

# Dissesto idrogeologico e copertura forestale: il ruolo dei cedui di castagno abbandonati



**Quaderni della Ricerca**  
**n. 152 - giugno 2013**



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E AMBIENTALI - PRODUZIONE,  
TERRITORIO, AGROENERGIA



COMUNITÀ MONTANA  
VALLI DEL VERBANO



Regione Lombardia  
Agricoltura

Studio condotto nel Progetto di Ricerca  
"Abbandono dei cedui e dissesto idrogeologico su substrati a debole coesione"  
(acronimo Pro.Ce.D.I.)  
finanziato dalla D.G. Agricoltura nell'ambito  
del "Programma Regionale di Ricerca in campo agricolo - Piano della ricerca 2004"

**A cura di:**

Gian Battista Bischetti<sup>1</sup>, Enrico Antonio Chiaradia<sup>1</sup> e Chiara Bassanelli<sup>1</sup>  
Alessandro Nicoloso<sup>3</sup>, Mario Pividori<sup>4</sup>

**Hanno partecipato alle attività sperimentali ed allo studio:**

Chiara Vergani<sup>1</sup>, Lorenzo Rossi<sup>1</sup>  
Enrico Pozzi<sup>3</sup>  
Danilo Bevilacqua<sup>2</sup>

**<sup>1</sup> Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali**

Via Celoria, 2 - 20133 Milano  
Tel. 02 50316900 - Fax 02 50316911, e-mail [bischetti@unimi.it](mailto:bischetti@unimi.it)

**<sup>2</sup> Comunità Montana Valli del Verbano**

via Collodi 4, 21016 Luino  
Tel. 0332 991001, Fax 0332 624209, e-mail [danilo.bevilacqua@vallidelverbano.va.it](mailto:danilo.bevilacqua@vallidelverbano.va.it)

**<sup>3</sup> Studio Tecnico Nicoloso**

via Cadorna 27 - 20025 Legnano (MI)  
Tel. 0331 455657 - Fax 0331 457273, e-mail [a.nicoloso@studionicoloso.com](mailto:a.nicoloso@studionicoloso.com)

**<sup>4</sup> Università degli Studi di Padova - Dipartimento TeSAF**

Campus di Agripolis, viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)  
Tel. 049 8272712, e-mail [mario.pividori@unipd.it](mailto:mario.pividori@unipd.it)

**Per Informazioni:**

**Regione Lombardia - Direzione Generale Agricoltura**  
**U.O. Sviluppo di Innovazione, Cooperazione e Valore delle Produzioni**  
**Struttura Sviluppo e Promozione delle Produzioni, Ricerca,**  
**Innovazione tecnologica e servizi alle imprese**

Piazza Città di Lombardia n.1, 20124 Milano  
Tel: 02 67653790 - Fax 02 67658056  
e-mail: [agri\\_ricerca@regione.lombardia.it](mailto:agri_ricerca@regione.lombardia.it)  
Referente: Arturo Pinotti - Tel. 02 67658005  
e-mail: [arturo\\_pinotti@regione.lombardia.it](mailto:arturo_pinotti@regione.lombardia.it)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE  
E AMBIENTALI - PRODUZIONE,  
TERRITORIO, AGROENERGIA



COMUNITÀ MONTANA  
VALLI DEL VERBANO



Regione Lombardia  
Agricoltura

# Pro.Ce.D.I.

## DISSESTO IDROGEOLOGICO E COPERTURA FORESTALE: IL RUOLO DEI CEDUI DI CASTAGNO ABBANDONATI



*I territori montani sono da sempre difesi dal dissesto idrogeologico con il contributo essenziale delle foreste.*

*Nel corso degli ultimi decenni tale ruolo è stato messo in secondo piano dalla maggior facilità con cui è stato possibile controllare e mitigare tali fenomeni attraverso opere ingegneristiche.*

*La crescente porzione di territorio sottoposta a rischio idrogeologico e la sempre minor disponibilità di risorse pubbliche, tuttavia, costringe oggi a rivalutare la capacità dei boschi di ridurre le situazioni di pericolo.*

*Tutto ciò, unitamente all'accresciuta sensibilità ambientale e agli obiettivi di riduzione dei tassi di CO<sub>2</sub>, fa sì che i boschi, e in particolare i boschi montani, possano rappresentare una risorsa su cui investire anche in termini di prevenzione*

*e mitigazione del rischio idrogeologico, al pari degli interventi strutturali.*

*Dal punto di vista legislativo, le norme forestali della Regione Lombardia, attraverso i Piani di Indirizzo Forestale con valenza di Piano di Settore nell'ambito delle programmazioni territoriali provinciali, ribadiscono il valore del Vincolo idrogeologico e delle Sistemazioni Idraulico Forestali.*

*Il progetto Pro.Ce.D.I., i cui risultati sono l'oggetto di questo Quaderno, concentrando l'attenzione su una specie arborea particolarmente diffusa sul territorio regionale - il castagno - aggiunge un ulteriore tassello alla conoscenza scientifica dei fenomeni di rinforzo del suolo operato dalla vegetazione forestale, agevolando la concreta applicazione dei principi fissati dalla normativa.*

**Direzione Generale Agricoltura**

Il castagno (*Castanea sativa Mill.*) è la specie di interesse forestale maggiormente coltivata dall'uomo e, anche per questo, diffusa nel territorio lombardo. Con l'abbandono delle attività agricole a partire dagli anni '70, a causa dello spostamento degli interessi economici, molte di queste formazioni sono state abbandonate alla libera evoluzione con un conseguente degrado e invecchiamento. Le conseguenze di questo abbandono si traducono in una maggiore sensibilità dei boschi ai disturbi naturali, in una maggiore instabilità strutturale e quindi un aumento del rischio idrogeologico.

Il lavoro si articola in due parti: la prima selvicolturale, mira a descrivere e caratterizzare il fenomeno del ribaltamento delle ceppaie di castagno per definire i fattori di maggior rischio; la seconda, volta a valutare la stabilità dei versanti boscati, attraverso un modello a diverse condizioni di gestione del bosco.

L'area di studio è stata individuata in Valcuvia nel comune di Brenta dove negli ultimi anni si sono verificati episodi di franamento lungo versanti boscati costituiti soprattutto da cedui di castagno invecchiati.

I risultati dimostrano che, per quanto riguarda

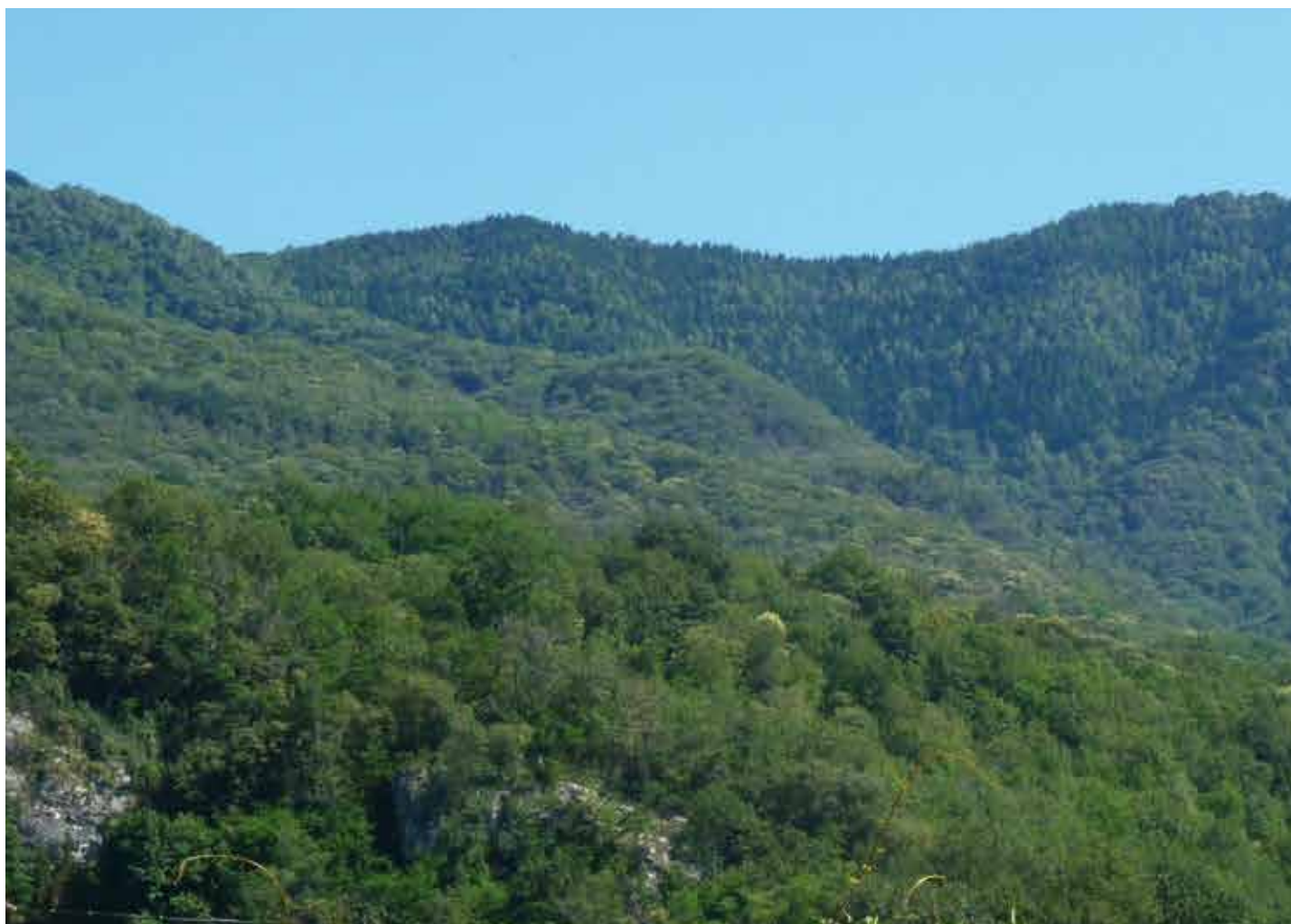
la parte selvicolturale, l'invecchiamento del ceduo porta all'aumento del volume delle ceppaie, alla diminuzione del potere ancorante dell'apparato radicale e ad un aumento della competizione tra le ceppaie. Questa competizione eccessiva portando ad un progressivo indebolimento delle ceppaie ne favorisce il crollo che a sua volta spesso innesca dinamiche "a domino".

Dal punto di vista della stabilità, si è proceduto alla determinazione del contributo della vegetazione in termini di coesione aggiuntiva del suolo,  $c_v$ , per diverse stazioni di misura caratterizzate dalla presenza del castagno. I risultati mostrano che nonostante la grande differenza di distribuzione delle radici, sia in termini di profondità che di diametro, tra la situazione di ceduo invecchiato e di ceduo gestito, le ripercussioni in termini di coesione aggiuntiva e di conseguente stabilità dei versanti non risultano apprezzabili.

Pur con tutte le cautele che richiedono fenomeni così complessi e relativamente poco studiati, la ricerca da cui scaturisce questo Quaderno fornisce indicazioni gestionali utili alla gestione di tali cedui invecchiati, minimizzandone gli impatti negativi.

RIASSUNTO	4
<b>1 INTRODUZIONE</b>	<b>7</b>
<b>2 L'AREA DI STUDIO</b>	<b>9</b>
2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	9
2.2 INQUADRAMENTO CLIMATOLOGICO	10
2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	11
2.4 INQUADRAMENTO FORESTALE	11
<b>3 RIBALTAMENTO DELLE CEPPAIE</b>	<b>13</b>
3.1 AREA CAMPIONE	13
3.1.1 Parametri selvicolturali	14
3.1.2 Parametri specifici relativi alle ceppaie ribaltate	14
3.2 DATI RILEVATI	16
3.2.1 Sintesi selvicolturale e dendrometrica delle aree di indagine	16
3.2.2 Sintesi dei dati rilevati per ciascuna area campione e analisi di dettaglio dei principali gruppi di ribaltamento	19
3.3 ANALISI COMPLESSIVA DEI FENOMENI DI RIBALTAMENTO	38
3.3.1 Confronto tra piante ribaltate e piante in piedi del popolamento circostante	39
3.4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI	41
3.5 CONCLUSIONI	42
3.5.1 Sintesi dei fenomeni	42
3.5.2 Indicazioni gestionali	43
3.5.3 Note conclusive	43
<b>4 STABILITÀ DEI VERSANTI</b>	<b>44</b>
4.1 INTRODUZIONE	45
4.2 LA VERIFICA ALLA STABILITÀ DEI VERSANTI FORESTALI	46
4.2.1 Il pendio indefinito	46
4.2.2 Il contributo degli apparati radicali	47
4.3 METODOLOGIA SPERIMENTALE	48
4.3.1 Il modello adottato	48
4.3.2 Aree di campionamento	48
4.3.3 Caratterizzazione geotecnica dei suoli	49
4.3.4 Distribuzione degli apparati radicali	51
4.3.5 Resistenza a trazione	52
4.4 RISULTATI	52
4.4.1 Tipologia di suolo	52
4.4.2 Resistenza a trazione	53
4.4.3 Distribuzione degli apparati radicali	54
4.4.4 Coesione radicale	55
4.5 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI STABILITÀ	57
4.5.1 Condizione attuale	57
4.5.2 Possibili effetti della gestione a ceduo	59
4.6 CONSIDERAZIONI FINALI	60
<b>5 CONCLUSIONI</b>	<b>86</b>
BIBLIOGRAFIA	85







Fin dai tempi antichi è noto come le foreste siano in grado di esercitare un ruolo fondamentale nel prevenire i pericoli naturali in ambito montano e nel mitigarne gli effetti. Nelle Alpi, ad esempio, i tagli a raso sono stati proibiti fin dal Medio Evo (Motta and Haudemand, 2000; Regione Autonoma Valle d'Aosta - Regione Piemonte, 2006), come testimoniano documenti della Repubblica di Venezia del XII secolo (Bischetti et al., 2009) e della Valle d'Aosta del XIII secolo (Regione Autonoma Valle d'Aosta - Regione Piemonte, 2006). È verosimile che tracce analoghe si possano trovare in tutte le regioni alpine.

Tale consapevolezza ha attraversato anche i periodi più recenti quando il ruolo protettivo dei boschi è stato ampiamente sfruttato e normato (si pensi all'istituto del vincolo idrogeologico del R.D.L. 3267/23) per garantire la sicurezza dei territori montani pesantemente modificati dalla pressione demografica del XIX secolo, fino ad affiancare gli interventi strutturali di Sistemazioni Idraulico-Forestali e più in generale di sistemazione montana (Bischetti e D'Agostino, 2010). A partire dalla seconda metà del XX secolo le profonde trasformazioni socio-economiche che hanno colpito la montagna, e in particolare la montagna ita-

liana, hanno drasticamente cambiato il quadro che si era consolidato nei secoli precedenti, ponendo nuovi problemi che spesso si sono aggiunti a quelli precedenti. Se da una parte, infatti, lo spopolamento e/o la concentrazione delle attività nei fondovalle e la drastica riduzione delle attività agro-silvo-pastorali hanno ridotto la pressione sulle foreste, portando addirittura ad un'estensione della loro superficie, soprattutto a carico delle aree pascolive, dall'altra, questa trasformazione, non essendo governata, presenta spesso elementi di criticità in termini di stabilità delle piante e dei versanti e quindi di produzione di sedimenti che si riversano nella rete idrografica minore, con importanti conseguenze in termini di eventi potenzialmente catastrofici come per esempio le colate detritiche.

In linea di principio tutti i boschi, ed in particolare quelli montani, svolgono una funzione protettiva nei confronti dei pericoli naturali essenzialmente legata all'azione di regimazione delle acque meteoriche ed al consolidamento meccanico del terreno.

Quando la protezione esercitata dal bosco riguarda specifici beni ed interessi rispetto a pericoli naturali puntuali (valanghe, caduta massi, scivolamenti superficiali e colate detritiche), si può addirittura parlare di

*Bacino idrografico del Rio Val Maggiore, visto da valle.*



protezione diretta e assimilare il bosco ad un'opera di tipo strutturale (si veda Bischetti e D'Agostino, 2010). Affinché tale protezione sia svolta efficacemente tuttavia, i popolamenti forestali che la esercitano devono avere, oltre a caratteristiche di vitalità e vigoria, anche specifici caratteri di composizione, densità, struttura, tessitura, ecc., in relazione al pericolo naturale considerato (Dotta e Motta, 2000; Motta e Haudemand, 2000; Dorren et al., 2004).

Risulta quindi evidente che i boschi in crescente abbandono e degrado possono non presentare più tali caratteri e diminuire così, impercettibilmente ma costantemente, il loro livello di efficienza protettiva. Tale considerazione è ancora più importante nel caso dei cedui che, quando vengono lasciati alla libera evoluzione, tendono ad un rapido invecchiamento biologico e relativo degrado. Tale processo può passare attraverso situazioni di potenziale criticità, sia in termini prettamente selvicolturali (maggiore instabilità strutturale), sia in termini di maggiore sensibilità agli incendi boschivi, di minore stabilità dei versanti e di aumento del rischio idrogeologico.

Questo tipo di situazione è particolarmente diffusa nelle Prealpi e nelle zone collinari dell'Italia nord occidentale dove fino alla prima metà del XX secolo la tradizionale gestione dei boschi era appunto il ceduo, spesso costituito dal castagno, dalla cui coltivazione venivano ricavati tutti prodotti essenziali per la sussistenza delle popolazioni rurali. A queste formazioni forestali, inoltre, erano destinate le stazioni non adatte alle attività agricole, ed in particolare le aree di versante con pendenze elevate. In Lombardia i castagneti sono molto diffusi e si collocano principalmente lungo i versanti a quote comprese tra 300 e 800 m s.l.m. all'interno delle quali formano quasi sempre una fascia sostanzialmente continua di grande rilevanza areale tale per cui il loro eventuale generalizzato degrado può assumere una rilevanza, per esempio sul piano della formazione dei deflussi, notevole e ad oggi poco investigata.

Il progressivo abbandono della gestione del ceduo di castagno, che in queste zone è coinciso con la diffusione del metano a partire dagli anni '70 e che è iniziato a partire dalle stazioni meno infrastrutturate non di rado poste su versanti con pendenze elevate, ha portato questi boschi fortemente antropizzati ad un'evoluzione oltre il normale turno di ceduzione (spesso più di tre volte il turno edittale usuale) che ha innescato forti dinamiche competitive intra - e inter - specifiche finora sconosciute.

Questo processo ha interessato anche, ed in particolare, il territorio della Valcuvia, dove nel corso degli ultimi anni sono ripetutamente occorsi episodi di franamento lungo versanti boscati costituiti soprattutto da cedui invecchiati di castagno, con particolare riferimento alle situazioni in cui questi risultavano radicati su substrati costituiti da formazioni incoerenti o debolmente coerenti di natura fluvio-glaciale e/o morenica.

Le fenomenologie che si osservano in seguito al processo d'abbandono fin qui descritto sono prevalentemente di due tipi. Da una parte il ribaltamento delle ceppaie che genera punti di produzione di sedimento e di materiale legnoso in grado d'interferire con la dinamica del reticolo idrografico, soprattutto di quello minore; dall'altra la possibile minor stabilità dei versanti per l'effetto che il progressivo degrado può determinare sugli apparati radicali e, conseguentemente, sulla loro capacità stabilizzante. Chiaramente si tratta di due fenomeni che hanno una serie di interrelazioni, ma che sono profondamente differenti in termini di dinamica e conseguenze sul processo dissestivo.

A causa della relativa novità del problema e di una sostanziale carenza di studi che affrontano tali problematiche, non è chiaro come si dovrebbe procedere dal punto di vista degli interventi di manutenzione, che dovrebbero ad un tempo tener conto sia degli aspetti tecnici di stabilità del versante sia degli aspetti economici, considerato che senza la convenienza economica l'abbandono procede.

Pur senza pretendere di esaurire un argomento così complesso e poco studiato, questa ricerca è nata proprio per contribuire a dare una risposta concreta a queste e ad altre domande connesse, innanzitutto investigando i fenomeni precedentemente illustrati, in gran parte ancora poco noti, ma soprattutto nell'ottica di fornire indicazioni gestionali utili ad accompagnare il processo di transizione dei boschi cedui abbandonati, minimizzandone gli impatti negativi.

Per raggiungere tali scopi si è proceduto su due piani paralleli. Da una parte è stato studiato il fenomeno del ribaltamento delle ceppaie di ceduo invecchiato su versanti particolarmente acclivi, affrontando il problema prevalentemente dal punto di vista statistico per arrivare a definire i fattori di maggior rischio; dall'altra si è proceduto a valutare, attraverso uno specifico modello, la stabilità dei versanti boscati in tre differenti condizioni stazionali, due di ceduo invecchiato su versanti acclivi (su versante concavo e piano) e una di ceduo in turno su versante poco acclive.



## 2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di studio è situata nella bassa Valcuvia a monte degli abitati di Brenta e Cittiglio (VA), in una porzione della val Maggiore.

La Valcuvia è una valle con andamento prevalentemente est - ovest, che forma un'ampia "U" concava a occidente partendo dal Lago Maggiore, e lungo il Torrente Boesio raggiunge uno spartiacque naturale in corrispondenza del comune di Cuveglio, per poi continuare e raggiungere la Valtravaglia.

Alla sinistra idrografica del Torrente Boesio è presente il massiccio del Campo dei Fiori il cui corrispettivo sul versante opposto sono le cime del Sasso del Ferro, dei Pizzoni di Laveno, del Monte Nudo, del Monte Colonna e del San Martino.

Sono tutti massicci prevalentemente carbonatici, caratterizzati fino alla quota di 650 – 700 m s.l.m. dalla presenza di coperture moreniche o fluvioglaciali riconoscibili da una minore acclività e dalla presenza di incisioni erosive piuttosto marcate.

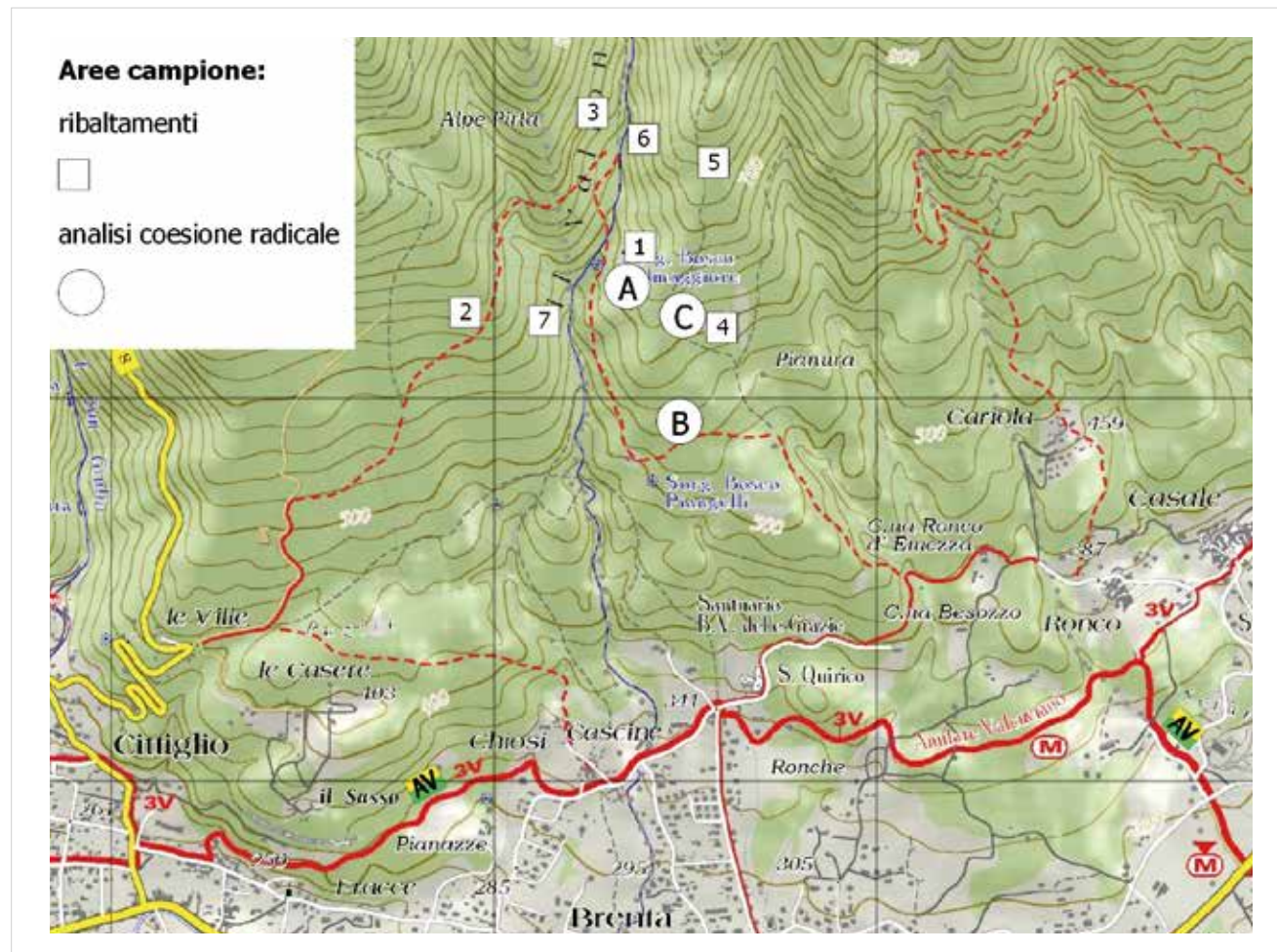
Al di sopra di tale quota emerge il substrato carbonatico caratterizzato da pendenze elevate e suoli spesso superficiali.

Il fondovalle è caratterizzato dalla forte presenza d'insediamenti antropici, mentre sui versanti troviamo un'estesa copertura continua prevalentemente a castagno (*Castanea sativa* Mill.), fra la fascia basale, per lo più occupata dall'agricoltura e da robinieti, e la copertura della faggeta.

In riferimento alla classificazione in tipologie forestali proposta da Del Favero (2002), all'interno dell'area di studio è presente la categoria forestale del Castagno delle cerchie moreniche occidentali (Nicoloso, 2012). Le dinamiche evolutive in atto hanno portato all'ingresso della robinia (*Robinia pseudoacacia*), specie ubiquitaria pronta a colonizzare superfici abbandonate dalle attività agricole, e di specie come l'acero (*Acer pseudoplatanus*) e il frassino (*Fraxinus excelsior*), sia in aree aperte sia, soprattutto, in aree a parziale copertura per effetto di locali diminuzioni di copertura dovute a fitopatie, schianti e/o interventi selvicolturali.

I boschi presenti nel territorio presentano in genere età biologicamente compatibili ma selvicolturalmente vecchie (Nicoloso, 2012).

Soprattutto per il castagno, tradizionalmente governato a ceduo, si ritrovano boschi con età superiori a 30 anni e non di rado superiori a 40, corrispondenti a 3 volte il turno consuetudinario ed editale.



**Figura 1.** Inquadramento territoriale delle aree di campionamento dei ribaltamenti e per l'analisi di coesione radicale.

L'invecchiamento dei cedui porta all'aumento dei fenomeni di ribaltamento delle ceppaie (Pividori et al., 2009), problema di assoluta rilevanza soprattutto quando i castagneti occupano i terreni più fragili in corrispondenza di depositi morenici e fluvioglaciali.

## 2.2 INQUADRAMENTO CLIMATOLOGICO

Per l'indagine climatologica sono stati assunti i dati pluviometrici e termometrici delle stazioni di Cuvio, Varese, Gavirate e S. Maria del Monte; in realtà, per queste due ultime stazioni sono disponibili le seriazioni originali dei dati medi mensili delle sole precipitazioni, mentre i dati termometrici sono stati desunti dalle seriazioni originali di Varese con l'applicazione della costante di correzione pari a 0,56 °C per 100 m di dislivello.

Si può innanzi tutto notare una sostanziale similitudine nell'andamento dei diagrammi ombrotermici (**Figura 2**) che presentano i medesimi due picchi pluviometrici principali in Aprile e Novembre; le curve pluviometriche di Cuvio e di Gavirate mostrano tuttavia anche un picco estivo a Luglio probabilmente legato a fenomeni temporaleschi tipici della stagione estiva.

La curva termometrica di Varese, l'unica significativa in quanto generata da una seriazione originale di dati, mostra un minimo invernale - sostanzialmente coincidente con il minimo pluviometrico - ed un unico massimo nel mese di Luglio, scostato dal mese di mas-

sima insolazione per effetto del fenomeno di volano termico.

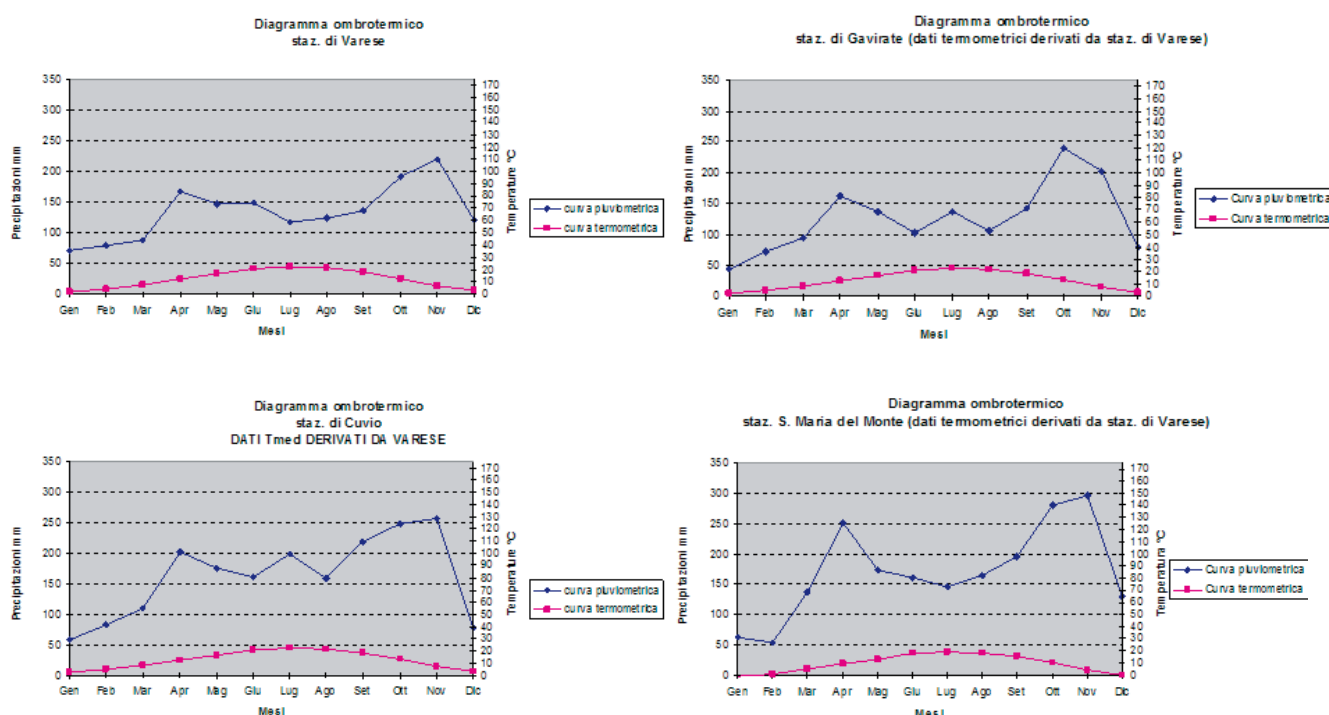
In ogni caso, benché per le stazioni di Gavirate e di Varese - poste a quote inferiori rispetto a quella di S. Maria al Monte - le curve della piovosità e quelle delle temperature siano nettamente più vicine, non vi sono periodi aridi secondo la definizione data da Gaussen. L'indice di aridità secondo la formula proposta da De Martonne mostra come per tutte le stazioni ci si trovi in condizioni perumide ad eccezione di Gavirate che mostra condizioni umide (valori di A pari a 71,55 per Varese, 71,8 per Cuvio, 78,93 per S. Maria del Monte e per Gavirate).

Volendo adottare la formula climatica del Köppen, i dati relativi alle tre diverse stazioni definiscono i seguenti rispettivi climi: Cuvio Cfa<sup>1</sup>, Varese Cfa, S. Maria del Monte Cfb<sup>2</sup>, Gavirate Cfa.

Ad un livello mesoclimatico si può pertanto sostenere che l'area non presenta limitazioni particolari di piovosità che siano di ostacolo alla vegetazione forestale. Infatti, come ben evidenziato anche nella **Figura 2**, la stessa distribuzione di pioggia, piuttosto regolare nell'arco dell'anno e con un minimo nel periodo di riposo vegetativo (gennaio), garantisce, unitamente ad una favorevole influenza dei vicini bacini lacustri sulla umidità atmosferica, una ottimale vegetazione durante l'intero periodo vegetativo.

<sup>1</sup> clima temperato umido senza periodo arido e con T media del mese più caldo > 22°

<sup>2</sup> clima temperato umido senza periodo arido e con T media del mese più caldo < 22° e con oltre 4 mesi con T > 10°



**Figura 2.** Diagramma ombrotermico stazione di Varese, Gavirate, Cuvio e S. Maria del Monte

Ai fini della classificazione fitoclimatica del Pavari, i dati di Gaviate e di Varese permettono di inquadrare l'area nel *Castanetum* caldo, 1° tipo (senza siccità estiva), mentre quelli di S. Maria al Monte e Cuvio definiscono l'orizzonte fitoclimatico del *Castanetum* freddo, 1° tipo (precipitazioni > 700 mm). Per l'eterogeneità morfo-orografica e l'ampiezza dell'area indagata, è comunque ragionevole ritenere che nel territorio della Comunità Montana siano rappresentati anche il fitoclima del *Lauretum* (aree in esposizione ai quadranti caldi immediatamente prossime al lago) e quello del *Fagetum* caldo (porzioni superiori e in esposizione ai quadranti settentrionali).

## 2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il bacino della Valcuvia fu la sede di un vasto lago glaciale<sup>3</sup>, il quale, ritirandosi a poco a poco, lasciò poi, tra la morena frontale al Gaggio d'Azzio e il punto più elevato del fondo della valle (vicino a Cuvio), un piccolo lago, i cui avanzi durarono fino al 1820, quando venne prosciugato con l'abbassamento del canale d'uscita<sup>4</sup>. Tra il 1820 ed il 1830 venne inoltre bonificata l'area paludosa che si estendeva tra Cuvio e Cavona. Attualmente il fondovalle è quindi ricoperto da depositi alluvionali e lacustri.

Localmente sono ancora presenti delle zone umide. Particolarmente significative sono certamente la Torbiera di Bardello, che interessa parte del comune di Sangiano e Bardello e che costituisce una riserva naturale, e la torbiera di Mombello.

I rilievi montuosi che delimitano la valle sono costituiti quasi unicamente da affioramenti carbonatici risalenti ad un periodo di tempo che va dal Triassico inferiore (250 milioni di anni fa) all'inizio del Cretaceo superiore (circa 100 milioni di anni fa). Nella loro parte medio inferiore essi sono variamente ricoperti da depositi di origine fluvioglaciale. Lo spessore di questo strato varia notevolmente da pochi metri a qualche decina di metri.

La diffusione di substrati sciolti genera problematiche legate all'instabilità dei pendii. La suscettibilità di questi terreni all'insacco di frane di scivolamento superficiale, come ormai dimostrato anche da specifici studi, risulta essere aggravata anche dal grado d'invecchiamento del bosco. In particolare la diminuzione dell'effetto di consolidamento radicale provoca l'aumento delle superfici instabilizzabili con modesti valori di afflusso meteorico.

## 2.4 INQUADRAMENTO FORESTALE

Il territorio abbraccia areali e ambiti ecologici piuttosto diversificati sia sotto il profilo microclimatico sia sotto il profilo geopedologico; ne deriva una variabilità forestale potenzialmente piuttosto elevata, di fatto relativamente contenuta per effetto delle passate attività antropiche che hanno contribuito a indirizzare il bosco verso composizioni estremamente monotone.

Per un'analisi più dettagliata dei popolamenti forestali, il territorio della Comunità Montana, è stato suddiviso in un comparto montano e uno collinare. Il comparto montano interessa i versanti dei massicci montuosi, mentre quello collinare il fondo valle. Nel primo i boschi sono 3576,5 ha, mentre nel secondo 784 ha.

Nel comparto collinare il 64,1% dei boschi sono inquadrabili nella categoria dei Robinieti. Essi trovano competizione unicamente con gli Alneti (18,5%), la cui diffusione è favorita dalla superficialità della falda. Discreta è anche la presenza di Acero-Frassineti (9,7%).

Nell'area montana la situazione è leggermente più diversificata. Si ha una netta prevalenza dei Castagneti, che occupano il 54,3% della superficie. Fortemente rappresentati sono anche i Robinieti (21,5%), concentrati prevalentemente nella parte basale dei rilievi e negli impluvi; gli Acero frassineti (9,9%), localizzati principalmente in condizioni d'impluvio o in esposizioni fresche a quote non elevate; nel medesimo ambito ma a quote più elevate troviamo le Fagete (3,58%); frammentaria è la presenza di querceti e quercu-carpineti (5,5%) localizzati principalmente nell'area del monte s. Martino, Sasso del Ferro e di Masciago Primo, in corrispondenza di suoli superficiali con frequenti affioramenti carbonatici. Discorso a parte per le Cerrete situate sul monte Sangiano, che si evolvono su suoli ricchi e discretamente profondi. Diffusi sono anche i corileti (4,3%) che occupano prevalentemente aree a suolo superficiale, spesso in esposizione meridionale.

<sup>3</sup> Cfr. "Rendiconti del R. Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti, serie III, vol. III - Leopoldo Maggi: "Intorno al terreno erratico della Valcuvia - Di un'abitazione lacustre in Valcuvia"

<sup>4</sup> Opera voluta principalmente dal sacerdote Bernardino Mascioni.







## 3.1 AREA CAMPIONE

Per poter studiare da un punto di vista selvicolturale il fenomeno di cedimento meccanico delle ceppaie, è stata individuata un'area campione che, per le proprie caratteristiche morfologiche, forestali e pedologiche potesse rappresentare l'intero territorio. Tale area è stata identificata nel bacino denominato Val Maggiore che si sviluppa lungo il versante sud del monte Nudo, sopra gli abitati di Brenta e Cittiglio. Tale area risulta essere prevalentemente esposta a sud, ma al suo interno si verifica un continuo alternarsi di esposizioni Est ed Ovest dettato da un regolare ripetersi di, più o meno piccoli, impluvi.

L'intero bacino si estende in un campo di variazione di quote che vanno da un minimo di circa 300 m s.l.m. corrispondenti all'abitato di Brenta fino ad un massimo di 1235 m s.l.m. pronunciati dalla cima del Monte Nudo. L'area interessata dalla ricerca è però limitata a una porzione ristretta della Val Maggiore, in quanto non è stata presa in considerazione la parte superiore del bacino il cui soprassuolo forestale, costituito da rimboschimenti di conifere e faggete, è posto su un

substrato carbonatico. Parallelamente viene escluso il settore inferiore sia per omettere i manufatti urbani perimetrali al comune di Brenta sia per mantenere coerente la copertura forestale che in questa fascia risulta essere più eterogenea.

L'area d'analisi in definitiva ha quindi un'estensione di circa 295 ettari estesa tra 400 e 900 m s.l.m., dove l'eterogeneità della morfologia porta ad avere contemporaneamente situazioni di impluvio, crinali e versanti uniformi con pendenze che variano da pochi gradi fino a circa 45°.

La copertura forestale di quest'area è pressoché totale, la composizione specifica del soprassuolo vede una netta prevalenza di castagno (*Castanea sativa* Miller.) accompagnato secondariamente da robinia (*Robinia pseudoacacia* L.). Specie accessorie risultano essere il faggio (*Fagus sylvatica* L.), la rovere (*Quercus petraea* Liebl.) e il ciliegio (*Prunus avium* L.), rappresentati spesso da grossi esemplari isolati. Negli impluvi, così come in altre situazioni fresche, sono presenti diversi individui di frassino maggiore (*Fraxinus excelsior* L.) e acero di monte (*Acer pseudoplatanus* L.) anch'essi di notevoli dimensioni. La forma di governo del soprassuolo a castagno è il ceduo, nella maggior parte dei

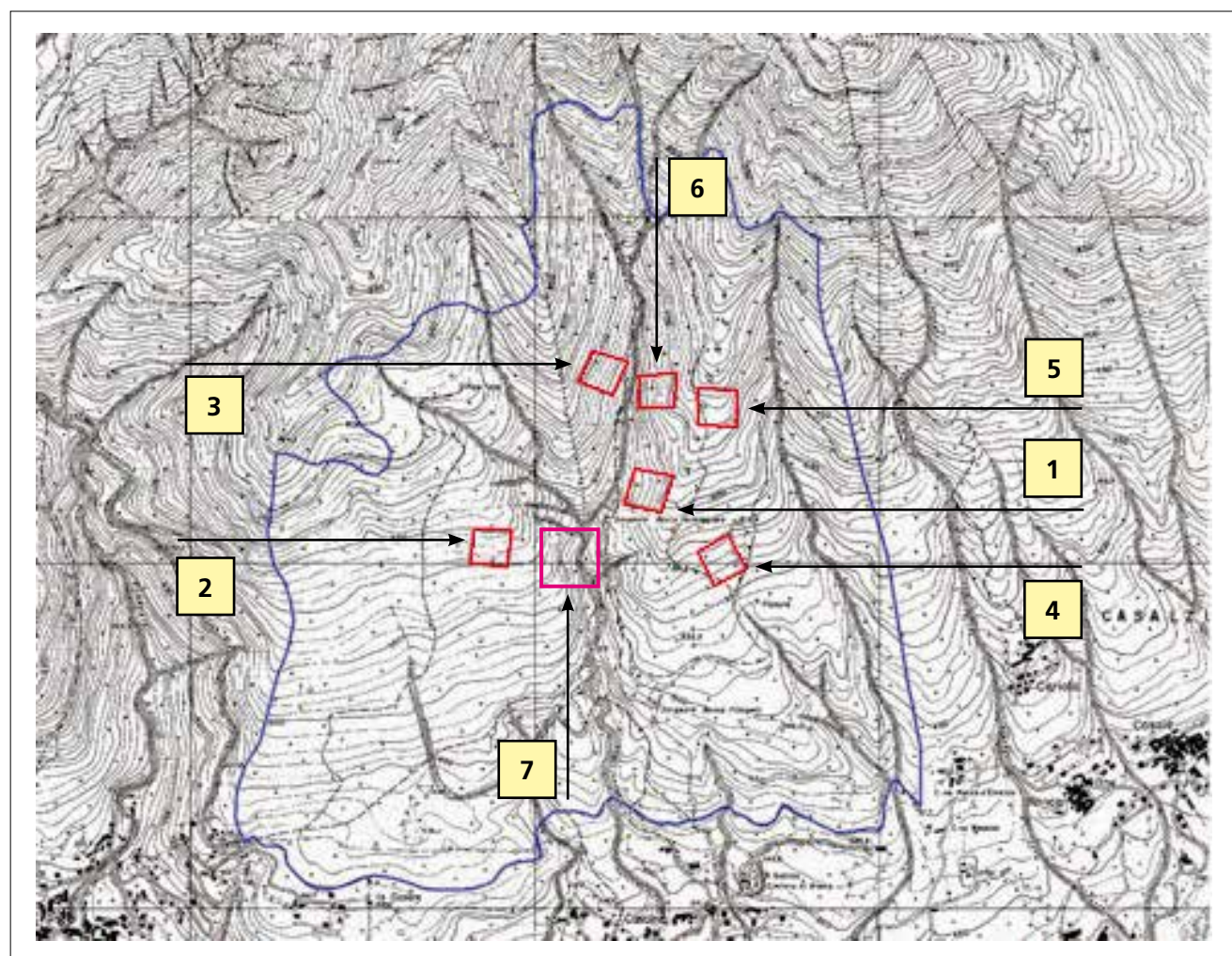


Figura 3. Localizzazione delle parcelle di rilievo.

casi abbandonato o comunque in fase di invecchiamento; le altre specie presenti sono perlopiù di origine gamica. All'interno dell'area così individuata si è deciso di applicare un metodo di campionamento per sotto aree che rappresentassero le differenti situazioni morfologiche. Si sono quindi individuate sette aree di circa un ettaro planimetrico di estensione (100 m x 100 m) distribuite in tre classi di pendenza (**Figura 7**).

La prima di queste classi rappresenta aree a bassa pendenza, con inclinazioni fino a 20°; la seconda classe rappresenta aree a media pendenza, con inclinazioni tra 21° e l'angolo di natural declivio che, per questo tipo di substrati litologici, è stato assunto pari a 32° (Benini, 1990); la terza classe rappresenta le pendenze elevate, con valori maggiori di 32°.

Il criterio di scelta delle sette aree ha preso in considerazione anche fattori selvicolturali e si è infatti cercato di individuare le aree in popolamenti aventi approssimativamente le stesse caratteristiche di struttura, governo, età, composizione, in modo che fosse possibile effettuare confronti tra le differenti situazioni riscontrate. Per ovvi motivi di coerenza con la finalità della ricerca e con le osservazioni preliminari che ne hanno motivato l'inizio, tutte le aree presentano substrato a debole coesione di natura fluvioglaciale o morenica e sono state localizzate in corrispondenza di siti ove il fenomeno di ribaltamento appariva più marcato.

### 3.1.1 Parametri selvicolturali

Di ogni sottoarea è stata effettuata un'analisi dei principali parametri selvicolturali descrittivi del popolamento in piedi (origine, governo, trattamento, composizione, struttura) e dendrometrica attraverso il

cavallettamento totale con soglia di 7,5 cm a 1,30 m di altezza, e con rilievo dei principali parametri quali l'altezza, il numero di ceppaie ed il numero di polloni per ceppaie (**Tabella 1**). Sono stati inoltre contati il numero d'individui morti in piedi e quelli a terra non attribuibili a situazioni di ribaltamento studiate. Sono stati prelevati campioni incrementali da individui di differente diametro per permettere di determinare l'età del popolamento.

### 3.1.2 Parametri specifici relativi alle ceppaie ribaltate

All'interno delle sette sotto aree sono stati rilevati tutti gli individui ribaltati presenti il cui fenomeno di rovesciamento potesse essere ricondotto all'evento studiato. Sono state quindi escluse da questo rilievo le ceppaie precedentemente morte in piedi per cause estranee alla ricerca, come ad esempio per selezione naturale o per il passaggio del fuoco, evento piuttosto frequente nell'area studiata.

Il fattore discriminante nella scelta è stato la presenza di una zolla di terra ancorata all'apparato radicale e la presenza in quest'ultimo di radici di secondo e terzo ordine. Ogni ceppaia così individuata è stata classificata attraverso una serie di operazioni di seguito elencate (**Tabella 3**):

- Rilievo topografico tramite coordinate relative al gruppo di ribaltamento
- Identificazione univoca mediante applicazione di targhette numerate
- Classificazione biologica individuo (specie, origine e condizioni sanitarie - vivo o morto -)

**Tabella 1.** Scheda descrittiva dei parametri selvicolturali e dendrometrici dell'area di campionamento.

SCHEDA DESCRITTIVA DEL POPOLAMENTO	
Descrizione	Sinteticamente si riportano indicazioni utili per la determinazione del soprassuolo forestale
Categoria	E' indicata l'unità fisionomica che caratterizza il soprassuolo forestale sulla base della dominanza di una o più specie costruttrici
Governo e trattamento	Sono indicate le modalità e le tecniche di rinnovazione del bosco
Struttura verticale	Indica la distribuzione del popolamento nello spazio verticale
Specie prevalente	Indica la specie arborea che maggiormente caratterizza il popolamento
Specie secondaria	Indica le specie accessorie presenti nell'intorno del popolamento
Età	E' indicata in seguito alla lettura del campione ligneo prelevato
Numero di piante per ettaro	Espressa in seguito al cavallettamento totale dell'area
Numero di ceppaie per ettaro	Espressa in seguito al cavallettamento totale dell'area
Numero di polloni per ceppaia	Espressa in seguito al cavallettamento totale dell'area
Diametro medio	Indica il diametro medio del popolamento in esame ricavato dalla media di tutti i diametri
Altezza media	Indica l'altezza media del popolamento ricavata dalla curva ipsometrica e intesa come altezza della pianta avente diametro medio
Numero di piante morte in piedi	Individui morti in piedi non asseribili a situazioni di ribaltamento studiate, espressa in termini riferiti all'ettaro di superficie
Numero di piante morte a terra	Individui morti a terra non asseribili a situazioni di ribaltamento studiate, espressa in termini riferiti all'ettaro di superficie

Tabella 2. Scheda descrittiva degli aspetti morfologici dell'area di campionamento.

SCHEDA DESCRITTIVA ASPETTI MORFOLOGICI DELL'AREA DI CAMPIONAMENTO	
Posizione	Indica se la ceppaia si trovava prima del ribaltamento su: Basso versante = <b>B</b> , Medio versante = <b>M</b> , Alto versante = <b>A</b> , Impluvio = <b>I</b> , Crinale = <b>C</b>
Pendenza	Viene indicata la pendenza media dell'intero versante
Erosione	Indica se sono presenti all'interno dell'area, dei segni di erosione superficiale e/o profonda, secondo il seguente schema: <b>0</b> = Assente (non si evidenziano segni di erosione) <b>1</b> = Debole (si riconoscono piccoli smottamenti e deboli segni di erosione) <b>2</b> = Media (franamenti localizzati, formazione di piccoli gradini) <b>3</b> = Elevata (fenomeni generalizzati e profondi di movimento materiale, vengono alla luce gli apparati radicali delle ceppaie, si riconoscono in maniera netta le corone di frana dei fenomeni)
Substrato	Si descrive il materiale che costituisce il suolo, la presenza di affioramenti rocciosi e il grado di pietrosità superficiale.
Esposizione	Indica l'esposizione principale del versante. <b>N</b> = nord, <b>NE</b> = nord-est, <b>E</b> = est, <b>SE</b> = sud-est, <b>S</b> = sud, <b>SO</b> = sud-ovest, <b>O</b> = ovest, <b>NO</b> = nord-ovest

- Rilievo dendrometrico (diametro polloni, diametro ceppaia, numero di polloni, altezza pollone principale, direzione di caduta)
- Rilievo morfologico (pendenza puntuale, localizzazione rispetto all'estensione del versante, dimensioni della buca in seguito al ribaltamento, presenza di erosione, tipologia substrato)
- Prelievo campioni lignei (sezione trasversale di rami epicormici dove presenti e campioni incrementali) per determinare l'età dell'individuo e l'anno in cui è avvenuto il ribaltamento

In molti casi, il fenomeno di ribaltamento di un individuo non è isolato ma si manifesta contemporaneamente, o in successione, ad altri eventi che interessano piante confinanti. Si è quindi proceduto ad attuare uno studio relativo all'intero gruppo di ribaltamento effettuando i seguenti rilievi:

- Ricostruzione topografica dei gruppi di ceppaie appartenenti allo stesso fenomeno
- Analisi cronologica del fenomeno tramite l'ausilio dei campioni prelevati (carote e sezioni trasversali dei rami epicormici cresciuti dopo il ribaltamento)
- Fenomeni di erosione superficiale legati al terreno scoperto ed alle aperture nelle chiome
- Determinazione delle caratteristiche stazionali presenti al ribaltamento
- Verifica dell'avanzamento del fenomeno, tramite secondo rilievo (effettuato all'interno delle stesse superfici, a distanza di un anno dal primo, ha per-

messo l'individuazione dei nuovi individui ribaltati, e quindi, la determinazione dell'eventuale velocità della dinamica in atto)

I dati misurati in campo hanno permesso la valutazione delle caratteristiche stazionali vegetazionali e dendrometriche nelle quali si sono verificati i processi di ribaltamento.

Per ogni casistica è stato inoltre calcolato il volume cormometrico della ceppaia, utilizzando tavole di cubatura a doppia entrata, prodotte per l'Inventario Forestale Nazionale (IFNI) dall'ex Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e l'Alpicoltura (ISAF) (ora CRA - MPF), valide per il castagno allevato a ceduo o ad alto fusto, e la cui espressione funzionale è rappresentata dalla formula riportata nel riquadro a piede pagina (1) dal cui volume si è successivamente ricavato il peso della ceppaia.

Il volume della buca generata in seguito allo scalzamento dell'apparato radicale è stato calcolato a partire dai dati diametrali e di profondità della stessa, misurati in campo secondo la seguente relazione:

$$\text{Vol. buca} = 1/6 * \text{Profondità buca} * \text{diam. buca perpend.} * \text{diam. buca paral.} * \pi \quad (2)$$

I dati ottenuti vengono confrontati ed analizzati unitamente a quelli calcolati per il soprassuolo forestale in piedi, e quelli per le differenti situazioni stazionali in cui si verificano ribaltamenti.

#### Calcolo del volume cormometrico della ceppaia

$$v = a + b_1 d^2 h + b_2 d + b_3 h + b_4 d^2 + b_5 h^2 + b_6 d^2 h^2 + b_7 d^3 + b_8 d^3 h^2 \quad (v[m^3], h[m], d[cm])$$

$$a = -0.279182 * 10^{-3};$$

$$b_1 = 0.307212 * 10^{-4};$$

$$b_2 = 0.272554 * 10^{-3};$$

$$b_3 = 0.521907 * 10^{-4};$$

$$b_4 = -0.655334 * 10^{-5};$$

$$b_5 = 0.288814 * 10^{-5};$$

$$b_6 = -0.110019 * 10^{-6};$$

$$b_7 = 0.797870 * 10^{-5};$$

$$b_8 = 0.781026 * 10^{-8}$$

(1)



Tabella 3. Scheda di rilievo ed analisi delle ceppaie ribaltate.

SCHEDA DI RILIEVO ED ANALISI DELLE CEPPAIE / PIANTE RIBALTATE	
NR.	Viene indicato il numero progressivo delle piante –ceppaie ribaltate di cui si prendono i dati
SPECIE	Castagno: CS - Robinia: RP - Ciliegio: PA - Roverella: QP ...ecc
ORIGINE	<b>S</b> = individuo nato da seme / <b>P</b> = individuo originato in seguito a ceduzione
DIREZIONE DI CADUTA	Indica la direzione di caduta della pianta rispetto al seguente schema: (direzione a monte della pianta)
<p>(direzione a valle della pianta)</p>	
NR. POLLONI	Vengono contati tutti i polloni della ceppaia. Non sono contate le piante nate da seme
D1 CEPP D2 CEPP	Si misurano le dimensioni della ceppaia tramite due diametri a terra, uno lungo la massima pendenza, l'altro (ortogonale al primo) lungo la curva di livello
ALTEZZA	Si riporta l'altezza del pollone più alto o della pianta nata da seme
CAMPIONE	Viene indicato se del pollone di maggiori dimensioni, è stata prelevata una rotella (R), una carota (C) o se non è stato possibile prelevare nessun campione per la stima dell'età (N). Lo stesso verrà fatto se la pianta è nata da seme.
DIAM. POLLONI	Si misura il diametro a 1,30 m di tutti i polloni appartenenti alla ceppaia (soglia di cavallettamento di 7,5 cm)
ASPETTI MORFOLOGICI PUNTUALI	
ESPOSIZIONE	Indica l'esposizione principale della ceppaia.
PENDENZA	Viene indicata non la pendenza media dell'intero versante ma solamente dell'intorno immediato della ceppaia.
POSIZIONE	Indica se la ceppaia si trovava prima del ribaltamento su: Basso versante = <b>B</b> , Medio versante = <b>M</b> , Alto versante = <b>A</b> , Impluvio = <b>I</b> , Crinale = <b>C</b>
CARATTERI DELLA BUCA DERIVANTE DAL RIBALTAMENTO	
DIAM. M_P	Indica il diametro lungo la massima pendenza della buca creata sul terreno in seguito al ribaltamento delle radici della ceppaia
DIAM. C_L	Indica il diametro lungo le curve di livello della buca creata sul terreno in seguito al ribaltamento delle radici della ceppaia.
PROFONDITÀ	Indica la profondità della buca misurata al centro di questa
EROSIONE	Indica se sono presenti nell'intorno della ceppaia ribaltata (frazione di suolo un tempo coperta dalla chioma della ceppaia) dei segni di erosione superficiale, secondo il seguente schema: <b>0</b> = Assente (non si evidenziano segni nell'intorno della ceppaia) <b>1</b> = Debole (si riconoscono piccoli smottamenti e deboli segni di erosione) <b>2</b> = Media (frammenti localizzati, formazione di piccoli gradini) <b>3</b> = Elevata (fenomeni generalizzati di movimento materiale, vengono alla luce gli apparati radicali delle ceppaie limitrofe)
SUBSTRATO	Indica la presenza, all'interno della buca, del materiale che costituisce il suolo su cui è cresciuta la ceppaia ribaltata.

## 3.2 DATI RILEVATI

### 3.2.1 Sintesi selvicolturale e dendrometrica delle aree di indagine

In generale le sette aree campione, delle quali si riportano i parametri rilevati (*Tabella 4 e Tabella 5, Figura 4 e Figura 5*) sono costituite da popolamenti monoplani a netta dominanza di castagno, risultate, nei confronti dei parametri dendrometrici principali, piuttosto omogenee; il coefficiente di variazione del

popolamento in piedi è sempre inferiore a 20, tranne che per il parametro "numero di polloni ad ettaro" che risulta di poco superiore (20,1).

Tre delle sette aree campione considerate vengono inserite nella classe di pendenza elevata (A1, A3, A6), una in quella di pendenza media (A5) e due in pendenza ridotta (A2, A4).

Per quanto concerne l'età media dei popolamenti, con l'eccezione dell'area A4 che ha raggiunto un'età intorno a 25 anni, definibile come a fine turno alla luce degli attuali orientamenti selvicolturali<sup>5</sup>, tutti gli altri popolamenti risultano invecchiati e con un'età

<sup>5</sup> Nel PIF vigente viene previsto un turno di 25 anni per i cedui di castagno.

**Tabella 4.** Scheda descrittiva dei parametri selvicolturali delle aree di studio. L'Area 7 non è stata considerata ai fini della ricerca.

CARATT. MORFOLOGICHE	AREA 1	AREA 2	AREA 3	AREA 4	AREA 5	AREA 6	AREA 7
Pendenza (°)	34	15	40	12	27	36	35
Diametro medio piante morte (cm)	12	12-14		12	12-15	12-14	15
Tracce di erosione	profonde e superficiali	no	profonde e superficiali	no	no	si evidenti impluvi	superficiali
Affioramenti calcarei	no	no	sì	no	pochi	abbondanti impluvi	localizzati
Rocciosità	bassa	medio-bassa	media	medio-bassa	elevata	medio-bassa	bassa
PARAMETRI SELVICOLTURALI	AREA 1	AREA 2	AREA 3	AREA 4	AREA 5	AREA 6	AREA 7
Ceppaie (#/ha)	250	319	428,0	263	344	320	265
castagno	240	300	422,0	259	332	312	246
Polloni (#/ha)	444	611	890,0	680	748	656	549
castagno	420	569	876,0	673	716	644	522
Polloni (#/ceppaia)	1,8	1,9	2,1	2,6	2,2	2,1	2,1
castagno	1,8	1,9	2,1	2,6	2,2	2,1	1,97
Piante da seme (#/ha)	198	299	117,0	171	188	124	45
castagno	95	114	71,0	118	144	116	15
Piante (#/ha)	642	910	1007,0	851	936	780	594
castagno	515	683	947,0	791	860	760	537
Piante morte in piedi (#/ha)	405	961	1153,0	427	784	604	398
Piante morte a terra (#/ha)	200	300		104	308	164	258
Altezza media (m)	16	19,5	14,5	17	17,5	17,5	
Diametro medio polloni (cm)	23,0	23,3	21,0	19,4	24,8	24,5	23,0
castagno	22,9	23,6	21,0	19,3	24,6	24,7	24,2
Diametro medio alto fusto (cm)	27,8	22,0	22,4	23,2	26,9	23,7	37,6
castagno	30,0	24,4	23,6	22,7	26,6	23,8	43,7
Area basimetrica ceduo (m <sup>2</sup> /ha)	20,4	28,5	33,6	22,8	38,5	30,9	30,9
castagno	18,8	26,9	33,0	22,3	36,4	8,2	26,5
Area basimetrica alto fusto (m <sup>2</sup> /ha)	13,5	13,5	5,5	8,5	11,8	5,5	5,0
castagno	7,7	5,9	3,6	5,5	8,7	1,4	2,2
Area basimetrica totale (m <sup>2</sup> /ha)	34,0	42,0	39,1	31,3	50,3	36,4	35,9
castagno	26,5	32,9	36,6	27,9	45,1	9,6	28,7
Età	51	49	50	25	57	54	
Numero ribaltamenti	15	0	16	0	1	41	

compresa tra 40 e circa 60 anni. Il numero di ceppaie ad ettaro varia da 250 (A1) a 428 (A3) (CV = 18,2) mantenendosi sempre su valori piuttosto ridotti rispetto a quelli considerati normali di 600-800 ceppaie di un ceduo di castagno ordinariamente gestito.

Il numero di polloni vivi ad ettaro varia da 444 (A1) ad 890 (A3) (CV = 20,1), parametro che sembrerebbe essere piuttosto variabile, ma che diventa estremamente omogeneo tenendo conto del numero di polloni medio per ceppaia (1,8 (A1)-2,6 (A4) con CV = 11,9). Il diametro medio dei polloni è risultato essere estremamente omogeneo variando da 19,4 cm (A4) a 24,8 cm (A5) (CV = 8,5). Il valore più basso è quello relativo anche all'area più giovane (25 anni contro oltre 40

di tutte le altre aree). E' interessante notare come da questo confronto risulti che l'incremento diametrico medio passi da 0,78 cm nei primi 25 anni a 0,2 cm nei 25 anni successivi, evidenziando un brusco rallentamento nella fase di invecchiamento del ceduo castanile<sup>6</sup>.

L'altezza media degli alberi di questi popolamenti si pone intorno a 17 m con un minimo nell'area A3 (14,5 m) ed il massimo nell'area A2 (19,5 m) (CV = 8,9). Da notare che l'area con gli alberi più alti sia inserita nella classe a bassa pendenza, mentre

<sup>6</sup> Tale evidenza conferma in qualche modo la bontà dell'indirizzo selvicolturale assunto nel PIF.

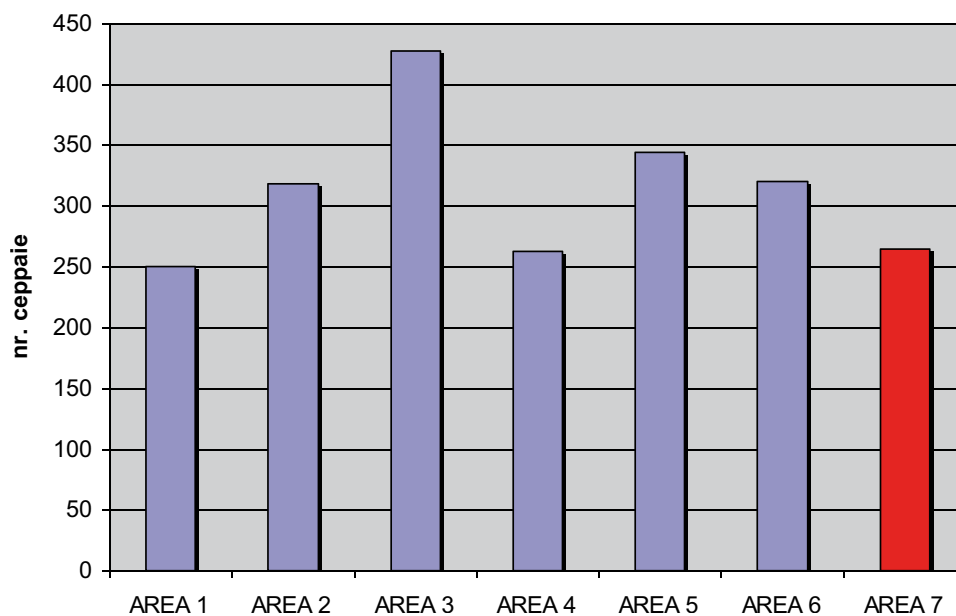


Figura 4. Numero di ceppaie per ettaro per ogni area di saggio.

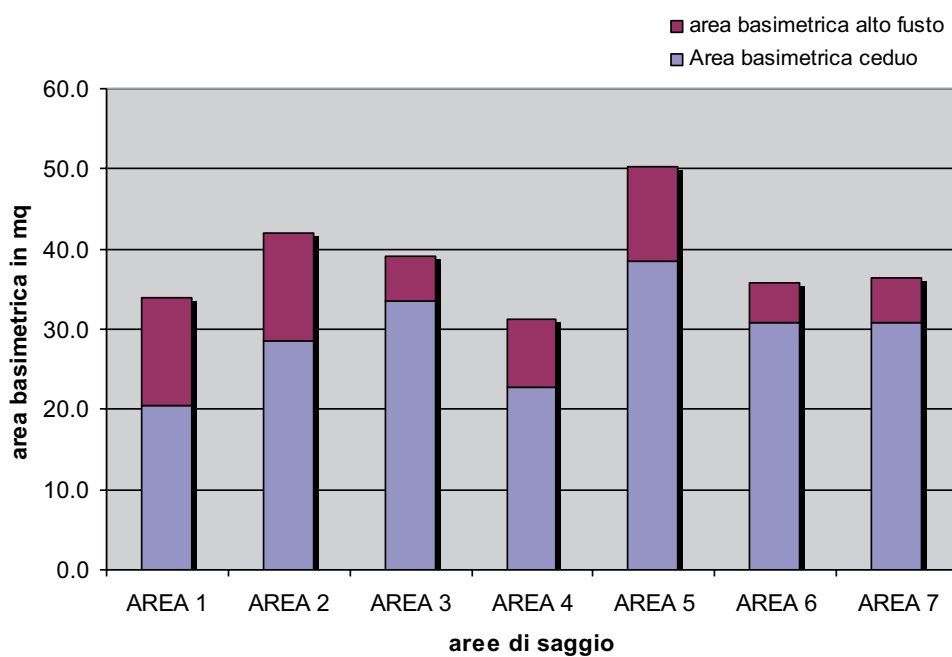


Figura 5. Area basimetrica totale delle aree di saggio.



Tabella 5. Tabella riassuntiva dei principali parametri indagati e statistiche per le diverse aree di studio.

PARAMETRO	media	min	max	CV
Pendenza (°)	27,3	12,0	40,0	38,6
Ceppaie (#/ha)	320,7	250,0	428,0	18,2
Polloni (#/ha)	671,5	444,0	890,0	20,1
Polloni (#/ceppaia)	2,1	1,8	2,6	11,9
Piante da seme (#/ha)	182,8	117,0	299,0	32,9
Piante (#/ha)	854,3	642,0	1007,0	13,8
Piante morte in piedi (#/ha)	722,3	405,0	1153,0	37,8
Piante morte a terra (#/ha)	215,2	104,0	308,0	36,6
Altezza media (m)	17	14,5	19,5	8,9
Diametro medio polloni (cm)	22,6	19,4	24,8	8,5
Diametro medio altofusto (cm)	24,3	22,0	27,8	9,1
Area basimetrica ceduo (m <sup>2</sup> /ha)	29,1	20,4	38,5	21,1
Area basimetrica altofusto (m <sup>2</sup> /ha)	9,7	5,5	13,5	35,3
Gtot	38,8	31,3	50,3	15,9
Età (anni)	47,7	25,0	57,0	22,0
Ribaltamenti (#)	12,2	0,0	41,0	119,8

quella con gli alberi più bassi è anche quella con pendenza media del versante maggiore (40°).

L'area basimetrica totale ad ettaro è sempre piuttosto elevata (31,3 (A4) – 50,3 (A5) (CV = 15,9) ed indica nel complesso popolamenti piuttosto densi e, indirettamente, ricchi di biomassa.

La presenza di abbondante materiale morto, a terra o in piedi, è in genere sempre abbondante (> 500 ad ettaro con un massimo di 1153 fusti) indica una forte dinamica competitiva tra le ceppaie presenti nel popolamento, probabilmente ancora in atto, che ha portato ad una decisa riduzione nel tempo del numero sia di ceppaie che di singoli fusti.

Infine, il rapporto di snellezza ( $h/d_{1,30}$ ) in tutti i popolamenti studiati si trova compreso tra 70 (A5) e 87 (A2), con valori comunque ben al di sotto della soglia di instabilità, indicata per le latifoglie tra 100 e 120.

### 3.2.2 Sintesi dei dati rilevati per ciascuna area campione e analisi di dettaglio dei principali gruppi di ribaltamento

Si riportano i principali dati rilevati suddivisi per ciascuna area di rilievo distribuita come indicato in **Figura 3**. All'interno di ogni area sono stati individuati ed analizzati tutti i fenomeni di ribaltamento delle ceppaie ad esclusione di quelli probabilmente avvenuti in seguito a processi di deperimento per selezione naturale o per il passaggio del fuoco.

Per i **maggiori gruppi di ribaltamento**, sono state descritte le principali caratteristiche vegetazionali e dendrometriche degli individui che ne fanno parte e le

caratteristiche microstazionali. La sigla identificativa di ciascun gruppo definisce l'area cui si riferisce e il numero progressivo che lo identifica all'interno della stessa; in altre parole, il gruppo definito A1\_1 indica il gruppo di ribaltamento n° 1 entro l'area di indagine n° 1.

Lo schema grafico permette di apprezzare le probabili traiettorie di caduta dei singoli soggetti/ceppaie offrendo nel contempo una sintesi planimetrica di quanto illustrato nella/e foto associata/e.

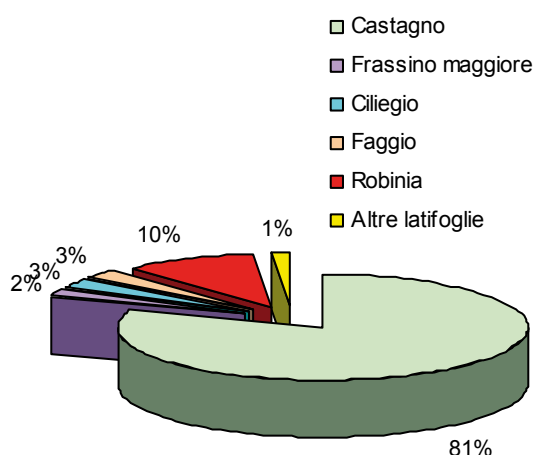
#### 3.2.2.1 AREA 1

##### GENERALITÀ

L'Area 1 si sviluppa interamente sul versante principale della Val Maggiore, a monte della pista che conduce alle prese d'acqua dell'acquedotto con esposizione dominante rivolta a ovest.

I suoi confini sono tracciati a valle dal passaggio della pista, a monte dall'espluvio, mentre lateralmente l'area si chiude su due crinali che seguono le linee di massima pendenza. L'area occupa una posizione di metà versante, con una morfologia caratterizzata dalla presenza di alcuni impluvi poco marcati che si estendono parallelamente lungo la massima pendenza a partire dalla parte alta dell'area e terminano in una zona più pianeggiante alla base.

La pendenza media è di 34°, viene quindi classificata nelle aree ad elevata pendenza. L'estensione altitudinale varia dai 590 m alla base ai 660 m al limite superiore. Sono presenti diversi fenomeni di erosione alcuni dei quali di rilevante profondità, mentre non si notano affioramenti calcarei. Il substrato risulta essere abbastanza profondo, sciolto e a debole coesione, la rocciosità è bassa.



**Figura 6.** Composizione specifica del popolamento presente in Area 1.

### SINTESI SELVICOLTURALE

Il popolamento forestale che caratterizza l'Area 1 è un castagneto, composto quasi in purezza da individui di castagno soprattutto nella parte medio-alta, mentre nella parte bassa dove la pendenza è meno accentuata e sono presenti fenomeni di ristagno idrico, la composizione è meno omogenea con alcuni individui di frassino maggiore, robinia e tiglio. Nella parte alta dell'area si contano alcune ceppaie di faggio (**Figura 6**).

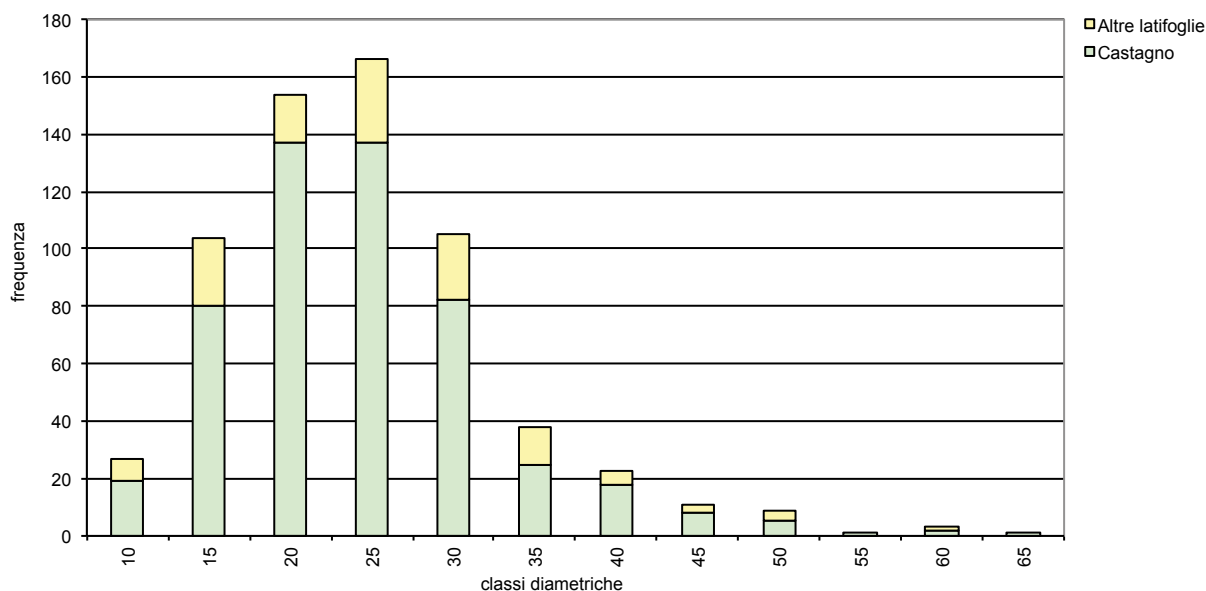
Si tratta di un popolamento governato a ceduo fortemente invecchiato ben oltre il turno classico per questi soprassuoli dato che l'ultima utilizzazione risale a ca 45 anni fa. La densità si aggira intorno ai 640 individui ad ettaro, di cui circa 450 sono di origine agamica, quasi interamente castagno, mentre circa 190 sono le piante o nate da seme o costituite da polloni affrancati in seguito ad un processo di selezione naturale all'interno di una ceppaia, suddivise più o meno equamente tra castagno e "altre latifoglie".

La parte a ceduo è composta da 250 ceppaie ad ettaro (**Tabella 6**), con mediamente meno di due polloni per elemento. Il diametro medio, misurato a 1,30 m dalla base, è di circa 23 cm, che comporta un contributo di area basimetrica pari a 20,4 m<sup>2</sup>/ha. La parte gamica misura un diametro medio maggiore rispetto al ceduo, pari a circa 28 cm, che esprime un contributo di area basimetrica pari a 13,5 m<sup>2</sup>/ha. Il grafico in **Figura 7** mette in evidenza che si tratta di un popolamento tendenzialmente coetaneiforme, caratterizzato da diametri medi piuttosto elevati per un ceduo. La curva ipsometrica (**Figura 8**) si presenta fortemente appiattita e ciò chiarisce che si tratta di un popolamento invecchiato nel quale la dinamica competitiva è ormai piuttosto ridotta favorendo la costituzione di un soprassuolo monoplano con altezze medie intorno ai 16 m. La curva ipsometrica elaborata per le altre latifoglie presenta un andamento simile seppure con altezze leggermente superiori (intorno ai 20 m) che legittimano l'ipotesi che nel prossimo futuro, trattandosi di specie a facile disseminazione e tendenziale sciafilia soprattutto giovanile, si possa assistere ad un passaggio da boschi fortemente dominati da castagno a boschi misti a crescente variabilità specifica. Non sono presenti nuclei di rinnovazione nemmeno nelle aperture create in seguito agli schianti.

Fenomeni di selezione naturale ed il passaggio di incendi hanno portato nel popolamento un elevato numero di individui morti (605 in totale tra quelli a terra e quelli ancora in piedi) con diametro medio di circa 12 cm.

### GRUPPI DI RIBALTAMENTO

Complessivamente all'interno dell'Area 1 sono presenti 15 individui ribaltati di cui 13 appartenenti a due distinti gruppi, mentre 2 individui rappresentano fenomeni isolati. L'80% della casistica è rappresentata da esemplari di castagno (**Figura 9**), i quali hanno tutti origine agamica, con un numero di polloni medio



**Figura 7.** Grafico della distribuzione diametrica del popolamento presente nell'Area 1, distinto tra castagno e altre latifoglie.

**Tabella 6.** Scheda descrittiva dei parametri selvicolturali, distinte tra castagno e altre latifoglie.

	castagno	altre latifoglie	popolamento
Ceppaie (#/ha)	240	10	250
Polloni (#/ha)	420	24	444
Polloni (#/ceppaia)	1,8	2,7	1,8
Piante da seme (#/ha)	95	103	198
Piante (#/ha)	515	127	642
Diametro medio polloni (cm)	22,9	23,6	23,0
Diametro medio alto fusto (cm)	30,0	26,0	27,8
Area basimetrica ceduo (m <sup>2</sup> /ha)	18,8	1,6	20,4
Area basimetrica alto fusto (m <sup>2</sup> /ha)	7,7	5,9	13,5
Area basimetrica totale (m <sup>2</sup> )			33,9

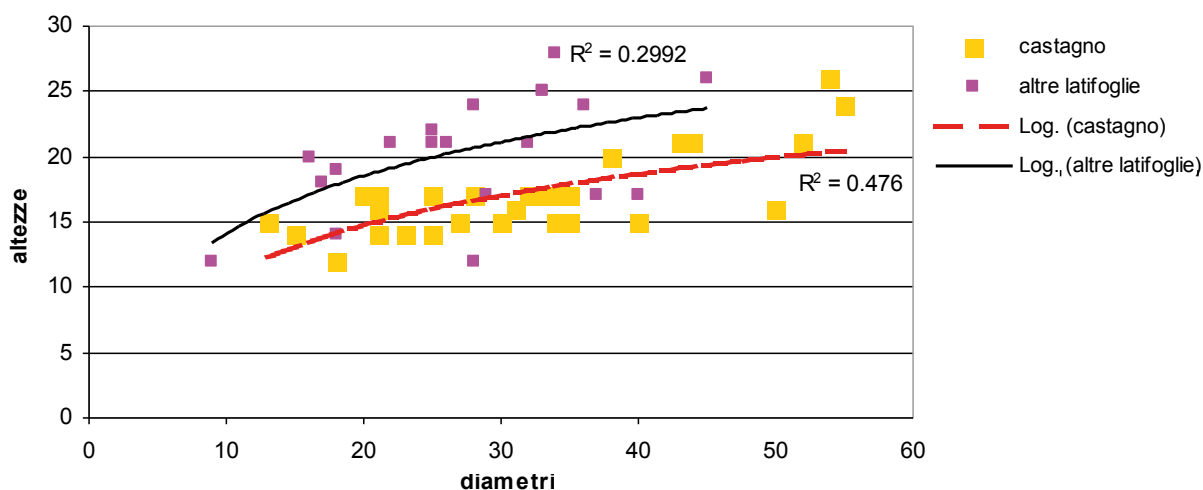
**Tabella 7.** Caratteristiche descrittive delle ceppaie di ribaltamento distinte per specie.

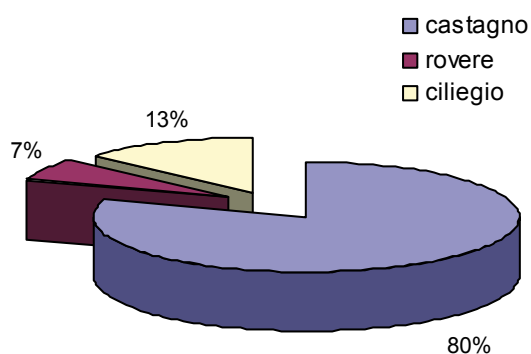
	Piante	Origine	Fusti	n. poll/cepp	Diam. Medio (cm)	h. media (m)	Peso ceppaie (Kg)
Castagno	12	agamica	41	3,4	21	17,5	1242
Rovere	1	agamica	3	3	25	16	931
Ciliegio	2	gamica	2	-----	29,5	21	736

per ceppaia pari a 3,4. I due ciliegi presenti sono di origine gamica, mentre la rovere, agamica, è costituita da 3 polloni. Il diametro medio dei castagni è pari a 21 cm con massimi di 38 e minimi di 13 cm (**Tabella 7**). I crolli sono avvenuti in prevalenza seguendo la direzione di massima pendenza, pochi sono i casi in cui lo scostamento da questa direzione supera i 30°.

Fenomeni erosivi generati in seguito ai crolli sono piuttosto marcati soprattutto intorno ad un gruppo di ceppaie con la formazione di corone di frana/cigli di erosione in continua espansione. La pendenza media puntuale delle ceppaie risulta di 33° con valori che non scendono mai sotto i 30°. L'età delle piante ribal-

tate non è mai inferiore ai 29 anni, in due casi non è stato possibile stabilire con certezza l'età della pianta in quanto il campione prelevato presenta il centro marcio e quindi gli accrescimenti annuali non sono leggibili. Anche in questi due casi però l'età è risultata superiore ai 30 anni. Complessivamente il 66% dei campioni è morto, mentre il rimanente 33%, avendo ancora un sufficiente ancoraggio radicale al suolo, ha dato origine allo sviluppo di rami epicormici. Dall'analisi cronologica, effettuata tramite la lettura degli anelli di accrescimento prelevati da sezioni trasversali di questi, si è potuto stabilire con buona precisione l'anno in cui è avvenuto il crollo.

**Figura 8.** Curva ipsometrica relativa all'Area di saggio 1



**Figura 9.** Composizione specifica dei gruppi di ribaltamento presenti nell'Area 1.

### ANALISI DI DETTAGLIO DEI PRINCIPALI GRUPPI DI RIBALTAMENTO

Il gruppo A1\_1 è localizzato a metà versante nel settore settentrionale dell'area ed è composto da 8 elementi, sette castagni e un ciliegio (**Figura 10**). Tutti i castagni hanno origine agamica, con un numero complessivo di polloni pari a 25, con un massimo di 6 polloni per ceppaia ed un minimo di 1. Tre individui risultano morti, mentre gli altri 5, nonostante il ribaltamento, sono ancora vivi, in quanto parte del loro apparato radicale conserva un collegamento con il suolo sufficiente a garantire, per ora, l'apporto di sostanze nutritive richieste.

La pendenza del versante, riferita al più prossimo intorno di ogni elemento, è in media di 33°, con valori massimi di 34° e minimi di 30°, la stessa risulta quindi confrontabile con la pendenza media dell'area (34°).

Il diametro medio dei polloni è di 19 cm con un campo di variazione compreso tra 13 a 25 cm. L'altezza delle piante varia tra i 19 e i 24 m con una media di circa 21 m. Il ciliegio ha origine gamica, un diametro di 36 cm ed un'altezza superiore rispetto a quella dei castagni (25 m). L'età delle piante varia da un minimo di 29 anni ad un massimo di 52 (**Tabella 8**).

Complessivamente il gruppo di piante ribaltate provoca una scopertura del terreno per una superficie di circa 435 m<sup>2</sup> estendendosi lungo la massima pendenza

per circa 40 m, e 13 m lungo le isoipse. L'apertura nel piano delle chiome ha causato fenomeni di erosione che al momento risultano mediamente superficiali e non ancora estesi su tutta la superficie.

Il substrato rilevato a contatto con l'apparato radicale è di tipo morenico, con abbondante materiale a debole coesione e assenza di strati calcarei ad impedire un adeguato ancoraggio delle radici al suolo.

Il volume medio delle buche è di 0,65 m<sup>3</sup>, che complessivamente genera un movimento di terra di circa 5,3 m<sup>3</sup>.

Il crollo del Gruppo A1\_3 è avvenuto nella parte alta dell'area, esattamente nel settore nord orientale, interessa nel complesso cinque esemplari di cui quattro castagni e una rovere. Tutte le piante al momento del rilievo erano morte (**Figura 11**).

Come descritto nella **Tabella 8**, si tratta di cinque ceppaie formate complessivamente da 15 polloni e mediamente da 3 cdu. Le altezze sono piuttosto contenute, variando dagli 8 m ai 16 m. I polloni presentano diametri medi di circa 24 cm per il castagno e 25 cm per le querce. L'età delle piante crollate è sempre oltre il turno classico utilizzato nella gestione di un castagneto governato a ceduo, e varia dai 31 ai 49 anni. In questo caso, dato che sull'area si è innescata anche una frana superficiale di discreta dimensione (cfr. ciglio superiore della nicchia di distacco **Figura 12**), non è possibile dirimere esattamente il volume delle ceppaie ribaltate rispetto a quello totale della frana e va comunque escluso che il ribaltamento sia stata la causa scatenante il fenomeno.

Essendo la dinamica tuttora in atto, la superficie esposta ai processi erosivi è in espansione interessando anche le piante confinanti e comportando, come diretta conseguenza, lo scalzamento delle piante limitrofe in quanto, per il progressivo arretramento dei cigli, viene a mancare l'ancoraggio per gli apparati radicali.

Non è stato possibile determinare con esattezza l'anno in cui è avvenuto il crollo in quanto in nessun individuo erano presenti rami epicormici, è però ammissibile che il processo sia stato simultaneo per tutte le piante, in quanto la zolla di terra coinvolta nel ribaltamento dagli apparati radicali è unica.



**Figura 10.** Ceppaia di ribaltamento del Gruppo A1\_1 e, a destra, relativo schema descrittivo.



**Tabella 8.** Tabella riassuntiva delle principali caratteristiche dei gruppi di ribaltamento presenti nell'Area 1.

N.	gruppo	Stato fitos.	Sp.	Orig.	N. poll.	D. Poll.	H	Peso cepp.	Direz. Caduta	Vol. Buca	Eros.	Pend.	età stimata	Anno di crollo
1538	A1_1	Vivo	Cs	c	3	20	20	605,7	350	0,51	0	30	38	1999
1539	A1_1	Vivo	Cs	c	3	18	20	556	0	0,21	1	33	---	2002
1540	A1_1	Vivo	Cs	c	6	18	24	3671,1	330	1,57	1	34	29	2002
1541	A1_1	Morto	Cs	c	6	13	19	1453,7	0	0,85	0	33	38	---
1542	A1_1	Morto	Pav	s	1	36	25	1188,3	0	1,49	0	33	46	---
X1	A1_1	Vivo	Cs	c	1	25	24	621,5	15	0,13	0	33	52	2003
X2	A1_1	Morto	Cs	c	5	21	20	1795,5	0	0,34	1	33	37	---
X3	A1_1	Vivo	Cs	c	1	20	17	1129,2	0	0,10	2	33	31	2002
1544	A1_2	Morto	Cs	c	4	21	16	537,9	0	0,09	1	34	46	---
1533	A1_3	Morto	Cs	c	4	38	16	2237,7	0	11,78	3	34	42	---
1534	A1_3	Morto	Qp	c	3	25	16	931,2	0	11,78	3	33	49	---
1535	A1_3	Morto	Cs	c	3	18	14	626,5	340	0,21	3	33	38	---
1536	A1_3	Morto	Cs	c	3	25	14	1262,4	0	0,19	2	31	31	---
1537	A1_3	Morto	Cs	c	2	15	8	225,3	300	0,16	2	31	---	---
1543	A1_4	Morto	Pav	s	1	21	17	283,1	0	0,93	0	32	48	---

**Tabella 9.** Caratteristiche descrittive delle ceppaie distinte per specie.

	Piante	Origine	Fusti	n. poll/cepp	Diam. Medio (cm)	h. media (m)	Peso ceppaie (Kg)
Castagno	4	agamica	12	3	24	13	1088
Rovere	1	agamica	3	3	25	16	931

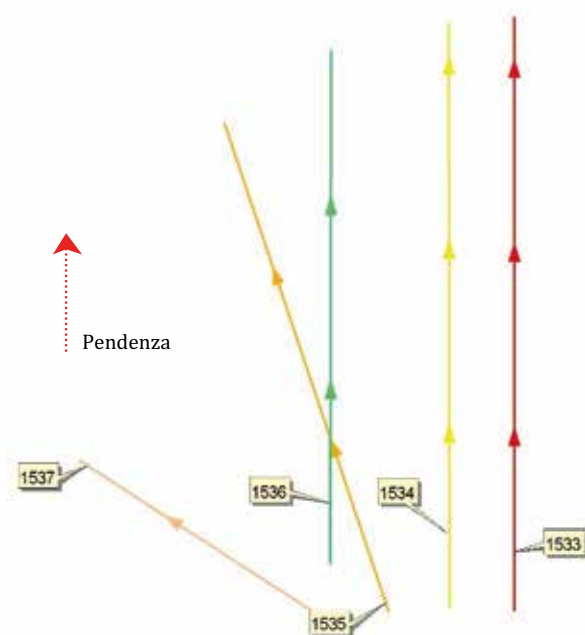
**Figura 11.** Ceppaia di ribaltamento del Gruppo A1\_3 e, a destra, schema descrittivo.



Figura 12. Corona di frana in fase di arretramento nell'intorno del ribaltamento.

### 3.2.2.2 AREA 2

#### GENERALITÀ

L'Area 2 è localizzata in posizione di medio-versante, nel settore occidentale del bacino in esame.

La morfologia è generalmente uniforme, non sono infatti presenti al suo interno impluvi o cambi di versante. Risulta esposta interamente a sud, con pendenze medie di circa 15°. Ne deriva quindi una differenza di quota, tra la parte alta e quella basale piuttosto ridotta e compresa tra 570 e 600 m s.l.m. Non sono presenti fenomeni di erosione superficiale o profonda.

#### SINTESI SELVICOLTURALE

Il soprassuolo forestale che caratterizza l'area è un castagneto puro al 75%, con presenza di frassino maggiore e robinia, concentrati nel settore sud-ovest dell'area; ciliegio, diffuso più o meno uniformemente con individui dominanti anche di grosso diametro, e altre latifoglie sporadicamente presenti quali betulla, faggio, rovere e acero montano (Figura 13).

Si tratta di un popolamento governato a ceduo, in fase di forte invecchiamento. L'età stimata tramite il prelievo di campioni lignei è di circa 50 anni.

La densità si aggira intorno ai 910 individui ad ettaro, di cui circa 610 sono di origine agamica, quasi interamente rappresentati da castagno, mentre circa 300 sono le piante nate da seme o affrancate in seguito ad un processo di selezione naturale all'interno di una ceppaia. Di questa componente il 62% è rappresentato da latifoglie diverse dal castagno.

La parte a ceduo è composta da 319 ceppaie ad ettaro, con mediamente circa due polloni per cadauna. Il diametro medio, misurato a 1,30 m dalla base, è di circa 23 cm, che comporta un contributo di area basimetrica pari a 28,5 m<sup>2</sup>/ha (Tabella 10).

La componente gamica presenta un diametro medio inferiore rispetto al ceduo, pari a circa 22 cm, che esprime un contributo di area basimetrica pari a 13,5 m<sup>2</sup>/ha.

Il grafico in Figura 14 mette in evidenza un popolamento complessivamente distribuito secondo la curva tipica dei boschi coetaniformi nel quale tuttavia le latifoglie nobili, quelle diverse dal castagno, sono probabilmente distribuite secondo un andamento meno regolare con una prevalenza di soggetti delle classi minori.

Di seguito si riporta la curva ipsometrica del popolamento differenziata tra il castagno e le altre latifoglie; da questa si denota un soprassuolo tendenzialmente monoplano, la cui altezza media è simile in entrambi

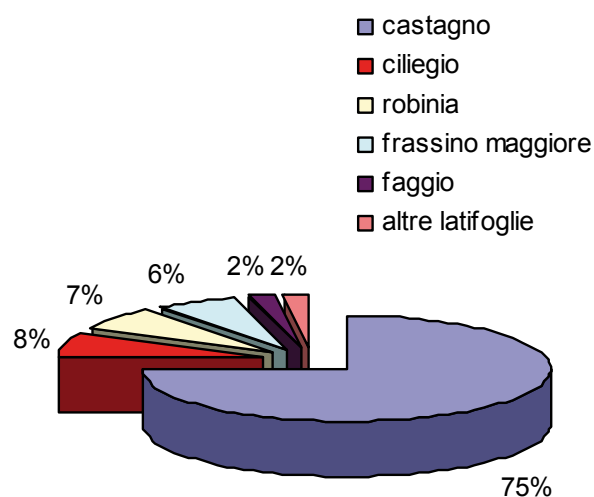
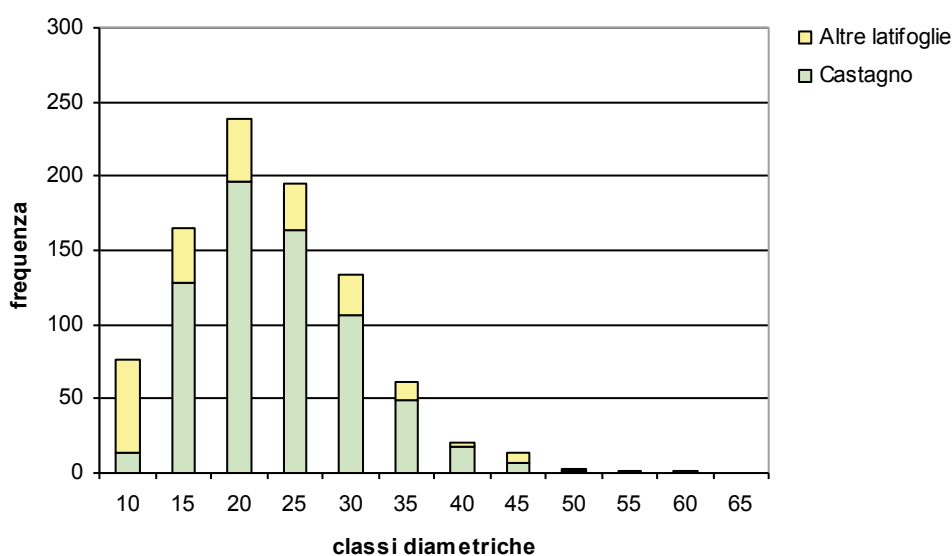


Figura 13. Composizione specifica del popolamento presente in Area 2.

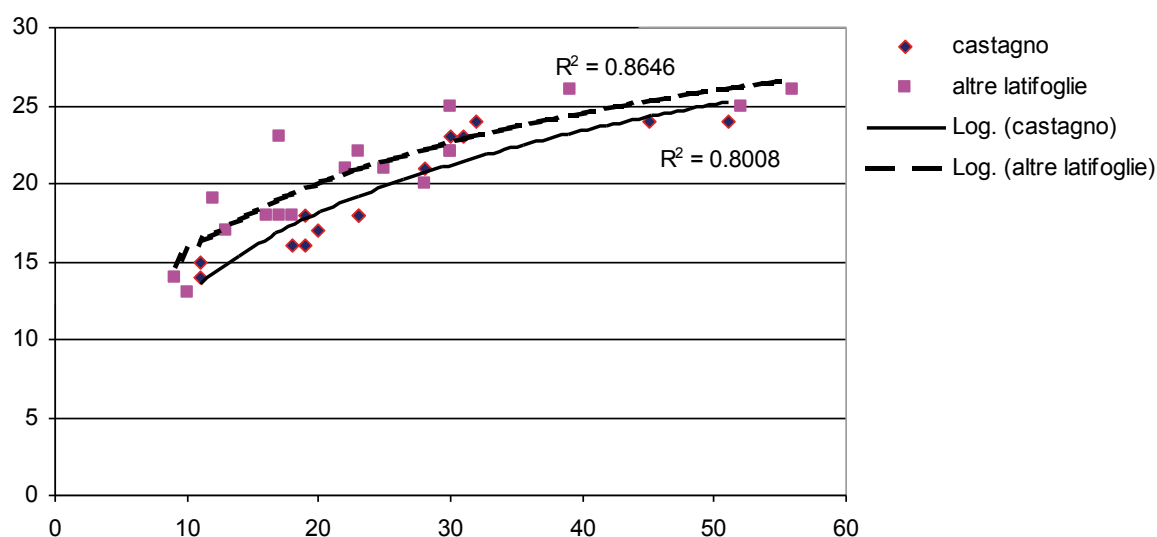


**Tabella 10.** Scheda descrittiva dei principali parametri selvicolturali, distinto tra castagno e altre latifoglie.

	castagno	altre latifoglie	popolamento
Ceppaie (#/ha)	300	19	319
Polloni (#/ha)	569	42	611
Polloni (#/ceppaia)	1,9	2,2	1,9
Piante da seme (#/ha)	114	185	299
Piante (#/ha)	683	227	910
Diametro medio polloni (cm)	23,6	19,8	23,3
Diametro medio alto fusto (cm)	24,4	20,5	22,0
Area basimetrica ceduo (m <sup>2</sup> /ha)	26,9	1,6	28,5
Area basimetrica alto fusto (m <sup>2</sup> /ha)	5,9	7,6	13,5
Area basimetrica totale (m <sup>2</sup> )			42,00



**Figura 14.** Grafico della distribuzione diametrica del popolamento presente in Area 2, con particolare riferimento al castagno.



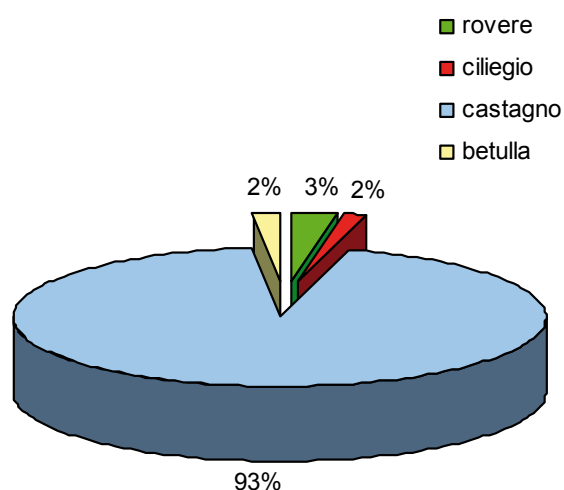
**Figura 15.** Curva ipsometrica relativa all'Area di saggio 2.

i casi (19,5 m) e un accrescimento verticale oramai ridotto (**Figura 15**).

Fenomeni di selezione naturale ed il passaggio di incendi hanno portato nel popolamento un elevato numero di individui morti (1261 in totale tra quelli a terra e quelli ancora in piedi) con diametro medio di circa 12 cm.

### GRUPPI DI RIBALTAMENTO

Non ci sono gruppi di ribaltamento.



**Figura 16.** Composizione specifica del popolamento presente in Area 3.

### 3.2.2.3 AREA 3

#### GENERALITÀ

Area situata in destra orografica della Val Maggiore a monte del sentiero che percorre il fondovalle e ad una quota che varia tra i 640 e i 720 m s.l.m. E' ubicata in posizione di medio versante e presenta un'esposizione prevalente orientata a Est; la sua morfologia è piuttosto uniforme.

La pendenza è decisamente elevata in tutta l'area, attestandosi mediamente intorno a 40°. Fenomeni di erosione superficiale e profonda, con la formazione di piccole corone di frana, scalini nel terreno o rigetti con messa a nudo di substrato calcareo, sono diffusi in più settori.

#### SINTESI SELVICOLTURALE

Anche in questo caso siamo in presenza di un castagno, con densità che mediamente si aggirano intorno a valori di 1007 piante ad ettaro.

Di queste circa il 93% sono rappresentate dal castagno che ne determina quindi una purezza quasi totale. La rimanente percentuale è composta da altre latifoglie quali la rovere il ciliegio e la betulla, distribuite in maniera uniforme su tutta l'area (**Figura 16**).

Si tratta di un popolamento governato a ceduo, in avanzata fase di invecchiamento la cui età, stimata tramite il prelievo di campioni lignei, è compresa tra i 50 e i 60 anni.

La componente a ceduo rappresenta l'88% con circa 890 polloni, raggruppati mediamente in 2 elementi per ceppaia. Il diametro medio, misurato a 1,3 m dalla base, è di circa 21 cm, che comporta un contributo di

**Tabella 11.** Scheda descrittiva dei principali parametri selvicolturali, distinto tra castagno e altre latifoglie

	castagno	altre latifoglie	popolamento
Ceppaie (#/ha)	422,0	6,0	428,0
Polloni (#/ha)	876,0	14,0	890,0
Polloni (#/ceppaia)	2,1	2,3	2,1
Piante da seme (#/ha)	71,0	46,0	117,0
Piante (#/ha)	947	60,0	1007,0
Diametro medio polloni (cm)	21,0	18,9	21,0
Diametro medio alto fusto (cm)	23,6	20,4	22,4
Area basimetrica ceduo (m <sup>2</sup> /ha)	33,0	0,5	33,6
Area basimetrica alto fusto (m <sup>2</sup> /ha)	3,6	1,9	5,5
Area basimetrica totale (m <sup>2</sup> )			39,10

**Tabella 12.** Caratteristiche descrittive delle ceppaie di ribaltamento distinte per specie.

	piante	origine	fusti	n. poll/cepp	diam. medio (cm)	h. media (m)	Peso medio ceppaie (Kg)
Castagno	8	agamica	23	2,9	22,5	14,5	1017
	5	gamica	5	-----	24,8	17,6	664
Ciliegio	3	gamica	3	-----	20,7	16,7	284

area basimetrica pari a 33,6 m<sup>2</sup>/ha (**Tabella 11**). La componente gamica, o derivante da affrancamento dei polloni, si limita al restante 12%. Di questa percentuale il 40% è rappresentato da latifoglie diverse dal castagno.

Misura un diametro medio pari a circa 22 cm, che esprime un contributo di area basimetrica pari a 5,5 m<sup>2</sup>/ha.

Si tratta di un popolamento a struttura complessivamente coetaneiforme con una modesta presenza di altre latifoglie distribuite in modo piuttosto irregolare (**Figura 17**). Di seguito è riportata la curva ipsometrica (**Figura 18**) del popolamento costruita sulla base di un campione statistico rilevato all'interno dell'area. Dalla modesta inclinazione di questa si denota un popolamento che ha oramai terminato il suo culmine di accrescimento longitudinale, andando a costituire per il castagno, un unico piano nella sua struttura verticale, con altezze medie piuttosto modeste pari a circa 14,5 m.

Le altre latifoglie sono riuscite ad introdursi tra le chiome del castagno e a raggiungere la zona di luce, mostrando però anch'esse un ormai lento accrescimento in altezza, con valori medi pari a 17,5 m.

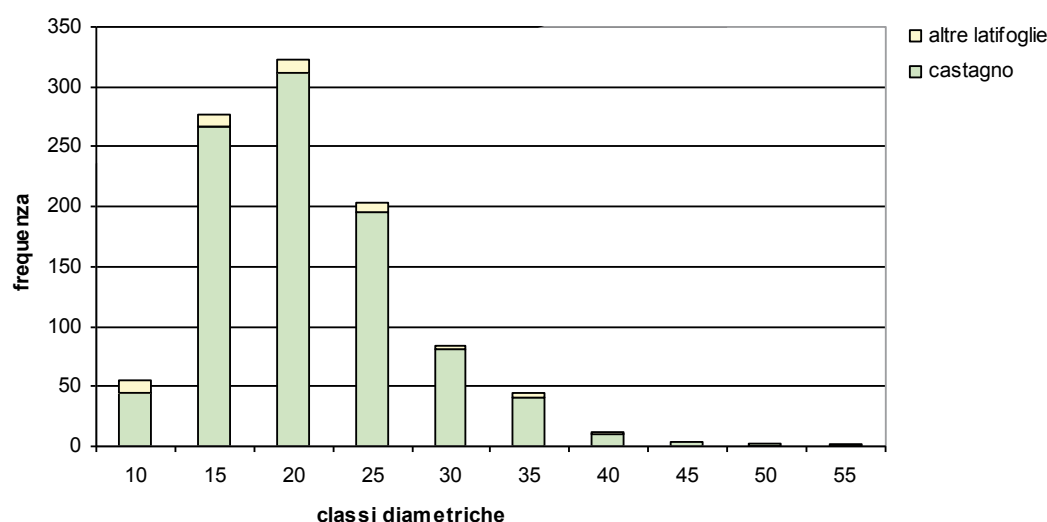
### GRUPPI DI RIBALTAMENTO

All'interno dell'Area 3, sono state rilevate e misurate 16 ceppaie ribaltate suddivise in sette raggruppamenti. Il più numeroso di questi è composto da sette esemplari (A3\_2), mentre gli altri non superano i tre esemplari per gruppo.

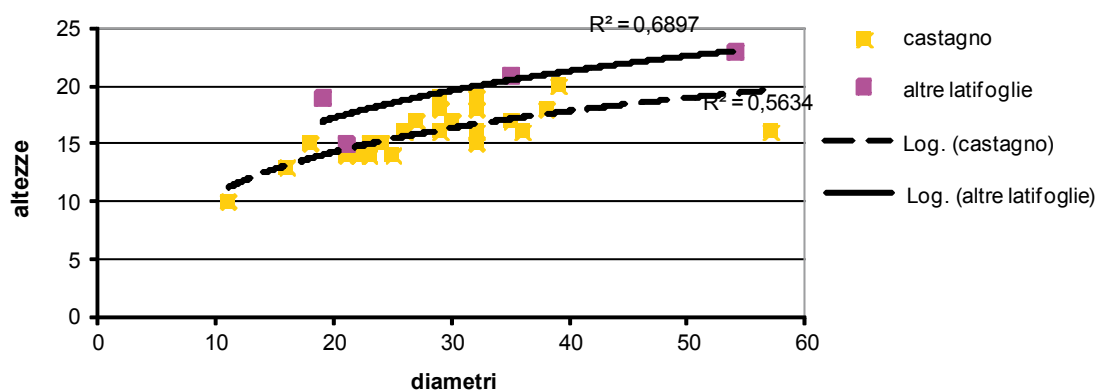
L'81% della casistica è rappresentata da esemplari di castagno, mentre il 29% è composto da ciliegi. Per quanto riguarda il castagno, otto individui sono di origine agamica con in media tre polloni per ceppaia.

Il diametro medio di questi è di 22,5 cm a 1,3 m dalla base e l'altezza, piuttosto ridotta, è di 14,5 m.

La componente di castagno a fusto singolo, 5 esemplari, presenta diametri e altezza superiori e rispettivamente di 24,8 cm e 17,6 m.



**Figura 17.** Grafico della distribuzione diametrica del popolamento presente in Area 3, distinto tra castagno e altre latifoglie.



**Figura 18.** Curva ipsometrica relativa all'Area di saggio 3.

Per quanto riguarda il ciliegio, i tre esemplari sono tutti di origine gamica con diametro medio pari a 20,7 cm e altezza media di 16,7. I crolli sono avvenuti in prevalenza seguendo la direzione di massima pendenza, con uno scarto massimo da questa direzione di 20°. I fenomeni erosivi, generati in seguito ai crolli, sono mediamente marcati soprattutto intorno al gruppo A3\_2 con la formazione di corone di frana piuttosto allargate e in continua espansione. La pendenza media puntuale delle ceppaie risulta essere elevata (42°), con valori che non scendono mai sotto i 36° e che raggiungono in più occasioni i 46°.

L'età delle piante ribaltate è piuttosto elevata, aggirandosi mediamente intorno ai 55 anni e mai inferiore ai 47 anni, con massimi di 74 riscontrati in un vecchio pollone di castagno. In tre casi non è stato possibile stabilire con certezza l'età della pianta in quanto il campione prelevato presentava centro marcescente. Per quanto riguarda lo stato fitosanitario, i ciliegi rilevati sono tutti morti, mentre 6 castagni presentavano ancora un sufficiente ancoraggio radicale al suolo, che ha dato origine, in cinque casi, allo sviluppo di rami epicormici. Dall'analisi cronologica effettuata su questi, si è potuto stabilire con buona precisione l'anno in cui è avvenuto il crollo.

#### ANALISI DI DETTAGLIO DEI PRINCIPALI GRUPPI DI RIBALTAMENTO

Il gruppo A3\_2 rappresenta il nucleo di individui schiantati di maggiori dimensioni all'interno dell'area 3. È localizzato nella parte bassa dell'area, a circa

metà del confine inferiore, in posizione di basso versante. E' composto da sette elementi, di cui sei sono castagni e uno è ciliegio. Cinque castagni hanno origine agamica, con un numero complessivo di polloni pari a 12 con un massimo di 4 polloni per ceppaia ed un minimo di 1 (**Tabella 13**).

Un castagno risulta morto, mentre gli altri 5 sono ancora vivi nonostante il processo di ribaltamento. Il ciliegio, nato da seme, è morto. Presenta un diametro alla base pari a 19 cm e un'altezza di 16 m.

La pendenza del versante, riferita al più prossimo intorno di ogni elemento, è molto elevata, con valori medi di 44°, massimi di 46° e minimi di 36°, la stessa risulta quindi confrontabile con la pendenza media dell'intera area (42°).

Il diametro medio dei castagni è di 26 cm, l'altezza varia tra i 10 e i 18 m con una media di circa 14 m.

L'età stimata delle piante è piuttosto elevata, con valori medi di 57 anni, variando da un minimo di 59 anni ad un massimo di 74. L'apertura nel piano delle chiome, in seguito al processo di schianto, ha causato fenomeni di erosione che risultano in diversi punti piuttosto profondi con la generazione di cigli erosivi in fase di avanzamento verso i confini esterni dello schianto. Il substrato rilevato a contatto con l'apparato radicale è di tipo morenico, con abbondante materiale a debole coesione. Sporadica presenza di rocce calcaree sotto uno strato di materiale sciolto.

Il volume medio delle buche è di 0,8 m<sup>3</sup>, che complessivamente genera un movimento di terra di circa 5,6 m<sup>3</sup> (**Tabella 13**).

**Tabella 13.** Tabella riassuntiva delle principali caratteristiche dei gruppi di ribaltamento presenti nell'Area 3.

N.	gruppo	Stato fitos.	Sp.	Orig.	N. poll.	D. Poll.	H	Peso cepp.	Direz. Caduta	Vol. Buca	Eros.	Pend.	età stimata	Anno di crollo
1521	A3_1	Morto	Cs	S		27	25	768	20	0,92	1	40	51	
1523	A3_2	Vivo	Cs	C	4	29	18	3011	0	2,03	2	46	55	2001
1524	A3_2	Morto	Cs	S		25	16	491	0	0,26	1	44	51	
1525	A3_2	Morto	Pav	S		19	16	255	5	0,07	0	36	---	
X20	A3_2	Vivo	Cs	C	1	36	14	976	0	0,26	0	46		2006
X22	A3_2	Vivo	Cs	C	2	34	15	1745	0	1,96	3	46	74	2006
X23	A3_2	Vivo	Cs	C	3	21	10	644	0	0,84	3	46	57	2006
X24	A3_2	Vivo	Cs	C	2	18	10	281	15	0,13	2	44	49	2006
1528	A3_3	Vivo	Cs	S		33	19	1037	5	1,13	2	42	61	
1529	A3_3	Morto	Cs	S		21	12	277	355	0,27	2	42	46	
1530	A3_3	Morto	Pav	S		23	17	340	10	0,18	1	42	54	
1531	A3_4	Morto	Cs	C	4	13	14	353	355	0,07	1	42	---	
1532	A3_5	Morto	Pav	S		20	17	256	345	0,26	1	42	55	
1522	A3_6	Morto	Cs	C	3	15	18	490	15	0,60	1	42	47	
1526	A3_7	Morto	Cs	S		18	17	746	10	0,07	1	36	59	
1527	A3_7	Morto	Cs	C	4	14	14	636	0	0,31	1	42	---	

### 3.2.2.4 AREA 4

#### GENERALITÀ

L'Area 4 si trova a monte della pista che porta alle prese d'acqua dell'acquedotto, circa in prossimità della località denominata "Pianura". E' quindi situata all'esterno dell'impluvio principale della Val Maggiore, in una situazione di medio versante con una morfologia semplificata e uniforme, la pendenza risulta essere sempre bassa con valori che mediamente si attestano intorno ai 12°. Non sono presenti tracce di erosione, né superficiale né profonda e il substrato risulta profondo sciolto e senza affioramenti rocciosi. Il dislivello altitudinale varia dai 560 ai 590 m s.l.m. e l'esposizione prevalente è orientata a sud - sudest.

#### SINTESI SELVICOLTURALE

Il popolamento forestale che caratterizza l'Area 4 è un castagneto, composto per il 93% da castagno e per il rimanente 7% da altre latifoglie tra le quali il ciliegio, il faggio, il frassino, la robinia e la betulla, distribuite uniformemente su tutta la superficie studiata.

Come per le altre situazioni si tratta di un popolamento governato a ceduo, con una densità di circa 850 piante ad ettaro di cui la componente agamica arriva all'80%, composta quasi esclusivamente da castagno (Figura 20).

Essendo un popolamento facilmente raggiungibile, in quanto ubicato su di un versante a bassa pendenza e in prossimità di una pista forestale, le ultime utilizzazioni sono state effettuate in un tempo relativamen-

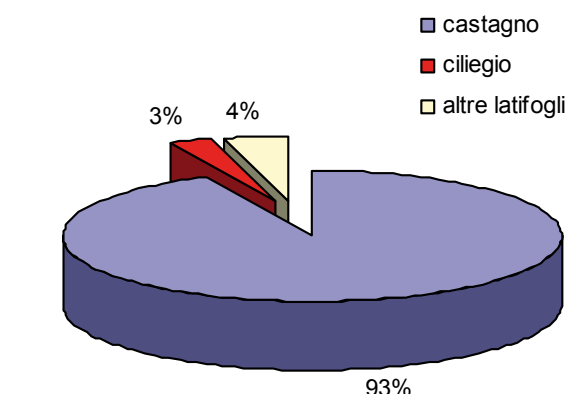


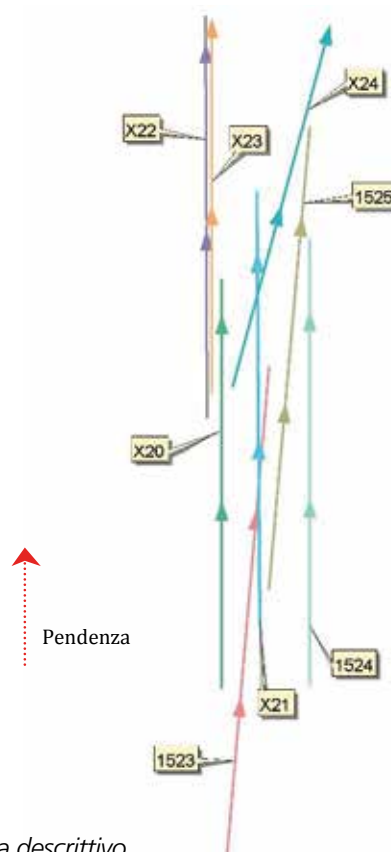
Figura 20. Composizione specifica del popolamento presente in Area 4.

te più recente rispetto alle altre situazioni. L'età del popolamento risulta essere nettamente inferiore, con una media degli individui di circa 25 anni. Il soprassuolo si trova in una situazione di fine turno, con polloni maturi raggruppati a gruppi da 2/3 per ceppaia.

Il diametro medio dei polloni è di circa 19 cm per il castagno, mentre decisamente superiore per le altre latifoglie (29 cm). Per quanto riguarda la componente d'alto fusto la situazione è più uniforme con un diametro medio di circa 23 cm, con poche differenze nel castagno e nelle altre latifoglie. L'area basimetrica totale del soprassuolo è di 31 m<sup>2</sup>/ha, quasi interamente determinata dai polloni di castagno (Tabella 14).

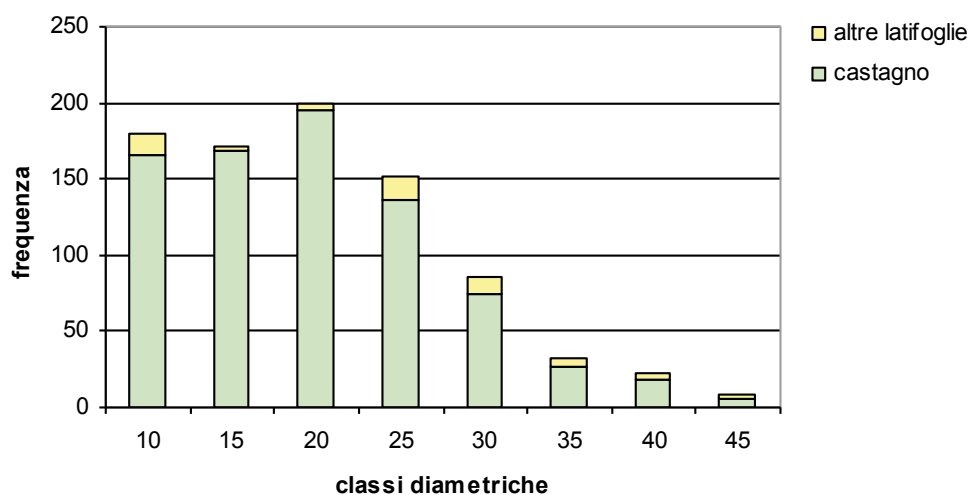
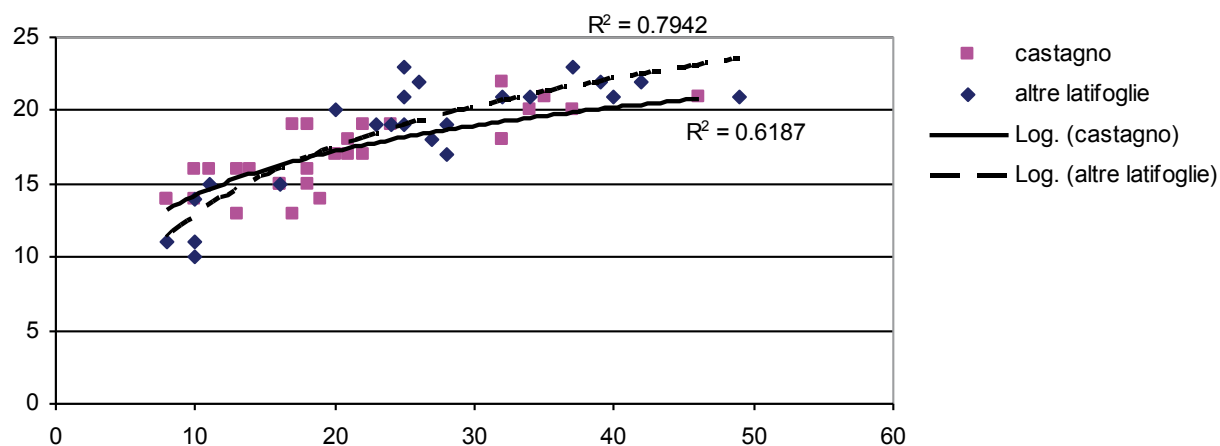


Figura 19. Ceppaia di ribaltamento del Gruppo A3\_2 e, a destra, schema descrittivo.



**Tabella 14.** Scheda descrittiva dei parametri selvicolturali, distinti tra castagno e altre latifoglie.

	castagno	altre latifoglie	popolamento
Ceppaie (#/ha)	259	4	263
Polloni (#/ha)	673	7	680
Polloni (#/ceppaia)	2,6	1,8	2,6
Piante da seme (#/ha)	118	53	171
Piante (#/ha)	791	60	851
Diametro medio polloni (cm)	19,3	29,4	19,4
Diametro medio alto fusto (cm)	22,7	24,4	23,2
Area basimetrica ceduo (m <sup>2</sup> /ha)	22,3	0,5	22,8
Area basimetrica alto fusto (m <sup>2</sup> /ha)	5,5	2,9	8,5
Area basimetrica totale (m <sup>2</sup> )			31,30

**Figura 21.** Grafico della distribuzione diametrica del popolamento presente in Area 4, distinto tra castagno e altre latifoglie.**Figura 22.** Curva ipsometrica relativa all'Area di saggio 4.



Il grafico in **Figura 21** mostra come le prime quattro classi siano nettamente le più rappresentate mantenendo una frequenza relativamente costante, per poi decrescere uniformemente con l'aumentare del diametro.

Il soprassuolo presenta delle dinamiche verticali maggiormente attive rispetto a quelle analizzate per gli altri soprassuoli finora studiati, dalla curva ipsometrica si evidenzia una maggiore spinta verso l'alto da parte delle specie secondarie, che tendono ad affermarsi, con altezze medie di circa 19 m, nel piano dominante superati i 20 cm di diametro (**Figura 22**).

Per quanto concerne il castagno, questo presenta una curva meno inclinata, a sottolineare una diminuzione della pressione verso l'alto; inoltre la differenza di altezza tra le prime e le ultime classi diametriche non è molto marcata, si tratta quindi di un soprassuolo tendenzialmente a struttura verticale monoplana.

L'altezza media del castagno è di circa 17 m.

La gestione selvicolturale ancora attiva e l'assenza del passaggio del fuoco in quest'area, ha determinato un numero di piante morte inferiore rispetto alle altre realtà analizzate.

#### GRUPPI DI RIBALTAMENTO

Non ci sono gruppi di ribaltamento.

### 3.2.2.5 AREA 5

#### GENERALITÀ

L'Area 5 è situata a monte dell'Area 4, in una situazione di dorsale in sinistra orografica della Val Maggiore. La quota varia in un intervallo piuttosto ristretto compreso tra i 690 e i 730 m s.l.m.

L'esposizione prevalente è orientata verso sud. La morfologia è piuttosto semplice, con un versante omogeneo, all'interno del quale non si sviluppano marcati impluvi. La pendenza media rilevata all'interno dell'area si attesta intorno a valori di 27°, diminuendo nella parte bassa. Non sono presenti tracce di erosione superficiale o profonda, la rocciosità è piuttosto elevata e il substrato profondo e sciolto.

#### SINTESI SELVICOLTURALE

Il soprassuolo forestale è un castagneto a dominanza di castagno per il 92%, mentre la rimanente percentuale è composta principalmente da individui di frassino maggiore e robinia, raccolti nella parte bassa dell'area dove, a causa della netta diminuzione di pendenza, si ha un maggior accumulo di risorse idriche e nutritive. Sono inoltre presenti esemplari sporadici di ciliegio, rovere e betulla.

La scarsa vicinanza alla viabilità forestale ha sicuramente influito sull'abbandono della pratica selvicolturale del soprassuolo il cui ultimo intervento di ceduzione risale a ormai a circa 40 anni fa.

Il popolamento si presenta quindi come un castagneto di ceduo in fase d'invecchiamento. La selezione naturale, agendo sui polloni, ha ridotto il numero di

questi per ceppaia ad una media di poco superiore a 2. La densità, comunque rimane ancora elevata con circa 940 piante ad ettaro.

Il diametro medio è piuttosto alto (circa 25 cm per il castagno e 27 per le altre latifoglie), questo, unitamente alla densità, porta ad un contributo di area basimetrica piuttosto elevato (50,3 m<sup>2</sup>/ha di cui 45 m<sup>2</sup>/ha asseribili al castagno) (**Tabella 15**).

Il grafico in **Figura 23** mette in evidenza la presenza di piante con notevoli dimensioni, a rafforzare l'ipotesi dell'abbandono della gestione, inoltre non sono praticamente presenti individui nelle classi più piccole, morte in seguito a fenomeni di selezione naturale.

Dalla curva ipsometrica (**Figura 24**) si delinea un popolamento monoplano per la componente a castagno con altezze medie pari a 17,5 m.

Le altre latifoglie sono riuscite a trovare il loro spazio tra le chiome del castagno, andando a formare un loro piano dominante con altezze medie pari a 20,5 m. Le piante morte presenti all'interno dell'area analizzata, rappresentano una componente del popolamento rilevante, in quanto in termini numerici sono superiori alle piante vive. A conferma di ciò che è stato detto precedentemente il diametro medio appartiene alla prima classe diametrica presa in esame.

#### GRUPPI DI RIBALTAMENTO

Non ci sono gruppi di ribaltamento ma un unico fusto (ribaltato) che non viene pertanto qui analizzato.

### 3.2.2.6 AREA 6

#### GENERALITÀ

Area situata in sinistra orografica rispetto la Val Maggiore, ad una quota che varia tra 630 e 710 m.

Esposta interamente a ovest, presenta una morfologia piuttosto articolata per l'alternarsi ripetuto di dislivelli e piccoli solchi erosivi, dove vengono allo scoperto numerosi affioramenti calcarei.

Le tracce di erosione profonda sono in genere incanalate in impluvi perpendicolari rispetto alla massima pendenza, mentre quelle superficiali sono diffuse uniformemente su tutta l'area.

L'elevata pendenza, mediamente 36°, con punte vicino ai 40°, caratterizza tutta l'estensione della superficie in analisi.

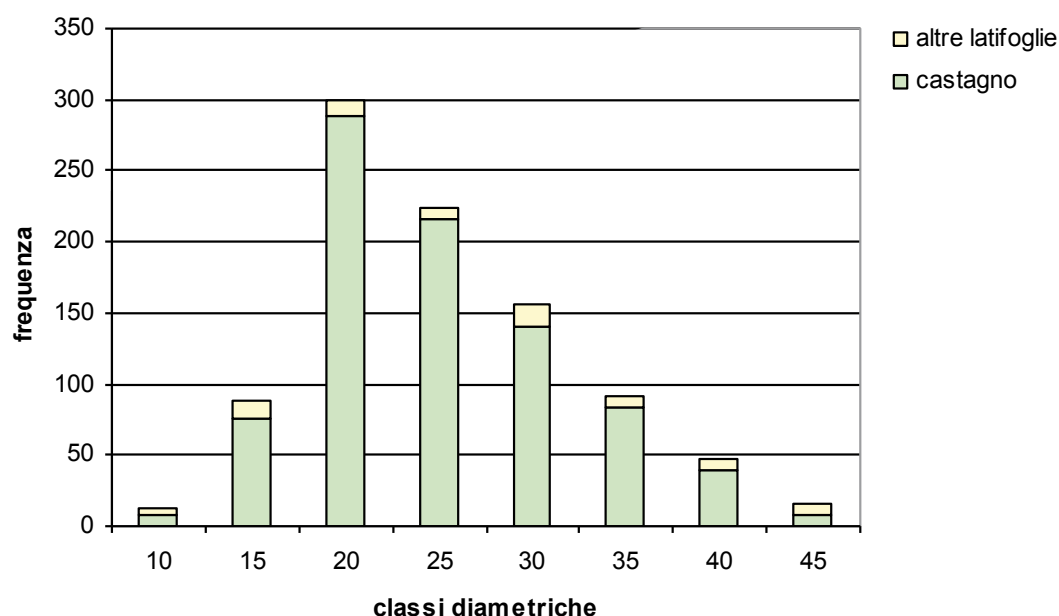
#### SINTESI SELVICOLTURALE

Il soprassuolo forestale che occupa la superficie analizzata è costituito da un castagneto praticamente puro (97%), con sporadica presenza di altre latifoglie (percentuale pari al 3%) quali il ciliegio, la robinia e l'acero campestre.

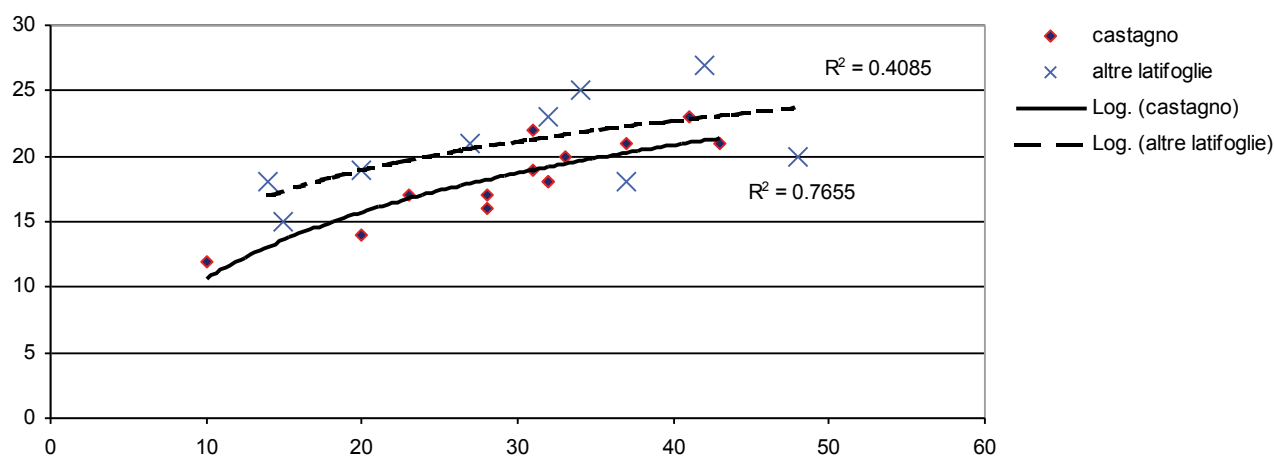
L'elevata pendenza e la scarsa accessibilità all'area ha sicuramente determinato l'abbandono della gestione del soprassuolo, un tempo governato a ceduo, che ad oggi presenta un'età media di circa 45- 50 anni, con conseguente invecchiamento delle ceppaie e riduzione del numero di polloni per ceppaia.

**Tabella 15.** Scheda descrittiva dei parametri selvicolturali, distinti tra castagno e altre latifoglie

	castagno	altre latifoglie	popolamento
Ceppaie/ha	332	12	344
Polloni (#/ha)	716	32	748
Polloni (#/ceppaia)	2,2	2,7	2,2
Piante da seme (#/ha)	144	44	188
Piante (#/ha)	860	76	936
Diametro medio polloni (cm)	24,6	27,4	24,8
Diametro medio alto fusto (cm)	26,6	28,2	26,9
Area basimetrica ceduo (m <sup>2</sup> /ha)	36,4	2,1	38,5
Area basimetrica alto fusto (m <sup>2</sup> /ha)	8,7	3,1	11,8
Area basimetrica totale (m <sup>2</sup> )			50,3



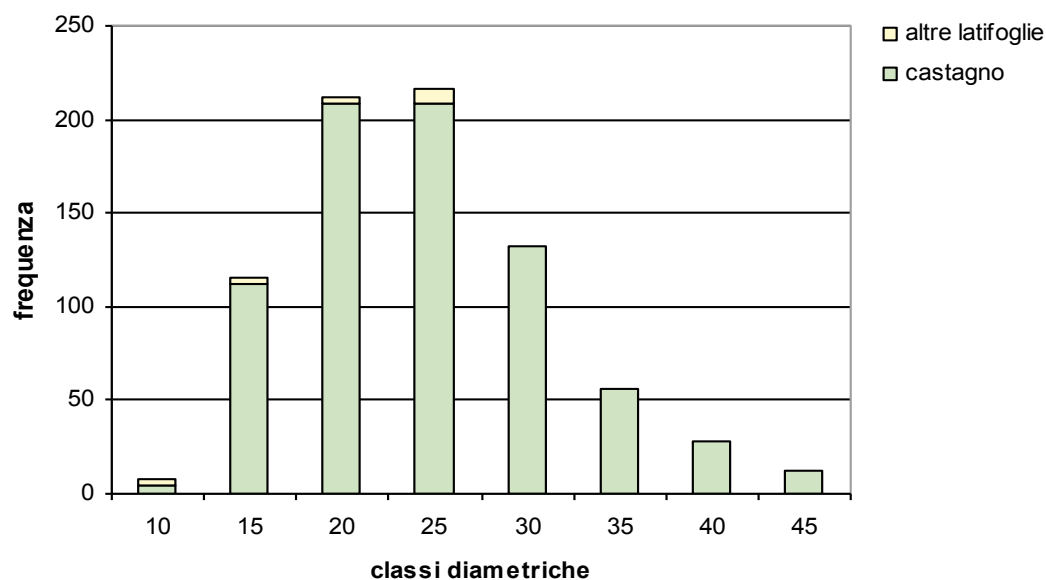
**Figura 23.** Grafico della distribuzione diametrica del popolamento presente in Area 5, distinto tra castagno e altre latifoglie.



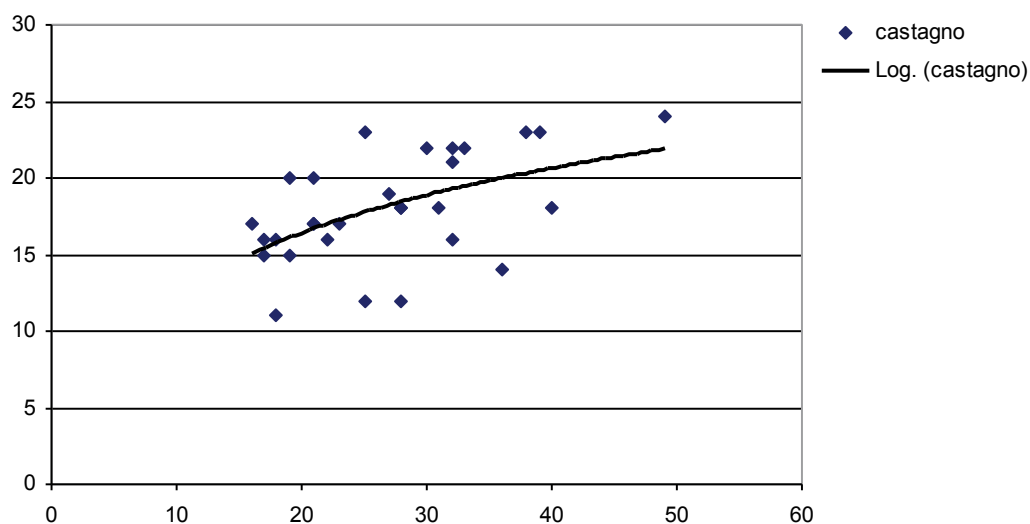
**Figura 24.** Curva ipsometrica relativa all'Area di saggio 5.

**Tabella 16.** Scheda descrittiva dei parametri selvicolturali, distinti tra castagno e altre latifoglie.

	totale	castagno	altre latifoglie
Ceppaie/ha	320	312	8
Polloni (#/ha)	656	644	12
Polloni (#/ceppaia)	2,1	2,1	1,5
Piante da seme (#/ha)	124	116	8
Piante (#/ha)	780	760	20
Diametro medio polloni (cm)	24,5	24,7	15,0
Diametro medio alto fusto (cm)	23,7	23,8	22,5
Area basimetrica ceduo (m <sup>2</sup> /ha)	33,2	32,8	0,4
Area basimetrica alto fusto (m <sup>2</sup> /ha)	6	5,6	0,4
Area basimetrica totale (m <sup>2</sup> )	39,2	38,4	0,8



**Figura 25.** Grafico della distribuzione diametrica del popolamento presente in Area 6, distinto tra castagno e altre latifoglie.



**Figura 26.** Curva ipsometrica relativa all'Area di saggio 6.

La densità è colma con 780 piante ad ettaro di cui l'84% d'origine agamica.

I castagni hanno raggiunto mediamente valori diametrici elevati (circa 25 cm per i polloni e 24 cm per l'alto fusto) mentre le altre latifoglie hanno uno sviluppo trasversale inferiore.

L'area basimetrica totale, in conseguenza degli elevati diametri e di una discreta densità, risulta importante (39,2 m<sup>2</sup>/ha), quasi interamente realizzati dalla componente a castagno (**Tabella 16**).

L'analisi della distribuzione diametrica mette in luce un popolamento tendenzialmente coetaneiforme, con uno spostamento della curva verso le classi superiori per la presenza di una quota non marginale di soggetti di grandi dimensioni (**Figura 25**).

L'andamento appiattito della curva denota un popolamento a struttura verticale monoplana con un'altezza media di circa 17,5 m.

All'interno dell'area si conta un elevato numero di piante morte ancora in piedi o già atterrate, con diametro medio di circa 12,5 cm valore che si avvicina anche al valore massimi.

### GRUPPI DI RIBALTAMENTO

Complessivamente all'interno dell'Area 6, sono presenti 41 individui ribaltati di cui 35 costituiscono tre distinti gruppi, mentre 6 individui rappresentano un fenomeno isolato o un principio di raggruppamento. La totalità della casistica è rappresentata da esemplari di castagno, dei quali il 56% ha origine agamica, con un numero di polloni medio per ceppaia pari a 2,2, mentre la restante percentuale ha origine gamica o è in fase di affannamento.

Il diametro medio della parte a ceduo è pari a 24,3 cm con massimi di 38 e minimi di 17 cm. Nella parte non agamica il diametro a 1,3 m dalla base assume un valore medio pari a 25,2 cm con valori estremi di 35 e 15 cm (**Tabella 17**).

I crolli sono avvenuti in prevalenza seguendo la direzione di massima pendenza, mentre il 27% ha uno scostamento maggiore della media degli angoli di caduta (20°), con massimi di 90°.

Fenomeni erosivi generati in seguito ai crolli sono presenti in tutti i gruppi di ribaltamento e più marcati nel gruppo A6\_1. La pendenza media puntuale delle ceppaie è piuttosto elevata (36°) con valori che interessano un intervallo compreso tra i 25° e i 48°.

L'età media delle piante ribaltate è di circa 48 anni, anche se l'età individuale varia notevolmente, essendo compresa tra i 23 e i 64 anni. Due casi presentano un avanzato stadio di degradazione che impedisce

l'individuazione dei cerchi di accrescimento annuali e per questo non è stato possibile stabilire con certezza l'età delle piante.

Complessivamente il 50% dei campioni è morto, mentre l'altra metà ha ancora un sufficiente ancoraggio radicale al suolo, che in alcuni casi ha dato origine allo sviluppo di rami epicormici. Dall'analisi cronologica, effettuata tramite la lettura degli anelli di accrescimento prelevati da sezioni trasversali di questi, si è potuto stabilire con buona precisione l'anno in cui è avvenuto il crollo.

### ANALISI DI DETTAGLIO DEI PRINCIPALI GRUPPI DI RIBALTAMENTO

Il crollo del gruppo A6\_1 è avvenuto nel settore nord dell'area, in posizione di medio versante, e interessa nel complesso quindici esemplari tutti di castagno. Nove di questi al momento del rilievo risultavano ancora vive, mentre le restanti sei erano morte.

Come descritto nella **Tabella 18**, si tratta di quattro individui a fusto singolo (nate da seme o affrancate) e di undici ceppaie, formate complessivamente da 22 polloni e mediamente da 2. Le altezze sono piuttosto uniformi, variando dai 16 ai 20 m con una media pari a 16,7 m. I polloni presentano diametri medi di circa 25,7 cm per il ceduo e 27,8 per i fusti singoli. L'età delle piante crollate è notevolmente oltre il turno classico e varia dai 48 ai 64 anni. In questo caso il ribaltamento ha attivato dei processi di erosione più o meno profonda, localizzati a livello di ogni singola ceppaia, che globalmente comportano un'erosione diffusa in tutta l'area interessata dagli schianti.

Essendo la dinamica tuttora in atto, la superficie esposta ai processi erosivi è in espansione interessando anche le piante ai margini del crollo e comportando, come diretta conseguenza, lo scalzamento delle piante confinanti.

Come evidenziato in **Tabella 18**, dagli esemplari vivi, grazie all'emissione dei rami epicormici, è stato possibile risalire all'anno di ribaltamento. Il fenomeno è tuttora attivo e coinvolge in media due nuove ceppaie l'anno.

Per gli esemplari morti, è plausibile ipotizzare un anno di crollo non troppo anteriore rispetto a quelli determinati, in quanto in questi casi l'apparato radicale risultava ancora in buono stato, la zolla di terra ancorata alle radici era ben distinta e sul fusto era presente la corteccia.

Il volume delle buche generate in seguito ai processi di ribaltamento è in media pari a 0,40 m<sup>3</sup>, comportando un movimento di terra pari a 6 m<sup>3</sup>.

**Tabella 17.** Caratteristiche descrittive delle ceppaie di ribaltamento distinte per specie.

	Piante	Origine	Fusti	n. poll/cepp	Diam. Medio (cm)	h. media (m)	Peso ceppaie (Kg)
Castagno	18	gamica	18	---	25,2	17,2	675
	23	agamica	50	2.2	24,3	16,8	905



Tabella 18. Tabella riassuntiva delle principali caratteristiche dei gruppi di ribaltamento presenti in Area 6.

N.	gruppo	Stato fitos.	Sp.	Orig.	N. poll.	D. Poll.	H	Peso cepp.	Direz. Caduta	Vol. Buca	Eros.	Pend.	età stimata	Anno di crollo
X05	A6_1	Vivo	Cs	C	2	28	16	1213	5	0,88	2	38	61	2005
X06	A6_1	Vivo	Cs	C	1	24	18	448	0	0,34	1	38	51	2001
X07	A6_1	Vivo	Cs	C	5	21	17	1611	355	0,60	2	38	60	2001
X08	A6_1	Vivo	Cs	C	3	25	20	1559	0	1,81	2	36	51	2001
X09	A6_1	Morto	Cs	S		23	17	252	355	0,07	1	36	59	
X10	A6_1	Morto	Cs	S		35	18	1087	0	0,54	2	36	64	
X11	A6_1	Morto	Cs	C	3	23	19	1465	0	0,34	3	36	51	
X12	A6_1	Vivo	Cs	C	1	35	14	975	5	0,39	2	35	57	2003
X13	A6_1	Vivo	Cs	C	1	24	14	370	355	0,22	2	35	53	2005
X14	A6_1	Vivo	Cs	C	2	27	16	1031	0	0,27	2	34	58	2002
X15	A6_1	Vivo	Cs	C	1	26	16	492	0	0,07	2	41	61	2003
X16	A6_1	Morto	Cs	C	2	18	16	457	0	0,13	2	37	57	
X17	A6_1	Vivo	Cs	C	1	32	17	841	355	0,07	3	41	48	2003
X18	A6_1	Morto	Cs	S		26	16	487	5	0,17	2	37	51	
X19	A6_1	Morto	Cs	S		27	16	526	5	0,13	2	37	50	
962	A6_2	Morto	Cs	S		26	17	516	0	0,22	0	32	49	
963	A6_2	Vivo	Cs	C	2	22	20	925	10	0,35	1	32	50	2002
964	A6_2	Vivo	Cs	C	3	24	13	1123	5	0,85	1	33	50	2005
965	A6_2	Vivo	Cs	S		24	14	371	80	0,63	1	40	50	2004
1552	A6_2	Morto	Cs	S		15	12	114	280	0,17	1	25	37	
1553	A6_2	Vivo	Cs	S		30	15	659	300	0,28	1	25	41	1997
1554	A6_2	Morto	Cs	C	2	25	16	863	300	0,30	2	27	33	
1555	A6_2	Vivo	Cs	S		28	18	640	310	0,40	1	35	44	2005
1557	A6_2	Morto	Cs	C	3	21	20	1104	0	0,65	1	29	39	
1558	A6_2	Morto	Cs	S		33	18	945	350	0,41	0	31	23	
1559	A6_2	Vivo	Cs	C	2	24	15	924	350	0,57	1	33	41	2003
1560	A6_2	Vivo	Cs	C	2	21	16	604	30	1,13	1	34	42	2004
X25	A6_2	Morto	Cs	C	2	25	18	1170	350	0,23	1	31	---	
968	A6_3	Vivo	Cs	S		19	19	1154	350	0,57	2	45	48	2001
969	A6_3	Morto	Cs	S		18	18	383	70	0,07	1	45	41	
970	A6_3	Morto	Cs	S		18	18	1565	290	0,23	1	45	40	
1545	A6_3	Morto	Cs	S		39	21	1588	350	0,17	1	35	50	
1546	A6_3	Morto	Cs	C	2	24	12	634	270	0,11	1	35	34	
1547	A6_3	Morto	Cs	S		27	10	400	320	0,29	1	35	40	
1548	A6_3	Vivo	Cs	C	2	24	22	1099	0	0,20	3	35	46	2004
1550	A6_4	Morto	Cs	C	3	17	12	435	300	0,18	1	43	45	
1551	A6_4	Vivo	Cs	C	2	23	18	778	350	0,07	1	48	47	1999
966	A6_5	Vivo	Cs	C	3	25	22	707	350	0,87	1	32	---	2005
967	A6_5	Morto	Cs	S		22	22	692	354	0,21	1	41	48	
1549	A6_6	Morto	Cs	S		21	25	433	15	0,05	1	37	47	
1556	A6_7	Vivo	Cs	S		23	15	353	0	0,27	1	37	44	



Figura 27. Ceppaia di ribaltamento del Gruppo A6\_1 e, a destra, schema descrittivo.



Figura 28. Esempio di spaccatura del piano delle chiome che si instaura in seguito al processo di schianto.

Il crollo del gruppo di ribaltamento A6\_2, avvenuto in posizione piuttosto centrale rispetto all'area di studio e in giacitura di medio versante, interessa nel complesso tredici esemplari tutti di castagno. Sette di questi al momento del rilievo risultavano ancora vivi, mentre i restanti sei erano morti.

Come descritto in **Tabella 18**, si tratta di sei individui a fusto singolo (nati da seme o affrancati) e di sette ceppaie, formate complessivamente da 16 polloni e mediamente da 2,3. Le altezze sono piuttosto eterogenee, variando dai 12 ai 20 m con una media pari a 16,9 m per la porzione agamica e 15,7 m per i fusti singoli. I polloni presentano diametri medi di circa 23,1 cm per il ceduo e 26,0 cm per i fusti singoli. L'età delle piante crollate, per le quali è stato possibile effettuare una datazione, è notevolmente oltre il turno classico, in media 42 anni con estremi compresi tra i 23 e i 50 anni.

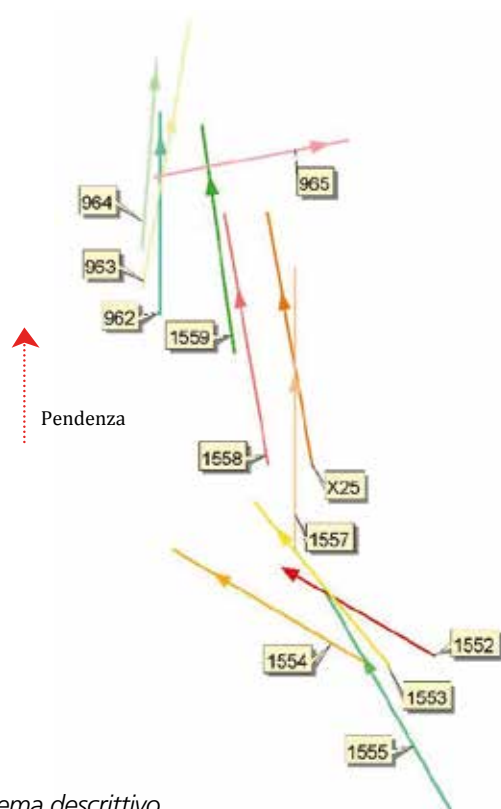
Il livello di erosione a livello di singola ceppaia risulta sempre piuttosto contenuto o addirittura assente. Essendo la dinamica tuttora in atto, la superficie esposta ai processi erosivi è in espansione interessando anche le piante confinanti il crollo e comportando, come diretta conseguenza, il possibile loro scalzamento. Come evidenziato in **Tabella 18**, dagli esemplari vivi, grazie all'emissione dei rami epicormici, è stato possibile risalire all'anno di ribaltamento. Il fenomeno è tuttora attivo e coinvolge in media meno di due nuove ceppaie l'anno.

Per gli esemplari morti, è plausibile ipotizzare un anno di crollo non troppo anteriore rispetto a quelli determinati, in quanto in questi casi l'apparato radicale risultava ancora in buono stato, la zolla di





Figura 29. Ceppaia di ribaltamento del Gruppo A6\_2 e, a destra, schema descrittivo.



terra ancorata alle radici era ben distinta e sul fusto era presente la corteccia.

Il volume delle buche generate in seguito ai processi di ribaltamento è in media pari a  $0,48 \text{ m}^3$ , comportando un movimento di terra pari a  $6,2 \text{ m}^3$ .

Il gruppo A6\_3 è composto da sette individui ribaltati, ed è localizzato in posizione di medio versante, nel settore centro meridionale rispetto l'area di studio.

Gli esemplari sono tutti di castagno, cinque dei quali risultano morti al momento del rilievo.

Il contributo a ceduo è dato solamente da due ceppaie composte in totale da quattro polloni (in media due polloni per ceppaia).

Le altezze variano dai 10 ai 21 m ma con una media totale pari a 17,1 m, e che poco si discosta, considerando solamente la parte a ceduo o quella ad alto fusto.

Le piante presentano diametri medi del tutto simili, di circa 24 cm per il ceduo e 24,2 cm per i fusti singoli. L'età stimata delle piante crollate, è compresa tra valori minimi di 34 anni e massimi di 50 con una media pari a 43 anni.

Il grado di erosione a livello di singola ceppaia risulta sempre piuttosto contenuto nel caso di ceppaie morte, mentre più elevato nei due casi di ceppaie ancora in vita.

Essendo quasi tutte le piante già morte al momento del rilievo è stato possibile stimare l'anno di crollo solamente per le due piante vive, le quali come evidenziato dalla **Tabella 18** sono crollate in due momenti differenti e distanti tra loro di tre anni.

In questo caso diventa difficile ipotizzare una velocità di avanzamento del fenomeno.

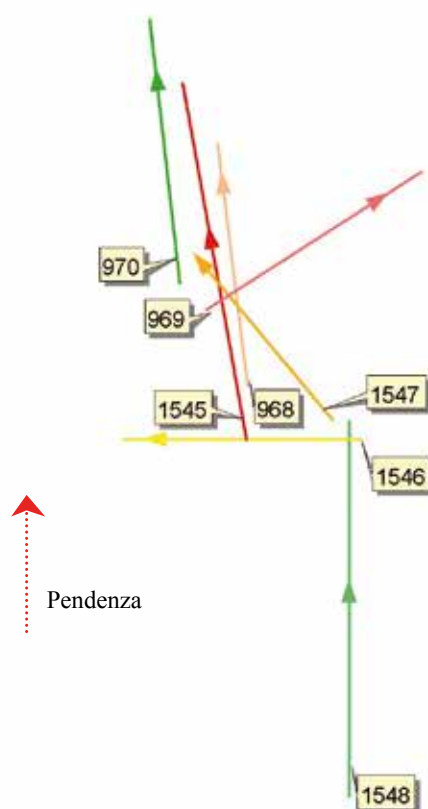


Figura 30. Schema descrittivo della ceppaia di ribaltamento del Gruppo A6\_3.

Per gli esemplari morti, è plausibile supporre un anno di crollo non troppo anteriore rispetto a quelli determinati, in quanto in questi casi l'apparato radicale risultava ancora in buono stato, la zolla di terra ancorata alle radici era ben distinta e sul fusto era presente la corteccia.

Il volume delle buche generate in seguito ai processi di ribaltamento è in media pari a  $0,24 \text{ m}^3$ , comportando un movimento di terra pari a  $1,65 \text{ m}^3$ .

Questo valore non tiene conto del processo di erosione che sta coinvolgendo le zone limitrofe allo schianto.

### 3.2.2.7 AREA 7

Durante la campagna di rilievo quest'area è stata in un primo tempo identificata ma successivamente, preso atto dei dati via via acquisiti, è stata ritenuta non significativa ai fini della ricerca, per le evidenti anomalie rispetto alle altre aree considerate. Essenzialmente hanno concorso a considerarla anomala i seguenti fattori:

- i danni al soprassuolo e la conseguente abbondante presenza di tronchi a terra sono l'esito di danni da incendio e non di un degrado biologico progressivo
- il terreno non risulta impostato su una potente copertura detritica (d'origine morenica, o fluvio-glaciale o da detrito di versante) risultando invece molto superficiale ed impostato su un affioramento roccioso sedimentario con andamento a franapoggio con pendenze medie superiori a  $35^\circ$  circa.

I due fattori, valutati congiuntamente, non permettono di discriminare le cause dei singoli fenomeni di schianto e pertanto in sede di elaborazione delle conclusioni i dati desumibili per l'Area 7 non sono stati considerati probatori nel campo di validità della ricerca.

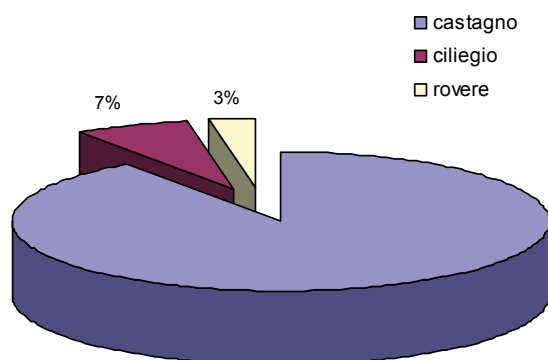


Figura 31. Composizione specifica complessiva delle sette aree analizzate.

## 3.3 ANALISI COMPLESSIVA DEI FENOMENI DI RIBALTAMENTO

Complessivamente all'interno delle sette aree analizzate sono state rilevate e misurate 73 casi di crollo. Di queste il 90% sono rappresentati da castagno, mentre la restante percentuale è composta da esemplari di ciliegio (7%) e rovere (3%). Non sono stati rilevati casi di ribaltamento attribuibili a specie differenti quali ad esempio faggio, frassino e robinia, nonostante queste in alcune aree rappresentino una percentuale nella composizione specifica del popolamento anche rilevante (Figura 31).

Il 60% della casistica riguarda piante con origine agamica, mentre il 40% deriva da vecchi polloni affrancati o di origine gamica. Le percentuali delle singole aree sono riportate in Figura 32.

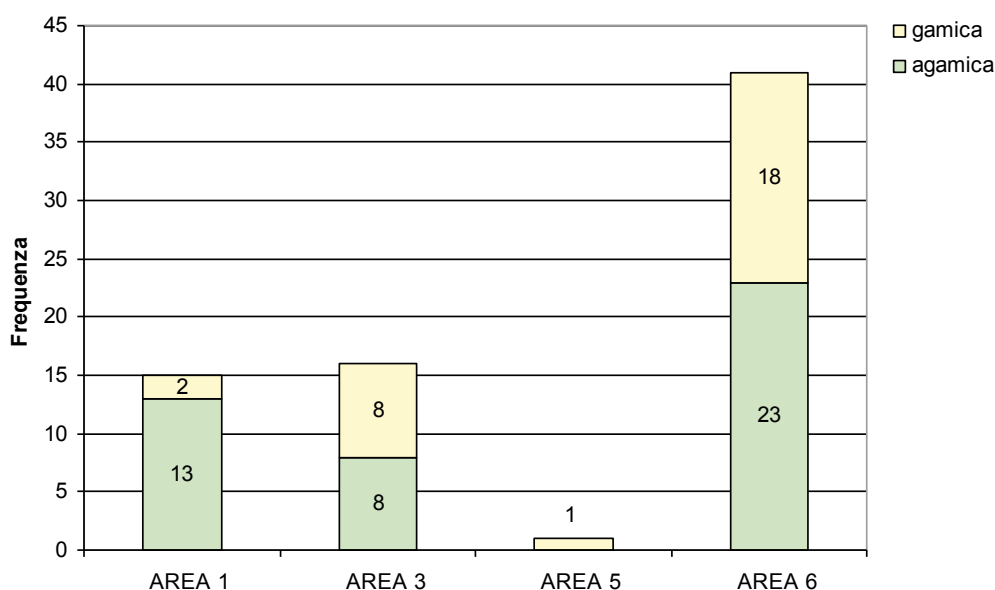


Figura 32. Origine dei crolli.





Figura 33. Ceppaia n. 6836 ribaltata in una situazione di assenza di suolo.

Escludendo la ceppaia identificata con il numero 6836 (Figura 33), ribaltata nell'Area 5, in quanto cresciuta su roccia calcarea affiorante, quindi in condizioni di assenza di suolo in cui trovare l'ancoraggio per l'apparato radicale, l'intero campione è distribuito solamente in tre delle sette aree analizzate.

Il 56% del campione, equivalente a 41 casi di crollo, è localizzato nell'Area 6, segue poi l'Area 3 (22%) e l'area 1 (21%) con un numero di casi pressoché equivalenti, rispettivamente 16 e 15 casi Figura 34.

Sul totale delle 73 ceppaie ribaltate osservate, il 41%, benché a terra in posizione orizzontale, non era ancora morto ed aveva tentato di reagire con una emissione di rami (polloni) epicormici.

Dalla datazione di questi si è potuto risalire ad una cronologia parziale degli eventi. Questa operazione non è stata possibile sulle ceppaie morte in quanto l'inizio di fenomeni di marcescenza nell'alburno ha impedito la lettura degli ultimi anelli.

Dai dati ottenuti si evince che i crolli si sono verificati a partire dagli ultimi 15 anni ed in particolare nell'area A1 quando in questa il ceduo aveva un'età di circa 37 anni (1997), nell'area A3 circa 45-50 anni (2001) e nell'area A6 circa 40 anni (1997).

Il ribaltamento delle ceppaie non è stato un evento unico ma diluito nel tempo e che sta continuando tuttora come dimostrato dalla campagna di raccolta dati in due fasi 2005 e 2006, nel corso della quale si sono schiantate altre ceppaie (4).

Probabilmente il fenomeno viene favorito dall'apertura di buche nel bosco (schianti iniziali) che rendono fortemente instabili agli eventi atmosferici le ceppaie che vengono a trovarsi ai bordi della buca stessa.

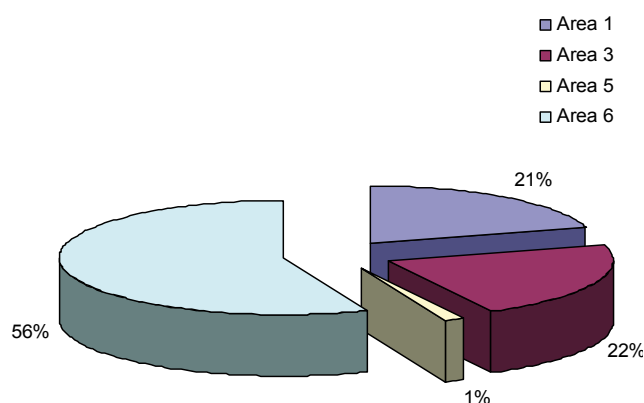


Figura 34. Distribuzione dei ribaltamenti.

### 3.3.1 Confronto tra piante ribaltate e piante in piedi del popolamento circostante

Le piante ribaltate sono tutte localizzate in una posizione di impluvio. Tuttavia, mentre perché ricorra la presenza degli schianti è molto importante la pendenza generale del versante, la pendenza puntuale non sembra essere un elemento discriminante; infatti nel punto in cui le ceppaie si trovano ribaltate le pendenze non si discostano da quelle medie del versante. Nelle tre aree con presenza di ribaltamenti la situazione risulta essere la seguente:

	ribaltate	popolamento
A1	32,6°	34°
A3	42,7°	40°
A6	35,6°	36°

Dal punto di vista delle dimensioni delle ceppaie vengono presi in considerazione tre fattori:

- numero di polloni per ceppaia
- diametro
- altezza medi dei polloni

In realtà, il confronto dovrebbe essere realizzato solo sulla prima ceppaia crollata di ogni gruppo di ribaltamenti, perché dopo il primo si innesca una sorta di reazione a catena dovuta alla perdita di protezione laterale da parte delle ceppaie.

Il numero di polloni per ceppaia risulta:

	ribaltate	popolamento
A1	3	1,8
A3	1,9	2,1
A6	1,7	2,1

Si evince quindi che solo nell'area A1 il numero di polloni per ceppaia è superiore di circa un'unità rispetto alle ceppaie circostanti, nelle altre due aree questo dato è addirittura inferiore.

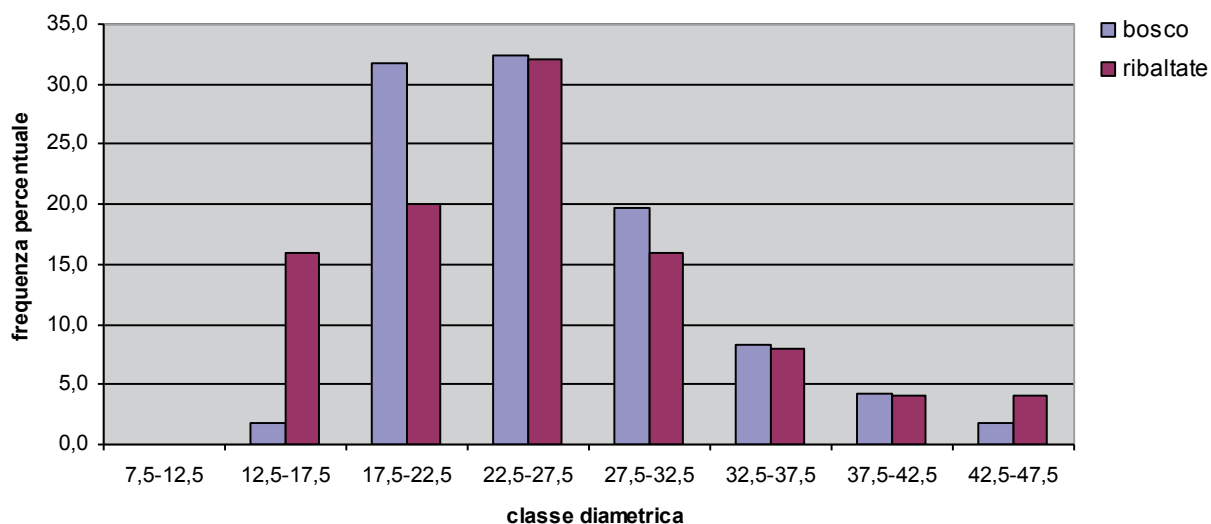


Figura 35. Grafico della distribuzione diametrica dei fusti nell'Area 6.

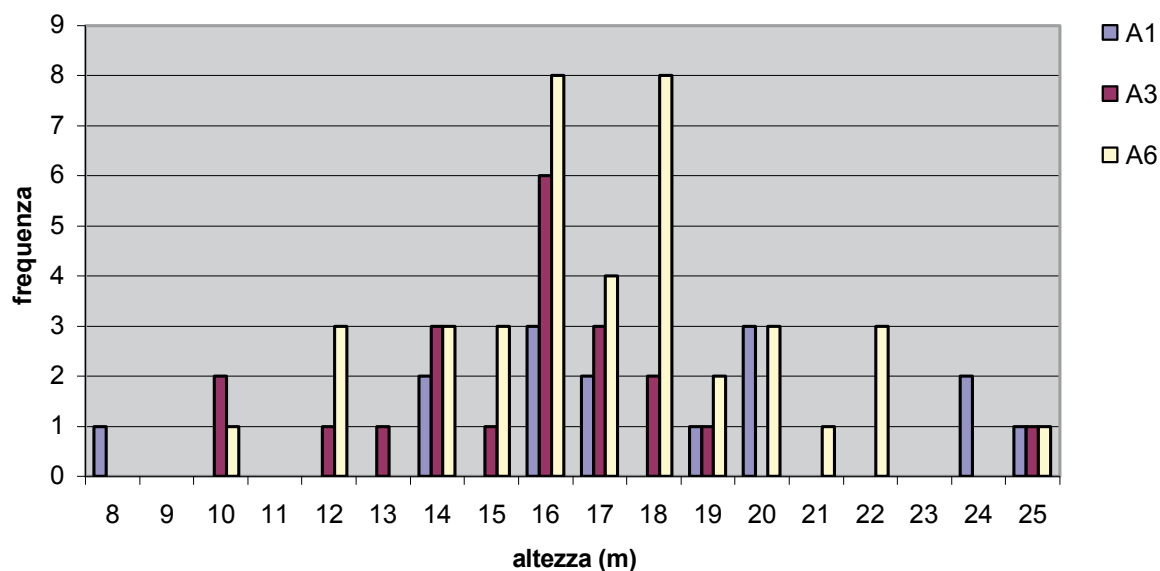


Figura 36. Distribuzione delle altezze delle ceppaie ribaltate.

La distribuzione dei diametri dei polloni delle ceppaie ribaltate rispecchia fedelmente quella del popolamento circostante, senza avere picchi particolari nelle classi diametriche minori (ceppaie perdenti la competizione) o in quelle maggiori (ceppaie dominanti e quindi più pesanti), affermazione giustificata dal fatto che a seconda della posizione sociale della ceppaia di castagno, di norma i polloni di una stessa ceppaia hanno dimensioni simili.

A titolo di esempio si riporta in **Figura 35** il grafico della distribuzione diametrica con frequenze percentuali dell'area A6 (quella con più schianti). Nelle due altre aree la situazione è assolutamente assimilabile.

L'altezza dei polloni delle ceppaie schiantate in due aree (A1 e A3) su tre risulta superiore all'altezza media del popolamento, ma comunque inferiore all'altezza dominante, che definisce il limite del piano delle chiome. Anche l'altezza non sembra quindi essere un parametro particolarmente legato alla comparsa dello schianto, come è possibile osservare anche dalla distribuzione delle frequenze delle altezze dei polloni delle ceppaie schiantate (Figura 36).

Questa indicazioni contrasta con quanto osservato da Vogt et al (2006) in un lavoro realizzato in Canton Ticino.

	Ribaltate (m)	Pop. altezza media (m)	Pop. altezza dominante (m)
A1	18	16	22
A3	15,75	14,5	19
A6	16,97	17,5	22

La superficie media delle buche lasciate dal ribaltamento delle ceppaie è stata calcolata assimilandone la forma ad una ellisse, i cui assi sono stati misurati l'uno sulla curva di livello e l'altro sulla linea di massima pendenza. Allo stesso modo è stata calcolata la superficie di incidenza delle ceppaie, considerando come bordi i lati esterni dei polloni in concomitanza delle due direzioni sopra descritte.

La dimensione delle buche ha una superficie media di 1,61 m<sup>2</sup> e due assi di rispettivamente 1,2 m (curva di livello) e 1,3 m (massima pendenza). La dimensione media delle ceppaie è invece assimilabile ad un cerchio di 0,86 m<sup>2</sup> di superficie e diametro di 0,80 m. Questi valori si traducono in una "corona" di suolo portata via nell'azione di ribaltamento di appena all'incirca 25 cm. Se a questi valori di superficie aggiungiamo una profondità media massima raggiunta nella buca di circa 0,60 m, si può dedurre che l'apparato radicale di questi alberi al momento dello schianto doveva essere piuttosto ridotto, almeno nella sua resistenza meccanica.

### 3.4

## DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Dall'analisi dei parametri rilevati e delle elaborazioni esposte nella presente ricerca emerge che:

**I ribaltamenti rilevati presentano in generale sempre i seguenti elementi caratteristici:**

- sono concentrati nei tratti di bosco a pendenza superiore a circa 30°, valore assai prossimo a quello di natural declivio<sup>7</sup>, escluse sovrastabilizzazioni di diversa origine, dei materiali sciolti tipici dell'area
- l'insorgenza dei fenomeni, a tali condizioni di pendenza appare logica; trattandosi in generale di condizione "limite"<sup>8</sup>, ma di per sé non critiche in quanto spesso compensate da fenomeni di sovrastabilizzazione di varia natura, è ragionevole aspettarsi che in tali condizioni il semplice peggioramento dei parametri stabilizzanti attribuiti al bosco (cioè il peso sul versante, la formazione di falda in condizioni meno estreme, la diminuzione della sovrastabilizzazione legata all'apparato radicale) determini l'innescio di fenomeni gravitativi ancorché per lo più puntuali e superficiali
- si tratta sempre di cedui invecchiati, per lo più di età largamente superiore sia al turno di norma (Regolamento Forestale Regionale) sia a quello consuetudinario (15-20 anni) sia a quello suggerito nella pianificazione in corso di redazione (24 anni)
- l'età alla quale si registrano i primi casi di ribaltamento è pari a circa 30 anni ma l'età nella quale si manifesta un significativo incremento del fenomeno è di ca 35 anni
- nei popolamenti giovani presenti nell'areale di studio, peraltro a priori esclusi dalla ricerca proprio per la sua finalità intrinseca, non sono stati osservati i fenomeni analizzati

**Una valutazione puntuale sulle singole ceppaie ribaltate permette di affermare che:**

- non sono necessariamente localizzate in condizioni di pendenza puntuale diversa da quella media del versante nel tratto considerato e pertanto si deve ritenere che il fenomeno di schianto sia potenzialmente estendibile a tutto il territorio di pari caratteristiche medie
- i caratteri dendrometrici delle ceppaie ribaltate non differiscono da quelli del popolamento che le circonda
- il fenomeno tende a concentrarsi negli impluvi e nelle linee di drenaggio superficiale
- il fenomeno si verifica coinvolgendo quasi sempre più ceppaie per cui vengono a crearsi dei gruppi di ribaltamento con conseguenti aperture nelle chiome ed esposizione delle superficie denudate a fenomeni erosivi

<sup>7</sup> Ai fini della presente ricerca, che non intende sviluppare valutazioni geotecniche valide puntualmente bensì valutazioni valide a fini gestionali di area vasta, l'indicazione della soglia di 30° non può essere categorica ma solo indicativa.

<sup>8</sup> Valgono le precisazioni fatte alla nota 7.

- il processo di ribaltamento ha avuto inizio circa 10 anni fa in quanto non sono presenti vecchie ceppaie ribaltate. Questo avvalorava ulteriormente l'ipotesi che il fenomeno sia legato all'invecchiamento del ceduo cui conseguono i seguenti fenomeni:
  - aumento del peso gravante sul versante;
  - minor efficacia idrologica di emungimento dell'acqua dal suolo, indirettamente coerente con l'evidente appiattimento della curva ipsometrica tipico dei popolamenti invecchiati e caratterizzati da ridotto accrescimento;
  - minor resistenza meccanica delle radici con diminuzione conseguente della coesione apparente del sistema suolo-radici.
- la zolla di terra messa in luce dal ribaltamento è in genere di dimensioni contenute rispetto alle dimensioni delle ceppaie; la rottura delle radici interessa cioè zone relativamente vicine alla ceppaia indipendentemente dalla dimensione di questa. Ne deriva che si possa ipotizzare uno stato generalizzato di sofferenza degli apparati radicali che determina le condizioni di rottura dovute all'età ed alla competizione all'interno del popolamento. Se questo fosse vero, la ragione principale dell'instabilità delle ceppaie di castagno sui substrati sciolti ad elevate pendenze, potrebbe essere dovuta non solo alle dimensioni ed al peso raggiunti, ma in larga parte alla progressiva riduzione della massa radicale in seguito a fattori non noti ma ragionevolmente connessi alla competizione ipogea
- l'elevata quantità di necromassa combustibile a terra, dovuta essenzialmente a fenomeni di competizione, provoca un elevato rischio d'incendio che in caso di passaggio causa un'ulteriore indebolimento degli apparati radicali
- durante la campagna di rilievo si sono evidenziati nuovi schianti sulle medesime aree rilevate all'inizio; il fenomeno è pertanto tutt'ora in corso e in progressiva estensione.

## 3.5 CONCLUSIONI

Nello spirito della ricerca, vengono offerte nel seguito alcune indicazioni operative di tipo gestionale che possono risultare di particolare utilità ai fini pianificatori forestali e non. Chiaramente la validità della ricerca e delle conseguenti indicazioni gestionali è riferita a condizioni simili a quelle del contesto analizzato.

### 3.5.1 Sintesi dei fenomeni

1. Lasciando invecchiare il ceduo, si provoca l'instaurarsi di dinamiche evolutive del popolamento che portano, oltre all'aumento del volume delle ceppaie e alla presumibile diminuzione del potere ancorante dell'apparato radicale, ad una drastica competizione sia per lo spazio epigeo che per quello ipogeo. Tale competizione tende ad indebolire le ceppaie il cui numero diminuisce nel tempo senza che necessariamente queste muoiano in piedi; eventi esterni possono infatti innescare lo schianto di alcune di queste, sofferenti o già morte, attivando di conseguenza un fenomeno a catena. In un sistema naturale, tale collasso sarebbe prodromico ad una nuova generazione boschiva passando tuttavia necessariamente attraverso una fase caratterizzata da dissesti diffusi e conseguenti erosioni. Tali accadimenti, del tutto accettabili in un contesto naturale, diventano fonte di rischio nelle condizioni di forte urbanizzazione che caratterizzano i nostri territori.
2. Questa fase di debolezza intrinseca del ceduo di castagno si rende evidente nel nostro caso di studio a partire dall'età di circa 35 anni; prima di tale età, che si deve intendere indicativa, anche con pendenza elevate sia il sistema bosco sia il sistema chioma-fusto-radici-terreno appaiono stabili.
3. La soglia d'innescio dei fenomeni, evidenziata dalla ricerca in circa 35 anni, può essere in via di principio correlata anche a parametri dimensionali, per esempio il diametro medio. Ritenendo tuttavia che l'origine del deperimento sia per lo più dovuta a stress biologico a sua volta probabilmente legato agli elevati incrementi di massa indotti da una stazione particolarmente fertile (umidità elevate, terreni profondi e freschi), si è ritenuto che il parametro dell'età risulti maggiormente significativo anche in considerazione del fatto che il diametro medio è notoriamente influenzato dalla gestione silviculturale.
4. Fermo restando la soglia di pendenza indicata (circa 30°) e le condizioni d'invecchiamento del ceduo di castagno (> 35 anni), il fatto che il fenomeno dei crolli si inneschi, e che la dinamica non tenda ad arrestarsi ma progredisca nel tempo e nello spazio con continuità e contiguità, fa ipotizzare, in assenza di interventi coerenti e tempestivi, un progressivo crollo/collasso di tali popolamenti.



Questo indipendentemente dai caratteri puntuali relativi alla ceppaia (parametri dimensionali) ed alla tipografia locale (pendenza). Tale fenomeno, interessando ampie superficie (il castagno occupa infatti intere fasce altimetriche pedemontane) soprattutto in zona prealpina non di rado già particolarmente suscettibili a fenomeni dissestivi, può essere nel tempo particolarmente grave in particolare per la possibile occorrenza dei seguenti fenomeni connessi:

- a) Trasporto a valle di tronchi ed occlusione delle aste con conseguenti fenomeni di dam-break
- b) Aumento del rischio d'incendio
- c) Aumento dei fenomeni di erosione superficiale e di trasporto solido nelle aste sottese.

### 3.5.2 Indicazioni gestionali

Nelle condizioni indagate, e pertanto senza presunzione di validità al di fuori di tale contesto, si ritiene opportuno dare le seguenti indicazioni operative:

1. Nelle condizioni di studio, la ceduzione condotta entro i 30 anni offre garanzie che il versante non venga sovraccaricato, che l'emungimento di acqua dal suolo, connesso alla produzione di tessuti legnosi, sia particolarmente elevato (con ciò evitando la formazione di falda) e che, come dimostrano alcuni altri studi citati in bibliografia (Aymard e Fredon, 1986), consenta la rigenerazione ex novo di un corredo radicale nell'arco di circa 8-10 anni evitandone così il progressivo degrado.
2. Anche in presenza di piante già ribaltate, la ceduzione, purché avvenga quando la ceppaia risulta ancora parzialmente ancorata al terreno, permette la generazione di un nuovo individuo e di conseguenza la formazione di un nuovo apparato radicale. La ceduzione è pertanto in genere utile e consigliabile anche qualora i ribaltamenti siano già iniziati a condizione che le ceppaie presentino ancora porzioni radicali ancorate al terreno e vitali.
3. In sede di pianificazione di area vasta (PIF) le aree individuate sulla base della intersezione di una carta clivometrica (con soglia critica a 30°), di una carta geolitologica (con individuazione dei terreni a debole coesione, per lo più d'origine fluvioglaciale), e di una carta per tipi forestali, categoria dei castagneti, possono essere inquadrare come formazioni di protezione in particolare se collocate su versanti direttamente afferenti alle aste torrentizie e se tali bacini siano suscettibili, applicando le opportune formule a tale fine elaborate, di trasporti di massa (debris-flow).
4. In sede pianificatoria esecutiva, per esempio i piani semplificati di assestamento forestale, la scansione temporale degli interventi dovrà tenere conto dell'età dei popolamenti che, a parità di altri fattori, diverrà il parametro principale.

### 3.5.3 Note conclusive

La metodica applicata nel presente lavoro non permette di comprendere la causa originale del repentino deperimento e collasso dei cedui di castagno. Come tale è ancora una ricerca che, riferendoci agli assunti del metodo scientifico, sistematizza la fase di "osservazione" del fenomeno piuttosto che dimostrarne l'origine. E' pertanto auspicabile che, accanto alla ripetizione dell'indagine in altri contesti, venga prevista una seconda fase di approfondimenti dei fattori causali.

In sede puramente ipotetica si può ritenere che, fra le cause da ricercare che giustificano l'innescio del fenomeno indagato, ci possano essere uno o più dei seguenti fenomeni:

- stress biologico connesso all'intensità di crescita con eventuale insorgenza di marcescenza radicale di origine patogena secondaria (patogeni di debolezza)
- eccessiva competizione ipogea
- sviluppo di fenomeni allelopatici

Va poi osservato come il fenomeno del collasso analizzato sia certamente attribuibile anche ad altre formazioni e particolarmente ai robinieti che, diversamente dal ceduo di castagno, interessano aree a quote in genere inferiori ma spesso in fianco ad insediamenti civili e su substrati altrettanto o forse maggiormente fragili (lenti argillose, terreni sabbio-limosi etc.).

La ricerca è metodologicamente in tal senso facilmente esportabile anche a tali contesti e permetterebbe di pervenire ad un analogo risultato pratico, utile in sede pianificatoria e gestionale, nell'ipotizzare gli interventi selvicolturali in aree inopportuno spesso considerate a priori stabili in quanto boscate.

Lo sforzo fatto è certamente elevato ma potrebbe sortire ancora migliori risultati se le aree campione impiegate venissero mantenute adeguatamente monitorate al fine di verificare la dinamica prossima futura di tali popolamenti dei quali ormai si dispone di un enorme set di dati.

Infine, essendo a conoscenza di ricerche simili anche in contesti a noi prossimi, Svizzera per esempio, si suggerisce di sviluppare un'azione di confronto fra i risultati ottenuti che sia utile al fine di disporre di ulteriori conferme (o smentite) sul fenomeno e sulle sue dinamiche oltre che individuare le più opportune linee di azione preventiva.

Infine, essendo a conoscenza di ricerche simili anche in contesti a noi prossimi, Svizzera per esempio, si suggerisce di sviluppare un'azione di confronto fra i risultati ottenuti che sia utile al fine di disporre di ulteriori conferme (o smentite) sul fenomeno e sulle sue dinamiche oltre che individuare le più opportune linee di azione preventiva.





*Esempio di ceduo di castagno abbandonato in Val Maggiore*



## 4.1 INTRODUZIONE

La funzione protettiva del bosco nei confronti della stabilità dei versanti si esercita attraverso una serie d'effetti sui processi idrologici e sulle caratteristiche meccaniche del terreno (**Figura 37**).

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici, com'è noto, in ambito forestale, i versanti sono caratterizzati da un'elevata permeabilità del suolo e tendono ad infiltrare gran parte della precipitazione. In situazioni d'elevata pendenza si genera così deflusso sub-superficiale verso la base del versante e nelle zone di concavità, che risultano così più facilmente saturate e suscettibili al franamento.

L'elevato contenuto idrico del suolo che caratterizza l'innescò di questo tipo di fenomeni e la loro vicinanza con gli impluvi, inoltre, ne determina spesso l'evoluzione in colata. Occorre però tener conto del fatto che la presenza di vegetazione determina anche una riduzione del contenuto idrico del suolo dovuta all'effetto di suzione delle radici, a sua volta legato all'evapotraspirazione. La maggiore capacità d'infiltrazione, inoltre, riduce l'entità del deflusso superficiale da cui dipende l'erosione del suolo e, di conseguenza, la quantità di materiale granulare che si accumula negli impluvi.

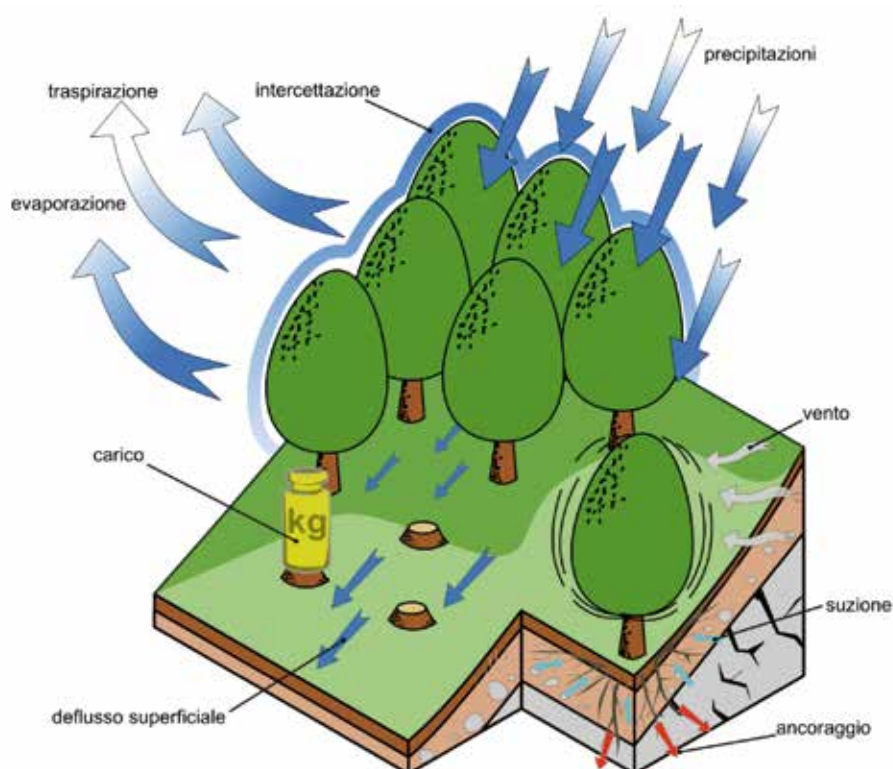
Dal punto di vista meccanico gli apparati radicali esercitano un'importante azione di rinforzo dei versanti,

che determina un aumento delle forze di resistenza al taglio (Bischetti et al., 2009); in determinate condizioni, inoltre, le piante possono esercitare un effetto "arco" di rinforzo e di sostegno (Coppin e Richards, 1990), ma anche di potenziale sovraccarico (specialmente in occasione di abbondanti nevicate).

L'azione di protezione del bosco nei confronti di franamento e colate è quindi essenzialmente legata alla presenza dell'apparato radicale, la cui densità rappresenta un fattore essenziale. Densità che raggiunge i valori massimi in boschi molto densi, pluristratificati su piccole superfici (massima colonizzazione del suolo da parte delle radici sia in senso verticale che orizzontale) e con distribuzione degli alberi omogenea (assenza di aperture).

Al contrario, lo sradicamento degli alberi o il loro scarso vigore, determinano uno scarso rinforzo meccanico e l'infiltrazione dell'acqua negli strati profondi attraverso vie preferenziali, con la conseguente predisposizione agli scivolamenti.

Mentre, in linea di principio, l'azione di protezione del bosco nei confronti dei franamenti superficiali (indicativamente con profondità inferiori a 2 m) è, come detto, chiara e nota da tempo la sua quantificazione è invece un aspetto che comporta notevoli difficoltà. In genere gli effetti sul contenuto di umidità del suolo, pur potendo determinare aumenti di coesione apparente molto elevati, vengono trascurati a causa dell'aleatorietà di tale effetto, che spesso viene a mancare



**Figura 37.** Ruolo della vegetazione nella stabilità dei versanti: la vegetazione influisce su diversi processi sia idrologici che meccanici.

proprio in occasione degli eventi che determinano il collasso del versante (Coppin e Richards, 1990).

Limitandosi agli aspetti meccanici, l'azione delle radici può essere distinta in due grandi categorie. La prima è quella dovuta alle radici piccole e flessibili che tendono a seguire la deformazione del terreno sottoposto alle forze di taglio e che mettono in gioco la loro resistenza a trazione; la seconda è quella delle radici di grandi dimensioni, meno flessibili, che intersecano la superficie di scivolamento e che agiscono da tiranti singoli senza mobilitare la loro resistenza a trazione, che supera quella d'attrito radice-terreno.

Entrambe queste azioni possono essere valutate attraverso modelli relativamente semplici (si veda ad esempio Coppin e Richards, 1990), ma al momento solamente il primo effetto viene preso in considerazione a causa della carenza di informazioni riguardo ai parametri in gioco. In particolare, l'azione delle radici più sottili che permeano il terreno (che sono anche le più numerose) può essere espressa in termini di coesione aggiuntiva, ed in questo modo essere inclusa nei modelli comunemente disponibili per la valutazione della stabilità dei versanti (Schmidt et al. 2001; Roering et al. 2003; Sidle e Ochiai 2006).

I valori di coesione radicale possono essere determinati con prove di taglio diretto in campo oppure in laboratorio; i risultati ottenuti mostrano valori che variano tra pochi kPa e alcune decine di kPa che rappresentano valori in grado di garantire la stabilità di un versante, soprattutto nei terreni non coesivi. La variabilità dei risultati ottenuti deve essere valutata alla luce del piano cui si riferiscono le prove effettuate (basale o laterale), del valore della densità di radicazione corrispondente e dei diametri delle radici considerati nelle diverse sperimentazioni.

Per la stima della coesione radicale aggiuntiva può essere utilizzata anche la metodologia della "back analysis", che determina il valore della coesione con un'analisi a ritroso di frane avvenute in contesti forestali. L'utilizzo di questa tecnica conduce generalmente a valori di coesione inferiori a quelli determinabili con le prove di taglio.

I valori così ottenuti e riportati in letteratura consentono di avere un campo di valori entro cui ci si attende varino i valori di coesione radicale per le diverse specie, ma spesso non tengono conto dell'effettiva densità delle radici alle diverse profondità e nei diversi contesti. Inoltre, i dati disponibili si riferiscono quasi sempre a specie esotiche e contesti differenti da quello d'interesse.

Un ultimo metodo per valutare la coesione radicale, infine, consiste nell'applicazione dei modelli di rinforzo, che permettono di utilizzare un approccio di carattere generale che meglio si presta anche all'interpretazione della variabilità spaziale della coesione e a definire le conseguenze di scenari di differenti tipologie di soprassuolo.

Diversamente dalle prove di taglio e dall'analisi a ritroso, infatti, i modelli di rinforzo rappresentano uno

strumento adeguato a descrivere la variabilità spaziale della coesione aggiuntiva dovuta alla presenza delle radici nel terreno. Essi, inoltre, permettono di valutare il rinforzo in funzione della profondità del piano di taglio. Diversi autori (Schmidt et al., 2001; Bischetti et al. 2002, Schwarz et al., 2010) mettono però in luce la tendenza generalizzata dei modelli a sovrastimare i valori di coesione radicale a causa dell'ipotesi di considerare la rottura contemporanea di tutte le radici presenti sulla superficie di taglio; recenti proposte, hanno tuttavia introdotto modalità più realistiche del processo di rottura (Pollen e Simon, 2005; Bischetti et al., 2009).

Negli ultimi anni sono state condotte diverse ricerche per colmare questa lacuna in ambito europeo ed alpino in particolare (si veda Bischetti et al., 2009) e la DG Agricoltura della Regione Lombardia ha finanziato un progetto per la caratterizzazione delle principali categorie forestali presenti sul territorio lombardo in tale senso (il progetto SISIFO, Bischetti et al., 2010).

## 4.2 LA VERIFICA ALLA STABILITÀ DEI VERSANTI FORESTALI

### 4.2.1 Il pendio indefinito

Per poter studiare l'effetto che diverse tipologie di soprassuolo hanno sulla stabilità dei versanti, è possibile fare ricorso alla modellistica geotecnica. Nel caso di fenomeni di franamento superficiale in terreni non coesivi, è possibile usare il metodo del pendio indefinito che permette di calcolare il fattore di sicurezza, FS, di un generico versante.

Il fattore di sicurezza, come è noto, rappresenta il rapporto tra le forze stabilizzanti (al numeratore) e quelle destabilizzanti (al denominatore) tale che, se assume valori minori di 1, le prime sono inferiori alle seconde e il pendio collassa.

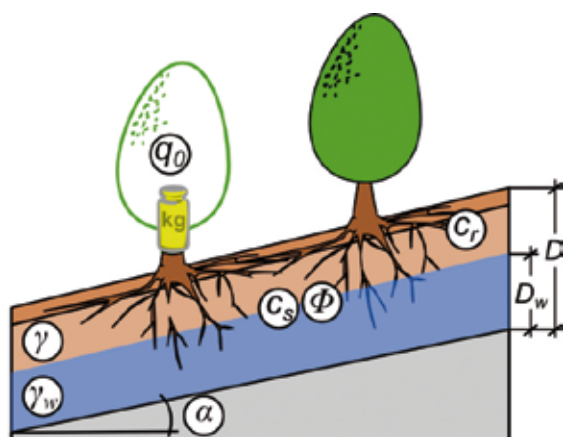
Nel caso di un pendio caratterizzato da vegetazione forestale, supposto per comodità infinitamente lungo (senza effetti di contorno) e con suolo omogeneo nelle caratteristiche per tutto lo spessore interessato da scivolamento (**Figura 38**), è possibile calcolare il fattore di sicurezza con la seguente espressione (Hammond et al., 1992):

$$FS = \frac{c_r + c_s + \cos^2 \alpha [q_0 + \gamma (D - D_w) + (\gamma_{sat} - \gamma_w) D_w] \tan \phi}{\sin \alpha \cos \alpha [q_0 + \gamma (D - D_w) \gamma_{sat} D_w]} \quad (3)$$

Dove  $\alpha$  è la pendenza del versante ( $^\circ$ ),  $D$  è lo spessore del suolo (m),  $D_w$  è l'altezza della falda (m),  $c_r$  è la coesione radicale ( $N/m^2$ ),  $q_0$  è il sovraccarico dato dagli alberi ( $N/m^2$ ),  $c_s$  è la coesione del suolo ( $N/m^2$ ),  $\phi$  è l'angolo di attrito interno ( $^\circ$ ),  $\gamma$  è la densità del suolo umido ( $kg/m^3$ ),  $\gamma_{sat}$  è la densità del suolo a saturazione ( $kg/m^3$ ),  $\gamma_w$  è la densità dell'acqua ( $kg/m^3$ ).



Mentre le variabili relative alle caratteristiche del suolo esistono già procedure affermate e standardizzate, per quanto riguarda l'apporto di coesione determinato dalla presenza di radici ("coesione radicale"), data la complessità del sistema e la variabilità ambientale riscontrabile in diverse condizioni, rappresenta un punto chiave nella stima della stabilità dei versanti forestati e pertanto meritevole di maggior dettaglio come di seguito riportato.



**Figura 38.** Schema grafico della teoria del pendio indefinito (tratto da Hammond et al., 1992).

### 4.2.2 Il contributo degli apparati radicali

Il suolo radicato può essere rappresentato da un intricato sistema di elementi cilindrici, linearmente elastici, che attraversano la superficie di taglio in direzione perpendicolare a essa e la cui presenza non influenza l'angolo di resistenza al taglio. Sotto tali ipotesi Wu (1976) e Waldron (1977) hanno sviluppato un modello di rinforzo che rappresenta uno dei primi tentativi formali di esprimere in maniera analitica il contributo degli apparati radicali alla stabilità dei pendii.

Il problema principale di questo modello è dato dalla sovrastima del rinforzo radicale, dovuta all'ipotesi che tutte le radici si rompano contemporaneamente e che quindi mobilitino contemporaneamente la loro massima resistenza a trazione. Le osservazioni sperimentali, al contrario, mostrano come le radici si rompano progressivamente a seconda della loro soglia di resistenza a trazione. Tale problema è stato superato applicando al metodo di calcolo del rinforzo radicale il Fibre Bundle Model, FBM (Pollen e Simon, 2005) che considera l'applicazione di un carico a un fascio di radici e la rottura progressiva di queste in funzione della loro resistenza a trazione massima.

Negli ultimi anni, tale approccio è stato largamente utilizzato per studiare la statica e la dinamica di mate-

riali sotto tensione (Hemmer et al., 2007, Kun et al., 2007; Raischel et al., 2008). L'approccio FBM originale considera un fascio di fibre parallele, caratterizzate da una distribuzione statistica delle resistenze a trazione, caricate parallelamente alla loro direzione. Le fibre si romperanno quando il carico loro applicato supererà la loro resistenza limite ed il carico verrà ridistribuito sulle fibre rimaste intatte. Tale ridistribuzione di carico provoca un'ulteriore rottura, il carico dovrà quindi essere ridistribuito, fino a che le fibre messe sotto sforzo dal carico non saranno in grado di resistere al carico e quindi il materiale crolla.

Uno dei punti cruciali di questo approccio risiede nel metodo utilizzato per ridistribuire il carico, e che può seguire due criteri. Da una parte una distribuzione "democratica" tra tutte le fibre intatte (Equal Load Sharing, ELS, o Global Load Sharing, GLS), la quale implica un campo infinito di interazioni e trascura che nei pressi del carico si ha un aumento delle tensioni; dall'altra una distribuzione localizzata del carico (Local Load Sharing, LLS), la quale implica una distribuzione del carico solo tra le fibre che si trovano vicino al carico.

Un secondo punto cruciale è dato dalla dinamica temporale delle fibre sottoposte al carico, che può essere trattata in modo statico, cioè la resistenza delle fibre rimane inalterata nel tempo, oppure in modo dinamico, cioè le fibre subiscono una riduzione della loro resistenza nel tempo a causa di un cedimento delle fibre stesse sottoposte a carico.

Infine, nel caso di franamenti di piccolo volume in ambito forestale, la massa di terreno per muoversi deve superare la resistenza dovuta anche alla coesione radicale presente, oltre che sulla superficie basale, anche sulla superficie di distacco verticale (Riestenberg e Sovonick-Dunford, 1983; Terwillinger e Waldron, 1991; Schmid e Kazda, 2001; Kleim e Skaugset, 2003; Roering et al., 2003); la coesione radicale complessiva  $c_{r\ tot}$  viene quindi calcolata come somma delle componenti laterale e basale:

$$c_{r\ tot} = c_{r\ lat} + c_{r\ bas} \quad (4)$$

La componente basale si calcola come somma dei contributi in termini di resistenza delle radici che tagliano il piano di scivolamento; la componente laterale si stima come la somma dei contributi delle radici che, per una data profondità, attraversano la superficie di distacco del volume di suolo considerato.

## 4.3 METODOLOGIA SPERIMENTALE

### 4.3.1 Il modello adottato

Partendo da quanto esposto nel precedente paragrafo, il rinforzo fornito dagli apparati radicali espresso sotto forma di coesione radicale aggiuntiva  $c_r$  (kPa) è espresso dalla relazione:

$$(5) \quad c_r = k' \frac{\sum_{i=1}^N F}{a_s}$$

dove  $F$  è la forza mobilizzata dalla  $i$ -esima radice,  $a_s$  è la superficie di suolo di riferimento,  $k'$  è un coefficiente che tiene conto dell'angolo tra l'asse della porzione di radice sottoposta a trazione e la direzione di scivolamento e  $N$  è il numero totale di radici che attraversano la superficie di riferimento. Nell'applicazione del modello, il valore di  $F$  fa riferimento alla forza massima messa in gioco dalla radice in trazione. Il valore di  $F$  effettivamente mobilizzato dipende dalle forze di attrito che si sviluppano all'interfaccia suolo – radici. Le radici possono infatti comportarsi in modo diverso a seconda delle intensità delle forze di attrito. In generale le radici tendono ad assumere i seguenti comportamenti:

- Rottura: la radice contribuisce completamente al rinforzo

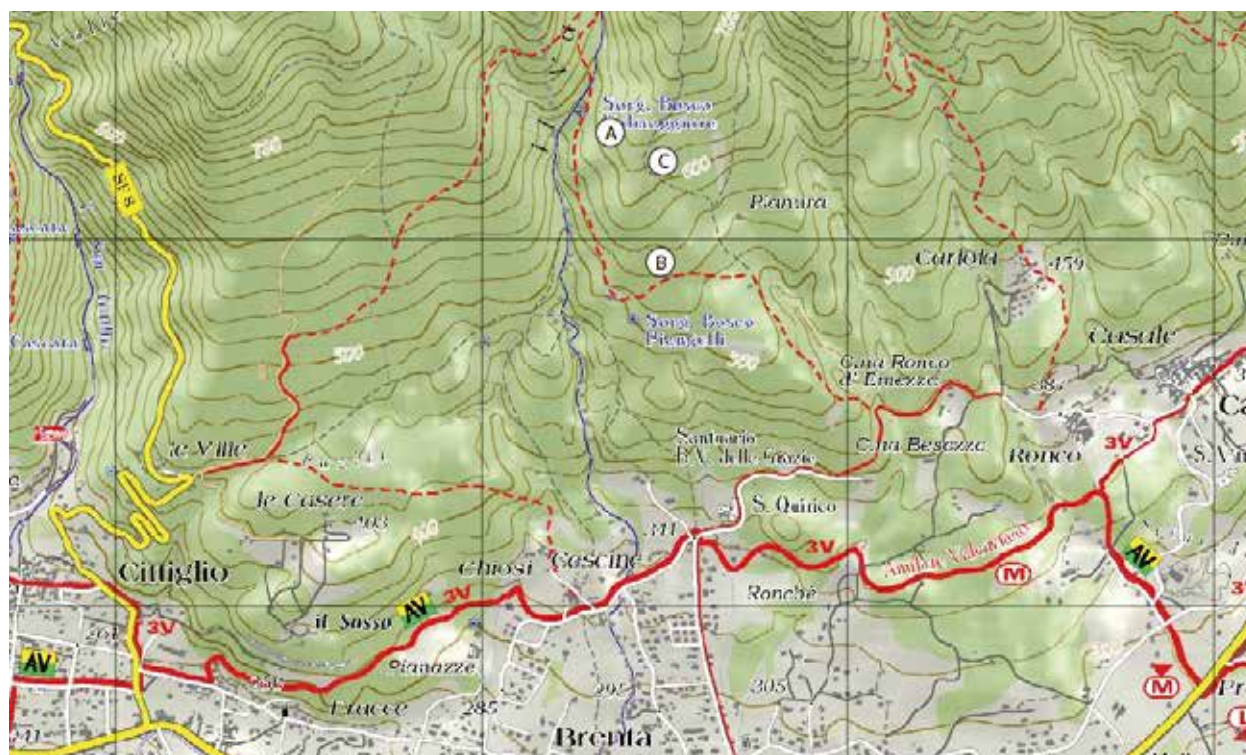
- Allungamento: la radice si deforma secondo una direzione principale; la resistenza a trazione mobilizzata è parziale
- Sfilamento: le radici sfilandosi mobilizzano solo una parte della resistenza a trazione, soprattutto se di lunghezza ridotta

Per l'applicazione del modello è solito ipotizzare che venga mobilizzata la resistenza a rottura. Il coefficiente  $k'$  è stato cautelativamente posto pari a 1 (Bischetti et al., 2009) come valore medio e ragionevolmente cautelativo rispetto ad un forbice di valori compresa tra 0,75 (Docker e Hubble, 2008) e 1,3 (Wu et al., 1979).

### 4.3.2 Le aree di campionamento

Ai fini del presente studio, è stata individuata un'area all'interno del territorio della Comunità Montana delle Valli del Verbano (**Figura 39**), interessante dal punto di vista sperimentale poiché presenta soprassuoli boschivi con diversa gestione forestale: ceduo di castagno abbandonato o fuori turno e ceduo di castagno gestito (ultimo taglio si stima intorno ai 20 - 25 anni fa).

Le differenti gestioni del bosco sono fortemente correlate alla sua localizzazione sul versante: la scelta di abbandonare un'area è determinata principalmente dalla difficoltà di raggiungimento e quindi costi maggiori di operazioni selvicolturali rispetto alla remunerabilità dell'intervento.



**Figura 39.** Inquadramento geografico. L'area di studio si trova a nord-ovest di Varese, in Valcuvia, in comune di Brenna. I punti di campionamento sono individuati da simbolo bianco con indicazione della sigla (A, B e C) all'interno.



Sono state quindi individuate aree con caratteristiche stazionali simili per substrato geologico, esposizione, altitudine e morfologia ma con pendenze diverse che determinano, più o meno direttamente, un diverso grado di accessibilità al lotto e quindi un progressivo abbandono.

Complessivamente sono state individuate 3 stazioni di misura, in località Pianura in comune di Brenta, riconducibili a "Castagneto delle cerchie moreniche occidentali" (Del Favero, 2002) ma distinte per le seguenti caratteristiche (**Figura 40**):

- la stazione **A**: un ceduo di castagno in transizione in una zona di impluvio
- la stazione **B**, un ceduo di castagno a regime
- la stazione **C**, ceduo di castagno in transizione in una zona di displuvio

Dato che il processo in esame è significativamente diverso da quello del ribaltamento, non è stato possibile effettuare i campionamenti esattamente negli stessi siti studiati nella precedente fase della ricerca.

Per ogni stazione sono stati rilevati i principali dati morfologici (quota, esposizione, pendenza, posizione e morfologia), la posizione mediante strumento GPS e sono state fatti i rilievi relativi alla composizione del soprassuolo (diametro all'altezza di 1,3 m e altezza delle chiome) da cui sono stati ottenuti alcuni indici

relativamente all'area basimetrica e la curva ipsometrica (**Figura 41**). Per convenzione, i campioni prelevati sono identificati con la sigla "CsVABren" e la lettera della stazione di provenienza (A, B e C).

### 4.3.3 Caratterizzazione geotecnica dei suoli

In occasione dei rilievi è stato raccolto un campione di suolo. Questo è stato sottoposto presso i laboratori del Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali al processo necessario per la stima della curva granulometrica (metodo USCS) e della tessitura (metodo USDA). Il metodo USCS si articola in due momenti: la setacciatura meccanica, per la componente grossolana (diametro maggiore di 0,074 mm) e la sedimentazione in acqua per la componente fine.

La setacciatura meccanica è svolta per via umida ovvero il passaggio del terreno attraverso i setacci è agevolato da un getto d'acqua che con la sua forza riesce a rimuovere le particelle più fini che sono tenute assieme dall'effetto della tensione superficiale (**Figura 42a**). La sedimentazione in acqua invece prevede l'utilizzo di un densimetro (**Figura 42b**) che immerso in una dispersione di suolo in acqua, serve per determinare la variazione di densità del liquido a seguito



**Figura 40.** Alcune viste delle aree oggetto di studio.

Tabella 19. Caratteristiche dei casi di studio

ID	N° di trincee	Quota (m slm)	Pendenza media	Diametro medio degli alberi (cm)	Distanza media dalle ceppaie (m)	Altezza media delle piante (m)	Area basimetrica (m <sup>2</sup> /ha)	Rapporto vivi/morti	Forma di governo	Morfologia	Profondità substrato non alterato
CsVABrenA	2	600	35	24,23	3,85	14,58	50,87	35/43	Ceduo fuori turno	Impluvio	0,80
CsVABrenB	2	580	13	21,46	4,19	11,68	47,08	54/38	Ceduo in turno	Displuvio	0,50
CsVABrenC	2	595	30	17,10	5,80	12,51	62,41	68/124	Ceduo fuori turno	Displuvio	0,90

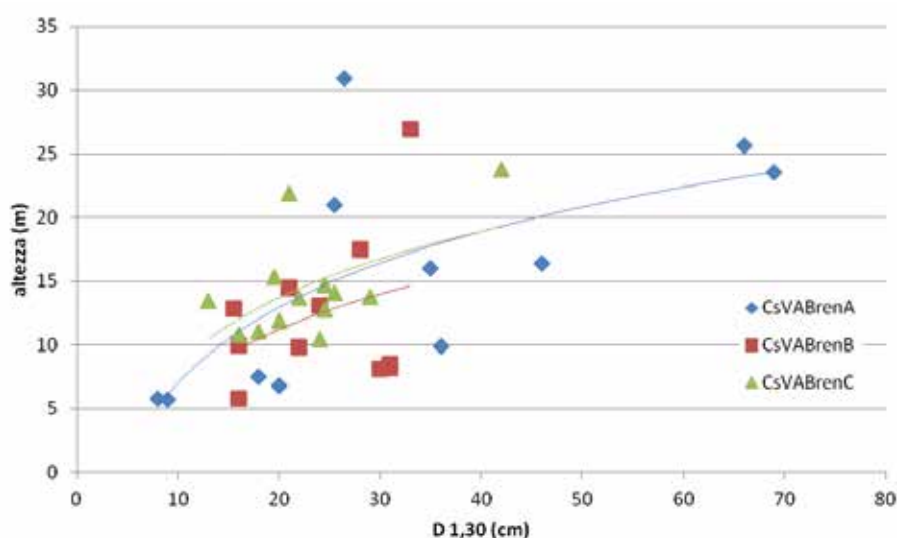
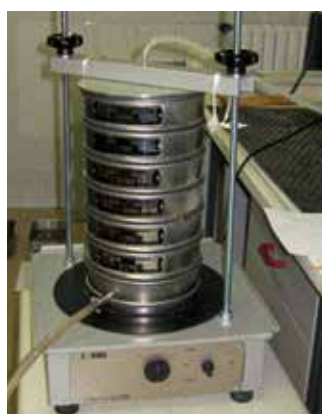


Figura 41. Curve ipsometriche per ciascuna stazione di misura. I punti risultano piuttosto dispersi e non è definibile una relazione chiara tra diametro del fusto a 1,3 m,  $D$ , e l'altezza delle piante.



(a)



(b)



(c)

Figura 42. Alcune fasi delle metodologie utilizzate per la determinazione delle frazioni granulometriche: a) setacciatore meccanico, b) bagno termostato per la prova con i densimetri e c) batteria di levigatori di Andreassen per le misure di tessitura.



dei processi di sedimentazione. Il metodo USDA per la determinazione della tessitura ovvero della componente di sabbia, limo ed argilla si applica al campione di suolo con diametro inferiore a 2 mm (D.M. 13/09/1999). Tale metodologia si basa sul prelievo, a intervalli prefissati, di volumi noti della dispersione di suolo in acqua (*Figura 42c*).

#### 4.3.4 Distribuzione degli apparati radicali

Per ogni stazione, sono stati aperti due profili per l'acquisizione di immagini digitali per la determinazione del numero di radici. La tecnica che è stata utilizzata per la stima dell'area radicata è basata sullo studio di profili radicali con metodo a trincea, che consiste nello scavo di un profilo verticale nel suolo per rendere visibile l'apparato radicale della vegetazione, il quale viene successivamente rilevato fotograficamente.

Si inizia scavando la trincea che deve avere una larghezza superiore a 30 cm e profondità tale da rag-

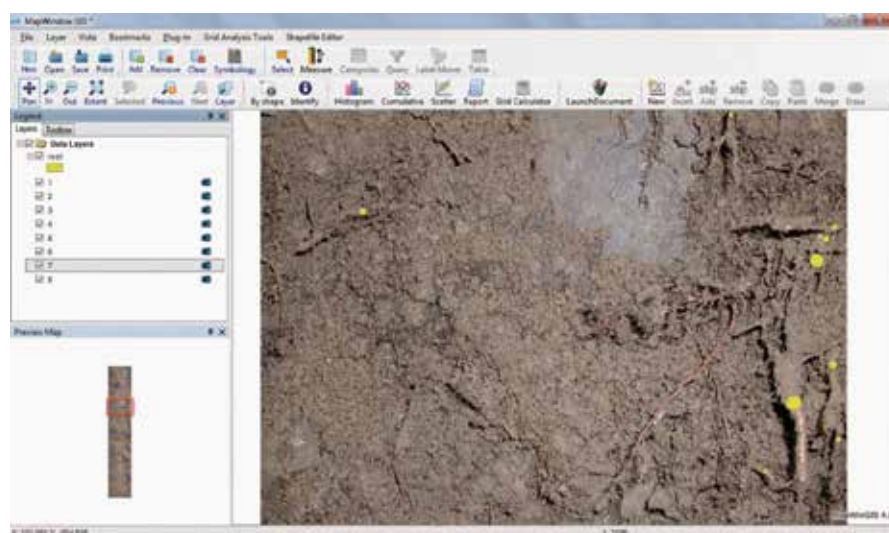
giungere lo strato indisturbato ovvero privo di radici. Si scelgono quindi una o più pareti di suolo su cui eseguire le analisi, la si rende regolare facendo attenzione a ripulire gli apparati radicali dal materiale solido che potrebbe in parte nasconderle e le si taglia tutte ad una distanza di un paio di centimetri dal punto d'emergenza dal suolo, in maniera che restino visibili le singole sezioni; si lava infine il profilo con dell'acqua. Si sovrappone quindi una griglia di dimensioni note (30 x 30 cm) e per ciascun riquadro si scatta una o più foto con fotocamera digitale.

Le foto vengono quindi processate mediante un software appositamente sviluppato al fine di agevolare le operazioni di marcatura delle radici che attraversano il piano di scavo (*Figura 44*).

In questo modo è possibile ottenere i diametri delle radici e la loro distribuzione spaziale, dati fondamentali per calcolare la distribuzione del rinforzo radicale nel suolo. L'analisi delle immagini comporta quindi un lungo processo di digitalizzazione manuale in cui tutto il profilo viene analizzato nel dettaglio.



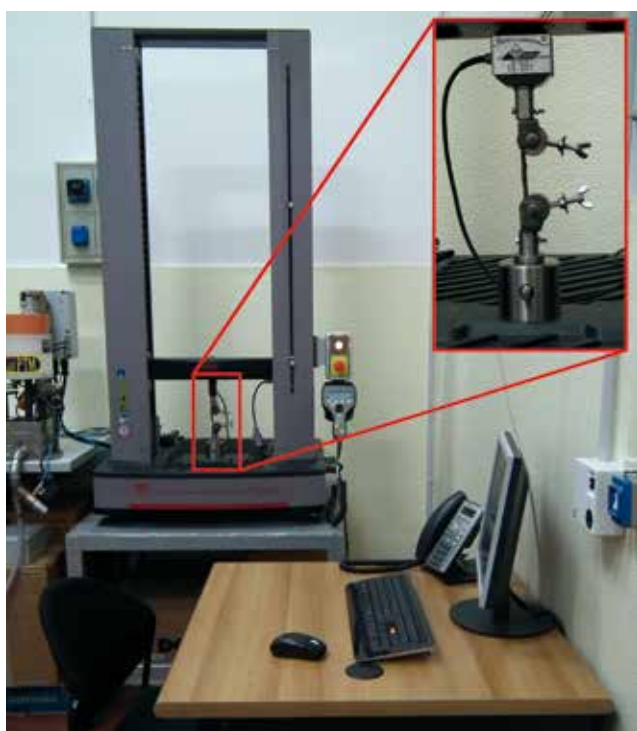
*Figura 43* Immagine con profili di scavo



*Figura 44.* Esempio del processo di digitalizzazione del profilo radicato.

### 4.3.5 Resistenza a trazione

La stima della resistenza a trazione delle radici si basa su un test di trazione effettuato sui campioni prelevati in campo in prossimità degli scavi eseguiti per lo studio della distribuzione degli apparati radicali. Le porzioni di radici sono raccolte, ripulite e conservate in una soluzione acquosa al 15% di alcool in modo da mantenerle idratate e difenderle da attacchi fungini. In tempi brevi vengono quindi trasportate in laboratorio e sottoposte ai test di trazione (**Figura 45**).



**Figura 45.** Dispositivo utilizzato per le prove di trazione, con particolare del sistema di ammorsamento.

## 4.4 RISULTATI

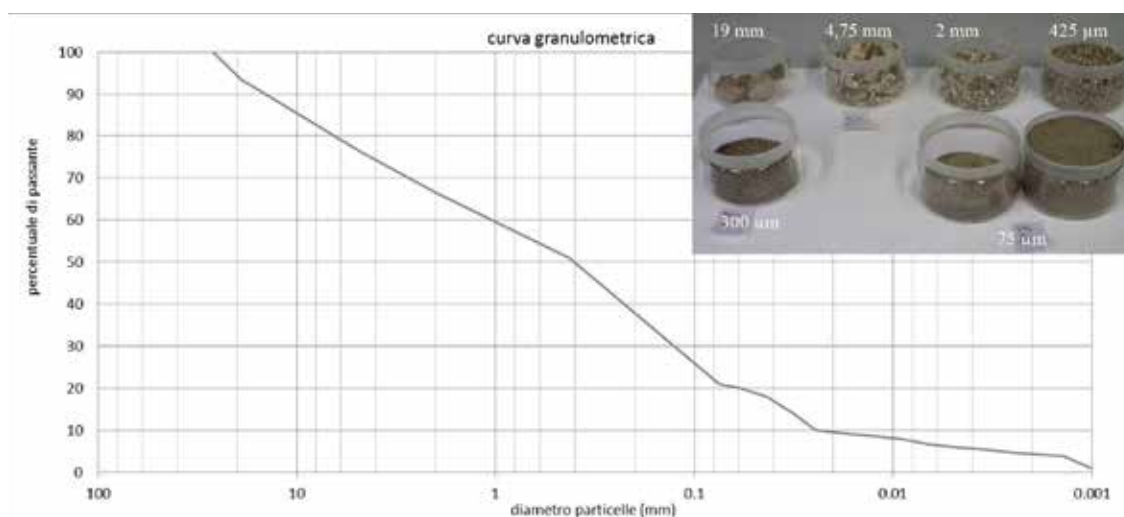
Vengono presentati ora i risultati delle analisi relative alla caratterizzazione del suolo e agli apparati radicali, in particolare della misura di resistenza a trazione e di area radicata ottenuti con le procedure precedentemente descritte. Infine, vengono riportati i valori di coesione radicale ottenuti dalla elaborazione dei dati sperimentali e dall'applicazione dei modelli precedentemente descritti.

### 4.4.1 Tipologia di suolo

Secondo la metodologia USDA, il suolo prelevato può essere classificato come "sabbioso franco" (83% sabbia, 15% limo), quindi con una marcata presenza della componente con diametro compreso tra 2 e 0,05 mm.

Il metodo USCS invece permette di individuare la curva granulometrica di **Figura 46** che presenta le seguenti caratteristiche:  $D_{90} = 15,625$ ,  $D_{60} = 1,125$ ,  $D_{50} = 0,4$ ,  $D_{30} = 0,125$ ,  $D_{10} = 0,0125$  mm, CU (coefficiente di uniformità  $D_{60}/D_{10}$ ) = 90, CC (coefficiente di curvatura  $D_{60} \cdot D_{10}$ ) = 1,11. In particolare il CU individua il suolo con granulometria "molto eterogenea". Sempre secondo il metodo USCS, il suolo può essere classificato come "terra a grana grossa, sabbia con ghiaia limosa".

In analogia con altri studi svolti in aree limitrofe ma caratterizzate dalla presenza di medesime coltri moreniche (Bischetti et al., 2004; Chiaradia et al., 2005; Bischetti et al., 2005) è possibile attribuire cautelativamente un angolo di resistenza al taglio di 27° e coesione nulla.



**Figura 46.** Curva granulometrica rappresentativa della distribuzione media delle classi di diametro del suolo per le aree di studio (il riquadro in alto a destra mostra le diverse tipologie di frazioni trattenute dai setacci).

**Tabella 20.** Statistiche delle prove di trazione relative ai tre casi di studio.

ID	N	Diametro (mm)			Forza (N)		
		Media	Max	Min	Media	Max	Min
CsVABrenA	48	1,87	6,8	0,6	36,98	200,15	3,83
CsVaBrenB	40	1,88	5,46	0,55	34,53	230,19	4,67
CsVABrenC	56	2,05	4,96	0,34	40,85	150,64	2,49

**Tabella 21.** Parametri di regressione delle serie.

	a	b	R <sup>2</sup>	p	F
CsVABrenA	11,4	1,56	0,87	< 0,001	297,9
CsVABrenB	10,47	1,52	0,82	< 0,001	176,5
CsVABrenC	10,6	1,6	0,93	< 0,001	717

**Tabella 22.** Verifica dell'omogeneità delle serie di forza-diametro per le tre stazioni di misura. I confronti sono proposti a coppie. Per ciascuna coppia è stato applicato il test di Levene (Test L) per l'omoschedasticità, il test di Kolmogorov-Smirnov (Test KS) per la verifica del requisito di distribuzione normale, il test di parallelismo (Test Par.) e il test delle intercette (Test Int.).

	A	B	R <sup>2</sup>	P
A-B	F <sub>1,84</sub> = 0,42 Pr(>F) = 0,52	p-value = 0,89	F <sub>1,84</sub> = 467 Pr(>F) < 0,001	F <sub>1,85</sub> = 472 Pr(>F) < 0,001
A-C	F <sub>1,102</sub> = 1,88 Pr(>F) = 0,17	p-value = 0,70	F <sub>1,92</sub> = 802 Pr(>F) < 0,001	F <sub>1,101</sub> = 968 Pr(>F) < 0,001
B-C	F <sub>1,94</sub> = 3,59 Pr(>F) = 0,06	p-value = 0,76	F <sub>1,92</sub> = 802 Pr(>F) < 0,001	F <sub>1,93</sub> = 807 Pr(>F) < 0,001

#### 4.4.2 RESISTENZA A TRAZIONE

Radici provenienti da punti di scavo differenti della medesima stazione non mostrano differenze statisticamente significative (Rossi, 2012) mostrando che non esiste una sostanziale dipendenza tra caratteristiche meccaniche delle radici e soggetto da cui sono state prelevate. Per tale ragione, i confronti tra i diversi casi di studio (A, B, C) sono stati fatti considerando l'insieme delle prove eseguite per ciascuna stazione al fine di evidenziarne eventuali differenze imputabili, in questo caso, alle diverse condizioni ambientali e di trattamento selvicolturale. Per realizzare tale confronto, le serie forza di trazione e diametro per ciascun trattamento sono state sottoposte al test dell'analisi di covarianza, ANCOVA, che tiene conto della correlazione tra forza e diametro della radice e valuta se le differenze tra i trattamenti (ovvero "stazioni") sono statisticamente imputabili alla variabilità "naturale" che caratterizza la serie dei dati o ad effetti del trattamento. Per fare questo, le serie sono state trasformate attraverso una funzione logaritmica per ottenere un campione distribuito normalmente in cui la relazione forza e diametro è rappresentata da una retta (**Figura 47**).

Le ipotesi di normalità e omoschedasticità, necessarie all'applicazione dell'ANCOVA, vengono verificate rispettivamente attraverso il test di Kolmogorov - Smirnov e il test di Levene, entrambi adatti per campioni di piccole dimensioni (Genet et al. 2005, Yazici e Yolacan, 2007).

Le principali caratteristiche delle serie accorpate dei casi A, B e C sono riportate in **Tabella 20**.

La numerosità dei campioni è confrontabile come anche la distribuzione dei diametri. La forza media cambia leggermente tra le singole serie anche se risulta comunque paragonabile tra i tre profili, 36,98 N per il ceduo abbandonato in impluvio, 34,53 N per il ceduo gestito e 40,85 N per il ceduo abbandonato in versante.

Applicando in senso inverso la trasformazione logaritmica alla regressione lineare tra i logaritmi delle forze e i logaritmi dei diametri delle radici, si ottengono i coefficienti a e b dell'equazione:

$$F = ad^b \quad (6)$$

che risulta utile per il calcolo della forza di resistenza massima,  $F$  (N) di una radice di diametro noto,  $d$  (mm).

La relazione di potenza ben descrive l'andamento delle tre serie dati con  $p$  – value sempre minori della soglia di accettabilità dell'1% e con coefficienti di determinazione superiori all'80% (**Tabella 21**).

L'ANCOVA è stata applicata alle tre combinazioni di dati (A-C, A-B e B-C) allo scopo di valutare eventuali differenze significative. I risultati della procedura sono riportati in **Tabella 22**:

Le serie di resistenza a trazione - diametro dei casi in studio risultano quindi non differenti (**Figura 47 e Tabella 22**) ed è possibile affermare che le radici del ceduo in turno e quelle dei cedui abbandonati non differiscono per quanto riguarda la resistenza a trazione. Le modalità di gestione del bosco non sembrano quindi influire sulle proprietà meccaniche delle radici ed, in ultima analisi, è possibile interpretare tutti i valori con un'unica relazione di potenza del tipo (**Figura 48**):

$$(7) \quad F = 10,80 d^{1,57} \quad (1)$$

che rappresenta in maniera sufficientemente accurata la variabilità dei dati sperimentali ( $R^2 = 0,89$ ).

#### 4.4.3 DISTRIBUZIONE DEGLI APPARATI RADICALI

Dalle analisi dei profili radicati per le diverse condizioni analizzate (A: ceduo abbandonato in impluvio, B: ceduo gestito e C: ceduo abbandonato in versante), si è ottenuta la distribuzione delle radici per i diversi diametri (compresi tra 1 e 10 mm) e per diverse profondità. In analogia con altri studi (si veda ad esempio Bischetti et al., 2009), la numerosità di radici lungo il profilo è stata espressa come la percentuale, *Root Area Ratio* (RAR), di unità di suolo,  $a_r$ , attraversata dalle radici la cui superficie complessiva,  $a_r$ , è data dal-

la somma delle sezioni di ciascun elemento radicale, tale per cui  $RAR = a_r/a_s$ .

Con riferimento ai grafici di **Figura 49**, la RAR mostra sempre un trend decrescente all'aumentare della profondità, come confermato da diverse altre esperienze in ambienti forestali (Bischetti et al., 2009).

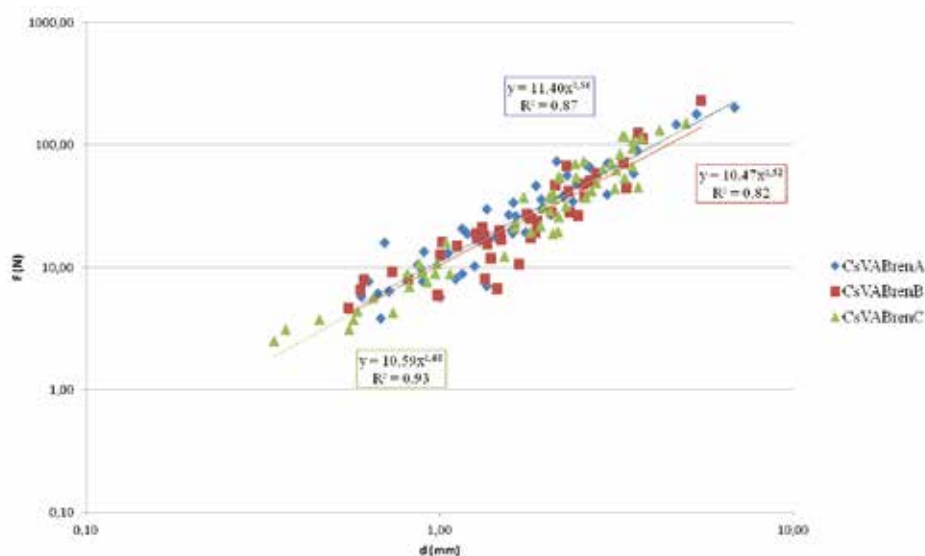
Considerando i tre casi insieme, i valori di RAR vanno da un minimo del 0,005% ad un massimo di 0,52% per un valore medio complessivo di 0,146%.

Analizzando i casi di studio (A, B, C) singolarmente, si ottiene che, per il caso A, la RAR ha valore massimo tra 20 e 30 cm di profondità (0,222%), valore minimo tra 50 e 60 cm (0,02%), valore medio di 0,102% mentre la massima profondità esplorata dalle radici è di 80 cm (**Tabella 23**).

Il profilo ottenuto nel caso B presenta valore di RAR massimo per profondità comprese tra 10 e 20 cm mentre il valore minimo si trova tra 40 e 50 cm a cui corrisponde la massima profondità di radicazione. La RAR media è di 0,223%.

Nel caso C, invece, la RAR assume andamento prossimo al caso A con valore massimo di RAR (0,437%) tra 30 e 40 cm di profondità, valore minimo tra 80 e 90 cm (0,005%) e valore medio di 0,142% prossimo al valore medio generale. Se si esclude l'ultimo valore della serie, sempre di difficile determinazione e affetto maggiormente dalla variabilità locale, è possibile identificare un secondo minimo, marcato con asterisco in **Tabella 23** che si localizza a profondità compresa tra 50 e 60 cm come nel caso A.

In generale si può notare come il ceduo gestito (caso B) presenti la percentuale più alta di radici rispetto ai casi A e C nei primi 20 cm di suolo, mentre il ceduo abbandonato in versante ne presenta un numero inferiore. I casi A e C, invece, presentano un maggior approfondimento degli apparati radicali, anche se



**Figura 47.** Variazione della forza di resistenza massima a rottura in funzione del diametro per le diverse stazioni (assi in scala logaritmica): è possibile notare come le 3 serie abbiano lo stesso trend crescente lineare (test parallelismo) e valori confrontabili (test intercette).



**Tabella 23.** Distribuzione della RAR per classi di profondità per i tre casi di studio (in rosso il valore massimo, in verde il minimo, \* = vedi testo).

CsVABrenA			CsVABrenB		CsVABrenC	
	# radici	RAR(1-10 mm) (%)	#radici	RAR(1-10 mm) (%)	#radici	RAR(1-10 mm) (%)
10	38	0,092%	48	0,158%	17	0,077%
20	19	0,156%	48	0,522%	27	0,125%
30	31	0,222%	26	0,333%	33	0,172%
40	23	0,097%	19	0,070%	37	0,437%
50	16	0,150%	10	0,032%	10	0,116%
60	8	0,020%			12	0,089%*
70	9	0,029%			18	0,118%
80	6	0,054%			10	0,144%
90					2	0,005%

mediamente la densità di radicazione si presenta minore rispetto alla condizione B. Inoltre è interessante notare come la condizione di radicazione minima per i tre profili si presenta alla medesima profondità (40-60 cm) ma, mentre nel caso B, l'apparato radicale praticamente si ferma, nei casi A e C continua ad approfondirsi mostrando addirittura valori crescenti.

L'apparato radicale del ceduo gestito (caso B) si sviluppa maggiormente nei primi centimetri di suolo perché qui è presente una maggior concentrazione di nutrienti, una maggiore umidità e una maggiore areazione; la diminuzione della biomassa radicale negli strati più profondi è invece da attribuire ad una minore disponibilità di nutrienti e a condizioni sfavorevoli alla attività di crescita quali la presenza di orizzonti impedenti (Bischetti et al., 2010).

Infatti, nel ceduo gestito l'orizzonte organico è meno sviluppato e lascia spazio a profondità minori al deposito morenico, più povero in nutrienti e più compatto (un esempio di profilo di suolo della tipologia B è riporta in **Figura 43**).

Lo sviluppo superficiale dell'apparato radicale è con buona probabilità correlato anche alla gestione del bosco. Il minor numero di radici riscontrato nei primi centimetri di suolo dei cedui abbandonati (casi A e C) potrebbe essere giustificato dal fatto che i cedui castanili fuori turno tendono a difettare nella rinnovazione dell'apparato radicale (Conedera et al., 2009; Pividori et al., 2008 e 2009) come conseguenza dello stretto legame esistente tra polloni e radici (Aymard e Fredon, 1986) e del fatto che l'apparato radicale tende a rinnovarsi ad ogni ceduazione (Bedeneau e Pagés, 1984). Secondo Del Favero (2002), dopo il taglio, anche l'apparato radicale si rinnova, ricostituendosi in 4 - 5 anni.

Inoltre, l'accrescimento delle ceppaie tende ad avvenire attraverso polloni che si generano nella parte esterna della ceppaia stessa (Aymard e Fredon, 1986; Bagnara e Salbitano, 1998), sostenuti dalle radici ad esse collegate, che contribuiscono così ad estendere anche

l'apparato radicale verso l'esterno rispetto all'interno della ceppaia. In questo modo, la parte centrale tende a marcire e le ceppaie assumono una forma ad anello. Dopo un certo numero di tagli, le dimensioni diventano molto grandi e varie porzioni dell'anello si separano formando ceppaie autonome.

La maggiore profondità di esplorazione dell'apparato radicale nei cedui abbandonati può essere attribuita alla maggior pendenza rispetto al ceduo gestito (35° pendenza profilo A, 13° pendenza profilo B e 30° profilo C), che potrebbe indurre lo sviluppo di un apparato radicale più profondo per un migliore ancoraggio al suolo da parte delle piante che combattono in questa maniera la possibilità di schianto, ma non vi sono al momento conferme anche a causa dello scarso numero di lavori a riguardo.

#### 4.4.4 COESIONE RADICALE

I valori di coesione radicale sono stati ricavati mediante sia i dati raccolti dai profili di scavo, dal processo di elaborazione delle immagini e dalle prove di trazione, sia mediante l'applicazione del modello di calcolo FBM come descritto nei precedenti paragrafi.

Il grafico di **Figura 50** mostra l'andamento della coesione radicale  $c_r$  (kPa) calcolata sia per la sola componente basale,  $c_{r,bas}$ , che per quella laterale,  $c_{r,lat}$ . La componente basale ad una data profondità è stimata pari al valore ottenuto per la medesima profondità rispetto alle radici che attraversano la superficie di scavo, nell'ipotesi di uguale distribuzione spaziale delle radici per volumi di suolo contenuti. La componente laterale ad una data profondità è invece ottenuta come media dei valori di coesione calcolati per gli strati di suolo superiori in accordo con Bischetti et al. (2009).

Con riferimento alla sola componente basale (**Figura 50, sinistra**), questa segue l'andamento decrescente dell'area radicata e le differenze tra le diverse stazioni sono da attribuire alla diversa morfologia degli

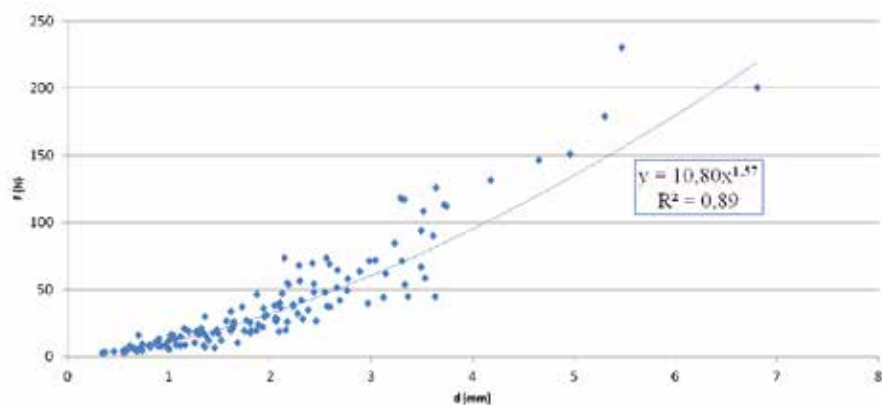


Figura 48. La relazione F-d è stata interpretata con un'unica curva di potenza con  $R^2 = 0,89$ .

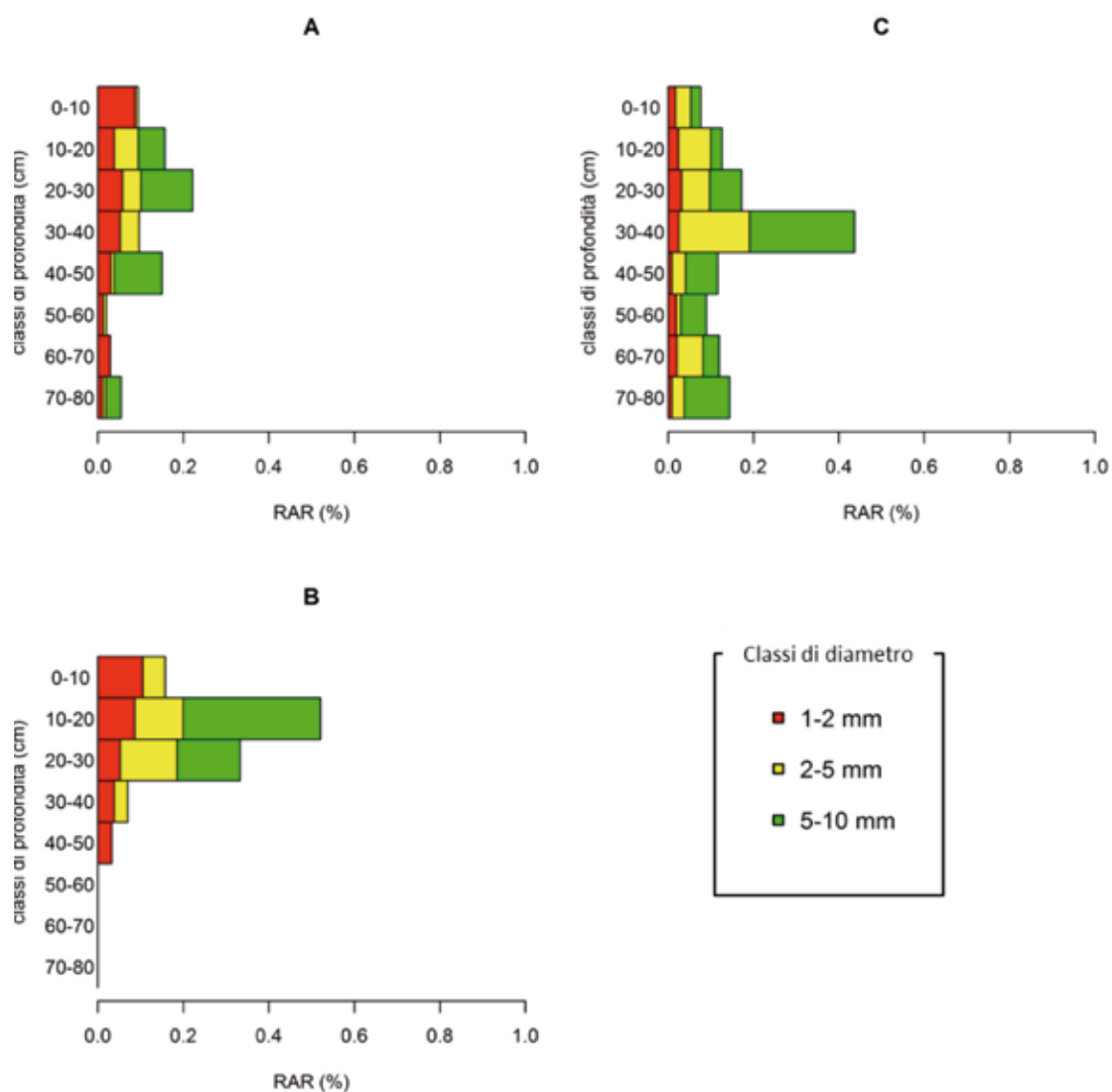
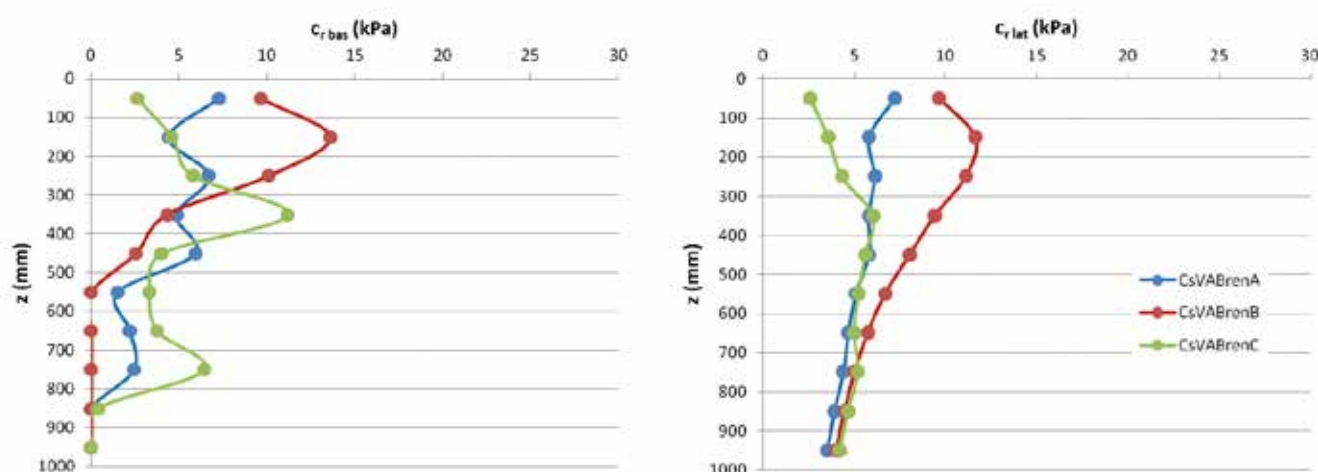


Figura 49. Distribuzione della RAR per classi di profondità e classi di diametro e per località di prelievo (A = ceduo invecchiato in impluvio, B = ceduo gestito, C = ceduo invecchiato su versante).



**Figura 50.** Distribuzione della coesione radicale basale,  $c_{r,bas}$  (sinistra) e laterale,  $c_{r,lat}$  (destra) per valori crescenti di profondità e per località di prelievo (A = ceduo invecchiato in impluvio, B = ceduo gestito, C = ceduo invecchiato su versante).

apparati radicali dal momento che, come risultato dalle elaborazioni precedenti sui test di resistenza a trazione, nessuna differenza statisticamente significativa esiste tra le proprietà meccaniche delle radici prelevate in punti diversi e quindi nessuna influenza esiste da parte della tipologia di gestione e soggetto di provenienza dei campioni.

Nel caso di ceduo in turno (caso B), si ha in assoluto il massimo valore di coesione aggiuntiva (14 kPa) che si ottiene ad una profondità di 10-20 cm mentre il contributo delle radici si ferma ad una profondità di 40-50 cm con un valore di coesione aggiuntiva di 2,5 kPa. Nel caso di ceduo invecchiato, sia il caso A (impluvio) che il C (versante) mostra valori massimi in assoluto più bassi rispetto al caso B, 7 e 11 kPa rispettivamente, ma il contributo degli apparati radicali si estende fino a profondità maggiori (70-80 cm) con valori compresi tra 2 e 6 kPa rispettivamente.

La **Figura 50 (destra)** riporta inoltre i valori di coesione laterale, ovvero del contributo dato da tutte le radici che attraversano la superficie di distacco laterale. I valori riportati sono le medie dei valori di coesione calcolati per tutti gli strati superiori alla profondità di riferimento.

Diversamente dai valori di coesione basale che sono influenzati dalla profondità massima raggiunta dalle radici, la coesione laterale riporta valori interessanti anche per profondità maggiori: in pratica, la procedura di calcolo tiene implicitamente conto del contributo degli strati superiori ben radicati anche per le profondità maggiori dove non si ritrovano radici. In termini assoluti, mentre esistono differenze significative tra le coesioni laterali calcolate per le tre condizioni (A, B e C) per gli strati superficiali (ad es. da un minimo di 2,6 a 9,6 kPa per profondità fino a 0,1 m), il valore di coesione laterale tende ad un unico valore medio di 3,9 kPa di una forbice compresa tra 3,5 e 4,2 kPa. Il grafico di **Figura 51** riporta invece i valori di coesio-

ne radicale calcolati come somma della componente basale e quella laterale. Nel caso di ceduo in turno, il valore massimo di coesione è di 25 kPa; nel caso del ceduo invecchiato i valori di coesione totale massimi sono rispettivamente di 14,5 e 17 kPa per il ceduo in impluvio e versante, ottenuti per profondità differenti: 0-10 cm per il caso A e 30-40 cm per il caso B.

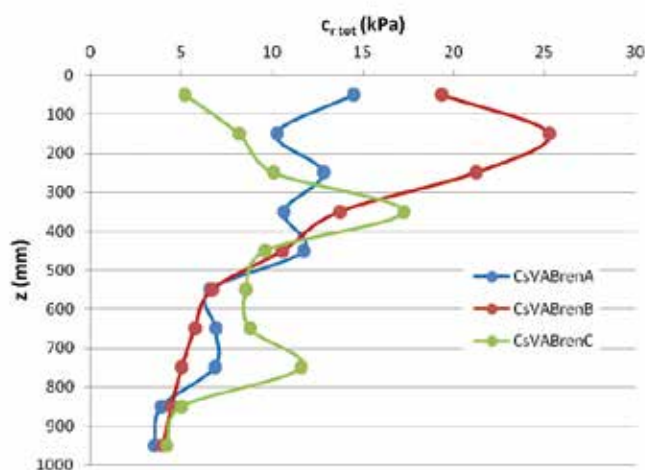
I valori di coesione radicale ottenuti sono stati quindi utilizzati per l'applicazione del modello di stabilità del pendio indefinito e determinare in questo modo alcune condizioni critiche di stabilità che si potrebbero realizzare nella realtà, in funzione delle diverse tipologie di gestione del ceduo di castagno.

## 4.5 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI STABILITÀ

Il metodo del pendio indefinito (*cfr. 4.2.1*) è stato applicato per la verifica di stabilità di alcune condizioni di studio.

### 4.5.1 CONDIZIONE ATTUALE

La condizione attuale dei versanti è stata valutata sotto l'aspetto della stabilità allo scivolamento rispetto ai valori incrementali di saturazione del suolo. Quest'ultima è calcolata come rapporto tra l'altezza della falda,  $D_w$ , e la profondità dello strato di scivolamento,  $D$ . In particolare sono state analizzate le tre condizioni A, B e C precedentemente descritte. I parametri comuni a tutte le prove sono: l'angolo di resistenza al taglio del suolo ( $27^\circ$ ), la coesione del suolo (nulla), la densità dell'acqua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ), la densità del suolo ( $2000 \text{ kg/m}^3$ ) e la porosità del suolo (40%) in accordo con le informazioni reperibili nella manualistica specializzata per la tipologia di suolo presente in loco "sabbioso franco" (*cfr. 4.4.1*).



**Figura 51.** Distribuzione della coesione radicale totale,  $c_{r\text{ tot}}$  per valori crescenti di profondità e per località di prelievo (A = ceduo invecchiato in impluvio, B = ceduo gestito, C = ceduo invecchiato su versante).

Sono invece fattori variabili per ciascuna condizione: 1) la pendenza del versante (*cf.* **Tabella 19**), 2) il sovraccarico, 3) la profondità dello piano di scivolamento e 4) i valori di coesione radicale (basale e totale) per diverse profondità (*cf.* **4.4.4**). Il sovraccarico è calcolato come densità basimetrica (rapporto tra la somma dei diametri dei fusti sulla superficie campione) per altezza media delle chiome (**Tabella 19**).

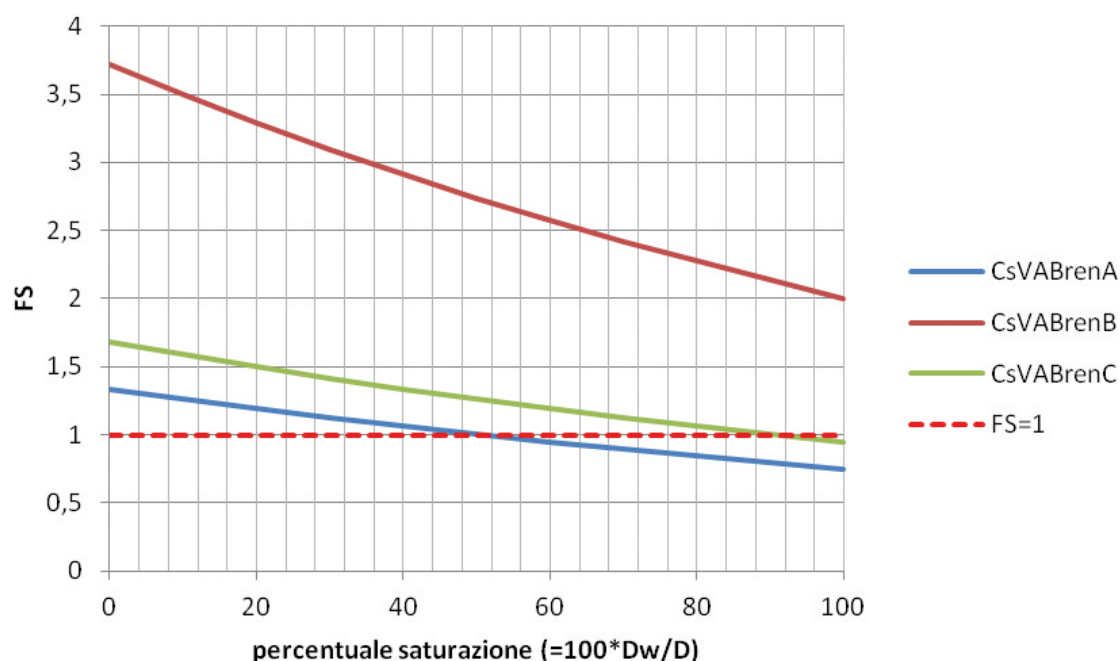
Per quanto riguarda la profondità del piano di scivolamento, essa è sempre fonte di incertezza dal momento che rappresenta una sintesi delle diverse azioni che, nel sistema del suolo, concorrono prevalenza delle tensioni destabilizzanti su quelle stabilizzanti. Tale situazione è favorita dalla presenza di strati caratterizzati da valori di coesione differenti e/o dalla presenza di uno strato meno permeabile rispetto agli strati superficiali che favoriscono il deflusso idrico e la conseguente condizione di saturazione, come ad esempio le formazioni rocciose o i depositi compatti del caso di studio (*cf.* **2**). Nell'area in esame, è stato rilevato un valore di profondità del piano di scivolamento di 1 m (Chiaradia, 2002).

Applicando la (3), si ottengono diversi fattori di sicurezza, FS, per le diverse condizioni in esame.

Tali risultati, in funzione del contenuto di umidità per una profondità della superficie di scivolamento pari ad 1 m, sono riportati nel grafico di **Figura 52**.

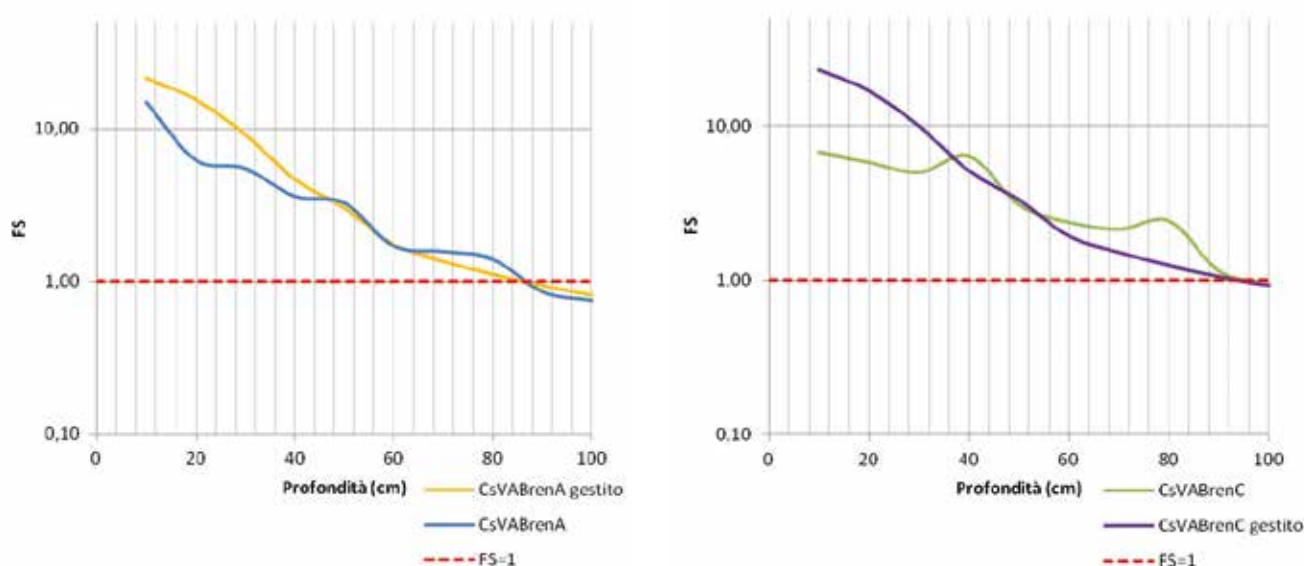
Per il ceduo in turno, stazione B, i valori di FS si trovano ben al di sopra del valore limite che definisce la condizione di instabilità (FS sempre maggiore di 1) sicuramente anche in relazione alla scarsa pendenza del versante. Il minimo valore di FS è di 2,7 che sancisce la stabilità dell'area anche per condizioni di saturazione del suolo normalmente predisponenti alla instabilità.

Per il ceduo invecchiato, sia per la stazione A sia per la stazione C viene mantenuta la stessa profondità del piano di scivolamento ma con pendenze di 35° e 30° (**Tabella 19**).



**Figura 52.** Verifica della stabilità delle aree analizzate per diversi gradi di saturazione del suolo. Le aree mostrano i possibili valori di FS che si ottengono avendo come limite inferiore la sola coesione basale e superiore la coesione totale riportate nel paragrafo precedente. La linea rossa identifica la soglia limite al di sopra della quale si ha condizione di stabilità teorica del versante.





**Figura 53.** Andamento del FS in funzione della profondità del piano di taglio considerato per la condizione di saturazione totale per la stazione A (a sinistra) e per la stazione C (a destra).

Nella situazione relativa al profilo A, con pendenza di 35°, il valore massimo di FS con suolo asciutto è di 1,3, mentre la condizione d'instabilità corrisponde ad una saturazione pari al 60%. Per il profilo B, pendenza di 30°, il valore massimo di FS in condizioni asciutte è di 1,7, e la condizione d'instabilità si ha ad una saturazione del 90%.

Ciò evidenzia che i versanti in oggetto anche in presenza di ceduo invecchiato sono suscettibili a manifestare fenomeni di dissesto in condizioni di saturazione medio-alta, peraltro poco probabile nel caso della situazione C di versante piano, e come l'azione della copertura vegetale sia fondamentale per garantire la loro stabilità. La stazione A risulta avere una maggiore probabilità di manifestare fenomeni di instabilità rispetto alla C, oltre che per il minor rinforzo aggiuntivo anche a causa del fatto che si trova in area di impluvio e quindi presenta una maggiore propensione alla saturazione del suolo.

#### 4.5.2 POSSIBILI EFFETTI DELLA GESTIONE A CEDUO

Per poter avere indicazioni di massima sugli effetti, in termini di stabilità, degli interventi di ceduazione sui boschi abbandonati nei versanti a forte pendenza, si è proceduto all'applicazione del modello del pendio indefinito nell'ipotesi che la distribuzione del rinforzo fornito nella situazione di ceduo in turno sia effettivamente rappresentativa di tale condizione. Come precedentemente accennato, tale ipotesi è rafforzata dalle (purtroppo scarse) indicazioni di letteratura che mostrano un continuo rinnovamento dell'apparato radicale dopo la ceduazione (Bedeneau e Pages, 1984).

L'ipotesi prevede che i versanti a ceduo siano stati sempre regolarmente sottoposti a taglio e comporta un soprassuolo "leggero" e una distribuzione degli apparati radicali prossima a quella della condizione B, ovvero concentrata nei primi strati di suolo fino a 50 cm di profondità.

Per quanto riguarda la profondità del piano di scivolamento è stata fatta variare fino alla profondità 1 m dal piano campagna, essendo verosimile che il distacco si verifichi in corrispondenza della discontinuità nella coesione tra lo strato radicato e lo strato sottostante oppure più profondamente per saturazione dello strato sottostante non radicato. I risultati del FS in funzione della profondità per una condizione di saturazione totale, e quindi molto gravosa soprattutto per le porzioni di versante non concave, sono riportati in **Figura 53**.

Rispetto alla condizione attuale, si ha un netto miglioramento della condizione di stabilità del versante per profondità del piano di scivolamento fino a 50 cm circa, mentre a profondità maggiori la condizione simulata si allinea a quella attuale o è inferiore, ma sempre superiore all'unità, eccetto per valori di saturazione che eccedono il 90% nel caso della situazione A e del 100% nel caso della situazione C.

Le differenze sono dovute sia ad un alleggerimento del pendio (anche se in maniera modesta) sia alla pendenza, che è maggiore nel sito A.

## 4.6 CONSIDERAZIONI FINALI

Lo studio presentato ha permesso di approfondire l'aspetto legato alla gestione dei soprassuoli forestali avente per obiettivi la salvaguardia del territorio dai fenomeni di dissesto. In particolare, con un approccio scientifico e sulla scorta di altre esperienze svolte in contesti lombardi analoghi, si è proceduto alla determinazione del contributo della vegetazione al valore di coesione aggiunta del suolo,  $c_v$ , per diverse stazioni di misura caratterizzate dalla presenza del castagno.

Queste ultime, in particolare sono state scelte in modo da poter discriminare una condizione di ceduo in turno, ovvero regolarmente sottoposto a taglio (ogni 25 anni circa), rispetto ad un ceduo invecchiato. Il primo caratterizzato da ceppaie con singoli elementi di dimensioni contenute e scarsa presenza di materiale morto, il secondo invece caratterizzato dalla presen-

za di diverse ceppaie ribaltate, soggetti morti e diversi esemplari, spesso monocormici e di grosse dimensioni. Per calcolare il valore di coesione aggiunta sono state eseguite analisi di campo e laboratorio che hanno evidenziato come esista una significativa differenza tra la distribuzione degli apparati radicali nelle diverse fasce anche a fronte di un valore cumulato che sostanzialmente rimane invariato.

Il secondo aspetto di interesse riguarda invece l'assenza di differenze significative nella resistenza massima a trazione di campioni di radici prelevati da soggetti diversi e sottoposti a trattamenti selvicolturali diversi. Infine è stato dimostrato come tali analisi si rendono utili ai fini dell'applicazione dei modelli di verifica della stabilità dei versanti forestati e come il loro utilizzo possa dare un sicuro contributo alla corretta gestione della risorsa forestale, in linea con quanto richiesto dalle necessità attuali di salvaguardia del territorio dal dissesto idrogeologico.

Nel presente lavoro sono stati condotti una serie di studi inerenti la relazione tra invecchiamento dei boschi cedui di castagno che insistono su suoli a debole coesione e fenomeni di dissesto idrogeologico. Le attività, che si sono concentrate sui fenomeni di ribaltamento delle ceppaie e sul rinforzo dei versanti nei confronti degli scivolamenti superficiali, rappresentano un significativo contributo alla conoscenza dei fenomeni stessi, anche in relazione ad una sostanziale carenza di ricerche che affrontano tali problematiche, soprattutto attraverso il lavoro di campo.

Per quanto riguarda il tema dei ribaltamenti, i risultati ottenuti evidenziano come l'invecchiamento delle ceppaie porti ad un consistente aumento del rischio di ribaltamento e come vi sia un'evidente correlazione fra la pendenza del versante, la localizzazione puntuale dei soggetti ribaltati, i loro diametri e le loro età, tutti fattori essenziali nel determinare le condizioni di possibile innesco dei ribaltamenti. In particolare, è stato evidenziato come, per l'area esaminata e le pendenze in gioco (circa 30°), l'età critica per la perdita d'efficienza delle ceppaie in termini di stabilità sia di circa 35 anni e cioè circa il doppio del turno minimo (10 - 16 anni, Del Favero, 2002).

La diminuzione del potere di ancoraggio dell'apparato radicale, che determina la suscettibilità al ribaltamento, potrebbe essere messa in relazione ad una modificazione della struttura dell'apparato radicale con l'età. Le misure della densità delle radici effettuate per quantificare il contributo stabilizzante in termini di coesione aggiuntiva, infatti, mostrano come vi sia una differente distribuzione delle radici rispetto alla profondità e, soprattutto, una differente distribuzione dei diametri delle radici tra ceppaie invecchiate e ceppaie in turno.

Tali differenze sembrano poter essere spiegate con il completo rinnovamento dell'apparato radicale che si ha, nell'arco di alcuni anni, ad ogni ceduzione, come suggeriscono per il castagno i pochi lavori disponibili dalla bibliografia (Bedeneau e Pages, 1984; Aymard e Fredon, 1986; Bagnara e Salbitano, 1998).

Dal punto di vista del rinforzo fornito dagli apparati radicali ai versanti, i risultati mostrano invece che nonostante la grande differenza di distribuzione delle radici, sia in termini di profondità che di diametro, tra

la situazione di ceduo invecchiato e quella di ceduo gestito (peraltro di età comunque superiore al turno ordinariamente adottato), le ripercussioni in termini di coesione aggiuntiva e di conseguente stabilità dei versanti non risultano apprezzabili.

È inoltre possibile notare che l'apparato radicale del ceduo invecchiato, pur riducendosi in termini di densità è comunque in grado di raggiungere maggiori profondità e quindi di garantire una certa stabilità. Stabilità che viene meno solamente in occasione di contenuti idrici del suolo particolarmente elevati (tra il 60 e il 90%, in funzione della pendenza locale) e per profondità della superficie di scivolamento nell'ordine del metro.

Pur mancando un riscontro quantitativo, infine, è opportuno sottolineare che un ceduo ordinariamente governato (cioè con turni di circa 1/3 rispetto all'età oggi prevalenti), presenta incrementi di biomassa ampiamente superiori a quelli delle formazioni oggi invecchiate e oggetto del presente studio; ciò avviene perché i ricacci conseguenti al taglio beneficiano della presenza di apparati radicali molto più ampi rispetto a quelli di una giovane piantina da seme di pari età, i quali garantiscono grandi quantità di apporti nutrizionali (contenuti nel parenchima di riserva radicale) e un prelievo di acqua dal suolo probabilmente in grado di ridurre il rischio di raggiungere pericolosi livelli di saturazione del suolo.

Dal punto di vista gestionale, quindi, le indicazioni che vengono dall'analisi dei fenomeni di ribaltamento sono piuttosto chiare. La ceduzione condotta entro i 30 anni offre garanzie che i ribaltamenti, anche su versanti particolarmente acclivi (30-35°), siano tutto sommato limitati. La ceduzione, inoltre, risulterebbe vantaggiosa anche nei casi in cui i ribaltamenti siano già iniziati, a condizione che le ceppaie presentino ancora porzioni radicali ancorate al terreno e vitali.

Dal punto di vista della stabilità dei versanti, infine, l'operazione di ceduzione in turno non sembra peggiorare la situazione ma neppure di apportare sostanziali benefici, salvo un elevato tasso di incremento di biomassa, con conseguente aumento della suzione radicale, che caratterizza gli stadi giovanili e che potenzialmente potrebbe ridurre la probabilità di saturazione del suolo.





- AA. VV. (2002). *I tipi forestali della Lombardia, inquadramento ecologico per la gestione dei boschi*. A cura di Regione Lombardia ed ERSAF, Cierre edizioni.
- Aymard M., Fredon J.-J. (1986). *Etude de reaction entre une racine et les rejets de la souche chez Castanea sativa Miller*. Ann. Sci. For., 43,3,351-364.
- Bagnara L., Salbitano F. (1998). *Struttura delle ceppaie e dei sistemi radicali in cedui di faggio sui monti Sibillini*. Sherwood, 30: 31-34.
- Bedeneau M., Pagès L. (1984). *Etudes des cernes d'accroissement ligneux du système racinaire d'arbres traits en tallis*. Ann. Sci. For., 41, 59-68.
- Benini G. (1990). *Sistemazioni idraulico-forestali. Collezione scienze forestali ed ambientali*. UTET, Torino.
- Bernetti G., La Marca O. (1983). *Elementi di dendrometria con esemplificazioni di problemi tecnico-professionali*. SCAF Edizioni Poppi (Ar).
- Bernetti G. (1995). *Selvicoltura speciale. Collezione scienze forestali ed ambientali*. UTET, Torino.
- Bischetti G.B., D'Agostino V. (2010). *Sistemazioni Idraulico Forestali: indirizzi per gli interventi*, Quaderni della Ricerca, n. 116, Regione Lombardia, 66 pp.
- Bischetti G.B., Chiaradia E.A., Simonato T. (2002) *Il ruolo della vegetazione nell'analisi di stabilità dei fenomeni franosi superficiali. l'esempio di Vararo (VA) del 3 maggio 2002*. Atti del convegno nazionale "La Difesa della Montagna". Assisi, 11 – 12 dicembre 2002.
- Bischetti G.B., Chiaradia E.A., Simonato T., Spaziali B., Vitali B., Vullo T., Zocco A. (2005) *Root strength and root area of forest species in Lombardy (Northern Italy)*. Plant Soil 278, 11 - 22.
- Bischetti G.B., Simonato T., Chiaradia E.A. (2004) *The role of root reinforcement on may 2002 shallow slope failures in st. Gulio creek catchment (Northern Italy)* - In: Atti del X Congresso Interpraevent / International Research Society INTERPRAEVENT. - [s.l.] : International Research Society INTERPRAEVENT, 2004. - pp. 57-67.
- Bischetti G.B., Simonato T., Chiaradia E.A. (2004) *Valutazione del contributo degli apparati radicali nell'analisi di stabilità e movimenti franosi superficiali* Rivista di ingegneria agraria. - ISSN 0304-0593. - 2004:3(2004), pp. 33-40.
- Bischetti G.B., Chiaradia E.A., Epis T., Morlotti E. (2009). *Root Cohesion of forest species in the Italian Alps*, Plant and Soil. DOI 10.1007/s11104-009-9941-0.
- Bischetti G.B., Speziali B., Zocco A. (2002). *Effetto di un bosco di faggio sulla stabilità dei versanti*, Convegno Nazionale La Difesa della Montagna, 11-12 dicembre 2002.
- Brun F., Furlan G. (2000). *Interventi di valorizzazione dei boschi cedui: convenienza economica e ricadute dell'utilizzo delle faggete in Piemonte*. Università degli Studi di Torino, quaderni del dipartimento di economia e ingegneria agraria, forestale e ambientale.
- Carlier G. (1987). *Etude de la sectorisation des souches de Chataignier (Castanea sativa miller) a l'aide d'eau tritiée*. Ann.Sci.For. 44, 1,85-102.
- Castellani C., Scrinzi G., Tabacchi G., Tosi V. (1984). *Inventario forestale nazionale italiano. Tavole di cubatura a doppia entrata*. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura, Trento.
- Chiaradia E.A. (2002). *Vegetazione e frane superficiali: applicazione di un modello spazialmente distribuito al bacino del torrente S. Giulio (Valcuvia, Varese)*. Tesi di laurea, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Milano.
- Chiaradia E. A., Bischetti G.B. (2005) *Valutazione dell'effetto della gestione del soprassuolo boschivo sui fenomeni di franamento superficiale attraverso un modello a parametri spazialmente distribuiti*. Quaderni di idronomia montana - 24 (2005), pp. 479 - 490.
- Cilin-Bertrand M., D'argouges R. Et S. (1993). *Transfert internes d'elements nutritifs dans le bois de chataignier (castanea sativa Miller): approche dynamique sur une chronoséquence de peuplements. I. Distribution des éléments minéraux*. Acta ecologica, 14,5,653-679.
- Conedera M., Fonti P., Nicoloso A., Meloni F., Pividori M. (2009) *Ribaltamento delle ceppaie di castagno individuazione delle zone a rischio e proposte selvicolturali*. Sherwood, 154.
- Coppin, N.J., Richards, I.G. (1990). *Use of Vegetation in Civil Engineering*, Butterworths: London.
- Dalla Fontana, G., Borga, M. E Tarolli, P., 2005. *Modellazione dei processi d'instabilità superficiale*.
- Del Favero, R. (ed.) (2002). *I tipi forestali della Lombardia*, CiErre ed., Sommacampagna (Verona).
- Docker B.B., Hubble T.C.T. (2008). *Quantifying root-reinforcement of river bank soils by four Australian tree species*. Geomorphol doi:10.1016/j.geomorph.2008.01.009.
- Dorren L.K.A., Berger F., Imeson A.C., Maier B., Rey F. (2004). *Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps*. Forest Ecology and management 195 (2004), 165-176.
- Dotta A., Motta R. (2000). *Boschi di conifere montani. Indirizzi selvicolturali*. Regione Piemonte, Blu Edizioni, Peveragno, pp. 192.
- Genet M., Stokes A., Salin F. et al. (2005). *The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots*. Plant Soil 278:1-9 doi:10.1007/s11104-005-8768-6.
- Hales T.C., Ford C.R., Hwang T., Vose J.M., Band L.E. (2009). *Topographic and ecologic controls on root reinforcement*. J. Geophys. Res. 114, F03013.
- Hammond C., Hall D., Miller S., Swetik P. (1992). *Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0*. United States Department of Agriculture, Intermountain Research Station, General Technical Report INT-285.
- Hemmer P.C., Hansen A., Pradhan S. (2007). *Rupture processes in Fiber Bundle Models*. In: Bhattacharyya P, Chakrabarti BK (eds) *Modeling Critical and Catastrophic Phenomena in Geoscience*, Lecture Notes in Physics No. 705. Springer, Berlin, pp 27-55.
- Keim R.F., Skaugset A.E. (2003). *Modelling the effect of forest canopies on slope stability*. Hydrol Process 17:1457-1467 doi:10.1002/hyp.5121

- Kun F., Raischel F., Hidalgo R.C., Herrmann H.J. (2007). Extension of Fiber Bundle Models. In: Bhattacharyya P, Chakrabarti BK (eds) *Modeling Critical and Catastrophic Phenomena*. in Geoscience, Lecture Notes in Physics No. 705. Springer, Berlin, pp 57–92.
- Motta R., Haudemand J. (2000). *Silvicultural planning in protective forests in the European Alps: one example from the Aosta Valley (Italy)*. Mountain Research and Development, 20, 2, 74–81.
- Nicoloso A. (2000). Piano d'assestamento forestale delle proprietà silvo-pastorali comunità montana Valcuvia, validità 2003÷2017.
- Nicoloso A. (2001). Piano di indirizzo forestale comunità montana Valcuvia, ottobre 2001.
- Nicoloso A. (2012). Piano di indirizzo forestale Comunità Montana Valli del Verbano, aprile 2012.
- Perrin H. (1954). *Selvicoltura tomo II, Il Trattamento Delle Foreste Teoria e Pratica Delle Tecniche Selvicolturali*. Ecole nationale des eaux et forets di Nancy, Accademia Italiana di Scienze Forestali.
- Pinna M. (1977). *Climatologia*. UTET, Torino.
- Piussi P. (1994). *Selvicoltura generale*. Collezione scienze forestali ed ambientali. UTET, Torino
- Pividori M., Armando F., Conedera M. (2006). Dinamiche post-colturali in un ceduo misto di castagno ai suoi limiti ecologici. Atti 5° Congresso SISEF: Foreste e Società - Cambiamenti, Conflitti, Sinergie. FOREST@ 3 (1): 86-90, 2006.
- Pividori M., Meloni F., Nicoloso A., Pozzi E., Arienti R., Conedera M. (2009). Ribaltamento delle ceppaie di castagno, due casi due studio. *Sherwood* 149
- Pollen N., Simon A. (2005). Estimating the mechanical effects of riparian vegetation on streambank stability using a fiber bundle model, *Water Resources Research*, 41 W07025 doi:10.1029/2004WR003801.
- Provincia Di Varese - Piano territoriale di coordinamento provinciale, Linee guida per la previsione, prevenzione e mitigazione del dissesto idrogeologico.
- Raischel F., Kun F., Herrmann H.J. (2008). Continuous damage fiber bundle model for strongly disordered materials. *Phys Rev E Stat Nonlin Soft Matter Phys* 77:046102 doi:10.1103/PhysRevE.77.046102
- Regione Autonoma Valle d'Aosta - Regione Piemonte (2006). *Selvicoltura nelle foreste di protezione. Esperienza e indirizzi gestionali in Piemonte e Valle d'Aosta*. Compagnia delle foreste.
- Regione Lombardia. Legge regionale del 28 ottobre 2004 n. 27 "tutela e valorizzazione delle superfici, del paesaggio e dell'economia forestale". Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia n. 44 del 29 ottobre 2004, I supplemento ordinario.
- Regione Lombardia. Deliberazione di Giunta Regionale n° 7/13899 del 1° agosto 2003 "Approvazione di criteri per la redazione dei piani di indirizzo forestale". Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia n. 35 del 25 agosto 2003, serie ordinaria.
- Riesterberg M.M., Sovonik-Dunford S. (1983). The role of woody vegetation in stabilizing slopes in the Cincinnati area Ohio. *Geol Soc Am Bull* 94:506–518 doi:10.1130/0016-7606(1983)94<506:TROWVI>2.0.CO;2
- Roering J.J., Schmidt K.M., Stock J.D. et al. (2003). Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon Coast Range. *Can Geotech J* 40:237–253 doi:10.1139/t02-113
- Rossi L. (2012). *Evoluzione del ceduo di castagno e dissesto idrogeologico: un caso di studio nelle Prealpi lombarde*. Elaborato finale tirocinio. Facoltà di Agraria. Università degli Studi di Milano.
- Schmid I., Kazda M. (2001). Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*. *Can J Res* 31:539–548 doi:10.1139/cjfr-31-3-539
- Schmidt K.M., Roering, J.J., Stock, J.D. et al. (2001). The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range, *Can Geotech J.*, 38, 995–1024.
- Schwarz M., Cohen D., Or D. (2012). Spatial characterization of root reinforcement at stand scale: theory and case study. *J. Geomorph* doi: 10.1016/2012.05.020
- Schwarz M., Lehmann P., Or D. (2010a). Quantifying lateral root reinforcement in steep slopes – from a bundle of roots to tree stands. *Earth Surf. Process. Landforms* 35, 354–367.
- Schwarz M., Preti F., Giadrossich F., Lehmann P., Or D. (2010b). Quantifying the role of vegetation in slope stability: a case study in Tuscany (Italy). *Ecol. Eng.* 36, 285–291.
- Sidle R.C., Ochiai H. (2006). *Landslides, Processes, Prediction, and Land Use Water Re-sources Monograph 18*, AGU, Washington D.C., USA.
- Terwillinger V.J., Waldron L.J. (1991). Effects of root reinforcement on soil-slip patterns in the Transverse Ranges of southern California. *Geol Soc Am Bull* 103:775–785 doi:10.1130/0016-7606(1991)103<0775:EORROS>2.3.CO;2
- Vogt J., Fonti P., Conedera M., Schröder B. (2006). Temporal and spatial dynamic of stool uprooting in abandoned chestnut coppice forests. *Forest Ecology and management*, Volume 235, Issues 1-3, 1 November 2006, Pages 88-95.
- Waldron, L.J. (1977). The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil, *Soil Science Society of America Journal*, 41, 843-849.
- Wu, T.H. (1976). Investigation of landslides on Prince of Wales Island, Alaska. *Ohio State Univ. Geotech. Eng. Rept. 5*. Columbus, OH, USA.
- Wu T.H., McKinnel W.P., Swantston D.N. (1979). Strength of tree roots and landslides on prince of Wales Island, Alaska, *Canadian Geotechnical Journal*, 16, 19-33.
- Yazici B., Yolacan S. (2007). A comparison of various tests of normality. *J Stat Comput Simul* 77:75–183 doi:10.1080/10629360600678310
- Ziemer R.R., Swantston D.N. (1977). Root strength changes after logging in southeast Alaska. *USDA Forest Service Research Note PNW 306*.



**RegioneLombardia**

Agricoltura

Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura

[www.agricoltura.regione.lombardia.it](http://www.agricoltura.regione.lombardia.it)