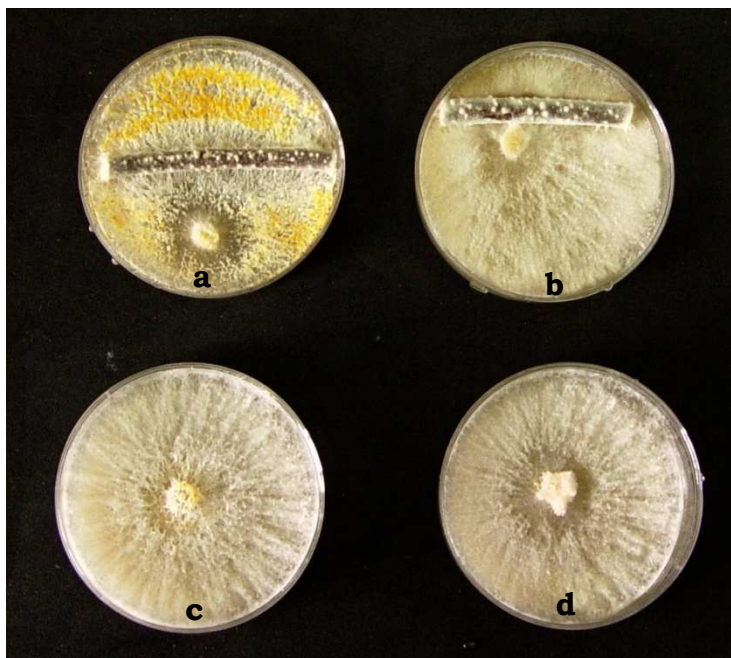


Figura 14. Saggi *in vitro* sulla capacità riproduttiva degli isolati a morfologia *bianca* di *Cryphonectria parasitica*: a) sotto luce naturale e con rametto di castagno; b) al buio e con rametto di castagno; c) sotto luce naturale ma senza rametto di castagno; d) al buio e senza rametto di castagno.

SAGGI DI PATOGENICITÀ

SU ASTONI

I saggi di patogenicità hanno messo in evidenza differenze statisticamente significative della virulenza degli isolati a morfologia *normale* e *intermedia* rispetto all'isolato di tipo *bianco* (Tab. 14). I primi hanno causato la comparsa dopo due settimane di un'ampia necrosi che interessava i tessuti sia corticali che legnosi. Nella maggior parte dei casi la necrosi avvolgeva tutta la circonferenza del ramo (Fig. 15a). Al contrario, l'isolato *bianco* ha causato solo una piccola lesione necrotica confinata al punto d'infezione. Sui testimoni inoculati con PDA si è avuto solo un imbrunimento dei tessuti in corrispondenza della lesione.

Tabella 14. Ampiezza e lunghezza delle necrosi causate dagli isolati dei differenti morfotipi di *Cryphonectria parasitica* inoculati su astoni di castagno.

Isolati saggiati	Ampiezza necrosi*	Lunghezza necrosi [^]
Normale	2,6±0,2	5,7a
Intermedio	2,3±0,2	5,1a
Bianco	1,2±0,1	3,4b
Testimone	0,3±0,2	1,0c

*)Dati espressi come media ± errore standard.

^)Valori in colonna contrassegnati da lettere uguali non differiscono in modo statisticamente significativo al test LSD per ($P=0,05$).

Anche nei saggi condotti utilizzando contemporaneamente isolati *normali*, *bianchi* e *convertiti* sono state rilevate differenze statisticamente significative nella lunghezza delle lesioni necrotiche (Tab. 15). In particolare, i due isolati *normali* hanno prodotto mediamente le lesioni più estese, mentre quelli *bianchi* le lesioni più piccole (Fig. 15b). Tra i ceppi convertiti, solo quelli ottenuti dall'isolato IP II hanno prodotto lesioni di lunghezza statisticamente inferiore a quella delle lesioni causate dai ceppi a morfologia *normale*. Da tutti i tessuti infettati è stato possibile reisolare sempre il patogeno.

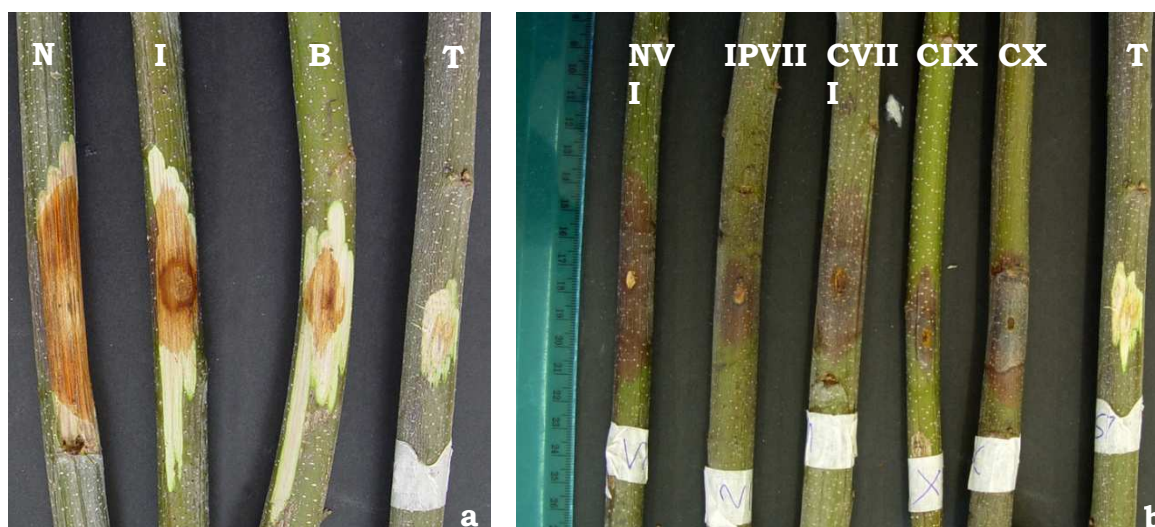


Figura 15. Saggi di patogenicità su astoni: a) lesioni necrotiche causate dagli isolati di *Cryphonectria parasitica* a morfologia normale (N), *intermedia* (I) e *bianca* (B); b) lesioni necrotiche causate degli isoalti di *C. parasitica normale* (N VI), *bianco* (IP VII) e *convertiti* (C VIII, C IX e C X). Testimone (T).

Tabella 15. Ampiezza e lunghezza delle necrosi causate dagli isolati dei differenti morfotipi di *Cryphonectria parasitica* inoculati su astoni di castagno.

Isolati saggiati	Ampiezza necrosi*	Lunghezza necrosi^
Normale (N I)	2,7±0,2	6,3b
Normale (N VI)	3±0,0	7,5a
Bianco (IP II)	1,4±0,4	3,7f
Bianco (IP VII)	1,4±0,1	3,2f
Convertito (C III)	1,8±0,2	3,9ef
Convertito (C IV)	2,2±0,5	4,9de
Convertito (C V)	1,9±0,1	4,3def
Convertito (C VIII)	2,6±0,2	6,3b
Convertito (C IX)	2,2±0,2	5,1cd
Convertito (C X)	2,6±0,2	6,2bc
Testimone	0,5±0,2	1,2g

*)Dati espressi come media ± errore standard.

^)Valori in colonna contrassegnati da lettere uguali non differiscono in modo statisticamente significativo al test LSD per ($P=0,05$).

SU POLLONI

Tutti i polloni infettati con i vari isolati di *C. parasitica* hanno manifestato a 6 mesi dall'inoculazione piccoli cancri che differivano in modo statisticamente significativo per l'ampiezza dell'area necrotica (Tab. 16) e (Fig. 16). Anche in questo caso le lesioni più estese sono state causate dall'isolato a morfologia *normale*.

Le fruttificazioni picnidiche si sono sviluppate solo sui cancri causati dall'isolato *normale*, sia nei polloni dove è stato inoculato singolarmente, sia in quelli dove è stato inoculato insieme all'isolato ipovirulento.

Tabella 16. Lunghezza e area delle necrosi causate dai differenti morfotipi di *Cryphonectria parasitica* inoculati su polloni di castagno.

Isolati saggiati	Lunghezza necrosi*	Area necrosi [^]
Normale (N I)	7±0,7	21,8a
Bianco (IP II)	2,8±0,5	4,1b
Convertito (C III)	6,9±0,8	14,8ab
Normale + bianco	5,8±0,5	16,1 ab

*)Dati espressi come media ± errore standard.

^)Valori in colonna contrassegnati da lettere uguali non differiscono in modo statisticamente significativo al test LSD per ($P=0,05$).



Figura 16. Lesioni causate causate su polloni di castagno inoculati con gli isolati di *Cryphonectria parasitica* di tipo normale (N), bianco (B), convertito (C) e normale + bianco (N+B).

CONCLUSIONI

Le ricerche effettuate per questa tesi di dottorato hanno confermato che il “cancro della corteccia” causato da *C. parasitica* è ampiamente diffuso nella Barbagia-Mandrolisai, regione che ospita il principale comprensorio castanicolo della Sardegna.

I motivi che hanno contribuito in modo diretto o indiretto a creare tale situazione sono da ricercare principalmente nel progressivo abbandono da parte della comunità rurale locale delle normali pratiche selvicolturali che consentono di mantenere le piante in condizioni vegetative ottimali. Per esempio, tutti i cedui esaminati nel corso di questa esperienza hanno un'età generalmente superiore ai 20 anni e presentano una densità elevata di polloni per ceppaia; aspetto quest'ultimo che incrementa la competizione intra e interspecifica delle piante e favorisce la diffusione della malattia.

Tuttavia, aver riscontrato nella zona esaminata una maggiore incidenza di cancri cicatrizzati e involutivi, nettamente predominanti rispetto a quelli evolutivi letali, sta ad indicare che l'andamento epidemico della malattia è attualmente in regressione.

Questo dato confortante è avvalorato anche dall'elevato numero di isolati ipovirulenti ottenuti nel corso degli isolamenti. In particolare, è risultato che il rapporto medio tra gli isolati virulenti + intermedi e quelli ipovirulenti è inferiore all'unità. Ciò evidenzia come la conversione naturale della virulenza sia divenuta nella zona in esame un fenomeno piuttosto frequente.

D'altronde, la conseguente attenuazione dei danni causati dagli attacchi di *C. parasitica* nei castagneti del comprensorio è in linea con quanto rilevato da vari ricercatori anche in altre importanti aree castanicole d'Italia (Sidoti *et al.*, 2005; Feducci *et al.*, 2008; Turchetti *et al.*, 2008).

Ciò nonostante, considerando che questo patogeno in passato ha rappresentato una seria minaccia per la sopravvivenza del castagno in

tutto il suo areale di distribuzione e che ancora oggi causa danni di una certa importanza economica, è buona norma prevedere e applicare sempre adeguate misure sia preventive sia curative, in particolare nei nuovi impianti e in quelli specializzati (Turchetti e Maresi, 2003; Vannini e Vettrano 2004).

L'analisi delle popolazioni di *C. parasitica* ha permesso, da un lato di delineare una prima mappa della distribuzione geografica dei VCG nella Sardegna centrale – mappa che potrà essere implementata con le risultanze di future ricerche negli altri comprensori castanicoli dell'Isola – dall'altro lato di appurare una loro diversità genetica limitata, senza dubbio favorevole per la diffusione dell'ipovirulenza.

Appare anche rilevante aver accertato che i VCG dominanti nelle popolazioni sarde del patogeno appartengono ai due VGC (EU-2 e EU-12) che in ambito europeo presentano una chiara separazione territoriale. Ciò potrebbe essere spiegato dalla posizione geografica della Sardegna, situata tra le regioni dell'Europa centro occidentale, dove è maggiormente diffuso il gruppo EU-2, e quelle dell'Europa Sud orientale dove invece domina il gruppo EU-12 (Robin e Heiniger, 2001). È verosimile, pertanto, che l'introduzione nell'Isola di *C. parasitica* sia avvenuta in più riprese con isolati di differente origine geografica.

Le ricerche effettuate hanno inoltre permesso di individuare, caratterizzare e selezionare un isolato di *C. parasitica* (IP II) a morfologia *bianca* dotato di una buona capacità di conversione dei ceppi virulenti del patogeno, associata per di più ad una scarsa virulenza nei confronti del castagno. Un isolato, pertanto, che si candida ad essere utilizzato con successo in eventuali programmi di lotta biologica finalizzati ad incrementare la diffusione dell'ipovirulenza nei castagneti sardi. Attualmente, anche in previsione di una sua introduzione massiva nell'ambiente, sono in corso ulteriori studi per verificare e caratterizzare la natura della o delle particelle virali che ne determinano l'ipovirulenza.

In conclusione, alla luce dei risultati ottenuti è ragionevole affermare che esistono concrete possibilità di contrastare la diffusione del “cancro

della corteccia” nei castagneti della Sardegna, sviluppando a livello locale efficaci programmi di lotta biologica basati sull’impiego di isolati indigeni del patogeno a virulenza attenuata, appartenenti ai gruppi di compatibilità vegetativa dominanti nella zona.

Quest’ultimo aspetto è di importanza fondamentale, in quanto la diffusione di nuovi genotipi del fungo provenienti da altre aree geografiche, anche della Sardegna, potrebbe determinare attraverso incroci con gli isolati locali la comparsa di nuovi genotipi più virulenti e/o appartenenti a nuovi VCG. Ciò, di fatto, pregiudicherebbe sia il processo di risanamento dei castagneti attualmente in atto con la diffusione naturale dell’ipovirulenza, sia l’efficacia di eventuali interventi di lotta biologica e integrata che si rendessero necessari per accelerare il recupero vegetativo dei popolamenti.

RIASSUNTO

La lotta contro il “cancro della corteccia” del castagno causato da *Cryphonectria parasitica* (Murrill) Barr si basa essenzialmente sulla diffusione naturale o artificiale dell’ipovirulenza nelle popolazioni del patogeno. L’ipovirulenza trasmissibile è un fenomeno naturale, legato alla presenza nel citoplasma del fungo di particelle virali che possono essere trasmesse attraverso anastomosi ifali ai ceppi virulenti vegetativamente compatibili, trasformandoli in ipovirulenti (conversione). Pertanto, l’efficacia dell’ipovirulenza dipende principalmente dal numero di gruppi di compatibilità vegetativa esistenti nelle popolazioni del patogeno infeudate nelle diverse aree castanicole: tanto minore sarà il loro numero, tanto maggiori saranno le possibilità di conversione dei ceppi virulenti.

Le ricerche svolte per questa tesi sono state indirizzate a verificare la diffusione dei gruppi di compatibilità vegetativa nelle popolazioni del patogeno presenti nel principale comprensorio castanicolo della Sardegna centrale. Ciò con l’intento di accertare le possibilità di diffusione naturale dell’ipovirulenza nei castagneti, ma anche di porre le basi per lo sviluppo di eventuali programmi di lotta biologica con ceppi ipovirulenti autoctoni.

Le indagini sono state effettuate in 5 castagneti differenti, ubicati nel territorio dei Comuni di Aritzo, Belvì, Desulo, Sorgono e Tonara, tutti ricadenti nel distretto castanicolo della Barbagia-Mandrolisai. In ciascun sito sono state campionate at random 30 piante di castagno e in ciascuna di esse è stato rilevato il tipo di “cancro” (iniziale, evolutivo, involutivo, cicatrizzato). Inoltre, dal margine di un cancro/pianta (complessivamente, 40 cancri evolutivi, 103 involutivi e 7 cicatrizzati) è stato prelevato un tassello di tessuto corticale e legnoso per l’isolamento patogeno. Da tutte le colonie sviluppatesi (131), previamente suddivise in base ai caratteri morfologici in normali (virulente), intermedie e bianche (ipovirulente), sono state ottenute colture monoconidiche, poi utilizzate per: a) individuare i gruppi di compatibilità vegetativa, b) confrontare i ceppi di tali gruppi con i ceppi tester più diffusi in Europa, c) definire la diversità delle popolazioni

applicando l'indice di Shannon, d) saggiare le capacità di conversione dei ceppi ipovirulenti selezionati, e) verificare la loro attività enzimatica, la capacità riproduttiva in condizioni colturali differenti e il loro grado di virulenza su astoni recisi e su polloni di castagno.

I risultati hanno evidenziato che la malattia è presente in tutti i siti del comprensorio. La frequenza delle piante infette variava dal 76% nel sito di Desulo al 100% in quelli di Tonara e Belvì. Tuttavia, è stato rilevato un numero di cancri cicatrizzati e involutivi nettamente superiore a quello dei cancri virulenti letali, a dimostrazione che l'andamento epidemico della malattia è in fase di regressione. Ciò è avvalorato anche dall'elevato numero ceppi ipovirulenti isolati e dal rapporto inferiore a 1 esistente tra i ceppi a morfologia normale + intermedia e i ceppi bianchi che conferma una diffusione naturale dell'ipovirulenza nelle popolazioni del patogeno.

L'analisi della distribuzione dei gruppi di compatibilità vegetativa (VCG) nelle popolazioni di *C. parasitica* ha evidenziato una bassa diversità genotipica delle stesse. I gruppi VCG dominanti appartengono ai gruppi europei EU 2 ed EU 12, entrambi ampiamente diffusi in Italia. Oltre a questi, però, è stata accertata anche la presenza di ceppi appartenenti al gruppo EU 1, già segnalato in Sardegna, e al gruppo EU 14 finora mai riscontrato nell'Isola. I diversi saggi biologici (capacità riproduttiva), fisiologici (bavendam test) e patogenetici effettuati hanno consentito di caratterizzare i ceppi sardi di *C. parasitica* e di accertare come l'ipovirulenza determini una riduzione della fertilità, dell'attività enzimatica (fenolo ossidasi) e del grado di virulenza del fungo.

Infine, in base ai risultati dei saggi di conversione tra ceppi normali e bianchi di *C. parasitica* è stato selezionato un ceppo ipovirulento appartenente al gruppo EU 12, il più diffuso nei castagneti esaminati, dotato di una buona capacità di conversione, di un bassissimo grado di virulenza e di una discreta capacità riproduttiva; un isolato, pertanto, che si candida ad essere utilizzato con successo in eventuali programmi di lotta biologica finalizzati ad incrementare la diffusione dell'ipovirulenza nei castagneti sardi.

ABSTRACT

STUDIES ON POPULATION STRUCTURE OF *CRYPHONECTRIA PARASITICA* OF CENTRAL SARDINIA CHESTNUT FORESTS AIMED TO SELECT IPOVIRULENT STRAINS USEFUL IN BIOLOGICAL CONTROL

The occurrence and diversity of vegetative compatibility (vc) types in populations of *Cryphonectria parasitica*, the causal agent of chestnut blight, were examined throughout five chestnut-growing areas in central Sardinia (Italy).

The hypovirulent strains of the pathogen were more frequently isolated with respect to virulent ones. Four vc types were identified among the 131 isolates, obtained from 150 randomly selected cankers (30 for each area) by means of European tester isolates (EU). EU-12 and EU-2 groups were the dominant vc types, reaching a percentage of 48,9% and 46,6% respectively, followed by EU-14 (3,8%) and EU-1 (0,7%). EU-12 was found in all five populations investigated, whereas EU-2 was isolated from four populations; EU-1 and EU-14 were found each in only one population.

The low diversity of the Sardinian vc types was comparable with that of other countries where the pathogen was recently introduced. The composition pattern of Sardinian vc types is very peculiar because include two dominant vc types: EU-2, usually dominant in North Italy and Western Europe, and EU-12 more frequent in Southern Italy, Balkans and Greece.

In conclusion, the low diversity in vc types and the natural occurrence of superficial non-lethal cankers in all chestnut-growing areas support the possibility of successful application of biological control measures at local level in Sardinian chestnut forests.

Key words: chestnut blight, pathogens, vegetative compatibility.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ACKERMAN W.L., JAYNES H.T. 1980. Budding the epycotyls of sprouted chestnut seeds. *HortScience*, 15 (2): 186 – 187.
- ADUA M. 2002. Castagne e marroni, frutti di qualità. *L'informatore Agrario*, 58 (29): 62 – 66.
- ALLEMANN C., HOEGGER P., HEINIGER U., RIGLING D. 1999. Genetic variation of *Cryphonectria hypoviruses* (CHV-1) in Europe, assessed using RFLP markers. *Molecular Ecology*, 8: 843–854.
- ANAGNOSTAKIS S.L. 1983. Conversion to curative morphology in *Endothia parasitica* and its restriction by vegetative compatibility. *Mycologia*, 75: 777 – 780.
- ANAGNOSTAKIS S.L., HAU B., KRANZ J. 1986. Diversity of vegetative compatibility groups of *Cryphonectria parasitica* in Connecticut and Europe. *Plant Disease*, 70: 536 – 538.
- ANAGNOSTAKIS S.L. 1987. Chestnut blight: The classical problem of an introduced pathogen. *Mycologia*, 79: 23 – 37.
- ANAGNOSTAKIS S.L. 1990. Improved chestnut tree condition maintained in two Connecticut plots after treatments with hypovirulent strains of the chestnut blight fungus. *Forest Science*, 36: 113 – 124.
- ANSELMINI N., GIORDANO E., VANNINI A., TROIANI L., NAPOLI G., CRIVELLI L. 1996. Il mal dell'inchiostro del castagno in Italia: una vecchia malattia ritorna attuale. *Linea ecologica*, 5 (27): 39 – 44.
- ARRIGONI P. V. 1968. Fitoclimatologia della Sardegna. *Webbia*, 23: 1 – 100.
- ARU A., BALDACCINI P., PIETRACAPRINA A. 1967. I suoli della Sardegna. *Studi Sassaresi*, sez. III, vol XV, fasc. 2: 308 – 362.
- BAGNARESI U., GIANNINI R. 1979. I castagneti da legno in Italia. Produttività e valorizzazione dei castagneti da frutto e dei cedui di castagno. *Accademia Nazionale di Agricoltura*, Bologna: 145 – 178.
- BALDACCI E., ORSENIGO M. 1952. Chestnut blight in Italy. *Phytopathology* 42 (4): 38 – 39.
- BARAGLIU A.C. 1979. Tavola alsometrica per i cedui di castagno in Sardegna.
- BELLINI E. 1995a. Salviamo i castagneti per la produzione di pregevoli marroni. *L'informatore Agrario*, 24 (51): 39 – 48.

- BELLINI E. 1995b. Recupero e ricostituzione dei castagneti da frutto. *L'Informatore Agrario*, 28 (51): 65 – 79.
- BERNETTI G. 1995. *Selvicoltura Speciale*. UTET, Bologna. 415 pag.
- BIGNANI G.R., SALOTTO A. 1983. *La civiltà del Castagno*. L'Arciere, Cuneo: 126 pag.
- BISIACH M., DE MARTINO A., GOBBI E., INTROPIDO M., VEGETTI G. 1988. Studies on chestnut blight: activity report. *Rivista di Patologia Vegetale* (S. IV), 24: 3 – 13.
- BONIFACIO A., TURCHETTI T. 1973. Differenze morfologiche e fisiologiche in isolati di *Endothia parasitica* (Murr.) And. *Annali Accademia italiana di Scienze Forestali*, 22: 111 – 131.
- BOUNOUS G., BOUCHET M., GOURDON L. 1992. Ricostituzione del castagneto da frutto tradizionale: interventi in Piemonte e nel sud della Francia. *L'Informatore Agrario*, 9 (48): 155 – 160.
- BOUNOUS G. 1998. Strategie d'intervento per il recupero dei castagneti. *L'Informatore Agrario*, 54 (40): 67 – 72.
- BOUNOUS G., GOMES ABREU C.A. 1998. Metodi di lotta integrata al mal dell'inchiostro. *L'Informatore Agrario*, 46: 87 – 90.
- BOUNOUS G. 2002. *Il castagno. Coltura, ambiente ed utilizzazioni in Italia e nel mondo*. Ed Agricole, Bologna: 311 pag.
- BOWMAN K.O., HUTCHENSON K., ODUM E.P., SHENTON L.R. 1971. Comments on the distribution of indices of diversity. In: *Statistical Ecology*, Patil GP, Pielou EC, Waters WE, (eds). Pennsylvania State University Press, London: 315 – 359.
- BREISCH H. 1995. *Châtaignes et marrons*. Ctifl, Paris. 239 pag.
- BURGESS T., WINGFIELD B.D., WINGFIELD M.J. 2001. Comparasion of genotypic diversity in native and introduced populations of *Sphaeropsis sapinea* isolated from *Pinus radiata*. *Mycological Research*, 105: 1331 – 1339.
- CAMARDA I., VALSECCHI F. 1993. *Alberi e Arbusti spontanei della Sardegna*. Ed. Gallizzi, Sassari. 477 pp.
- CASULA G. 1992. *Il cancro del castagno in Sardegna (Provincia di Nuoro e Oristano)*. Tesi di laurea. Università degli Studi di Firenze.
- CATASTO AGRARIO. 1929, 1938. *Sardegna*, Voll. 1 – 2 – Roma.
- CERCHI – PABA F. 1974-1977. *Evoluzione storica dell'attività industriale agricola caccia e pesca in Sardegna*. Stochiero, Vicenza.

- COLLINS J.F. 1915. The chestnut bark disease on freshly fallen nuts. *Phytopathology*, 5: 233 – 235.
- CORTESI P., MILGROOM M.G., BISIACH M. 1996. Distribution and diversity of vegetative compatibility types in subpopulations of *Cryphonectria parasitica* in Italy. *Mycological Research*, 100 (9):1087 – 1093.
- CORTESI P., MILGROOM M.G. 1998. Genetics of vegetative incompatibility in *Cryphonectria parasitica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64 (8): 2988 – 2994.
- CORTESI P., RIGLING D., HEINIGER U. 1998. Comparison of vegetative compatibility types in Italian and Swiss subpopulations of *Cryphonectria parasitica*. *European Journal of Forest Pathology*, 28: 167 – 176.
- CRANDALL B.S., GRAVATT G.F., RYAN M.M. 1945. Root disease of *Castanea* species and some coniferous and broadleaf nursery stocks, caused by *Phytophthora cinnamomi*. *Phytopathology*, 35: 162 – 180.
- CRISTINZIO G. 1986. Un nuovo pericolo per la castanicoltura italiana. *Atti, "Giornate Fitopatologiche"*, 2: 223 – 228.
- ENEBAK S.A., MACDONALD W.L., HILLMAN B.I. 1994. Effect of dsRNA associated with isolates of *Cryphonectria parasitica* from the central Appalachians and their relatedness to other dsRNAs from North America and Europe. *Phytopathology*, 84: 528 – 534.
- FEDUCCI M., ZEBI M., BAGNOLI M., CAPRETTI P. 2008. Diffusione dei ceppi ipovirulenti di *Cryphonectria parasitica* in Toscana in relazione ad alcuni parametri climatico-ambientali. *Forest@*, 5: 131 – 135.
- FERRINI F. 1992. La propagazione vegetativa del castagno. *Frutticoltura*, 12: 43 – 48.
- FRIESE C.F., ALLEN M.F., MARTIN R., VAN ELFEN N.K. 1992. Temperature and structural effects on transfer of double stranded RNA among isolates of chestnut blight fungus (*Cryphonectria parasitica*). *Applied and Environmental Microbiology*, 58: 2066 – 2070.
- FULBRIGHT D.W., WEIDLICH W.H., HAUFLER K.Z., THOMAS C.S., PAUL C.P. 1983. Chestnut blight and recovering American chestnut tree in Michigan. *Canadian Journal of Botany*, 61: 3164 – 3171.
- GIACALONE G., BOUNOUS G. 1993. Tradizione e innovazione nella trasformazione e nell'utilizzo delle castagne. *Monti e Boschi*, 5: 33 – 41.
- GRAVES A.H. 1950. Relative blight resistance in species and hybrids of *Castanea*. *Phytopathology*, 40 (1): 1125 – 1131.

- GREUTE J. 1965. Les formes hypovirulentes d'*Endothia parasitica* et les espoirs de lutte contre le chancre du chataingnier. C. R. Acad. Agric. France, 51: 1033 – 1037.
- GREUTE J., SAURET S. 1969. L'hypovirulence exclusive est-elle contrôlée par les déterminants cytoplasmiques? C.R. Hebd. Seances Acad. Sci., Ser. D. 268: 3173 – 3176.
- HEINIGER U., RIGLING D. 1994. Biological control of chestnut blight in Europe. Annual Review of Phytopathology, 32: 581 – 599.
- HILLMAN B.I., TIAN Y., BEDKER P.J., BROWN M.P. 1992: A North American hypovirulent isolate of the chestnut blight fungus with European isolate-related dsRNA. J. Gen. Virol, 73: 681 – 686.
- I.N.F.C. INVENTARIO NAZIONALE DELLE FORESTE E DEI SERBATOI FORESTALI DI CARBONIO. 2005. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale – Corpo Forestale dello Stato. CRA – Istituto Sperimentale per l'Assesamento Forestale e per l'Alpicoltura.
- I.S.T.A.T. ISTITUTO CENTRALE DI STATISTICA. 1950 – 1997. Annuari di Statistica Forestale.
- JAYNES H.T. 1965. Nurse seed grafts of chestnut species and hybrids. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 86: 178 – 182.
- JOHNSON G.P. 1988. Revision of *Balanocastanon* (Fagaceae). J. Arnold Arbor, 69 (1): 25 – 49.
- LIU Y.-C. 1995. Population biology and transmission of hypoviruses in population of *Cryphonectria parasitica*. Ph.D. Dissertation. Cornell University, Ithaca, New York, U.S.A.
- LIU Y.-C., CORTESI P., DOUBLE M. L., MACDONALD W. L., MILGROOM M. G. 1996. Diversity and multilocus genetic structure in populations of *Cryphonectria parasitica*. Phytopathology, 86: 1344 – 1351.
- LIU Y.-C., DOUBLE M.L., MACDONALD W.L., MILGROOM M.G. 2002. Persistence of *Cryphonectria* hypoviruses after their relase for biological control of chestnut blight in West Virginia forests. For. Pathol., 32: 345 – 356.
- MANNERUCCI F., GALLO M., LUISI N. 2008. Compatibilità vegetative in una popolazione di *Cryphonectria parasitica* propria della Calabria settentrionale. Micologia Italiana, 2: 21 – 28.
- MARRAS G. 1988. Caratteri vegetazionali dei castagneti della Sardegna centrale. Università degli Studi di Firenze. Facoltà di Agraria. Tesi di laurea inedita.
- MERENDI A. 1954. Cipresso, Enciclopedia Agraria Italiana.

- MILELLA A., DETTORI S. 1987. La castanicoltura sarda: indagine pomologica su alcune varietà di frutto. In *Cellulosa e Carta*, 2: 9 – 16.
- MILGROOM M.G., WANG K., ZHOU Y., LIPARI S.E., KANEKO S. 1996. Intercontinental population structure of the chestnut blight fungus, *Cryphonectria parasitica*. *Mycologia*, 88: 179 – 190.
- MILGROOM M.G., CORTESI P. 1999. Analysis of population structure of the chestnut blight fungus based on vegetative incompatibility genotypes. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 18: 10518–10523.
- MILGROOM M.G., CORTESI P. 2004. Biological control of chestnut blight with hypovirulence: a critical analysis. *Annual Review of Phytopathology*, 42: 311 – 338.
- MINIATI U. 1983. Un metodo d'innesto su seme. Atti 2° Convegno Interregionale del castagno. Castel del Rio, 14 maggio 1983.
- NANNELLI R., TURCHETTI T. 1994. The probable role of corticolous mites in the natural spread of *Cryphonectria parasitica*. In: Double M. e MacDonald W. L. eds, *Proc. Intern. Chestnut Conf. July 1992 – West Virginia University*: 167 – 169.
- NUSS D.L. 2005. Hypovirulence: Mycoviruses at the fungal? plant interface. *Nature Reviews Microbiology*, 3: 632 - 642 .
- PALMAS M. 1993. Ritrovamento di ceppi ipovirulenti autoctoni di *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr (= *Endothia parasitica* (Murr.) Anderson) su castagno in Sardegna e prove di compatibilità. *Boll. Soc. Sarda Sci. Nat.*, 29: 97 – 102.
- PARK K.S. 1967. New method of juvenile tissue grafting walnut, chestnut, ginkgo and oak. *Res. Rep. Inst. for Genet.*, 5: 75 – 84.
- PEEVER T.L., LIU Y.-C., MILGROOM M.G. 1997: Diversity of hypoviruses and other doublestranded RNAs in *Cryphonectria parasitica* in North America. *Phytopathology*, 87: 1026 – 1033.
- PEEVER T.L., LIU Y.-C., WANG K., HILLMAN B.I., FOGLIA R., MILGROOM M.G. 1998. Incidence and diversity of double-stranded RNAs infecting the chestnut blight fungus, *Cryphonectria parasitica*, in China and Japan. *Phytopathology*, 88: 811 – 817.
- PENNISI A.M., GRANATA G., SIDOTI A. 1991. Diffusione ed aspetti micologici di *Cryphonectria parasitica* in Calabria e Sicilia. *Micologia Italiana*, 3: 21 – 26.

- PERLEROU C., DIAMANDIS S. 2006: Identification and geographic distribution of vegetative compatibility types of *Cryphonectria parasitica* and occurrence of hypovirulence in Greece. *Forest Pathology*, 36: 413 – 421.
- PETRI L. 1917a. Ricerche sulla morfologia et biologia della *Blepharospora cambivora*, parassita del castagno. *Rend. R. Ac. Lincei*, 26: 287 – 299.
- PETRI L. 1917b. Studi sulla malattia del Castagno detta “dell’inchiostro”. Firenze, M. Ricci ed. 182 pag.
- PETRI L. 1930. La formazione degli organi della riproduzione sessuale della *Phytophthora (Blepharospora cambivora)* in culture pure. *Boll. Staz. Pat. Veg. Roma*, 10: 361 – 365.
- PIRAZZOLI . 1991. Situazione e prospettive commerciali delle castagne in Italia. *Frutticoltura*, 12: 17 – 23.
- POWELL W.A. 1995. Vegetative incompatibility and mycelial death of *Cryphonectria parasitica* detected with a pH indicator. *Mycologia*, 87: 738 – 741.
- RIGLING D., HEINIGER U., HOHL H.R. 1989. Reduction of laccase activity in dsRNA-containing hypovirulent strains of *Cryphonectria (Endothia) parasitica*. *Phytopathology*, 79: 219 – 223.
- ROBIN C., ANZIANI C., CORTESI P. 2000. Relationship between biological control, incidence of hypovirulence, and diversity of vegetative compatibility types of *Cryphonectria parasitica* in France. *Phytopathology*, 90: 730 – 737.
- ROBIN C., HEINIGER U. 2001. Chestnut blight in Europe: diversity of *Cryphonectria parasitica*, hypovirulence and bio-control. *For. Snow Landsc. Res.*, 76: 361 – 367.
- SIDOTI A., GRANATA G., SARACENO F., MAUGERI R., FINOCCHIARO R., STRANO A. 2005. Compatibilità vegetativa di ceppi di *Cryphonectria parasitica* isolati in castagneti dell’Etna. *Tec. Agric.*, 3: 3 – 7.
- SMART C.D., YUAN W., FOGLIA R., NUSS D.L., FULBRIGHT D.W., HILLMAN B.I. 1999. *Cryphonectria* hypovirus 3, a virus species in the family Hypoviridae with a single open reading frame. *Virology*, 265: 66–73.
- SOTIROVSKI K., PAPASOVA-ANAKIETA I., GRUNWALD N.J., MILGROOM M.G. 2004. Low diversity of vegetative compatibility types and mating type of *Cryphonectria parasitica* in the southern Balkans. *Plant Pathology*, 53: 325 – 333.

- TURCHETTI T., MARESI G. 1990. Indagini sulla diffusione naturale degli isolati ipovirulenti di *Cryphonectria parasitica* in alcuni cedui di castagno. Atti Giornate Fitopatologiche 1990, 2: 89 – 98.
- TURCHETTI T., MARESI G. 1997. L'influenza del cancro della corteccia e del mal dell'inchiostro sulla castanicoltura in Italia. In Atti del Convegno Nazionale sul castagno, Cison di Valmarino 23-24-25 ottobre 1997.: 417 – 434.
- TURCHETTI T., MARESI G., NITTI D., GUIDOTTI A., MICCINESI G., ROTUNDARO G. 2000. La diffusione del mal dell'inchiostro nei castagneti del Mugello (FI). Monti e Boschi, 51 (5): 26 – 31.
- TURCHETTI T., MARESI G. 2003. Criteri fitosanitari per la gestione dei castagneti da frutto. Frutticoltura, 10: 27 – 30.
- TURCHETTI T., FERRETTI F., MARESI G. 2008. Natural spread of *Cryphonectria parasitica* and persistence of hypovirulence in three Italian coppiced chestnut stands. Forest Pathology, 38: 227 – 243.
- VANNINI A., VETTRAINO A.M., ANSELMINI N. 2002. Patologia. In: G. Bounous, Il Castagno. Coltura, ambiente ed utilizzazioni in Italia e nel mondo. Edagricole, Bologna: 103 – 113.
- VANNINI A., VETTRAINO A.M. 2004. Aspetti di epidemiologia e difesa relativi alle principali avversità patologiche del castagno. Informatore Fitopatologico, 5: 20 – 24.
- VIEITEZ M.L, VIEITEZ A.M. 1981a. Injerto sobre castañas germinadas. Anal. Edaf. Agrobiol., 40 (1-2): 317 – 326.
- VIEITEZ M.L, VIEITEZ A.M. 1981b. Injerto en hipocotilo do plantulas de castaño. Anal. Edaf. Agrobiol., 40 (3-4): 647 – 655.
- VIEITEZ M.L, VIEITEZ A.M. 1982. Observaciones sobre el injerto juvenil de castaño. Anal. Edaf. Agrobiol., 41 (9-10): 1999 – 2002.
- VIEITEZ M.L., VIEITEZ A.M. 1983. Modificaciones histológicas inducidas por tratamientos con sustancias de crecimiento en el injerto sobre castañas germinadas. Phytion, 43 (2): 179 – 184.
- VIGIANI D. 1943. La coltivazione del castagno. Società Anonima Editrice Dante Alighieri, Città di Castello, (PG). 132 pag.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia sentitamente il Prof. Paolo Cortesi, dell'Istituto di Patologia vegetale dell'Università degli Studi di Milano, per aver fornito i ceppi tester impiegati nelle prove di compatibilità vegetativa.