

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI
CORSO DI LAUREA IN TECNOLOGIE FORESTALI E AMBIENTALI

**VALUTAZIONE DELL'ACCURATEZZA E DELL'EFFICIENZA DELLA APPLICAZIONE
"MOTI" RISPETTO AL RELASCOPIO DI BITTERLICH PER LA STIMA DELL'AREA
BASIMETRICA AD ETTARO**

Relatore: Dott. Daniele Castagneri

Laureando: NICOLA FIORESE

Matricola n° 2022671

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Indice

1. Riassunto	5
2. Abstract	6
3. Introduzione	7
3.1 L'area basimetrica come misura fondamentale della dendrometria	7
3.2 Il relascopio di Bitterlich	8
3.3 Applicazioni per smartphone in grado di stimare l'area basimetrica ad ettaro	10
3.4 L'applicazione MOTI	11
3.5 Test durante lo sviluppo dell'applicazione	15
3.6 Obbiettivi	16
4. Materiali e metodi	17
4.1 Descrizione del sito di studio	17
4.2 Strumenti per la raccolta dati	26
4.3 Disegno di campionamento	26
4.4 Rilievi in campo	27
4.5 Elaborazione dei dati	31
4.5.1 Elaborazioni di G/ha con rilievi per aree di saggio	31
4.5.2 Elaborazioni di G/ha con rilievi relascopici	31
4.5.3 Elaborazione dei tempi di rilievo	32
4.5.4 Calcolo delle misure di performance	32
4.5.5 Ipotesi da verificare	33
4.6 Analisi sui punti a ridotta visibilità (chiarie)	35
5. Risultati	37
5.1 Inquadramento delle particelle	37
5.2 Area basimetrica ad ettaro	40

5.2.1 Pecceta	40
5.2.2 Faggeta	40
5.3 Replicabilità del rilievo, differenze di misura nella G/ha	41
5.3.1 In pecceta	41
5.3.2 In faggeta	42
5.4 Misure di performance	43
5.4.1 Misure non scalari di precisione	43
5.4.2 Misure non scalari di distorsione	43
5.4.3 Misure non scalari di accuratezza	44
5.4.4 Misure scalari di precisione	44
5.4.5 Misure scalari di distorsione	45
5.4.6 Misure scalari di accuratezza	45
5.5 Tempistiche di rilievo	45
5.5.1 In pecceta	45
5.5.2 In faggeta	45
5.6 Analisi sulle chiarie	46
6. Discussione	49
6.1 Accuratezza di MOTI rispetto al relascopio di Bitterlich	49
6.2 Influenza dell'errore soggettivo su MOTI	50
6.3 Durata del rilievo	51
6.4 Analisi sulle chiarie	52
6.5 Confronti di performance con altre applicazioni testate in grado di misurare la G/ha	52
6.6 Vantaggi e svantaggi di MOTI individuati in campo	54
6.6.1 Vantaggi di MOTI	54
6.6.2 Svantaggi di MOTI	55
7. Conclusioni	56

8. Bibliografia

57

9. Allegati

59

1. RIASSUNTO

Nella presente tesi si vuole testare le performance dell'applicazione MOTI per la stima dell'area basimetrica ad ettaro. In particolare, si vuole verificare se restituisca risultati paragonabili a quelli forniti dal relascopio di Bitterlich, strumento molto utilizzato nella pratica professionale. Inoltre, si è voluto verificare se il tempo impiegato per rilevare il parametro dendrometrico con i due strumenti fosse simile, aspetto molto importante nell'esercizio della professione.

Le misurazioni in campo sono state svolte in due aree di studio nel comune di Valbrenta (VI): una fustaia di abete rosso e una fustaia di faggio derivante da una conversione, entrambe in leggera pendenza. Per ogni area di studio sono stati eseguiti 25 punti di test, dove, due volte sia con MOTI che con il relascopio, è stata eseguita la misurazione per la stima dell'area basimetrica ad ettaro. La doppia misurazione è servita per valutare la replicabilità della misura dei due strumenti. Inoltre, per ogni punto di test è stata realizzata un'area di saggio di 10 m di raggio, nella quale sono stati misurati i diametri, per stimare un valore di riferimento dell'area basimetrica/ettaro, in seguito utilizzato per valutare l'accuratezza delle misure relascopiche.

In pecceta, nel 56% dei casi MOTI riporta un risultato di area basimetrica all'ettaro sovrastimato rispetto al "riferimento" (il relascopio nel 60% dei casi). Nella faggeta, MOTI sovrastima il valore di riferimento nel 38% dei casi (il relascopio nel 26%). La differenza media tra le misure di MOTI e le misure relascopiche, fatte sul medesimo sito di campionamento, è di 1,91 m²/ha nella fustaia di abete rosso e di 0,68 m²/ha nella fustaia di faggio. L'accuratezza delle stime di MOTI è paragonabile all'accuratezza delle stime con il relascopio. Le differenze tra le doppie misurazioni con MOTI e le differenze tra le doppie misurazioni con il relascopio di Bitterlich non sono statisticamente differenti. L'applicazione ha una ripetibilità della misura paragonabile a quella del relascopio di Bitterlich. Il tempo richiesto per misurare il parametro è stato di 7 minuti, in media, nella pecceta e 5 nella faggeta. Le differenze di tempo fra i due strumenti relascopici non sono significative.

Nei siti analizzati, MOTI risulta essere uno strumento efficiente quanto il relascopio di Bitterlich per stimare l'area basimetrica ad ettaro. Le tempistiche di rilievo risultano essere molto simili. Da questo studio emerge come l'applicazione MOTI, totalmente gratuita e disponibile in lingua italiana, sia un valido strumento per la stima dell'area basimetrica con metodo relascopico.

2. ABSTRACT

In this thesis, we want to test the performance of the MOTI app for assessing tree basal area per hectare. In particular, we want to assess if it returns results comparable to those provided by the Bitterlich relascope, an instrument widely used in professional practice. In addition, the time taken to detect the dendrometric parameter using the two instruments, a critical aspect for the professional use, was compared.

Field measurements were carried out in two study areas in the municipality of Valbrenta (VI): a spruce forest, and a beech forest derived from a conversion, both on a gentle slope. For each study area, 25 test points were performed, where twice with both MOTI and the relascope, the measurement was taken to estimate the basal area per hectare. The double measurement served to assess the replicability of the measurement of the two instruments. In addition, a test area of 10 m radius was created for each test point, in which the diameters were measured, to estimate a basal area/hectare reference value, later used to assess the accuracy of the relascope measurements.

In the spruce forest, in 56% of the cases MOTI reports an overestimated basal area per hectare result compared to “the reference” (the relascope in 60% of the test points). In the beech forest, MOTI overestimates the reference value in 38% of the cases (the relascope in 26%). The average difference between MOTI and relascope measurements, taken on the same sampling site, was 1.91 m²/ha in the spruce forest and 0.68 m²/ha in the beech forest. The accuracy of the MOTI estimates was comparable to the accuracy of the relascope estimates. The differences between the double measurements with MOTI and the differences between the double measurements with the Bitterlich relascope were not statistically different. The application had a measurement repeatability comparable to that of the Bitterlich relascope. The time required to measure the parameter averaged 7 minutes in the spruce forest and 5 in the beech forest. The differences in time between the two relascope instruments were not significant.

At these sites, MOTI was as efficient as the Bitterlich relascope for estimating basal area per hectare. The survey times were very similar. This study shows that the MOTI application, which is totally free and available in Italian, is a valid tool for estimating basal area using the relascope method.

3.INTRODUZIONE

3.1 L'AREA BASIMETRICA COME MISURA FONDAMENTALE DELLA DENDROMETRIA

La pianificazione forestale e la programmazione di un intervento selvicolturale richiedono sempre una fase di indagine preliminare, necessaria per ottenere conoscenze relative alle caratteristiche del bosco, all'ambiente fisico e sociale in cui esso si trova. La dendrometria mette a disposizione metodologie e strumenti per rilevare dati nella fase di campo, utili alla stima dei parametri forestali (struttura, composizione, densità), fondamentali per la descrizione della foresta. Solo dopo aver stimato i parametri che descrivono la foresta si può ipotizzare la sua dinamica (la direzione più probabile, futura, naturale, verso cui tenderà il bosco) e scegliere come agire.

Uno di questi parametri è l'area basimetrica, definita come la superficie della sezione trasversale di un albero, rilevata sul fusto all'altezza di un metro e trenta. L'area basimetrica ad ettaro (G/ha) è la somma dell'area basimetrica di tutti gli alberi, riferita ad un ettaro. Può essere assimilata ad un parametro che esprime la densità del bosco pesata sulle dimensioni degli alberi ed è utile sia ad una rapida stima della provvigione, sia a calcolare altri parametri del popolamento quali il diametro medio.

La pianificazione forestale si basa sul campionamento, i cui costi dipendono principalmente dall'efficienza del rilievo sul campo e dal numero di osservazioni. La costruzione dell'inventario forestale copre circa la metà della pianificazione, la sua efficienza è stata considerata il fattore più importante per la riduzione dei costi (Haara e Korhonen, 2004). Si stima che il 75% del costo totale della pianificazione nella gestione forestale, sia il costo di costruzione dell'inventario forestale (Fricelj, 2018). Saari e Kangas (Saari e Kangas, 2005) riportano che il lavoro in campo costituisce la parte principale dei costi di pianificazione forestale in Finlandia: nel 2000, il costo totale della pianificazione forestale è stato di 17,83 €/ha, di cui 7,9 €/ha per le operazioni di misura.

Nella stima delle caratteristiche del soprassuolo si verificano errori sistematici e casuali: la loro entità dipende dal metodo utilizzato e dall'esperienza del rilevatore (Laasasenaho e Päivinen, 1986). Durante le operazioni in campo, si vanno a eseguire una serie di misurazioni su una grandezza di cui non si conosce il valore reale, ogni misurazione è affetta da una certa imprecisione. Quindi sebbene le operazioni di misura costituiscano gran parte del costo di pianificazione forestale, le informazioni raccolte sul campo sono spesso imprecise. Nello studio di Saari e Kangas (Saari e Kangas, 2005) l'errore di misurazione ha rappresentato la maggior parte dell'errore totale per la stima dell'area basimetrica (G). Questo e altri errori hanno portato ad una sottostima della G/ha, seguendo un trend: all'aumentare dell'area basale del soprassuolo, aumenta la sottostima dell'area basale. Distorsioni che poi si ripercuotono sulla stima del volume.

Nei secoli passati, il volume legnoso del bosco doveva essere valutato sulla base di stime visive della densità del popolamento e di alcune misurazioni dell'altezza degli alberi. Come riportato da Korhonen, il relascopio di Bitterlich ha risolto il problema delle stime di densità. In seguito alla sua invenzione è stato possibile ridurre notevolmente le tempistiche per la misurazione dei diametri, rendendo necessario misurare solo alcuni punti campione, soggettivamente o oggettivamente selezionati in ogni compartimento (Koivuniemi e Korhonen, 2006).

3.2 IL RELASCOPIO DI BITTERLICH

La stima dell'area basimetrica senza la misura diretta del diametro degli alberi, sfrutta il campionamento a conteggio angolare (ACS) sviluppato nel 1947 dall'austriaco Walter Bitterlich, inventore del relascopio che porta il suo nome.

Il campionamento a conteggio angolare (Bitterlich, 1947), su cui si basa il rilievo con il relascopio è un metodo che determina l'area basimetrica ad ettaro, in un determinato punto di campionamento, contando semplicemente tutti gli alberi che hanno un diametro superiore a un determinato "angolo critico" (in Figura1, definito α). L'uso di un angolo è una semplice tecnica ottica per determinare una proporzione tra il diametro dell'albero e la distanza dell'albero dal punto di campionamento (equivale a c in Figura1). Il diametro dell'albero d supererà l'angolo critico solo se la distanza dall'albero è inferiore alla "distanza critica" proporzionale r . Quanto più grande è il diametro di un albero (a livello del metro e trenta), tanto più grande è la sua "distanza critica". Gli alberi conteggiati devono rispettare la relazione:

$a < r$, con a distanza orizzontale tra il centro dell'albero osservato e il punto di osservazione, ed r distanza critica, corrispondente alla (1)

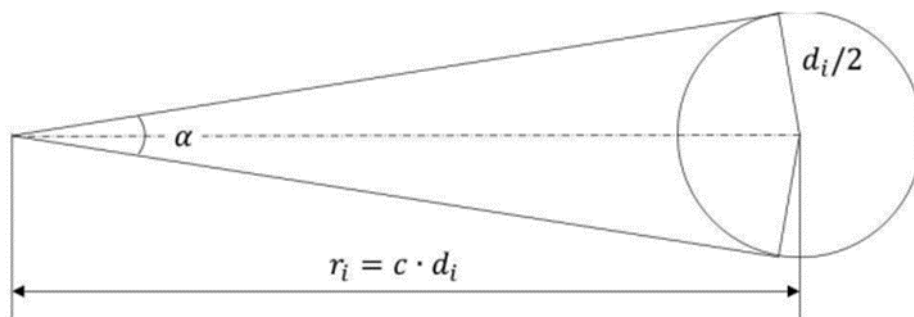


Figure 1: Rappresentazione grafica bidimensionale della relazione tra il diametro pianta e l'angolo critico.

$$r = d \cdot \frac{50}{\sqrt{\phi}} \quad \text{con } \phi \text{ fattore di numerazione, } d \text{ diametro albero ad altezza petto}$$

$$Df = \frac{50}{\sqrt{\phi}} \quad \text{con } Df \text{ costante definita fattore di distanza, } \phi \text{ fattore di numerazione} \quad (1)$$

L'angolo costante definisce la distanza critica all'interno della quale viene contato un albero con un certo diametro (ad altezza di 1,30 metri da terra). Sfruttando questa proporzione, non è necessario misurare la distanza di tutti gli alberi dal centro dell'area di saggio e poi confrontarla con il diametro degli stessi (come è visibile in Figura2). La costante Df dipende dal fattore di numerazione utilizzato ϕ secondo la (1).

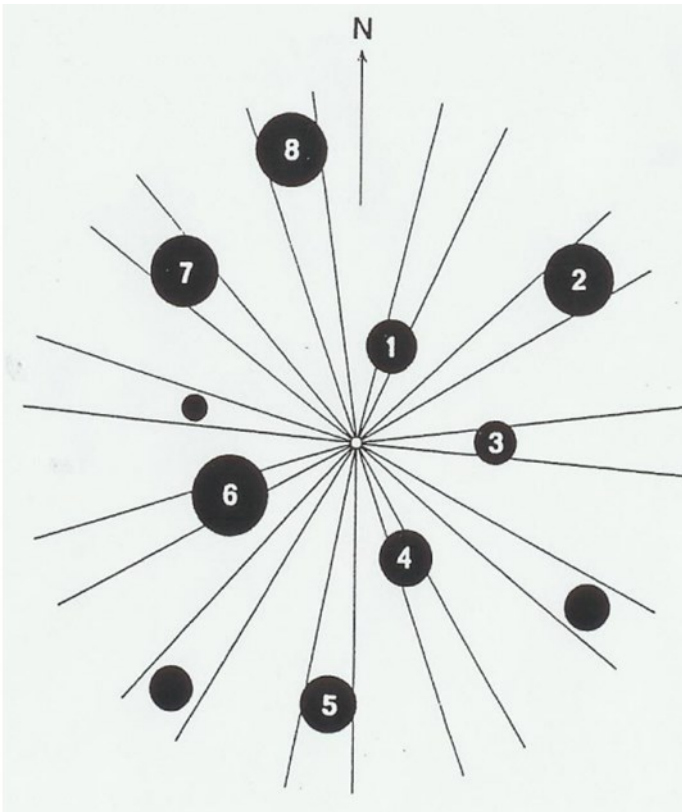
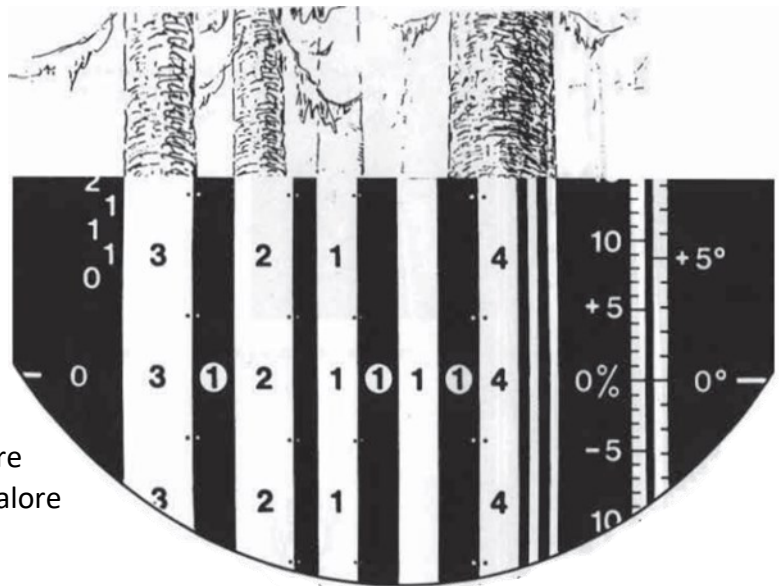


Figure 2: Rappresentazione grafica di un rilievo relascopico in funzione dei diversi angoli di visuale, eseguito con una rotazione oraria partendo dalla pianta 1, più vicina all'operatore (Bitterlich, 1947).

In foresta, guardando attraverso l'obbiettivo ottico del relascopio di Bitterlich, l'osservatore, ruotando attorno a sé stesso di 360°, effettua una collimazione degli alberi circostanti e confronta il diametro all'altezza del petto (d.b.h.) con la banda scelta (esempio banda chiara 1, in Figura3). Durante la rotazione/collimazione, si contano gli alberi il cui tronco sembra essere più largo o uguale alla larghezza della banda. Un albero viene conteggiato se l'immagine del tronco, attraverso lo strumento, sconfinava all'esterno della larghezza della banda scelta. Se, invece l'immagine del tronco è inferiore alla larghezza della banda, l'albero non viene conteggiato (come in Figura3).



Chiusa la rotazione, moltiplicando il numero di alberi conteggiati per il fattore di numerazione utilizzato, si ottiene il valore di G a ettaro, come nella (2).

$$G/ha = n \cdot \phi \quad \text{con } n \text{ numero di alberi conteggiati, } \phi \text{ fattore di numerazione scelto} \quad (2)$$

Figura 3: Visuale attraverso il mirino ottico del relascopio nell'atto del rilievo (Hellrigl).

In generale, i dispositivi di misura offrono fattori di numerazione 1, 2 e 4. Il fattore di numerazione riflette l'angolo costante che caratterizza il dispositivo di misura.

Il relascopio di Bitterlich, così come i relascopii elettronici a laser, è delicato e costoso (nell'ordine di un paio di migliaia di euro). Per molti decenni il relascopio di Bitterlich è stato lo strumento in dotazione ai forestali per realizzare stime dell'area basimetrica con tecnica relascopica. Oggi però, grazie allo sviluppo tecnologico degli ultimi decenni, i tradizionali strumenti analogici vengono spesso sostituiti con strumenti elettronici, in grado di migliorare velocità e accuratezza delle misure eseguite in campo. Accessori di suo comune, come uno smartphone, sono di uso quotidiano, utilizzati in molte situazioni e per risponde a diverse domande, sempre portati appresso anche nel lavoro in bosco. Lo smartphone funge da "coltellino svizzero" per alcuni professionisti forestali (come definito in Documentazione MOTI: Belgica, 2016; Haas, 2012; Fricelj, 2018). Le applicazioni per telefoni cellulari a disposizione dei professionisti, incluse quelle di misura degli alberi, sono molte.

3.3 APPLICAZIONI PER SMARTPHONE IN GRADO DI STIMARE L'AREA BASIMETRICA AD ETTARO

Negli ultimi anni sono comparse diverse applicazioni in grado di rilevare i parametri dendrometrici (G/ha e altezza). Ad esempio Relasphone, un'applicazione a pagamento, e Trestima, che necessita di una connessione a internet per funzionare, entrambe non disponibili in lingua italiana. Alcuni studi hanno analizzato l'accuratezza di queste applicazioni nel determinare l'area basimetrica del popolamento, per valutare se fossero prestanti quanto gli strumenti relascopici tradizionali.

Nello studio di tesi condotto in Finlandia da Latorre (Latorre, 2015), le misurazioni dell'area basimetrica con Trestima sono state confrontate con quelle ottenute utilizzando un relascopio tradizionale. Il "valore vero" utilizzato nello studio per determinare l'accuratezza di Trestima è stato ottenuto da un rilievo relascopico, con fattore di numerazione uno ($\phi=1$). Egli ha riportato che la radice dell'errore quadratico medio RMSE scalare dell'area basimetrica varia dal 19,7% al 29,3% e dall'11,4% al 18,4% a seconda del numero di immagini per area campione e la posizione di ripresa dell'immagine. Trestima tendeva generalmente a fornire una sottostima dell'area basimetrica totale del popolamento forestale, ma in altri casi come per l'abete rosso risultava una sovrastima. Latorre ha verificato che non erano presenti differenze significative tra le misure dell'area basimetrica con Trestima e quelle di riferimento. L'accuratezza delle stime di Trestima per l'area basale specifica di una specie è risultata significativamente influenzata dalla struttura del popolamento forestale.

Altre prove hanno confermato i risultati dello studio su Trestima, come lo studio di Vastaranta (Vastaranta e altri, 2015), il quale riporta che Trestima ha un valore di RMSE (20,5%) nelle stime di area basimetrica, molto simile al valore ottenuto con strumenti che sfruttano la relascopia. Nel lavoro l'area basimetrica, utilizzata per determinare l'accuratezza dell'applicazione a livello di popolamento, è stata stimata grazie al cavallettamento di 25 aree di saggio.

Nello studio di Moliner (Moliner e altri, 2016), le misurazioni di area basimetrica con Relasphone sono state testate rispetto ai parametri di riferimento di piani forestali, in due diversi biomi: in una zona boreale in Finlandia e in una zona temperata in Messico. Il test in Finlandia riporta che l'area basimetrica di pino silvestre e abete rosso misurata con Relasphone è risultata in buon accordo con i dati dei piani forestali di riferimento (RSME%=29,66%). I test in Messico hanno permesso di concludere che le misure eseguite in modo indipendente dai due utenti sono risultate coerenti, con

un RSME% dell'area basimetrica totale che variava quasi allo stesso modo per entrambi gli osservatori. Sugerendo che Relasphone può fornire misurazioni affidabili e coerenti sebbene eseguite da un maggior numero di utenti. Le recensioni riportate dagli operatori in Messico (Moliner et al., 2015), ritengono che il Relasphone sia un "buon strumento di lavoro, dal punto di vista operativo".

3.4 L'APPLICAZIONE MOTI (MOBILE TIMBER CRUISE)

In tempi relativamente recenti (2013), è stata resa disponibile un'applicazione che potenzia le modalità di utilizzo dello smartphone per chi lavora in bosco, scaricabile sia su Google store che su App store: MOTI.

MOTI è il risultato di un progetto di ricerca e sviluppo condotto dall'Università di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (HAFL) in collaborazione con il Dipartimento di Tecnologia e Informatica dell'Università di Scienze Applicate di Berna (BFH). Il progetto è stato finanziato e sostenuto dal Fondo di ricerca sulle foreste e sul legno, dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) e da sette cantoni svizzeri (Friburgo, Grigioni, Lucerna, Ticino, Vallese, Vaud e Zurigo, Rosset et al., 2015). L'obiettivo del progetto era quello di fornire uno strumento utile e affidabile che possa essere accettato dai professionisti. MOTI è un'applicazione disponibile in quattro lingue, tra cui l'italiano.

Lo sviluppo di MOTI è stato dinamico e mirato per tutto il 2013. In particolare, le prove forestali effettuate e il fatto che MOTI sia stato sviluppato in diversi cicli successivi, ha permesso di raggiungere buoni risultati in tempi relativamente brevi, comportando un costo significativo in termini di costi di ricerca e sviluppo. La maggior parte di questi costi aggiuntivi derivano per esempio da problemi di accuratezza (che hanno portato a sviluppare il processo di calibrazione), o dall'implementazione dell'applicazione con il sistema SiWaWa. Un sistema che permette di simulare l'evoluzione dei popolamenti puri (faggio, peccio e frassino) nella fustaia coetanea dei prossimi 30 anni. Il sistema sulla base dei parametri forestali attuali presentati dal popolamento, calcola per ogni anno (fino a 30 anni) i principali parametri, tra cui la provvigione.

In MOTI, per la stima dell'area basimetrica ad ettaro in un punto della foresta, si sfrutta lo stesso metodo che per il relascopio di Bitterlich. In questa applicazione, se il tronco appare sullo schermo all'interno dei due triangoli proiettati, si conterà l'albero. Se invece questo appare più stretto,

l'albero non viene conteggiato (come in Figura4). Il mirino virtuale funge da “banda di Bitterlich”(o di riferimento) per il conteggio degli alberi.

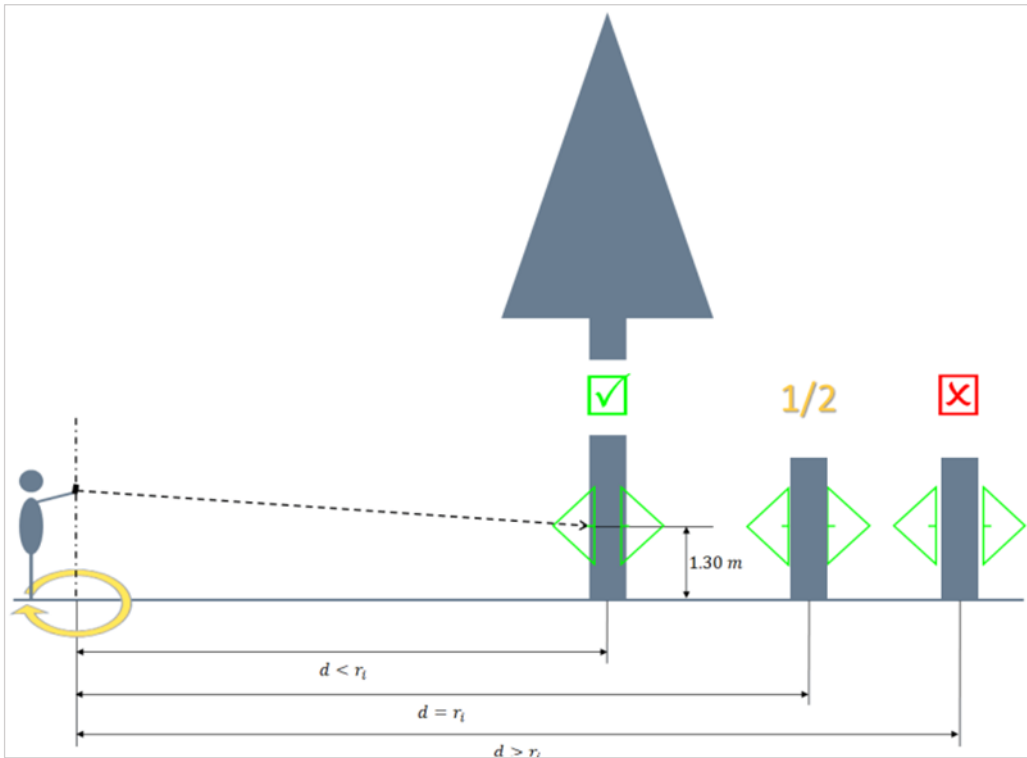


Figura 4: Schematizzazione dell'utilizzo di MOTI per giudicare, nel conteggio relascopico, una pianta posta a diverse distanze dall'operatore (Rosset et al., 2014).

L'ampiezza della tacca formata dai triangoli sullo schermo viene calcolata in base al fattore di numerazione scelto dall'utente. In primo luogo, l'angolo costante è calcolato secondo la formula (3) e corrispondente al fattore scelto.

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\sqrt{\Phi}}{100} \quad \text{con } \alpha \text{ angolo costante, } \Phi \text{ fattore di numerazione scelto} \quad (3)$$

Poi, in una seconda fase, la larghezza (misurata in pixel) della tacca (a), viene determinata in base alla relazione trigonometrica (4), mostrata nella Figura5.

$$\frac{a/2}{\tan^{\alpha/2}} = \frac{b/2}{\tan^{\beta/2}} \quad (4)$$

Il valore della larghezza (in pixel) dello schermo (b) e il campo visivo orizzontale sono costanti conosciute, specifiche del dispositivo utilizzato. Il principio alla base del metodo di Bitterlich, illustrato in Figura1, si riferisce al piano orizzontale. Pertanto, dal momento in cui lo smartphone è inclinato verso l'alto o verso il basso quando si sta mirando, per esempio nei casi di pendenza, è necessaria una correzione.

Il fattore di correzione non è altro che il coseno dell'inclinazione dello smartphone al momento della mira, misurato in tempo reale dai sensori dello smartphone. Il giroscopio permette allo smartphone di rilevare le variazioni di inclinazione (Documentazione MOTI: Belgica, 2016), quindi secondo la formula (5).

$$a_{corretto} = a \cdot \cos y \quad \text{con } y \text{ inclinazione dello smartphone} \quad (5)$$

Il coseno dell'inclinazione corrisponde al rapporto tra la distanza orizzontale e la distanza reale tra lo smartphone e il punto di destinazione. Con l'eccezione del relascopio di Bitterlich, i dispositivi di misura tradizionali non apportano alcuna correzione per l'inclinazione dello strumento.

La qualità della fotocamera e la sensibilità del giroscopio sono quindi parametri importanti per ottenere misure affidabili.

Quando l'applicazione MOTI viene avviata per la prima volta, una procedura guidata permette all'utente di calibrare il proprio smartphone. Questa calibrazione è essenziale per il funzionamento ottimale del sistema di misura e per ottenere risultati più precisi. La procedura di calibrazione è duplice:

- 1) è necessario determinare con precisione gli angoli che definiscono il campo visivo dell'obiettivo della fotocamera.
- 2) è necessario verificare se l'obiettivo della telecamera è perfettamente perpendicolare al piano formato dallo schermo dello smartphone e, in caso contrario, di determinare l'esatta distanza tra l'asse in cui è orientato l'obiettivo e l'asse perpendicolare allo schermo.

Il campo visivo della fotocamera dello smartphone, ovvero la porzione di spazio percepita dall'obiettivo e riprodotta sullo schermo, è caratterizzato dal campo visivo orizzontale che definisce l'ampiezza del campo visivo, e dal campo visivo verticale che definisce l'altezza del campo visivo (Figura5) e da due angoli di visuale:

-l'angolo di campo orizzontale, una costante, è utilizzata per calcolare la larghezza della tacca sullo schermo, per il conteggio degli alberi quando si misura l'area basale per ettaro (Figura5).

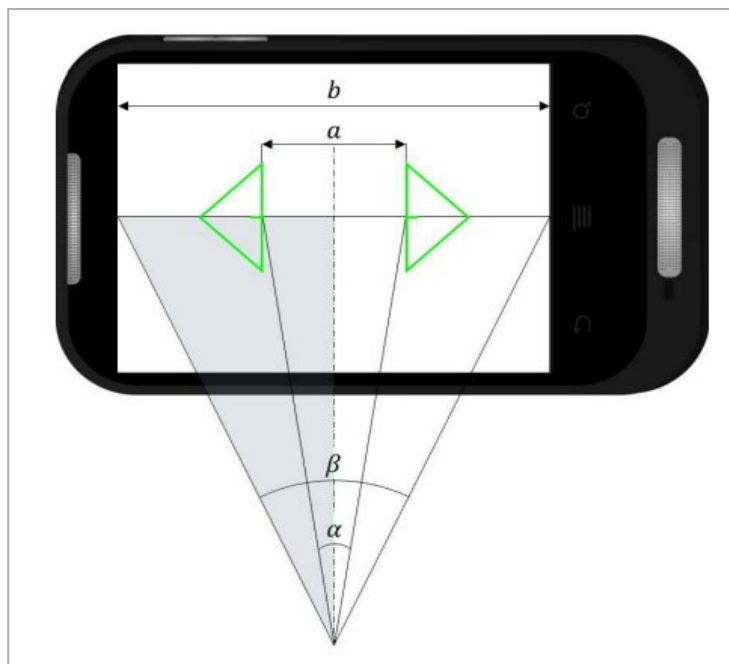


Figura 5: Rappresentazione della relazione trigonometrica utilizzata per determinare la larghezza della banda di riferimento (a), in relazione all'angolo di visuale α (Rosset et al., 2014).

-l'angolo di campo verticale, utilizzato nella misura dell'altezza.

È necessario quindi conoscere questi due angoli nel modo più preciso possibile. I test interni hanno dimostrato che i valori dell'angolo di visuale forniti dai produttori di smartphone non sono sempre precisi e che gli angoli di visuale non sono sempre gli stessi per tutti i livelli di zoom. La fase di calibrazione consiste proprio in una procedura che consente all'utente di determinare in modo semplice e preciso il valore dei due angoli di visuale specifici per la propria fotocamera.

Il protocollo di calibrazione prevede:

1) come prima fase, di centrare l'obiettivo della fotocamera (dello smartphone) in verticale e in orizzontale usufruendo di uno specchio, per determinare in modo esatto, un'eventuale distanza tra l'asse in cui è orientato l'obiettivo e l'asse perpendicolare allo schermo.

2) come seconda fase, di tracciare il campo visivo dell'obiettivo dello smartphone su un foglio A3 e poi misurarlo. La procedura richiede un'attrezzatura standardizzata e facilmente reperibile, un passo della procedura è visibile in Figura 6. In breve, il metodo consiste nello scaricare il foglio campioni di calibrazione dal sito www.moti.ch, dove sono disegnati segmenti retti di lunghezza diversa. Appoggiare la stampa su una superficie piana, formare un rotolo con un secondo foglio A3, arrotolandolo nel senso della larghezza e poi appoggiare il rotolo sulla superficie piana. Poi, posizionare lo smartphone sul rotolo, con lo schermo rivolto verso l'alto (come in Figura 6).

A questo punto è necessario catturare il segmento più lungo che rientra nello schermo, in modo che sia visibile l'intera linea, per determinare i confini del campo dello schermo. Poiché l'altezza del rotolo è nota

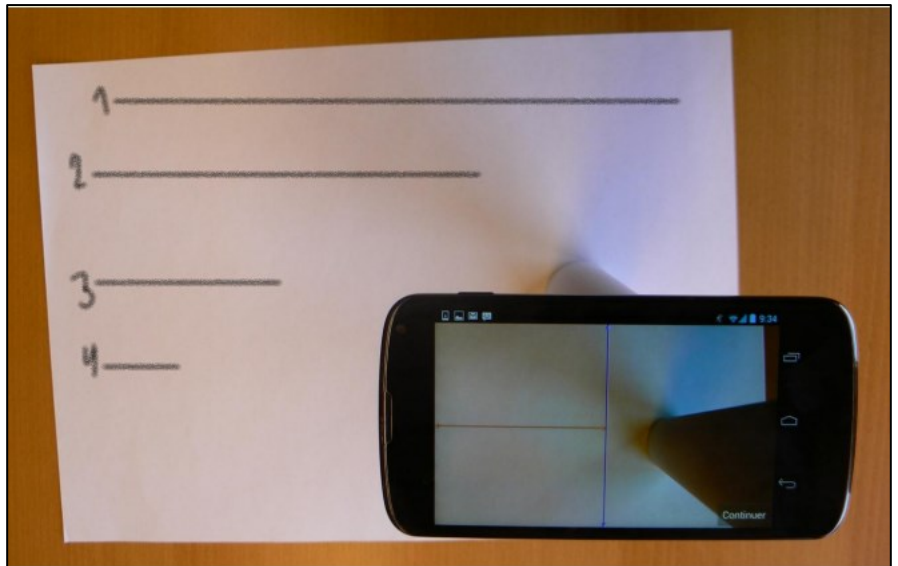


Figura 6: Rappresentazione della fase finale nella procedura di calibrazione di MOTI.

(corrispondente alla larghezza di un foglio A3, cioè 297 mm), è sufficiente indicare nella procedura di calibrazione dell'applicazione, il numero del segmento che rientra totalmente all'interno dello schermo, per determinare gli angoli di campo corrispondenti. L'operazione viene ripetuta quattro volte, una per ciascuno dei quattro livelli di zoom utilizzati da MOTI. Ad ogni livello di zoom, si ripete l'operazione con una linea sempre più corta. Si noti che più alto è il livello di zoom, più piccolo è il campo visivo, più l'imprecisione della misurazione influirà sul risultato delle misure.

Esiste inoltre un metodo per verificare l'accuratezza della calibrazione. Consiste nel fissare una carta di credito con dimensioni standardizzate a una parete verticale, avviare una misurazione e puntare la carta di credito, in modo tale che si trovi esattamente tra i segni triangolari sullo schermo (Figura7). In base alle formule del campionamento a conteggio angolare (costante, rapporto che lega diametro e raggio), la distanza orizzontale tra la parete e lo smartphone dovrebbe corrispondere a: 2,70 m con $k=1$, 1,91 m con $K=2$, 1,35 m con $K=4$. L'esecuzione di questo test, posizionando la carta di credito a diverse altezze, consente anche di controllare la correzione della pendenza.

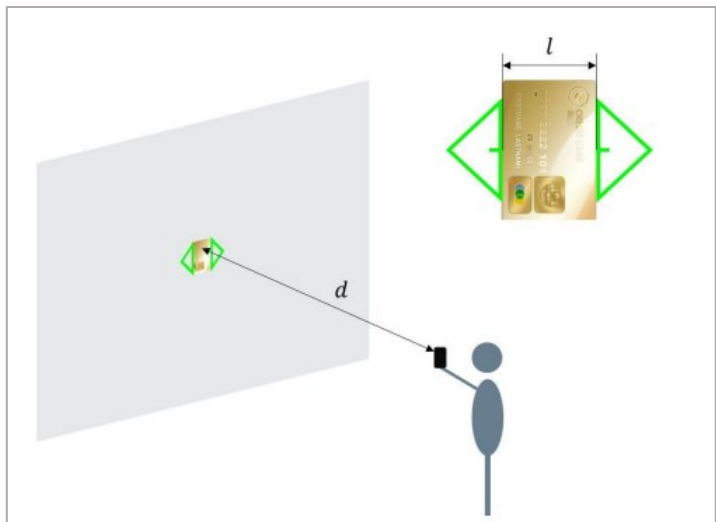


Figura 7: Schematizzazione della procedura di verifica calibrazione.

Un importante vantaggio dell'applicazione è che i dati vengono memorizzati automaticamente sul server web gestito dal BFH (Università di Scienze Applicate di Berna). L'interfaccia "Sincronizzazione" permette di esportare i dati raccolti e di scaricare i dati precedentemente salvati sul server web (nei formati .xls, .pdf e .csv). In questo modo, possono essere facilmente consultati, manipolati, permettendo in un futuro rilievo, di confrontare lo stato attuale del sito con quello precedente, durante l'attività in campo.

3.5 TEST DURANTE LO SVILUPPO DELL'APPLICAZIONE

MOTI è stata soggetta a diversi tipi di esami da parte degli sviluppatori (Rosset e al., 2014), tra cui dei test di precisione nelle misure per singolo albero limite. I materiali utilizzati nel test sono: un asta graduata, un treppiede e un distanziometro, per misurare distanze topografiche. Le prove consistevano nel verificare che posizionando il treppiede alla distanza opportuna, in funzione del raggio critico (determinato con la (1)), quando "l'albero test" veniva collimato con Moti, entrambi i triangoli verdi fossero perfettamente allineati con entrambi i lati del tronco sullo schermo. In totale sono stati collimati tredici "alberi test", distribuiti su tutte le classi diametriche assestamentali, sia su una pendenza del 20%, che in piano. Proprio al momento della collimazione, è stato fatto uno screenshot, poi stampato in formato A4. Sull'immagine, sono state quindi misurate due distanze, utilizzando un righello graduato:

- 1) lo spazio vuoto tra le basi dei due triangoli verdi.
- 2) la lunghezza in foto del diametro, al metro e trenta.

Per ogni "albero test" il procedimento è stato eseguito con i quattro fattori di conteggio $K=1, 2, 4$ e 8 . Per ogni distanza, la misura è stata fatta con i quattro livelli di zoom disponibili in MOTI. Le prove sono state effettuate con smartphone di marche diverse, per un totale di 496 misurazioni. Il test ha permesso di concludere che le imprecisioni rilevate sul formato A4 appaiono logicamente in modo meno marcato sullo schermo. Potendo supporre che probabilmente una certa percentuale delle misure imprecise in formato A4, non vengono nemmeno rilevate sullo schermo durante la misurazione. Non è stata notata alcuna relazione tra l'accuratezza delle misurazioni e il fattore di

conteggio K, la pendenza del terreno, il livello di zoom e infine il modello di smartphone. Tuttavia, la misurazione tende ad essere più accurata al livello minimo di zoom.

3.6 OBIETTIVI

Analizzare le differenze di misura dell'area basimetrica a ettaro tra rilievi eseguiti con MOTI rispetto a rilievi eseguiti con un relascopio di Bitterlich. Per verificare se MOTI, durante la pratica professionale in campo, può essere un valido strumento alternativo ai tradizionali relascopi in termini di:

-Accuratezza nelle misure, prima ipotesi: MOTI è in grado di fornire misure simili a quelle di un relascopio? Le aree basimetriche a ettaro stimate grazie ai due strumenti, sono in media differenti? MOTI è uno strumento con accuratezza paragonabile al relascopio?

-Replicabilità dell'utilizzo, seconda ipotesi: MOTI è uno strumento più consistente rispetto al relascopio? Due misurazioni della stessa grandezza con MOTI sono molto diverse?

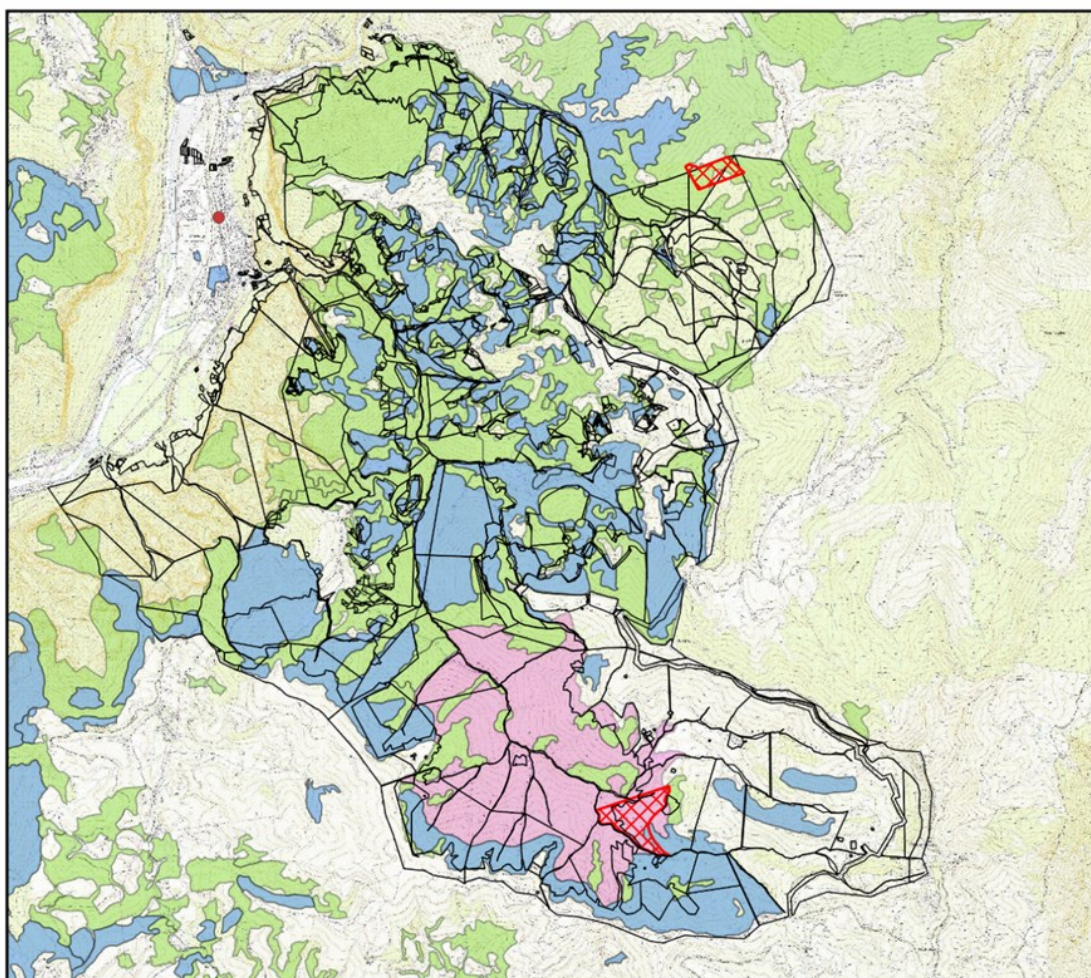
-Efficienza temporale: i tempi di misurazione con MOTI sono paragonabili a quelli necessari allo strumento classico per determinare G/ha in campo, il relascopio di Bitterlich?

4. MATERIALI E METODI

4.1 DESCRIZIONE DEL SITO DI STUDIO

Le zone dove si è svolto lo studio si collocano all'interno della frazione di Cismon del Grappa, in comune di Valbrenta (VI). Per questioni legate ad un ambiente idoneo dove eseguire i test, i siti dovevano presentare un'estensione di qualche ettaro (per poter eseguire un certo numero di prove) ed essere liberi da vegetazione quali densi arbusti o rinnovazione molto abbondante che avrebbe ridotto la visibilità e la percorribilità del sito.

Sfruttando un software informatico di analisi territoriale (GIS), per caricare i diversi layer messi a disposizione dal Geoportale della Regione Veneto, tra cui la Carta delle categorie forestali, è stato possibile individuare preventivamente le zone all'interno dell'area comunale (Figure 8, 9 e 10). In seguito, grazie ad alcuni sopralluoghi in campo, sulla base dei criteri che dovevano distinguere il popolamento di studio, è stata fatta un'ulteriore selezione delle aree identificate tramite l'analisi informatica, e sono stati annotati i numeri delle particelle individuate potenzialmente idonee per lo studio. Successivamente, sulla base di questi numeri particellari, è stato consultato il personale comunale operante nel settore e il Piano di riassetto forestale, per ottenere maggiori informazioni sui popolamenti forestali dei siti localizzati.



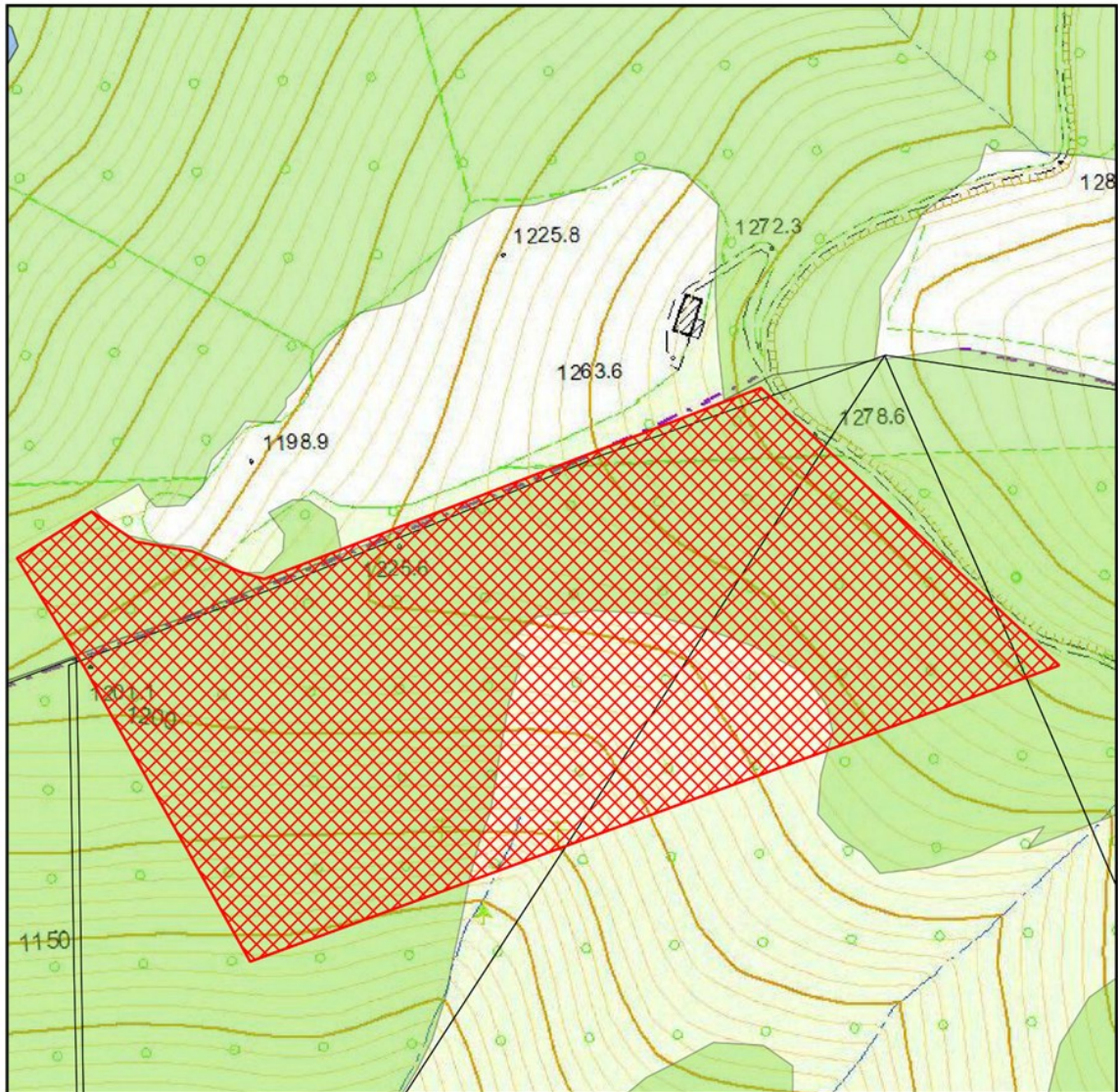
Legenda

- Cison del Grappa
- ▣ Particelle 53,66
- ▣ ZoneUsoCivico Cison del Gr.
- ▣ Particelle 19,24
- Carta delle categorie forestali
- ▣ Abieteti
- ▣ Faggete
- ▣ Formazioni antropogene





0 1 2 km



Figura 8: Mappa del territorio forestale di Cison del Grappa, sono visibili: il centro abitato (punto rosso) e le due zone di studio (tema reticolato rosso).



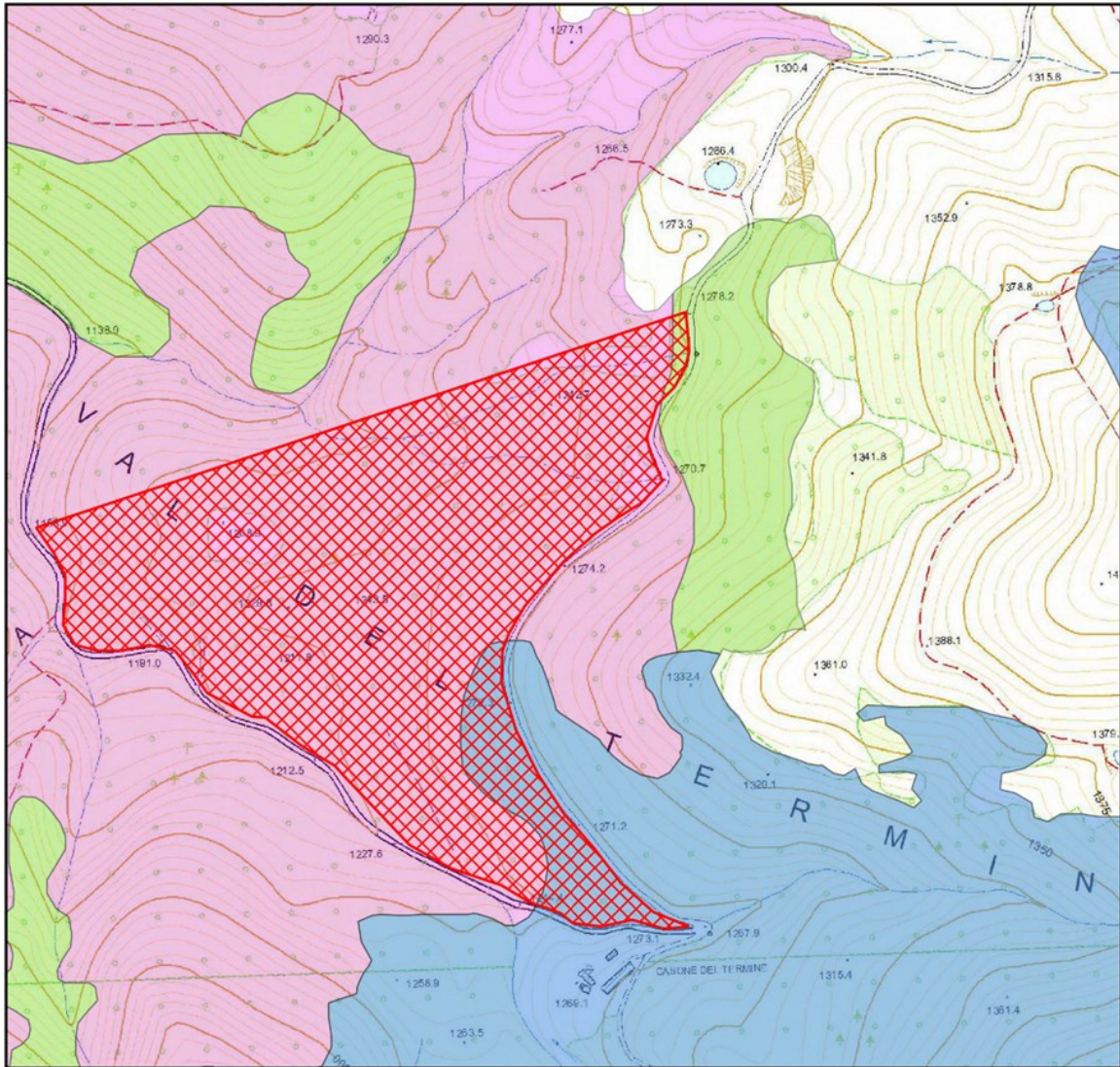
Legenda

-  Particelle 53,66
- Carta delle categorie forestali
-  Abieteti
-  Faggete
-  Formazioni antropogene

0 100 200 m



Figura 9: Mappa delle particelle 53,66, la fustaia a prevalenza di faggio dove sono state eseguite le prove relascopiche.



Legenda

 Particelle 19,24

Carta delle categorie forestali

 Abieteti

 Faggete

 Formazioni antropogene

0 100 200 m



Figura 10: Mappa delle particelle 19,24, la fustaia di abete rosso dove sono state eseguite le prime prove relascopiche.

Le zone di studio individuate possono essere ricollegate a due unità vegetazionali comunemente presenti nel territorio prealpino:

- pecceta secondaria montana, dominata da *Picea abies*, dove in alcune zone è riscontrabile la presenza codominante di *Fagus sylvatica* (Figura11). Nel sottobosco si riscontrano tipici elementi floristici delle peccete (*Oxalis acetosella*, *Anemone trifolia*, *Rubus ulmifolius*).



Figura 11: Due foto scattate all'interno della pecceta secondaria montana, la prima zona dove sono stati eseguiti i test.

- faggeta montana tipica esalpica, a prevalenza di *Fagus sylvatica*, con presenza sporadica di conifere (*Picea abies*, *Larix decidua*, *Abies alba*, Figura12).



Figura 12: Due foto scattate all'interno della faggeta montana, la seconda zona dove sono stati eseguiti i test.

I due popolamenti sono compresi all'interno del Piano di riassetto forestale (Novello, 2012) dell'ex comune di Cismon del Grappa nelle particelle 53,66 (fustaia di faggio esito di una conversione), con estensione di 26,42 ettari e nelle particelle 19,24, con un'estensione complessiva di 14,23 ettari. La faggeta si trova ad un'altitudine media di 1100 metri s.l.m. e presenta una pendenza media del 26% (dai 20° ai 30°), mentre la pecceta che si colloca ad un'altitudine tra i 1190 e i 1290 metri s.l.m., ha una pendenza media del 23% (dal 10° ai 23°), misurate in campo. Il suolo della faggeta appartiene alla classe di tipo podsol, quello della pecceta è di tipo evoluto (terre brune), fresco.

Il territorio delle particelle si inserisce in un distretto climatico della regione prealpina, definito esalpico, con trasgressioni verso il mesalpico in corrispondenza delle incisioni vallive più profonde (come Val Piana e Val Cesilla). Il regime pluviometrico è tendenzialmente suboceanico, con omogenea distribuzione delle precipitazioni durante tutto l'arco dell'anno (a volte piuttosto intense) e con valori medi che oscillano intorno ai 1500-1600 mm/anno. La temperatura media annua di 6,5°C.

La scelta di soprassuoli costituiti da specie diverse, con portamenti differenti, ha permesso di valutare l'applicazione in contesti forestali disuguali.

Come riportato dal Rapporto finale sull'applicazione (Rosset et al., 2014), e dalle altre pubblicazioni legate alla questione, molte delle precedenti prove su MOTI sono state fatte in terreni prevalentemente pianeggianti o con lieve pendenza (Brand, 2012; Fricelj, 2018; Turk, 2015). La presenza di pendenza complica il rilievo, ma rimane comunque un aspetto interessante da verificare. Pertanto, considerando che la maggior parte dei boschi italiani è in pendenza, le aree di prova per questo studio sono state scelte in pendenza. Il relascopio, grazie alla proprietà autoriducete (Hellrigl), è uno strumento in grado di eseguire rilievi in terreni pendenti, infatti con l'aumentare dell'inclinazione, diminuiscono i loro valori assoluti in larghezza delle bande, di quanto necessario, per riportare la lunghezza delle visuali inclinate dalla pendenza a quella delle loro proiezioni orizzontali. Si è voluto testare la stessa capacità su MOTI.

Per quanto riguarda il popolamento di resinose, c'è da aggiungere che recentemente è stato soggetto a disturbi da vento (schianti). Come riportato dal Piano di riassetto, a causa della particolare orografia del territorio (che induce fenomeni di instabilità atmosferica), frequenti sono i danni che questi eventi meteorologici provocano sul soprassuolo forestale. Le aree con grandi schianti sono state escluse dal rilievo. Tuttavia, alcuni punti campionari sono stati eseguiti in aree con piccoli schianti, caratterizzate da ridotta visibilità, causata dalla presenza di vegetazione a rapido accrescimento (Figura13) che si sviluppa in seguito a lacune di copertura, o al rapido sviluppo del sottobosco (soprattutto *Corylus avellana*, *Rubus ulmifolius*). Le aree campionate in queste situazioni, sono state evidenziate sul foglio di campo.

Figura13: Chiarie presenti nel popolamento di conifere, è possibile notare lo sviluppo della vegetazione arbustiva che va a ridurre la visibilità del rilievo relascopico.





4.2 STRUMENTI PER LA RACCOLTA DATI

Per la raccolta dati utili allo studio, sono stati necessari:

- Uno smartphone (modello HUAWEI P20 lite): per eseguire i rilievi con l'applicazione MOTI.
- Un relascopio di Bitterlich: per eseguire i rilievi con uno strumento di uso tradizionale.
- Un distanziometro laser: per misurare pendenze e distanze topografiche, durante la realizzazione dell'area di saggio.
- Cordella metrica.
- Dei gessi: per segnare i confini dell'area di saggio.
- Un foglio di campo: appositamente costruito sulla base delle esigenze dello studio.
- Un cavalletto dendrometrico: per misurare i diametri nell'area di saggio.
- Un cronometro: per raccogliere i tempi di rilievo, per entrambi gli strumenti.



Figura 14: Foto degli strumenti

Per il lavoro è stato creato un foglio di campo sulla base della informazioni da acquisire durante l'attività. Per ogni punto campionato, i dati da annotare sono stati divisi in 3 settori oltre ad una parte di introduzione da completare con le informazioni generali (pendenza, tipologia bosco, coordinate). Il primo settore riguarda il rilevamento relascopico con entrambi gli strumenti e i relativi tempi, il secondo afferisce alle rimisurazione basimetriche del punto test, con i relativi tempi. Il terzo settore è servito per raccogliere le informazioni delle aree di saggio, composto da una tabella con le classi assestamentali diametriche e la loro corrispondente frequenza.

4.3 DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

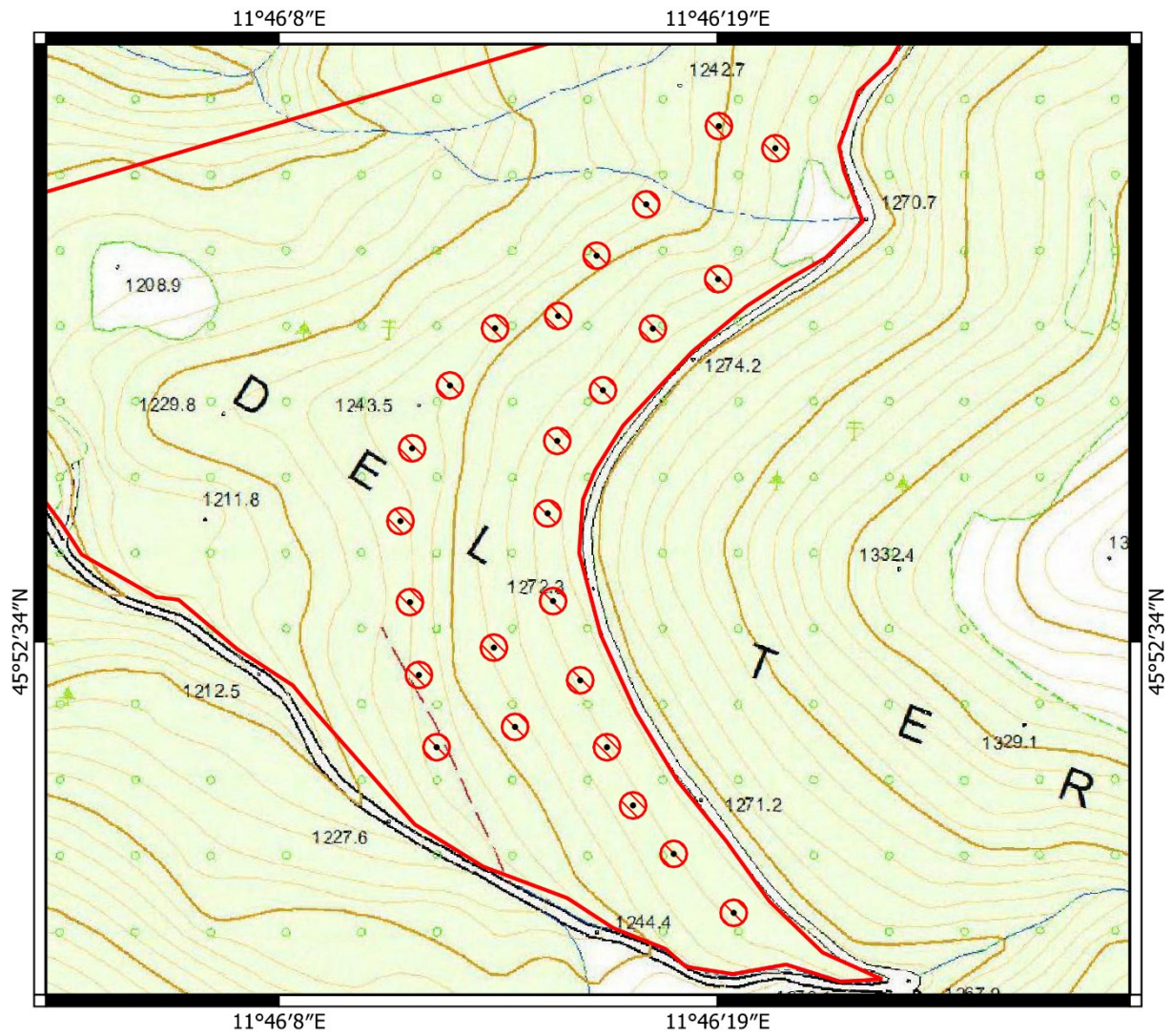
Per progettare il metodo per valutare le performance dell'applicazione, è stata esaminata la metodologia di analisi di alcuni articoli e tesi di laurea che avevano precedentemente trattato la questione (Fricelj, 2018; Rosset et al., 2014; Turk, 2015). In particolare, si è voluto testare:

- Le prestazioni dell'applicazione MOTI in ambiente forestale, soggetto a pendenza variabile, in tipologie di bosco differenti.
- L'affidabilità di MOTI come strumento relascopico, per cui è stato fatto un confronto tra MOTI e il tradizionale strumento di stima dell'area basimetrica con metodo relascopico, ossia il relascopio di Bitterlich.
- L'accuratezza come strumento di misura: il risultato dei due strumenti relascopici è stato confrontato con le misure di aree di saggio, da cui stimare il "valore di riferimento" dell'area basimetrica ad ettaro del popolamento. Il valore rilevato grazie all'area di saggio non può essere considerato come "valore reale" di ogni singolo punto di rilievo, poiché l'area di saggio ha raggio fisso, mentre in relascopia si utilizza un raggio variabile. Resta comunque il miglior "riferimento" per ogni punto rilevato e per stimare l'area basimetrica ad ettaro dell'intero popolamento.
- La ripetibilità della misura, intesa come la differenza tra due misure effettuate con lo stesso strumento nel medesimo punto da un operatore. Il doppio rilievo con lo stesso strumento è stato utile per valutare se i due strumenti relascopici riportavano risultati simili.
- Il tempo per le misurazioni, influenzato dalle difficoltà nella misurazione che si possono riscontrare contestualmente (visibilità ridotta dalla vegetazione, o dai contrasti di luminosità).

4.4 RILIEVI IN CAMPO

I rilievi sono stati eseguiti sempre dallo stesso operatore, aiutato in modo alternato, da un assistente di misurazione, addetto alla trascrizione sul foglio di campo e durante il rilievo per aree di saggio, al cavallettamento degli alberi, ad altezza del metro e trenta.

All'interno di ogni tipologia di bosco sono stati realizzati 25 punti di rilievo secondo un criterio di campionamento sistematico, muovendosi lungo le linee di pendenza sono stati picchettati i punti di campionamento, alla distanza di circa 40 metri uno dall'altro (Figura15 e Figura16). La distanza è stata misurata a passi: terminato i rilievi in un punto test, muovendosi lungo una direzione retta, sono stati contati 40 passi ed è stato posizionato a terra il centro della successiva area.



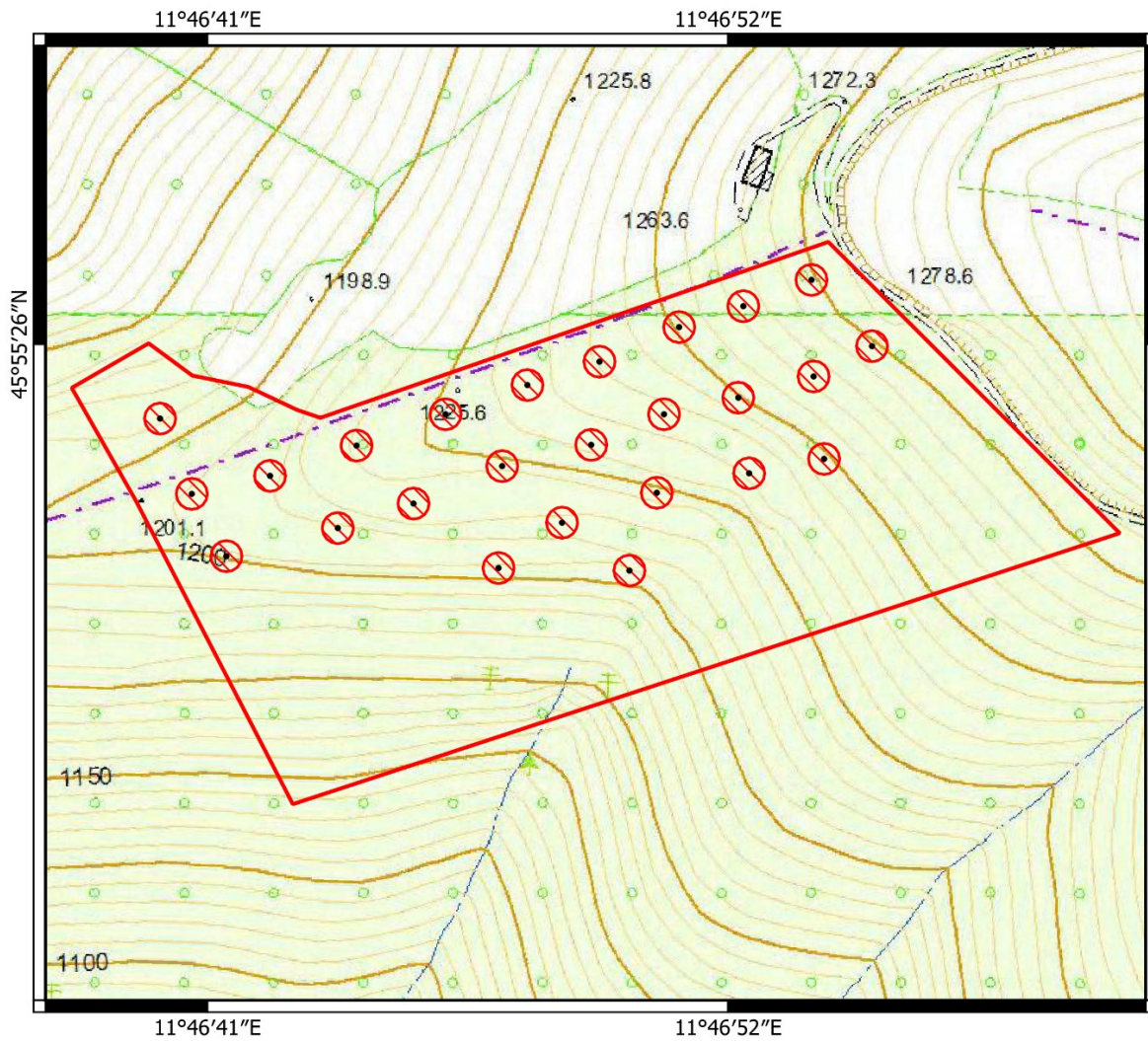
Legenda

- Centro aree di campionamento
- ◻ Limite area di saggio r=10 m
- ◻ Particella 19,24



0 20 40 m



Figura 15: Popolamento di resinose con punti test.



Legenda

- Centro aree di campionamento
-  Limite area di saggio r=10m
-  Particella 53,66

0 20 40 m





Figure 16: Popolamento di faggio con punti test.

In più, i punti sono stati realizzati ad una distanza di almeno 20 m dalla viabilità principale e altre piste forestali presenti, in modo da non includere aree non boscate nel rilievo. Ogni punto corrispondeva al centro dell'area relascopica (due prove relascopiche con il relascopio e due prove con MOTI) e al centro dell'area di saggio a raggio fisso. Come fattore di numerazione è stato usato il $\phi=2$ per tutte le misurazioni; per produrre tutti i dati con lo stesso metodo, inoltre per indicazioni date da alcuni documenti (Saari e Kangas, 2005 e Hellrigl). La pendenza è stata misurata con una delle funzionalità del distanziometro laser, poi annotata sul foglio. Grazie a MOTI è stato possibile conoscere le coordinate GPS in longitudine e latitudine correlate al sistema di riferimento WGS84 (Datum World Geodetic System 1984), le quali sono state riportate sul foglio.

In seguito, è stata calcolata l'area basimetrica ad ettaro prima con MOTI, e poi con il relascopio di Bitterlich. Per non essere troppo influenzati dalla misura precedente, passando da un punto di campionamento all'altro, il rilievo relascopico è stato fatto prendendo degli accorgimenti, ad esempio alternare lo strumento utilizzato per primo (come fatto da Turk, 2015) e/o usarne uno girando in senso orario e l'altro in senso antiorario, esempio: se usando MOTI fosse stata eseguita una rotazione oraria, usando Bitterlich è stata fatta una rotazione antioraria. Inoltre, per porre rimedio al "fenomeno di misurazione": ricordo degli angoli di visuale privi di alberi da conteggiare.

Il rilievo relascopico con entrambi gli strumenti è stato ripetuto nello stesso punto, sempre rispettando i criteri metodologici sopra definiti, per un totale di quattro rilievi relascopici per punto. Il doppio rilievo con entrambi gli strumenti ha permesso di valutare la ripetibilità. Grazie alla differenza tra la prima coppia di misurazioni e la seconda coppia (rimisurazione con gli stessi strumenti) è stato possibile misurare l'errore umano, la coerenza tra i risultati prodotti dagli strumenti.

I quattro rilievi relascopici sono stati cronometrati. L'avvio del cronometro coincideva con il momento in cui la prima pianta più grossa della banda veniva collimata con lo strumento. Il cronometro è stato fermato una volta chiusa la rotazione. Inoltre, avendo a disposizione maggiori dati sulle tempistiche, è stato possibile riverificare se la seconda rimisurazione con lo stesso strumento, fosse influenzata dalla memoria della precedente.

Le misurazioni relascopiche sono state seguite dalla realizzazione dell'area di saggio di raggio 10 metri (il "riferimento"). Per la delimitazione dell'area di saggio è stato utilizzato il distanziometro laser, al fine di disegnare un'area planimetrica, e alternativamente, nei casi dove non fosse possibile utilizzare il distanziometro, la definizione dei confini è stata tracciata usando una cordella metrica, correggendo la pendenza per misurare sempre distanze topografiche. Gli alberi di confine sono stati segnati con il gesso. Tutti gli alberi interni all'area, superiori alla soglia di cavallettamento assestamentale, 17,5 centimetri, sono stati cavallettati a livello del metro e trenta, e i diametri sono stati trascritti sul foglio di campo. Dopo il rientro dall'attività in campo, i diametri annotati sul foglio, sono stati revisionati e inseriti nelle corrispettive classi assestamentali di cinque centimetri, completando la tabella delle classi con le relative frequenze.

Fricelj (Fricelj, 2018) evidenzia che per ottenere un stima precisa dell'area basimetrica per popolamento omogeneo, con errore di campionamento relativamente basso (inferiore al 10%), bisognava campionare con MOTI dalle 15-20 aree per popolamento omogeneo. 25 punti realizzati per ogni tipologia di popolamento dunque rappresentano un buon numero per questo studio.

Complessivamente il tempo per campionare i 50 punti test con questo metodo, ha richiesto circa otto giorni, l'attività di raccolta dei dati in campo è stata condotta tra il 15 settembre 2022 e il 30 settembre 2022.

4.5 ELABORAZIONE DEI DATI

4.5.1 Elaborazione della G/ha con rilievi per aree di saggio

Una volta completato il lavoro sul campo, i dati del foglio sono stati digitalizzati in Microsoft Excel.

Per ogni area di saggio è stata determinata la numerosità ettaro, ripartita per classe assestamentale con la (6)

$$\frac{N}{HA} = \frac{F_{cl}}{r^2 \cdot \pi} \cdot 10\,000 \text{ con } F_{cl} \text{ frequenza della corrispondente classe riscontrata in campo, } r \text{ raggio area di saggio (10 m)} \quad (6)$$

Poi, è stata calcolata l'area basimetrica unitaria per ogni classe assestamentale con la (7)

$$G \text{ unitaria} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{D_{cl}}{100}\right)^2 \text{ con } D_{cl} \text{ diametro classe corrispondente} \quad (7)$$

L'area basimetrica ad ettaro per ogni area di saggio, ripartita nelle diverse classi, è stata stimata moltiplicando la numerosità ad ettaro per l'area basimetrica unitaria ($G \text{ unitaria} * N/HA$), calcolo eseguito per ogni classe. La stima dell'area basimetrica ad ettaro per ogni area di saggio, è stata ottenuta tramite una sommatoria. I risultati dell'elaborazione riguardante le aree di saggio, hanno prodotto 50 stime diverse di area basimetrica ad ettaro, 25 per il popolamento di resinose, 25 per il popolamento di latifoglie. Partendo da questi risultati, che sono stati trattati separatamente per i due popolamenti, è stata calcolata la media, la mediana e il valore massimo, il valore minimo, per pesare le grandezze dei valori anomali presenti. Il valore medio prodotto è stato considerato come il "valore di riferimento" di G/ha del popolamento. In seguito, sempre distintamente per i due popolamenti, è stata mediata la numerosità ad ettaro, per le corrispettive classi, in modo da ottenere una distribuzione di frequenza delle classi assestamentali per i due popolamenti.

4.5.2 Elaborazione della G/ha con rilievi relascopici

Per quanto riguarda i dati dei rilievi relascopici, come fatto per le aree di saggio, la trattazione è stata condotta in modo diviso per i due popolamenti. Separatamente per il primo e per il secondo blocco di misurazioni, sono stati stimati la media, la mediana, il range di variazione (sottraendo i valori massimi e minimi) della G/ha. Il secondo blocco è servito soprattutto per l'analisi sulla ripetibilità delle misurazioni effettuate con i due strumenti.

Successivamente, è stata calcolata la differenza tra i valori di G/ha rilevati con MOTI durante il primo step di misurazione e i valori di MOTI del secondo step, ottenendo le "differenze entro MOTI", in termini di misura, per ogni punto test. Queste 25 differenze (per ogni popolamento) sono state mediate. Lo stesso procedimento di sottrazione è stato seguito per determinare le "differenze entro Bitterlich". Un'elaborazione simile è stata condotta per determinare le differenze nelle misurazioni dell'area basimetrica ad ettaro, tra MOTI e Bitterlich. In questo caso è stata calcolata la differenza tra la G/ha rilevata con il relascopio a quella rilevata con MOTI, però mantenendo divisi il primo

blocco di misurazione e il secondo. I risultati dei due blocchi di differenze MOTI-Bitterlich, da 25 punti ognuno, sono stati mediati (dataset di differenze ottenuto dal primo blocco di rilievi e un dataset proveniente dal secondo blocco), ottenendo 25 medie (“differenze medie MOTI-Bitterlich”). Infine, è stata fatta un’ulteriore media di questi ultimi valori (“differenze medie MOTI-Bitterlich”), producendo un singolo valore di media.

4.5.3 Elaborazione dei tempi di rilievo

Sempre mantenendo distinta l’elaborazione per i due popolamenti e per gli strumenti relascopici, i dati riguardanti le tempistiche sono stati riportati nell’unità di misura dei secondi (moltiplicando i minuti per 60), su cui si sono svolti i calcoli e l’analisi statistica. Nella trattazione dei tempi, è stato considerato il tempo medio tra i due step di misurazione. Infatti, durante l’attività in campo, era stato notato che il tempo della prima misurazione con uno strumento, era maggiore rispetto ai seguenti tre rilievi. Si è dunque calcolato il tempo medio impiegato per le due misurazioni effettuate con lo stesso strumento. Sono stati calcolati il range, la media e la mediana.

4.5.4 Calcolo delle misure di performance

Per ogni popolamento, per ogni metodo o strumento utilizzato per stimare G/ha (MOTI, Bitterlich, Aree di saggio), mantenendo separati gli step di misurazione. I valori di area basimetrica all’ettaro sono stati utilizzati per calcolare alcune misure statistiche, come:

-La varianza con la (8), misura non scalare di precisione, può essere combinata con l’errore medio per misurare accuratezza.

$$\sigma^2 = \sum_1^N (G_i - G_{media})^2 \cdot \frac{1}{N-1} \quad \text{con } G_{media} \text{ area basimetrica ad ettaro media, } N \text{ numerosità del campione (pari a 25)} \quad (8)$$

-La deviazione standard con la (9), misura non scalare di precisione, come riportato da Walther (Walther e altri, 2005).

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad \text{con } \sigma^2 \text{ varianza corrispondente} \quad (9)$$

-Il coefficiente di variazione, con la (10) misura scalare di precisione.

$$CV = \frac{\sigma}{G_{media}} \cdot 100 \quad \text{con } \sigma \text{ deviazione standard corrispondente} \quad (10)$$

-L’intervallo di confidenza con la (11), con un livello di significatività settato al 0,05 (α), determinato su l’opportuna dimensione del campione e il suo valore in percentuale ($I\% = I/G_{media} * 100$).

$$I = \pm t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad \text{con } \sigma \text{ deviazione standard corrispondente, } t \text{ valore di } t \text{ nella distribuzione } t \text{ Student a due code ed al livello di significatività } \alpha, N \text{ numerosità del campione (} N=25 \text{)} \quad (11)$$

Le stesse misure di dispersione sono state calcolate per i dati sui tempi di rilievo (in secondi), mantenendo separati durante i calcoli, i popolamenti e i tempi impiegati con MOTI, dai tempi impiegati con Bitterlich.

Queste statistiche sono state determinate inoltre con i dataset sulle differenze di area basimetrica all’ettaro, “differenze entro MOTI”, “differenze entro Bitterlich”, e sulle differenze medie di G/ha rilevati con MOTI e tra G/ha rilevati con Bitterlich (“differenze medie MOTI-Bitterlich”).

In più, le misure statistiche per valutare precisione, distorsione e accuratezza delle stime, derivanti dai rilievi con lo strumento, sono state calcolate unendo i risultati del primo e secondo blocco di misurazioni (N = 50), mantenendo separati gli strumenti e i popolamenti forestali.

Secondo quanto riportato da Walther (Walther e altri, 2005) il “valore vero” di un comunità di stime è una costante per qualsiasi comunità definita nel tempo e nello spazio. Ma può essere diverso per comunità diverse, in questo caso comunità di stime riferite a popolamenti diversi. Non è valido confrontare i risultati di misure di performance tra comunità diverse, per rendere i risultati comparabili, tutte le misure di precisione, distorsione, accuratezza devono essere scalate dividendo per il “valore vero”. In modo che le misure di performance possano essere utilizzate per confrontare le prestazioni tra comunità, in cui il “valore vero” non è una costante (per esempio tra popolamenti diversi). Dunque, dovrebbero essere sempre utilizzate le misure di performance scalari per confrontare studi diversi.

Oltre alle misure di precisione che non necessitano del “valore vero” per essere determinate, sono state calcolate misure di distorsione. Le misure di distorsione tengono tipicamente conto della differenza tra il parametro stimato e quello vero, nel caso di questo studio considerato come il valore di area basimetrica ad ettaro calcolato con le aree di saggio. Sono stati calcolati con la (12) gli errori medi delle stime per i due strumenti relascopici, mantenendo comunque separata la trattazione per i due popolamenti. Sempre mantenendo come “valore vero” il “valore di riferimento”. L’errore medio indica se le stime sono una sovrastima o sottostima del valore vero.

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{50} G_i - G}{50} \quad \text{con } G \text{ “valore di riferimento”, } ME \text{ errore medio} \quad (12)$$

Poi, questo parametro è stato trasformato in una misura scalare di distorsione (*SME*, errore medio scalare), espresso in percentuale (*SME* moltiplicato per 100).

Inoltre, sono state determinate misure di accuratezza delle stime prodotte con gli strumenti. Con la (13) è stato calcolato l’errore quadratico medio (*MSE*), che indica quanto le stime siano vicino al valore vero.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{50} (G_i - G)^2}{50} \quad \text{con } G \text{ “valore di riferimento”} \quad (13)$$

È stata fatta la radice quadrata di esso, ottenendo *RSME* (radice dell’errore quadratico medio). Una misura di accuratezza con la stessa scala della misura originale (m²/ha), a differenza del *MSE*. Poi, *RSME* è stato scalato (dividendolo per il corrispettivo “valore di riferimento”) ed espresso in percentuale con la (14).

$$RSME = \frac{\sqrt{MSE}}{G} \cdot 100 \quad \text{con } G \text{ “valore di riferimento”} \quad (14)$$

Per avere una misura di dispersione in più, usando i 50 valori di errore medio determinati per ogni strumento (considerando le rimisurazioni), sempre distintamente per i due soprassuoli, sono stati contati i casi in cui questo valore era maggiore di zero. Il risultato è stato espresso in percentuale (dividendo per 50 e moltiplicando per 100), ottenendo, con questa ultima operazione, la percentuale di stime che sovrastimano il “valore di riferimento” per entrambi gli strumenti relascopici.

4.5.5 Ipotesi da verificare

Sulla base delle tre le ipotesi presenti nel paragrafo “obbiettivi” di questo documento sono state generate le ipotesi nulle, da confutare o accettare una volta che sono stati condotti i test statistici:

1A) Ipotesi nulla (H_0): La media dei valori di G/ha rilevati con MOTI non differisce statisticamente dalla media dei valori di G/ha stimata con le aree di saggio. Considerato come il “valore di riferimento” di area basimetrica ad ettaro.

1B) Ipotesi nulla (H_0): La media di G/ha derivante dai rilievi con il relascopio di Bitterlich non differisce statisticamente dalla media di G/ha stimata con le aree di saggio.

2A) Ipotesi nulla (H_0): Le differenze nella doppia misurazioni dell’area basimetrica sia con MOTI che con il relascopio non sono statisticamente diverse, ovvero il campione “differenze entro MOTI” e il campione “differenze entro Bitterlich” non sono statisticamente diversi. Da un test non significativo, si può desumere che gli strumenti sono soggetti in modo simile all’errore di misurazione, cioè l'errore umano, dovuto al fatto che la scelta che l'albero sia o meno da conteggiare (dentro o fuori la banda di riferimento) è simile.

2B) Ipotesi nulla (H_0): Le differenze nella misura dell’area basimetrica entro MOTI (eseguendo due misurazioni della grandezza con l’applicazione MOTI nello stesso punto) non sono statisticamente diverse dalle differenze di misura tra i due strumenti. Cioè, il campione “differenze entro Moti” e il campione “differenze medie MOTI-Bitterlich” non sono statisticamente diversi. Un risultato non significativo indicherebbe che le differenze tra MOTI e il relascopio sono dovute alla variabilità del rilievo condotto da un operatore, che si verifica anche quando uno stesso operatore utilizza due volte lo stesso strumento, e non ad una effettiva differenza tra i due strumenti.

3) Ipotesi nulla (H_0): i tempi di rilievo tra i due strumenti non sono statisticamente differenti. Cioè, il gruppo campionario “tempi medi con MOTI” e il gruppo campionario “tempi medi con Bitterlich” non sono statisticamente diversi.

La scelta del test statistico da eseguire è stata fatta sulla base delle caratteristiche delle diverse popolazioni campionarie che ricomprendevano valori di area basimetrica e di tempo. Visto che sono state trattate variabili numeriche continue (possono assumere qualsiasi valore all’interno di un intervallo) e che queste popolazioni campionarie sono risultate appaiate, poiché i vari rilievi sono stati eseguiti con strumenti differenti, ma sullo stesso punto test, è stato scelto un Test t di Student per campioni appaiati.

Prima di eseguire il test, è stato verificato se il campione possedeva i requisiti per seguire il test:

1. Le popolazioni campionarie devono essere non indipendenti, accoppiate.
2. La distribuzione di frequenza dei gruppi è assimilabile approssimativamente ad una normale.
3. La distribuzione di frequenza delle differenze tra i gruppi campionari è assimilabile approssimativamente ad una normale.

Il primo criterio è stato validato da quanto scritto precedentemente (le osservazioni che costituivano i campioni, sono state effettuate sui medesimi punti di campionamento). Il secondo criterio è stato verificato, costruendo una distribuzione di frequenza per ogni popolazione campionaria, attraverso un istogramma. Utilizzando Excel, sono stati elaborati i valori di area basimetrica all’ettaro, campionati nei due step di misurazione, comunque mantenendo distinta

l'elaborazione per popolamento e per gli strumenti, metodi con cui le misure erano state ottenute (con MOTI, o con Bitterlich, o con aree di saggio). Sfruttando i valori di massimo e di minimo di ogni popolazione campionaria, sono state create delle classi di area basimetrica all'ettaro, con ampiezza di 10 m² l'una. Successivamente, è stata riprodotta una distribuzione di frequenza per ogni popolazione campionaria, ed è stato verificato che questo istogramma, approssimativamente, sia simile ad una normale. Mantenendo gli stessi criteri di elaborazione, lo stesso procedimento è stato ripetuto con i tempi di rilievo.

Un'elaborazione simile è stata condotta per validare il terzo requisito. Le differenze sono state ottenute sottraendo i rispettivi gruppi campionari che si prevedeva di mettere a confronto con il test, sia inerenti alle misure di area basimetrica, che al tempo. In seguito, sfruttando la stessa funzione *frequenza* e l'istogramma, sono stati costruiti i grafici e verificata la condizione.

Validati il secondo e il terzo requisito, per tutte le popolazioni campionarie, sono stati eseguiti i t test accoppiati. In totale sono stati eseguiti 14 t test a coppie:

- Per verificare la prima ipotesi sono stati necessari 8 t test. Nei gruppi campionari appartenenti al popolamento di conifere, sono stati condotti due test per il primo e secondo blocco di misurazione, confrontando i gruppi ottenuti con MOTI con i gruppi campionari stimati dalle aree di saggio. Nei due test per il primo e secondo step di misurazione, è stata esaminata la presenza di differenze statisticamente significative, tra i gruppi campionari ottenuti con il relascopio e gruppi campionari derivanti dalle aree di saggio. Il tutto è stato ripetuto per il popolamento di latifoglie, altri 4 test.
- Per confutare o accettare la seconda ipotesi, sono stati condotti altri 4 test in tutto, due per le conifere, due per le latifoglie. Un test, per valutare la presenza di differenze significative tra il gruppo "differenze entro MOTI" e il gruppo "differenze entro Bitterlich" (determinati tramite una sottrazione fra il primo e secondo rilievo con lo stesso strumento, vedi paragrafo 4.5.2). Nell'altro test, sono stati confrontati il gruppo campionario costituito dalle differenze medie di MOTI rispetto a Bitterlich ("differenze medie MOTI-Bitterlich"), con il gruppo "differenze entro MOTI".
- Per esaminare la terza ipotesi, sono stati condotti due test, in modo distinto per il popolamento di resinose e per quello di latifoglie, sono stati confrontati i gruppi campionari, costituiti dai "tempi medi di rilievo con MOTI", rispetto al gruppo "tempi medi campionati con Bitterlich".

Tutti i test statistici sono stati eseguiti usufruendo di Excel e utilizzando un livello di significatività al 95%, $\alpha=0,05$.

4.6 FOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI SUI PUNTI A RIDOTTA VISIBILITA'

Nei punti di test evidenziati durante l'attività in campo, poiché la visibilità diminuiva, è stata condotta un'analisi specifica. Per verificare che le stime di G/ha in questi punti erano distorte, per entrambi gli strumenti relascopici, sono stati determinati gli errori medi e SME% con la (12), utilizzando come dividendo anziché 50 il numero dei punti con visibilità compromessa, separatamente in base alla tipologia di bosco (8 in pecceta, 4 in faggeta).

In seguito, sono state analizzate le differenze fra le ripetizioni dei rilievi in questi siti. In termini di valore assoluto, trattandosi di numeri interi negativi, sono stati calcolati gli errori medi (con la (12)) per tutte le tipologie di differenze (“differenze entro MOTI”, “differenze entro Bitterlich”, “differenze medie MOTI-Bitterlich”), come “valore di riferimento” è stato utilizzato il corrispondente valore medio e il dividendo è stato sostituito con il rispettivo numero di punti (8 in pecceta, 4 in faggeta). Pertanto, non sono stati determinati effettivamente gli errori medi, ma un indicatore che valuta solamente la dimensione della distorsione (non il segno).

Riguardo ai tempi è stato calcolato un errore medio di tempo con la (12), considerando come “riferimento” il tempo medio (per MOTI è stato considerato come “riferimento” il tempo medio di MOTI, per Bitterlich il tempo medio di Bitterlich).

5. RISULTATI

5.1 INQUADRAMENTO DELLE PARTICELLE (dataset delle aree di saggio)

Entrambi i popolamenti presentano una distribuzione diametrica tipica dei popolamenti disetanei, descritta da un esponenziale negativa (vedi Figura17 e Figura18).

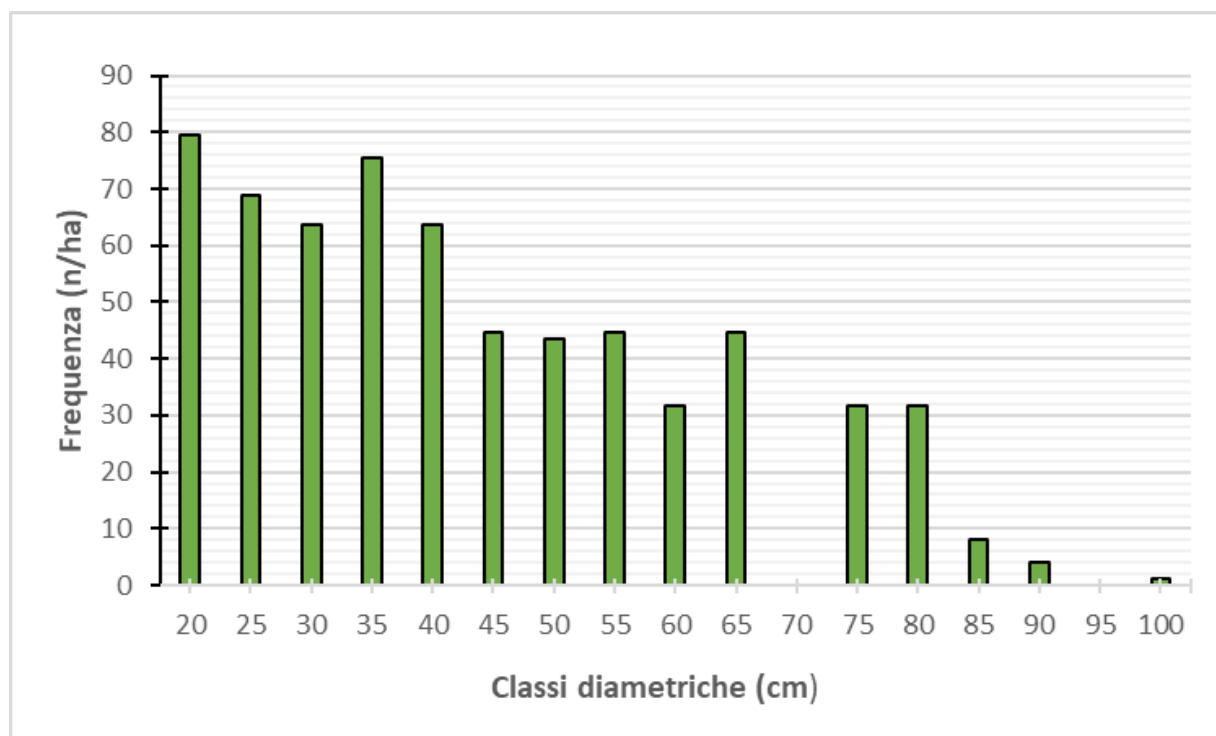


Figura 17: Distribuzione diametrica nelle particelle 19,24, all'interno del popolamento di conifere costituente la prima zona di studio.

Entrambi gli stand esibiscono una frequenza più elevata nelle classi inferiori, passando alle classi successive la numerosità si riduce, secondo le leggi che regolano la struttura forestale.

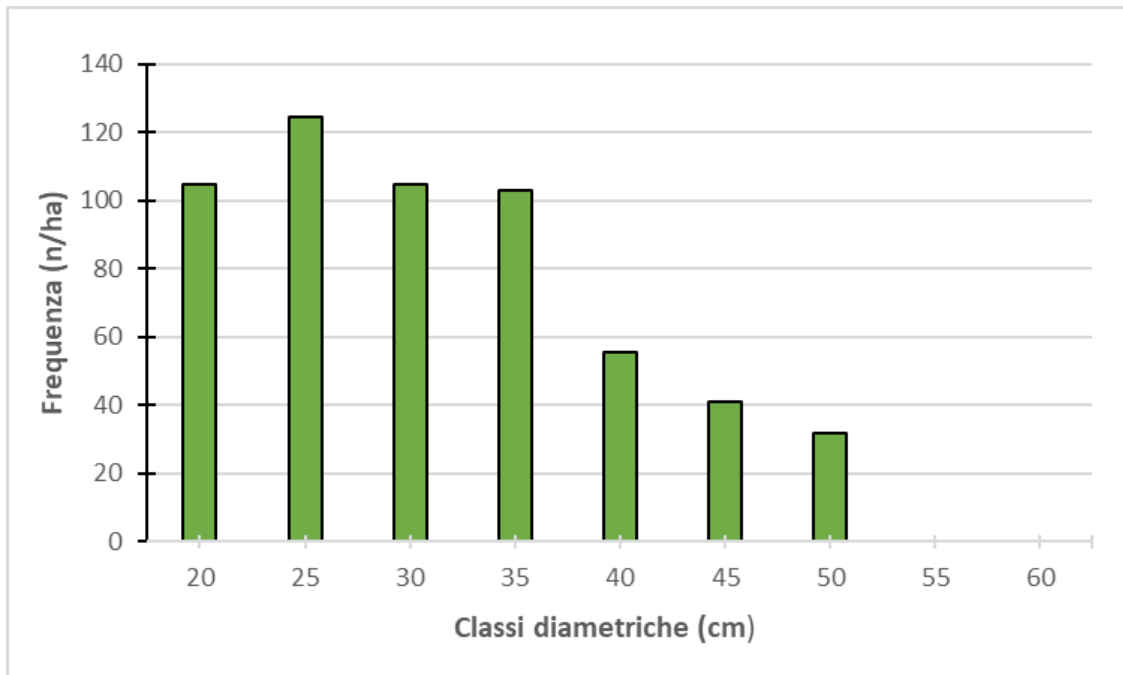


Figure 18: Distribuzione diametrica nelle particelle 53,66, all'interno del popolamento a prevalenza di faggio costituente la seconda zona studio.

Nella pecceta sono compresi individui di grosse dimensioni appartenenti alla classe assestamentale del 100. In essa sono presenti circa 637 individui a ettaro, nella faggeta 566 individui a ettaro. Per entrambe le due fustaie oggetto di studio (pecceta e faggeta), il numero di individui a ettaro è stato ricavato dalle aree di saggio a raggio fisso (Tabella1).

Classi	Frequenza (n/ha)	Classi	Frequenza (n/ha)
20	80	20	105
25	69	25	125
30	64	30	105
35	76	35	103
40	64	40	56
45	45	45	41
50	43	50	32
55	45	55	0
60	32	60	0
65	45	65	0
70	0	70	0
75	32	75	0
80	32	80	0
85	8	85	0
90	4	90	0
95	0	95	0
100	1	100	0
Totale	637	Totale	566

Tabella 1: Distribuzione di frequenza ad ettaro per le diverse classi assestamentali, nella fustaia di abete rosso (in verde) e nella fustaia di faggio (in verde più chiaro), risultati ottenuti dal campionamento sistematico per aree di saggio.

5.2 AREA BASIMETRICA AD ETTARO

5.2.1 Pecceta

In Tabella2 i risultati per il popolamento di conifere, le colonne in verde afferiscono alle stime derivanti dalle rimisurazioni.

CONIFERE	Bittelich	Moti	Bittelich	Moti	AreediSaggio
Media G (m²/ha)	46,12	43,30	45,04	44,04	43,67
Mediana G (m²/ha)	45,00	44,00	46,00	46,00	43,19
Range	67,00	58,00	52,00	50,00	72,69
Dev.standard(m²/ha)	13,30	12,13	12,19	11,71	17,38
Intervallo di confidenza(m²/ha)	5,49	5,01	5,03	4,84	7,18
Intervallo%	12	12	11	11	16
p-value	0,5023	0,9065	0,6752	0,9065	

Tabella 2: Esiti di area basimetrica all'ettaro ottenuti con i quattro rilievi relascopici (due per ogni strumento) e con le aree di saggio, accompagnati dalle misure di dispersione, tra cui il valore in percentuale dell'intervallo di confidenza. L'ultima riga riporta il valore di p-value ottenuto dai test a coppie confrontando le 25 stime di area basimetrica (del corrispettivo strumento che le ha prodotte) con i 25 risultati di area basimetrica elaborati dalle aree di saggio a raggio fisso.

L'area basimetrica media ad ettaro per le particelle 19 e 24, stimata dai 25 punti di rilievo effettuati, risulta abbastanza elevata, sopra i 40 m²/ha, per tutte le stime effettuate con le diverse metodologie. Per le aree di saggio (valore da considerare come "riferimento" per il popolamento) si stima una G/ha di 43,67 m².

L'area basimetrica media stimata con le aree di saggio presenta un range di variazione poco più ampio, rispetto ai range delle altre stime. Le mediane seguono lo stesso andamento dei valori medi, ovvero poco maggiori nei rilievi relascopici rispetto alla aree di saggio. Il valore di deviazione standard (misura non scalare di precisione delle stime, trattata in seguito) è più elevato nei risultati delle aree di saggio.

L'intervallo di confidenza, determinato con un livello di significatività $\alpha=0,05$, è leggermente maggiore nelle stime dalle aree di saggio, indicando una minore precisione delle misure rispetto al relascopio e a MOTI.

Per quanto riguarda i 4 t test a coppie, il test di confronto tra le stime prodotte con il primo rilievo MOTI, e le stime prodotte con aree di saggio, restituisce un p-value pari a 0,9065. Esito identico per il t test eseguito sui dati del secondo rilievo. L'ipotesi nulla 1A, ossia che non esista una differenza nella stima dell'area basimetrica media ad ettaro tra il rilievo con MOTI e quello con area di saggio, è dunque accettata.

Dal confronto tra le stime prodotte con Bitterlich e le stime prodotte con le aree di saggio, entrambi i due test restituiscono valori di p-value molto superiori a 0,05. L'ipotesi nulla 1B è dunque accettata.

5.2.2 Faggeta

I risultati per il bosco a prevalenza di faggio sono riportati in Tabella3. Il valore dell'area basimetrica del popolamento è di 32,25 m²/ha (considerato come il "valore di riferimento").

LATIFOGLIE	Bittelich	Moti	Bittelich	Moti	AreediSaggio
Media G (m²/ha)	30,36	29,56	29,96	29,40	32,25
Mediana G (m²/ha)	32,00	29,00	31,00	29,00	33,19
Range	19,00	20,00	23,00	20,00	27,06
Dev.standard(m²/ha)	5,62	5,19	5,54	5,15	7,62
Intervallo di confidenza(m²/ha)	2,32	2,14	2,29	2,12	3,14
Intervallo%	8	7	8	7	10
p-value	0,201	0,072	0,120	0,064	

Tabella 3: Esiti di area basimetrica all'ettaro ottenuti con i quattro rilievi relascopici (due per ogni strumento) e con le aree di saggio, accompagnati dalle misure di dispersione, tra cui il valore in percentuale dell'intervallo di confidenza. L'ultima riga riporta il valore di p-value ottenuto dai test a coppie confrontando le 25 misure di area basimetrica (del corrispettivo strumento che le ha prodotte) con i 25 risultati di area basimetrica elaborati dalle aree di saggio a raggio fisso.

Il valore dell'area basimetrica media è inferiore rispetto alla pecceta. Il valore mediano è leggermente più alto della media, ma comunque inferiore a quello della pecceta, in linea con la frequenza ad ettaro determinata precedentemente (vedi Tabella1).

Le misure statistiche non scalari di precisione (range, deviazione standard, intervallo di confidenza $\alpha=0,05$), sono un po' più elevate (come si può notare in Tabella3) per le aree di saggio rispetto ai rilievi relascopici. Quindi le stime derivanti dall'area di saggio sono caratterizzate da una precisione di poco inferiore rispetto agli strumenti relascopici. Gli intervalli di confidenza (in percentuale) sono di poco inferiori a quelli delle misure in pecceta, le stime in questo popolamento sono leggermente più precise.

I 4 t test a coppie svolti sui risultati di G/ha del popolamento (per valutare l'accuratezza di MOTI e Bitterlich), non hanno messo in risalto differenze significative (rispettivamente per MOTI 1°p-value=0,072, 2°p-value=0,064, per Bitterlich 1°p-value=0,201, 2°p-value=0,120), né tra i campioni stimati con MOTI, né tra i campioni stimati con il relascopio. Le ipotesi nulle 1A e 1B sono state accettate. Rispetto alla pecceta, in questo popolamento, confrontando MOTI, gli esiti di p-value si avvicinano di più al valore critico α , suggerendo una possibile sottostima del valore medio che però risulta solo "marginalmente" significativa.

5.3 REPLICABILITA' DEL RILIEVO, DIFFERENZE DI MISURA NELLA G/ha

5.3.1 In pecceta

Nel popolamento di resinose, la media delle differenze dei valori di G/ha rilevati con MOTI nei due rilievi successivi sullo stesso punto (valore medio delle "differenze entro MOTI") è di 0,74 m²/ha, il valore medio delle "differenze entro Bitterlich" è di 1,08 m²/ha (Tabella 4). La media delle differenze tra le misure di G/ha con MOTI e le misure di G/ha con Bitterlich, per il primo e secondo step di

rimisurazione (“differenze medie MOTI-Bitterlich”) è di 1,91 m²/ha. Dunque, la differenza di misura tra MOTI e Bitterlich è poco superiore alla differenza tra la doppia misura con MOTI o con Bitterlich.

Differenze in G/ha	Entro MOTI	Entro Bitterlich	Differenza medie MOTI-Bitterlich
Media(m²/ha)	0,74	1,08	1,91
Dev.standard(m²/ha)	3,44	4,79	3,23
Intervallo di confidenza	1,42	1,98	1,33
Intervallo%	192	183	70
CV (%)	464	443	169

Tabella 4: Valore medio delle differenze, ottenute sottraendo le due misure di area basimetrica ad ettaro eseguite sullo stesso punto relascopico, con lo stesso strumento. Per la terza colonna (“differenze medie MOTI-Bitterlich”), valore medio delle differenze tra misure eseguite con strumenti differenti, sullo stesso punto. Accompanate da misure di dispersione scalari e non scalari, come l’intervallo di confidenza espresso in percentuale (Intervallo%) e il coefficiente di variazione (CV%).

In Tabella4 è possibile notare valori percentuali nell’intervallo superiori al valore di 100 %, per tutte e tre le tipologie di differenze. Esito del fatto che la media delle differenze, per tutte e tre le tipologie di differenze, si concentra attorno a valore zero, essendo dei risultati di sottrazioni tra misure della medesima grandezza (G/ha del popolamento). Tuttavia, valori anomali nelle stime, seppure differenti tra loro di pochi metri quadrati su ettaro, vanno ad ampliare molto la variabilità e da qui l’intervallo. Per questo stesso motivo, la precisione di queste stime è poco valutabile.

I due test t di Student a coppie hanno permesso di confrontare “differenze entro MOTI” vs “differenze entro Bitterlich” e “differenze entro MOTI” vs “differenze medie MOTI-Bitterlich”, rispettivamente ottenendo p-value=0,7922, p-value=0,2484. Questo risultato indica che le differenze di stima dell’area basimetrica ottenute con MOTI e con Bitterlich (“differenze medie MOTI-Bitterlich”) non sono diverse dalle differenze che si ottengono utilizzando due volte lo stesso strumento sullo stesso punto, sia esso MOTI o il relascopio di Bitterlich.

5.3.2 In faggeta

Nel sito di latifoglie, la media delle “differenze entro Moti” è di 0,16 m²/ha, la media della “differenze entro Bitterlich” è di 0,40 m²/ha. La media delle “differenze medie MOTI-Bitterlich”(differenze tra rilievi con MOTI e con il relascopio, per il primo e il secondo rilievo) è di 0,68 m²/ha (Tabella5). Il risultato è simile a quanto si è osservato nella pecceta, tuttavia, le “differenze medie MOTI e Bitterlich” sembrano essere inferiori per questo popolamento.

Differenze in G/ha	Entro MOTI	Entro Bitterlich	Differenza medie MOTI-Bitterlich
Media(m²/ha)	0,16	0,40	0,68
Dev.standard(m²/ha)	2,10	2,63	1,78
Intervallo di confidenza	0,86	1,09	0,74
Intervallo%	541	271	108
CV (%)	1310	657	262

Tabella 5: Valori medi delle differenze fra i doppi rilievi relascopici eseguiti sullo stesso punto per MOTI e per Bitterlich. Accompagnati da misure di dispersione scalari: l'intervallo di confidenza espresso in percentuale (Intervallo%) e il coefficiente di variazione (CV%), e misure di dispersione non scalari. La terza colonna ("differenze medie MOTI-Bitterlich"), riporta il valore medio delle differenze tra misure eseguite con relascopi differenti, sullo stesso punto, seguite da misure di dispersione scalari e non scalari.

In modo simile al popolamento di conifere, i test t di Student a coppie eseguiti, hanno riportato p-value maggiori di α , i test sono stati condotti eseguendo gli stessi confronti fatti precedentemente in pecceta (sono stati comparati gli stessi gruppi). p-value= 0,3887 nel confronto tra differenze "entro MOTI" e differenze "entro Bitterlich", p-value=0,1386 nel comparare le differenze "entro MOTI" e le "differenze medie MOTI-Bitterlich". Le ipotesi nulle 2A e 2B sono state accettate, ovvero le differenze nella doppia misura dell'area basimetrica sia con MOTI che con il relascopio non sono statisticamente diverse e le differenze nella doppia misura con MOTI, non sono diverse dalle differenze nella doppia misura con strumenti diversi.

5.4 MISURE DI PERFORMANCE

5.4.1 Misure non scalari di precisione

Riguardo al popolamento di conifere, le "stime di riferimento" (stime derivanti dalle aree di saggio) presentano una deviazione standard di 17,38 m²/ha, le stime di MOTI di 12,13 m²/ha, le stime di Bitterlich 13,30 m²/ha. Per il popolamento di latifoglie, la deviazione standard del "riferimento" risulta di 7,62 m²/ha, per le stime di MOTI 5,01 m²/ha, per le stime di Bitterlich 5,49 m²/ha.

Il range di variazione delle stime della pecceta è di circa 72 m²/ha nelle aree di saggio, 58 m²/ha nelle stime di MOTI, 67 m²/ha nelle stime del relascopio. Nella faggeta di 27 m²/ha nelle aree di saggio, 20 m²/ha nelle stime di MOTI, 19 m²/ha nelle stime del relascopio.

5.4.2 Misure non scalari di distorsione

Dai risultati in Tabella6 riferiti al popolamento di conifere, le stime con il relascopio sono distorte di circa 1,91 m²/ha dal "valore di riferimento". Uno stimatore (strumento) non distorto dovrebbe restituire 50% di sovrastime e 50% di sottostime. Nel 56% dei casi i rilievi con MOTI sovrastimano il valore medio G/ha delle aree di saggio, nel 60% dei casi i rilievi con Bitterlich sovrastimano questo "riferimento". Ricordando che "il riferimento" è la media di diversi rilievi fatti sugli stessi punti dove sono avvenute le misure relascopiche, le diverse situazioni di densità fra i punti rilevati dovrebbero influire poco.

Dai risultati in Tabella7 relativi alla faggeta, si nota come entrambi gli strumenti producano stime leggermente distorte rispetto al "valore di riferimento". Nelle latifoglie, per entrambi gli strumenti

relascopici, i casi in cui è stata compiuta una sovrastima sono inferiori al 50%, sovrastime nel 38% dei casi con MOTI, nel 26% dei casi con Bitterlich.

5.4.3 Misure non scalari di accuratezza

La radice dell'errore quadratico medio (RSME), Tabella6, ha valori simili per MOTI e per Bitterlich, pari a circa 12 m²/ha. L'accuratezza tra i due strumenti relascopici differisce in media di 1 m²/ha.

CONIFERE	Moti	Bitterlich
Errore medio (m²/ha)	0	1,91
Dev.standard(m²/ha)	12,13	13,30
RSME(m²/ha)	11,69	12,66
Errore Medio Scalare(%)	0	4
CV(%)	28	29
RSME Scalato(%)	27	29

Tabella 6: Misure di precisione, distorsione e accuratezza non scalari (in arancione), e scalari (in blu), espresse in percentuale (Errore Medio Scalare, RSME Scalato, CV), correlate ai due strumenti relascopici

Nelle stime riguardanti il popolamento di latifoglie (Tabella7), l'accuratezza media degli strumenti relascopici è abbastanza simile, con un RSME di circa 5 m²/ha.

LATIFOGLIE	Moti	Bitterlich
Errore medio (m²/ha)	-2,09	-2,77
Dev.standard(m²/ha)	5,19	5,62
RSME(m²/ha)	5,86	5,77
Errore Medio Scalare(%)	-6	-9
CV(%)	18	19
RSME Scalato(%)	18	18

Tabella 7: Misure di precisione, distorsione e accuratezza non scalari (in arancione), e scalari (in blu), espresse in percentuale (Errore Medio Scalare, RSME Scalato, CV), correlate ai due strumenti relascopici.

5.4.4 Misure scalari di precisione

Il coefficiente di variazione può essere considerato come una misura scalare della deviazione standard. Sia nella pecceta, che in faggeta, il coefficiente di variazione nelle stime con gli strumenti relascopici è simile, e sempre inferiore al coefficiente di variazione delle "stime di riferimento" (rispettivamente 40% in pecceta, 24% in faggeta). In generale, le 50 misure di MOTI variano tra loro

meno rispetto alle 50 misure con il relascopio, in entrambe le tipologie di bosco. Le stime della faggeta sono caratterizzate da un precisione maggiore rispetto a quelle della pecceta.

5.4.5 Misure scalari di distorsione

L'errore medio scalato (SME) presentato in Tabella6 e Tabella7 è differente per i due popolamenti. Tendenzialmente le stime con gli strumenti relascopici nel faggeta sono più distorte di quelle nella pecceta. In media, il relascopio sovrastima il valore dell'area basimetrica nella pecceta di 4% e sottostima nella faggeta del 9%. Mentre MOTI sottostima del 6% solo in faggeta.

5.4.6 Misure scalari di accuratezza

La radice dell'errore quadratico medio scalato (SRMSE) calcolata dalle misure con i due strumenti relascopici, ha un valore maggiore nella pecceta. Le misure in pecceta hanno una distorsione inferiore ma una varianza maggiore rispetto alle stime fatte in faggeta, risentendo di questo, la loro accuratezza media è inferiore.

5.5 TEMPISTICHE DI RILIEVO

Come ribadito più volte, già durante l'attività in sito, il primo rilievo eseguito sul nuovo punto test, richiedeva una durata maggiore rispetto ai seguenti tre. Il "fenomeno di misurazione" pesava in modo maggiore sui seguenti tre rilievi.

5.5.1 In pecceta

I risultati sulle medie dei tempi di due misurazioni, con entrambi gli strumenti, sono riportati in Tabella8.

CONIFERE N=24	Bitterlich	Moti
Media T (sec)	427	434
Mediana T (sec)	443	421
Range (sec)	400	385
Dev.standard(sec)	90	86
Intervallo di confidenza(sec)	38	36
Intervallo%	9	8
CV(%)	21	20
p-value	0,536	

Tabella 8: Valore medio e mediano di tempo richiesto per entrambi gli strumenti per eseguire un rilievo relascopico nella fustaia di abete rosso, accompagnato da alcune misure di dispersione statistica, alcune espresse in percentuale (Intervallo% o CV%). Da notare che il numero di rilievi cronometrati è N=24 e non 25. La misura di tempo per un punto non è stata cronometrata.

Nel popolamento di conifere, per la misura dell'area basimetrica in un punto test, in media sono stati necessari circa 7 minuti sia con il relascopio sia con MOTI, con una differenza di circa 7 secondi. L'intervallo in percentuale è simile per i due strumenti e abbastanza ristretto.

5.5.2 In faggeta

I risultati riguardanti i tempi necessari per eseguire il rilievo nel popolamento a prevalenza di faggio, sono riportati in Tabella9. In media, per misurare l'area basimetrica in un punto, sia con MOTI che con il relascopio sono stati necessari circa 5 minuti. In linea con la differente densità fra i due soprassuoli, visibile in Tabella1. Essendo meno densa, la faggeta richiede, in media, un minor tempo per il conteggio relascopico in un punto campionato.

In questa situazione, MOTI risulta più veloce di circa 12 secondi rispetto al relascopio. Per il valore mediano, meno sensibile ai valori anomali, il risultato è lo stesso (MOTI è più veloce di circa 4 secondi rispetto al relascopio).

LATIFOGIE N=25	Bitterlich	Moti
Media T (sec)	355	343
Mediana T (sec)	353	349
Range (sec)	252	201
Dev.standard(sec)	51	49
Intervallo di confidenza(sec)	21	20
Intervallo%	6	6
CV(%)	14	14
p-value	0,181	

Tabella 9: Valore medio e mediano di tempo richiesto per entrambi gli strumenti per eseguire un rilievo relascopico nella fustaia di faggio, accompagnato da alcune misure di dispersione statistica, alcune espresse in percentuale (Intervallo% o CV%).

L'intervallo in percentuale in questo caso è ancora più ristretto, la media delle misure di tempo (con una probabilità del 95%) ricade all'interno di uno spazio intorno al valore medio, di circa 20 secondi.

Dai due test t di Student accoppiati, eseguiti confrontando i tempi di rilievo dei due strumenti relascopici, sia nel popolamento di resinose che in quello di latifoglie (rispettivamente p-value di 0,536 e 0,181), risulta che i tempi di rilievo con MOTI e con il relascopio di Bitterlich non sono statisticamente diversi.

5.6 ANALISI SULLE CHIARIE

L'influenza delle chiarie era visibile già durante la determinazione degli errori medi delle stime relascopiche: le sottostime rispetto al "riferimento" (G/ha aree di saggio) erano molto elevate per entrambi gli strumenti. Dai risultati in Tabella10 e Tabella11 emerge che MOTI sottostimi in modo maggiore nelle chiarie della pecceta, Bitterlich in modo maggiore nei punti della faggeta.

PECCETA	MOTI	BITTERLICH
Errore medio (m ² /ha)	-6,89	-4,42
SME (%)	-16	-10

Tabella 10: Errore medio ed errore medio scalato determinati nelle 8 chiarie a ridotta visibilità in pecceta.

FAGGETA	MOTI	BITTERLICH
Errore medio (m²/ha)	-6,00	-6,62
SME (%)	-19	-21

Tabella 11: Errore medio ed errore medio scalato determinati nei 4 punti a ridotta visibilità campionati in faggeta.

Per entrambi i soprassuoli, nei punti a più ridotta visibilità (chiarie con presenza di ostacoli), due misurazioni con MOTI sullo stesso punto sono mediamente più omogenee rispetto a due misurazione con il relascopio, comunque maggiormente discordanti rispetto alla differenza media relativa ad ogni strumento (“differenza entro MOTI”, “differenza media Bitterlich”). L’errore di misurazione pesa di più rispetto ai rilievi eseguiti in altri punti del popolamento, e di conseguenza la distorsione è maggiore (SME% è più elevato) per questi punti.

Invece, la differenza media tra le misure con strumenti diversi è abbastanza in accordo con il valore medio delle “differenze medie MOTI-Bitterlich”(in pecceta 1,91 m²/ha, in faggeta 0,68 m²/ha). Tutto questo ci porta a concludere che nelle chiarie, l’errore soggettivo di misura influenza in modo simile i due strumenti relascopici ed è comunque più incisivo del normale (Tabella12 e Tabella13).

	MOTI	BITTERLICH	MOTI-BITTERLICH
	1,26	1,08	0,09
	1,26	2,92	6,09
	0,76	4,92	3,84
	0,26	4,92	0,59
	1,26	0,08	1,41
	1,26	6,92	1,09
	4,26	0,92	0,59
	3,26	2,92	0,09
ERRORE Medio	1,7	3,1	1,7

Tabella 12: Relativa ai 8 rilievi nelle chiarie del popolamento di abete rosso. Sono riportate le sottrazioni, in valore assoluto (G/ha), tra la differenza riscontrata in due misurazioni con il relativo strumento e il valore di riferimento (ovvero il valore medio “differenze entro MOTI”, o “differenze entro Bitterlich”, o “differenze medie MOTI-Bitterlich”, attinente allo strumento in questione). In più è presente l’errore medio determinato come media di queste sottrazioni.

	MOTI	BITTERLICH	MOTI-BITTERLICH
	0,8	1,6	0,2
	1,8	0,4	2,3
	0,8	1,6	1,8
	1,8	3,6	0,7
ERRORE Medio	1,3	1,8	1,3

Tabella 13: Relativa ai 4 rilievi nei punti test a ridotta visibilità del popolamento di faggio. Sono riportate le sottrazioni, in valore assoluto (G/ha), tra la differenza riscontrata in due misurazioni con il relativo strumento e il valore di riferimento (ovvero il valore medio “differenze entro MOTI”, o “differenze entro Bitterlich”, o “differenze medie MOTI-Bitterlich”, relativo allo strumento in questione). In più, è presente l’errore medio determinato come media di queste sottrazioni.

Nella fustaia di resinose, il tempo di rilievo nelle chiarie è simile fra i due strumenti relascopici, comunque minore rispetto al tempo medio di rilievo per questo soprassuolo (Tabella14). La stessa situazione è osservata nella fustaia di faggio, in questo caso però il tempo di rilievo nelle chiarie è di poco maggiore rispetto al tempo medio di rilievo (dell'ordine di circa 10 secondi per entrambi i relascopi, Tabella15).

	Moti(sec)	Bitterlich(sec)
	-197	-191
	-87	-30
	77	132
	18	-83
	19	-62
	-6	-5
	-77	-68
	-78	-41
Media	-41	-44
SME%	-10	-10

Tabella 14: Viene determinato l'errore medio (Media) considerando come "valore vero" di tempo il tempo medio impiegato per eseguire un rilievo nella fustaia di abete rosso. I valori in tabella rappresentano le differenze tra le misure di tempo cronometrate in ogni punto di test a visibilità ridotta e il "valore vero". L'errore medio è inoltre scalato ed espresso in percentuale (SME%).

	Moti(sec)	Bitterlich(sec)
	18	45
	22	32
	15	-38
	0	10
Media	14	12
SME%	4	3

Tabella 15: Viene determinato l'errore medio (Media) considerando come "valore vero" di tempo il tempo medio impiegato per eseguire un rilievo nella fustaia di faggio. I valori in tabella rappresentano le differenze tra le misure di tempo cronometrate nei 4 punti a visibilità molto ridotta e il "valore vero". L'errore medio è inoltre scalato ed espresso in percentuale (SME%).

6. DISCUSSIONI

6.1 ACCURATEZZA DI MOTI RISPETTO AL RELASCOPIO DI BITTERLICH

I risultati esposti nel presente elaborato dimostrano che l'applicazione MOTI ha una precisione simile al relascopio, nello stimare l'area basimetrica ad ettaro a livello di popolamento. La precisione diversa tra pecceta e faggeta è dovuta ad una struttura più omogenea della faggeta. La scarsa precisione nel popolamento di resinose potrebbe essere legata ai punti campionati nelle chiarie che hanno un'area basimetrica molto bassa rispetto al resto del bosco che è piuttosto denso, andando così ad ampliare la variabilità delle stime in pecceta.

MOTI e il relascopio di Bitterlich forniscono stime di area basimetrica abbastanza simili: tra gli strumenti la differenza media è stata di 1,91 m²/ha nella pecceta e 0,68 m²/ha nella faggeta (risultati in Tabella2 e Tabella3). Le medie presenti in Tabella2 e Tabella3, mostrano che MOTI ha una media leggermente più vicina al "valore di riferimento" rispetto a Bitterlich in pecceta, mentre in faggeta il valore medio di Bitterlich è un po' più accurato.

Riguardo alla distorsione nelle stime di MOTI, osservando l'errore medio e l'errore medio scalato, l'applicazione sembra produrre stime un po' meno distorte del relascopio, sia nella pecceta sia nel popolamento a prevalenza di faggio. Addirittura, le stime con MOTI nella pecceta non presentano distorsione. Nella faggeta MOTI tende a sottostimare leggermente il "valore di riferimento" (ma meno del relascopio), nella pecceta il relascopio sovrastima il "valore di riferimento" fenomeno non estraneo ai rilievi relascopici tradizionali in popolamenti ad alta densità, come riportato da Saari e Kangas (Saari e Kangas, 2005). La sottostima della faggeta, abbastanza simile tra i due strumenti relascopici e di bassa entità, può essere causata dalla sovrapposizione di tronchi o alberi nascosti, come evidenziato nel Rapporto sullo sviluppo dell'applicazione (Rosset et al., 2014).

L'accuratezza delle stime di area basimetrica con l'applicazione e con il relascopio, rispetto al "valore di riferimento", è quasi la stessa, in entrambi i siti di studio (SRSME in Tabella6, Tabella7). Nella popolamento a prevalenza di faggio l'accuratezza delle stime di MOTI (come per il relascopio classico) è migliore. La presenza di maggiori chiarie nella pecceta, quindi, di una visibilità ridotta può aver influenzato entrambi i rilievi relascopici.

I risultati dei test t di Student a coppie non hanno messo in evidenza differenze significative tra i valori di G/ha misurati con i due strumenti, rispetto ai "valori di riferimento" calcolati con i rilievi su aree di saggio. Esiti simili sono stati ottenuti nel soprassuolo a prevalenza di faggio. Per entrambe le tipologie di bosco, con i test t di Student è stato confermato che le stime dei due strumenti relascopici non sono diverse dalle "stime di riferimento". Dunque, si può dedurre che le misure effettuate con i due strumenti hanno un'accuratezza (che è la somma di distorsione e precisione) paragonabile e le stime dei due strumenti relascopici non sono differenti.

Avendo condotto i test sia sulle prime stime fatte con i due strumenti relascopici che sulle stime delle rimisurazioni (8 t test in tutto), le conclusioni prodotte sono consolidate da una doppia verifica.

Nel Rapporto di sviluppo dell'applicazione (Rosset et al., 2014), viene riportato che grazie alla procedura di calibrazione e tutta una serie di prove di precisione effettuate su MOTI, risultate convincenti (test a livello dei sensori dello smartphone, test di confronto con analoghi dispositivi di misurazione convenzionali). L'applicazione viene definita efficiente quanto il relascopio di Bitterlich, per la misurazione della G/ha. Tuttavia, nel documento che descrive le prove effettuate non sono

presenti test statistici, né misure di performance statistiche (intervallo di confidenza, coefficiente di variazione, SME, RSME%) che accompagnano le conclusioni.

Esiti in linea con queste conclusioni sono stati trovati da Turk (Turk, 2015). Le aree basimetriche misurate con il metodo classico relascopico e con MOTI risultavano simili, sia in popolamenti monospecifici, che diversificati. Sono stati condotti dei t test a coppie confrontando le stime ottenute con il relascopio con le stime di MOTI. Le differenze tra le stime con i due strumenti relascopici, calcolate da Turk, presentano un ordine di grandezza simile e non erano statisticamente significative, circa 0,3 m²/ha nel popolamento omogeneo, 0,4 m²/ha in quello diversificato.

Conclusioni differenti sono state prodotte nello studio di Fricelj (Fricelj, 2018). Confrontando sempre parametri di area basimetrica rilevati con il metodo MOTI e il metodo classico relascopico, riporta che le differenze nelle stime sono statisticamente significative tra i due metodi. Tuttavia, l'autore dello studio ha impostato l'analisi statistica ad un livello di significatività maggiore ($\alpha=0,01$), che può aver influito sui risultati e quindi sulle conclusioni. Però, calcolando l'errore di campionamento, ha potuto concludere che i rilievi con MOTI forniscono stime relativamente accurate misurando almeno 20 punti di campionamento (visto che sono state fatte delle aree di saggio).

Discutendo sulla precisione di MOTI, con riferimento ai valori di coefficiente di variazione in Tabella6, Tabella7, si può supportare il fatto che l'applicazione ha una precisione paragonabile a quella del relascopio, riportando i risultati del lavoro di Laasasenaho e Päivinen (1986). Essi hanno riscontrato un coefficiente di variazione variabile per le misurazioni del relascopio (utilizzando la banda di 1), dal 23 al 28%. Valori abbastanza vicini a quelli riscontrati nella faggeta e nella pecceta. Comunque, va ricordato che la numerosità del campione, l'aumento di praticità nella misura con MOTI, le condizioni di visibilità e la stanchezza dell'operatore possono influenzare il risultato.

6.2 INFLUENZA DELL'ERRORE SOGGETTIVO SU MOTI

Con riferimento alle Tabella4, Tabella5, dai risultati trovati sui doppi rilievi nello stesso punto test, si deduce che le differenze in pecceta sono maggiori di quelle in faggeta, per entrambi gli strumenti relascopici. Va ricordato che questi risultati sono influenzati dalla visibilità del punto test, dalla stanchezza dell'operatore, e da altre variabili, ma non della differente densità tra i punti test campionati. È da notare che il conteggio errato di un albero limite (cioè conteggiato per 1/2) vale 1 m²/ha, quasi tutte le differenze sono al di sotto di questa soglia. In generale, MOTI riporta differenze simili se non minori rispetto al relascopio.

I t test a coppie condotti hanno permesso di verificare che MOTI è uno strumento consistente almeno quanto il relascopio ed ha una "difficoltà" di utilizzo paragonabile, poiché le differenze di due misurazioni della medesima grandezza sia con MOTI che con il relascopio sono relativamente simili (non differiscono).

Confrontando le medie tra "differenze entro Bitterlich" con "differenze tra MOTI e Bitterlich" in Tabella4, Tabella5, possiamo dedurre che le differenze di misura tra MOTI e il relascopio ("differenze tra MOTI e Bitterlich") sembrano essere caratterizzate da un ordine di grandezza paragonabile a quello che influenza due rilievi con il relascopio. Ossia quella differenza dovuta al fatto che si tratta di misure non perfettamente replicabili. Quindi, la differenza tra i due strumenti relascopici potrebbe essere causata dall'errore umano durante la procedura di misurazione.

Parlando di replicabilità, i test statistici fra le “differenze entro MOTI” contro le “differenze tra MOTI e Bitterlich” condotti, informano su quanto è replicabile la misura fatta con ogni strumento, ossia se usando due volte lo strumento sullo stesso punto si ottengono risultati simili. In generale la misura relascopica è soggetta molto all'errore umano, dovuta alla valutazione soggettiva di cosa rientri o meno nella banda. L'esito del test non significativo, sommato all'esito del t test precedente e alla discussione sul confronto “differenze entro Bitterlich” con “differenze tra MOTI e Bitterlich”, permette di concludere che MOTI e Bitterlich hanno grado di replicabilità paragonabile, cioè l'errore umano dovuto al fatto che la scelta che l'albero sia o meno da conteggiare (dentro o fuori banda) è simile. In più, si può confermare che a livello di stima del valore medio del popolamento, MOTI fornisce una misura di area basimetrica non differente da quella del relascopio.

Conclusioni simili sono riportate nel Rapporto sullo sviluppo dell'applicazione (Rosset et al., 2014). In seguito a 96 prove relascopiche condotte comparando il numero di alberi conteggiati con MOTI con il numero prodotto con il suo omologo analogico (il relascopio di Bitterlich), in diverse ambientazioni di prova (sia in popolamenti di conifere che di latifoglie e in fasi diverse di sviluppo). Risulta che in linea di massima, il rischio di commettere errori durante il conteggio è più o meno lo stesso con entrambi i dispositivi.

6.3 DURATA DEL RILIEVO

Nel popolamento di conifere, il rilievo con MOTI è risultato più lento rispetto al rilievo relascopico tradizionale, di circa 7 secondi. Nel soprassuolo dominato dal faggio, il rilievo con MOTI è risultato più veloce di circa 12 secondi. È da notare il fatto che alcuni punti di rilievo nella pecceta presentavano una visibilità compromessa, come della chiarie per schianti. In questi contesti, dove una crescita rapida del sottobosco ha ridotto la possibilità di collimazione, i rilievi con il relascopio sono più rapidi (grazie alla possibilità di sfruttare un mirino ottico invece di un'immagine virtuale, riprodotta sullo schermo dello smartphone) e possono aver influenzato i risultati finali. Infatti, il coefficiente di variazione nella pecceta ha un valore maggiore che in faggeta, indicando che i tempi di rilievo sono molto più variabili in questa tipologia di bosco.

Le differenze medie di pochi secondi hanno portato ad accettare la terza ipotesi nulla, ossia che i tempi richiesti da MOTI per il conteggio relascopico in un punto test, non siano differenti da quelli del relascopio di Bitterlich.

Conclusioni diverse sono state riportate da altri studi sull'applicazione. Entrambi i due lavori su MOTI di Turk (Turk, 2015) e Fricelj (Fricelj, 2018), hanno ottenuto risultati statisticamente significativi confrontando il tempo impiegato nelle misurazioni con MOTI, contro il tempo richiesto dal relascopio di Bitterlich. Il relascopio era più veloce dell'applicazione MOTI.

Bisogna però prendere atto che gli ambienti dove sono stati condotti i test di Turk e Fricelj sono differenti, boschi sia monospecifici che misti, rispetto alle zone di studio individuate nel presente lavoro. Per Fricelj i popolamenti soggetti ai rilievi relascopici si trovavano in stadi di sviluppo differenti (alcuni con una visibilità molto ridotta). Gli svantaggi che MOTI dimostra in queste situazioni possono aver influenzato i tempi di rilievo. In più, nel lavoro di Fricelj, è stato utilizzato un livello di significatività nei test statistici differente ($\alpha=0,01$) ed è stato utilizzato un treppiede per le misurazioni che può aver allungato i tempi di rilievo (come è stato possibile sperimentare in campo). Invece, Turk conclude valutando complessivamente il tempo richiesto dai metodi tradizionali per

determinare l'area basimetrica e per determinare l'altezza media. Tenendo presente quest'ultimo fattore, i due metodi richiedono circa lo stesso tempo. Secondo l'autore, MOTI presenta addirittura un vantaggio, cioè non è necessario impiegare ulteriore tempo nella trascrizione dei dati raccolti, già in campo, i valori medi calcolati dei parametri forestali vengono forniti dall'applicazione.

Le riflessioni appena presentate, possono quindi sostenere le discussioni del Rapporto sullo sviluppo dell'applicazione (Rosset et al., 2014). In seguito ad un'analisi critica dei risultati, il documento riporta lo sviluppo di un'applicazione che consenta di effettuare le misurazioni almeno con la stessa rapidità con cui si effettuano le misurazioni con gli strumenti convenzionali, sfruttando al tempo stesso i vantaggi degli smartphone per semplificare il processo di misurazione.

A tale proposito si può aggiungere che i progressi della tecnologia smartphone degli ultimi anni, possono aver migliorato molto le performance dell'applicazione (temporali), investendo in schermi con una risoluzione sempre maggiore. Le prove di Turk e Fricelj sono state condotte cinque, sette anni fa, quindi con dispositivi inferiori, in termini di caratteristiche tecniche, a quelli attuali.

6.4 ANALISI SULLE CHIARIE

Nei punti campionati con MOTI dove la visibilità si riduce, osservando gli errori medi in Tabella12 e Tabella13, l'applicazione rimane più affidabile del relascopio nella ripetizione della misura. Inoltre, sempre in queste situazioni, il tempo di rilievo con MOTI aumenta allo stesso modo che con il relascopio (la differenza è di pochi secondi) nella faggeta, nella pecceta avendo collimato meno piante, il rilievo è più rapido rispetto alla media (per entrambi gli strumenti).

6.5 CONFRONTI DI PERFORMANCE CON ALTRE APPLICAZIONI TESTATE IN GRADO DI MISURARE LA G/ha

Il test in Finlandia di M.Moliner (Moliner, 2016) riporta che l'area basimetrica misurata con il Relasphone, è risultata in buon accordo con i dati dei piani forestali di riferimento, di 3 anni prima (RSME%=29,66% e DISTORSIONE%=+4%, visibile in Tabella16). I test in Messico hanno permesso di concludere che le misure eseguite in modo indipendente da due utenti, sono risultate coerenti, RSME% dell'area basimetrica totale era uguale a 17%, 18%, variava quasi allo stesso modo per entrambi gli osservatori. Suggestendo che Relasphone può fornire misurazioni affidabili e coerenti sebbene eseguite da un maggior numero di utenti.

Tree Species Hyytiälä, Finland	a	b	R ²	RMSE (m ² /ha)	RMSE (%)
Pine	0.99	-0.66	0.75	5.33	59.89
Spruce	1.02	-0.39	0.75	6.73	52.99
Birch	1.22	0.95	0.71	4.98	113.18
Total	0.8	6.42	0.46	7.92	29.66

Mean Basal Area (m ² /ha) Hyytiälä, Finland	Pine	Spruce	Birch	Total
Relasphone	8.2	12.6	6.3	27.8
Reference data	8.9	12.7	4.4	26.7
BIAS (m ² /ha)	-0.7	-0.1	+1.9	+1.1
BIAS (%)	-7.9%	-0.8%	+43.2%	+4.1%

Tabella 16: Estratto dei risultati di distorsione e accuratezza in percentuale, presenti nello studio su Relasphone (M.Moliner, 2016).

Rispetto alle misure di distorsione e accuratezza scalari determinate nel presente lavoro e visto che le specie oggetto di misura sono abbastanza simili a quelle del lavoro di M.Moliner (conifere come l'abete rosso, o latifoglie del genere *Quercus*), ma sono state eseguite su biomi differenti (in

Finlandia e in Messico), si potrebbe concludere che nella stima dell'area basimetrica ad ettaro, per il popolamento di conifere e per il popolamento a prevalenza di faggio, MOTI dimostra una distorsione inferiore o relativamente simile rispetto a quella presentata dall'applicazione Relasphone (rispettivamente -0,8% per l'abete rosso, +4,1% in totale). Con riferimento all'accuratezza, le stime di MOTI (RSME%=27% nella pecceta, o 18% nella faggeta) sembrano essere più accurate se non paragonabili a quelle del Relasphone (RSME%=52,99% nella pecceta, RSMEtot%=29,66%).

Tuttavia, gli autori riportano che Relasphone non può sostituire le tradizionali misure per redigere i piani forestali che oltre alla misura dell'area basimetrica, richiedono altri parametri (altezza, volume, nel determinare questi parametri l'applicazione è stata meno prestante). Però, convalidano l'applicazione Relasphone come fornitore di dati di riferimento per l'analisi delle immagini satellitari, contribuendo a colmare le lacune spaziali e temporali nella disponibilità di dati in sito.

La sperimentazione, inoltre, paragona i risultati in RSME% ottenuti, con quelli sullo studio di Trestima in Finlandia (29,66% abbastanza compatibile ai risultati 19,7%-29,3% con Trestima, affermando che i risultati di Durango hanno ottenuto accuratezza migliore 18%).

Nello studio di Trestima (Latorre, 2015), condotto in Finlandia, le misure di area basimetrica rilevate con l'applicazione sono state confrontate con le misure rilevate con un relascopio tradizionale. I test a coppie condotti, non hanno evidenziato differenze significative tra i due gruppi di stime.

In questo caso però "il riferimento" utilizzato nello studio per determinare l'accuratezza delle stime di Trestima, deriva da una stima relascopica, anziché da un cavallettamento per aree di saggio.

	Pine	Spruce	Birch	Aspen	Other	Total
Bias (m ² /ha)	0.4	-1.1	0.4	1.8	-0.1	1.2
Bias (%)	18.3	-5.9	5.8	34.1	-20.9	3.7
RMSE (m ² /ha)	3.1	7.6	4.5	5.4	1.3	9.3
RMSE (%)	152.2	42.4	61.0	103.6	308.6	28.3
Paired t-test	Pine	Spruce	Birch	Aspen	Other	Total
T	1.5	-1.7	1.2	4.3	-0.8	1.7
P	0.134	0.083	0.239	2.5E-05	0.399	0.100

Tabella 17: Misure di distorsione e accuratezza scalari riportate nello studio Trestima (Latorre, 2015).

Confrontando le misure di distorsione e accuratezza scalari, con quelle prodotte da E.G.Latorre (Tabella17), sembra che MOTI abbia una distorsione simile o poco maggiore soprattutto nella faggeta(-6%), Latorre riporta una sottostima complessiva di 3,7%. Riguardo l'accuratezza di MOTI, i risultati in pecceta sono paragonabili, in faggeta addirittura migliori rispetto ai risultati di Latorre (RSME%=27% in pecceta,18% in faggeta, per Latorre 28,3%). L'autore riporta che le stime di RSME% afferente all'area basimetrica, sono in linea con quelle prodotti dagli tradizionali strumenti di misura che sfruttano il campionamento a conteggio angolare (ACS).

Lo studio di Vastaranta (Vastaranta et al., 2015), confronta le stime dell'applicazione Trestima con quelle calcolate utilizzando dati campionati con il metodo tradizionale (individuate 25 aree di saggio,

attraverso un censimento con cavalletto, è stata determinata l'area basimetrica del popolamento), usato per la costruzione dell'inventario forestale. Gli autori concludono che Trestima ha un RSME%=20,5% a livello di popolamento (RSME%=22,7% per l'abete rosso), molto simile al valore RSME% ottenuto con l'uso di strumenti che sfruttano la relascopia. Risultato abbastanza in linea con l'RMSE% di MOTI stimato nella faggeta e in pecceta in questo studio.

C'è da riflettere sul fatto che le distorsioni nelle stime e di conseguenza RSME% (l'accuratezza) sono influenzati:

- dal fattore di numerazione scelto per eseguire i rilievi relascopici, come riportano Saari e Kangas (Saari e Kangas, 2005). Utilizzando un fattore di numerazione basso in popolamenti densi, hanno riscontrato che le stime del relascopio erano distorte e con una RSME% del 24% (rispetto ad un valore di area basimetrica determinato con aree di saggio). Concludendo che l'utilizzo di fattori di numerazione piccoli in popolamenti densi ha prodotto evidenti sottostime, che potevano essere corrette utilizzando bande relascopiche più grandi.

- dall'operatore che esegue le misure. Saari e Kangas hanno verificato, per il modo in cui era progettato il loro studio, che sono state riscontrate differenze di livello nell'errore complessivo dell'area basale tra i rilevatori. L'errore di misura, di conseguenza RSME%, può variare a seconda della persona che effettua le misurazioni.

Oltre che dal numero di misurazioni che si eseguono e dal modo in cui queste sono distribuite sull'oggetto di studio (in modo omogeneo, o più concentrate in una parte).

Entrambi gli studi su Trestima e sul Relasphone verificano, in termini di tempo, che queste applicazioni risultano complessivamente più veloci, rispetto ad un rilievo tradizionale. Secondo l'esito di un t test a coppie, condotto sul sistema Trestima, esso risulta più veloce, con una differenza significativa di 1,6 minuti. Nelle conclusioni di M.Moliner viene riportato che con Relasphone l'acquisizione dei dati è facile e veloce.

Nelle misure di tempo considerate dagli studi, rientrano le misure di altri parametri oltre all'area basimetrica, che potrebbero allungare molto i tempi del metodo tradizionale, si pensi alla trascrizione dati. Come per MOTI, i dati rilevati con Trestima e Relasphone possono essere scaricati collegandosi al corrispondente server.

6.6 VANTAGGI E SVANTAGGI DI MOTI, INDIVIDUATI IN CAMPO

Infine, sono riportate ulteriori qualità e difetti dell'applicazione, oltre a quelle evidenziate da altri documenti (Rosset et al., 2014 o Turk, 2015). Queste sono state notate dall'operatore che ha eseguito entrambi i rilievi in campo.

6.6.1 Vantaggi di MOTI

- Grazie allo zoom del dispositivo, è possibile gestire con più certezza e velocità gli alberi al limite del rapporto relascopico.

- Agevola il conteggio degli alberi, senza necessità di ricordarli a memoria, come è invece necessario fare con il relascopio.

-Regola istantaneamente la pendenza (sfruttando il giroscopio del dispositivo), a differenza del relascopio non è necessario attendere che la scala di bande si regolarizzi dopo uno sbalzo (il mirino a bande va su e giù), evento comune su terreno irregolare.

-Ha un basso consumo di batteria. Utilizzando l'applicazione per un tempo di rilievo complessivo di 8 ore (in queste sedute sono ricompresi i tempi per i due rilievi relascopici, e i tempi per la realizzazione delle aree di saggio), con uno smartphone HUAWEI P20 lite, prodotto nel 2019 e dotato di una batteria carica al 100%, non si raggiungeva il consumo totale della batteria.

Impressione personale: Moti causa un minore affaticamento rispetto al relascopio. L'uso prolungato dello strumento tradizionale infatti causa una considerevole stanchezza visiva (chiusura di un occhio, stanchezza nel focalizzare l'albero senza zoom), che rende a volte più complicato giudicare gli alberi limite molto distanti, soprattutto in zone ombrose. In alcuni casi, il rilievo è stato interrotto per alcuni attimi.

6.6.2 Svantaggi di MOTI

-Manca la possibilità di conteggiare gli alberi come 0,5, posti al limite della distanza critica dall'osservatore. Si rende quindi necessario conteggiare un albero ogni due che si trovano nella condizione limite.

-Le dimensioni e la posizione del tasto "nuovo", nel layout per misurare la G/ha, si potrebbero modificare. Più di una volta l'operatore ha cliccato questo tasto durante il rilievo, dovendo ripartire da zero con il conteggio degli alberi. Le difficoltà di spostamento (movimenti eseguiti per collimare un albero non visibile dal centro dell'area), rotazione in bosco (bosco fitto, abbondante vegetazione arbustiva) hanno aumentato la frequenza del fenomeno.

-La risoluzione della fotocamera influisce abbastanza sulla possibilità di giudizio. Con angoli di visuale soggetti a forti contrasti di luce o a "sole contro", l'immagine riprodotta sullo schermo diminuisce di qualità (lo zoom in questi casi non riesce a migliorare la situazione). Lo stesso evento si è verificato con Bitterlich, ma la possibilità di sfruttare un mirino ottico che riproduce in modo diretto la realtà e il supporto della terza dimensione (fornito dalla profondità percepibile mantenendo il secondo occhio aperto), migliorano le incertezze di giudizio. A patto che gli alberi siano ben visibili.

-Passare dalla visione virtuale riprodotta dallo schermo dello smartphone, alla realtà circostante "disambientata". Durante la rotazione/collimazione con il relascopio, sembra che lo spostamento da un albero al successivo sia più veloce, il tempo per ambientare il rilievo (posizione e fisionomia dell'albero) è minore con il relascopio rispetto ad utilizzare MOTI (utilizzando MOTI, ci sono maggiori difficoltà a ritrovare le piante rispetto alla realtà).

-Una mano ferma è necessaria per entrambi gli strumenti (sia per MOTI che per Bitterlich), pertanto, l'affaticamento prodotto per tenere il telefono ad altezza degli occhi, aumenta il tremolio della mano. Un treppiede, non utilizzato in questo lavoro, potrebbe aiutare a diminuire il tremolio, pur aumentando le tempistiche di rilievo.

-La profondità, sfruttabile mantenendo entrambi gli occhi aperti con Bitterlich. In alcuni casi, facilita il giudizio rispetto all'utilizzo dello zoom di MOTI.

7. CONCLUSIONI

Con una prospettiva di popolamento, avendo a disposizione le misure di precisione, distorsione e accuratezza (definita come distanza dal “riferimento”) e i risultati dei test statistici, possiamo dire con una certa sicurezza che in entrambe le tipologie di bosco, MOTI è accurato come il relascopio nella stima dell’area basimetrica ad ettaro (se non più accurato nelle stime fatte in pecceta avendo un RSME% inferiore rispetto al relascopio). La prima ipotesi definita negli “obbiettivi” (paragrafo 3.6) può essere confermata: MOTI fornisce stime sufficientemente accurate del parametro forestale.

Le misure scalari di accuratezza di MOTI sono in linea con i valori di RSME% di altre applicazioni come Relasphone e Trestima, ritenute in grado di fornire misure di area basimetrica con un’accuratezza simile a quella ottenuta con l’uso di strumenti che sfruttano la relascopia. In più, MOTI è risultato essere uno strumento “consistente” almeno quanto il relascopio, le differenze tra i due relascopi, nella ripetizione della misura, non sono significative. Con conoscenza di ciò, la seconda ipotesi può essere validata. Due rilevazioni successive di G/ha sullo stesso punto con MOTI non sono molto diverse.

Contrariamente dagli esiti di altri test che hanno esaminato l’applicazione nel 2015 e nel 2018, il tempo necessario per misurare l’area basimetrica con MOTI, è paragonabile al tempo impiegato dallo strumento più utilizzato dai professionisti per rilevare questo parametro, il relascopio di Bitterlich, confermando la terza ipotesi di questa tesi. In popolamenti a scarsa visibilità, le durate di rilievo con MOTI aumentano. Ad esempio, in pecceta, nei punti con molta vegetazione bassa (chiarie), il relascopio è risultato leggermente più veloce. Comunque, lo sviluppo di fotocamere e smartphone ad elevata risoluzione possono attenuare il problema e allo stesso tempo diminuire la distorsione e l’imprecisione nelle misure con MOTI, causate da un’immagine virtuale non completamente nitida che aumenta le difficoltà nel distinguere alberi sovrapposti o nascosti.

Pertanto l’applicazione MOTI può essere considerata efficiente almeno quanto il relascopio di Bitterlich, nella misurazione dell’area basimetrica di popolamenti con caratteristiche simili a quelli dello studio (fustaie non troppo dense sia di conifere sia di latifoglie). In termini economici, può essere un valido sostituto agli strumenti tradizionalmente utilizzati dai professionisti per stimare questo parametro. In più, grazie alla funzione zoom, MOTI riesce a ridurre la stanchezza visiva generata dall’esecuzione di più rilievi relascopici durante una giornata di lavoro. Tuttavia, la dipendenza da una fonte elettrica per poter eseguire il rilievo, può essere una carenza rispetto ad uno strumento analogico.

Lo sviluppo della tecnologia basata sul campionamento relascopico sembra sia in grado di raggiungere un livello di accuratezza nelle stime paragonabile a quello dei relascopi tradizionali, riducendo i costi. Attualmente MOTI viene utilizzato da alcuni professionisti del settore sia in contesti pubblici che privati. Prima di questo studio pochi lavori, in lingue diverse, hanno valutato l’applicazione. Gli esiti ottenuti in questo studio possono incoraggiare i professionisti forestali italiani all’utilizzo di MOTI per stimare l’area basimetrica di un popolamento.

8. BIBLIOGRAFIA

MOTI. DOCUMENTAZIONE ONLINE: <http://www.moti.ch/drupal/?q=it/node/56>, (visitato 08-2022)

- Les smartphones au service de la forêt, Silva Belgica, mai-juin 2016: 10-14.
- Rosset, C.; Brand, R.; Weber, D.; Wuillemin, E.; Gollut, C.; Caillard, I.; Fiedler, U. MOTI—ein Tool für die. Waldinventur im Taschenformat. Wald Holz 2015, 96, 45–48.
- Winkelzählproben leicht gemacht mit dem Smartphone, R. Brand, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 163 (2012) 7: 282.

Bitterlich W. MANUAL SPIEGEL-RELASKOP® Metric standard and metric CP.

Fricelj Blaž, 2018, Uporaba mobilne aplikacije MOTI za ocenjevanje sestojnih parametrov na zasebni gozdni posesti Lešje. The use of moti mobile application for evaluating stand parameters on the lešje private forest property. Bachelor's thesis, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources, Ljubljana, Slovenia (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=103579>, visitato il 26-10-2022.

Haara, A. & Korhonen, K.T. 2004. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus. Metsätieteen aikakauskirja, 4/2004: 489-508.

Haas S. 2012. Smartphones im Wald – Heitzelmännchen oder Zeitvergeudung? FVA-einblick 2/2012: 17-20. <https://www.waldwissen.net/de/lernen-und-vermitteln/smartphones-im-wald> (pagina web visionato 10-2022).

Koivuniemi, J., korhonen, K. (2006). Inventory by compartments. In A. Kangas & M. Maltamo (eds.) Forest inventory methodology and applications (pp. 271-278). Dordrecht, Netherlands: Springer.

Laasasenaho J. & Päivinen R. 1986. Kuvioittaisen arvioinnin tarkistamisesta. On the checking of inventory by compartments. Folia Forestalia, 664.

Latorre, E.G. Evaluation of a Mobilephone Application for Sample Plot Measurement in Russia. Master's Thesis, University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Department of Forest Sciences, Helsinki, Finland, 2015.

Molinier, M.; López-Sánchez, C.A.; Toivanen, T.; Korpela, I.; Corral-Rivas, J.J.; Tergujeff, R.; Häme, T. Relasphone—Mobile and Participative in Situ Forest Biomass Measurements Supporting Satellite Image Mapping. Remote Sens. 2016, 8, 869. <https://doi.org/10.3390/rs8100869>.

Molinier, M.; Toivanen, T.; Häme, T.; López-Sánchez, C.A.; Corral-Rivas, J.J.; Vega, D. Participative forest in situ measurements for biomass mapping in satellite images over Durango State, Mexico. In Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Milan, Italy, 26–31 July 2015.

dott. Novello M. Piano di Riassetto Forestale Cismon del Grappa, 2012-2023.

Rosset, C.; Brand, R.; Caillard, I.; Fiedler, U.; Gollut, C.; Schmocker, A.; Weber, D.; Wuillemin, E. MOTI-L'Inventaire Forestier Facilité par le Smartphone. Rapport Final. Projet no 2012.24; Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires: Zollikofen, Switzerland, 2014.

Saari, A. & Kangas, A. 2005. Kuvioittaisen arvioinnin harhan muodostuminen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2005: 5–18.

Turk Jurij, 2015. Analiza učinkovitosti aplikacij za pametne telefon pri merjenju sestojnih parametrov: diplomsko delo. Analysis of effectiveness of smartphone applications for measurement of stand parameters. Bachelor's thesis, University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and Renewable Forest Resources, Ljubljana, Slovenia (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=114934>, visitato il 26-10-2022.

Vastaranta, M., González Latorre, E., Luoma, V., Saarinen, N., Holopainen, M. & Hyypä, J. 2015. Evaluation of a Mobilephone App for Forest Sample Plot Measurements. *Forests* 2015, 6: 1179-1194. <https://www.mdpi.com/1999-4907/6/4/1179>.

Walther, B. A. and Moore, J. L. 2005. The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance - *Ecography* 28: 815-829.

IL RELASCOPIO A SPECCHIO DEL PROF. W. BITTERLICH, Modello "Scala metrica CP" - Descrizione e istruzioni per l'uso a cura del professore B. Hellrigl dell'Università di Padova.

9. ALLEGATI

Area di saggio n°	N alberi	G Bitterlich (m ² /ha)	G MOTI (m ² /ha)	T Bitterlich	T MOTI
1	41	82	70	7'56"	10'58"
2	35,5	71	60	9'45"	8'29"
3	16,5	33	32	8'36"	
4	19,5	39	34	7'57"	6'05"
5	21	42	40	8'15"	8'15"
6	26,5	53	51	10'53"	10'04"
7	21	42	36	6'38"	5'40"
8	7,5	15	12	4'06"	4'09"
9	20	40	31	7'00"	5'40"
10	28	56	52,5	9'18"	8'36"
11	21	42	37	6'21"	7'25"
12	22	44	40	8'01"	7'46"
13	24	48	44	7'38"	7'13"
14	28	56	45	9'08"	8'55"
15	22,5	45	50	9'22"	7'29"
16	25,5	51	52	7'07"	8'20"
17	22	44	44	7'29"	8'13"
18	13,5	27	28	8'05"	8'07"
19	26	52	58	6'50	6'32
20	25	50	48	6'56"	6'35"
21	24	48	46	7'02"	9'13"
22	26,5	53	52	6'35"	6'40"
23	15	30	36	6'03"	6'36"
24	25	50	52	5'31"	6'37"
25	20	40	32	5'35"	5'54"
26	15	30	30	8'02"	8'30"
27	19	38	36	4'08"	5'49"
28	18	36	40	6'07"	5'36"
29	12	24	24	5'11"	5'52"
30	17	34	34	4'41"	5'27"
31	15,5	31	28	5'30"	6'00"
32	17	34	30	5'33"	5'15"
33	9,5	19	20	4'57"	6'37"
34	11	22	26	5'15"	4'44"
35	13	26	24	3'45"	4'51"
36	18,5	37	36	05'08"	06'13"
37	11	22	24	06'03"	06'44"
38	15,5	31	29	04'38"	06'30"
39	16,5	33	36	05'04"	05'34"
40	16,5	33	28	06'06"	06'24"
41	15	30	28	06'55"	06'15"
42	17	34	32	07'51"	04'54"
43	16,5	33	33	05'44"	04'56"

44	10	20	22	06'58"	07'02"
45	13	26	25	07'08"	06'12"
46	17	34	30	07'18"	06'38"
47	16	32	28	05'32	06'46"
48	13,5	27	26	06'14"	05'55"
49	17,5	35	32	07'28"	05'20"
50	19	38	38	7'20"	05'56"

Tabella 18: Dati del primo blocco di misure relascopiche ottenuti dall'attività in campo. La linea in verde separa i rilievi eseguiti nel popolamento di abete rosso (da Area di saggio n°1 a 25) dai rilievi eseguiti nel popolamento a prevalenza di faggio (da Area di saggio n°26 a 50).

Area di saggio n°	N alberi	G Bitterlich (m ² /ha)	G MOTI (m ² /ha)	T Bitterlich	T MOTI
1	33,5	67	64	7'09"	8'19"
2	32,5	65	60	8'36"	6'45"
3	16,5	33	33		
4	16,5	33	36	7'55"	
5	20,5	41	40	7'38"	7'53"
6	27	54	50	10'03"	10'55"
7	17,5	35	40	7'30"	6'37"
8	7,5	15	14	4'01"	3'31"
9	18	36	29	6'29"	
10	31	62	54	9'35"	8'11"
11	18	36	36	5'21"	
12	22	44	43	10'05"	8'30"
13	24	48	46	6'19"	7'39"
14	25	50	54	7'30"	8'36"
15	24	48	52	7'38"	7'14"
16	26	52	50	5'17"	6'32"
17	22	44	46	6'17"	7'56"
18	14	28	26	6'13"	5'55"
19	30	60	60	5'53"	4'48"
20	25	50	50	6'02"	6'02"
21	23	46	45	7'46"	7'25"
22	25,5	51	47	5'38"	5'00"
23	17	34	32	7'04"	5'02"
24	26	52	54	5'40"	4'15"
25	21	42	40	6'20"	5'53"
26	14	28	29	6'09"	
27	18,5	37	38		6'11"
28	18	36	37	6'05"	7'07"
29	11	22	25	5'51"	6'29"
30	16	32	32	5'05"	5'38"
31	14	28	26	6'08"	5'24"
32	17	34	32	5'08"	4'22"
33	9,5	19	18	5'02"	4'46"
34	12,5	25	26	5'09"	4'49"
35	11,5	23	25		3'45"

36	20	40	38	06'24"	05'15"
37	13	26	22	06'59"	07'28"
38	15,5	31	31	06'09"	05'25"
39	16,5	33	31	05'39"	05'16"
40	15,5	31	26	06'50"	07'49"
41	14,5	29	29	05'18"	05'30"
42	15,5	31	34	06'13"	05'46"
43	16	32	30	04'32"	05'07"
44	12,5	25	24	05'58"	05'25"
45	12	24	26	05'21"	06'23"
46	17	34	32	04'57"	
47	13,5	27	29	04'38"	05'35"
48	14,5	29	25	05'31"	
49	15,5	31	34	04'34"	05'55"
50	21	42	36	05'41"	05'29"

Tabella 19: Dati del secondo blocco di misure relascopiche ottenuti dall'attività in campo. La linea in verde separa i rilievi eseguiti nel popolamento di abete rosso (da Area di saggio n°1 a 25) dai rilievi eseguiti nel popolamento a prevalenza di faggio (da Area di saggio n°26 a 50).

Area di Saggio n°	G Aree di Saggio (m ² /ha)
1	54,06
2	60,94
3	24,31
4	21,00
5	42,88
6	33,19
7	51,69
8	33,13
9	21,19
10	51,88
11	36,94
12	43,19
13	28,81
14	23,13
15	53,81
16	35,44
17	73,69
18	54,75
19	93,69
20	45,25
21	58,44
22	47,69
23	24,56
24	45,00
25	33,13

26	35,44
27	34,13
28	32,38
29	16,19
30	29,50
31	21,06
32	21,38
33	21,44
34	32,38
35	20,13
36	33,19
37	32,50
38	43,25
39	41,44
40	41,75
41	36,94
42	34,38
43	38,56
44	24,38
45	37,44
46	42,88
47	37,06
48	30,31
49	32,19
50	35,94

Tabella 20: Stime di area basimetrica all'ettaro calcolate dai rilievi per aree di saggio, nella pecceta (da Area di saggio n°1 a 25) e nella faggeta (da Area di saggio n°26 a 50).