



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO**  
**FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI**

Corso di Laurea in  
Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del Territorio Montano

**DINAMICHE POST-INCENDIO IN CASTAGNETI**  
**DELLA VALLECAMONICA: TENDENZE E**  
**PROPOSTE GESTIONALI**

Relatore: Prof. Giorgio Vacchiano

Elaborato finale di:  
Silvia Bignetti  
Matricola: 969585

Anno Accademico: 2023/2024

# SOMMARIO

|   |    |
|---|----|
| RIASSUNTO .....   | 3  |
| 1. INTRODUZIONE.....  | 5  |
| 1.1 FORESTE E SERVIZI ECOSISTEMICI .....                    | 5  |
| 1.1.1 <i>Cambiamento climatico</i> .....                    | 5  |
| 1.2 CASTAGNETI .....  | 6  |
| 1.2.1 <i>Cedui matricinati e fustaie da legno</i> .....     | 8  |
| 1.2.2 <i>Funzioni dei castagneti</i> .....                  | 9  |
| 1.2.3 <i>Boschi di Castanea sativa</i> .....                | 11 |
| 1.3 INCENDI BOSCHIVI .....                                  | 12 |
| 1.3.1 <i>Prevenzione</i> .....                              | 12 |
| 1.3.2 <i>Resistenza e resilienza</i> .....                  | 13 |
| 2. SCOPO DEL LAVORO .....                                   | 16 |
| 3. MATERIALI E METODI.....                                  | 17 |
| 3.1 SELEZIONE DEI SITI .....                                | 17 |
| 3.2 COLLOCAZIONE DEI SITI SELEZIONATI .....                 | 18 |
| 3.2.1 <i>Posizionamento dei plot</i> .....                  | 18 |
| 3.2.1.1 <i>Berzo Demo</i> .....                             | 19 |
| 3.2.1.2 <i>Fane</i> .....                                   | 20 |
| 3.2.1.3 <i>Sellero</i> .....                                | 23 |
| 3.2.2 <i>Protocollo di campionamento</i> .....              | 25 |
| 3.3 DNBR .....  | 25 |
| 3.4 RACCOLTA DATI: PROTOCOLLO DI CAMPIONAMENTO .....        | 26 |
| 3.4.1 <i>Descrizione geomorfologica e strutturale</i> ..... | 27 |
| 3.4.2 <i>Diametri e altezze</i> .....                       | 28 |
| 3.4.3 <i>Plot in aree bruciate</i> .....                    | 28 |
| 3.4.3.1 <i>Rinnovazione</i> .....                           | 29 |
| 3.4.4 <i>Strumenti utilizzati</i> .....                     | 30 |
| 3.5 ELABORAZIONE DATI .....                                 | 32 |
| 3.5.1 <i>Preparazione dati: Excel</i> .....                 | 32 |
| 3.5.2 <i>Rielaborazione dati: RStudio</i> .....             | 34 |
| 4. RISULTATI.....   | 35 |
| 4.1 BERZO DEMO .....  | 35 |
| 4.1.1 <i>Mortalità</i> .....                                | 35 |
| 4.1.2 <i>Popolamento</i> .....                              | 35 |
| 4.1.3 <i>Rinnovazione</i> .....                             | 37 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4.2 FANE</b> .....                               | <b>37</b> |
| <b>4.2.1 Mortalità</b> .....                        | <b>37</b> |
| <b>4.2.2 Popolamento</b> .....                      | <b>38</b> |
| <b>4.2.3 Rinnovazione</b> .....                     | <b>39</b> |
| <b>4.3 SELLERO</b> .....                            | <b>40</b> |
| <b>4.3.1 Mortalità</b> .....                        | <b>40</b> |
| <b>4.3.2 Popolamento</b> .....                      | <b>40</b> |
| <b>4.3.3 Rinnovazione</b> .....                     | <b>42</b> |
| <b>4.4 RINNOVAZIONE: CONFRONTO</b> .....            | <b>43</b> |
| <b>5. DISCUSSIONE</b> .....                         | <b>44</b> |
| <b>5.1 RINNOVAZIONE POST-INCENDIO</b> .....         | <b>44</b> |
| <b>5.2 BERZO DEMO E FANE</b> .....                  | <b>45</b> |
| <b>5.3 SELLERO</b> .....                            | <b>46</b> |
| <b>5.4 PREVENZIONE DEGLI INCENDI BOSCHIVI</b> ..... | <b>48</b> |
| <b>6. CONCLUSIONI</b> .....                         | <b>49</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b> .....                           | <b>50</b> |
| <b>SITOGRAFIA</b> .....                             | <b>52</b> |

## RIASSUNTO

Le foreste, coprendo un terzo delle terre emerse, forniscono servizi ecosistemici essenziali, tra cui legname, cibo, medicinali, regolazione dei cicli biogeochimici, mantenimento della fertilità del suolo e habitat per numerose specie. Tuttavia, le attività umane e i cambiamenti climatici aumentano la frequenza di eventi estremi, rendendo le foreste più vulnerabili a incendi, insetti e malattie, con impatti negativi sulla qualità dell'aria, dell'acqua e sulla biodiversità. La gestione forestale sostenibile, inclusa la selvicoltura naturalistica, è cruciale per proteggere queste risorse.

Questo lavoro di tesi analizza le dinamiche post-incendio nei boschi di *Castanea sativa* in Vallecamonica, esaminando tre siti interessati da incendi negli ultimi vent'anni e valutando diametri, altezze, rinnovazione e mortalità delle piante per avanzare proposte gestionali migliorative.

Le zone forestali colpite da incendi e oggetto di questo studio sono state identificate utilizzando i dati del sistema EFFIS del programma Copernicus dell'Unione Europea, che integra informazioni da satelliti e altri sistemi di rilevamento. La selezione degli incendi da studiare ha considerato eventi dal 2002 al 2022 con superfici superiori a 10 ettari, restringendo l'area alla Lombardia e poi alla provincia di Brescia, concentrandosi su boschi di *Castanea sativa*. I siti sono stati valutati per accessibilità con il software QGIS, considerando la pendenza e la presenza di sentieri. Sono state poi scelte tre classi temporali e per ciascuna un incendio rappresentativo: Berzo Demo (2002-2008), Fane (2009-2015) e Sellero (2016-2022). Nei siti, i plot sono stati posizionati dopo una verifica in campo, tenendo conto della morfologia del terreno e dell'accessibilità. Le aree sono state campionate seguendo il protocollo "Post-fire assessment of mortality and regeneration", con misurazioni di diametri e altezze degli alberi, oltre a valutazioni sulla rinnovazione e l'impatto del fuoco.

La rinnovazione analizzata nei tre siti mostra tendenze diverse a seconda della data e dell'intensità degli incendi. In tutti e tre i siti, la specie dominante in rinnovazione è il castagno (da ceppaia e da seme), seguito da specie pioniere come l'orniello e l'acero di monte, il pioppo tremulo, il carpino nero o la rovere. Berzo Demo, essendo l'incendio più datato, ha la minor quantità di rinnovazione, mentre Sellero, essendo l'incendio più recente, presenta una rinnovazione molto più abbondante.

Un bosco ceduo si considera invecchiato quando supera limiti di età e sviluppo, come nei siti di Berzo Demo e Fane. Il sito di Sellero risulta invece più simile a un vecchio castagneto da frutto. A Berzo Demo e Fane, una buona rinnovazione di castagno da ceppaia suggerisce il ripristino del ceduo. La gestione del ceduo comporta tagli periodici e rilascio di matricine per sostituire ceppaie morte e produrre seme. I turni di taglio variano da 15 a 30 anni, con diradamenti per ottimizzare la crescita. A Sellero, un governo a fustaia disetanea è consigliato, favorendo la rinnovazione di castagno e altre specie.

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 Foreste e servizi ecosistemici

Le foreste coprono un terzo delle terre emerse del pianeta e svolgono funzioni essenziali a livello globale; queste funzioni sono note come servizi ecosistemici e dipendono dalla biodiversità presente.

Tra i servizi offerti dalle foreste vi sono beni materiali tangibili come legname, cibo, e medicinali ma anche servizi essenziali e imprescindibili per l'umanità e la fauna selvatica, tra cui la regolazione di parassiti e patogeni, il mantenimento della fertilità del suolo, la regolazione dei cicli del carbonio (fondamentale per mitigare l'effetto serra e i cambiamenti climatici), dell'azoto e del fosforo, e la fornitura di habitat preziosi per specie vegetali e animali. Oltre a tutto ciò, le foreste, possiedono anche un valore estetico, culturale e ricreativo (ISPRA, 2020).

Oggi, l'attività umana e i cambiamenti climatici globali stanno modificando la frequenza, l'intensità e la durata di eventi estremi come: incendi, uragani, siccità, gelate e infestazioni di insetti. Tali eventi rendono questi ecosistemi ancora più vulnerabili e quindi suscettibili ad eventuali, ma sempre più probabili, disturbi futuri. Minacce naturali come il fuoco, gli insetti, altri parassiti e malattie (batteriche e virali) fanno parte delle dinamiche forestali ma, talvolta, se superano i livelli dell'intensità sostenibile degli ecosistemi possono interrompere il flusso di beni e servizi che le foreste forniscono, influenzando le dinamiche evolutive dei popolamenti, così come la qualità dell'acqua, dell'aria e la biodiversità (ISPRA, 2020).

Le misure per proteggere le foreste da tutte queste minacce devono essere parte integrante di una gestione forestale sostenibile.

### *1.1.1 Cambiamento climatico*

Il clima esercita il controllo dominante sulla distribuzione dei principali tipi di vegetazione; le fasce vegetazionali, a partire dalle zone più calde, vedono, in Italia, il passaggio dai boschi sempre verdi mediterranei, a quelli temperati caducifogli, fino a quelli dominati da conifere microterme (Pignatti, 2011).

L'era industriale ha portato a un massiccio utilizzo di combustibili fossili, che, insieme alla continua deforestazione, sono considerate le principali cause del riscaldamento

globale. Proiezioni recenti per l'Europa indicano che, entro il 2100, le temperature aumenteranno di 2-5°C, a seconda della regione geografica. Inoltre, la concentrazione di CO<sub>2</sub> potrebbe aumentare fino a un valore compreso tra 486 e 1000 ppm, a seconda della zona, rispetto a 280 ppm dell'epoca preindustriale. Sono previste anche variazioni nell'intensità e nella frequenza delle piogge, che provocheranno l'alternanza di periodi di siccità intervallati da inondazioni.

In uno scenario con il raddoppio della CO<sub>2</sub> e un aumento delle temperature, si prevede un incremento del rischio di incendi del 50%, con un'estensione significativa della stagione di questi e un aumento della frequenza dei fulmini nell'emisfero settentrionale (Lindner et al, 2009).

Il riscaldamento globale avrà, quindi, sicuramente impatti significativi sulle foreste. L'aumento degli incendi boschivi comporterà, ad esempio, un ulteriore rilascio di CO<sub>2</sub> che era fino a quel momento immagazzinata e stabile. Alle latitudini più settentrionali, a causa dell'innalzamento delle temperature, è, invece, prevista una migrazione su larga scala della vegetazione verso nord.

## **1.2 Castagneti**

Nel corso del Medioevo, i castagneti costituirono l'elemento base della struttura produttiva rurale in quanto fornivano beni di vitale importanza per l'economia e la sussistenza delle popolazioni quali: frutto, legno, pascolo e prodotti secondari non legnosi come lettiera e terriccio. In particolare, il legno di castagno, in quanto forte, elastico, resistente, durevole e compatto, è stato storicamente utilizzato per diversi scopi, rappresentando un'importante risorsa economica per le popolazioni rurali e montane d'Italia. La produzione legnosa non solo era parte essenziale per le costruzioni rustiche e rurali delle Alpi e degli Appennini, ma il legno era utilizzato anche per palizzate, pali, travi, traversine, legname da spacco e altre necessità. Inoltre, era cruciale per le attività artigianali, come la produzione di infissi, mobili, sedie, cassette e oggetti domestici, oltre a componenti per carri e barrocci. Infine, il legno di castagno era una risorsa indispensabile anche per l'industria conciaria, grazie al suo contenuto di tannino.

La coltivazione dei castagneti raggiunse il massimo splendore verso la metà del 1800, tuttavia, dopo la Seconda guerra mondiale, il "sistema castagno" declinò rapidamente

a causa di diversi fattori: l'industrializzazione e il conseguente spostamento dalle zone rurali alle città, il cambiamento dello stile di vita e delle abitudini alimentari, la sostituzione di prodotti derivati dal castagno con materiali più economici e performanti, le fitopatie come il mal dell'inchiostro e il cancro corticale. Questi fattori hanno scoraggiato ulteriori investimenti nella castanicoltura, portando all'abbandono della gestione dei castagneti da frutto e alla loro conversione a ceduo su ampie aree. Negli ultimi vent'anni del 1900, la castanicoltura ha attraversato una fase di stagnazione, con un continuo calo delle superfici destinate alla produzione di frutti e del numero di aziende agricole con castagneti. Tuttavia, paradossalmente, questo periodo ha gettato le basi per un rinnovato interesse verso la coltivazione del castagno e la sua cultura millenaria. Si è sviluppata una maggiore consapevolezza ecologica, con stili di vita più naturali e rispettosi dell'ambiente, una rivalutazione delle tradizioni montane e un interesse per le aree marginali e i prodotti tipici. Questo, insieme allo sviluppo di ceppi ipovirulenti del cancro corticale, ha avviato un graduale processo di rivalutazione del castagno, con i primi segni di ripresa della produzione frutticola negli anni '90 (Mariotti et al, 2019).

Oggi, nonostante rappresentino una piccola frazione dell'economia rurale italiana, i castagneti rivestono un ruolo di rilievo in termini di produzione, storia, cultura, ambiente e turismo. Il mantenimento dei castagneti ancora gestiti e il recupero dei castagneti abbandonati avvengono tramite interventi periodici attuati con diverse finalità:

- la preservazione della diversità genetica delle varietà;
- la tutela delle loro funzioni ambientali, socioeconomiche, naturalistiche, paesaggistiche e storico-culturali;
- lo sviluppo di attività complementari (come agricoltura, turismo, ricreazione e servizi ecosistemici) che possono favorire iniziative imprenditoriali innovative e garantire un reddito extra alle aziende agricole.

A seguito dell'abbandono delle coltivazioni, i castagneti da frutto possono trasformarsi più o meno rapidamente in altri tipi di bosco, a seconda delle condizioni climatiche, della vegetazione circostante, del tipo di suolo e della presenza di disturbi come malattie, attacchi di parassiti o incendi. In generale, l'evoluzione naturale, in assenza di disturbi, porta all'emergere, oltre alla rigenerazione del castagno, di specie



compatibili con l'ambiente pedoclimatico. Nelle zone collinari e montane delle Alpi, le specie più invasive includono betulla, pino silvestre, tiglio, frassino maggiore, acero e, ad altitudini più elevate, faggio e abete rosso (Mariotti et al, 2019).

### ***1.2.1 Cedui matricinati e fustaie da legno***

In Italia il castagno è ampiamente distribuito nell'Appennino, nelle Isole e nelle aree pedemontane delle Alpi e Prealpi su una superficie di 788.408 ha, pari al 9% della superficie classificata come bosco. Oltre 2/3 dei boschi di castagno (605.868 ha) sono cedui o fustaie da legno e solo il 19% (147.568 ha) sono formazioni considerate castagneto da frutto. La produzione di legno è quindi la funzione prevalente.

| Tipologia colturale  | Superficie (ha) |
|----------------------|-----------------|
| Ceduo                | 589.362         |
| Fustaia da legno     | 16.506          |
| Castagneto da frutto | 147.568         |
| Strutture irregolari | 34.972          |
| <b>Totale</b>        | <b>788.408</b>  |

*Figura 1: estensione delle varie tipologie colturali*

Le principali tipologie di coltivazione dei castagneti (se non si considerano quelli da frutto) si dividono in tre categorie: cedui matricinati, fustaie da legno e strutture irregolari.

Il ceduo matricinato è la forma di gestione predominante del castagno in Italia. All'interno di questa categoria, si trovano soprassuoli gestiti regolarmente (76%) e cedui fuori turno e abbandonati (24%). Nelle aree gestite in modo regolare, le normative regionali prevedono turni minimi tra 8 e 14 anni, senza interventi di diradamento (salvo raramente uno se il turno supera i 20 anni) e il rilascio di 30-80 matricine per ettaro. Questo tipo di selvicoltura intensiva mantiene popolamenti monospecifici e coetanei, con l'obiettivo di garantire il reddito del proprietario attraverso una varietà limitata di assortimenti legnosi (pali di piccole e medie dimensioni), con una minima presenza di altre specie arboree. Nelle aree abbandonate, l'assenza di trattamento e l'elevata competizione influiscono negativamente sulla

struttura del popolamento, sulla crescita diametrica, sulla qualità dei fusti e del legno, aumentando la suscettibilità ai patogeni. I polloni, nonostante l'età avanzata, non raggiungono le dimensioni necessarie per l'uso come legname da opera e la loro morfologia è spesso scadente. Inoltre, l'elevato accumulo di biomassa e necromassa aumenta il rischio di incendi.

Le fustaie da legno coprono il 2% della superficie castanicola. Sono generalmente piccoli appezzamenti costituiti da popolamenti artificiali, adulti e maturi, coetanei e monoplani. Questi soprassuoli potrebbero presentare difficoltà nella fase di rinnovazione a causa della combinazione di riproduzione sessuata e da ceppaia.

Sono, infine, diffusi anche soprassuoli con strutture diverse, per lo più cedui derivati dal taglio di castagneti da frutto e giovani fustaie sviluppatasi su superfici precedentemente agricole. Questi soprassuoli hanno una bassa densità di ceppaie o individui. I cedui formati da numerosi polloni hanno fusti spesso sciabolati alla base, mentre le giovani fustaie sviluppano vegetazione elevata senza presentare buone caratteristiche morfologiche del fusto (Manetti et al, 2017).



*Figura 2: castagneto gestito a ceduo*      *Figura 3: bosco gestito a fustaia*

### ***1.2.2 Funzioni dei castagneti***

I castagneti forniscono diversi servizi ecosistemici, essenziali sia per l'ambiente che per le comunità umane; in particolar modo offrono:

- Servizi di supporto: forniscono habitat per molte specie di flora e fauna, promuovendo la biodiversità; gli alberi di castagno, con la loro chioma ampia

e densa, creano microhabitat per piante, funghi, insetti, uccelli e piccoli mammiferi. Le foglie cadute e altre parti della pianta in decomposizione arricchiscono il suolo, migliorando la fertilità e sostenendo il ciclo dei nutrienti.

- Servizi di Regolazione: i castagneti svolgono un ruolo cruciale nella protezione del suolo. Le radici dei castagni e la presenza di un manto erboso aiutano a prevenire l'erosione del suolo, stabilizzando il terreno e riducendo il rischio di frane. La regolazione del clima è un altro servizio importante, i castagneti sequestrano il carbonio atmosferico contribuendo a mitigare il cambiamento climatico. La presenza di questi alberi regola la temperatura locale e l'umidità, creando un microclima più stabile. Inoltre, i castagneti migliorano la qualità dell'acqua filtrando i sedimenti e le sostanze inquinanti, contribuendo alla salute degli ecosistemi acquatici vicini.
- Servizi di Approvvigionamento: i castagneti producono castagne e la produzione di beni complementari al frutto e lo sviluppo di attività artigianali correlate possono diventare una fonte di reddito indiretta o aggiuntiva significativa per le comunità rurali e montane. Ad esempio, miele e funghi possono raggiungere un alto valore di mercato, ottenendo certificazioni di qualità come DOP e IGP. Per quanto riguarda il legno, esso è molto apprezzato per la sua resistenza e durabilità, utilizzato in edilizia, arredamento e produzione di pali e recinzioni.
- Servizi Culturali: per quanto riguarda i servizi culturali, i castagneti offrono spazi per attività ricreative come escursionismo, raccolta di castagne e osservazione della natura, contribuendo al benessere psicofisico delle persone. Hanno un valore storico e culturale significativo in molte regioni, essendo stati coltivati per secoli e rappresentando una parte importante delle tradizioni locali e della gastronomia. Inoltre, i castagneti sono luoghi ideali per l'educazione ambientale e la ricerca scientifica, offrendo opportunità di studio su ecologia, silvicoltura e conservazione.

La maggior parte di queste funzioni, in particolare quelle connesse al valore ambientale e naturalistico, non si riscontrano nei moderni impianti specializzati, simili a frutteti, gestiti in maniera intensiva. In tali contesti, la funzione principale, se non l'unica, rimane quella della produzione diretta (Mariotti et al, 2019).

### ***1.2.3 Boschi di Castanea sativa***

Il castagno europeo (*Castanea sativa*) è una pianta decidua, potenzialmente molto longeva. Vegeta preferibilmente a una altitudine compresa tra 400 e 1000 m s.l.m. e in relazione alle esigenze ecologiche viene definito come una specie mesofila, mediamente eliofila e acidofila (pH 4,5 - 6); tende a scomparire in presenza di formazioni calcaree o con residuo argilloso, mentre è diffuso dove predominano graniti, arenarie e depositi vulcanici, sui quali trova le condizioni ottimali. La sua capacità di crescere in una vasta gamma di ambienti indica che può adattarsi a condizioni molto diverse, specialmente quando sostenuto dalle cure dell'uomo, tuttavia, l'incidenza di patologie è maggiore e più devastante in ambienti meno favorevoli.

L'apparato radicale è inizialmente fittonante per poi diventare ben sviluppato, non molto profondo ma molto esteso. La corteccia è liscia e bruno-rossastra nei giovani esemplari, diventando rugosa e grigio-bruna con l'età. Il legno è semiduro, resistente all'umidità e, come la corteccia, ricco di tannini. Le foglie sono semplici e alterne, di forma ellittico-lanceolata, dentate, con la pagina superiore di colore verde intenso e quella inferiore verde grigiastro. Il castagno è una specie monoica (organi riproduttori maschili e femminili sono portati sulla stessa pianta) con fiori di colore giallo che si sviluppano a gruppi in strutture denominate infiorescenze o amenti. I frutti sono acheni (castagne), raccolti da 1 a 3 in un involucreto spinoso detto riccio che a maturità si apre in 4 valve. L'embrione, situato nella parte apicale del frutto, ha una buona capacità germinativa ma richiede un periodo di dormienza. La germinazione è favorita da un periodo di freddo-umido, come quello che si verifica naturalmente in inverno per le castagne cadute al suolo.



*Figura 4: frutto di Castanea sativa*



*Figura 5: corteccia di Castanea sativa*

### **1.3 Incendi boschivi**

L'andamento degli incendi boschivi, in termini di gravità e intensità, dipende strettamente dalle interazioni tra vegetazione, orografia, clima e attività umana.

Per quanto riguarda la vegetazione, i principali fattori che contribuiscono alla diffusione degli incendi includono il tipo, la quantità, le dimensioni e il contenuto idrico del combustibile, la continuità e lo stadio della vegetazione e la struttura del popolamento.

Parlando di orografia, a influenzare l'andamento di un incendio sono, invece, morfologia del territorio, pendenza, esposizione e altitudine; talvolta possono anche essere presenti degli ostacoli naturali alla propagazione.

Il clima, che comprende precipitazioni e periodi di siccità, umidità relativa, velocità e direzione del vento al suolo e in quota, stabilità atmosferica, temperatura, soleggiamento e copertura nuvolosa, è un altro elemento critico nella propagazione degli incendi e, tra le variabili climatiche, la temperatura è quella che influisce maggiormente; un terzo degli incendi boschivi, che si verificano tra maggio e settembre a livello globale, è innescato dalla caduta di fulmini e l'aumento dei fulmini durante il periodo estivo è strettamente legato all'aumento delle temperature (si stima infatti un incremento del 12% nel numero di fulmini per ogni grado di aumento della temperatura) (Mansoor et al, 2021).

Bisogna, infine, tener conto che le attività umane hanno sempre interagito con il fuoco e continueranno a farlo. Il fuoco veniva e viene spesso utilizzato per la rimozione della vegetazione e quindi il mantenimento dei pascoli ma spesso capita che sfugga al controllo dell'uomo oltrepassando i confini stabiliti e dando vita a un vero e proprio incendio. Sono numerosi, inoltre, i casi di incendi causati da non curanza da parte dei cittadini che gettano a terra i mozziconi o che accendono fuochi dove non è permesso. In molti casi, quindi, sono proprio le attività umane la fonte di innesco.

#### ***1.3.1 Prevenzione***

La maggior parte delle azioni preventive riguarda la gestione dei combustibili attraverso pratiche selvicolturali, la creazione di viali tagliafuoco e l'uso di fuoco prescritto (Arca et al, 2015).

Nonostante le differenze legate al territorio vi sono obiettivi comuni che regolano la prevenzione selvicolturale.

- creazione di strutture più irregolari con le quali interrompere la continuità strutturale dei popolamenti (sia orizzontale che verticale);
- ridurre il carico di combustibile (soprattutto della componente fine e media, come lettiera, erbe secche, arbusti e accumuli di rami di piccolo diametro, magari derivanti da interventi selvicolturali).

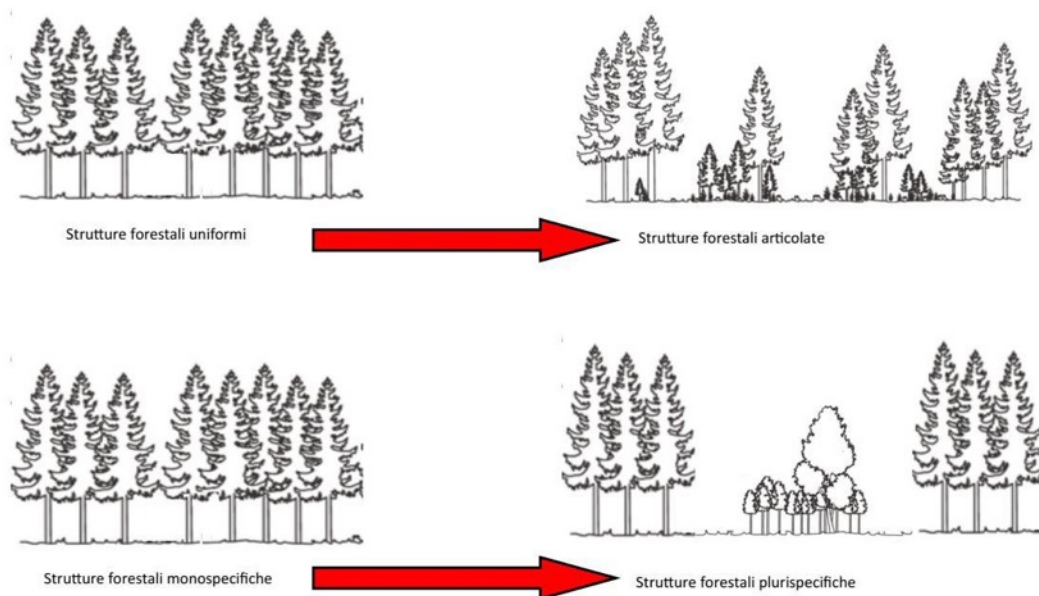


Figura 6: esempi di prevenzione selvicolturale

### 1.3.2 Resistenza e resilienza

La capacità di un ecosistema di ritornare alla sua condizione pre-disturbo, ovvero la stabilità dell'ecosistema, è principalmente influenzata da due componenti: resistenza e resilienza (Halpern, 1988; McCann, 2000). La resistenza si riferisce al grado in cui una variabile dell'ecosistema (come la copertura della chioma, la composizione della vegetazione o la ricchezza di specie) rimane inalterata di fronte a una perturbazione, mentre la resilienza misura la rapidità con cui l'ecosistema ritorna al suo stato pre-disturbo (Halpern, 1988; Lavorel, 1999; McCann, 2000; Diaz-Delgado et al., 2002). In relazione ai disturbi causati dal fuoco, la resistenza delle foreste è particolarmente legata alla vulnerabilità degli alberi dominanti e alla struttura forestale (Brown et al., 2004; González et al., 2006; Fernandes, 2009). La resilienza della foresta, invece, è associata alle caratteristiche delle specie nella comunità vegetale, in particolare alla

loro capacità di ricolonizzare l'ambiente post-incendio attraverso la germinazione dei semi o la ricrescita dalle gemme (Pausas e Vallejo, 1999). Il tempo necessario per il ristabilimento post-incendio e i modelli di successione post-incendio variano tra i diversi tipi di foreste, dipendendo in larga misura dalla composizione delle comunità prima dell'incendio e dal regime del fuoco, poiché incendi molto severi o frequenti possono ritardare o impedire il recupero (Lavorel, 1999; Brown e Smith, 2000; Domínguez et al., 2002; Gracia et al., 2002).

I cedui sono sistemi forestali particolarmente vulnerabili agli incendi poiché la struttura dei soprassuoli è costituita da un intreccio di fusti e rami senza interruzioni verticali e orizzontali che facilitano la propagazione del fuoco; in aggiunta, spesso subiscono l'abbandono delle pratiche colturali che comporta un aumento del carico di combustibile. D'altra parte, però, l'elevata capacità pollonifera delle specie che costituiscono i cedui rappresenta una strategia di difesa dal fuoco che caratterizza molte latifoglie, rendendo più facile la ricostituzione del bosco dopo un incendio rispetto ad altre formazioni forestali. Le capacità di recupero delle specie tipiche dei cedui dipendono da numerose variabili come le riserve radicali di amido e le loro fluttuazioni periodiche e le condizioni di disponibilità idrica nel suolo. Nei cedui di castagno, il taglio della componente morta o gravemente compromessa esalta la risposta vegetativa della specie ed elimina il rischio di schianti successivi, favorendo la stabilità del nuovo soprassuolo. (Nocentini, 2004).

Per quanto riguarda invece le fustaie, il ripristino naturale delle foreste dopo gli incendi dipende dalle strategie adottate che considerano le specie presenti e le condizioni pre e post-incendio dei soprassuoli. La gestione dei rimboschimenti post-incendio, spesso privi di adeguate cure colturali, può favorire l'accumulo di combustibile e aumentare la vulnerabilità delle specie a stress biotici e abiotici. La rinaturalizzazione dei rimboschimenti sostenibile oggi incoraggia la diffusione naturale delle latifoglie, localmente adattate, attraverso interventi mirati che promuovono la fruttificazione e la disseminazione delle specie arboree. È cruciale evitare danni al suolo nei primi anni post-incendio per permettere la formazione naturale di un sottobosco favorevole alla stabilizzazione delle nuove generazioni di alberi.

Nei casi studio analizzati nel presente lavoro di tesi la maggior parte dei popolamenti è caratterizzato da un governo a ceduo, talvolta abbandonato, pertanto presenta le

caratteristiche appena descritte. Tuttavia, la mancanza di particolari studi riguardo gli aspetti di resistenza e resilienza dei popolamenti in Val Camonica sottolineano la necessità di approfondimenti futuri, oltre che a porre il presente lavoro come un primo input conoscitivo, nonché come strumento utile in ambito pianificatorio. (Nocentini, 2004).



## **2. SCOPO DEL LAVORO**

Con questo lavoro di tesi si vogliono andare ad analizzare le dinamiche post-incendio in boschi di *Castanea sativa* situati in Vallecamonica.

A tal scopo sono stati selezionati tre siti percorsi da incendio nell'arco degli ultimi vent'anni, in cui sono stati raccolti una serie di dati riguardanti le caratteristiche delle piante. In particolar modo sono stati oggetto di studio i diametri, le altezze, la rinnovazione e la mortalità.

Sulla base dei dati raccolti sono, poi, state effettuate delle analisi per determinare le tendenze e avanzare delle proposte gestionali al fine di migliorare le qualità di tali boschi.

## 3. MATERIALI E METODI

### 3.1 Selezione dei siti

Le zone forestali interessate da incendi sono state identificate a partire dalla banca dati EFFIS (*European Forest Fire Information System*), elemento fondamentale del programma di osservazione terrestre gestito dall'Unione Europea chiamato Copernicus; quest'ultimo sfrutta dati provenienti da una varietà di fonti, inclusi satelliti e sistemi di rilevamento terrestri, aerei e marittimi, offrendo servizi informativi globali. EFFIS è stato appositamente progettato per raccogliere, elaborare e diffondere dati essenziali per il monitoraggio e la gestione degli incendi boschivi in Europa. Utilizzando le risorse della banca dati EFFIS, è infatti possibile identificare e analizzare le aree interessate dagli incendi, fornendo così un quadro dettagliato per la valutazione del rischio, la pianificazione degli interventi e la prevenzione futura.

Nel presente lavoro di tesi, dopo aver ottenuto il quadro generale, è iniziata la selezione delle aree studio: sono stati selezionati tutti gli incendi appartenenti al periodo 2002-2022 con superficie maggiore di 10 ettari, in modo tale da poter ottenere per ciascun sito un adeguato numero di dati; l'area è stata poi ristretta alla Lombardia e successivamente alla provincia di Brescia.

Mediante la carta dei tipi forestali presente sul geoportale della regione Lombardia sono state individuate le tipologie forestali maggiormente interessate da incendi e tra queste si è scelto di svolgere i campionamenti in boschi di castagno europeo (*Castanea sativa*).

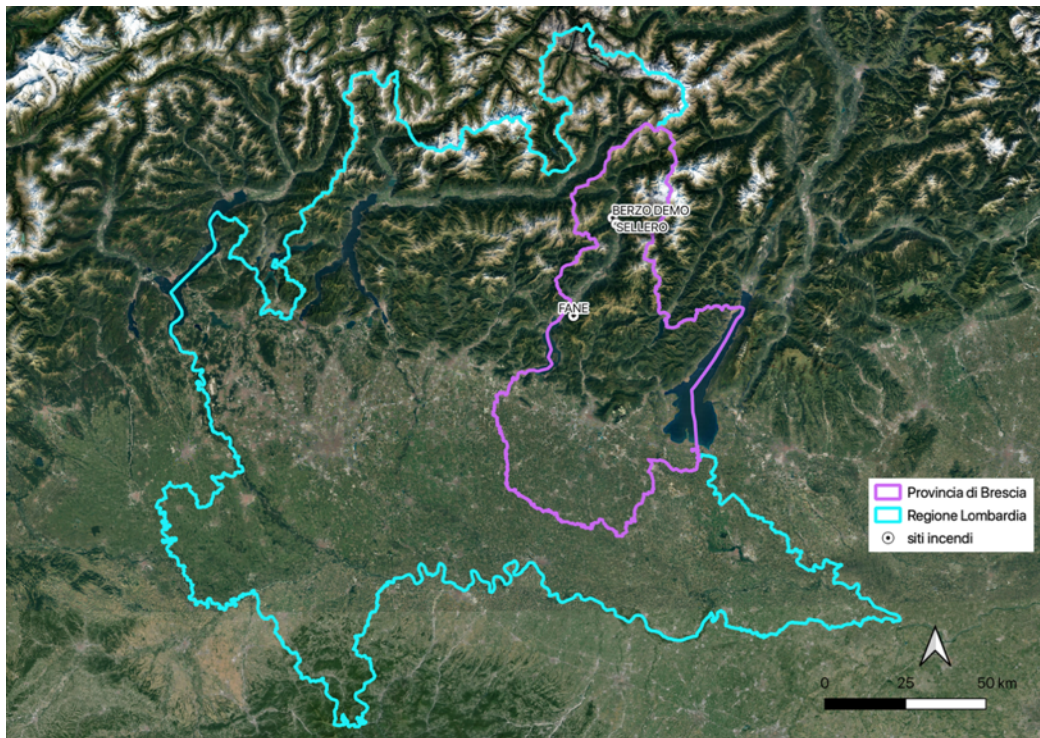
Utilizzando il software QGIS è stata poi valutata l'accessibilità a ogni sito, in particolar modo, tramite le curve di livello ottenute dal DTM (*Digital Terrain Model*) sono state valutate le pendenze e grazie alla carta Open Street Map sono state osservate quantità e presenza di sentieri. A questo punto sono stati presi in considerazione incendi con pendenze non estremamente elevate che permettevano l'allontanamento dai tracciati e quindi il posizionamento dei plot in varie parti dell'area. Sono stati, inoltre, prediletti incendi dotati di una buona viabilità sentieristica e in prossimità di strade carrabili in modo tale da agevolare il loro raggiungimento e le operazioni di rilievo.

Infine, il ventennio considerato è stato suddiviso in tre classi temporali: 2002-2008, 2009-2015, 2016-2022; per ogni classe è stato scelto un incendio, ottenendo quindi un totale di tre incendi aventi le caratteristiche elencate in precedenza.

### 3.2 Collocazione dei siti selezionati

Gli incendi scelti per i campionamenti sono collocati nell'area delle Prealpi lombarde, più precisamente in Val Camonica (*figura 7*) e sono suddivisi in tre periodi temporali come segue:

- Classe 2002-2008: Berzo Demo (BS), avvenuto il 14 febbraio 2005
- Classe 2009-2015: Fane (BS), avvenuto il 9 aprile 2011
- Classe 2016-2022: Sellero (BS): avvenuto il 2 febbraio 2022



*Figura 7: inquadramento territoriale dei siti di campionamento*

#### 3.2.1 Posizionamento dei plot

Nel nostro caso, i siti scelti non erano mai stati visitati in precedenza, pertanto, è stato necessario decidere dove posizionare i vari plot.

Inizialmente, tramite GIS, sono state individuate delle aree di campionamento indicative per assicurare uno studio uniforme della superficie. Successivamente, sul

campo, è stata controllata l'effettiva accessibilità dei siti e talvolta è stato necessario riposizionare i plot; il numero originario di plot identificati tramite GIS è stato ridimensionato a causa delle forti pendenze. Il campionamento è stato svolto nei mesi di ottobre e novembre 2023, impiegando circa tre giorni per ogni sito.

### 3.2.1.1 Berzo Demo

L'incendio di Berzo Demo, avvenuto il 14 febbraio 2005, ha colpito un'area di circa 50 ettari, 16 dei quali classificati come castagneto. Nell'area interessata, situata tra 550 e 1000 m s.l.m., è presente una strada forestale dalla quale si sviluppano diversi sentieri e nelle vicinanze sono presenti delle baite, attorno alle quali sono state rinvenute tracce di altri incendi sovrapposti a quello studiato. Per evitare alterazioni dei dati raccolti si è cercato quindi di distanziare il più possibile la locazione dei plot dalle zone colpite da più incendi. Allo stesso tempo, date le elevate pendenze presenti nel sito, non è stato possibile collocare i plot nelle zone scelte in precedenza tramite GIS; è stato possibile posizionare soltanto quattro plot in zone bruciate e due in zone di controllo, in maniera poco omogenea e vicino a sentieri che facilitassero il lavoro.

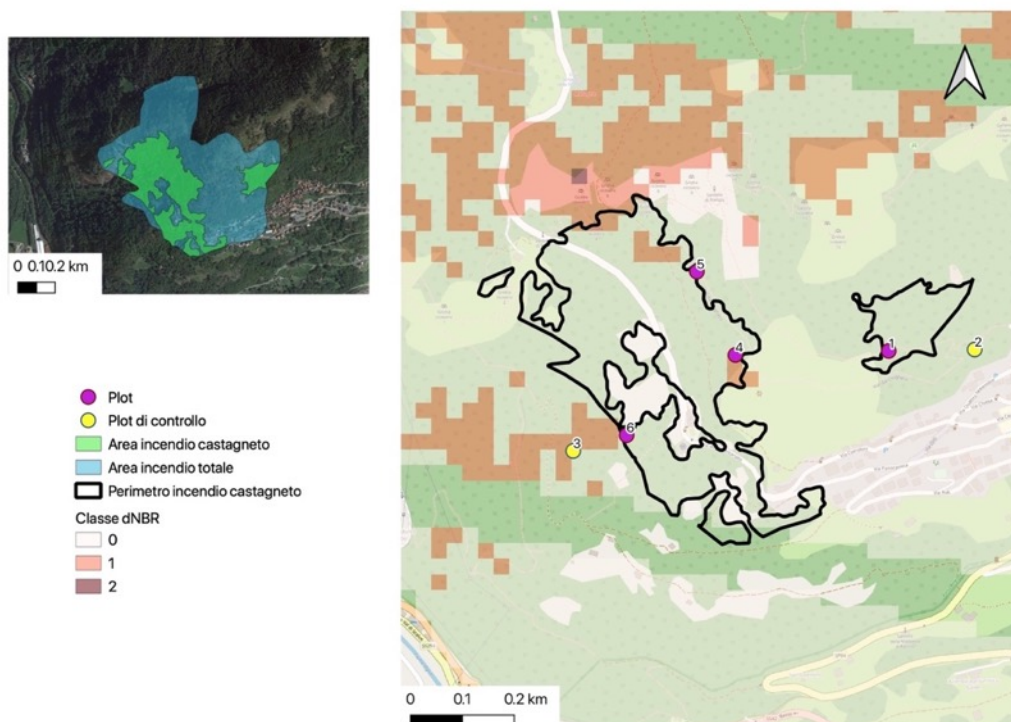


Figura 8: inquadramento incendio Berzo Demo



*Figura 9: fotografie dei rilevamenti fatti a Berzo Demo, si più notare l'elevata pendenza*

### **3.2.1.2 Fane**

L'incendio di Fane, avvenuto il 9 aprile 2011, ha colpito un'area di circa 47 ettari, 40 dei quali classificati come castagneto. Questo sito si trova vicino alla località sciistica di Montecampione ed è situato tra 550 e 1100 m s.l.m.; buona parte dell'area interessata dall'incendio appartiene ad un'azienda agricola, motivo per il quale non è stato possibile collocare plot nella parte centrale del sito (*figura 10*). Anche nella parte

più a sud non è stato possibile collocare plot a causa della presenza di forti pendenze e di un fiume. Per quanto riguarda la restante parte, invece, l'accessibilità era favorita dalla presenza di numerosi sentieri. In alcuni punti erano presenti segni di incendi recenti non segnalati sul portale EFFIS, quindi, anche in queste zone non sono stati riposizionati i plot per evitare di alterare i dati; persone del luogo hanno poi riferito che la zona è stata spesso soggetta a piccoli incendi. Sono, perciò, stati collocati cinque plot distribuiti omogeneamente nella parte più vicina al perimetro e due plot di controllo al di fuori dell'area bruciata.

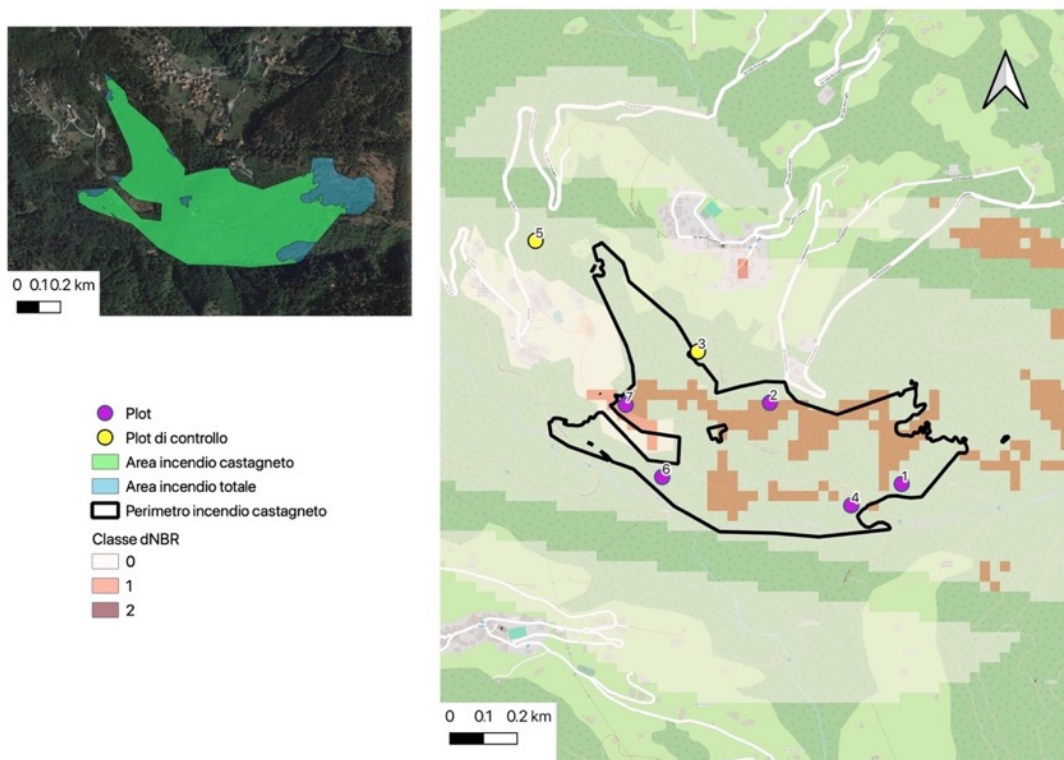


Figura 10: inquadramento incendio Fane



*Figura 11: fotografie scattate in alcuni plot durante i rilevamenti a Fane; si può notare l'elevata densità della rinnovazione*



*Figura 12: a sinistra segni dell'incendio preso in esame, a destra uno dei numerosi incendi di piccole dimensioni recenti*

### 3.2.1.3 Sellero

L'incendio di Sellero, avvenuto il 2 febbraio 2022, è il più recente tra quelli presi in esame, per questo i segni del passaggio del fuoco sono ancora particolarmente visibili. Ha colpito un'area di circa 48 ettari, 26 dei quali classificati come castagneto e la restante parte appartenente principalmente alla categoria dei querceti. Questo sito si trova ad un'altitudine compresa tra 500 e 1100 m s.l.m., nella zona sono presenti diverse baite e numerosi sentieri che facilitano, insieme alle moderate pendenze, l'accesso all'area studiata. Come mostrato nella *figura 13* si sono verificate diverse intensità dell'incendio, si è cercato perciò di posizionare i plot in maniera tale da analizzare diverse situazioni; sono stati collocati in tutto sette plot nell'area bruciata e tre di controllo fuori dal perimetro.

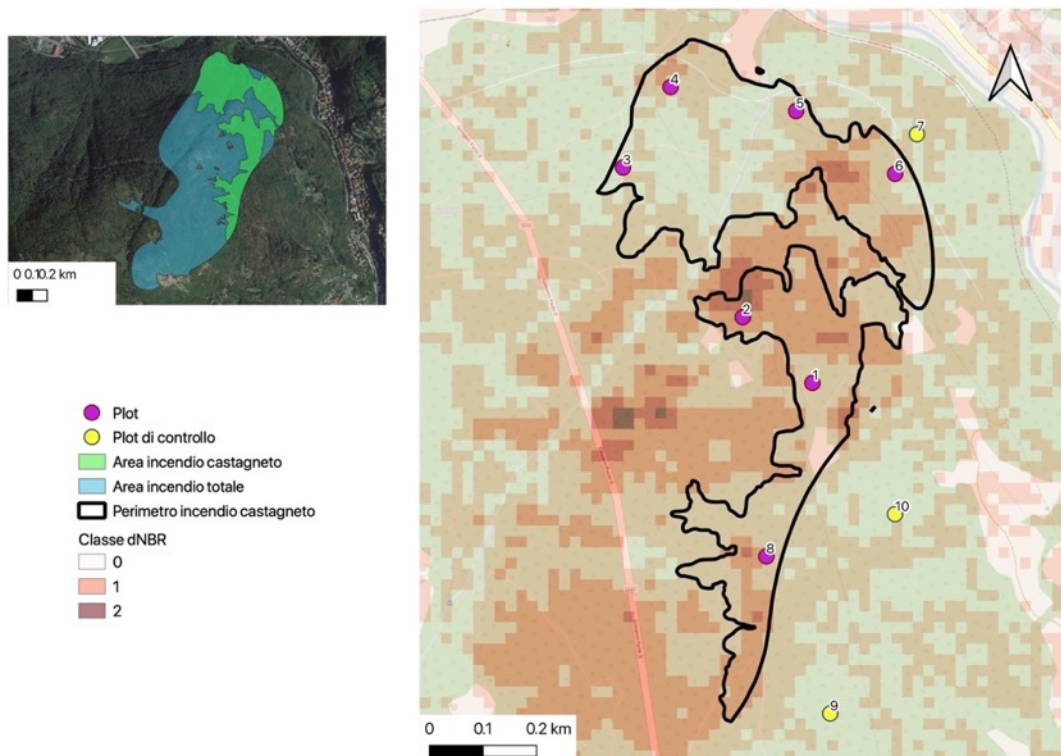


Figura 13: inquadramento incendio Sellero





*Figura 14: fotografie scattate in vari plot nel sito di Sellero dove sono ben visibili i danni dovuti al passaggio del fuoco*

### **3.2.2 Protocollo di campionamento**

Per lo svolgimento dei campionamenti è stato seguito il protocollo “*Post-fire assessment of mortality and regeneration*” (Revertegat, Dupire, Kunstler, 2023), fornito dai ricercatori del centro INRAE (*Institute National de Recherche pour l’Agriculture, l’Alimentation et l’Environnement*).

Questo protocollo mira a quantificare la resistenza e la resilienza delle foreste agli incendi. A tal fine, nell'anno successivo all'incendio, si dovrebbe effettuare un'indagine sul campo per installare dei plot permanenti per descrivere la situazione della foresta. Questa prima indagine ha l'obiettivo di quantificare la mortalità immediata in base a:

- le specie arboree presenti
- la dimensione (diametro/altezza) delle diverse specie colpite
- la gravità dell'incendio

Questi plot dovrebbero poi essere monitorati ogni 3 o 4 anni con l’obiettivo di quantificare anche gli effetti a lungo termine.

Il piano di campionamento dovrebbe mirare a coprire la più ampia gamma possibile di specie, diametro e intensità del fuoco per ciascun plot.

Per ogni sito, i plot situati in aree bruciate devono essere almeno 10 m all’interno del perimetro dell’incendio mentre i plot di controllo devono essere posti nell’area non bruciata adiacente, appartenente sempre alla categoria dei castagneti e con una struttura forestale il più possibile comparabile a quella dell’area bruciata. Non è indicato un numero minimo di plot per ettaro, purché siano rappresentativi delle diverse situazioni presenti e siano distanziati almeno 200 metri l’uno dall’altro. La proporzione di plot in aree non bruciate/bruciate prevista è di circa 1/3.

### **3.3 dNBR**

Il *Normalized Burn Ratio* (NBR) è un indice progettato per evidenziare le aree bruciate che combina l’uso delle lunghezze d’onda del vicino infrarosso (NIR) e dell’infrarosso a onde corte (SWIR). La vegetazione sana mostra una riflettanza molto elevata del NIR e una bassa riflettanza nella parte SWIR dello spettro, viceversa per quanto riguarda le aree interessate dal passaggio del fuoco. La differenza tra NBR prima dell’incendio e NBR dopo l’incendio, ottenuta mediante immagini satellitari, viene

utilizzata per calcolare il dNBR (*Differenced Normalized Burn Ratio*; in *figura 8*, *figura 10*, *figura 13*), utilizzato per stimare la severità dei danni da fuoco.

Questo indice è stato utilizzato per identificare le zone con diversa severità per ciascun'area e posizionare all'interno di ciascuna i plot così da coprire la maggior varietà possibile di condizioni.

I dati satellitari utilizzati per l'analisi degli incendi sono stati ottenuti da due diverse piattaforme:

- Copernicus Open Access Hub: per gli incendi del 2022, utilizzando immagini NIR e SWIR dal satellite Sentinel-2 con una risoluzione di 20 metri.
- Earth Explorer: per gli incendi più datati, utilizzando immagini dal satellite Landsat con una risoluzione di 30 metri.

Per entrambe le piattaforme, le immagini sono state selezionate con una copertura nuvolosa inferiore al 10% e una finestra temporale ridotta per ogni incendio. Sono state scaricate più immagini per ciascun incendio per affrontare problemi di ripresa satellitare come ombreggiamento, copertura nevosa e nuvole.

Le immagini sono state elaborate con il software QGIS, ritagliate sull'area dell'incendio, e il calcolo del dNBR è stato implementato usando lo strumento "Raster Calculator". Il risultato è un file raster con valori compresi tra -1 e +1, dove valori minori o uguali a zero indicano aree senza danni. Questo raster è stato poi riclassificato in classi di severità.

Considerando la bassa severità degli incendi analizzati, le classi sono state aggiustate per rappresentare meglio la variabilità interna degli incendi. La classificazione finale è stata creata specificamente per questo studio, quindi, le dimensioni delle classi possono variare e il loro utilizzo è appropriato solo per questo caso.

### **3.4 Raccolta dati: protocollo di campionamento**

Dopo aver selezionato il plot si è proceduto con il tracciamento del perimetro dell'area circolare con l'ausilio del Vertex, posizionando al centro il picchetto dotato di transponder e utilizzando la funzione distanza. A questo punto sono state scattate le fotografie in direzione di ognuno dei quattro punti cardinali, prese le coordinate GPS, rilevate l'altitudine e l'inclinazione del terreno (in gradi).

### 3.4.1 Descrizione geomorfologica e strutturale

Sia per i plot interni all'incendio che per quelli di controllo, per prima cosa, sono state raccolte una serie di informazioni geomorfologiche tramite l'analisi dell'ambiente circostante come riportato di seguito:

- Tipo di rilievo

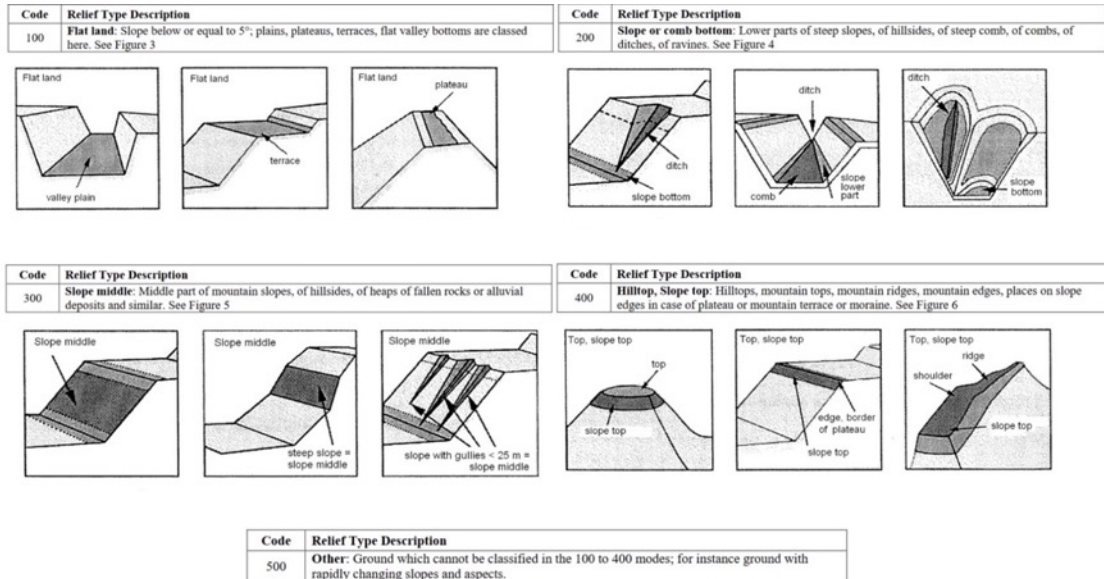


Figura 15: esempio di scheda per la descrizione del tipo di rilievo

- Tipo di forma del versante

| Code | Slope Shape   |
|------|---|
| 100  | <b>Straight:</b> The fall line is practically a straight line near by the sampling point. |
| 200  | <b>Concave:</b> The fall line shows a regular concave shape near by the sampling point.   |
| 300  | <b>Convex:</b> The fall line shows a regular convex shape near by the sampling point.     |
| 400  | <b>Terraces:</b> The fall line crosses artificial terraces near by the sampling point.    |
| 500  | <b>Various:</b> The fall line is undulated near by the sampling point.                    |
| 600  | <b>Flat ground</b>  |

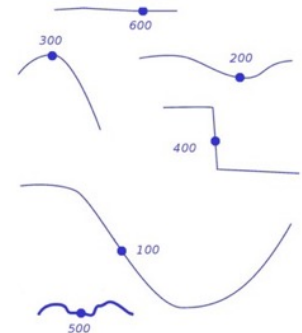


Figura 16: tipi di forma del versante

- Forma di governo (ceduo gestito, ceduo non gestito, bosco ad alto fusto, governo misto, cespuglieto)
- Segni di disturbi passati (tagli, schianti da vento, caduta massi)
- Segni di possibili problemi di salute
- Percentuale della copertura erbacea suddivisa in classi da 5 punti percentuali
- Percentuale della copertura arbustiva suddivisa in classi da 5 punti percentuali.

### 3.4.2 Diametri e altezze

In ciascun plot (area bruciata o di controllo), per ogni pianta rientrante nei parametri sottoindicati, sono state rilevate: specie, stato dell'albero (vivo, morto in piedi, morto a terra) e diametro a 1,3 m di altezza dal suolo (DBH: "Diameter Breast Height"); tra queste, per le sei più alte, è stata misurata l'altezza. La misurazione dei diametri è stata effettuata stratificata attraverso il metodo dei cerchi concentrici come segue:

- Entro un raggio di 15 m, misurare tutti gli alberi con un  $DBH \geq 27,5$  cm
- Entro un raggio di 9 m, misurare tutti gli alberi con un  $DBH \geq 17,5$  cm
- Entro un raggio di 6 m, misurare tutti gli alberi con un  $DBH \geq 7,5$  cm

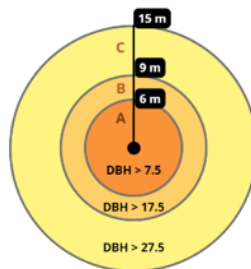


Figura 17: schema misurazione dei diametri

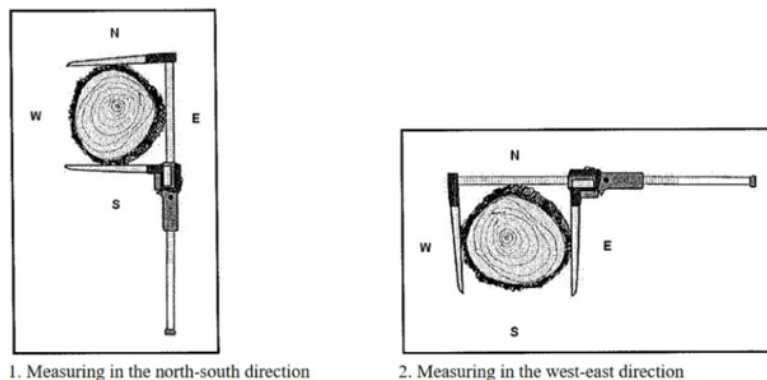


Figura 18: corretta misurazione del diametro

### 3.4.3 Plot in aree bruciate

Per ogni albero avente i parametri adatti per essere misurato venivano registrate anche la posizione (distanza e azimuth dal centro del plot), la proporzione del volume della chioma bruciata (in classi con intervallo del 10%), la proporzione dell'altezza del tronco carbonizzato (classi del 10% in base al rapporto tra altezza massima carbonizzata e altezza totale del tronco) e la profondità di carbonizzazione della corteccia come segue:

- 0: corteccia non segnata dal fuoco
- 1: corteccia leggermente carbonizzata (annerita)
- 2: corteccia uniformemente carbonizzata
- 3: corteccia profondamente carbonizzata/cambio colpito

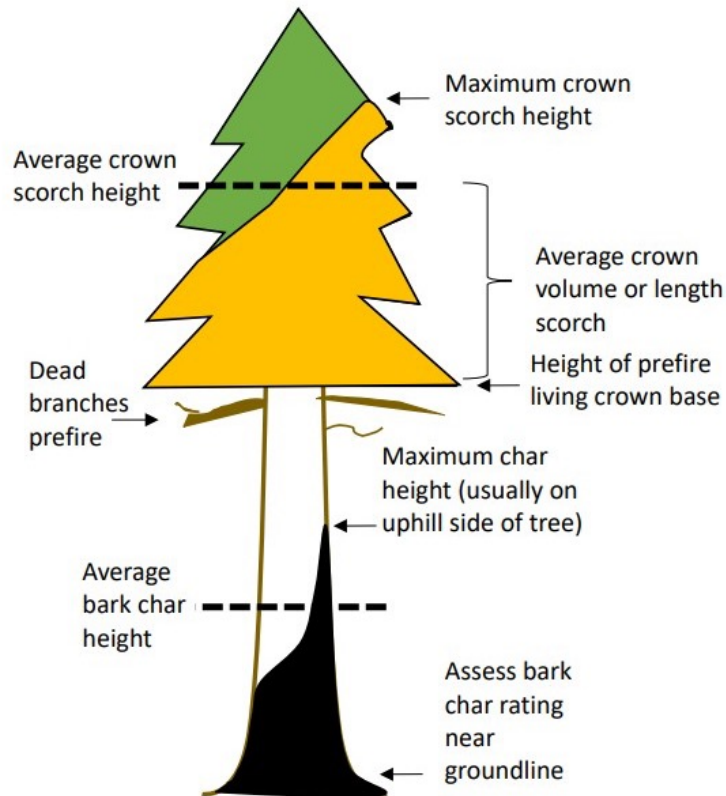


Figura 19: schema di misurazione di tronco e chioma bruciati

### 3.4.3.1 Rinnovazione

Una parte fondamentale dello studio dei plot in aree bruciate comprendeva il monitoraggio della rinnovazione, per il quale è stato utilizzato il metodo PCQM (*Point-Centered Quarter Meter*): a partire dal centro, il plot è stato diviso in quattro quadranti secondo i punti cardinali; per ciascuna specie, bisognava misurare la distanza della piantina più vicino al centro per ogni classe di dimensione e in ciascun quadrante.

Le classi di dimensione assegnate erano le seguenti:

- H1: rinnovazione con altezza  $\leq 50$  cm
- H2: rinnovazione con altezza tra 51 e 150 cm
- H3: rinnovazione con altezza tra 151 e 300 cm
- H4: rinnovazione con altezza  $> 300$  cm e DBH  $< 7,5$  cm

Nel caso di alberi inclinati, la base dell'albero era il riferimento e la distanza massima da prendere in considerazione era di 15 metri. È stata effettuata una distinzione tra rinnovazione da seme e da ricaccio (molto frequente nei castagni) e per le piantine appartenenti allo stesso ceppo la misura della distanza è stata effettuata a partire dal centro della ceppaia.

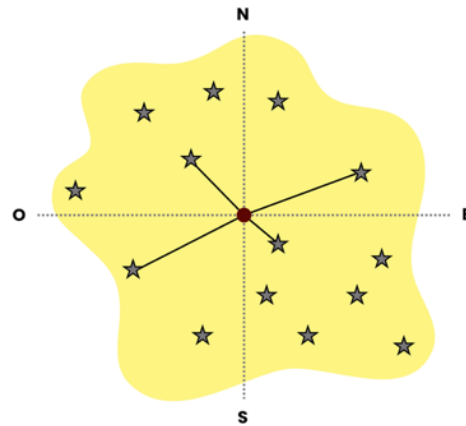


Figura 20: schema del metodo PCQM

#### 3.4.4 Strumenti utilizzati

Per eseguire i campionamenti sono stati utilizzati diversi strumenti:

- Cavalletto dendrometrico: strumento utilizzato per misurare il diametro di una pianta a 1,30 m di altezza dal suolo. È composto da un'asta centrale sulla quale viene letta la misura (cm o mm) e da due bracci, uno fisso e uno mobile. Può essere fatto di diversi materiali, tra cui l'alluminio.
- Ipsometro: nel nostro caso è stato utilizzato il modello "Vertex IV" (e il relativo transponder). Il Vertex è uno strumento professionale per misurare altezze, distanze, angoli e inclinazioni, utilizzando segnali ultrasonici; presenta un mirino rosso per facilitare la misurazione. Per calcolare l'altezza di una pianta bisogna posizionare il trasponder sull'oggetto da misurare (a 1,30 m – petto d'uomo), allontanarsi (per risultati ottimali, la distanza dovrebbe essere approssimativamente uguale all'altezza da misurare), premere il tasto ON per avviare il Vertex e puntarlo verso il trasponder, tenere premuto ON fino a quando il mirino a croce non si spegne momentaneamente e rilasciarlo subito dopo. A questo punto bisogna puntare verso l'altezza da misurare con il mirino

a croce lampeggiante e premere ON fino a quando il mirino a croce non scompare.

- Distanziometro laser: strumento per misurare le distanze che emette un raggio laser a bassa intensità; è dotato di un cronometro che misura il tempo impiegato dal raggio laser per ritornare al distanziometro dall'oggetto del quale si vuole conoscere la distanza.



*Figura 21: cavalletto dendrometrico a sinistra, transponder e Vertex nella fotografia centrale, misuratore laser a destra*



### 3.5 Elaborazione dati

Una volta raccolti tutti i dati richiesti, questi sono stati sistemati ed elaborati utilizzando programmi come Microsoft Excel e RStudio.

#### 3.5.1 Preparazione dati: Excel

Le informazioni prese durante la raccolta dati sono state inserite in diverse tabelle tramite il programma Microsoft Excel. Per ogni incendio è stato creato un file contenente un numero di fogli pari al totale dei plot, più un foglio per ogni plot con rinnovazione. La prima tabella, che si trova in ogni foglio corrispondente a un plot, contiene tutte le informazioni relative alle caratteristiche di quel determinato luogo (coordinate GPS, altitudine, inclinazione, ecc).

|                   |                     |                                      |                   |                                   |                     |                        |
|-------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|
| BURNT AREA        | Sellero             | STAND STRUCTURES:                    | abandoned coppice | marks of ancient disturbance      | /                   | Note: rocce affioranti |
| PLOT              | 4                   | LANDFORM TYPE                        | 300 slope middle  | marks of possible health problems | cancro del castagno |                        |
| GPS               | 46°5'2"N 10°20'13"E | SLOPE INCLINATION (° at plot center) | 20                | % cover shrub layer               | 45-50               |                        |
| ALTITUDE (m.s.l.) | 530                 | SLOPE SHAPE TYPE                     | 100 straight      | % cover grass layer               | 0-5                 |                        |

Figura 22: esempio di tabella con le informazioni del plot

Nella seconda tabella, invece, sono stati inseriti i dati relativi alle piante prese in esame, in particolar modo:

- cerchio concentrico (A, B o C);
- numero di ceppaia (in caso di castagni non nati da seme);
- specie;
- stato (vivo, morto in piedi, morto a terra);
- due misure del diametro (per le quali è poi stata fatta una media);
- altezza;
- posizione (distanza dal centro del plot e azimuth);
- percentuale chioma bruciata;
- percentuale tronco bruciato;
- profondità di carbonizzazione della corteccia (da 0 a 3).

I dati relativi alla posizione non sono presenti nelle tabelle dei plot di controllo in quanto non richiesti dal protocollo di campionamento; i dati relativi ai danni da fuoco

non sono anch'essi presenti, nelle stesse tabelle, poiché i plot di controllo sono ovviamente posti al di fuori dell'area bruciata.

| INVENTORY:<br>circle: A(r=6m;DBH>7.5cm)<br>B(r=9m;DBH>17.5cm)<br>C(r=15m;DBH>27.5cm) | ceppo | SPECIES         | TREE STATUS<br>(alive/dead on foot-<br>on the ground) | DBH         |          |       | H  | position (from plot centre) |                 | % crown volume<br>burned (10%<br>classes) | Height charred<br>trunk (10%<br>classes) | bark char<br>depth (0-3) |
|--|-------|-----------------|---|-------------|----------|-------|----|-----------------------------|-----------------|---|--|--------------------------|
|  |       |                 |   | misura<br>1 | misura 2 | Media |    | distance                    | azimuth<br>(°N) |   |  |                          |
| A  | 1     | Castanea sativa | alive   | 26,0        | 24,5     | 25,5  |    | 3,25                        | 226             | 0-10                                      | 0-10                                     | 2                        |
| A  | 1     | Castanea sativa | alive   | 22,0        | 21,5     | 22,0  |    | 3,25                        | 226             | 0-10                                      | 0-10                                     | 2                        |
| A  | 2     | Castanea sativa | alive   | 32,5        | 33,0     | 33,0  |    | 4,65                        | 95              | 10-20                                     | 10-20                                    | 2                        |
| A  | 2     | Castanea sativa | alive   | 36,0        | 32,0     | 34,0  |    | 4,65                        | 95              | 10-20                                     | 10-20                                    | 2                        |
| A  | 2     | Castanea sativa | dead on foot  | 27,5        | 29,0     | 28,5  |    | 4,65                        | 95              | 100                                       | 20-30                                    | 3                        |
| A  | 3     | Betula pendula  | alive   | 23,5        | 22,0     | 23,0  | 21 | 5,10                        | 46              | 0-10                                      | 0-10                                     | 1                        |
| A  | 3     | Betula pendula  | alive   | 23,5        | 24,5     | 24,0  |    | 5,10                        | 46              | 0-10                                      | 0-10                                     | 1                        |
| A  | 4     | Castanea sativa | dead on foot  | 17,5        | 18,0     | 18,0  |    | 4,30                        | 351             | 100                                       | 30-40                                    | 3                        |
| A  | 4     | Castanea sativa | dead on foot  | 8,0         | 7,5      | 8,0   |    | 4,30                        | 351             | 100                                       | 70-80                                    | 3                        |
| A  | 5     | Castanea sativa | alive   | 38,0        | 35,0     | 36,5  |    | 5,55                        | 325             | 0-10                                      | 0-10                                     | 2                        |
| A  | 5     | Castanea sativa | alive   | 30,5        | 34,0     | 32,5  |    | 5,55                        | 325             | 0-10                                      | 0-10                                     | 2                        |
| A  | 5     | Castanea sativa | dead on foot  | 21,0        | 18,5     | 20,0  |    | 5,55                        | 325             | /   | 10-20                                    | 3                        |
| B  |       | Castanea sativa | alive   | 32,0        | 30,5     | 31,5  | 20 | 7,85                        | 200             | 0-10                                      | 0-10                                     | 2                        |
| B  |       | Populus tremula | alive   | 42,0        | 35,0     | 38,5  | 23 | 6,70                        | 163             | 0   | 0-10                                     | 1                        |
| B  |       | Castanea sativa | alive   | 27,5        | 25,0     | 26,5  |    | 6,80                        | 31              | 0-10                                      | 0-10                                     | 1                        |
| C  | 6     | Castanea sativa | alive   | 36,0        | 33,0     | 34,5  | 24 | 9,80                        | 350             | 0-10                                      | 0-10                                     | 1                        |
| C  | 6     | Castanea sativa | alive   | 29,5        | 31,0     | 30,5  |    | 9,80                        | 350             | 10-20                                     | 0-10                                     | 1                        |
| C  |       | Castanea sativa | alive   | 27,5        | 27,5     | 27,5  |    | 15,00                       | 277             | 0-10                                      | 0-10                                     | 1                        |
| C  |       | Castanea sativa | alive   | 35,0        | 30,0     | 32,5  | 23 | 15,00                       | 301             | 0-10                                      | 0-10                                     | 2                        |
| C  |       | Castanea sativa | dead on the ground                                    | 28,0        | 28,0     | 28,0  |    | 9,70                        | 207             | 100                                       | 100                                      | 3                        |
| C  | 7     | Castanea sativa | alive   | 37,0        | 38,5     | 38,0  |    | 12,80                       | 140             | 0-10                                      | 0-10                                     | 1                        |
| C  | 7     | Castanea sativa | alive   | 29,0        | 27,0     | 28,0  |    | 12,80                       | 140             | 0-10                                      | 10-20                                    | 2                        |
| C  |       | Castanea sativa | dead on foot  | 39,0        | 42,5     | 41,0  |    | 12,20                       | 106             | /   | 30-40                                    | 3                        |
| C  |       | Fraxinus ornus  | alive   | 30,0        | 29,0     | 29,5  | 21 | 12,70                       | 72              | 0-10                                      | 0-10                                     | 0                        |

Figura 23: esempio tabella contenente i dati di ogni pianta misurata

Lo studio della rinnovazione per ogni plot, infine, è stato organizzato in tante tabelle quante le specie di rinnovazione presenti.

| PCQM                    | cm dal centro       | SE  | NE  | NO  | SO  |
|-------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| plot: 1                 | H1 (<=50)           | 824 | 490 | 380 | 641 |
|                         | H2(51-150)          | 928 | 522 | 380 | 513 |
| specie: Castanea sativa | H3 (151-300)        | 928 | 522 | 713 | 513 |
|                         | H4 (H>300, DBH<7,5) | 928 | 490 | 713 | 513 |

Figura 24: esempio tabella per ogni specie di rinnovazione

A partire da queste tabelle, si è dapprima valutata la densità piante/ha per ogni quadrante e ogni classe di altezza: presa l'area del cerchio avente come raggio la distanza della pianta più vicina al centro del plot e rapportandola alla superficie di un ettaro, si è stabilito quante piante della classe di altezza considerata potevano saturare il quadrante di riferimento considerato avente superficie di un ettaro.

Si è poi calcolata la media delle densità per ogni classe di altezza su tutti e quattro i quadranti, ottenendo la densità per classe di altezza.

Sommando tra loro le densità per classe di altezza così ottenute è risultata la densità complessiva per genere.

### ***3.5.2 Rielaborazione dati: RStudio***

Importando i dati relativi ai diametri e alle altezze sul programma RStudio è stata utilizzata la funzione di regressione che ha portato alla costruzione di un modello ipsodiametrico; da questo è stato possibile ottenere le altezze mancanti in relazione al diametro misurato. Una volta ottenute tutte le varie altezze ipsometriche, i dati sono stati salvati in formato “csv”, importati nuovamente in Microsoft Excel e utilizzati per costruire un grafico rappresentante il popolamento del bosco. Sono stati successivamente aggiunti al grafico una linea di tendenza logaritmica e l’equazione utile per calcolare nuove altezze partendo da un ipotetico diametro. Per ogni sito sono state, infine, calcolate altezza media, definita come l’altezza del probabile albero di area basimetrica media, e altezza dominante, definita come la media delle altezze delle cento piante ad ettaro aventi diametro maggiore (nel nostro caso, essendo le aree di saggio minori di un ettaro è stata fatta una proporzione).

## **4. RISULTATI**

### **4.1 Berzo Demo**

In questo sito si è notata la presenza di segni di una ceduzione avvenuta in precedenza all'incendio e segni di interventi post incendio; sono poi da sottolineare la presenza di massi, muretti a secco e tracce lasciate da un recente pascolo di capre.

#### ***4.1.1 Mortalità***

A seguito delle rielaborazioni dei dati raccolti in campo è risultato che la percentuale di area basimetrica di piante morte sul totale è di 1,36%, la percentuale media di area basimetrica di piante morte per plot è, invece, del 4%. Mentre sul totale di piante misurate la percentuale di piante morte è pari al 9,3%. Da questi dati è possibile dedurre, oltre ad una bassa intensità di incendio, che le piante morte a causa del passaggio del fuoco avessero un diametro relativamente piccolo; essendo un incendio abbastanza datato, molte piante sopravvissute sono probabilmente ulteriormente accresciute in seguito, arrivando ad avere, oggi, un diametro, e quindi un'area basimetrica, più elevati.

#### ***4.1.2 Popolamento***

Per quanto riguarda il sito di Berzo, dalle curve ipsometriche si evidenzia una maggiore spinta verso l'alto da parte delle piante di castagno, che tendono ad affermarsi, con altezze medie di 14,12 m, nel piano dominante. La curva ipsometrica relativa al castagno ha una tendenza leggermente opposta al modello standard, ciò è dovuto alla presenza, in questo sito, di molte piante sramate o con la chioma danneggiata che hanno portato ad un'alterazione dei dati raccolti.

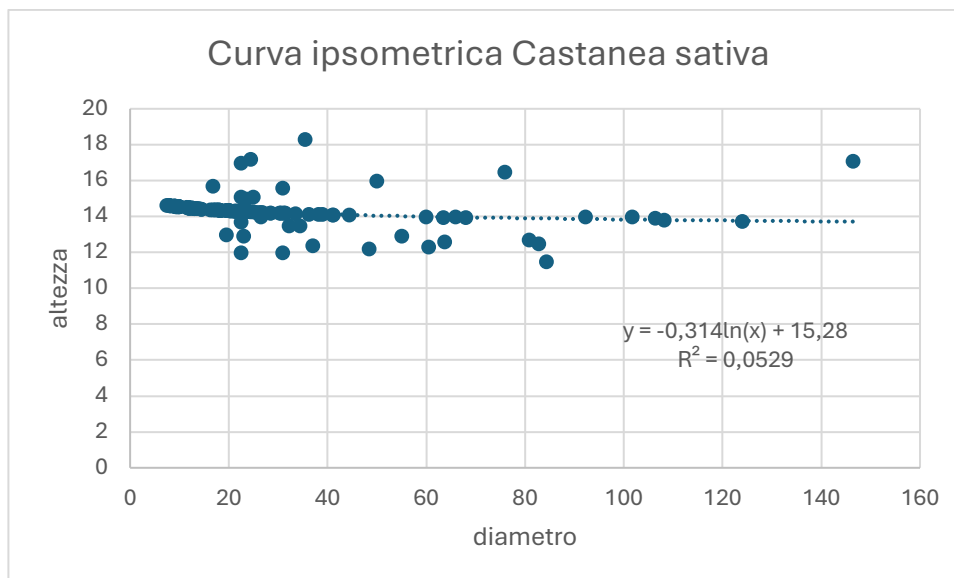


Figura 25: curva ipsometrica che mette in relazione le altezze e i diametri delle piante di castagno

Diametro medio: 39,87 m

H media: 14,12 m

Area basimetrica media: 1248,39 m<sup>2</sup>

H dominante: 14,00 m

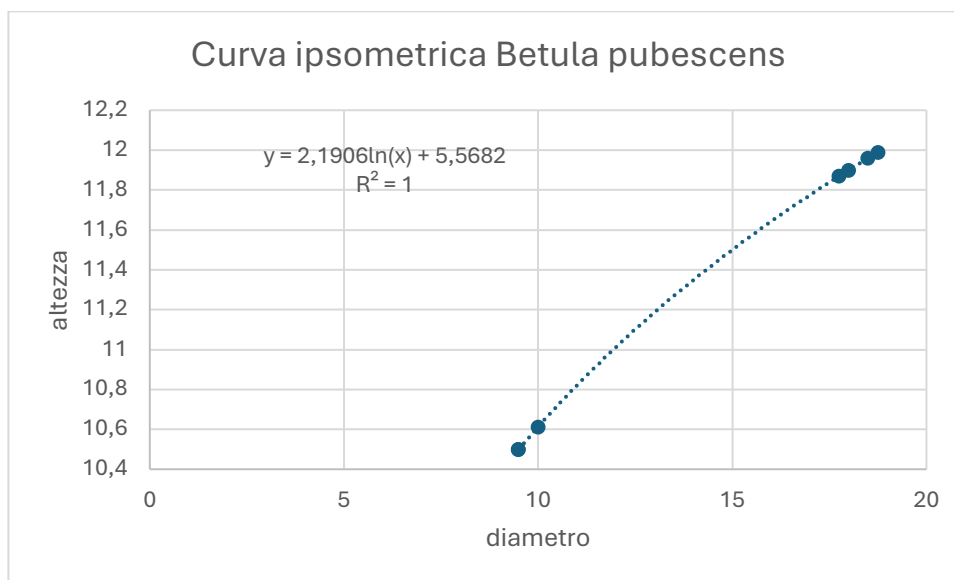


Figura 26: curva ipsometrica che mette in relazione le altezze e i diametri delle piante di betulla

Diametro medio: 15,18 m

H media: 11,53 m

Area basimetrica media: 181,02 m<sup>2</sup>

H dominante: 11,33 m

### 4.1.3 Rinnovazione

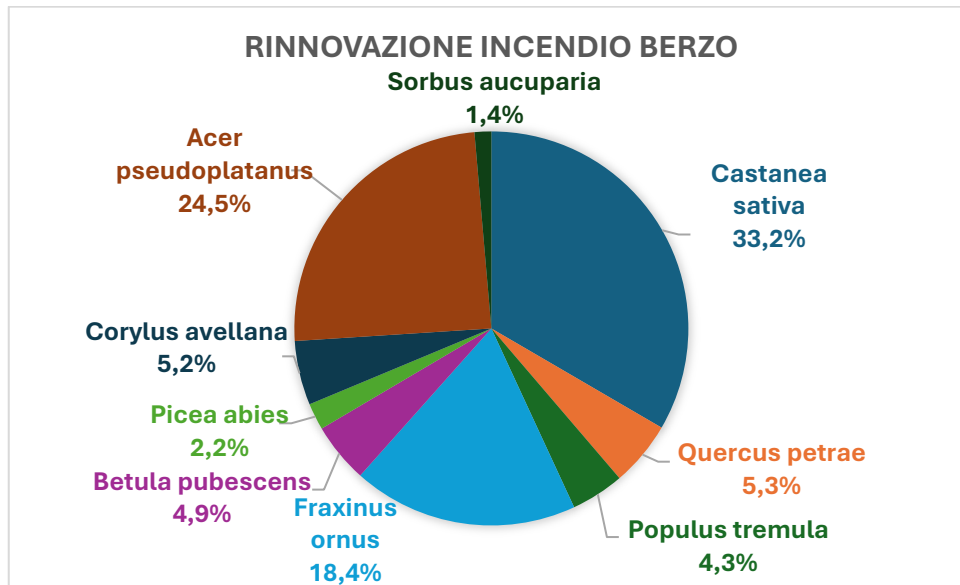


Figura 27: grafico raffigurante le percentuali delle diverse specie in rinnovazione

Dal grafico sopra mostrato si può notare come la principale specie in rinnovazione sia il castagno, nonostante ci sia una buona percentuale di specie pioniere come l'orniello (*Fraxinus ornus*) e l'acero di monte (*Acer pseudoplatanus*). Il castagno si rinnova principalmente come polloni da ceppaia ma è presente anche come rinnovazione da seme. Nei plot in cui sono state trovate tracce di pascolamento si è notata un'insolita rinnovazione di nocciolo, probabilmente dovuta a buone quantità di azoto derivanti dal pascolo. Tutte le piante di pioppo adulte presenti non mostrano tracce del passaggio del fuoco, perciò, si ritiene che facciano parte della rinnovazione ormai adulta nata in seguito all'incendio.

## 4.2 Fane

Durante i rilievi fatti in questo sito si è notata la presenza in più plot di tanti massi e diversa necromassa (foglie e ramaglia) a terra.

### 4.2.1 Mortalità

Dai dati raccolti in campo risulta che la percentuale di area basimetrica di piante morte sul totale è di 8,1%, la percentuale media di area basimetrica di piante morte per plot è, invece, del 7,6%. Mentre sul totale di piante misurate la percentuale di piante morte

è pari al 3,4%. Confrontando la prima e l'ultima percentuale si può affermare che le piante morte in questo caso possedevano un diametro superiore alla media. Il numero estremamente basso di piante morte a seguito del passaggio del fuoco è indice di bassa intensità dell'incendio. In più una delle piante morte rilevate, in particolare un abete rosso di grosse dimensioni, non sembrava avere danni da fuoco, pertanto, potrebbe essere morto per motivi differenti.

#### 4.2.2 Popolamento

Di seguito si riportano le curve ipsometriche del popolamento differenziate tra il castagno e il pioppo tremulo, unica altra specie adulta presente in quantità rilevanti; da queste si denota un soprassuolo tendenzialmente monoplano, la cui altezza media è simile per entrambe le specie: 11,70 m per quanto riguarda il castagno e 11,30 per il pioppo.

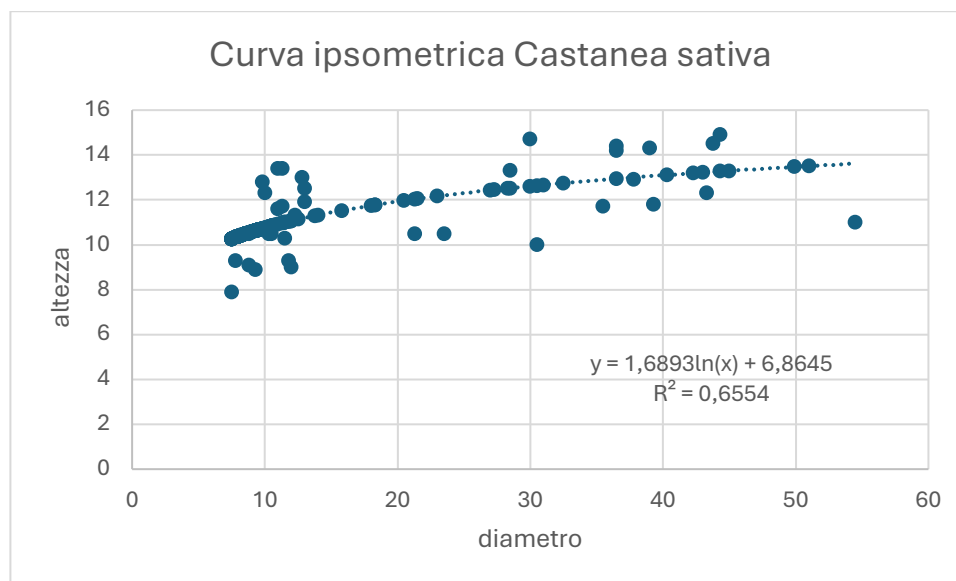


Figura 28: curva ipsometrica che mette in relazione le altezze e i diametri delle piante di castagno

Diametro medio: 17,48 m

H media: 11,70 m

Area basimetrica media: 240,04 m<sup>2</sup>

H dominante: 13,42 m

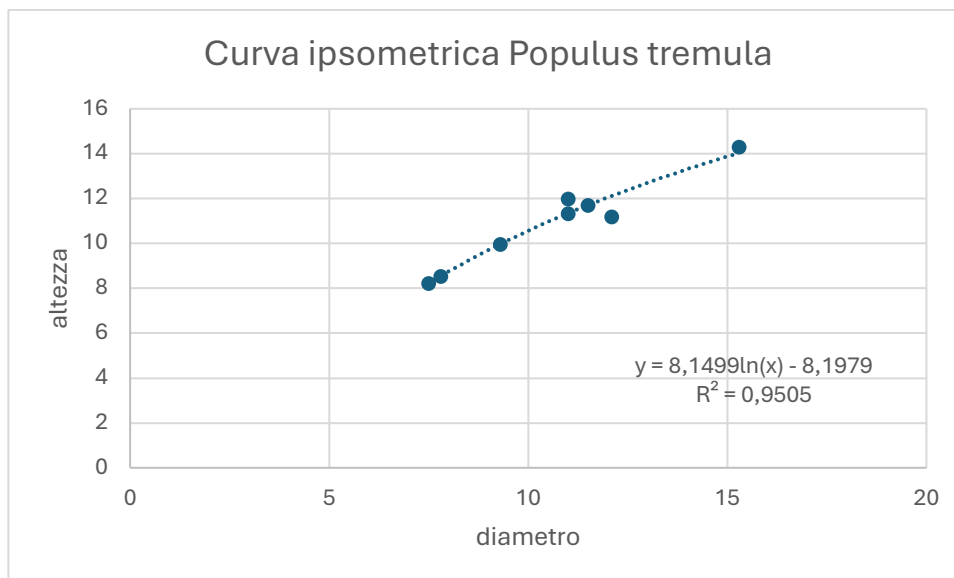


Figura 29: curva ipsometrica che mette in relazione le altezze e i diametri delle piante di pioppo tremulo

Diametro medio: 10,94 m

H media: 11,30 m

Area basimetrica media: 94,08 m<sup>2</sup>

H dominante: 11,29 m

#### 4.2.3 Rinnovazione

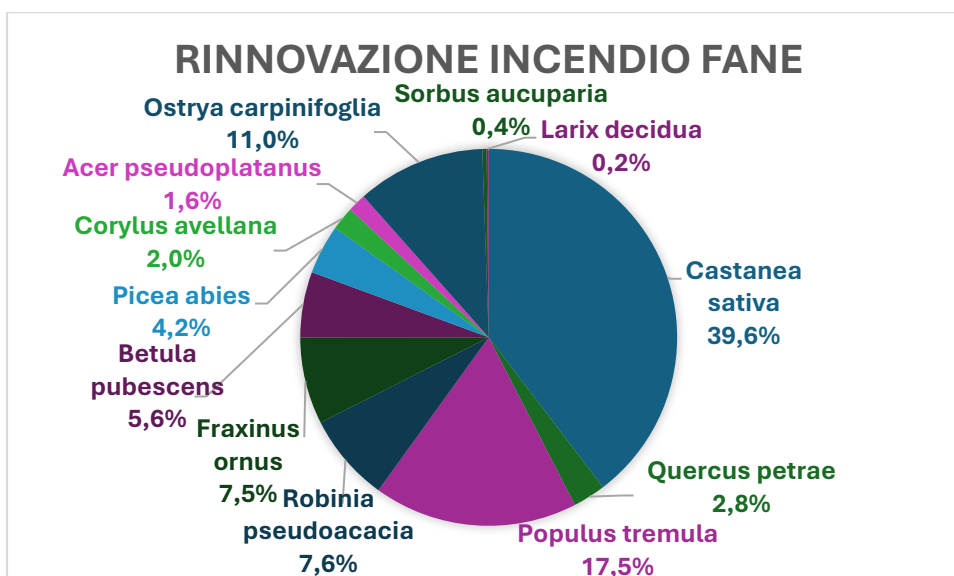


Figura 30: grafico raffigurante le percentuali delle diverse specie in rinnovazione



Come si può notare dal grafico sopra mostrato la percentuale di rinnovazione più elevata appartiene alla specie del castagno, seguita da pioppo tremulo (*Populus tremula*) e carpino nero (*Ostrya carpinifolia*). Anche in questo caso il castagno si rinnova principalmente come polloni da ceppaia ma è presente anche come rinnovazione da seme. La maggior parte delle piante presenti nel sito può essere considerata come rinnovazione post incendio ormai adulta, in quanto non avente segni del passaggio del fuoco; sono presenti bruciature visibili solo su alcune matricine e su grosse ceppaie che possiedono però polloni non bruciati. Si segnala la presenza elevata di betulle, pioppi e robinie (in diversi plot) non appartenenti alle classi da analizzare.

### **4.3 Sellero**

In alcuni plot di questo sito si è notata la presenza di molti rovi, rocce affioranti e alcuni segni di interventi selvicolturali recenti, in particolare cataste di ramaglia a terra vicino ai tronchi. Si evidenzia poi che nel plot otto è stata osservata la presenza di tante rocce e poco suolo, altezze inferiori alla media segnalano infatti la poca fertilità di questo plot.

#### **4.3.1 Mortalità**

Rielaborando i dati raccolti in campo è risultato che la percentuale di area basimetrica di piante morte sul totale è di 15,5%, la percentuale media di area basimetrica di piante morte per plot è, invece, del 14,2%. Mentre sul totale di piante misurate la percentuale di piante morte è pari al 19,4%. Si nota che le varie percentuali, rispetto agli incendi precedenti, sono nettamente superiori e bilanciate tra loro; questo è dovuto al fatto che l'incendio è estremamente recente, pertanto, non vi è rinnovazione adulta post-incendio che influenza i risultati.

#### **4.3.2 Popolamento**

In questo sito sono stati rilevati alberi con altezze e diametri estremamente differenti tra loro. Si tratta quindi di un bosco a struttura multiplana, le cui altezze medie delle specie più rilevanti, castagno, betulla e quercia, sono rispettivamente: 19,73 m, 15,80 m e 21,53 m.

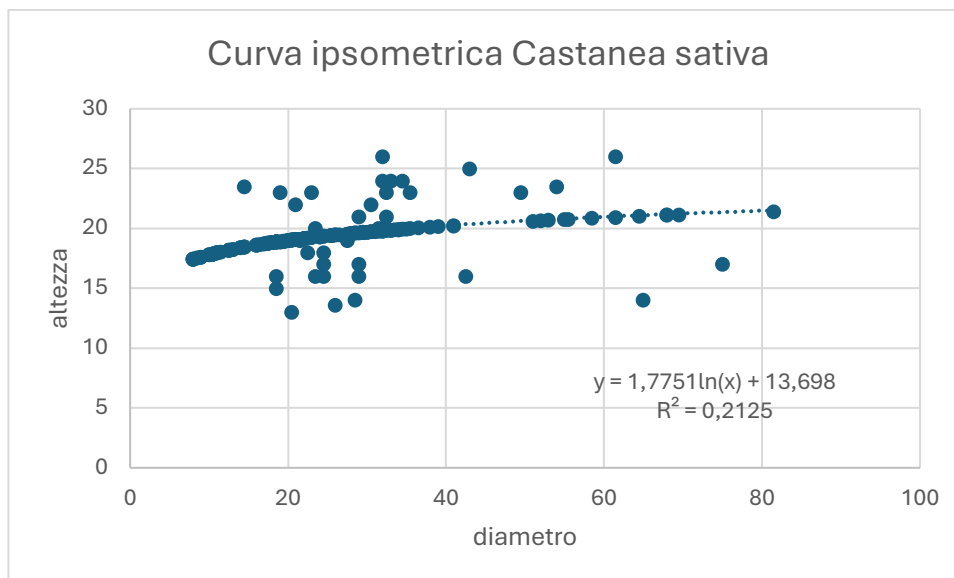


Figura 31: curva ipsometrica che mette in relazione le altezze e i diametri delle piante di castagno

Diametro medio: 29,88 m

H media: 19,73 m

Area basimetrica media: 701,24 m<sup>2</sup>

H dominante: 19,55 m

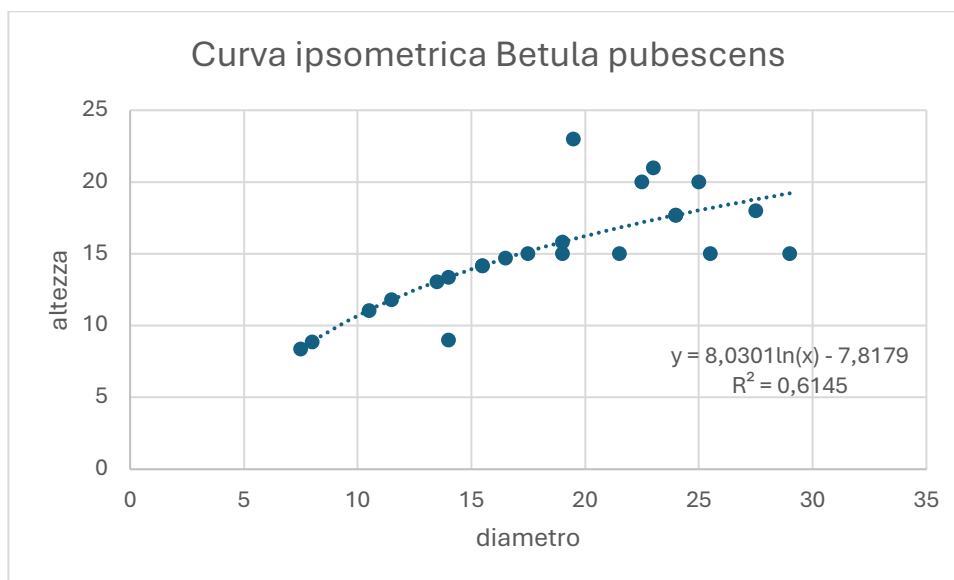


Figura 32: curva ipsometrica che mette in relazione le altezze e i diametri delle piante di betulla

Diametro medio: 19,36 m

H media: 15,80 m

Area basimetrica media: 294,36 m<sup>2</sup>

H dominante: 17,77 m

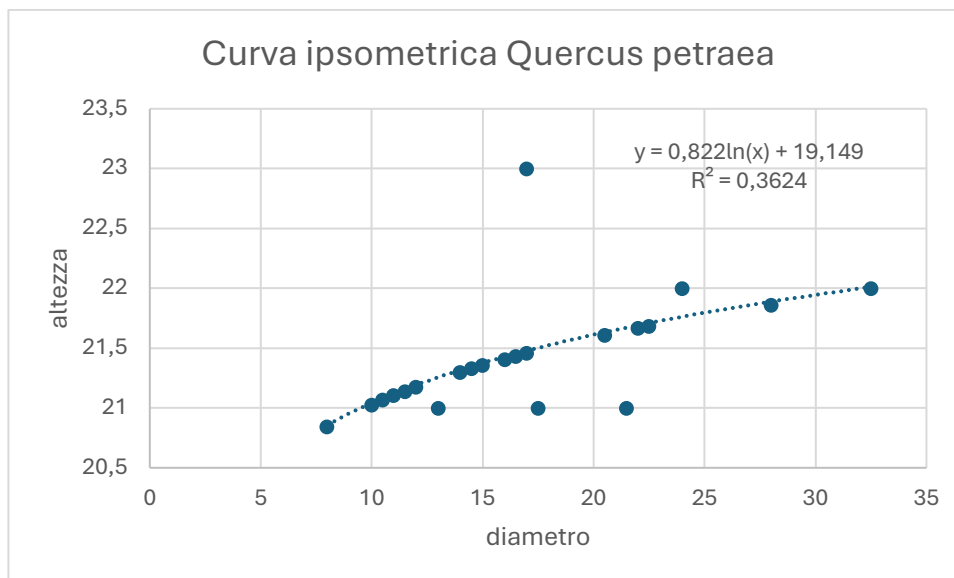


Figura 33: curva ipsometrica che mette in relazione le altezze e i diametri delle piante di quercia

Diametro medio: 18,06 m

H media: 21,53 m

Area basimetrica media: 256,08 m<sup>2</sup>

H dominante: 21,69 m

### 4.3.3 Rinnovazione



Figura 34: grafico raffigurante le percentuali delle diverse specie in rinnovazione

Per quanto riguarda la rinnovazione post incendio nel sito di Sellero si ha una maggioranza di castagno, seguito da specie pioniere come orniello, pioppo tremulo e

rovere (*Quercus petraea*). Anche in quest'ultimo caso il castagno si rinnova sia da seme che da ceppaia.

#### 4.4 Rinnovazione: confronto

|            | H1 (<=50 cm) | H2 (51-150 cm) | H3 (151-300 cm) | H4 (H>300 cm, DBH<7,5 cm) | Totale (piante/ha) |
|------------|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|--------------------|
| Berzo Demo | 5379         | 1430           | 1174            | 879                       | 8862               |
| Fane       | 8704         | 3520           | 2983            | 2486                      | 17694              |
| Sellero    | 12910        | 7138           | 3902            | 617                       | 24567              |
|            | H1 (<=50 cm) | H2 (51-150 cm) | H3 (151-300 cm) | H4 (H>300 cm, DBH<7,5 cm) | Totale             |
| Berzo Demo | 61%          | 16%            | 13%             | 10%                       | 100%               |
| Fane       | 49%          | 20%            | 17%             | 14%                       | 100%               |
| Sellero    | 53%          | 29%            | 16%             | 3%                        | 100%               |

Figura 35: tabella con il numero totale di piante a ettaro per ogni altezza (in cm)

Dalla tabella sopra mostrata si può notare una correlazione tra il periodo dell'incendio e la quantità di rinnovazione a ettaro presente; l'incendio di Berzo Demo, il più datato tra quelli presi in esame, presenta circa un terzo della rinnovazione rilevata nel sito di Sellero, luogo dell'incendio più recente, e circa la metà della rinnovazione presente nel sito di Fane. Questo è dovuto al fatto che nel sito di Berzo Demo e in parte in quello di Fane si trova una porzione di rinnovazione post-incendio ormai adulta, non rientrante nei parametri riguardanti la rinnovazione richiesti dal protocollo di campionamento. Il sito di Sellero presenta, a differenza degli altri, pochissima rinnovazione categorizzata come H4 perché si tratta di un incendio estremamente recente e la rinnovazione post-incendio non ha quindi ancora avuto il tempo di crescere. Infine, si può notare come le percentuali diminuiscano all'aumentare dell'altezza, questo è dovuto al fatto che le piantine sono in competizione per luce, acqua, nutrienti e spazio e questo fa sì che accrescendosi alcune ne ostacolano altre, avendo la meglio su di esse.

## 5. DISCUSSIONE

### 5.1 rinnovazione post-incendio

Dopo un incendio, la rinnovazione nei boschi di castagno può presentarsi in diverse forme, influenzata da vari fattori ecologici e gestionali.

In tutti e tre i siti presi in esame prevale la rinnovazione di castagno. Questa specie ha sviluppato adattamenti ecologici che la rendono resiliente agli incendi. Ad esempio, possiede una corteccia spessa che protegge i tessuti vitali dal calore del fuoco e una struttura radicale che può sopravvivere e rigenerare la pianta anche dopo che la parte aerea è stata distrutta. La modalità principale di rinnovazione di questa specie, osservata in particolar modo nei siti di Berzo Demo e Fane, è la ricrescita per polloni. Le ceppaie di castagno, infatti, hanno un'elevata capacità di emettere nuovi getti vegetativi dalle gemme dormienti alla base del tronco o dalle radici e questa caratteristica permette ai castagni di rigenerarsi rapidamente dopo essere stati danneggiati dal fuoco. L'altro metodo di rinnovazione del castagno, e in generale di tutte le specie presenti, è, invece, la rinnovazione naturale. Questa è possibile poiché gli incendi presi in esame non sono stati particolarmente severi e hanno risparmiato alcune piante madri che hanno rilasciato dei semi in grado di germogliare; le percentuali di piante morte sul totale sono, infatti, tutte più o meno basse (9,3%, 3,4%, 19,4%).

Dopo un incendio, la vegetazione concorrente viene spesso eliminata, creando condizioni ideali per la crescita di nuove specie; questo permette alle specie pioniere di stabilirsi rapidamente e di dominare il nuovo habitat. Sono state, in particolar modo, osservate rinnovazioni rilevanti di *Quercus petraea*, *Fraxinus ornus*, *Populus tremula*, *Acer pseudoplatanus* e *Ostrya carpinifolia*. Le condizioni del suolo (ottimali suoli ben idratati), di luce e un clima favorevole influenzano fortemente la rigenerazione.

La gestione forestale post-incendio può influenzare significativamente la rinnovazione. Interventi come il taglio dei polloni morti, la riduzione del carico di combustibile e il diradamento selettivo possono favorire una rigenerazione più rapida e vigorosa del castagneto

## **5.2 Berzo Demo e Fane**

I servizi ecosistemici che principalmente interessano i siti di Berzo Demo e Fane riguardano la produzione di legno, la stabilità dei versanti, la prevenzione all'erosione del suolo, la purificazione dell'aria e dell'aria e lo stoccaggio di carbonio.

A seguito delle analisi condotte su questi incendi si nota una buona percentuale di rinnovazione di castagno (sia da ceppaia che da seme), in parte già sufficientemente accresciuta da permettere un rapido recupero dei servizi ecosistemici; pertanto, non è necessario intervenire con rimboschimenti. Si potrebbe quindi procedere con il ripristino del governo a ceduo oppure con la conversione all'alto fusto. Essendo Berzo un sito particolarmente acclive ed entrambi caratterizzati dalla presenza di massi e rocce, l'avviamento a fustaia è sconsigliato, poiché riguardo alla difesa dalle frane, il ceduo risulta migliore; a uguale profondità delle radici corrisponde, infatti, un minore peso del soprassuolo. Non essendo poi boschi di particolare interesse naturalistico e culturale la principale funzione da ripristinare riguarda la produzione legnosa, obiettivo principale di un governo a ceduo. Si potrebbero valutare turni più lunghi per favorire la crescita degli alberi; questi potrebbero così essere utilizzati per paleria o ingegneria naturalistica ed essere destinati a durare più a lungo, in modo tale da preservare la funzione di stoccaggio del carbonio.

Il procedimento di ripresa del governo a ceduo consiste in un taglio raso con il rilascio di matricine da effettuare all'inizio della nuova gestione. Il rilascio di un numero minimo di matricine ha la duplice funzione di sostituire le ceppaie morte e di produrre seme. In più, il rilascio di soggetti di castagno affetti da cancri cicatrizzanti attivi sembra favorire la diffusione naturale l'inoculo ipovirulento. Perciò, si consiglia il rilascio di un minimo di cinquanta matricine ad ettaro, come indicato dalle Norme Forestali della Regione Lombardia.

Per quanto riguarda la produzione, il turno potrebbe essere scelto in maniera differente a seconda dell'utilizzo a cui verrà destinato il legname. Polloni con diametri più o meno elevati potranno essere destinati ad usi differenti. Si possono, ad esempio, ottenere bacchette per la produzione di ceste, paleria di diverse dimensioni e travi per il tetto; lavorando il fusto è possibile, poi, ottenere doghe per botti, infissi e mobili. Un altro impiego del legno di castagno è legato alla sua elevata durabilità, che permette il suo utilizzo nell'ingegneria naturalistica, ad esempio, per la sistemazione dei versanti

o per il contenimento delle masse nevose. Questo legno è, invece, poco apprezzato come legna da ardere a causa del tannino che ostacola l'ottimale combustione.

Si potrebbero quindi effettuare turni di 15-20 anni per la produzione di paleria media e turni di 20-30 anni per la produzione di paleria più grossa o legname da opera (opzione migliore dal punto di vista dello stock del carbonio).

Nel caso di turni superiori ai vent'anni, è consigliabile effettuare diradamenti per massimizzare e stabilizzare la crescita. A causa dell'elevata mortalità iniziale dei polloni, si può effettuare un primo diradamento a circa 5-6 anni dal taglio, mantenendo solo i polloni migliori e portandoli a un numero doppio (2000-3000 per ettaro) rispetto a quello definitivo (1500-2000 per ettaro), che si raggiungerà con un ulteriore diradamento a 14-16 anni (Bernetti et al, 2021).

Parlando del periodo di taglio, è preferibile eseguire queste operazioni colturali durante il riposo vegetativo per consentire l'accumulo di sostanze di riserva per la ripresa in primavera e ridurre l'emissione di falsi polloni avventizi. Inoltre, il taglio in inverno facilita il lavoro, come ad esempio la sramatura.

Le ceppaie, con l'invecchiamento, si espandono sul terreno in modo centrifugo, poiché ad ogni taglio i polloni crescono verso l'esterno. Col tempo, la parte centrale delle ceppaie tende a marcire, assumendo così una forma ad anello. Dopo diversi cicli di taglio, le ceppaie diventano molto grandi e le porzioni dell'anello si separano, formando nuove ceppaie autonome. Per ottenere buoni risultati produttivi, è consigliabile mantenere tra 400 e 600-800 ceppaie per ettaro (Bernetti et al, 2021).

### **5.3 Sellero**

Per quanto riguarda il sito di Sellero, i servizi ecosistemici da ripristinare e tutelare interessano anche in questo caso la stabilità dei versanti, la purificazione dell'aria e dell'acqua, la produzione di legno e lo stoccaggio del carbonio, ma fondamentale è anche, in questo caso, la funzione ricreativa. Questo incendio interessa, infatti, una zona attraversata da una pista ciclabile che conduce fino al Passo del Tonale e presenta una piccola riserva con all'interno dei caprioli, si tratta quindi di un'area molto frequentata per passeggiate ed escursioni in bicicletta.

Oltre a un'importante rinnovazione di castagno (sempre sia da seme che da ceppaia) è presente molta rinnovazione di altre specie, in particolar modo troviamo: orniello,

pioppo tremulo e rovere. Dal momento che la struttura del bosco si presenta già multiplana, si potrebbe optare per un governo a fustaia disetanea, favorendo la rinnovazione di castagno e delle altre specie presenti. Il governo ad alto fusto permetterebbe di ottenere assortimenti legnosi di maggiore qualità nel lungo periodo, favorendo anche un ottimale stoccaggio di carbonio; si tratta poi del modello che maggiormente si presta alle attività ricreative come escursionismo, raccolta di castagne e osservazione della natura.

Si propone di intervenire inizialmente con dei tagli di recupero per rimuovere gli alberi morti e gravemente danneggiati in modo tale da ridurre il carico di combustibile e minimizzare le infestazioni da parassiti. Successivamente è consigliato un diradamento selettivo, mirato ad eliminare parte degli alberi parzialmente danneggiati che hanno poche probabilità di sopravvivenza e competono con gli alberi sani per le risorse. Questi primi interventi vanno svolti prestando particolarmente attenzione a non recare ulteriori danni al suolo già indebolito dal passaggio del fuoco. In un secondo momento si consiglia di intervenire con un rimboschimento per favorire un'accelerazione nel processo di rigenerazione, garantendo una copertura arborea più rapida e uniforme. Sarebbe ottimale favorire l'insediamento di diverse specie già presenti nel sito attraverso l'adozione di interventi selvicolturali mirati (per lo più tagli a buche), per ottenere un'ottima biodiversità.

Negli anni a seguire si consigliano una serie di tagli a scelta colturale (o tagli selettivi) che consistono nel prelievo solamente di una parte degli alberi così che il suolo non rimanga mai scoperto (andando incontro ad erosione). Questa è una tecnica che prevede interventi molto più piccoli dei tagli tradizionali; l'intervento che si effettua viene chiamato "taglio di curazione" ed il periodo che intercorre tra due interventi successivi "periodo di curazione" (variabile da 10 a 30 anni).

La scelta degli alberi da prelevare dovrà essere effettuata mediante criteri:

- Economici: alberi maturi dal punto di vista commerciale;
- Colturali: alberi il cui taglio consente una migliore crescita del soprassuolo rimanente; le piante con i migliori accrescimenti dovranno essere favorite eliminando le peggiori.



Questo tipo di taglio mantiene la struttura verticale stratificata e la composizione mista; se viene effettuato per piede d'albero favorisce le specie sciafile, se per piccoli gruppi favorisce le specie più eliofile (Bernetti et al, 2021).

Il legno di castagno proveniente da questa tipologia di gestione può, anche in questo caso, essere utilizzato a scopi differenti; in particolar modo tronchi di grandi dimensioni e quindi resistenti possono essere utilizzati per l'ingegneria naturalistica o la costruzione di mobili e travi. Il legno proveniente dalla rovere può, anch'esso, essere utilizzato per la costruzione di mobili, serramenti e soprattutto per rivestimenti esterni come tetti e coperture. Mentre le restanti specie possono essere utilizzate come legna da ardere.

#### **5.4 Prevenzione degli incendi boschivi**

Nella gestione dei siti analizzati è bene integrare delle tecniche selvicolturali finalizzate alla prevenzione degli incendi boschivi. Si consiglia quindi di interrompere l'omogeneità strutturale dei popolamenti in determinati punti o come nel caso del sito di Sellero favorire la disetaneità. Altro intervento utile sarebbe, poi, la rimozione della lettiera (particolarmente abbondante nei castagneti) e a questo fine si potrebbe utilizzare il cosiddetto "fuoco prescritto"; una tecnica selvicolturale di prevenzione che applica in modo esperto ed autorizzato il fuoco alla vegetazione su superfici definite, con determinate condizioni meteorologiche e ambientali adottando precise procedure da parte di tecnici e professionisti; questa tecnica consente di condurre il fuoco in sicurezza, con un'intensità molto inferiore a quella dell'incendio, adeguata a ridurre la frazione più infiammabile della vegetazione senza alterare il funzionamento né i processi ecologici dell'ecosistema bosco (Bovio et al, 2017). Infine, di fondamentale importanza sono gli interventi di mantenimento dei sentieri e delle strade percorribili dal personale addetto alla gestione di un eventuale incendio in combinazione con una buona gestione dei viali tagliafuoco.

## 6. CONCLUSIONI

I tre siti analizzati mostrano una varietà di caratteristiche e risposte post-incendio. A Berzo Demo, l'incendio sembra aver avuto un impatto più lieve, con una bassa mortalità e una rigenerazione dominata dal castagno. La presenza di segni di ceduzione e pascolamento suggerisce una gestione forestale talvolta attiva. Fane presenta una mortalità leggermente superiore e una rigenerazione anch'essa dominata dal castagno, con una struttura forestale uniforme. Sellero, recentemente colpito dall'incendio, mostra la mortalità più alta e una rinnovazione non ancora matura, con un bosco a struttura multiplana dominato da castagno, orniello, pioppo tremulo e quercia. Complessivamente, tutti e tre i siti evidenziano una rigenerazione significativa del castagno, con differenze nella struttura e nella mortalità legate all'intensità e all'anno degli incendi.

A seguito dello studio dei tre siti, vengono proposte diverse strategie di gestione sostenibile dei castagneti, finalizzate alla conservazione e valorizzazione delle risorse forestali. Nei siti di Berzo Demo e Fane, caratterizzati da un buon livello di rinnovazione del castagno (soprattutto da ceppaia), è preferibile mantenere il governo a ceduo per l'ottimizzazione della produzione legnosa. La tecnica della ceduzione, con cicli di taglio ben programmati e il rilascio di matricine, permette di ottenere legname di diverse qualità e destinazioni. A Sellero, viene, invece, proposta la gestione a fustaia disetanea, favorendo la diversificazione delle specie, il miglioramento della resilienza del bosco e della qualità del legname prodotto. Inoltre, l'integrazione di tecniche selvicolturali di prevenzione degli incendi, come l'uso del fuoco prescritto e la manutenzione delle infrastrutture forestali, risulta essenziale per la protezione dei boschi. Queste pratiche, se applicate correttamente, contribuiscono a mantenere la biodiversità, migliorare la sicurezza ambientale e valorizzare il patrimonio forestale per le future generazioni.

## BIBLIOGRAFIA

- ◆ Mariotti B., Castellotti T., Conedera M., Corona P., Manetti M.C., Romano R., Tani A., Maltoni A., (2019). *Linee guida per la gestione selvicolturale dei castagneti da frutto*. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma.
- ◆ Manetti M.C., Becagli C., Carbone F., Corona P., Giannini T., Romano R., Pelleri F., (2017). *Linee guida per la selvicoltura dei cedui di castagno*. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma.
- ◆ ISPRA, (2020). *Foreste e biodiversità, troppo preziose per perderle. Le risposte alle domande più frequenti*. Quaderni ISPRA Natura e Biodiversità.
- ◆ Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolstro M., Lexer M.J., Marchetti M., (2009). *Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems*. In journal Elsevier.
- ◆ Mansoor S., Farooq I., Kachroo M.M., El Din Mahmoud A., Fawzy M., Popescu S.M., Alyemeni M.N., Sonne C., Rinklebe J., Ahmad P., (2021). *Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change*. In journal Elsevier.
- ◆ Ciancio O., (2020). *Biodiversità, silvosistemica e gestione forestale*. L'Italia Forestale e Montana.
- ◆ Bosello F., Marazzi L., Nunes P.A.L.D., (2007). *Le Alpi italiane e il cambiamento climatico: elementi di vulnerabilità ambientale ed economica, e possibili strategie di adattamento*. Report prepared for the APAT Workshop on

“Cambiamenti climatici e ambienti nivo-glaciali: scenari e prospettive di adattamento”, Saint-Vincent.

- ◆ Bachisio A., Salis M., Santoni P.A., Rossi J.L., Spano D., (2015). *Les modèles de propagation d'incendie*.
- ◆ Bovio G., Marchetti M., Tonarelli L., Salis M., Vacchiano G., Lovreglio R., Elia M., Fiorucci P., Ascoli D., (2017). *Gli incendi boschivi stanno cambiando: cambiamo le strategie per governarli*. Forest@.
- ◆ La Marca O., (2017). *Elementi di dendrometria*. Pàtron Editore, Bologna.
- ◆ Bernetti G., Del Favero R., Pividori M., (2021). *Selvicoltura produttiva (manuale pratico)*. Edagricole, Milano.
- ◆ Del Favero R., (2015). *I Boschi delle regioni Alpine italiane (tipologia, funzionamento, selvicoltura)*. CLEUP, Padova.
- ◆ Proença V., Pereira H.M., Vicente L., (2010). *Resistance to wildfire and early regeneration in natural broadleaved forest and pine plantation*. Acta Oecologica, Volume 36, Issue 6, Pages 626-633.
- ◆ Nocentini S., (2004). *La ricostruzione per via naturale dei boschi percorsi da incendio*. Convegno: Tecniche di ripristino dei boschi percorsi da incendio, Arrone (TR).
- ◆ Bertani R., Blasi C., Biondi E., Bovio G., Camia A., Capogna F., Corona P., Cullotta S., Esposito A., Fabiani M.L., Leone V., Lovreglio R., Maetzke F., Manes F., Marchetti M., Maturani A., Mazzoleni S., Pasta S., Persiani A.M., Poldini L., Puppi G., Ricotta C., Scatarzi I., Vagge I., Vidali M., (2004). *Incendi e complessità ecosistemica, dalla pianificazione forestale al recupero ambientale*. Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione per la Protezione della Natura, Società Botanica Italiana, Commissione per la promozione della ricerca botanica, Accademia Italiana di Scienze Forestali.

## **SITOGRAFIA**

- ◆ Copernicus. [www.copernicus.eu](http://www.copernicus.eu)
- ◆ EFFIS. [www.effis.jrc.ec.europa.eu](http://www.effis.jrc.ec.europa.eu)
- ◆ Geoportale Regione Lombardia. [www.geoportale.regione.lombardia.it](http://www.geoportale.regione.lombardia.it)
- ◆ Geoportale Regione Piemonte. [www.geoportale.igr.piemonte.it](http://www.geoportale.igr.piemonte.it)