



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI ED AMBIENTALI

**MONITORAGGIO DI FOCOLAI ATTIVI DI
MAL DELL'INCHIOSTRO DEL CASTAGNO
NELLE MARCHE**

Monitoring of Ink disease foci in Marche region

TIPO TESI: SPERIMENTALE

Studente:
EMILIANO TICALI

Relatore:
PROF. SERGIO MUROLO

Correlatore:
DOTT. ALESSANDRO VITALI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO

ELENCO DELLE FIGURE.....	3
INDICE DELLE TABELLE.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUZIONE.....	7
1.1 INQUADRAMENTO ECOLOGICO E BOTANICO DEL CASTAGNO.....	7
1.2 IMPORTANZA DEL CASTAGNO IN ITALIA E SULL'APPENNINO.....	8
1.3 PROBLEMATICHE FITOSANITARIE.....	10
1.3.1 Cancro corticale.....	10
1.3.2 Marciume radicale fibroso.....	12
1.3.3 Carie del legno.....	12
1.3.4 Fersa del castagno.....	13
1.3.5 Mal bianco del castagno.....	14
1.3.6 Mosaico del castagno.....	15
1.3.7 Malattie del frutto.....	16
2. MAL DELL'INCHIOSTRO DEL CASTAGNO.....	17
2.1 Agenti causali e ciclo della malattia.....	17
2.2 Epidemiologia e condizioni predisponenti.....	20
2.3 Sintomatologia.....	21
3. SCOPO DELLA TESI.....	23
4. MATERIALI E METODI.....	25
4.1 Inquadramento dell'area.....	25
4.1.1 <i>Parco Nazionale dei Monti dei Sibillini e Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga</i>	25
4.1.2 <i>Il clima</i>	28
4.1.3 <i>Caratteristiche geologiche dei siti</i>	28
4.1.4 <i>Caratteristiche vegetazionali e cenosi</i>	29
4.2 Rilievo fitosanitario.....	31
4.3 Analisi dei dati.....	33
5. RISULTATI E DISCUSSIONI.....	34
5.1 Area di studio A1 – Pozza, Acquasanta Terme (AP).....	42
5.2 Area di studio A2 – Faete, Arquata del Tronto (AP).....	44

5.3	Area di studio A3 – Spelonga, Arquata del Tronto (AP).....	46
5.4	Area di studio A4, Altino di Montemonaco sito (A), Montemonaco (AP).....	48
5.5	Area di studio A5, Altino di Montemonaco (sito B), Montemonaco (AP).....	51
5.6	Area di studio A6, Uscerno, Montegallo (AP)	54
6.	CONCLUSIONI.....	57
7.	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	58

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1 - (A) distacco della cortecchia; (B) micelio biancastro del fungo; (C) emissione di getti epicormici sotto il punto di infezione (fonti: Regione Lombardia e www.waldwissen.net).	11
Figura 2 - (A) micelio sottocorticale della tipica forma a placche; (B) rizomorfe (fonte: www.upkeepthealps.eu/wp-content/uploads/2020/02/7-CASTAGNO-SELVE.pdf).	12
Figura 3 - carie bianca (A); carie bruna (B).	13
Figura 4 - Foglie di castagno attaccate dalla fersa con tipiche punteggiature, disseccamento e accartocciamento dell'organo (fonte: https://www.koesti.it/fatti_interessanti_it_11.html).	13
Figura 5 - Caratteristico micelio bianco di <i>Microsphaera alphitoides</i> sulla pagina superiore delle foglie (fonte: Tesi di Osman V. 2019).	14
Figura 6 - Decolorazione a mosaico (sinistra); arricciamento della lamina fogliare e macchie necrotiche irregolari localizzate ai margini (destra).	15
Figura 7 - (A) esempio di marciume nero ad opera di <i>Ciboria</i> sp.; (B) esempio di marciume bruno ad opera di <i>Gnomoniopsis</i> sp.	16
Figura 8 - Ciclo biologico di <i>Phytophthora</i> spp. (fonte: https://es.wikipedia.org/wiki/Phytophthora).	18
Figura 9 - (A) sporangi; (B) zoospora; (C) clamidospora; (D) oospora.	19
Figura 10 - Sintomi mal dell'inchiostro: (A) Ingiallimento, microfillia e deperimento della chioma; (B) caratteristica necrosi a fiamma a livello del colletto e imbrunimento e necrosi dei tessuti.	22
Figura 11 - Rappresentazione 3D del territorio delle aree di studio (localizzate in giallo) tramite l'utilizzo di Google Earth.	25
Figura 12 - Distribuzione degli habitat 9260 - Boschi di <i>Castanea sativa</i> - all'interno delle aree oggetto di studio.	27
Figura 13 - Materiali utilizzati per il rilievo: (A) GPS waypoint; (B) vernice spray; (C) rotella metrica; (D) scheda di rilevamento.	32
Figura 14 - (A) temperature e precipitazioni medie mensili rilevate dalla stazione meteorologica di Montefortino (FM) dal 2001 al 2021; (B) temperature e precipitazioni medie annuali rilevate dalla stazione meteorologica di Montefortino (FM) dal 2001 al 2021 (fonte dati: ASSAM).	34
Figura 15 - Tipologie di cancri rinvenuti nei sopralluoghi: cancro evolutivo (A), associato a isolati virulenti; cancro involutivo/cicatrizzato (B), associato ad isolati ipovirulenti di <i>C. parasitica</i>	37
Figura 16 - Pianta di castagno con evidente cancro corticale e galle e defogliazioni determinate dal cinipide galligeno (frecce rosse) (A); danni alla ripresa vegetativa (freccia nera) con la formazione di foglie deformate per la presenza di galle (B).	38
Figura 17 - La sintomatologia si accentua nel corso della stagione, perdurando fino all'epoca della maturazione dei frutti; le piante colpite risultano meno produttive.	38
Figura 18 - esempi di valutazione di percentuale di tessuto morto: (A) fino al 30%; (B) 30-50%; (C) >50%; (D) pianta morta.	40

Figura 19 - (A) visibile necrosi delle radici; (B) caratteristica fiamma a livello del colletto in seguito all'alterazione cromatica dei tessuti cambiali e dell'alburno e morte del cambio cribro-vascolare.	41
Figura 20 - (A) e (B) presenza di essudati a livello del colletto; (C) imbrunimento dei tessuti.	41
Figura 21 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A1 (fraz. Pozza, Acquasanta Terme).....	42
Figura 22 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A1 (fraz. Pozza, Acquasanta Terme).	43
Figura 23 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A1.	43
Figura 24 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A2 (fraz. Faete, Arquata del Tronto).	44
Figura 25 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A2 (fraz. Faete, Arquata del Tronto).	45
Figura 26 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A2.	45
Figura 27 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A3 (fraz. Spelonga, Arquata del Tronto).	46
Figura 28 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A3 (fraz. Spelonga, Arquata del Tronto).	47
Figura 29 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A4 (fraz. Altino, Montemonaco).	48
Figura 30 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A4 (fraz. Altino, Montemonaco).	49
Figura 31 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A4.	49
Figura 32 - (1) distribuzione della presenza/assenza di necrosi a fiamma nel popolamento di Altino (sito A); (2) distribuzione della presenza/assenza degli essudati nel popolamento di Altino (sito A).	50
Figura 33 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A5 (fraz. Altino, Montemonaco).	51
Figura 34 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A5 (fraz. Altino, Montemonaco).	52
Figura 35 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A5.	52

Figura 36 - (1) distribuzione della presenza/assenza di necrosi a fiamma nel popolamento di Altino (sito B); (2) distribuzione della presenza/assenza degli essudati nel popolamento di Altino (sito B).....	53
Figura 37 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A6 (fraz. Uscerno, Montegallo).....	54
Figura 38 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A6 (fraz. Uscerno, Montegallo).....	55
Figura 39 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A6.....	55
Figura 40 - (1) distribuzione della presenza/assenza di necrosi a fiamma nel popolamento di Uscerno; (2) distribuzione della presenza/assenza degli essudati nel popolamento di Uscerno.....	56

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - numero complessivo di piante affette dal mal dell'inchiostro e da altre fitopatie per ogni area di studio.....	36
Tabella 2 - numero complessivo di piante suddivise per ogni classe percentuale di tessuto morto riferite ad ogni area di studio.	39

RIASSUNTO

La coltivazione del castagno ha rappresentato da secoli una fonte di reddito per le comunità montane e appenniniche. Negli ultimi anni gli attacchi ripetuti del cinipide hanno indebolito il castagno, predisponendolo ad attacchi di altri patogeni, come il mal dell'inchiostro, una delle malattie più temute perché può portare a morte individui giovani e maturi e, una volta insediatosi nel suolo difficilmente può essere controllato. Per tale ragione è stato avviato, in comune accordo con i relativi proprietari, un monitoraggio fitosanitario partecipativo in alcune aree dei comuni di Acquasanta Terme (AP), Arquata del Tronto (AP), Montemonaco (AP) e Montegallo (AP). La suddetta indagine è stata condotta attraverso una mappatura randomizzata degli individui ritenuti potenzialmente infetti mediante l'acquisizione di dati salienti (diametro, coordinate GPS, manifestazione dei sintomi e grado di sofferenza della parte epigea), il tutto sintetizzato in grafici ed elaborazioni con lo scopo di fornire un quadro generale circa l'estensione dei focolai attivi della malattia.

ABSTRACT

Chestnut cultivation has been a source of income for mountain and Apennine communities for centuries. In recent years, repeated attacks by the gall wasp have weakened the chestnut tree, predisposing it to attacks by other pathogens, such as the ink disease, one of the most feared diseases because it can kill young and mature individuals and, once established in the soil, is difficult to control. For this reason a collaborative phytosanitary monitoring survey was started in some areas of the municipalities of Acquasanta Terme (AP), Arquata del Tronto (AP), Montemonaco (AP) and Montegallo (AP), in agreement with the relevant owners. The above-mentioned survey was conducted by means of a randomised mapping of individuals considered potentially infected through the acquisition of salient data (diameter, GPS coordinates, manifestation of symptoms and degree of suffering of the epigeal part), all summarised in graphs and elaborations with the aim of providing a general picture of the extent of the active outbreaks of the disease.

1. INTRODUZIONE

1.1 INQUADRAMENTO ECOLOGICO E BOTANICO DEL CASTAGNO

All'interno del genere *Castanea*, appartenente alla classe Dicotiledoni, famiglia *Fagaceae*, ritroviamo le seguenti specie principali:

- *Castanea sativa*: specie molto vigorosa in età giovanile, raggiunge dimensioni notevoli e può vivere e produrre per centinaia di anni (Raimondi, 2019);
- *Castanea mollissima*: specie originaria della Cina orientale e meridionale, ha dimensioni piuttosto ridotte nei nostri ambienti. Conferisce resistenza al mal dell'inchiostro e al cancro corticale (Raimondi, 2019);
- *Castanea crenata*: specie di dimensioni ridotte rispetto ai castagni nostrani. Anch'esso resistente al mal dell'inchiostro con una relativa tolleranza al cancro corticale. Resiste al freddo, è rustico e si adatta bene a suoli meno fertili (Raimondi, 2019).

Nel nostro Paese la specie più diffusa è *Castanea sativa* Mill., particolarmente adatta per la produzione di assortimenti legnosi e da frutto.

Il castagno è una specie longeva (400-500 anni), l'apparato radicale pur essendo robusto e ben sviluppato, tende ad essere superficiale prediligendo la parte di suolo più aerata dove trova la maggior parte dei nutrienti. Il fusto è dritto, con corteccia bruno-rossastra da giovane e tende a screpolarsi intorno ai 20-25 anni formando una corteccia spessa di colore grigio bruno. I rami giovani sono lisci con caratteristiche lenticelle trasversali. Le gemme sono lisce di colore bruno-rossiccio.

Le foglie sono grandi, da 3 a 5 cm di larghezza e da 10 a 20 cm di lunghezza, semplici, caduche e con picciolo corto. Si dispongono alterne sui rami e il margine seghettato. Sono ricoperte da fine peluria nella fase giovanile e tendono a diventare quasi interamente glabre in età adulta. I fiori maschi o staminiferi formano delle infiorescenze chiamate amenti, lunghe 10 cm, gialle, con portamento eretto.

I fiori femminili o pistilliferi sono sessili (senza peduncolo), posti alla base dei fiori maschili e sono avvolti da un involucro verde (cupola) generalmente solitari o in gruppo di due-tre. La fioritura si verifica tra maggio e giugno e l'impollinazione è principalmente

anemofila, ma anche gli insetti svolgono un certo ruolo. Il castagno è una specie monoica, cioè presenta nella medesima pianta fiori maschili e femminili; comincia a fruttificare a circa 18-20 anni nei soggetti derivanti da impollinazione, mentre in quelli derivanti da seme la maturità sessuale è raggiunta intorno ai 25-30 anni (Bravo, 1949; Simonetto, 2009).

La cupola, dopo la fecondazione, si copre di lunghi aculei formando il riccio che avvolge completamente i semi, ovvero le future castagne (Raimondi, 2019).

Il castagno è una latifoglia considerata di clima temperato-freddo, la temperatura media annuale ideale per la sua coltivazione varia tra i 6 e i 16°C. Sopporta temperature abbastanza basse fino a -18°C per brevi periodi ed è molto suscettibile alle gelate tardive primaverili o quelle precoci di ottobre (Raimondi 2019). È esigente per quanto riguarda l'umidità, è sensibile alle alte temperature e alla siccità prolungata, particolarmente nei primi anni dopo l'impianto. Richiede un regime di piogge compreso almeno tra i 400 e i 900 mm annui. L'altitudine ideale per la produzione dei frutti si stima tra i 200 e i 600 m s.l.m. mentre per la produzione di legname tra i 500 e i 1000 m s.l.m. (Raimondi 2019). Nonostante sia una pianta che si adatta abbastanza bene, preferisce suoli leggeri con bassa percentuale di argilla e limo con uno strato penetrabile dalle radici tra i 40 e i 60 cm. Non tollera suoli dove si verificano ristagni idrici, non si sviluppa su suoli calcarei e il pH del suolo deve essere acido, ideale tra 5,5 e 6.

1.2 IMPORTANZA DEL CASTAGNO IN ITALIA E SULL'APPENNINO

L'utilizzo del castagno, sia per la produzione di frutti che di legno, ha avuto una notevole importanza e impatto nei secoli sull'economia, con effetti sullo sviluppo delle società rurali. Nel mondo scientifico si è a lungo dibattuto sull'origine della pianta del castagno nelle diverse regioni del mondo, nonché sulla sua capacità di comporre formazioni pure anziché miste: è una pianta boschiva e da frutto, segno chiaro che appartiene agli insediamenti montani già in epoca pre-cristiana per attività agricole e pre-industriali; il castagno, quindi, ha rappresentato il suo valore polifunzionale. In Italia è stato impiegato principalmente per la produzione di tutori e pali per i vigneti, per la formazione di ripari per i frutteti, nella costruzione di botti di vino, barili, scale e per la produzione di carbone e legna da ardere (Perna, 2018). Nei secoli, il castagno si è diffuso

a discapito di boschi di querce, ma a sua volta distrutto per l'estrazione del legname o per far posto ai seminativi (Perna, 2018).

Nel mondo, l'Italia è tra i principali produttori di castagne (*Castanea sativa*), ed è il secondo esportatore mondiale dopo la Cina. Il castagno, come in passato, assume un ruolo preminente tra le formazioni forestali italiane per la consistente presenza sul territorio nazionale, oltre che per la qualità e la varietà degli assortimenti legnosi. Si tratta di un patrimonio forestale di origine antropica, nei 10,5 milioni di ettari occupati da boschi, la frazione investita a castagno rappresenta il 7,53% di quella forestale, per un totale di circa 780.000 ha (Alma et al., 2021).

Come riportato dall'Inventario Regionale, le superfici su cui è presente il castagno corrispondono a 4600 ettari, ovvero l'1,8% del totale della superficie forestale delle Marche, dove il castagneto da frutto occupa una superficie di circa 1150 ettari, pari allo 0,4% della superficie boscata regionale. Si osserva una concentrazione nella distribuzione, pari al 90%, nei comuni di Acquasanta Terme, Arquata del Tronto, Montegallo, Montemonaco e Roccafluvione oltre che un piccolo nucleo in provincia di Pesaro-Urbino, più precisamente nell'Alto Montefeltro (Inventario e Carta Forestale della Regione Marche – I.P.L.A., 2001).

La diffusione del castagno lungo l'Appennino è stata limitata da fattori stagionali e pedologici; in particolare, nelle Marche si è insediato a sud nell'Alta Valle del Tronto e nel territorio di Acquasanta Terme. Soprattutto in passato vista la ridotta diffusione di coltivazioni cerealicole nelle aree montane, i frutti del castagno, sia allo stato fresco che trasformato, hanno avuto un importante impiego nell'alimentazione umana rappresentando, già dall'alto medioevo, una risorsa alimentare fondamentale per le popolazioni appenniniche. In Italia l'uso della farina di castagna si affermò nel XV secolo per sopperire ai frequenti periodi di carestie, di guerre ed in genere alla carenza cereali; le zone montuose furono gradatamente e in modo differenziato interessate dalla costruzione di essiccatoi per castagne e di mulini per la molitura di questi frutti. Risale al XV secolo il primo essiccatoio per castagne a Spelonga di Arquata del Tronto (Perna 2018). Gran parte delle superfici castanicole da frutto nel Piceno sono soggette a frequenti cure colturali, utili alla preparazione della raccolta. Nelle località di Pozza ed Umito di Acquasanta Terme, Faete e Spelonga di Arquata del Tronto, e nei comuni di Roccafluvione e Montegallo, ritroviamo castagneti soggetti a potature di rimonda,

ringiovanimento, capitozzature, taglio di ceppaia, innesto generalmente a zufolo, uso di mastici cicatrizzanti sui tagli e ripulitura del sottobosco nonostante i numerosi danni causati dai problemi fitosanitari.

A seconda delle caratteristiche edafiche, in particolar modo in base al pH del suolo, si ritrovano due diverse tipologie di castagneti: il Castagneto neutrofilo ceduo a struttura irregolare e il Castagneto acidofilo ceduo a struttura irregolare. Il primo, il quale risulta il più diffuso, costituisce estesi nuclei in tutta la vallata del Tronto e nel Fermano (Comunità montana dei Sibillini). Il Castagneto acidofilo lo si ritrova invece nell'alta Valle del Tronto e del Fluvione (Montegallo, Rigo, Pizzo Cerqueto) spesso all'interno di faggete. Questi castagneti si caratterizzano per l'abbondante presenza di specie acidofile e mesofile come *Erica arborea*, *Luzula sieberi sicula*, *Vaccinium myrtillus*, *Avenella flexuosa*, *Pyrola rotundifolia*. Nell'acquasantano si ha il marrone dalla particolare qualità per via della pezzatura, sono infatti sufficienti 51-60 frutti per raggiungere il kg, sbucciabilità, sapore e buona pelabilità (Inventario e Carta Forestale della Regione Marche – I.P.L.A., 2001).

1.3 PROBLEMATICHE FITOSANITARIE

Il castagno coesiste con numerosi microrganismi, delineando un quadro di convivenza molto complesso; è soggetto all'attacco di patogeni di diversa natura, prevalentemente di origine fungina, i quali recano danni a tutti gli organi della pianta. Come riportato dall'Inventario Forestale Nazionale del 2007 (INFC, 2007 a e b) solo il 29,2%, del totale dei castagneti presenti in Italia risulta privo di danni, mentre il 52,2% risulta danneggiato da attacchi parassitari. Le malattie possono colpire diversi organi della pianta, in particolare le principali sono cancro corticale e carie del legno (sui fusti e rami), mal dell'inchiostro e marciume radicale fibroso (colletto e apparato radicale), fersa del castagno, mal bianco, mosaico e giallumi (foglie), marciume e mummificazione (frutto).

1.3.1 Cancro corticale

Le prime segnalazioni si ebbero negli Stati Uniti a seguito di importazione dal Giappone e dalla Cina di materiale di propagazione infetto; ciò provocò un primo focolaio d'infezione su *Castanea dentata* particolarmente sensibile al fungo Ascomicete

Cryphonectria parasitica (Murr.) Barr. In Giappone e in Cina, *C. parasitica* risultava endemica e poco dannosa per *Castanea crenata* e *Castanea mollissima* che erano resistenti. Giunta anche in Europa, tramite legno d'imballaggio, verso la fine degli anni '30 del secolo scorso raggiunse i nostri castagneti, creando parecchi problemi, ma comunque di gran lunga inferiori rispetto a quanto avvenuto in America. Negli anni '50, in Italia si assistette ad una guarigione spontanea di alcuni cancri e in Francia negli anni '60 si ottennero, da cancri in via di guarigione, degli isolati ipovirulenti di *C. parasitica* capaci di trasmettere l'ipovirulenza agli isolati virulenti tramite l'anastomosi delle ife.

Questo patogeno penetra nell'ospite attraverso le ferite della corteccia e se la stagione decorre umida si differenziano i periteci che a maturità liberano le ascospore (infezione primaria). Tra le screpolature della corteccia sono presenti le fruttificazioni agamiche (picnidi) che libereranno conidi, responsabili delle infezioni estive secondarie. I primi stadi della malattia evidenziano, in corrispondenza del punto di penetrazione, delle aree rosso-rugginose dal contorno ellittico leggermente depresse (ipotrofia). Queste zone sono interessate dalla necrosi dei tessuti floematici e cambiali (**Fig. 1**) e conseguentemente dall'interruzione del trasporto della linfa elaborata. Col tempo la necrosi progredisce fino a interessare l'intera circonferenza della parte colpita.



Figura 1 - (A) distacco della corteccia; (B) micelio biancastro del fungo; (C) emissione di getti epicormici sotto il punto di infezione (fonti: Regione Lombardia e www.waldwissen.net).

1.3.2 Marciume radicale fibroso

La malattia in questione è causata dal basidiomicete *Armillaria mellea*; le piante tipicamente soggette sono quelle già indebolite in seguito a stress biotici e abiotici, lesionate a livello del colletto quale punto di ingresso del patogeno.

Al di sotto della corteccia, il micelio a placche di color bianco dalla tipica forma a ventaglio (**Fig. 2**), si espande fino a devitalizzare l'intero cambio portando la pianta alla morte. Nelle prime fasi dell'infezione si osservano sintomi aspecifici, a livello della chioma, dati da microfillia, clorosi e disseccamento. Le radici, sulle quali si hanno i tessuti infetti dal colore più scuro, presentano inoltre le rizomorfe, aggregati di micelio costituiti da più ife dal colore bruno-nerastro, che costituiscono un'ulteriore modalità di diffusione del patogeno oltre alle basidiospore.



Figura 2 - (A) micelio sottocorticale della tipica forma a placche; (B) rizomorfe (fonte: www.upkeepthealps.eu/wp-content/uploads/2020/02/7-CASTAGNO-SELVE.pdf).

1.3.3 Carie del legno

La carie del legno è una patologia molto diffusa dovuta a funghi appartenenti per lo più alla classe dei Basidiomiceti. La si riscontra anche qui su piante già debilitate per via di cause biotiche od abiotiche e ferite su tronco e radici. Le carie (**Fig. 3**) vengono suddivise in:

- **Carie bianca:** si ha la degradazione della lignina da parte del fungo; rimane intatta solo la cellulosa che dona al legno il tipico colore bianco con consistenza fibrosa.
- **Carie bruna:** a differenza della carie bianca, il fungo degrada la cellulosa e il legno si compone di piccoli cubetti di color bruno.

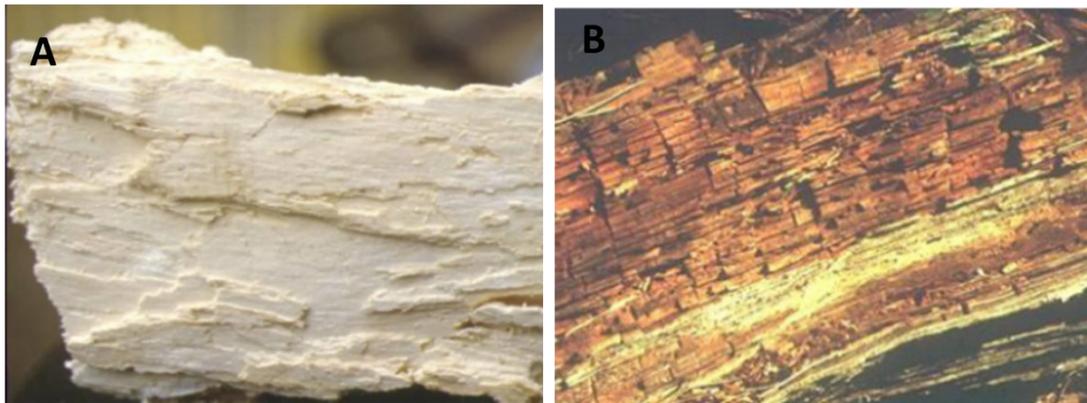


Figura 3 - carie bianca (A); carie bruna (B).

La carie determina una riduzione della resistenza meccanica del legno che lo rende più soggetto a schianti, a rotture e ad un'alterazione della funzionalità del sistema vascolare con la manifestazione di sintomi aspecifici, come microfillia e riduzione dello sviluppo vegetativo.

1.3.4 Fersa del castagno

La fersa del castagno ha come agente patogeno la *Mycosphaerella maculiformis*, un ascomicete in grado di attaccare principalmente le foglie, oltre che i ricci.



Figura 4 - Foglie di castagno attaccate dalla fersa con tipiche punteggiature, disseccamento e accartocciamento dell'organo (fonte: https://www.koesti.it/fatti_interessanti_it_11.html).

È una malattia i cui danni vanno ad intensificarsi nei periodi di elevata umidità ed in stagioni con abbondanti precipitazioni. Sulla superficie delle foglie, si manifesta con la formazione di punteggiature scure di forma circolare che tendono ad espandersi fino a congiungersi, causando un accartocciamento delle foglie stesse dovuto al disseccamento dell'organo (**Fig. 4**), con precoce distacco delle stesse; i ricci invece si arrossiscono seguiti da un distacco prematuro dalla pianta.

1.3.5 Mal bianco del castagno

Il mal bianco, anche detto oidio, ha come agente patogeno l'ascomicete *Microsphaera alphitoides*, colpisce i giovani individui, od i nuovi ricacci, sui quali causa la presenza di un tipico feltro superficiale diffuso, costituito dal micelio di color bianco e dalla consistenza soffice (**Fig. 5**). I sintomi della malattia comprendono la deformazione dei germogli, l'accorciamento degli internodi dei rami, i quali vanno spesso a costituire degli scopazzi, e la caduta delle foglie in seguito ad un loro ingiallimento ed alterazione dell'attività fotosintetica.



Figura 5 - Caratteristico micelio bianco di *Microsphaera alphitoides* sulla pagina superiore delle foglie (fonte: Tesi di Osman V. 2019).

1.3.6 Mosaico del castagno

Il mosaico del castagno, pur essendo stata una malattia segnalata per la prima volta già negli anni '60 (Gualaccini, 1958), era rimasta ad eziologia ignota per lungo tempo. Sono seguite nel tempo segnalazioni in Campania (Ragozzino et al., 1986), in Emilia-Romagna e nelle Marche negli anni '90 (Antonaroli et al., 2000). Nello stesso tempo anche in Francia, Desvignes et al., (1992, 1996) definivano, inseguito a esperimenti basati sull'innesto, la trasmissibilità della malattia, ipotizzando che si trattasse di una malattia ad eziologia virale o virus-simile. La malattia è caratterizzata da alterazioni a livello fogliare la cui gravità dei sintomi tende ad intensificarsi col progredire della stagione vegetativa, culminando al termine dell'estate.



Figura 6 - Decolorazione a mosaico (sinistra); arricciamento della lamina fogliare e macchie necrotiche irregolari localizzate ai margini (destra).

In particolare, si osservano dapprima delle decolorazioni 'a mosaico' dei tessuti internervali con ripiegatura a doccia della lamina fogliare. Successivamente questi sintomi si acutizzano e si completano con l'arricciamento della foglia, e con la presenza di necrosi irregolari sui margini (**Fig. 6**). La pianta negli anni va incontro a un graduale deperimento che inevitabilmente compromette la produzione di frutti.

Recentemente sono stati effettuati studi specifici in Italia e Francia e, utilizzando metodiche classiche e innovative di diagnosi è stato possibile ricostruire il genoma completo di un badnavirus (Marais et al., 2021), associato alla malattia che i Francesi denominavano "Mosaico del castagno" (Desvignes et al., 1999) e verificare la presenza

del virus soprattutto su piante sintomatiche, ma anche su piante asintomatiche non innestate.

1.3.7 Malattie del frutto

Tra le malattie del frutto si rinvengono (**Fig. 7**):

- **Marciume nero delle castagne:** avviene ad opera dell'ascomicete *Ciboria castaneae* che si accresce sui cotiledoni i quali si degradano, espandendosi poi all'interno del seme fino ad annerirlo del tutto. L'infezione può avvenire sia durante la fioritura sia in seguito alla caduta a terra del frutto, sul quale il fungo sverna sviluppando apoteci dai quali rilascia le ascospore.
- **Marciume delle castagne:** è una patologia causata dal fungo endofita *Gnomoniopsis pascoe*, appartenente alla classe degli ascomiceti. I sintomi sono visibili a livello del frutto nelle prime fasi della maturazione, dove si ha la formazione di aree gessose, sugli strati superficiali dell'endosperma, che si approfondiscono sempre più portando ad una mummificazione dell'intero endosperma ed una variazione di colore della polpa da color crema a bruno-nerastro.
- **Mummificazione delle castagne:** è un'infezione che può aver luogo sia prima che dopo la raccolta, dovuta al fungo *Phomopsis endogena*, il quale causa alterazioni della polpa che appare bianca, gessosa, rinsecchita, dura al tatto e sgradevole al palato.



Figura 7 - (A) esempio di marciume nero ad opera di *Ciboria* sp.; (B) esempio di marciume bruno ad opera di *Gnomoniopsis* sp.

2. MAL DELL'INCHIOSTRO DEL CASTAGNO

Verso gli inizi degli anni '90, una nuova sintomatologia ha iniziato a manifestarsi sui castagni, nelle aree di confine tra le province di Bologna e Modena. Nelle Marche, nello stesso periodo, alcuni castanicoltori di Acquasanta Terme (AP) manifestarono preoccupazione per alcune piante di castagno sofferenti e poco produttive, con una sintomatologia mai rinvenuta o non riferibile a malattie già note. Oltre a presentare sofferenza a livello fogliare, diffuse erano le necrosi e la sofferenza a carico del legno e dell'apparato radicale (Antonaroli e Perna 2000).

Ad oggi questa fitopatologia, conosciuta con il nome di mal dell'inchiostro, è in forte aumento e rapida diffusione; circa 62 ettari sono affetti dalla fitopatia nelle aree castanicole del Parco Gran Sasso Monti della Laga (48 ha), e castagneti limitrofi (14 ha) (ASSAM e Vannini 2011).

Il mal dell'inchiostro è la seconda malattia più diffusa e pericolosa a carico del castagno. L'origine di questa fitopatia non è certa ma si presume che provenga dal Nord America. Comparve in Europa per la prima volta nel XVIII secolo determinando il disseccamento di molte aree; è considerata perciò fra le più gravi patologie. Negli ultimi anni è ricomparsa con una nuova recrudescenza in alcune regioni italiane (Piemonte, Emilia-Romagna, Toscana, Marche, Lazio, Calabria) (Vettraino et al., 2001; Vannini e Vettraino, 2001 e 2004; Vettraino et al., 2005; Piccioni 2021) non solo nei castagneti situati a ridosso di fondovalle umidi, ma anche in quelli situati lungo versanti soleggiati differentemente esposti.

La denominazione "mal dell'inchiostro" deriva dalla colorazione scura che assumono i tessuti sottocorticali della pianta infetta e dall'emissione di essudati neri/blu-inchiostro.

2.1 Agenti causali e ciclo della malattia

I principali agenti causali il mal dell'inchiostro sono *Phytophthora cambivora* (Petri) Buism e *Phytophthora cinnamomi* (Rand).

Phytophthora appartiene alla classe degli Oomiceti, organismi che presentano numerosi caratteri morfologici e biochimici differenti dai funghi veri e propri. In particolare, hanno ife diploidi con pareti cellulari costituite da cellulosa, anziché ife aploidi con pareti cellulari chitinose tipiche dei funghi (Scanu 2009).

Da un punto di vista tassonomico *Phytophthora spp.* appartiene al

- Regno: Chromista
- Phylum: Oomycota
- Classe: Oomycetes
- Ordine: Peronosporales
- Famiglia: Pythiaceae
- Genere: *Phytophthora*

Il ciclo biologico di *Phytophthora* (Fig. 8) è costituito da uno stadio vegetativo di tipo miceliare e dalla formazione di strutture di resistenza come i rigonfiamenti ifali (hyphal swelling), le clamidospore e le strutture riproduttive quali sporangi, zoospore e oospore (Fig. 9) (Scanu 2009).

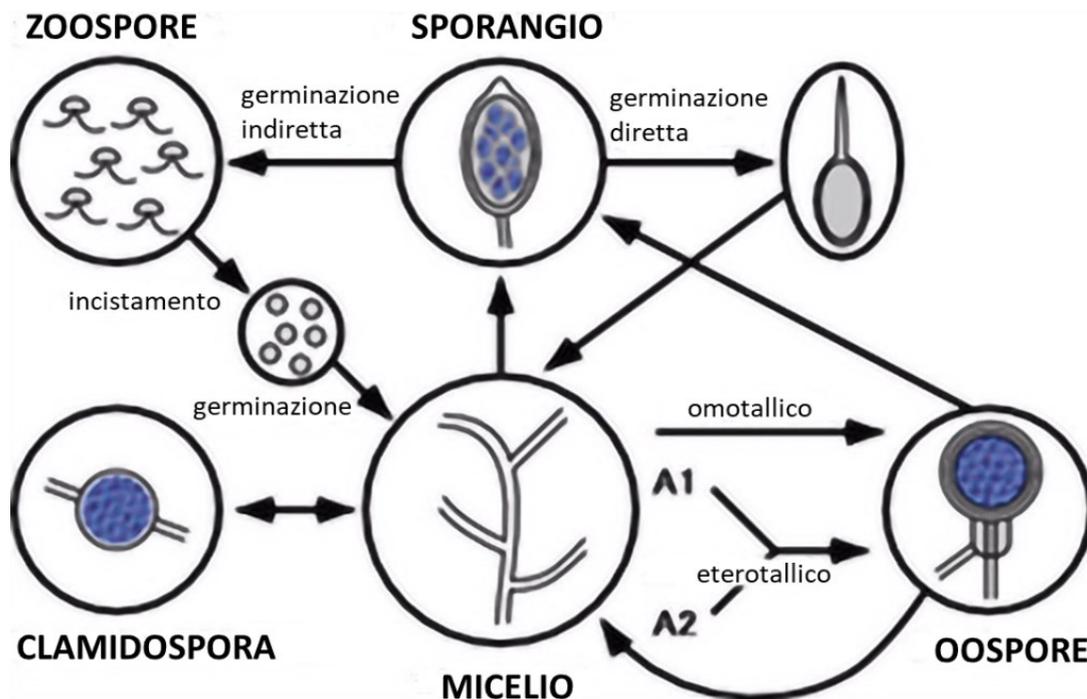


Figura 8 - Ciclo biologico di *Phytophthora spp.*
(fonte: <https://es.wikipedia.org/wiki/Phytophthora>).

Ogni struttura svolge funzioni biologiche differenti (**Fig. 9**):

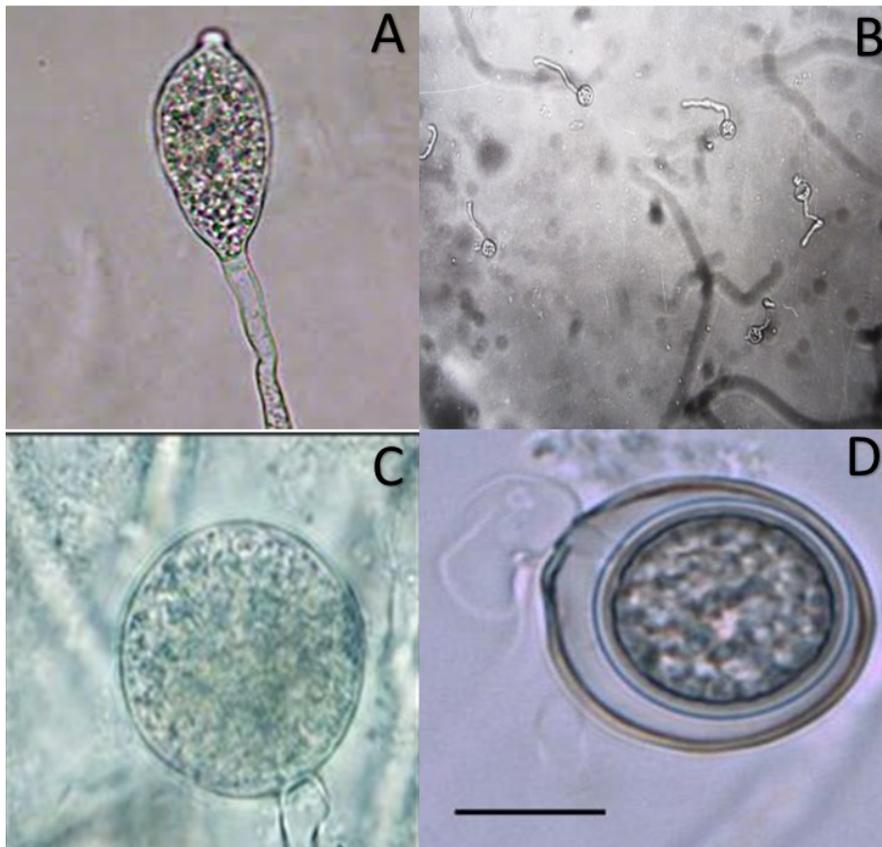


Figura 9 - (A) sporangi; (B) zoospora; (C) clamidospora; (D) oospora.

- La funzione delle *hyphal swelling* non è ancora ben conosciuta, presumibilmente costituiscono organi di conservazione;
- Le *chlamidospore* hanno funzione di riserva, vengono prodotte per permettere la sopravvivenza nel terreno della specie in periodi di crisi nutrizionale, anche per lunghi periodi di tempo.
- Gli *sporangi* sono le strutture di riproduzione agamica più caratteristiche di *Phytophthora*. La loro morfologia varia tra le diverse specie e rappresentano un elemento tassonomico molto importante per l'identificazione a livello di specie (Waterhouse, 1963; Erwin e Ribeiro, 1996) (Scanu 2009). Possono fungere da strutture di diffusione attraverso il vento e l'acqua;

- Le *zoospore* sono delle strutture biflagellate, senza parete esterna, in grado di muoversi nell'acqua del terreno e di propagare l'infezione penetrando nell'ospite attraverso gli apparati radicali, direttamente oppure attraverso piccole lesioni.
- Le *oospore* sono le spore sessuali che derivano dalla fusione tra i nuclei aploidi delle due strutture sessuali specializzate (gametangi), denominate oogoni e anteridi. Dopo la fecondazione da parte dell'anteridio sull'oogonio si ha lo sviluppo di una singola oospora all'interno dell'oogonio. Le oospore possiedono una parete particolarmente spessa che consente a queste strutture di superare condizioni ambientali avverse. Inoltre, esse rivestono un importante ruolo per la corretta identificazione delle specie del genere *Phytophthora*, in quanto possono presentare delle caratteristiche tipiche della parete (Scanu 2009).

Sia *P. cambivora* che *P. cinnamomi* hanno miceli eterotallici, ovvero che la fecondazione avviene in seguito all'incontro di due miceli di differente tipo sessuale comunemente definiti di tipo A1 e A2 (**Fig. 8**). Le due specie si distinguono in quanto in *P. cambivora* gli oogoni sono verrucosi, mentre in *P. cinnamomi* la loro superficie è liscia (Simonetto 2009).

2.2 Epidemiologia e condizioni predisponenti

Phytophthora vive nel suolo e si diffonde per deflusso superficiale delle acque, il movimento di terra infetta anche ad opera dei selvatici, in particolar modo il cinghiale con l'attività di grufolamento e per contatto radicale tra le piante infette e sane. L'infezione si sviluppa a livello dell'apparato radicale che viene colonizzato fino al colletto, risalendo nei tessuti corticali anche fino a 1 metro (Vai et al., 2013; Piccioni, 2021).

Phytophthora si diffonde con più facilità nei suoli privi di sostanza organica e di azoto, come i castagneti da frutto, nei quali il terreno viene costantemente ripulito dal fogliame e da altre forme di sostanza organica. La diffusione della malattia è molto influenzata dai fattori stagionali e dall'andamento meteorologico nel decorso delle stagioni, pertanto, il mal dell'inchiostro è favorito da andamenti stagionali con primavere piovose ed estati siccitose. Anche l'innalzamento delle temperature invernali ha facilitato lo svernamento di *Phytophthora* nel suolo e la diffusione soprattutto di *P. cinnamomi*, già ampiamente

presente in Francia, Portogallo, e Spagna, meno frequente in Italia ma attualmente in rapida diffusione (Vettrai et al., 2005b; Piccioni, 2021).

Terreni pesanti (caratterizzati da un'elevata presenza di argilla) con frequenti ristagni idrici e la presenza di lesioni favoriscono la moltiplicazione del patogeno. In questi suoli gli effetti dei periodi siccitosi risultano più marcati; inoltre, la presenza di argilla e di strati rocciosi impermeabili facilitano la saturazione del suolo da parte dell'acqua rendono il terreno asfittico (Simonetto 2009).

La malattia progredisce sulle radici durante le stagioni caratterizzate da un clima umido, senza la manifestazione dei sintomi sulla pianta. Questi compaiono in seguito, durante i periodi secchi. La diffusione attiva avviene attraverso le zoospore prodotte dal patogeno, che si muovono nell'ambiente tramite l'acqua presente nel terreno (Pron e Sormani 2004).

Gli attacchi della malattia si verificano con maggior facilità su quei castagneti situati nei terreni piuttosto declivi ove scorre l'acqua o in conche ove essa può raccogliersi per un certo tempo. Il mal dell'inchiostro può colpire piante singole o interi popolamenti propagandosi a strisce o a macchia d'olio, in particolar modo lungo le linee di pendenza con scorrimento delle acque (Vannini et al., 2010; Piccioni, 2021).

2.3 Sintomatologia

I sintomi del mal dell'inchiostro del castagno (**Fig. 10**) si possono osservare facilmente durante la stagione vegetativa e solitamente compaiono ad uno stadio avanzato della malattia con estesi disseccamenti che interessano gruppi di piante spesso tra loro ravvicinate. Nello specifico a livello epigeo le piante colpite manifestano sintomi di sofferenza come microfillia e viraggio del colore delle foglie a verde pallido a cui segue un progressivo ingiallimento del fogliame. Spesso i ricci non raggiungono la maturazione e persistono sui rami anche durante la stagione invernale. A livello del colletto si possono notare vaste aree necrotiche di colore marrone scuro, tendente al nero, a contorno ben definito, causate dalla morte del cambio cribro-vascolare e dalla caratteristica forma a fiamma in seguito all'alterazione cromatica dei tessuti cambiali e dell'alburno causata dall'ossidazione dei tannini ad opera degli enzimi secreti dal micelio del patogeno. Questa macchia scura è più larga alla base e si restringe in alto arrivando fino ad 1 metro di altezza lungo l'asse del fusto. Spesso sul tronco e sulle grosse radici possono rinvenirsi

essudati nerastri-blu inchiostro che macchiano il terreno a contatto con il colletto (Luciano et al. 2016; Cristizio et al. 2005).



Figura 10 - Sintomi mal dell'inchiostro: (A) Ingiallimento, microfillia e deperimento della chioma; (B) caratteristica necrosi a fiamma a livello del colletto e imbrunimento e necrosi dei tessuti.

3. SCOPO DELLA TESI

Il castagno è una specie importante per le aree marginali dell'Appennino, in quanto ha garantito per le comunità locali il sostentamento durante periodi particolarmente difficili. Negli anni si è assistito a un progressivo declino delle produzioni regionali di castagne a causa del graduale abbandono e all'impatto di diverse avversità fitosanitarie emergenti (marciume della castagna), alla recrudescenza di malattie storiche (cancro corticale e mal dell'inchiostro). Il mal dell'inchiostro rappresenta una delle poche malattie in grado di determinare la morte delle piante di castagno, sia giovani sia adulte che monumentali. Dai dati del monitoraggio fitosanitario condotto dal Servizio Fitosanitario Regionale nel 2006, risultavano colpiti dal mal dell'inchiostro circa 62 ha complessivamente, distribuiti nelle aree castanicole del Parco Gran Sasso Monti della Laga. Un aggiornamento puntuale dei dati è relativo al 2015, quando l'Unione Montana aveva censito ben 520 ha di castagneto riscontrando il mal dell'inchiostro, diffuso e moderatamente diffuso, su un areale stimato di circa 250 ha, di cui circa 90 ha gravemente interessati.

Non sono disponibili dati ufficiali dei castagneti ubicati nel comprensorio dei Monti Sibillini, anche se da alcune ricerche condotte dell'Università Politecnica delle Marche, sono stati riscontrati focolai attivi nei comuni di Montemonaco e Montegallo. Allo stato attuale, nelle Marche non esiste un aggiornamento dello stato di salute dei soprassuoli di castagno e dei focolai attivi di mal dell'inchiostro, che ci permetta di classificare le zone in base al potenziale rischio di infezione. Inoltre, considerando i rilevanti danni riscontrati negli ultimi anni, non è del tutto chiaro quale specie di *Phytophthora* sia maggiormente presente e coinvolta nel mal dell'inchiostro.

Tale malattia particolarmente grave nei castagneti da frutto, sta purtroppo attaccando sia aree abbandonate che aree coltivate, su cui insistono esemplari monumentali e soprattutto varietà di castagno autoctone che oggi rischiano di estinguersi riducendo ulteriormente il patrimonio culturale regionale e la biodiversità.

Per cui vista l'impotenza davanti a una malattia così devastante per il castagno, che continua a rappresentare una risorsa per le aree interne della regione, con la collaborazione dei castanicoltori di Acquasanta Terme, Arquata del Tronto, Montemonaco e Montegallo, abbiamo potuto effettuare un monitoraggio partecipativo,

che ci ha consentito nell'immediato di individuare i principali focolai determinati dalla malattia.

4. MATERIALI E METODI

4.1 Inquadramento dell'area

4.1.1 Parco Nazionale dei Monti dei Sibillini e Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga

I boschi presso i quali sono stati eseguiti i rilievi (**Fig. 11**) appartengono al “Parco Nazionale dei Monti dei Sibillini” e al “Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga” in particolare nelle frazioni di Altino di Montemonaco (AP), Uscerno di Montegallo (AP) Umito e Pozza di Acquasanta Terme (AP), Spelonga e Faete di Arquata del Tronto (AP).

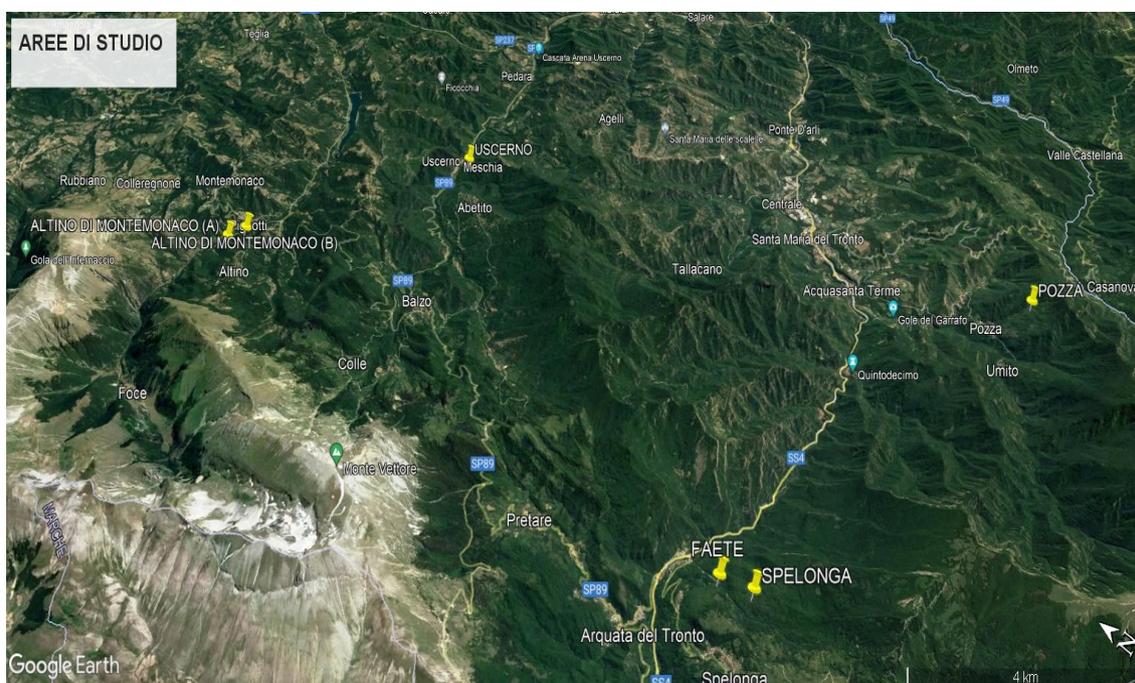


Figura 11 - Rappresentazione 3D del territorio delle aree di studio (localizzate in giallo) tramite l'utilizzo di Google Earth.

Entrambi i parchi vengono riconosciuti a livello europeo all'interno di “Rete Natura 2000”, ovvero una rete di aree «destinate alla conservazione della biodiversità presente nel territorio dell'Unione europea e, in particolare, alla tutela degli habitat e delle specie animali e vegetali indicate negli allegati I e II della Direttiva 92/43/CEE (Conservazione degli Habitat naturali e semi naturali della flora e della fauna selvatica) comunemente

conosciuta come Direttiva "Habitat", e delle specie di cui all'allegato I della Direttiva 2009/147/CE (concernente la conservazione degli uccelli selvatici), cosiddetta "Uccelli"» (Parco Nazionale dei Monti Sibillini e Salvi 2015).

La Rete Natura 2000 è composta dalle ZSC (Zone Speciali di Conservazione), dai SIC (Siti di Importanza Comunitaria) e dalle ZPS (Zone di Protezione Speciale). Le ZPS sono siti di Natura 2000 proposti a norma della direttiva Uccelli, mentre SIC e ZSC sono siti designati a norma della direttiva Habitat. Per quanto concerne le zone in riferimento all'interno del "Parco Nazionale dei Monti dei Sibillini" e come riportato nel "Piano della Performance 2021 – 2023" appartengono rispettivamente al comune di Montegallo 2.925 ha e Montemonaco 5.653 ha di superficie nel Parco (Parco Nazionale dei Monti Sibillini 2021).

In merito alle zone di riferimento all'interno del "Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga", come riportata nella relazione ricavata dal sito della regione Abruzzo a opera del progettista Arch. Luciano De Bonis e del coordinatore Dott. Dario Febbo (De Bonis e Febbo 2017), 13.805 ha appartengono al comune di Acquasanta Terme (AP) e 9.232 ha al comune Arquata Del Tronto (AP).

Gli habitat sono gli ambienti naturali e semi-naturali riconosciuti nell'allegato I alla Direttiva 92/43/CEE. Sono presenti in un SIC o in una ZSC in seguito alla valutazione, da parte di un gruppo di esperti, del loro stato di conservazione e l'attribuzione di limiti cartografici (Parco Nazionale dei Monti Sibillini 2015).

Nelle aree del comprensorio dei Monti Sibillini, appartenenti a "SIC – ZPS cod. IT5340016 MONTE OIALONA E COLLE PROPEZZANO" per la superficie complessiva di 969 ha, comprendente i comuni di Montegallo e Montemonaco, e la sola "SIC cod. IT5340012 BOSCHI RIPARIALI DEL TRONTO" che racchiude il comune di Arquata del Tronto per una superficie di 153 ha, vengono segnalati gli habitat più rappresentativi, tra cui il 6210 "Formazioni erbose secche seminaturali e facies coperte da cespugli su substrato calcareo (*Festuco-Brometalia*) (*notevole fioritura di orchidee)" riferito all'ordine *Brometalia erecti* Br.-Bl. 1936 (classe *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tüxen ex Br.-Bl. 1949) e all'alleanza endemica appenninica *Phleo ambigu-Bromion erecti* Biondi & Blasi ex Biondi et al. 1995; l'habitat 6230* "Formazioni erbose a *Nardus*, ricche di specie, su substrato siliceo delle zone montane (e delle zone submontane dell'Europa continentale)" riferibili a questo habitat le comunità delle alleanze *Ranunculo*

pollinensis-Nardion strictae Bonin 1972 e *Nardo-Agrostion tenuis* Sillinger 1933; l'habitat 9210* Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex* nelle seguenti associazioni vegetali riferite all'ordine *Fagetalia sylvaticae* Pawl. in Pawl. et al. 1928 e alla classe *Quercio-Fagetea* Br.-Bl. & Vlieger in Vlieger 1937:

-*Lathyro veneti-Fagetum sylvaticae* Biondi, Allegrezza, Pinzi, Casavecchia et Baldoni 2002 e *Hieracio racemosi-Fagetum sylvaticae* Allegrezza 2003 (alleanza *Geranio versicoloris-Fagion sylvaticae* Gentile 1970);

-*Solidagini-Fagetum sylvaticae* (Longhitano et Ronsisvalle 1974) Ubaldi et al. 1987 ex Ubaldi 1995 e *Dactylorhizo fuchsii-Fagetum sylvaticae* Biondi, Ballelli, Allegrezza, Taffetani et Gujtian 1989 ex Izco et Biondi 1992 (alleanza *Aremonio-Fagion sylvaticae*);

- *Cardamino kitaibelii-Fagetum sylvaticae* Ubaldi, Zanotti, Puppi, Speranza et Corbetta ex Ubaldi 1995 (alleanza *Aremonio-Fagion sylvaticae* (Horvat 1938) Torok, Podani et Borhidi 1989).

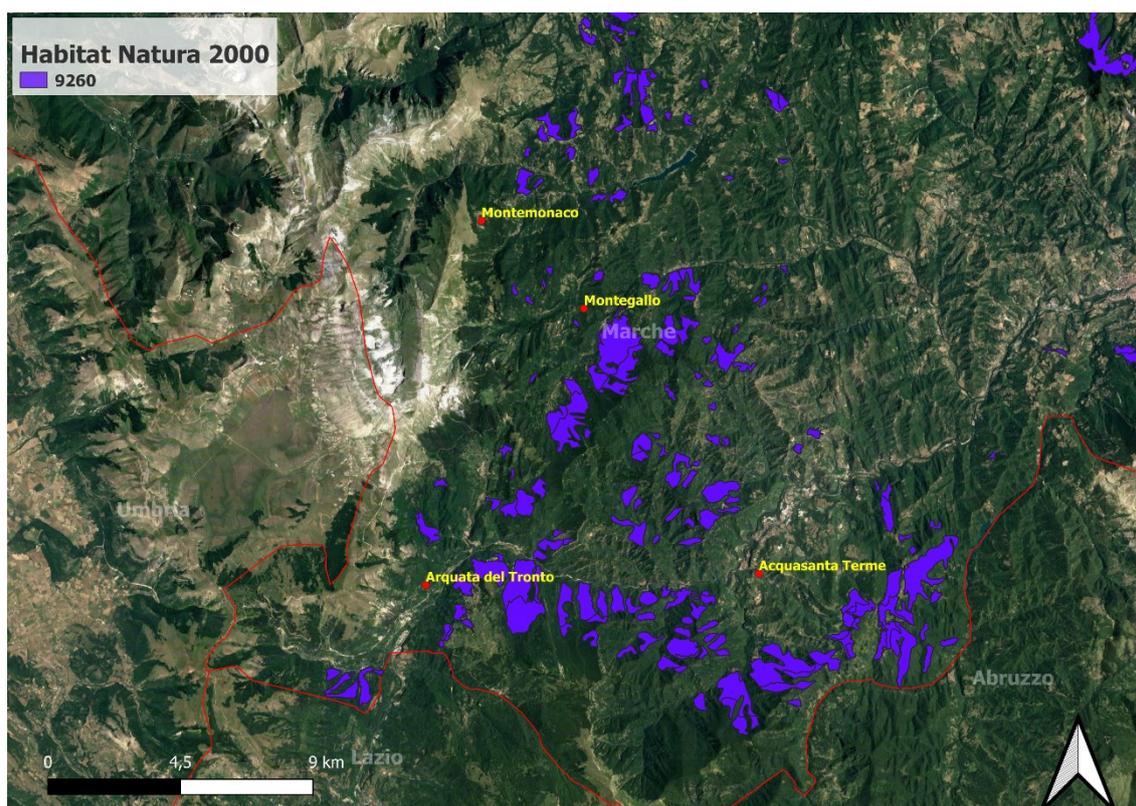


Figura 12 - Distribuzione degli habitat 9260 - Boschi di *Castanea sativa* - all'interno delle aree oggetto di studio.

Infine, l'habitat **9260 Boschi di *Castanea sativa*** (Fig. 12) riferiti alle associazioni *Cardamino kitaibelii-Castaneetum sativae* Taffetani 2000 (ordine *Fagetalia sylvaticae*

Pawl. in Pawl. et al. 1928), *Cyclamino hederifolii-Castaneetum sativae* Allegrezza 2003 e *Melampyro italici-Castaneetum sativae* Hruska 1988 (ordine *Quercetalia pubescenti-petraeae* Klika 1933), della classe *Quercu-Fagetea* Br.-Bl. & Vlieger in Vlieger 1937. Nell'area dei Monti della Laga nel comune di Acquasanta Terme, appartenenti a "ZSC-SIC cod. IT5340008 - Valle della Corte" che si estende per 1814 ha si citano principalmente nuclei di habitat **9260 (Boschi di *Castanea sativa*) (Fig. 12)** e **9210*** (9210* - Faggeti degli Appennini con *Taxus e Ilex*) (Regione Marche 2016).

4.1.2 Il clima

Riguardo alle caratteristiche climatiche del territorio sono stati presi in considerazione i dati della stazione meteorologica più vicina ai comuni oggetto di studio che risulta essere quella di Montefortino (FM) (cod. ST18; Località Rubbiano; Longitudine 13°18'32.429"; Latitudine 42°55'50.434"; Altitudine 772 m s.l.m.), attiva dal 1999 (ASSAM 2022). Dai dati meteorologici disponibili sono stati estrapolati quelli relativi alle temperature e precipitazioni rilevati all'arco temporale 1° gennaio 2001 al 31 dicembre 2021; di questi si è calcolata la media mensile di temperatura e precipitazione per l'intero arco temporale considerato e l'andamento climatico annuale dello stesso periodo.

4.1.3 Caratteristiche geologiche dei siti

Le aree oggetto di studio sono collocate tra due diversi gruppi, rappresentati dai Monti Sibillini e i Monti della Laga, ciascuno con caratteristiche geologiche e geomorfologiche proprie.

I Monti Sibillini nascono circa 200 milioni di anni fa, in un'area dominata da mare poco profondo e clima caldo, caratterizzata dalla sedimentazione graduale di sostanze calcaree. Il movimento delle placche tettoniche generando delle fratture, forma zone più rialzate dove permane il mare poco profondo e zone più depresse con il mare più profondo. Nel frattempo, sul versante ovest dei Monti Sibillini si apre il Mar Tirreno che generava un sollevamento delle aree occidentali, assoggettate dagli agenti atmosferici con formazione di sedimenti terrigeni (sabbia e argilla) trasportati poi verso il mare dove si depositano mischiandosi ai sedimenti carbonatici. I sedimenti marini, nel corso dei secoli, sono diventati roccia e responsabili dell'orogenesi appenninica che interessa la parte

occidentale dei Monti Sibillini, provocando il sollevamento di questo settore (Parco Nazionale dei Monti Sibillini 2021).

La porzione più orientale invece divenne sempre più profonda e le correnti di acqua e fango, dotate di un'elevata densità, si muovono lungo la scarpata, sollecitati a seguito di terremoti o frane, accumulandosi alla base di questa formando strati a sedimentazione gradata di sabbie grossolane, limo ed argille: Formazione della Laga (Allocca e Arata, 2008). Queste neoformazioni, denominate "correnti di torbida" si sono originate nel Miocene superiore (Messiniano) a seguito del sollevamento e corrugamento del Gran Sasso (Monti Della Laga – Geologia).

4.1.4 Caratteristiche vegetazionali e cenosi

L'area dei Monti Sibillini, che si eleva da un'altitudine media di 500 m fino a 2476 m rappresentata dal Monte Vettore, racchiude una vegetazione influenzata dalle condizioni climatiche differenziate a seconda dei diversi piani altitudinali, distinguibili in:

piano collinare, che si sviluppa sino ai 900-1000 m;

piano montano, dai 1000 m ai 1850 m;

piano alto appenninico, al di sopra dei 1850 m.

Nell'ambiente collinare sono diffusi boschi di roverella (*Quercus pubescens*) e di carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e, in particolare, sui versanti freschi e sui suoli acidi, fra gli 800-1000 m, si ritrova, come nell'Alta Valle del Tronto e a Montemonaco, qualche tratto a castagneto (*Castanea sativa*). Allo stesso modo, lungo i pendii rivolti a sud è possibile rinvenire il leccio (*Quercus ilex*) specie caratteristica del piano mediterraneo.

Il piano montano, caratterizzato da un clima fresco umido, è composto principalmente da popolamenti di faggio (*Fagus sylvatica*) e secondariamente da *Ostrya carpinifolia*, *Quercus pubescens*, *Acer opalus*, *Fraxinus ornus* ed altri.

Al di sopra del piano montano, nel quale si rileva un clima più freddo di quello collinare e precipitazioni a carattere nevoso in inverno e primavera, si rinvengono formazioni erbacee come: *Festuca dimorpha* (volgarmente chiamata "pettenaccio"), *Heracleum sphondylium*, *Robertia taraxacoides* ed altri. Ricordiamo poi pascoli a *Sesleria apennina* e *Carex kitaibeliana* (Fermanelli, 2012).

Nel territorio del Parco del Gran Sasso e Monti della Laga sono presenti vari tipi fisionomici di vegetazione forestale, dalle faggete alle cerrete ai castagneti; dai boschi di Carpino nero a quelli di Roverella. Anche qui le specie si distribuiscono sui piani altitudinali: nel piano collinare la vegetazione più evoluta è il querceto a dominanza di Roverella (*Quercus pubescens*). Boschi misti di Carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), Cerro (*Quercus cerris*) e Aceri (*Acer obtusatum*, *A. pseudoplatanus*, ecc.) nelle stazioni più fresche. In aree termicamente favorevoli con condizioni mediterranee si insediano comunità di macchia sempreverde a dominanza di Leccio (*Quercus ilex*).

Il piano montano è dominato da Faggio (*Fagus sylvatica*) e in alcune zone confinate anche dall' Abete bianco (*Abies alba*); al limite inferiore del piano montano, nelle forre si possono rinvenire specie come Acero di monte (*Acer pseudoplatanus*), Olmo montano (*Ulmus glabra*), Tiglio (*Tilia platyphyllos*) e Frassino maggiore (*Fraxinus excelsior*) (Biondi et al., 2010).

Al piano subalpino appartengono le brughiere e arubusteti prostrati a Mirtillo nero (*Vaccinium myrtillus*) e Ginepro nano (*Juniperus communis* subsp. *alpina*). Molto diffusi sono i pascoli a *Sesleria tenuifolia*, e Fienarola violacea (*Poa violacea*) e alpina (*Poa alpina*), Nardo (*Nardus stricta*) e Brachipodio (*Brachypodium genuense*) (Biondi et al. 2010).

Sulla Laga, sono presenti fitocenosi acidofile, come: pascoli a Nardo, i castagneti, gli arbusteti a Ginestra dei carbonai e alcuni aspetti di faggeta acidofila. Proprio il castagneto rappresenta una delle formazioni più interessanti e peculiari del Parco, è molto diffuso sulla Laga nella sezione nord-occidentale (dintorni di Acquasanta, Valle Castellana, ecc.), come già accennato, su substrati geologici formati da marne e arenarie del Miocene, nella fascia altitudinale compresa tra i 600 e i 1000 m s.l.m. circa. È molto probabile che il castagno sia autoctono sui Monti della Laga, adattata durante i secoli allo sfruttamento da parte dell'uomo, infatti esso è una specie acidofila, eliofila e termofila. Sulla Laga, a seconda dell'attività antropica, è possibile distinguere il castagneto da frutto, ceduo e la fustaia. Nello strato arboreo, al Castagno dominante, si associano a volte anche altre specie quali la Rovere (*Quercus petraea*), il Carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), la Roverella (*Quercus pubescens*), il Cerro (*Quercus cerris*) e l'Orniello (*Fraxinus ornus*). Nel sottobosco è possibile rinvenire specie tipiche dei boschi mesofili di caducifoglie come la Campanula selvatica (*Campanula trachelium*), la Melica comune (*Melica*

uniflora), la Felce maschio (*Dryopteris filix-mas*), e la Lattuga montana (*Prenanthes purpurea*) ecc. (Biondi et al. 2010).

4.2 Rilievo fitosanitario

Tra fine luglio e inizio agosto del 2022 è stato effettuato un rilievo fitosanitario delle piante di castagno all'interno delle 6 aree studio (A1-A6) considerando l'incidenza:

- i) del cancro corticale e differenziandoli in base alla morfologia in cancri virulenti, intermedi e ipovirulenti cicatrizzati,
- ii) di malattie fungine della chioma (oidio, fersa),
- iii) di alterazioni cromatiche della chioma indotte da carenza nutrizionale o virus del mosaico;
- iv) delle infestazioni del cinipide galligeno (*Dryocosmus kuriphilus*), considerando la presenza di galle sulla vegetazione.

Un rilievo più approfondito è stato effettuato andando a considerare la percentuale di ingiallimento, defogliazione e necrosi dei tessuti della chioma e costituendo cinque classi patometriche che prevedevano classe 0 = pianta asintomatica, classe 1= 1-30% chioma sintomatica, classe 2= 31-50% chioma sintomatica, classe 3 = maggiore del 50% chioma sintomatica, classe 4 = pianta morta. Tali sintomi insieme alla presenza di necrosi a livello del colletto e presenza di essudati nerastri rappresentano degli indicatori attendibili della possibile infezione da *Phytophthora* spp.

Oltre a una valutazione fitosanitaria delle singole piante, su cui è stato apposto un numero progressivo di riconoscimento, è stata misurata la circonferenza a 1,30 m e le coordinate geografiche. I dati relativi allo stato fitosanitario, alla posizione e alla circonferenza delle piante sono stati annotati su una scheda predisposta (**Fig. 13 D**).

L'indagine fitopatologica, per la quasi totalità dei casi, si è svolta partendo da punti posti a quota maggiore e dirigendoci verso valle seguendo dei percorsi random e, dove possibile, lungo le linee di massima pendenza (nei punti, quindi, dove c'è maggior deflusso idrico); in alcuni casi, abbiamo dovuto deviare e astenerci dal rilevamento di alcuni individui per l'abbondanza di necromassa presente nel sottobosco. I polloni inseriti

4.3 Analisi dei dati

Per ognuna delle sei aree studio (A1-A6) è stata calcolata la superficie dell'area di saggio avvalendosi del software Google Earth, dopo aver riportato su quest'ultimo le relative coordinate registrate. Si è classificato anche il popolamento secondo classi diametriche (Sanchez 2020).

I parametri misurati in bosco sono stati successivamente elaborati su un foglio di calcolo elettronico, analizzando, attraverso opportuni grafici, il numero e le percentuali degli individui che presentano sintomi riconducibili al mal dell'inchiostro e la presenza di eventuali altre fitopatologie e, in secondo luogo, anche gli individui appartenenti ad ogni classe percentuale di tessuto morto.

Attraverso la realizzazione di mappe di distribuzione degli individui campionati basate sulla percentuale di tessuto morto, sulla presenza di eventuali fitopatie e dei sintomi derivanti dal mal dell'inchiostro, si è potuto visualizzare come queste si siano propagate e affermate nei diversi popolamenti.

5. RISULTATI E DISCUSSIONI

Dall'elaborazione dei dati meteo dell'anno 2021 (**Fig. 14 A**) si evince che i due periodi di maggior piovosità sono concentrati in primavera e in autunno: il primo più costante.

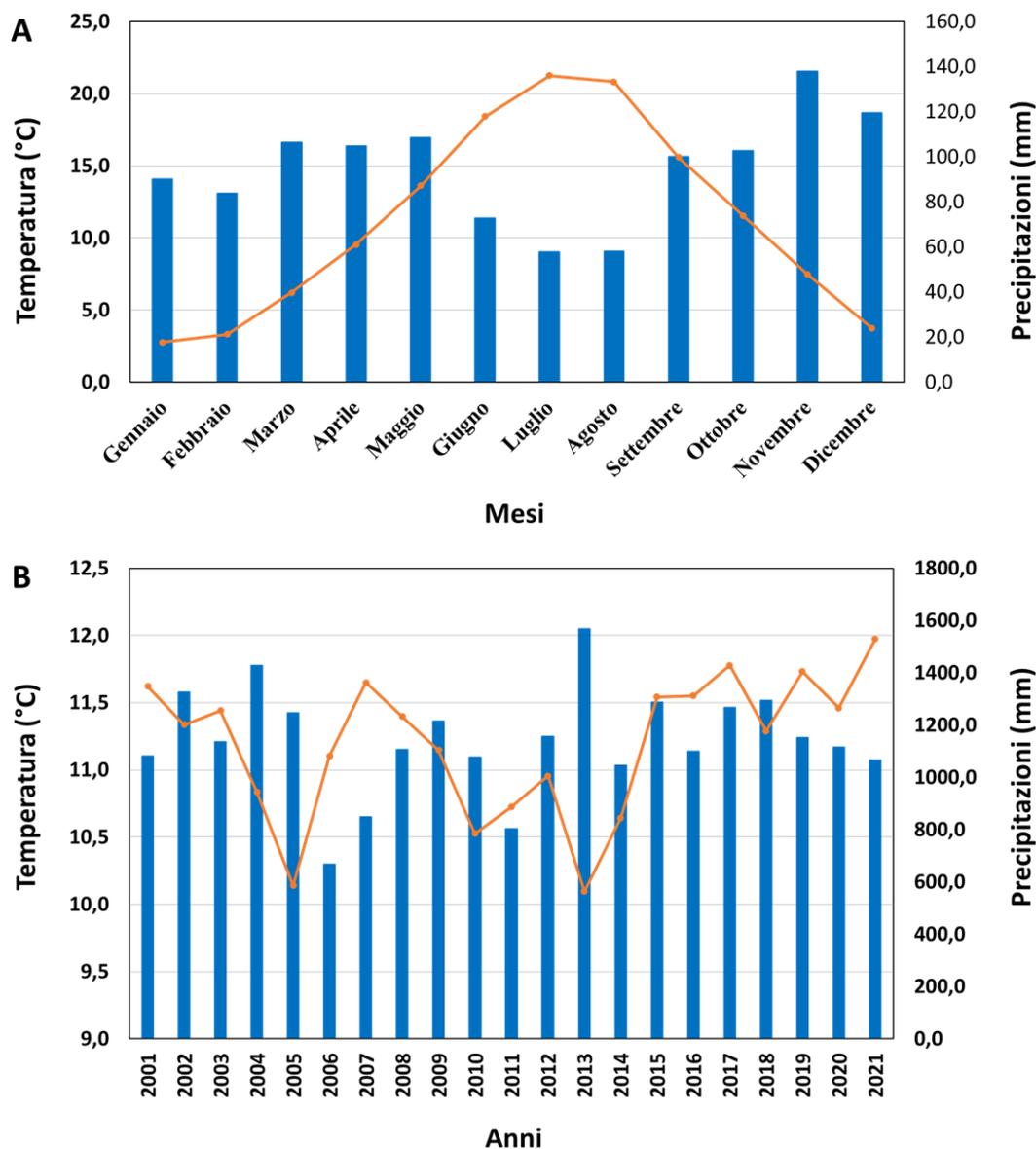


Figura 14 - (A) temperature e precipitazioni medie mensili rilevate dalla stazione meteorologica di Montefortino (FM) dal 2001 al 2021; (B) temperature e precipitazioni medie annuali rilevate dalla stazione meteorologica di Montefortino (FM) dal 2001 al 2021 (fonte dati: ASSAM).

A partire da dicembre, nel periodo invernale, le precipitazioni calano leggermente d'intensità e il picco minimo si verifica nei mesi di luglio e agosto. Le temperature medie mensili oscillano da 2,8 a 13,6 °C da gennaio a maggio e diminuiscono in media da 15,6 e 3,7 °C da settembre a dicembre. Il picco è registrato nel mese di luglio con 21,2 °C.

Riguardo l'andamento climatico annuale, si evince che gli anni più siccitosi rispetto alla media sono stati il 2006, 2007 e 2011, nei quali la siccità verificatosi avrà sicuramente comportato uno stress agli apparati radicali e al quale, come già accennato in precedenza, il castagno risulta essere molto sensibile. Complessivamente però il valore medio di precipitazione è di 1142 mm e la temperatura media di 11,2 °C (**Fig. 14 (B)**).

La temperatura dell'aria, l'umidità dell'aria, l'altitudine e il suolo possono essere considerati fattori determinanti per la diffusione di malattie e parassiti. La variazione di temperatura può agire su diversi aspetti biologici ed evolutivi negli ospiti, nei parassitoidi e nei patogeni (Gomes-Laranjo, J. et al., 2009; Bonsignore, C.P et al., 2019; Bonsignore, C.P et al. 2020) Primavera molto umide possono favorire lo sviluppo e la diffusione del mal dell'inchiostro (*P. cinnamomi* e *P. cambivora*) e del marciume radicale fibroso (*Armillaria mellea*) (Aguin-Pombo, D., 2008). Tali patogeni terricoli sono anche favoriti dall'accumulo di acqua in suoli argillosi rispetto a suoli più permeabili (Menéndez, M.M. et al., 2015; Gomes-Laranjo, J, et al., 2004)

Dai rilievi svolti nelle 6 aree studio (A1-A6) tra fine luglio e inizio agosto 2022 è stato possibile verificare lo stato sanitario di circa 300 piante (**Tab. 1**).

In particolare, nei castagneti è stato possibile distinguere due tipologie di cancri: evolutivo e involutivo/cicatrizzato (Turchetti e Maresi, 1990; Pennisi *et al.*, 1991; Turchetti *et al.*, 2008). Il cancro evolutivo, associato a isolati virulenti di *C. parasitica*, si manifesta con arrossamenti, imbrunimenti e depressioni della corteccia infetta, profonde fessurazioni e abbondante produzione di picnidi. Questa tipologia di cancro provoca il disseccamento della parte del fusto e i rami sovrastanti l'infezione, con conseguente emissioni di rami epicormici che si dipartono al di sotto del cancro (**Fig. 15 A**). Il cancro involutivo/cicatrizzato, associato a isolati ipovirulenti di *C. parasitica*, non porta alla morte della pianta e non provoca l'emissione di rami epicormici. La risposta della pianta all'infezione è data dalla cicatrizzazione dei tessuti corticali e quindi in questo modo la

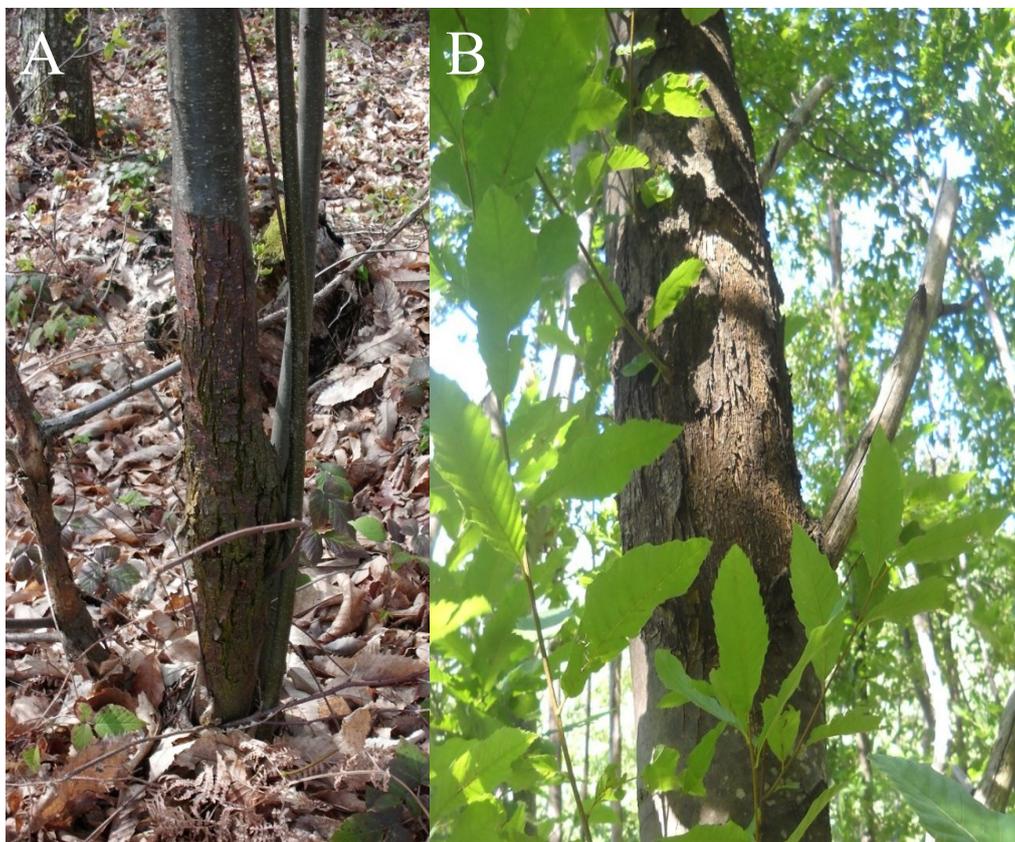
pianta cerca di liberarsi degli strati superficiali di corteccia morta. Nei cancri cicatrizzati il micelio del fungo è superficiale, presenta ridotta vitalità e assenza di picnidi (**Fig. 15 B**).

Tabella 1 - numero complessivo di piante affette dal mal dell'inchiostro e da altre fitopatie per ogni area di studio.

Area di studio	Superficie (ha)	N. piante sintomatiche e con la presenza di altre problematiche fitosanitarie						Piante rilevate
		Necrosi a fiamma	Oidio	Cinipide	Cancro corticale	Mosaico del castagno	Essudati	
A1	0,81	1	0	6	7	16	1	56
A2	0,48	0	0	11	1	0	0	40
A3	0,51	1	0	0	0	0	0	56
A4	0,75	20	0	1	2	1	18	50
A5	0,91	21	0	0	1	3	25	45
A6	0,67	17	1	1	0	4	9	47
Totale	4,13	60	1	19	11	24	53	294

I sintomi di cancro corticale nella maggior parte dei casi erano classificabili come cancro cicatrizzato e quindi determinato da ceppi ipovirulenti di *Cryphonectria parasitica*. L'ipovirulenza è particolarmente diffusa nella regione Marche, grazie anche a una campagna di inoculazioni artificiali che fu effettuata nel 1994 dal Servizio Decentrato Agricoltura della Regione Marche di Ascoli Piceno in collaborazione con esperti del Centro di Studi per la Patologia delle Specie Legnose Montane del CNR di Firenze e della Comunità Montana Modena Est. Recentemente è stato possibile verificare la presenza all'interno dei ceppi ipovirulenti marchigiani dell'ipovirus *Cryphonectria hypovirus 1*, il cui genoma non si differenzia da altre sequenze presenti in database (Murolo *et al.*, 2018). Il contenimento naturale del cancro corticale del castagno sembra anche legato all'attività di microrganismi naturalmente presenti all'interno dei castagneti.

Recentemente, sono stati isolati da cortecce di castagno, funghi appartenenti al genere *Trichoderma* e *Penicillium* spp., che in prove di antagonismo duale hanno effettivamente rallentato o addirittura bloccato la crescita di *C. parasitica* (Murolo et al., 2019).



*Figura 15 - Tipologie di cancri rinvenuti nei sopralluoghi: cancro evolutivo (A), associato a isolati virulenti; cancro involutivo/cicatrizzato (B), associato ad isolati ipovirulenti di *C. parasitica*.*

La maggiore presenza dei ceppi ipovirulenti è anche garanzia che tale problematica sia attualmente sotto controllo, quello che ci aspetta nel prossimo futuro non è ben chiaro considerando che il cinipide galligeno (**Fig. 16**) ha avuto un forte impatto sulla vigoria delle piante in alcuni casi potrebbe portare a una recrudescenza di tale malattia. Tali osservazioni sembrano in linea con quanto già messo in evidenza da Turchetti *et al.* (2010), che segnalava una significativa recrudescenza della mortalità di branche, rami e rametti dovuta agli attacchi di *C. parasitica* nelle regioni Trentino, Piemonte e Toscana sottoposte da alcuni anni ad attacchi intensi dell'imenottero.

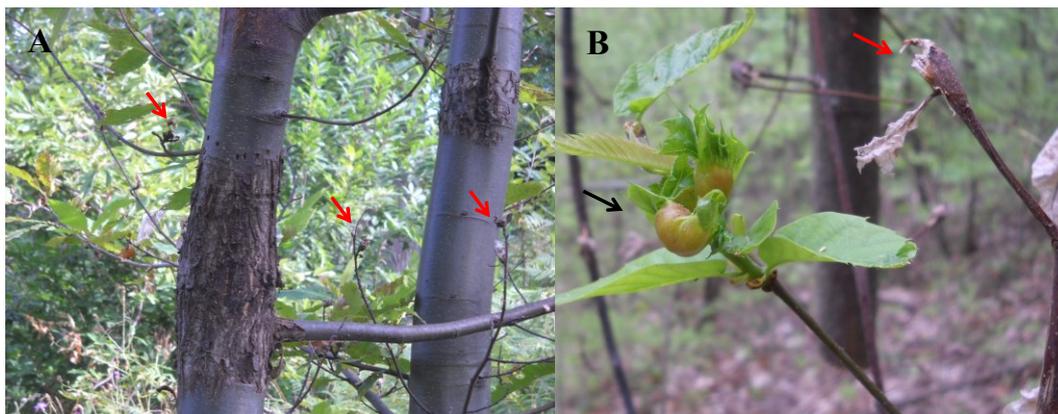


Figura 16 - Pianta di castagno con evidente cancro corticale e galle e defogliazioni determinate dal cinipide galligeno (freccie rosse) (A); danni alla ripresa vegetativa (freccia nera) con la formazione di foglie deformate per la presenza di galle (B).

Un'altra problematica riscontrata all'interno dei castagneti è stato il mosaico del castagno, circa l'8,1% (24/294 piante) (**Fig. 17**).



Figura 17 - La sintomatologia si accentua nel corso della stagione, perdurando fino all'epoca della maturazione dei frutti; le piante colpite risultano meno produttive.

I sintomi di decolorazione osservati a carico delle foglie, più evidenti nel mese di giugno, sono seguiti da ripiegatura a doccia con aspetto talvolta allessato e necrosi marginali, con un impatto anche sulle produzioni. In genere piante che mostrano lievi

sintomi, risultano produttive mentre piante che manifestano sintomi gravi ed estesi all'intera pianta producono poco o non affatto.

Molte delle piante sintomatiche erano nelle frazioni di Pozza e Umito di Acquasanta Terme, dove in seguito a sequenziamento massale su piattaforma Illumina è stato possibile ricostruire il genoma di un virus appartenente al genere *Badnavirus* (Marais *et al.*, 2021). Tale virus sembra associato nella maggior parte dei casi alla sintomatologia riscontrata su piante di castagno, definita come mosaico, anche se è stato anche diagnosticato in piante che non risultano sintomatiche (**Fig. 17**).

Per quanto riguarda il mal dell'inchiostro sono stati presi in esame ingiallimento e defogliazione e disseccamento della chioma, nonché presenza di essudati e necrosi al colletto che rappresentano sintomi tipici di tale malattia.

In particolare, su 294 piante monitorate solo 10 sono risultate sane, vigorose e prive di sintomi di disseccamento, presenti occasionalmente nelle 6 aree studio (**Tab. 2**).

Tabella 2 - numero complessivo di piante suddivise per ogni classe percentuale di tessuto morto riferite ad ogni area di studio.

Area di studio	N. piante classificate in base alla percentuale di tessuto morto a carico della chioma					Piante rilevate
	0%	Fino a 30%	31-50%	>50%	Morta	
A1	1	21	9	7	18	56
A2	1	8	9	11	11	40
A3	4	44	6	1	1	56
A4	0	14	12	22	2	50
A5	2	19	12	9	3	45
A6	2	22	20	3	0	47
Totale	10	89	68	53	35	294

Le restanti piante hanno mostrato una diversa severità dei sintomi di disseccamento ripartiti nelle diverse classi patometriche (**Fig. 18**). In particolare, l'11,9% (35/294) delle

piante monitorate erano morte in piedi, mentre circa il 30% mostravano disseccamenti della chioma fino al 30%, più del 20% degli individui mostrava una chioma compromessa tra il 31 e 50%, infine nel 18% degli esemplari aveva percentuali di disseccamento superiori al 50%.



Figura 18 - esempi di valutazione di percentuale di tessuto morto: (A) fino al 30%; (B) 30-50%; (C) >50%; (D) pianta morta

Un sintomo sicuramente specifico strettamente legato al mal dell'inchiostro è rappresentato dalla presenza di necrosi al colletto (**Fig. 19**) e di essudati (**Fig. 20**).



Figura 19 - (A) visibile necrosi delle radici; (B) caratteristica fiamma a livello del colletto in seguito all'alterazione cromatica dei tessuti cambiali e dell'alburno e morte del cambio cribro-vascolare.

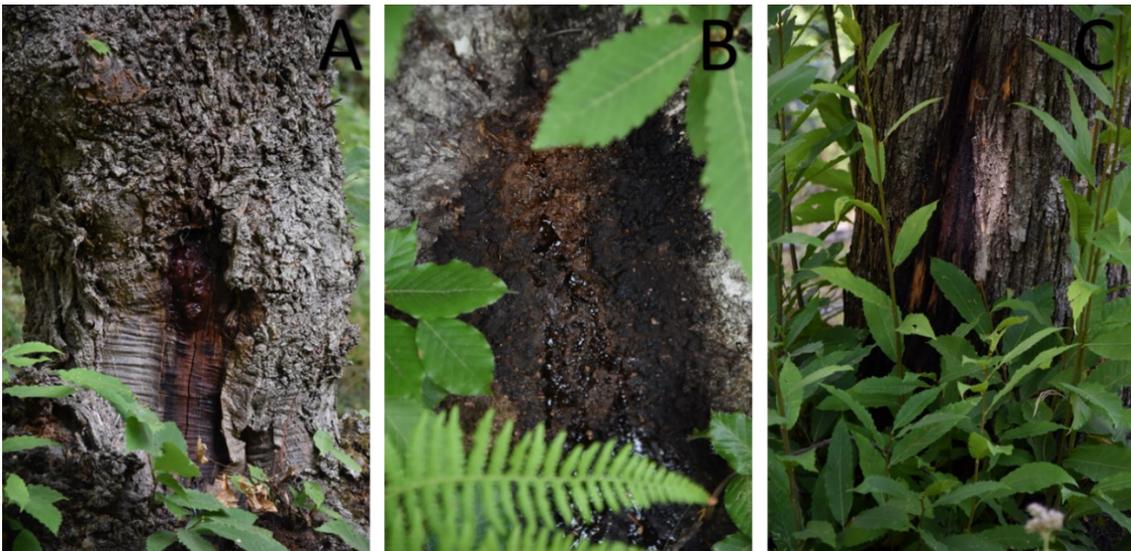


Figura 20 - (A) e (B) presenza di essudati a livello del colletto; (C) imbrunimento dei tessuti.

Di seguito per ciascuna area studio si riportano le principali caratteristiche del popolamento, nonché la mappa di distribuzione delle piante infette da mal dell'inchiostro

5.1 Area di studio A1 – Pozza, Acquasanta Terme (AP)

A1 è situata nella frazione di **Pozza** del comune di Acquasanta Terme (AP), compresa ad un'altitudine tra 850 e 950 m s.l.m. È attraversata da sentieri e vie forestali per il transito di mezzi di piccola dimensione. Il popolamento oggetto di studio evidenzia che la moda della distribuzione diametrica ricade nella classe di 30 cm, con presenza di piante che raggiungono i 2 metri di diametro (Fig. 21).

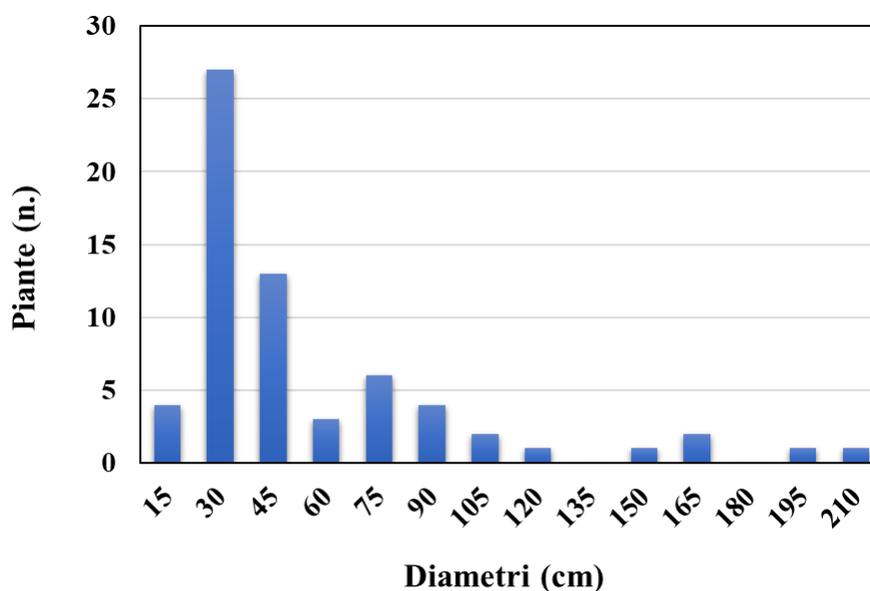


Figura 21 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A1 (fraz. Pozza, Acquasanta Terme).

Dal rilievo fitosanitario è emerso che pur avendo riscontrato necrosi al colletto ed essudati nerastri sporadicamente sulle piante, solo il 2% delle piante risultava in ottime condizioni vegetative, circa il 30% degli individui presentava disseccamenti che interessavano più del 30% della chioma. Come anche il 32 % delle piante erano morte in piedi (Fig. 22).

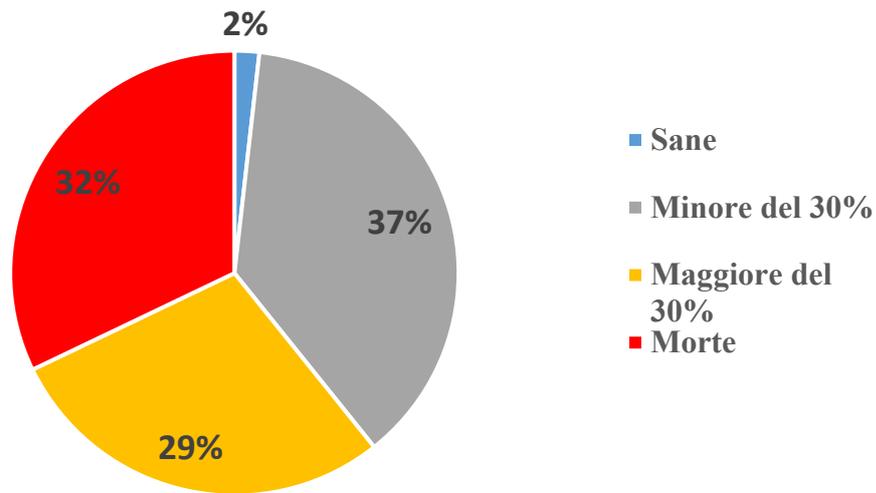


Figura 22 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A1 (fraz. Pozza, Acquasanta Terme).

Dalla mappa di diffusione si visualizza come la moria e il deperimento degli individui si aggrava dirigendosi verso quote minori (Fig. 23). Da ciò si può ipotizzare che a seguito del deflusso delle acque ci sia stata la propagazione dell'agente causale.

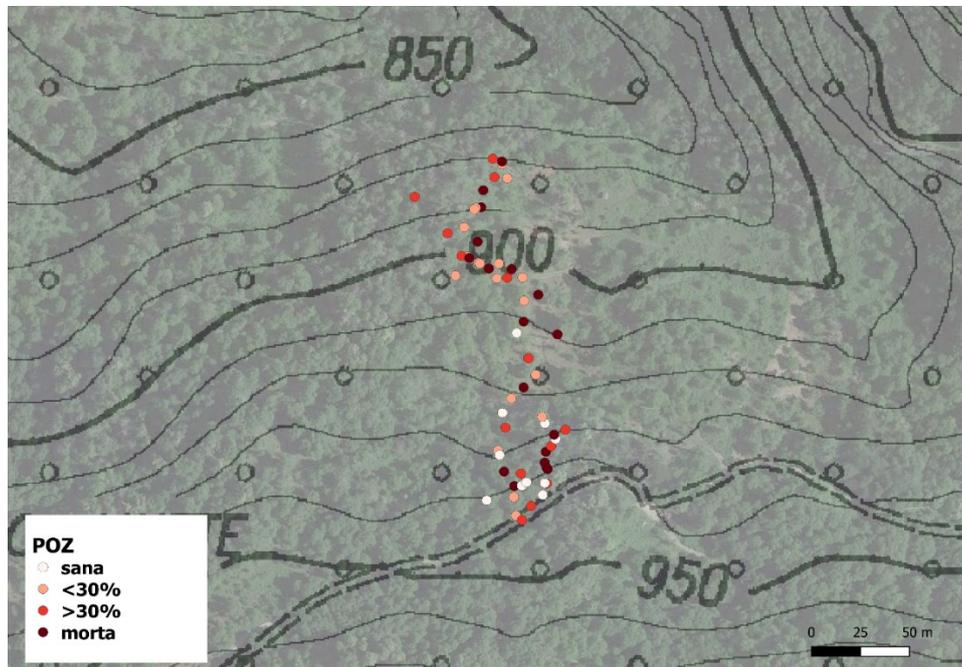


Figura 23 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A1.

5.2 Area di studio A2 – Faete, Arquata del Tronto (AP)

A2 è situata nella frazione di Faete del comune di Arquata del Tronto (AP), nella zona Madonna della Neve, situata ad un'altitudine di circa 850 m s.l.m. ed è separata dalle altre proprietà boschive da una via di collegamento. La densità del popolamento è molto elevata e si evidenzia che la maggior parte degli individui rientrano nella classe diametrica di 40 cm e in numero minore in quelle da 60 e 80 cm (**Fig. 24**).

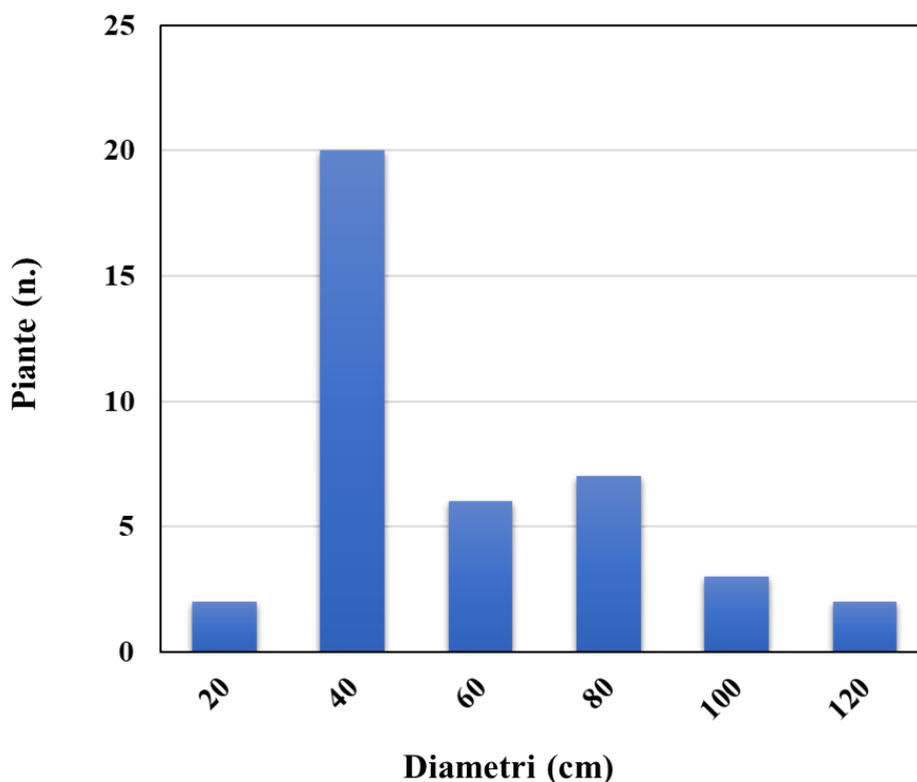


Figura 24 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A2 (fraz. Faete, Arquata del Tronto).

Dal rilievo fitosanitario è emerso che, pur non riscontrando alcun sintomo caratteristico derivante dal mal dell'inchiostro, il 2% della popolazione rilevata era sana, il 20% presentava deperimento inferiore al 30%, metà degli individui maggiore del 30% e il 28% erano morte in piedi (**Fig. 25**)

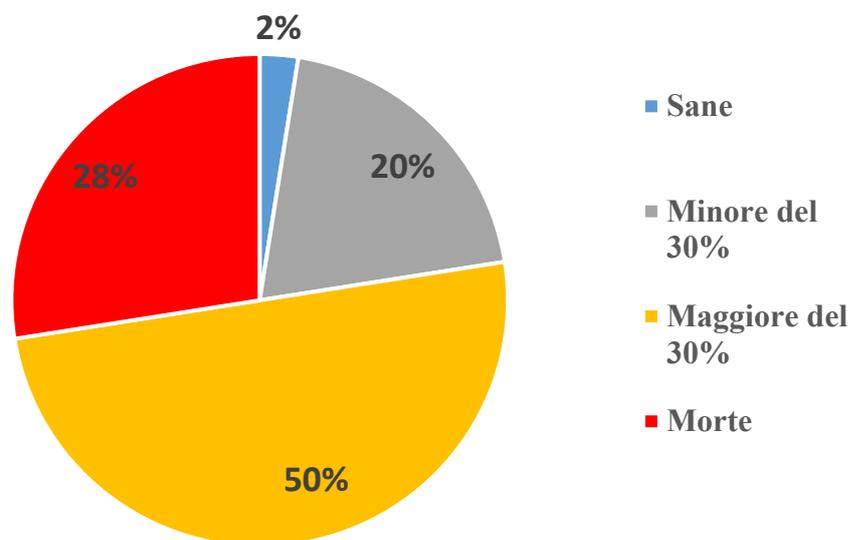


Figura 25 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A2 (fraz. Faete, Arquata del Tronto).

Dalla mappa di diffusione si visualizza che il deperimento è uniformemente distribuito su tutta l'area rilevata (**Fig. 26**).



Figura 26 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A2

5.3 Area di studio A3 – Spelonga, Arquata del Tronto (AP)

A3 è limitrofa alla precedente, nella frazione di Spelonga, località Cosciarola appartenente sempre al comune di Arquata del Tronto (AP) e situata all'interno dell'area denominata "Del Campo", compresa ad un'altitudine tra 900 e 950 m s.l.m. Il popolamento oggetto di studio è coetaneiforme e la classe diametrica più rappresentativa è quella di 60 cm (**Fig. 27**).

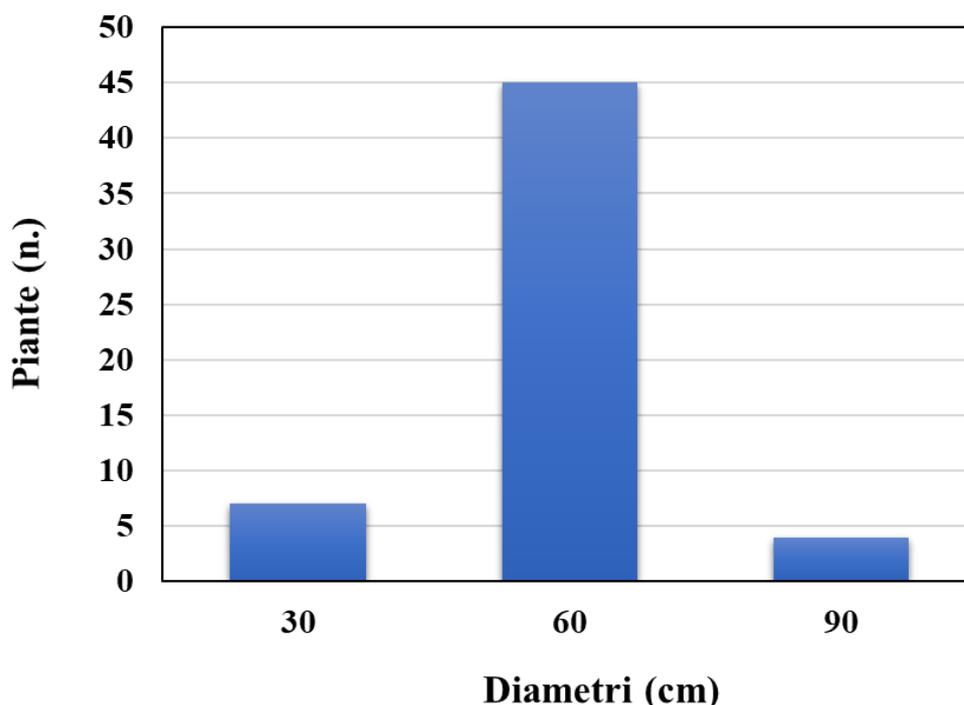


Figura 27 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A3 (fraz. Spelonga, Arquata del Tronto).

Dal rilievo fitosanitario (**Fig. 28**) risulta che quest'area è la meno colpita dal mal dell'inchiostro, si potrebbe presupporre che la fascia d'età pressoché omogenea non abbia consentito al fungo di propagarsi attraverso individui più deboli.

Il deperimento a carico della chioma è poco marcato; infatti, l'80% degli individui circa presentavano un deperimento inferiore al 30%, il 12% erano deperite più del 30%, il 7% risultavano in ottimo stato di salute e solo il 2% erano morte in piedi.

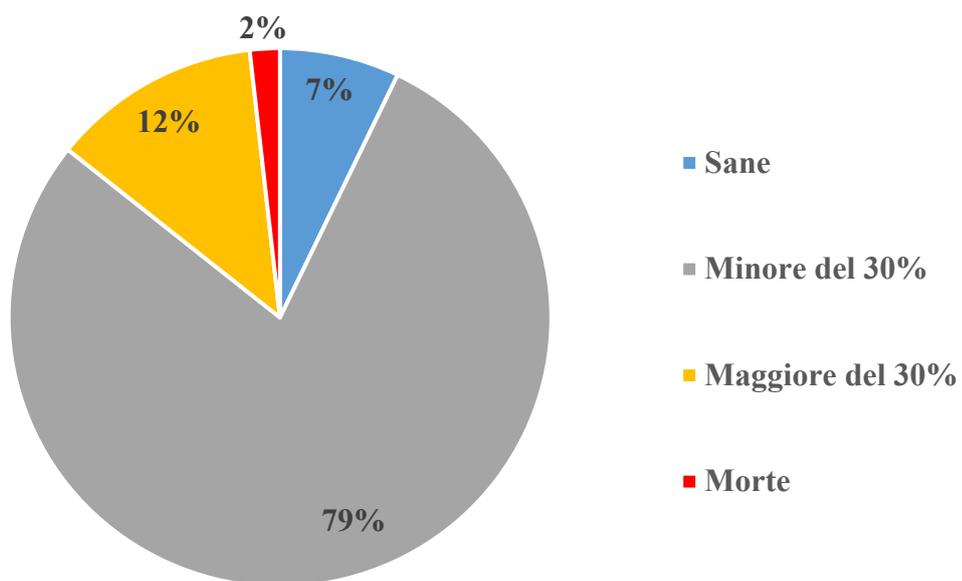


Figura 28 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A3 (fraz. Spelonga, Arquata del Tronto).

5.4 Area di studio A4, Altino di Montemonaco sito (A), Montemonaco (AP)

A4 è ubicata all'interno della frazione Altino del comune di Montemonaco (AP) a sud della località Tofe, ad un'altitudine di circa 923 m s.l.m. La distribuzione della popolazione è coetaneiforme (**Fig. 29**) con gran parte degli individui di diametri compresi nelle classi da 55 a 75 cm.

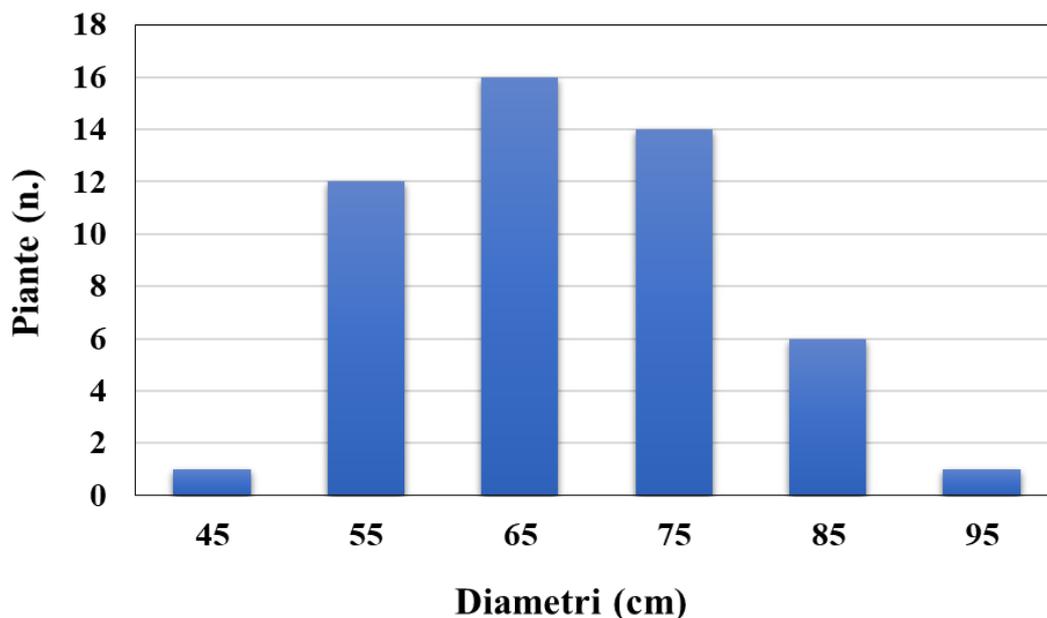


Figura 29 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A4 (fraz. Altino, Montemonaco).

Dal rilievo effettuato (**Fig. 30**) si evince che oltre il 70% degli individui presentavano una percentuale di tessuto morto maggiore del 30%, il 4% risultavano morte in piedi e il 23% deperite sotto al 30%.

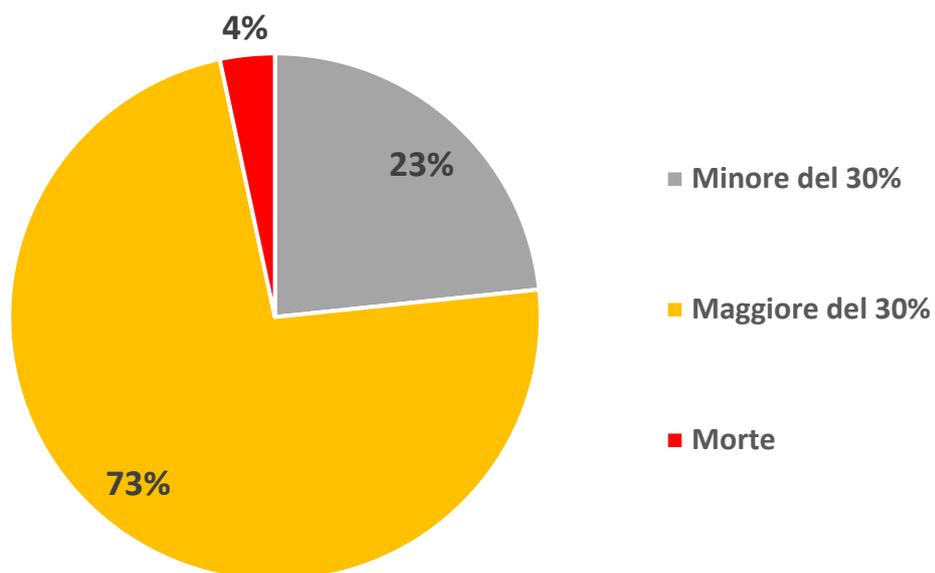


Figura 30 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A4 (fraz. Altino, Montemonaco).

La malattia è distribuita uniformemente per l'intera area di studio considerata e sembrerebbe che stia progredendo verso quote minori (**Fig. 31**)

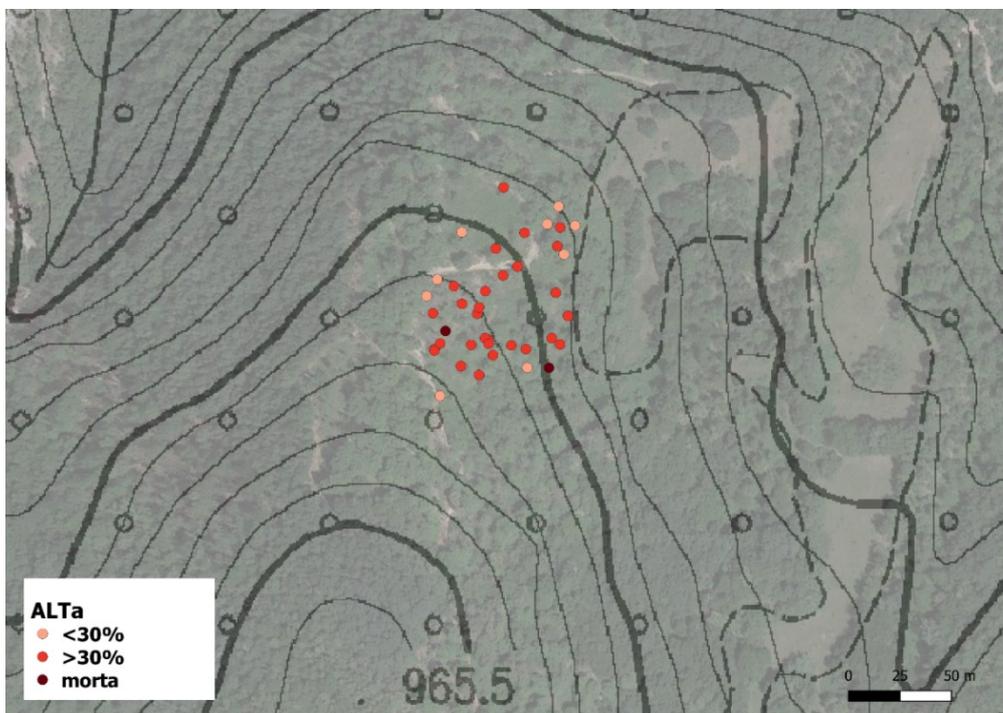


Figura 31 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A4

In **Fig. 32** si può visualizzare la distribuzione dei sintomi che più ci riconducono alla presenza di *Phytophthora*, ovvero quelli a carico della corteccia, con la presenza della caratteristica necrosi a fiamma al colletto e la presenza di essudati.

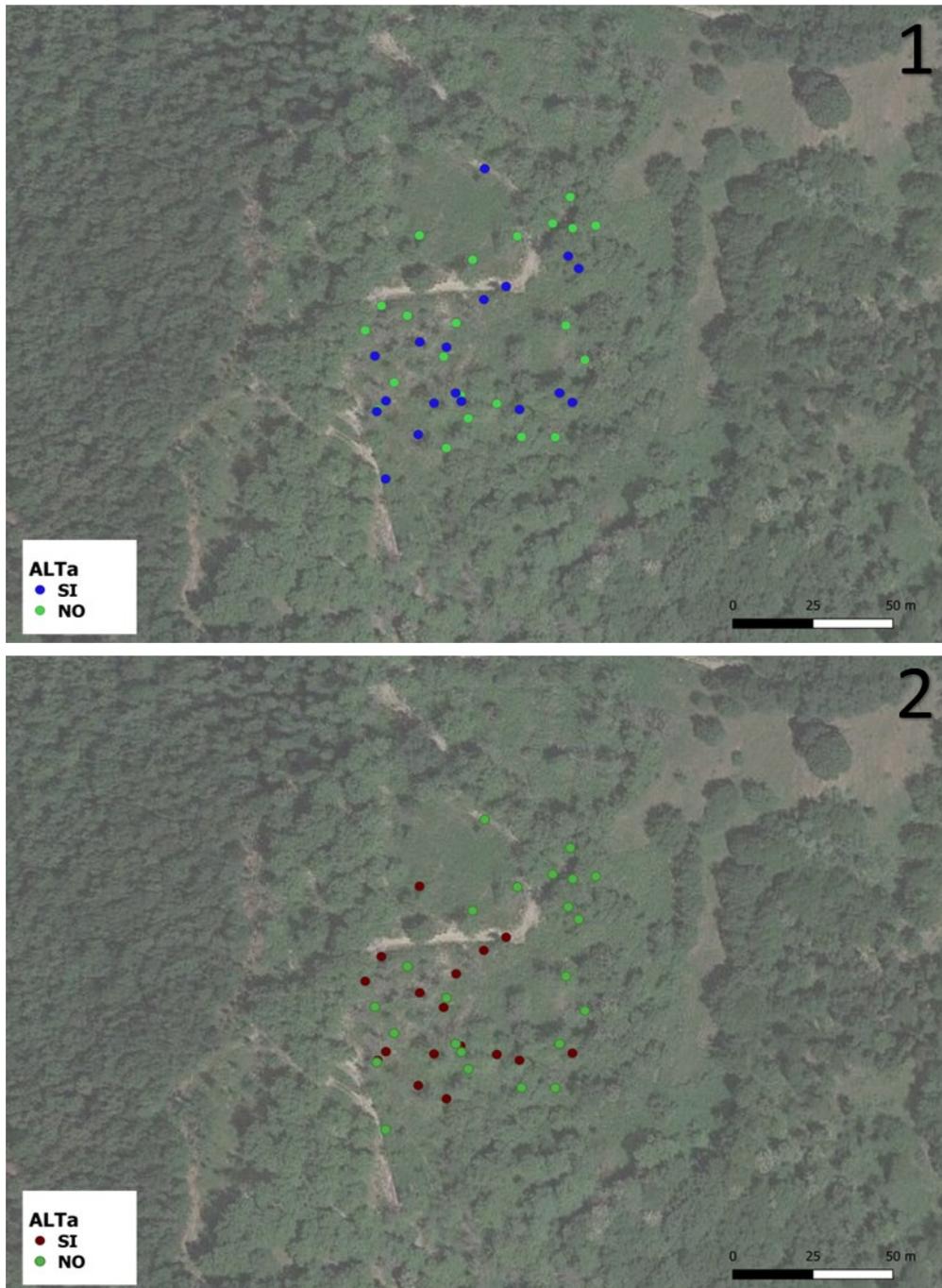


Figura 32 – (1) distribuzione della presenza/assenza di necrosi a fiamma nel popolamento di Altino (sito A); (2) distribuzione della presenza/assenza degli essudati nel popolamento di Altino (sito A).

5.5 Area di studio A5, Altino di Montemonaco (sito B), Montemonaco (AP)

A5 è situata a sud della località Pignotti, sempre all'interno della frazione di Altino del comune di Montemonaco, ad un'altitudine inferiore della precedente, non oltre gli 850 m s.l.m. Dal grafico in **Fig. 33** si evince un tipo di popolamento coetaniforme con gran parte degli individui con diametri che vanno da 60 cm fino ai 100 cm. Sporadicamente sono stati rinvenuti esemplari anche di dimensioni superiori.

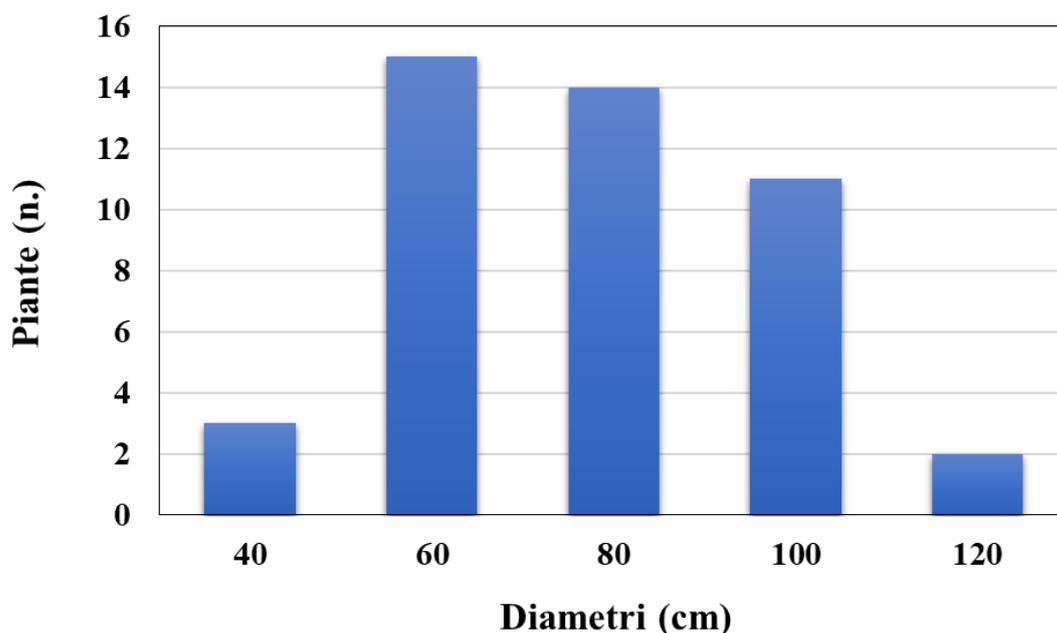


Figura 33 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A5 (fraz. Altino, Montemonaco).

Il rilievo condotto in campo ha riportato che quasi il 50% degli individui presentavano un deperimento superiore al 30%, il 7% sono risultati morti, solo il 4% vivi e la restante parte deperiti fino al 30% (**Fig. 34**)

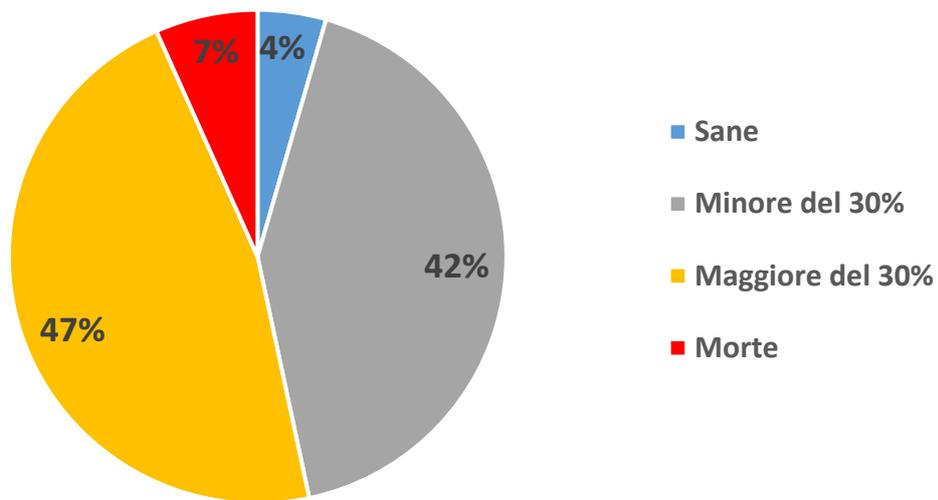


Figura 34 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A5 (fraz. Altino, Montemonaco).

Dalla mappa di distribuzione in **Fig. 35**, si può notare come il fungo abbia interessato omogeneamente tutta l'area rilevata.

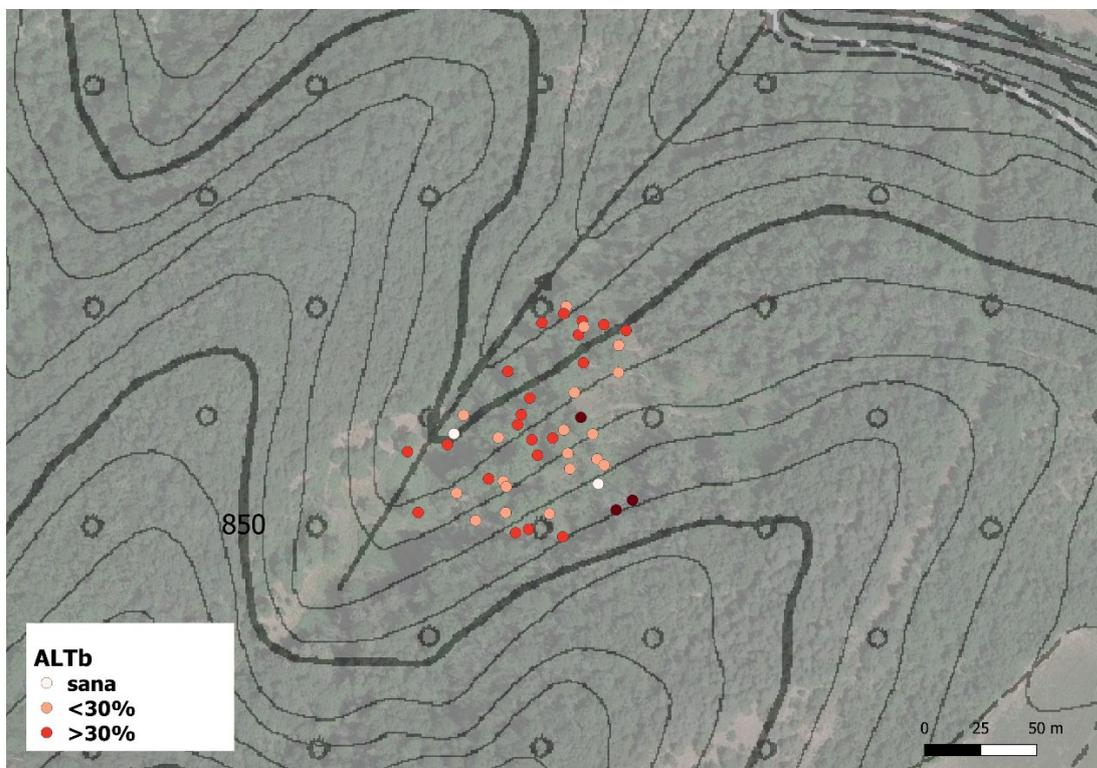


Figura 35 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A5

Come per la precedente area (A4), in **Fig. 36** viene riportata la distribuzione dei sintomi che più ci riconducono alla presenza del mal dell'inchiostro: necrosi a fiamma e presenza di essudati

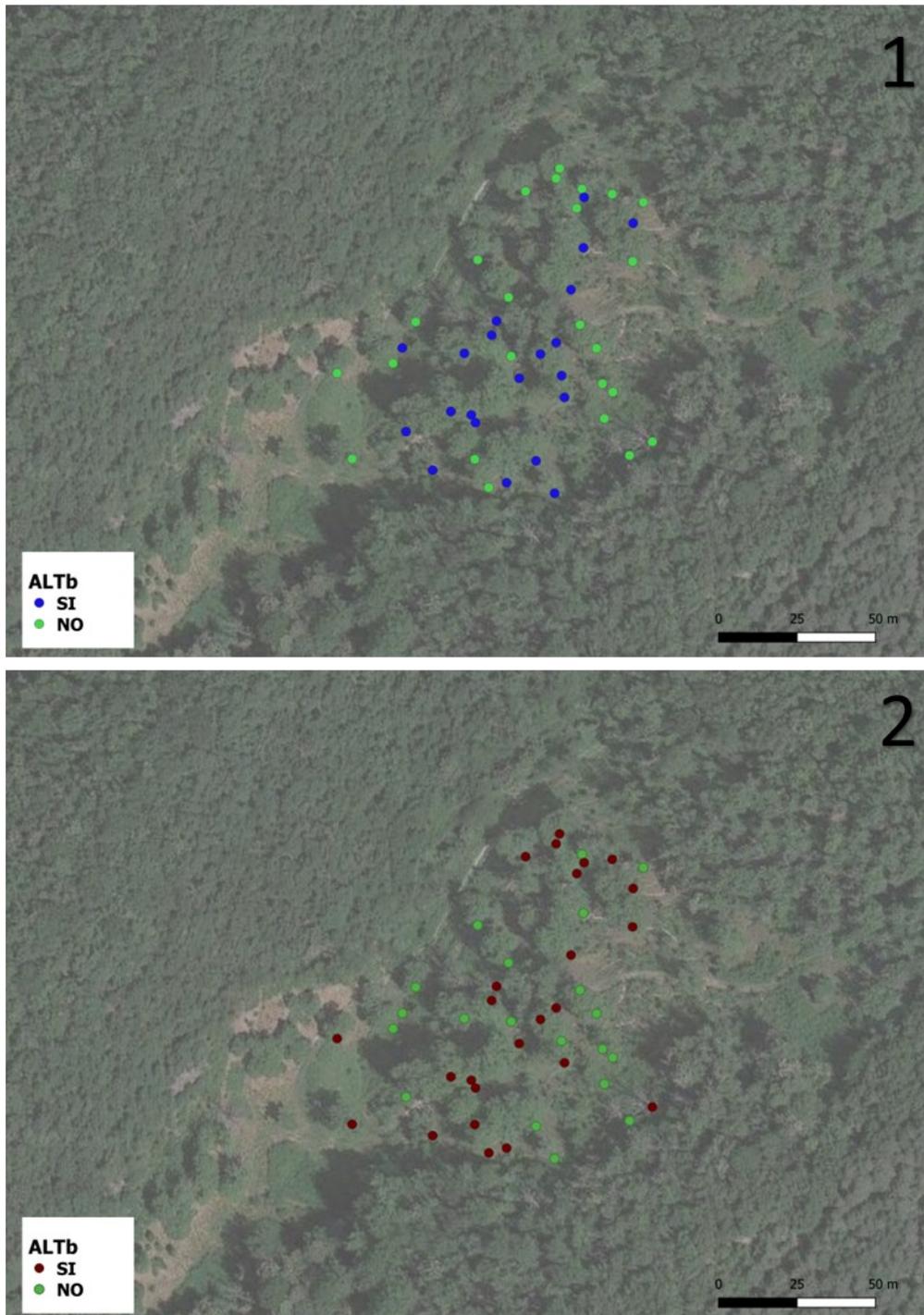


Figura 36 - (1) distribuzione della presenza/assenza di necrosi a fiamma nel popolamento di Altino (sito B); (2) distribuzione della presenza/assenza degli essudati nel popolamento di Altino (sito B).

5.6 Area di studio A6, Uscerno, Montegallo (AP)

L'ultima area di studio, A6, è ubicata nella frazione di Uscerno nel comune di Montegallo (AP), ad un'altitudine compresa tra 550 e 500 m s.l.m. Gli individui sono rappresentati da una distribuzione bimodale, le classi diametriche più rappresentative sono quelle di 65 cm e 45 cm (Fig. 37), con seconda moda di circa 125 cm.

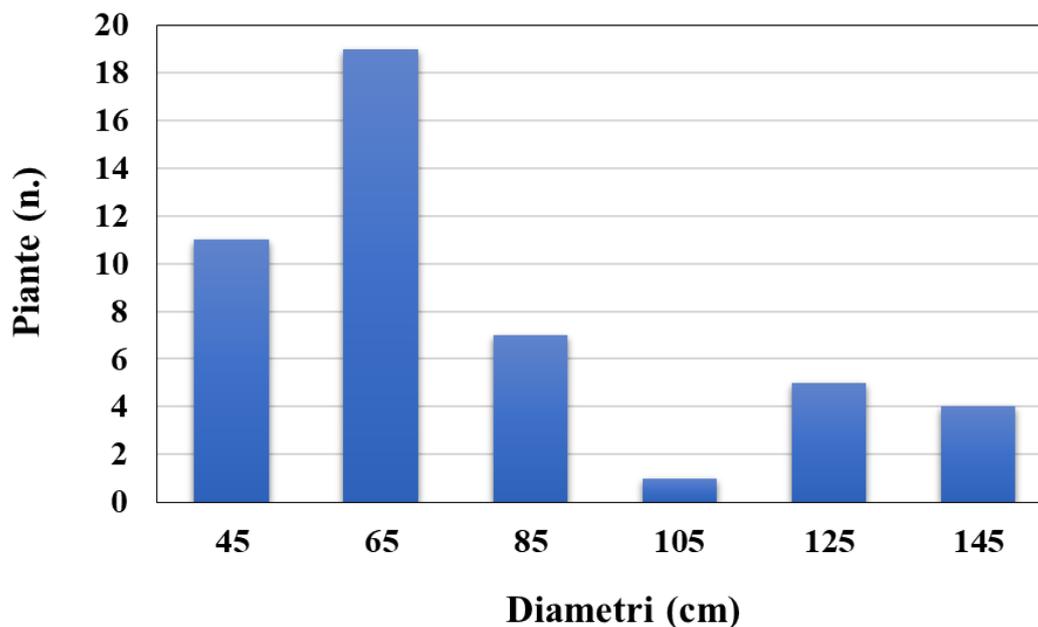


Figura 37 - Distribuzione delle piante di castagno nelle rispettive classi diametriche presso l'area studio A6 (fraz. Uscerno, Montegallo).

Dal rilievo effettuato è possibile dedurre che quasi la metà degli individui rilevati (49%) erano deperiti più del 50%, il 47% invece presentavano deperimento inferiore al 30% e solo il 4% risultano in ottimo stato di salute (Fig. 38). Non sono stati riscontrati individui morti.

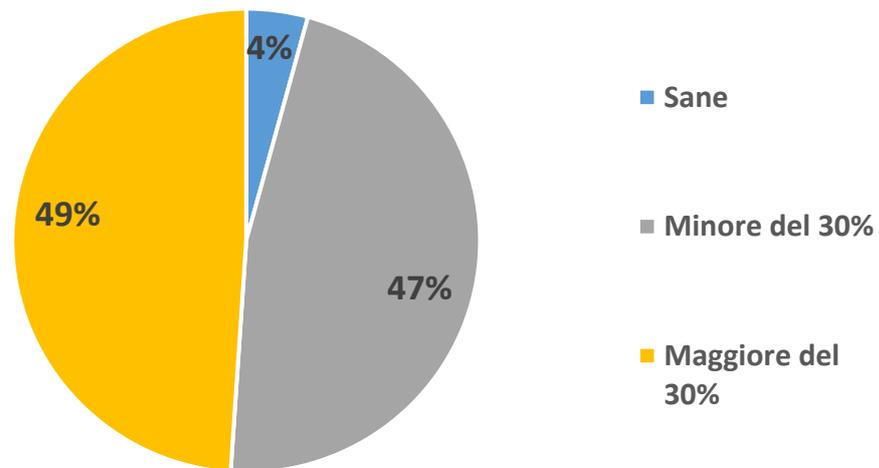


Figura 38 - Percentuale di individui di castagno valutati in base alla percentuale di tessuto morto della chioma nell'area di studio A6 (fraz. Uscerno, Montegallo).

Dalla distribuzione in Fig. 39 si evince che la propagazione del patogeno possa essere avvenuta verso valle in quanto qui è presente una maggiore concentrazione degli individui deperienti.

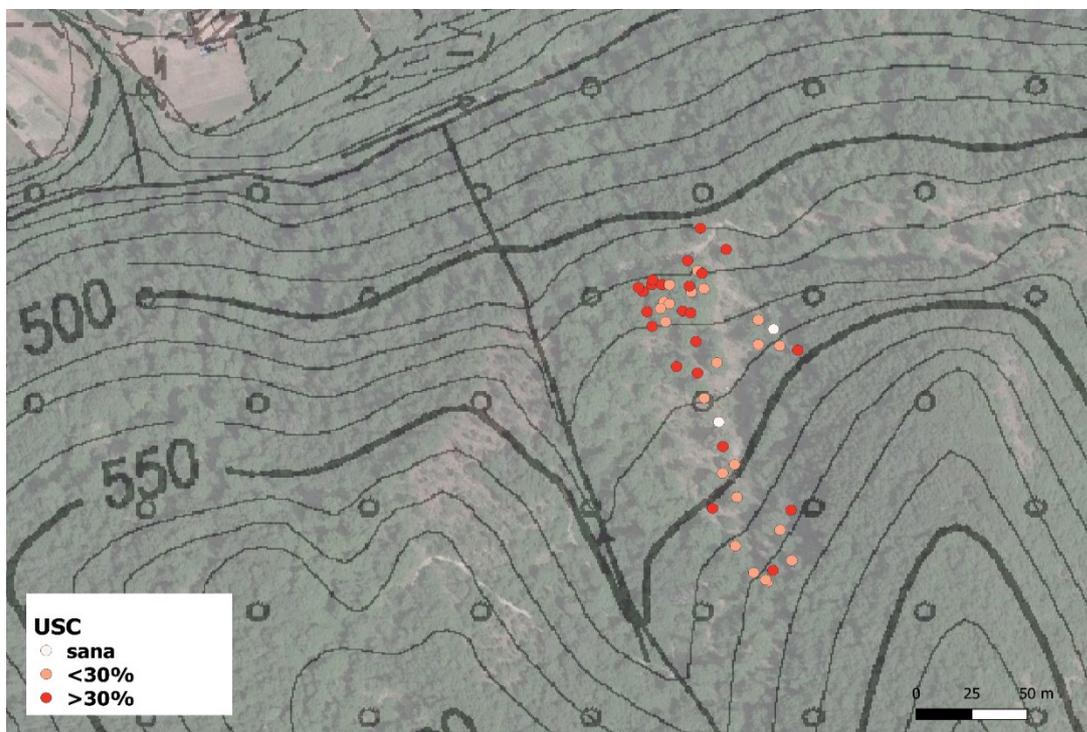


Figura 39 - Mappa di distribuzione degli individui di castagno con le rispettive percentuali di deperimento della chioma rinvenute all'interno dell'area A6

Come per le precedenti aree (A4 ed A5), è stata riportata, in **Fig. 40**, la mappa di distribuzione delle necrosi a fiamma ed essudati riscontrati in campo

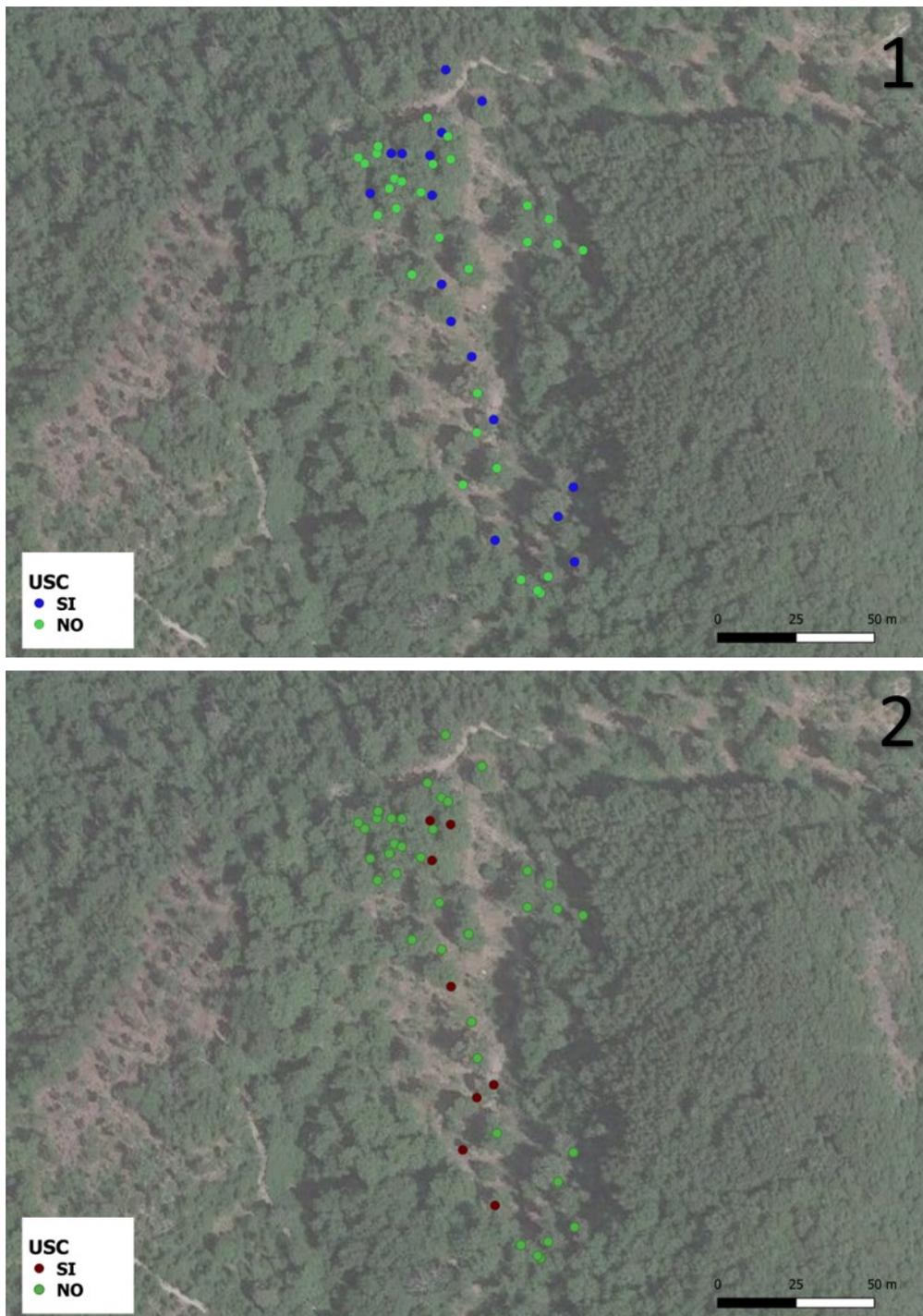


Figura 40 - (1) distribuzione della presenza/assenza di necrosi a fiamma nel popolamento di Uscerno; (2) distribuzione della presenza/assenza degli essudati nel popolamento di Uscerno

6. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha permesso di verificare la situazione fitosanitaria dei castagneti presenti all'interno di zone particolarmente vocate alla castanicoltura. In conclusione, possiamo dedurre che buona parte degli individui rilevati sono colpiti dal mal dell'inchiostro con evidenti sintomi, altri presentano invece solo deperimento a livello della chioma, ciò può indurci a pensare che la malattia è ancora in fase di avanzamento e non si è affermata del tutto.

Dalla lettura delle mappe di distribuzione della malattia si può ipotizzare che la propagazione del patogeno si diriga verso quote minori. Durante il rilevamento della patologia in questione sono stati riscontrati anche la presenza di altre fitopatie che sicuramente hanno contribuito al deperimento o alla morte degli individui.

I rilievi effettuati sono da considerarsi come primo tentativo di mappare lo stato fitosanitario delle popolazioni di interesse; tenendo conto della bassa precisione e accuratezza del ricevitore GNSS utilizzato, non è stato possibile effettuare alcuna analisi spaziale dei dati collezionati. Inoltre, il rilievo si è concentrato su un numero limitato di individui arborei, sarà invece utile in future procedere con un campionamento sistematico o con un rilievo di tutti gli individui presenti all'interno di un'area di studio prefissata, garantendo quindi anche la presenza di punti di controllo. Il rilievo è stato molto utile per una prima descrizione dello stato in campo ma in prospettiva sarà necessario l'approfondimento delle caratteristiche fitosanitarie del soprassuolo cercando eventuali correlazioni con le caratteristiche ambientali (es. topografiche e microclimatiche) dei territori indagati, con la finalità di realizzare mappe di rischio che appurino la presenza attuale e modellino la possibile futura diffusione del patogeno.

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Agrios G. 2005. Plant Pathology. 5th Ed., Elsevier Academic Press, Burlington, MA01803, USA, 922 pp

Aguin-Pombo, D.; Arraiol, A.; Guerreiro, J.; Sardinha, D.; Silva, A.; Franquinho-Aguiar, A.M. A Cultura do Castanheiro; Centro de Estudos da Macaronésia: Funchal, Portugal, 2008; 14p.

Allocca, Carmine, e Alessandro Arata. 2008. «Preta - Monti Della Laga». 2008. <http://www.zaininspalla.it/articoli.php?url=articoli/geologia/montidellalaga.htm&titolo=Preta%20-%20Monti%20della%20Laga>.

Allegrezza, M., 2003. Vegetazione e paesaggio vegetale della dorsale del Monte San Vicino (Appennino centrale). Fitosociologia, 40(1 s1): 3–118

Alma, Alberto, e et al. 2021. «PIANO DI SETTORE CASTANICOLO 2021/2024», 2021.

Antonaroli, Riccardo, e Maria Rosaria Perna. 2000. «UNA FITOPATIA AD EZIOLOGIA ANCORA INCERTA: IL GIALLUME DEL CASTAGNO IN EMILIA-ROMAGNA E NELLE MARCHE».

ASSAM. 2022. «Rete Stazioni Meteo Assam». 2022. http://www.meteo.marche.it/assam/stazioni_coa/stazioni_coa.aspx?Inizio&hid_x_center=13.31&hid_y_center=42.93&hid_zoom=13&prov=FM&staz=st18&Fine.

ASSAM, e Vannini. 2011. «Mal Dell'inchiostro Del Castagno». https://forestphytophthoras.org/sites/default/files/educational_materials/Scheda%2520Mal%2520dell%2527Inchiostro.pdf.

Biondi E., Ballelli S., Allegrezza M., Zuccarello V., 1995. La vegetazione dell'ordine Brometalia erecti Br.-Bl. 1936 nell'Appennino (Italia). *Fitosociologia* 30: 3-45.

Biondi E., Casavecchia S., Pinzi M., Allegrezza M. & Baldoni M., 2002. The syntaxonomy of the mesophilous woods of the Central and Northern Appennines (Italy). *Fitosociologia* 39 (2): 71-93

Biondi, Edoardo, Simona Casavecchia, Anna Rita Frattaroli, Simone Pesaresi, e Gianfranco Pirone. 2010. «La Vegetazione Forestale Del Parco Nazioanle Del Gran Sasso e Monti Della Laga». *L'Italia Forestale e Montana*, 699–735. <https://doi.org/10.4129/IFM.2010.6.03>.

Bonin G. 1972. Première contribution à l'étude des pelouses mésophiles et des groupements hygrophiles du Monte Pollino (Calabre). *Phyton* 14(3-4): 271-280

Bonis, Luciano de, Ente Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, e Dario Febbo. 2017. «Relazione PIANO DEL PARCO», 2017. <https://www.regione.abruzzo.it/sites/default/files/DGR/DGR298C-2017/RELAZIONE-1-PARTE.pdf>.

Bonsignore, C.P.; Vono, G.; Bernardo, U. Environmental thermal levels affect the phenological relationships between the chestnut gall wasp and its parasitoids. *Physiol. Entomol.* 2019, 44, 87–98.

Bonsignore, C.P.; Vizzari, G.; Vono, G.; Bernardo, U. Short-term cold stress affects parasitism on the Asian chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. *Insects* 2020, 11, 841.

Brasier C.M. 2008. The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plants. *Plant Pathology* 57: 792-808

Bravo G.A. 1949. Cenni botanici sul castagno. In *Il castagno ed il suo estratto tanninico*. 12-18. Edito da Italtannino

Cristizio G., Testa A., Severino E., De Vivo A. 2005. Suscettibilità di 12 cultivar di *Castanea sativa* a *Phytophthora cinnamomi*. *Informatore fitopatologico* 12 : 43-45

Desvignes J.C., Lecocq G., 1995. New knowledges on the chestnut mosaic virus disease. *Acta Hortic.*, 386, 578-584.

Erwin D.C., Ribeiro O.K. 1996. *Phytophthora diseases worldwide*. American Phytopathological Society Press, St. Paul, Minnesota, Stati Uniti, 562 pp.

Fermanelli, Alfredo. 2012. «Flora e Vegetazione Sibillini». 2012. <http://www.ambiente.marche.it/Portals/0/Ambiente/Natura/Parchi%20e%20Riserve/GeneraleParchiRiserve/Comprensorio-MontiSibillini.pdf>.

Gentile, S. 1970. Sui faggeti dell'Italia meridionale (Beech woodlands of Southern Apennines). *Atti dell'istituto Botanico dell'Università di Pavia* 65: 207-306.

Gomes-Laranjo, J.; Almeida, P.; Ferreira-Cardoso, J.; Peixoto, F. Ecophysiological characterization of *C. sativa* trees growing under different altitudes. *Acta Hortic.* 2009, 844, 119–12.

Gomes-Laranjo, J.; Araújo-Alves, J.; Ferreira-Cardoso, J.; Pimentel-Pereira, M.; Abreu, C.G.; Torres-Pereira, J. Effect of chestnut ink disease on photosynthetic performance. *J. Phytopathol.* 2004, 152, 138–144.

Grassi G., Cristinzio G., Scalise A., Scalzi T., Colosimo P.L. - Lotta chimica e biologica al mal dell'inchiostro del castagno effettuata con l'ausilio di tre portainnesti. "Il Castagno in Calabria: "Stato attuale, ricerca scientifica e prospettive". Camigliatello Silano (CS), 24-25 ottobre 2002

Gualaccini, G. 1958. Una virosi nuova del castagno. *Boll. Staz Patol. Veg. Roma* 16:67-75.

INFC, 2007a – Le stime di superficie 2005 – Prima Parte. Autori: G. Tabacchi, F. De Natale, L. Di Cosmo, A. Floris, C. Gagliano, P. Gasparini, L. Genchi, G. Scrinzi, V. Tosi. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Corpo Forestale dello Stato – Ispettorato Generale, CRA – ISAFSA, Trento. <http://www.infc.it>.

INFC, 2007b – Le stime di superficie 2005 – Seconda Parte. Autori: G. Tabacchi, F. De Natale, L. Di Cosmo, A. Floris, C. Gagliano, P. Gasparini, I. Salvadori, G. Scrinzi, V. Tosi. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Corpo Forestale dello Stato – Ispettorato Generale, CRA – ISAFSA, Trento. <http://www.infc.it>.

I.P.L.A., 2001. Inventario e Carta Forestale della Regione Marche - I tipi forestali delle Marche (www.agri.marche.it).

Luciano, Pietro, e et al. 2016. «Avversità Delle Piante Forestali in Sardegna».

Marais A., Murolo S., Faure C., Brans Y., Larue C., Maclot F., Massart S., Chiumenti M., Minafra A., Romanazzi G., Lefebvre M., Barreneche T., Robin C., Petit R. J., and Candresse T. 2021. Sixty Years from the First Disease Description, a Novel Badnavirus Associated with Chestnut Mosaic Disease.

Menéndez, M.M.; Álvarez, Á.P.; Majada, J.; Canga, E. Effects of soil nutrients and environmental factors on site productivity in *Castanea sativa* Mill. coppice stands in NW Spain. *New For.* 2015, 46, 217–233.

«Monti Della Laga - Geologia - [Www.Lagagransasso.It](http://www.lagagransasso.it)». s.d. Consultato 5 agosto 2022. http://www.lagagransasso.it/laga/geologia_laga.htm.

Murolo S., De Miccolis Angelini R.M., Faretra F. & Romanazzi G., 2018. Phenotypic and Molecular Investigations on Hypovirulent *Cryphonectria parasitica* in Italy. *Plant Disease* 102(3), 540-545.

Parco Nazionale dei Monti Sibillini. 2021. «Geologia». 2021.
http://www.sibillini.net/il_parco/territorio/geologia/geologia/.

Parco Nazionale dei Monti Sibillini, 2021. «Parco Nazionale Dei Monti Sibillini», 11.
<https://performance.gov.it/performance/piani-performance/documento/1528>.

Parco Nazionale dei Monti Sibillini, 2015. «La Rete Natura 2000 Nel Parco Nazionale Dei Monti Sibillini».
<http://www.sibillini.net/attivita/regolamenti/VINCA/Nat2000Parco.pdf>.

Pennisi A.M., Granata G., Sidoti A., 1991. Diffusione ed aspetti micologici di *Cryphonectria parasitica* in Calabria e Sicilia. *Micologia Italiana*, 3: 21 –26.

Perna, Maria Rosaria. 2018. «Il Castagno Nell’Acquasantano e Sulla Montagna Picena: Alcune Evidenze Archivistiche», 20 luglio 2018.

Piccioni, M. 2021. «SITUAZIONE FITOSANITARIA DEI CASTAGNETI A CERVARA (AP)», 11–14.

Pron, Sebastiano, e Michela Sormani. 2004. «Il Castagno Nella Svizzera Italiana», 19.
<http://www.museodelmalcantone.ch/images/download/castagno.pdf>.

Ragozzino, A., and Lahoz, E. 1986. Una malattia virus-simile del castagno in provincia di Avellino. *Giornate di studio sul castagno. Soc. Orti. Italiana* 307-311.

Raimondi, Massimo. 2019. «Elementi Botanici, Agronomici Ed Ecologici Del Castagno», 24. <http://www.upkeepthealps.eu/wp-content/uploads/2020/02/4-CASTAGNO-SELVE.pdf>.

Regione Marche, 2016. «La Rete Natura 2000 Marche». 2016.
https://www.regione.marche.it/natura2000/pagina_base0190.html?id=1526.

Regione Marche, 2021. «Servizi WMS Regione Marche». 2021.
<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica-Genio-Civile/Cartografia-e-informazioni-territoriali/WMS#Carta-Tecnica-Regionale-1:10.000>.

Sanchez, Monica. 2020. «Come Conoscere l'età Di Un Albero? | Giardinaggio». 2020.
<https://www.jardineriaon.com/it/como-saber-la-edad-de-un-arbol.html>.

Scanu, Bruno. 2009. «Studio Sulle Specie Di Phytophthora Presenti in Ambienti Forestali Della Sardegna».

Simonetto, Anna. 2009. «IL MAL DELL'INCHIOSTRO NEL VENETO».
https://thesis.unipd.it/bitstream/20.500.12608/13149/1/simonetto_anna.pdf.

Turchetti T., Ferretti F. & Maresi G., 2008. Natural spread of *Cryphonectria parasitica* and persistence of hypovirulence in three Italian coppiced chestnut stands. *Forest Pathol* 38, 227-243.

Turchetti T., Maresi G., 1990. Indagini sulla diffusione naturale degli isolati ipovirulenti di *Cryphonectria parasitica* in alcuni cedui di castagno. *Atti Giornate Fitopatologiche* 2, 89-98.

Vai N., 2013. Il castagno: nemici e difesa fitosanitaria. In: Piano del settore castanicolo 2010-2013. Elaborato dei gruppi di lavoro. ENEA. Italia. Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali

Vannini A. and Vettraino A.M., 2001. Ink disease of chestnut: impact on European chestnut. *Forest, Snow and Landscape Research*, 76: 345-350.

Vannini A., Vettraino A.M., 2004. Aspetti di epidemiologia e difesa relativi alle principali avversità patologiche del castagno. *Informatore Fitopatologico*. 5: 20-24

Vannini A., Franceschini S., Vuono G., Natili G., Paganini R., Vettraino A.M., 2009. Integrated Control Protocol to mitigate and Eradicate Ink Disease in Chestnut Orchards. Acta Hort. 844, ISHS 2009: 461-464

Vannini A., Natili G., Anselmi N., Montagni A., Vettraino A.M., 2010. Distribution and gradient analysis of Ink disease in chestnut forests. Forest Pathology, 40: 73-86

Vettraino A.M., Natili G., Anselmi N. and Vannini A., 2001. Recovery and pathogenicity of *Phytophthora* species associated with a resurgence of ink disease in *Castanea sativa* in Italy. Plant Pathology 50, 90-96.

Vettraino A.M., Morel O., Perlerou C., Robin C., Diamandis S., Vannini A., 2005a. Occurrence and distribution of *Phytophthora* species in European chestnut stands, and their association with Ink Disease and crown decline. European Journal Of Plant Pathology, 111: 169-180

Vettraino A.M., Paolocci A.R., Vannini A., 2005b. Endophytism of *Sclerotinia pseudotuberosa*: PCR assay for specific detection in chestnut tissues. Mycological Research, 109: 96-102.

Waterhouse G.M. 1963. Key to the species of *Phytophthora* de Bary. Common. Mycol. Inst., Mycological Papers 92: 22 pp.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Prof. Sergio Murolo, nonché mio relatore, per avermi seguito in questi mesi senza mai farmi mancare il suo sostegno e i suoi utili consigli, aiutandomi e accompagnandomi nella realizzazione della tesi.

Un doveroso ringraziamento al Dott. Alessandro Vitali per i suoi preziosi consigli e per avermi suggerito puntualmente le giuste modifiche da apportare alla mia tesi.

Ringrazio il collega laureando Alessandro Fabi e i castanicoltori per la loro disponibilità contribuendo alla realizzazione della presente tesi.

Ringrazio infinitamente la mia famiglia, senza i loro insegnamenti e senza il loro supporto questo lavoro di tesi non esisterebbe nemmeno.

Un ringraziamento speciale va anche ai miei amici e colleghi universitari che ogni giorno erano pronti per risolvere dubbi e perplessità incontrati in questo lungo percorso.

Un ringraziamento particolare al mio migliore amico Domenico che anche a distanza è sempre stato presente, in ogni istante, e per avermi incoraggiato a non mollare mai e a guardare sempre avanti a testa alta.

Voglio ringraziare soprattutto i miei amici nonché ex coinquilini Andrea, Giada, Anita, Chiara e Silvia. Compagni di serate indimenticabili, di

chiacchierate interminabili, di risate, di momenti unici e stravaganti. Grazie per ogni momento trascorso insieme.