



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento del Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di laurea magistrale in Scienze Forestali e
Ambientali

Potenzialità e limiti di dati LiDAR aerei a bassa
densità per i piani di assestamento forestale: il
caso del Consorzio Forestale Alta Val di Susa

Relatore

Prof. Mario Pividori

Correlatori

Prof. Ing. Enrico Corrado Borgogno Mondino

Dott.ssa Roberta Berretti

Dott. Alberto Dotta

Laureanda
Elisa Ilardi
Matricola n.
1132363

ANNO ACCADEMICO
2016/2017

Alla piccola e dolce Ginevra,

Da poco sei venuta alla luce

E già sei infinita fonte

Di gioia e felicità.

RIASSUNTO

La seguente tesi si pone come obiettivo la verifica delle potenzialità, dei limiti e della precisione dei dati LiDAR aerei a bassa densità, non espressamente realizzati per scopi forestali. Tali verifiche sono state effettuate sui dati LiDAR rilevati tramite ripresa area fotogrammetrica ICE (2009-2011), con densità dei punti di circa 0,5 al m².

Per verificare la precisione dei dati LiDAR sono state effettuate 30 aree di saggio nel settembre del 2016, come verità a terra, presso il comune di Graverè in provincia di Torino.

Poiché con tale studio si vuole verificare il potenziale utilizzo di tali dati LiDAR in ambito di pianificazione e gestione forestale, si è proceduto al calcolo di tutti i parametri necessari per la cubatura dei boschi, confrontando infine i valori ottenuti con i dati LiDAR e quelli ottenuti con i dati rilevati in campo.

Durante l'analisi sono stati riscontrati una serie di limiti del LiDAR, ovvero le altezze e le densità poco coincidevano con i valori rilevati in campo, presentando errori troppo elevati perché il dato LiDAR potesse essere usato direttamente. Sono state quindi effettuate una serie di approssimazioni per rendere il dato LiDAR più vicino al valore di campo.

Un'ulteriore difficoltà è stata riscontrata per quanto riguarda la suddivisione del territorio nei diversi tipi forestali, infatti alcune categorie riportate sulla Carta dei Tipi Forestali della Regione Piemonte, non coincidevano con quelle riscontrate in campo. Si è quindi affermato che la Carta dei Tipi Forestali non risulta aggiornata, poiché si basa su fotogrammetrie del 2009-2011.

Infine anche con il calcolo del volume è stato riscontrato un errore medio percentuale in valore assoluto di 61,4% rispetto al volume calcolato con i dati rilevati in campo, troppo elevato per essere accettabile. Anche in questo caso sono state usate delle approssimazioni per migliorare il dato volumetrico derivante dai dati LiDAR, riducendo l'errore medio percentuale in valore assoluto fino a 8,24% per le conifere e 25,57% per le latifoglie.

Questi risultati sono stati quindi considerati accettabili per effettuare una cubatura dei boschi compresi nel comune di Graverè e la mappa dei volumi ha riportato dei valori compresi maggiormente tra 200 e 600 m³.

In questo studio è stato confermato il contributo che i dati LiDAR possono fornire alla pianificazione forestale, proponendo soluzioni che, seppur non ancora ottimali, potranno essere applicate durante la redazione di Piani di Assestamento. Le elaborazioni condotte in ambiente GIS, che non hanno fatto ricorso quindi a software particolarmente specializzati, hanno consentito di estrarre informazioni e di ottenere cubature accettabili, attraverso i quali il tecnico pianificatore potrà impostare la realizzazione ex-novo o la revisione di piani di gestione forestali e pianificare gli interventi selvicolturali più opportuni.

ABSTRACT

The main objective of the following thesis is the verification of potentialities, limits and precision of LiDAR – low density aircraft data, that was not expressly made for forestry purposes. These checks are based on LiDAR data and recorded by an ICE photogrammetric area recovery (2009-2011), with densities of approximately 0.5 to m2.

To try out the precision of LiDAR data, 30 test areas were performed on the ground in September 2016, in the city of Graverè, Turin's province.

Since this study aims to verify the potential use of these LiDAR data in forestry planning and management, all the parameters required for woodland cracking were computed and eventually compared with those obtained with LiDAR data and those obtained with the data recorded on field.

During the analysis, a number of LiDAR limits were found, i.e. the heights and densities did not really coincide with the values found in the field, they showed errors too high for the LiDAR data to be used directly. Later on a number of approximations were carried out to make LiDAR data more similar to the field ones.

A further difficulty was identified about the division of land into different forest types, in fact some categories reported on the Piedmont Region Forestry Chart did not coincide with those found in the field. Therefore it was asserted that the Forestry Charter is not updated, as it is based on 2009-2011 photogrammetries.

Finally, even with the calculation of the volume, a percentage of error was found in the absolute value of 61.4% compared to the volume calculated with field data, too high to be acceptable. Once again approximations were used to improve the volumetric data from LiDAR data, thus reducing the average percentage error to 8.24% for conifers and 25.57% for deciduous.

These results have therefore been considered acceptable to compute a volume of the woods included in the commune of Graverè and the volume map has reported values between 200 and 600 m3.

This study has confirmed the contribution that LiDAR data can provide to forestry planning, proposing solutions that, although not yet optimal, can be applied during the drafting of Settlement Plans. Calculations conducted in a GIS environment, those which did not resort to a specialized software, therefore have made it possible to extract information and to obtain acceptable cubes through which the planner technician will be able to set up a new or revised forest management plan and plan the most appropriate forestry interventions.

SOMMARIO

<u>1. Introduzione</u>	9
<u>A. Obiettivi</u>	9
<u>B. Stato dell'arte</u>	10
B1. <i>Metodi di cubatura in campo</i>	10
B1.1 <i>Cubatura con tavole stereometriche a doppia entrata</i>	10
B1.2 <i>Cubatura con tavole stereometriche ad una entrata</i>	13
B1.3 <i>Cubatura con metodo alberi modello</i>	14
B1.4 <i>Cubatura con metodo Aree di Saggio (AdS)</i>	15
B2. <i>Metodi di cubatura utilizzando le nuove tecnologie</i>	16
B2.1 <i>Telerilevamento</i>	16
B2.1.1 <i>LiDAR</i>	18
<u>2. Materiali e metodi</u>	23
<u>A. Area di studio</u>	23
<u>B. Rilievi in campo</u>	24
B1. <i>Strumenti utilizzati in campo</i>	25
B2. <i>Analisi della distribuzione delle aree di saggio</i>	27
B3. <i>Analisi della distribuzione dei diametri e delle altezze</i>	32
<u>C. Rilevamenti LiDAR</u>	37
C1. <i>Sistema informativo GIS</i>	39
C2. <i>Carta Forestale della Regione Piemonte</i>	40
<u>D. Metodologia di rilevamento e analisi dei dati</u>	41
<u>3. Risultati e Discussione</u>	47
<u>4. Conclusione</u>	71
<u>5. Ringraziamenti</u>	73
<u>6. Allegati</u>	75
<u>Allegato 1</u>	75
<u>Allegato 2</u>	77
<u>Allegato 3</u>	79
<u>7. Bibliografia e Sitografia</u>	83

1. INTRODUZIONE

A. Obiettivi

Gli studi realizzati con finalità di ricerca forestale hanno ultimamente fatto uso di riprese LiDAR dedicate e con requisiti tecnici ottimali (elevate risoluzioni, aree di calibrazione al suolo ampie e ben georeferenziate), aventi costi notevoli e spesso non compatibili con le risorse ordinariamente a disposizione della pianificazione e gestione forestale.

La seguente tesi si è posta pertanto l'obiettivo di illustrare le modalità e gli esiti di una sperimentazione avente lo scopo di verificare le potenzialità, i limiti e la precisione dei dati LiDAR aerei a bassa densità, non espressamente realizzati per scopi forestali e risalenti al 2009/2011. Tali verifiche sono state perseguite utilizzando i dati LiDAR citati in precedenza, per cubare i boschi siti nel comune di Graverè in provincia di Torino, gestiti dal Consorzio Forestale Alta Val di Susa.

La scelta del sito di studi è ricaduta sul comune di Graverè in quanto è un comprensorio che presenta al suo interno, boschi di conifere puri, boschi di latifoglie puri e boschi misti di conifere e latifoglie. In questo modo è stato anche possibile verificare per quali raggruppamenti di categorie forestali i dati LiDAR risultino maggiormente efficaci.

Il comune di Graverè si colloca in Alta Val di Susa, una valle alpina situata nella parte occidentale del Piemonte, ad ovest di Torino, confinante con la Francia. Le superfici forestali dominano il paesaggio vallivo (il 40 % delle coperture del suolo), seguite dalle praterie e altre aree pastorali, dalle rocce e macereti.

L'area è caratterizzata da vegetazione tipica delle Alpi Marittime, Alpi Cozie e Alpi Centrali. Nella porzione più bassa prevale il castagno puro o misto ad altre latifoglie, mentre salendo di quota s'incontra il faggio ceduo. Nei versanti esposti a Sud si ritrova la roverella e il pino silvestre. All'interno della Valle prevale il larice insieme al pino cembro, che lo sostituisce alle alte quote.

I versanti hanno forme prevalentemente arrotondate, dovute alla litologia dominante formata dai calcescisti, con morfologie più aspre soltanto nella parte alta dei versanti, al di sopra delle praterie alpine, o in alcuni casi per la presenza di pareti calcaree notevoli.

È rilevante la particolare connotazione climatica di questa valle trasversale endo-alpina, che risulta chiusa alla penetrazione di correnti umide atlantiche; queste vi giungono sul suo territorio impoverite di umidità, avendo scaricato le precipitazioni sul versante francese. Anche durante il periodo invernale le masse d'aria ormai asciutte si riscaldano per compressione nella loro discesa lungo le pendici italiane, causando la formazione di un vento caldo e secco, il "Föhn". Tale caratteristica, che determina basse precipitazioni medie, può portare a situazioni di stress idrico, anche per i boschi, e di pericolo di incendi, soprattutto nelle porzioni di bassa valle.

B. Stato dell'arte

B1. Metodi di cubatura in campo

Esistono differenti metodi per la cubatura dei boschi che si differenziano per ogni specie e tipologia, tali procedimenti si basano su rilievi effettuati in campo.

Il metodo di cubatura viene scelto in base:

- Finalità della stima;
- Estensione ed omogeneità del popolamento;
- Costi della stima commisurati con l'entità economica del bene stimato.

Si procede elencando e descrivendo i diversi metodi di cubatura più usati per i rilievi in campo:

1. Metodo con tavole stereometriche a una e a doppia entrata;
2. Metodo degli alberi modello;
3. Metodo delle aree di saggio.

B1.1 Cubatura con tavole stereometriche a doppia entrata

Sequenza delle operazioni da compiere:

In bosco:

- Cavallettamento totale (o con aree di saggio);
- Misura delle altezze per costruzione della curva ipsometrica.

In ufficio:

- Tabulazione dei dati e raggruppamento per specie e per classi diametriche (Fig.1);

Foresta di Lioni (AV): risultati del raggruppamento delle piante cavallettate su 4,6 ha per specie e per classi di diametro (5 cm)														
Diam.1.30 m cm	Faggio		Querce		Castagno		Carp. n.		Acerò d'U.		Acerò di L.		Tiglio plat.	
	n.	n./ha	n.	n./ha	n.	n./ha	n.	n./ha	n.	n./ha	n.	n./ha	n.	n./ha
20	47	10.2	34	7.4	11	2.4	31	6.7	21	4.6	2	0.43		
25	21	4.6	23	5.0	6	1.3	1	0.2	3	0.7				
30	22	4.8	9	2.0	5	1.1			1	0.2	1	0.22	3	0.65
35	25	5.4		0.0	4	0.9								
40	43	9.3	2	0.4	1	0.2								
45	80	17.4	1	0.2										
50	140	30.4	1	0.2										
55	119	25.9	1	0.2										
60	102	22.2												
65	67	14.6												
70	40	8.7												
75	18	3.9												
80	9	2.0												
85	7	1.5												
90	2	0.4												
Totali	742	161	71	15	27	6	32	7	25	5	3	1	3	1
<i>prof. Antonio Saracino</i>											<i>Lezioni di Dendrometria</i>			4

Figura 1. Tabulazione dei dati e raggruppamento per specie e per classi diametriche (da: Professore Antonio Saracino).

- I poligoni di frequenza e la curva ipsometrica permettono di desumere il numero delle piante per classe diametrica e l'altezza compensata per ogni valore centrale di classe diametrica;
- Una volta costruita la curva ipsometrica (Fig.2) sarà possibile calcolare l'altezza media dendrometrica del popolamento. L'altezza media dendrometrica è l'altezza della pianta di area basimetrica media (a cui corrisponde un diametro) letta sulla curva ipsometrica.

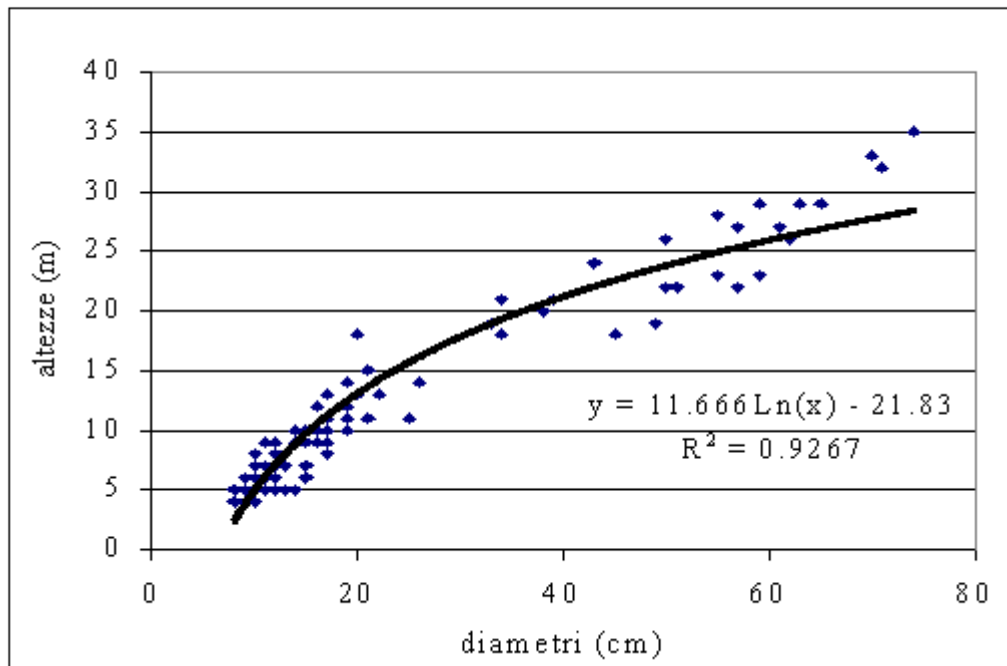


Figura 2. Curva ipsometrica (da: Professore Antonio Saracino).

- Dalla tavola di cubatura a doppia entrata (Fig.3) per ciascuna classe di diametro e di altezza ipsometrica del popolamento, si deduce il volume unitario che, moltiplicato per la frequenza delle piante cavallettate, permette di ricavare il volume di ogni classe diametrica;
- Infine somma dei volumi di ciascuna classe diametrica.

Diam. a m. 1,30	CLASSI DI ALTEZZA											
	13-14	15-16	17-18	19-20	21-22	23-24	25-26	27-28	29-30	31-32	33-34	35-36
	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.	mc.
41	0.908	1.035	1.163	1.290	1.417	1.545	1.672	1.780	1.927	2.055	2.182	2.309
42	0.951	1.084	1.218	1.351	1.484	1.618	1.751	1.885	2.018	2.151	2.285	2.418
43	0.994	1.134	1.274	1.413	1.553	1.692	1.832	1.971	2.111	2.250	2.390	2.530
44	1.039	1.185	1.331	1.477	1.622	1.768	1.914	2.060	2.206	2.352	2.497	2.643
45	1.085	1.237	1.389	1.542	1.694	1.846	1.998	2.151	2.303	2.455	2.607	2.759
46	1.131	1.290	1.449	1.608	1.767	1.925	2.084	2.243	2.402	2.561	2.719	2.878
47	1.179	1.344	1.510	1.675	1.841	2.006	2.172	2.337	2.503	2.668	2.834	2.999
48	1.227	1.400	1.572	1.744	1.917	2.089	2.261	2.434	2.606	2.778	2.950	3.123
49	1.277	1.456	1.636	1.815	1.994	2.173	2.352	2.532	2.711	2.890	3.069	3.249
50	1.327	1.514	1.700	1.887	2.073	2.259	2.445	2.632	2.818	3.004	3.191	3.377
51	1.379	1.572	1.766	1.960	2.153	2.347	2.540	2.734	2.927	3.121	3.314	3.508
52	1.431	1.632	1.833	2.034	2.235	2.436	2.637	2.838	3.038	3.239	3.440	3.641
53	1.485	1.693	1.901	2.110	2.318	2.527	2.735	2.943	3.152	3.360	3.568	3.777
54	1.539	1.755	1.971	2.187	2.403	2.619	2.835	3.051	3.267	3.483	3.699	3.915
55	1.594	1.818	2.042	2.265	2.489	2.713	2.937	3.160	3.384	3.608	3.832	4.056
56	1.650	1.882	2.114	2.345	2.577	2.809	3.040	3.272	3.504	3.735	3.967	4.199
57	1.708	1.947	2.187	2.427	2.666	2.906	3.146	3.385	3.625	3.865	4.104	4.344
58	1.766	2.014	2.261	2.509	2.757	3.005	3.253	3.501	3.748	3.996	4.244	4.492
59	1.825	2.081	2.337	2.593	2.849	3.105	3.362	3.618	3.874	4.130	4.386	4.642
60	1.885	2.149	2.414	2.679	2.943	3.208	3.472	3.737	4.001	4.266	4.530	4.795
61		2.219	2.492	2.765	3.038	3.312	3.585	3.858	4.131	4.404	4.677	4.950
62		2.289	2.571	2.853	3.135	3.417	3.699	3.981	4.262	4.544	4.826	5.108
63		2.361	2.652	2.943	3.233	3.524	3.815	4.105	4.396	4.687	4.977	5.268
64		2.434	2.734	3.034	3.333	3.633	3.932	4.232	4.532	4.831	5.131	5.431
65		2.508	2.817	3.126	3.434	3.743	4.052	4.361	4.669	4.978	5.287	5.596
66		2.583	2.901	3.219	3.537	3.855	4.173	4.491	4.809	5.127	5.445	5.763
67		2.660	2.987	3.314	3.641	3.969	4.296	4.623	4.951	5.278	5.605	5.933
68		2.737	3.074	3.410	3.747	4.084	4.421	4.758	5.095	5.431	5.768	6.105
69		2.815	3.162	3.508	3.854	4.201	4.547	4.894	5.240	5.587	5.933	6.280
70		2.895	3.251	3.607	3.963	4.320	4.676	5.032	5.388	5.745	6.101	6.457
71		2.975	3.341	3.707	4.073	4.440	4.806	5.172	5.538	5.904	6.270	6.637
72		3.057	3.433	3.809	4.185	4.561	4.938	5.314	5.690	6.066	6.442	6.819
73		3.139	3.526	3.912	4.298	4.685	5.071	5.458	5.844	6.230	6.617	7.003
74		3.223	3.620	4.016	4.413	4.810	5.207	5.603	6.000	6.397	6.793	7.190
75		3.308	3.715	4.122	4.529	4.937	5.344	5.751	6.158	6.565	6.972	7.380
76		3.394	3.812	4.629	4.647	5.065	5.483	5.900	6.318	6.736	7.154	7.571

Figura 3. Tavola stereometrica a doppia entrata (da: Professore Camillo Castellani).

B1.2 Cubatura con tavole stereometriche ad una entrata

Sequenza delle operazioni da compiere:

In bosco:

- Cavallettamento totale (o in aree di saggio);
- Per l'applicazione del metodo occorre solo il diametro.

In ufficio:

- Tabulazione dei dati e raggruppamento per specie e per classi diametriche;
- Si entra nella tavola a una entrata con solo il diametro e si ricava l'altezza e il volume (Fig.4).

Diam. a m. 1,30	Volume dendrometrico	Volume cormometrico	Età	Altezza
cm.	mc.	mc.	anni	m.
10	0,045	0,030	22	6
11	0,065	0,046		
12	0,085	0,062		
13	0,105	0,078	26	9,10
14	0,125	0,096		
15	0,150	0,113	28	11
16	0,180	0,149		
17	0,215	0,185		
18	0,250	0,221		
19	0,285	0,257		
20	0,320	0,294	37	15,50
21	0,360	0,335		
22	0,410	0,376		
23	0,460	0,417		
24	0,510	0,458		
25	0,565	0,499	47	19,50
26	0,630	0,567		
27	0,695	0,635		
28	0,760	0,703		
29	0,825	0,771		
30	0,895	0,841	55	22,40
31	0,970	0,911		
32	1,045	0,982		
33	1,125	1,053		
34	1,205	1,124		
35	1,285	1,195	61	24,50
36	1,375	1,280		
37	1,465	1,365		
38	1,555	1,451		
39	1,650	1,537		
40	1,745	1,623	69	26,30
41	1,845	1,718		
42	1,950	1,814		
43	2,060	1,910		
44	2,170	2,006		

Figura 4. Tavola stereometrica a una entrata (da: Professore Camillo Castellani).

B1.3 Cubatura con metodo alberi modello

La sequenza delle operazioni da compiere:

- Si procede con il campionamento rappresentativo che riduce la numerosità del campione e concentra l'attenzione sul "soggetto medio" e sulla frazione della popolazione che lo contiene;
- Si applica la formula $V = G \cdot hm \cdot fm$;
Dove hm e fm sono rispettivamente l'altezza media dendrometrica e il fattore di riduzione di forma.

B1.4 Cubatura con metodo Aree di Saggio (AdS)

Sequenza delle operazioni da compiere:

- Le aree devono essere di superficie sufficiente a descrivere la ripartizione in classi di diametro del popolamento;
- Occorre percorrere tutta la particella, osservare come varia la densità, la struttura, la fertilità e la composizione specifica del soprassuolo;
- Dopo questa operazione posizionare l'area di saggio in un tratto di soprassuolo rappresentativo delle condizioni medie;
- Nell'area di saggio (Fig. 5) si effettuano misurazioni dendrometriche (cavallettamento, rilievo delle altezze) e cubatura con tavole stereometriche o alberi modello.

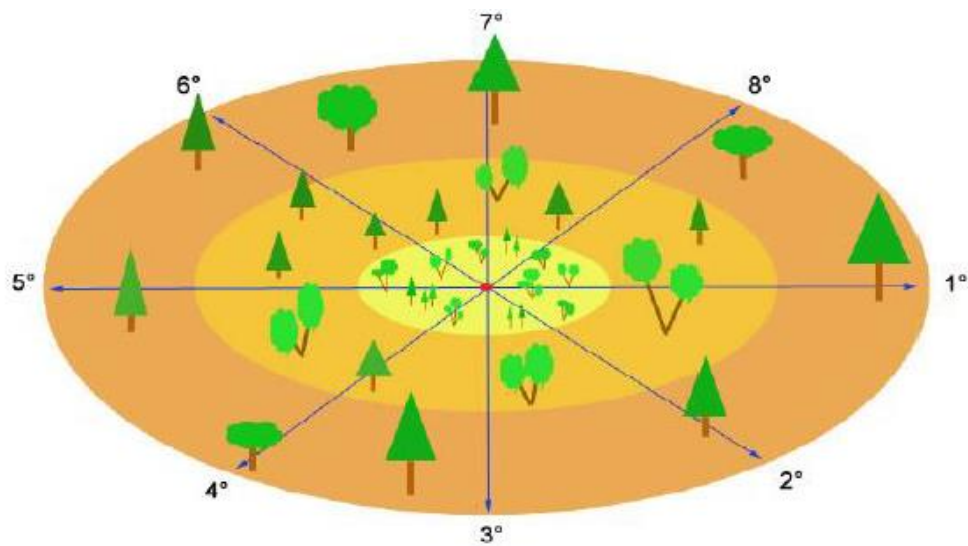


Figura 5. Area di saggio (da: Professore Antonio Saracino).

B2. Metodi di cubatura utilizzando le nuove tecnologie

Per l'acquisizione di dati sulla variabilità delle caratteristiche strutturali e dendrometriche in un comprensorio forestale, si sono convenzionalmente sempre impiegati rilievi a terra, eseguiti con aree di saggio di campionamento. La capacità di tali misurazioni di caratterizzare le variabili a livello di comprensorio forestale è limitata dai finanziamenti a disposizione per stabilire un numero sufficiente di aree di saggio di campionamento che catturino la variabilità esistente all'interno del popolamento forestale.

Le nuove tecnologie possono integrare le tecniche esistenti, offrendo una caratterizzazione spaziale più efficiente delle strutture forestali indagate. Inoltre consentono una notevole ripetibilità delle misure, azioni e processi di gestione e di raccolta dati (Dyck 2003).

Con tali tecniche è possibile misurare le altezze degli alberi e poi derivare il diametro, i quali sono utilizzati come input per la stima del volume e / o della biomassa (Jean-Romain Roussel et al 2017). Anche se il calcolo dei diametri e dei volumi possono avere una notevole incertezza per i singoli alberi, i risultati della densità e del diametro medio degli alberi o il volume totale possono avere una precisione accettabile.

Nonostante la cultura e le tecnologie avanzino, ci sono attualmente alcune difficoltà nell'introduzione di tali tecniche nella pianificazione forestale. In pochi casi le applicazioni forestali hanno impiegato metodi delle nuove tecnologie (Schmoldt DL e Thomson AJ 2003). Nella maggior parte dei casi, una volta sviluppate e rese disponibili, esse trovano applicazione pronta alla ricerca, alla gestione ambientale e ai sistemi ecologici. Questo implica che molte applicazioni in selvicoltura siano ancora nella fase iniziale di attuazione. Inoltre, spesso, l'uso del tecnologico nel settore forestale contrasta con la sua lenta adozione da parte dell'utente finale, che spesso è scarsamente formato e informato su come il potenziale tecnologico può migliorare e ottimizzare il loro lavoro.

Di seguito sono elencate e descritte le nuove tecnologie maggiormente utilizzate ed emergenti.

B2.1 Telerilevamento

Con il termine telerilevamento (Remote sensig in inglese) si definisce la disciplina tecnico-scientifica con finalità diagnostico-investigative che permette di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, sull'ambiente e su oggetti posti a distanza, da un sensore che interagisce con le superfici fisiche di interesse. Sono quindi inclusi il sistema di trasporto, il sistema di rilievo e registrazione, il prodotto (l'immagine digitale) ed i sistemi di analisi (hardware, metodi ed algoritmi, software e sistemi informativi). Queste misure vengono codificate in modo numerico e legate ad una posizione nel territorio codificata da convenzioni (sistemi di riferimento cartografico/geografico).

Il telerilevamento quindi comprende al suo interno differenti metodi di rilevamento remoto che si identificano in base:

- Al sensore utilizzato: ovvero un trasduttore in grado di ricevere e rispondere ad un segnale o ad una stimolazione con un segnale elettrico;
- Alla piattaforma sfruttata.

Esistono differenti tipologie di sensori:

- LiDAR: risoluzione geometrica ovvero restituisce dimensioni dell'area elementare al suolo di cui si rileva l'energia elettromagnetica (pixel);
- Multispettrale: risoluzione spettrale ovvero restituisce il numero di bande di acquisizione e la loro ampiezza;
- Termografico: risoluzione termica ovvero a partire dalla radiazione rilevata si ottengono delle mappe di temperatura delle superfici esposte;
- Fotogrammetrico: risoluzione sia tematica sia geometrica che restituiscono rispettivamente ortofoto o nuvole di punti.

Per quanto riguarda le piattaforme invece esistono:

- Droni: i cosiddetti veicoli aerei senza pilota (UAV, Unmanned Aerial Vehicles), sono velivoli caratterizzati dall'assenza del pilota umano a bordo. Il loro volo è controllato dal computer a bordo del velivolo, sotto il controllo remoto di un navigatore o pilota, sul terreno o in un altro veicolo;
- Velivoli: aerei, elicotteri, mongolfiere, palloni areostatici;
- Satelliti;
- Veicoli a motore: macchine, furgoncini, camion, veicoli pubblici.

Lo studio di un fenomeno o di una superficie effettuato con tecniche di telerilevamento prevede tre fasi distinte:

- Acquisizione dei dati mediante ripresa da terra, aereo, droni di tipo UAV o satellite con strumenti opportuni;
- Elaborazione dei dati (direttamente su satellite o a terra dopo invio) con creazione di immagini digitali;
- Interpretazione e uso dei dati nell'analisi desiderata.

I dati aerei e satellitari forniscono quindi un metodo unico per mappare le caratteristiche forestali su spazi estesi. Per questa ragione, il telerilevamento è da tempo ampiamente utilizzato per molte applicazioni forestali tra cui l'inventario delle foreste (Corona et al. 2012), le valutazioni della biodiversità e il monitoraggio (Trumbore et al. 2015), nonché nel sostenere il processo decisionale per la gestione forestale sostenibile (Franklin 2001).

Il Remote sensing rappresenta dunque una vera e propria rivoluzione nell'ambito del monitoraggio ambientale, di fatto una realtà già affermata da tempo e con sempre maggiori applicazioni e diffusione.

B2.1.1 LiDAR

La scansione aerea con strumentazione laser (LiDAR - Light detection and ranging) è una tecnica di telerilevamento attivo ad alta risoluzione che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser; la distanza dell'oggetto è determinata misurando il tempo trascorso fra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale retrodiffuso.

Tale tecnica rappresenta un nuovo ed efficiente metodo per il rilievo a distanza di porzioni di territorio e la modellazione di oggetti aventi qualsiasi forma e dimensione.

Il sistema a scansione aerea con strumentazione laser è costituito dai seguenti strumenti:

- Un distanziometro (o telemetro) laser, composto di un emettitore di impulsi luminosi e di un ricevitore che registra i segnali di risposta degli oggetti colpiti;
- Un ricevitore GPS (global positioning system) cinematico, che permette di determinare le coordinate del trasmettitore durante la fase di volo;
- Un ricevitore GPS master fisso a terra su un punto di coordinate note, utile per il posizionamento relativo (correzione differenziale); (Gomasca, 2004; Barilotti, 2009; Barilotti, 2010).

Il telemetro misura la distanza tra il punto di trasmissione (A) e il punto intercettato dal laser (B) basandosi sul tempo di volo (TOF – Time Of Flight), ovvero il tempo intercorso tra l'emissione e la ricezione del ritorno (Pirotti, 2009) (Fig. 6).

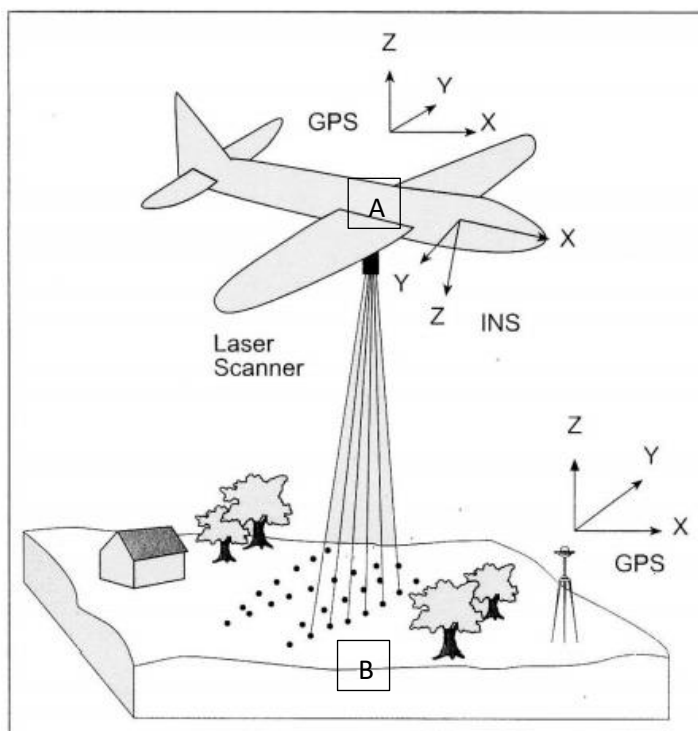


Figura 6. Rappresentazione schematica del sistema di posizionamento e orientamento del sensore laser (da: Gomasca, 2004).

Il laser scanner non produce immagini ma misure di tipo puntuale che permettono di caratterizzare la posizione, la forma e l'altezza di oggetti reali di diverso tipo. Il prodotto principale di una ripresa LiDAR, quindi, è il profilo tridimensionale delle superfici colpite (Barilotti, 2010; Floris e Clementel, 2011).

In corrispondenza di un territorio boscato, una parte degli impulsi emessi dal laser è riflessa direttamente dalle chiome degli alberi mentre una percentuale di essi (dipendente dalla specie, dalla struttura e dalla densità del popolamento) filtra verticalmente attraverso la copertura e raggiunge il suolo prima di ritornare al ricevitore (Turco et al. 2005). Il risultato della scansione è costituito da una "nube georeferenziata di punti" che nel caso di elevata densità di campionamento consente di ottenere una copertura pressoché omogenea dell'area rilevata (Barilotti et al. 2006).

Quando un raggio laser incontra un ostacolo, come la chioma di un albero, una parte del segnale viene riflessa dall'ostacolo mentre l'altra parte rimanente (non intercettata) prosegue il suo tragitto fino all'ostacolo successivo.

Le riflessioni multiple di uno stesso raggio arrivano al ricevitore in tempi differenti e possono essere quindi discriminate. Si hanno così un primo eco (first pulse) e un certo numero di echi successivi, fino all'ultimo (last pulse) (Lo Brutto 2005) (Fig. 7).

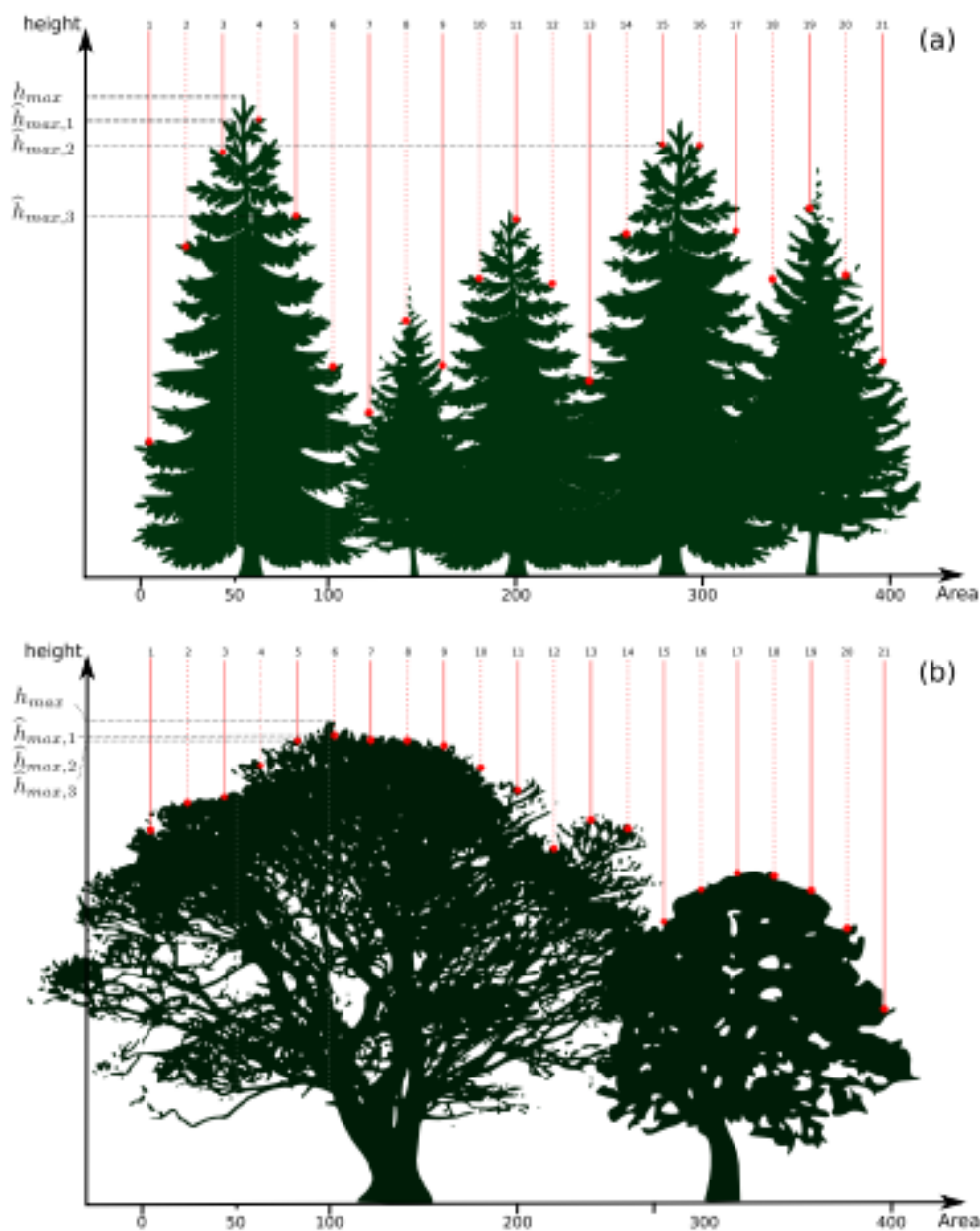


Figura 7. Le differenti altezze in base ai vari impulsi laser (da: Jean-Romain Roussel et al 2017).

Tale tecnica risulta particolarmente promettente per la determinazione di alcuni parametri di natura forestale, poiché consente di realizzare, grazie al campionamento di un elevato numero di punti, la rappresentazione tridimensionale del bosco (Abramo et al. 2007).

Per questo la tecnologia Laser Scanning ha registrato negli ultimi anni un'elevata potenzialità nella descrizione quali-quantitativa dei popolamenti forestali. I principali obiettivi degli studi basati su tecniche LiDAR relativi alla pianificazione forestale e alle applicazioni inventariali riguardano in particolare:

- La stima quantitativa di volumi e biomasse arboree e la loro spazializzazione;
- La caratterizzazione morfologico-strutturale dei soprassuoli forestali.

Attualmente, la metodologia più comunemente utilizzata nella maggior parte degli inventari forestali, si basa sul campionamento e su tecniche di stima statistica dei parametri di interesse. Le attività di rilievo in campo necessitano di una grande quantità di lavoro che spesso può richiedere molto tempo e costi elevati (Gingo Alves, 2010). La tecnologia LiDAR ha dimostrato di essere di grande aiuto nella stima delle variabili forestali, soprattutto in aree di grandi dimensioni e in particolare nelle zone di difficile accesso. Tuttavia, l'uso di dati derivanti da scansione laser nella maggior parte dei casi non sostituisce completamente le attività in campo, dal momento che i dati elaborati per le stime sono comunque basati su dati rilevati e calibrazioni in campo nelle diverse aree oggetto di studio.

Il Laser Scanning per usi forestali presenta quindi una serie di indubbi vantaggi, oggetto negli ultimi anni di numerosi studi, ma anche alcuni limiti di uso che risiedono in particolare nella scarsa economicità in caso di missioni di volo su scenari di estensione contenuta. Attualmente nel settore forestale si ovvia a tale limite utilizzando il più possibile dati LiDAR rilevati per altri scopi (urbanistici, idro-geologici, di protezione civile ecc...), tollerando dei ragionevoli compromessi tra costi e requisiti qualitativi (risoluzione, accuratezza, epoca di rilievo) (Bertoldi et al. 2012).

2. MATERIALI E METODI

La ricerca è stata approntata basandosi in parte su dati informatici rilevati da un volo LiDAR e in parte su dati rilevati appositamente a terra. Questo capitolo riporta una sintetica descrizione dell'area di studio e la metodologia di lavoro adottata durante le fasi di rilevamento dei dati e le seguenti fasi di elaborazione.

A. Area di studio

Lo scenario di studio consiste in alcuni popolamenti forestali collocati presso il Comune di Gravere in Provincia di Torino (Fig. 8), situato in Alta Val di Susa e appartenente alla Comunità Montana Val di Susa e Val Sangone.

Nelle vicinanze del comune sono presenti il Parco Naturale Orsiera- Rocciavrè e il Parco Naturale del Gran Bosco di Salbertrand, lo circonda una corona montuosa su cui spiccano vette importanti come il Rocciamelone.

Il comune di Gravere si estende per una superficie di 18,9 Km² con un'altitudine variabile da 600 m slm a 2.691 m slm, è esposto maggiormente verso Nord e presenta una pendenza media di 20°- 40 °, presenta una superficie forestale di 1.244,32 ha.

I Tipi Forestali che caratterizzano i boschi del comune sono il larice-cembreto in alta quota e il castagneto a quote inferiori.



Figura 8. Ortofoto per l'inquadramento geografico di Gravere, scala 1:100.000, coordinate: 45.125638, 7.017691.

B. Rilievi in campo

Nel periodo di fine settembre e inizio ottobre 2016, sono state realizzate 30 aree di saggio, di forma circolare, con raggio 15 m e superficie di 707 m², nelle aree montuose sopra Graverè, per le quali era disponibile la copertura LiDAR (Fig. 9). La scelta di queste aree non è stata del tutto casuale, ma effettuata cercando di avere un panorama rappresentativo in termini di struttura, grado di copertura e composizione specifica.

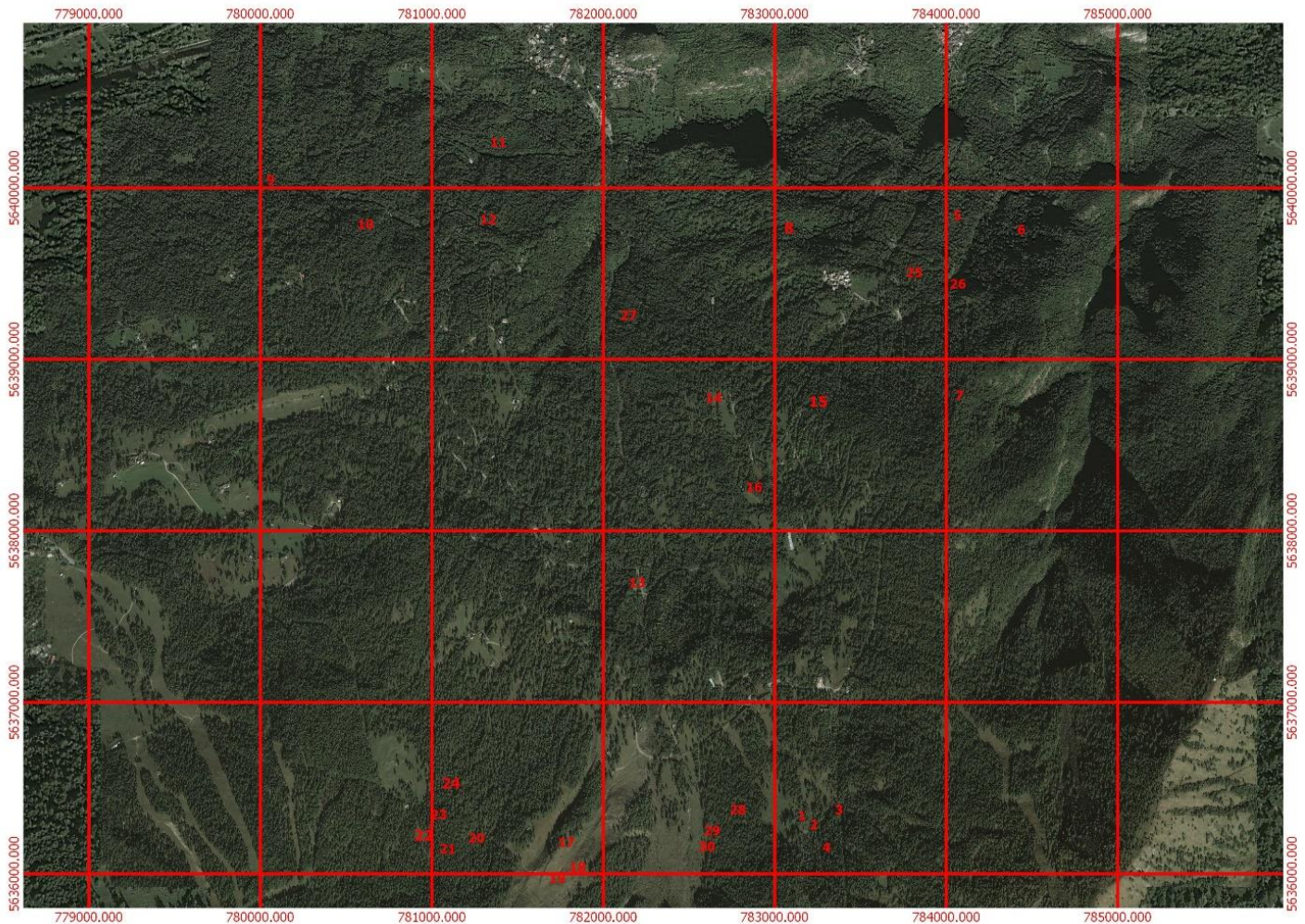


Figura 9. Ortofoto con rappresentazione delle 30 aree di saggio.

B1. Strumenti utilizzati in campo

Per ogni area di saggio si sono misurati i diametri e le altezze di tutte le piante contenute nell'area e sono stati utilizzati i seguenti strumenti per i rilievi:

- Ipsometro Elettronico Vertex IV BT (Fig. 10):
L'ipsometro Elettronico Vertex IV BT a ultrasuoni, è composto da uno strumento misuratore che esegue i rilievi e da un "transponder" che va fissato o posto vicino all'albero da misurare. Si utilizza per determinare distanze (si delimitano rapidamente le aree di saggio), altezze, angoli verticali e pendenze. L'articolo "Direct Measurement of Tree Height Provides Different Results on the Assessment of LiDAR Accuracy" pubblicato su "forests", dichiara che l'errore di campionatura delle altezze con tale strumento in campo è di 1.08 metri.



Figura 10. Scheda tecnica dell'ipsometro elettronico Vertex IV BT
(da: <https://www.tecnomarket.it/tecnis/usati/i/ipsometro-vertex.htm>)

- Cavalletto dendrometrico (Fig. 11):
Il cavalletto dendrometrico è utilizzato per misurare il diametro dei fusti di alberi in piedi, di pali e di legname tagliato e può essere di varia misura. L'errore possibile dipende dalla forma del fusto e dall'altezza di rilievo.



Figura 11. Cavallo dendrometrico
(da: https://www.drawingcad.it/contents/it/d8038_Cavalletti_dendrometrici.html).

- GPS juno della trimbold (Fig. 12):
Il GPS è uno strumento molto utile che riceve segnali satellitari e calcola la sua esatta posizione, restituendo la latitudine e la longitudine.
Applicando una correzione differenziale (DGPS), l'errore è di circa 5 metri.



Figura 12. GPS mobile (da: <https://www.neigps.com/wp-content/uploads/2013/03/Juno-3.jpg>).

- In ambiente informatico è stato adottato il programma “Microsoft Office Excel® 2007” della famiglia Microsoft Office. Questo è stato usato come ambiente di archiviazione dei dati rilevati nelle aree di saggio al suolo e di elaborazione numerica e statistica trasversale alle analisi eseguite nello studio.
- È stato infine utilizzato il libro “Metodologia e guida per l'identificazione dei Tipi Forestali del Piemonte” 2° edizione, per l'identificazione dei diversi Tipi Forestali presenti nei boschi analizzati.

B2. Analisi della distribuzione delle aree di saggio

Di seguito si è eseguita un'analisi per verificare la distribuzione delle aree di saggio in termini di pendenza, altimetria, esposizione e Tipi Forestali (Tab. 1).

Plot	Pendenza (°)	Esposizione (°)	Altimetria (m)	Tipo forestale
1	29	318	1783	Larice cembra
2	26	319	1811	Larice cembra
3	30	325	1823	Larice cembra
4	13	331	1847	Larice cembra
5	34	29	942	Acero tiglio frassineto
6	36	45	991	Castagneto
7	34	51	1306	Acero tiglio frassineto
8	42	353	1114	Acero tiglio frassineto
9	25	32	1021	Castagneto
10	26	33	1101	Acero tiglio frassineto
11	23	4	926	Acero tiglio frassineto
12	27	21	1076	Acero tiglio frassineto
13	19	20	1418	Acero tiglio frassineto
14	17	324	1313	Acero tiglio frassineto
15	29	33	1441	Acero tiglio frassineto
16	25	302	1414	Faggeta
17	18	314	1712	Larice cembra
18	33	38	1727	Larice cembra
19	27	336	1776	Larice cembra
20	34	42	1802	Larice cembra
21	27	26	1847	Larice cembra
22	19	3	1811	Larice cembra
23	16	33	1804	Larice cembra
24	45	75	1765	Larice cembra
25	48	30	1142	Acero tiglio frassineto
26	27	345	1179	Acero tiglio frassineto
27	18	332	1160	Acero tiglio frassineto
28	30	333	1723	Larice cembra
29	38	298	1691	Larice cembra
30	38	291	1698	Larice cembra

Tabella 1. Rappresentazione della distribuzione delle aree di saggio per i parametri di Pendenza, Esposizione, Altimetrie e Tipi Forestali.

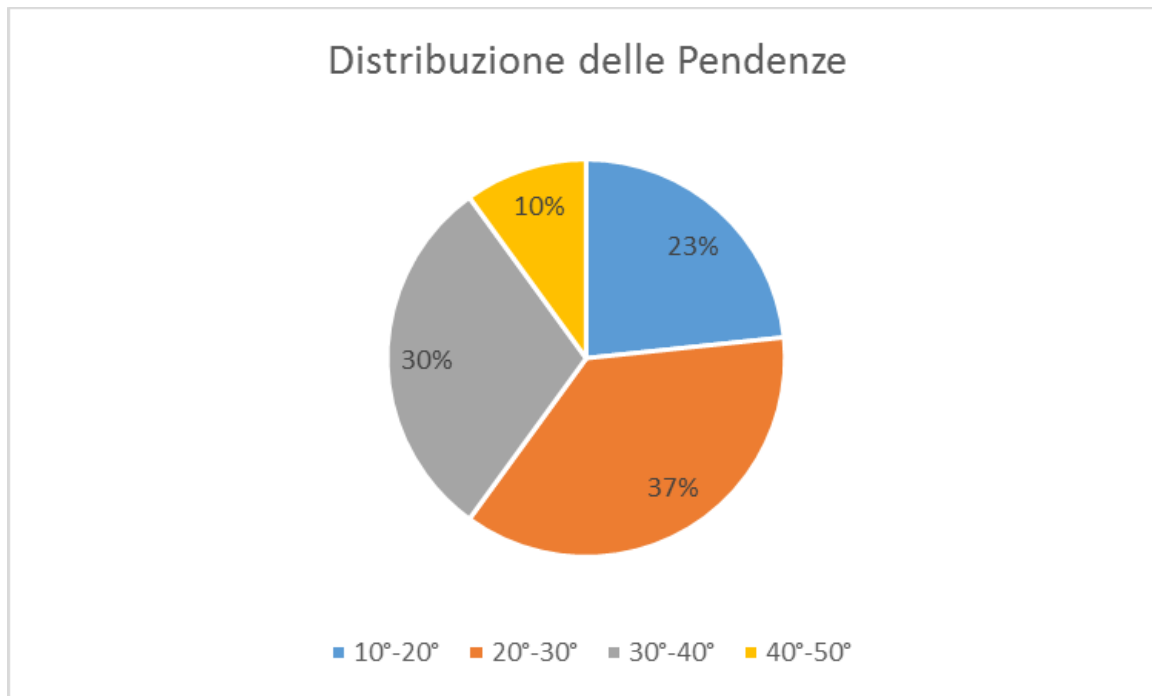


Figura 13. Grafico a torta con la distribuzione delle pendenze divisa in classi.

Le pendenze sono state suddivise in 4 classi da 10° a 50°; si può notare una maggiore distribuzione compresa tra i 20° e i 40° (Fig. 13); questo range era già stato individuato descrivendo il comune di Graverè. Si può ritenere quindi di aver scelto aree di saggio rappresentative per quanto riguarda la pendenza.

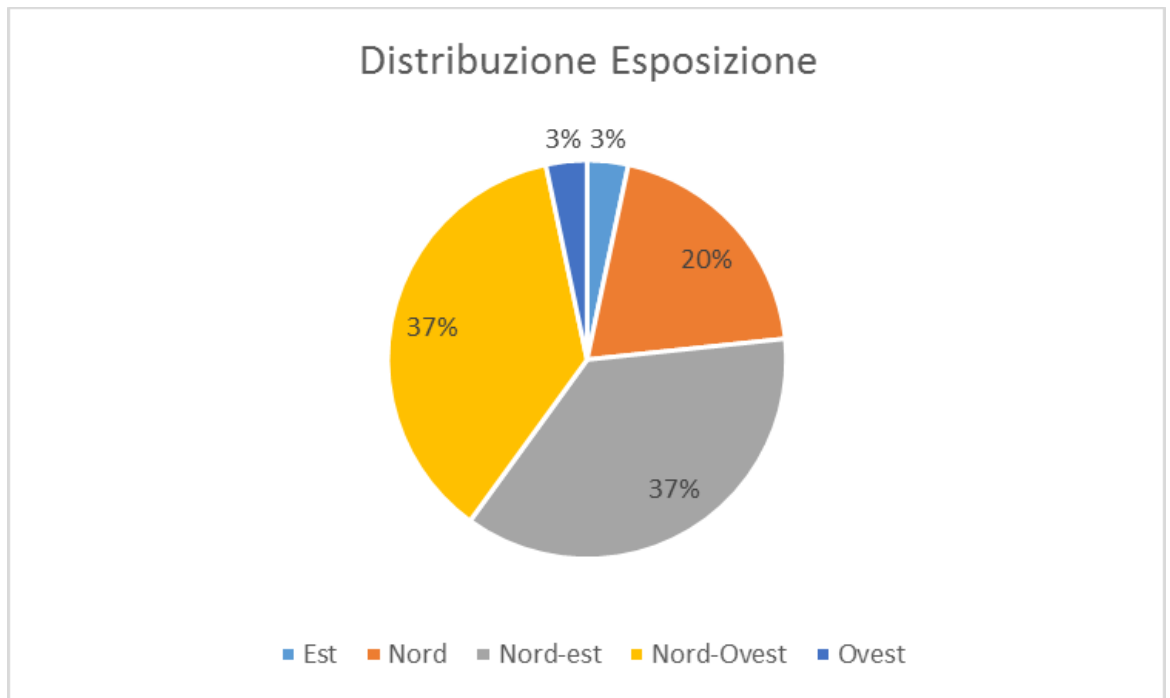


Figura 14. Grafico a torta con la distribuzione dell'esposizione divisa in classi.

Dalla Tabella 1 si nota che l'esposizione è espressa in gradi, ciò vuol dire che i punti cardinali sono rappresentati dai seguenti range:

- Nord: $0^{\circ} - 22.5^{\circ}$ e $337.5^{\circ} - 360^{\circ}$;
- Nord-Est: $22.5^{\circ} - 67.5^{\circ}$;
- Est: $67.5^{\circ} - 112.5^{\circ}$;
- Sud-Est: $112.5^{\circ} - 157.5^{\circ}$;
- Sud: $157.5^{\circ} - 202.5^{\circ}$;
- Sud-Ovest: $202.5^{\circ} - 247.5^{\circ}$;
- Ovest: $247.5^{\circ} - 292.5^{\circ}$;
- Nord-Ovest: $292.5^{\circ} - 337.5^{\circ}$.

Nel precedente paragrafo, descrivendo il comune di Gravere, si è detto che è maggiormente esposto a Nord; dal grafico a torta (Fig. 14) si nota che le aree di saggio sono maggiormente esposte a Nord-Ovest, Nord-Est e Nord, si possono quindi ritenere rappresentative.

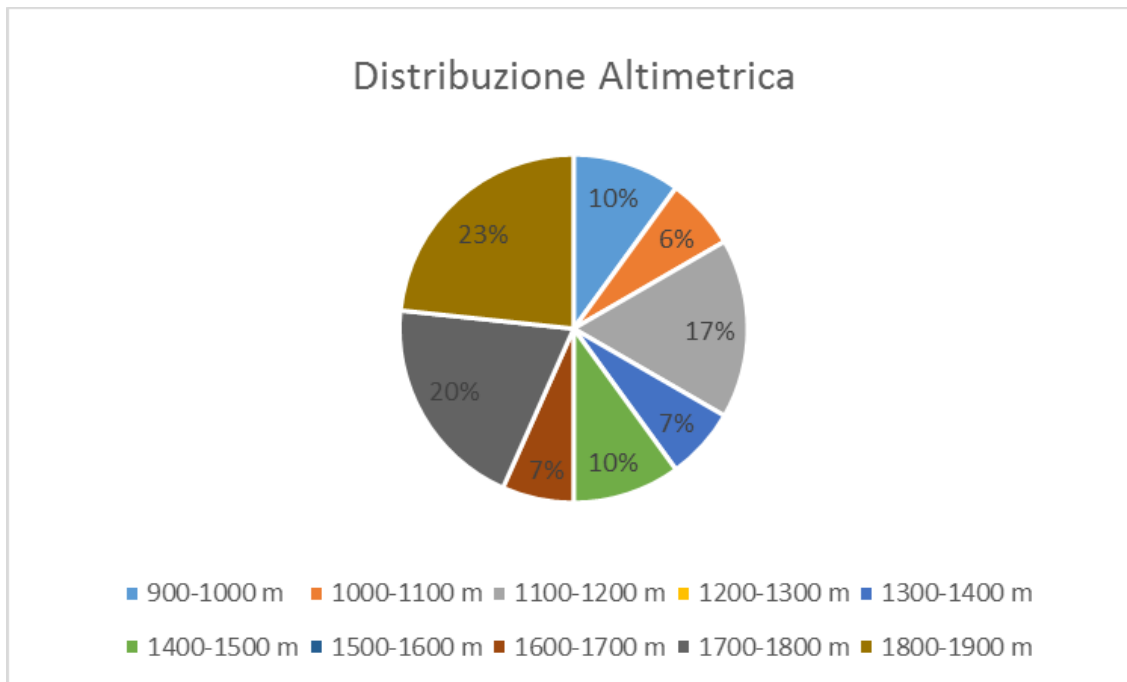


Figura 15. Grafico a torta con la distribuzione altimetrica suddivisa in classi.

Il comune di Gravere si sviluppa da 600 m slm a 2.691 m slm. Non si sono considerati i primi centinaia di metri perché maggiormente urbanizzati con, ovviamente, una ridotta distribuzione delle superfici boscate. Non sono state considerate anche le aree sopra i 2.000 metri, perché difficilmente accessibili e privi di copertura boschiva, poiché viene superato il limite del bosco. Osservando il grafico (Fig. 15) si può quindi affermare che le aree di saggio si presentano ben distribuite nelle diverse classi altitudinali e quindi rappresentative.

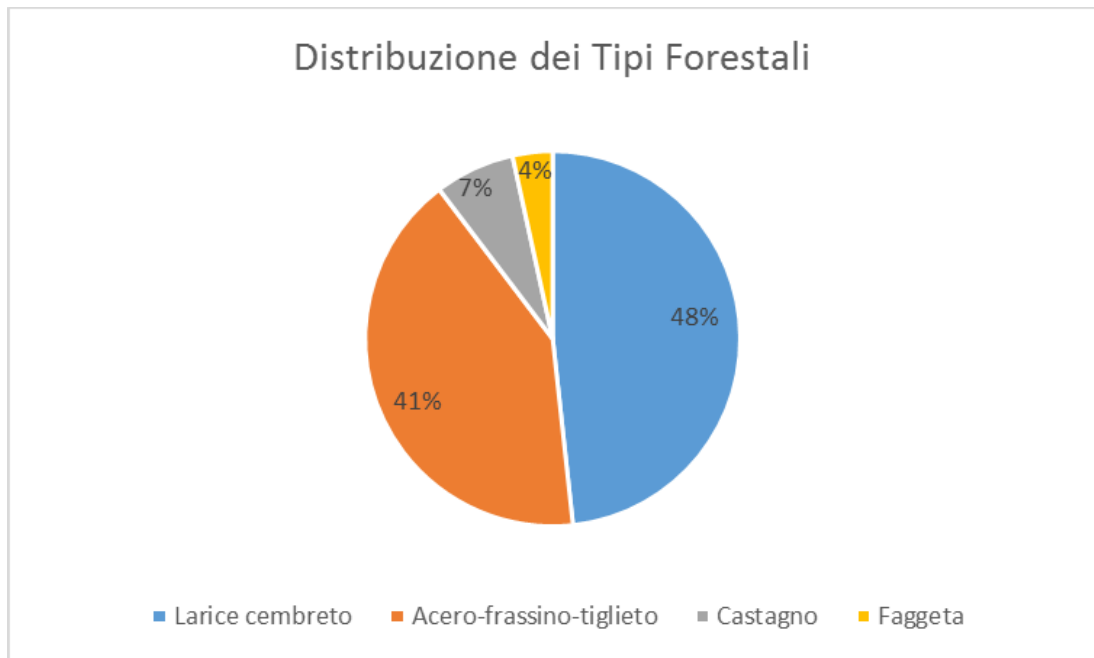


Figura 16. Grafico a torta con la distribuzione dei Tipi Forestali.

Il comune di Graverè è caratterizzato da una maggior presenza di larice-cembra e castagno secondo il Piano forestale territoriale.

Analizzando il grafico (Fig. 16) rappresentativo della distribuzione delle aree di saggio invece, si nota che esse ricadono maggiormente nell'acero-tiglio-frassinetto e nel larice-cembra.

La carta forestale utilizzata per questo studio è stata aggiornata nel 2015, basandosi però sulla ripresa aerea ICE 2009-2011 della Regione Piemonte. In 5-7 anni la composizione del bosco è cambiata, si sottolinea inoltre la repentina espansione degli acero-tiglio-frassinetti nelle aree boscate abbandonate; questa formazione infatti, sta piano piano sostituendo i castagneti che per centinaia di anni sono stati coltivati e gestiti dall'uomo.

Si può quindi affermare che la carta forestale non è abbastanza aggiornata per poter rappresentare la recente espansione dell'acero-tiglio-frassinetto.

Probabilmente sarebbero però state necessarie un maggior numero di aree di saggio per poter rappresentare al meglio tutti i diversi Tipi Forestali presenti sul territorio.

B3. Analisi della distribuzione dei diametri e delle altezze

Di seguito si è analizzata la distribuzione dei diametri e delle altezze in funzione delle diverse specie cavallettate.

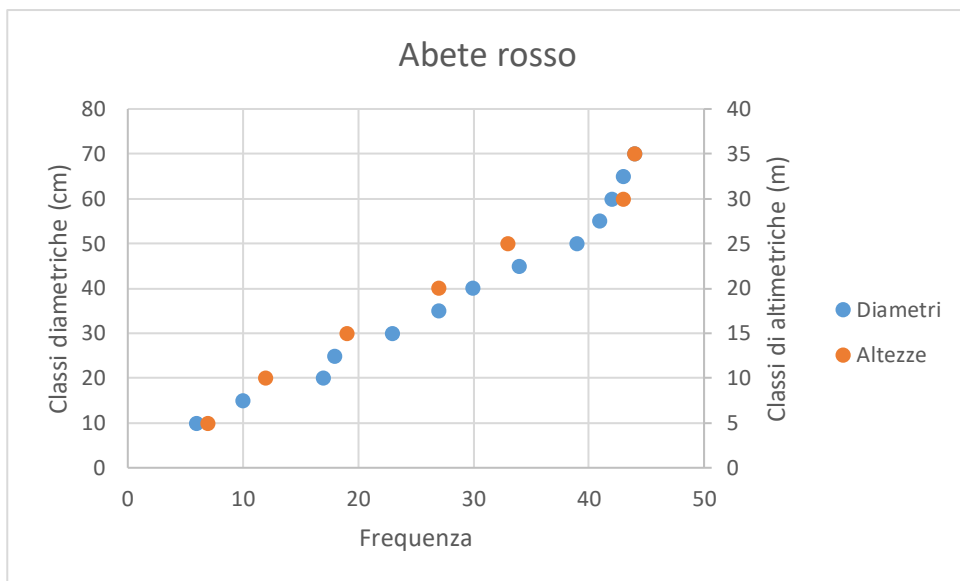


Figura 17. Distribuzione dei diametri e delle altezze per l'abete bianco.

L'abete bianco presenta diametri compresi tra 10 e 70 cm e la frequenza è ben distribuita fino alla classe 50; le altezze variano da 4 a 30 m e la frequenza è ben distribuita fino alla classe 30 (Fig. 17).

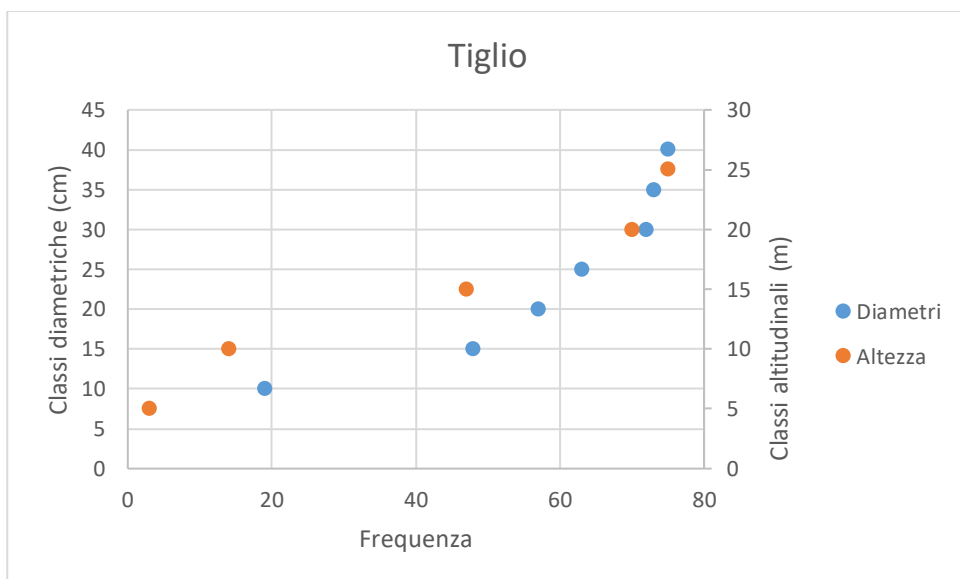


Figura 18. Distribuzione dei diametri e delle altezze per il tiglio.

Il tiglio presenta diametri compresi tra 8 e 45 cm e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 15; le altezze variano da 5 a 25 m e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 25 (Fig. 18).

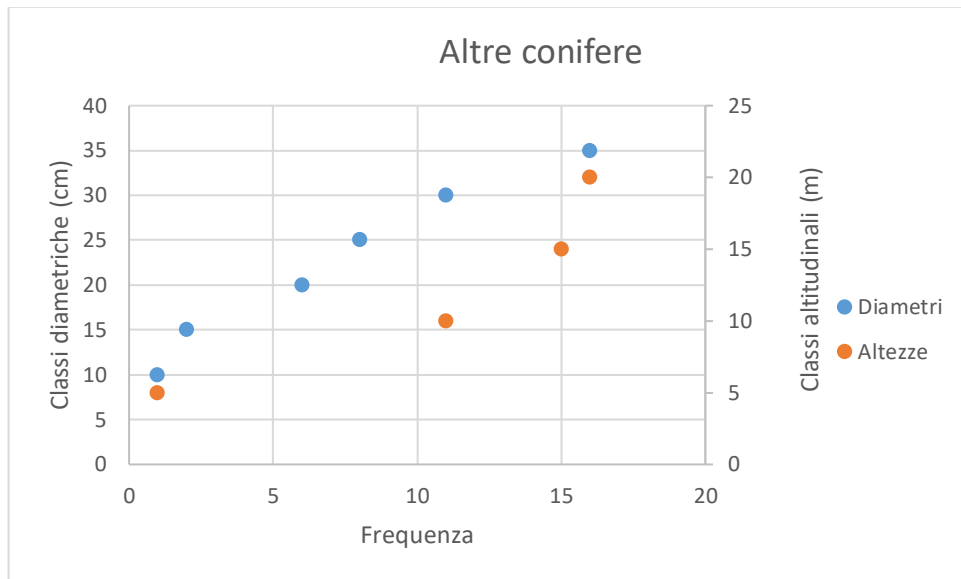


Figura 19. Distribuzione dei diametri e delle altezze per alte conifere.

Le altre conifere comprendono abete rosso e pino silvestre, presentano diametri compresi tra 10 e 37 cm e la frequenza è maggiore tra le classi 15 - 20 e 30 - 35; le altezze variano da 5 a 20 m e la frequenza è maggiore tra le classi 5 e 10 (Fig. 19).

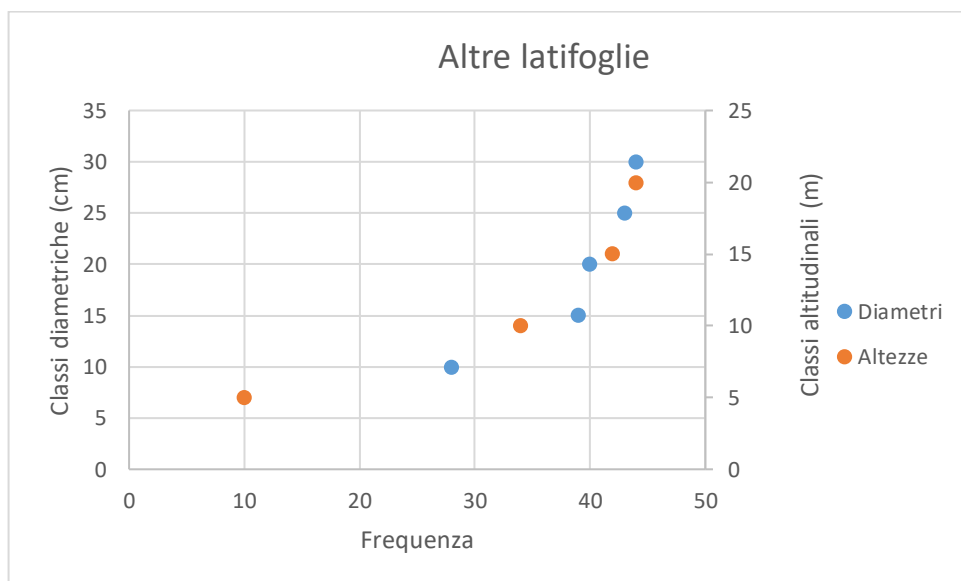


Figura 20. Distribuzione dei diametri e delle altezze per altre latifoglie.

Le altre latifoglie comprendono ciliegio, maggiociondolo, nocciolo, ontano, roverella, sorbo e salicione; presentano diametri compresi tra 9 e 30 cm e la frequenza è maggiore nella classe 10; le altezze variano da 5 a 20 m e la frequenza è maggiore tra le classi 5 e 10 (Fig. 20).

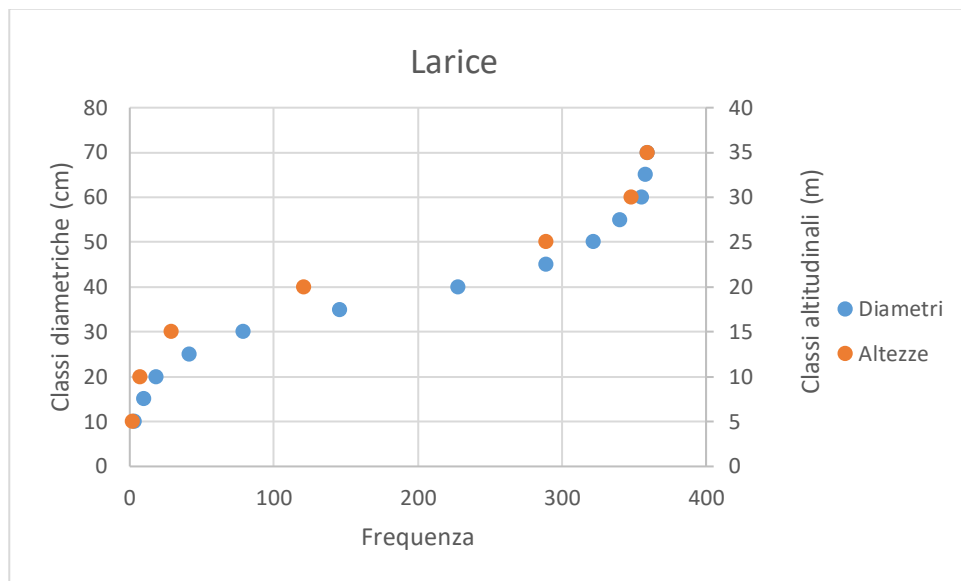


Figura 21. Distribuzione dei diametri e delle altezze per il larice.

Il larice presenta diametri compresi tra 9 e 75 cm e la frequenza è maggiore tra le classi 25 e 45; le altezze variano da 4 a 40 m e la frequenza è maggiore tra le classi 15 e 25 (Fig. 21).

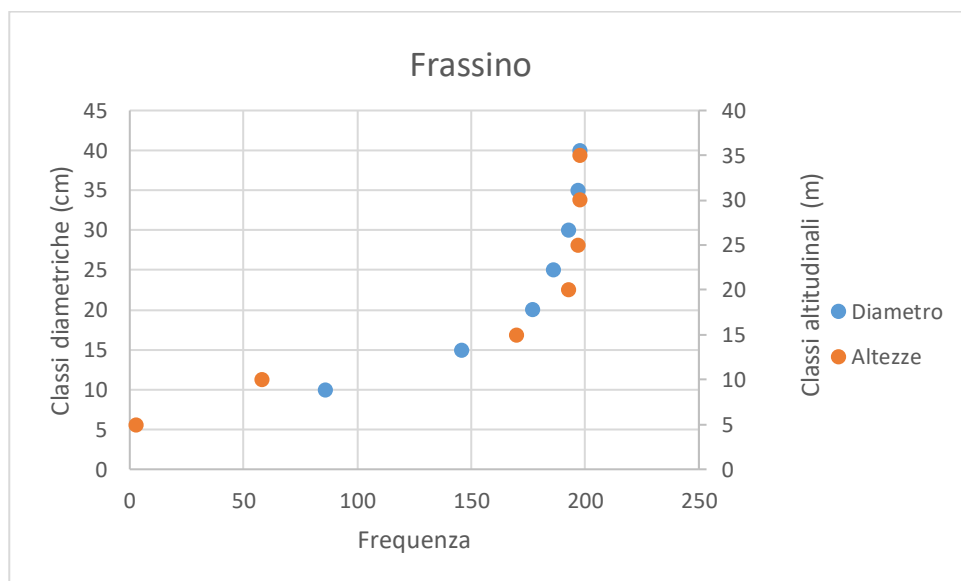


Figura 22. Distribuzione dei diametri e delle altezze per il frassino.

Il frassino presenta diametri compresi tra 7 e 40 cm e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 15; le altezze variano da 4 a 30 m e la frequenza è maggiore tra le classi 5 e 15 (Fig. 22).

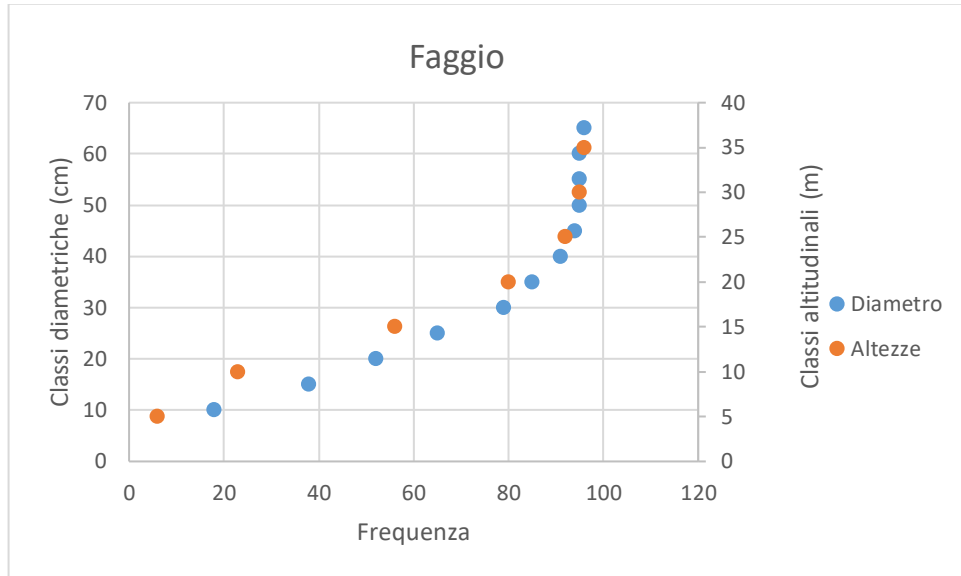


Figura 23. Distribuzione dei diametri e delle altezze per il faggio.

Il faggio presenta diametri compresi tra 9 e 70 cm e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 30; le altezze variano da 4 a 35 m e la frequenza è maggiore tra le classi 5 e 20 (Fig. 23).

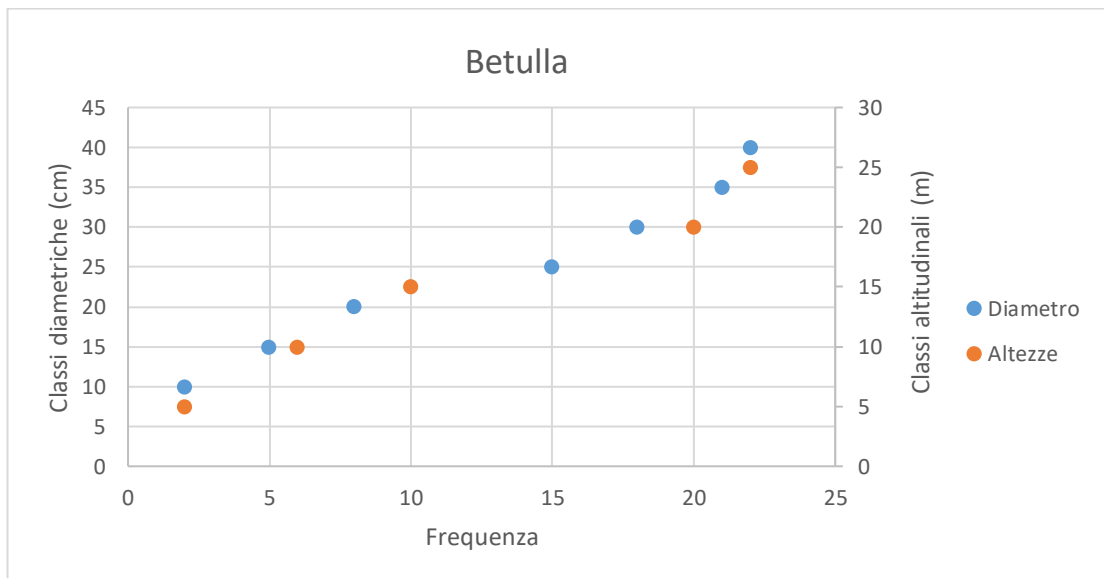


Figura 24. Distribuzione dei diametri e delle altezze per la betulla.

La betulla presenta diametri compresi tra 10 e 45 cm e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 30; le altezze variano da 5 a 30 m e la frequenza è maggiore tra le classi 15 e 20 (Fig. 24).

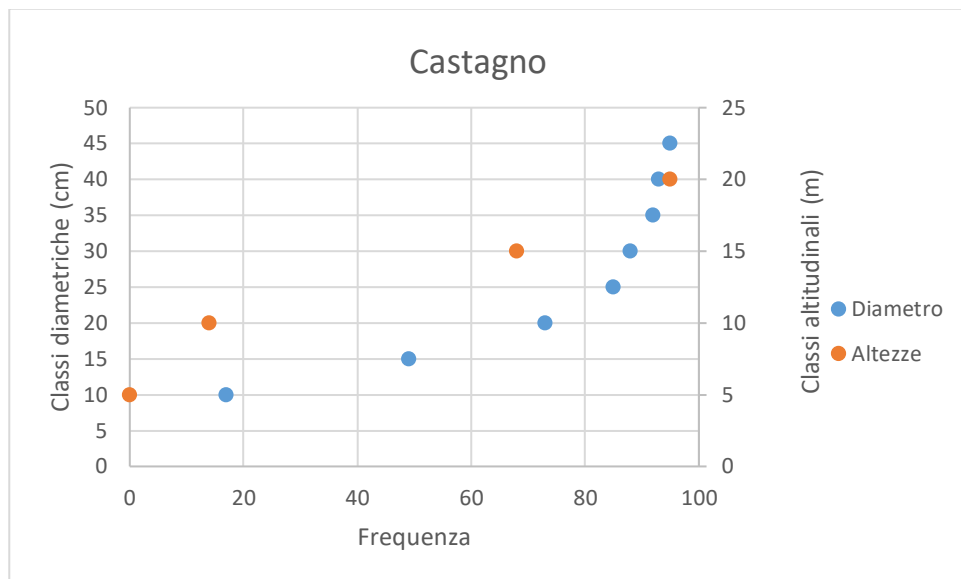


Figura 25. Distribuzione dei diametri e delle altezze per il castagno.

Il castagno presenta diametri compresi tra 10 e 45 cm e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 20; le altezze variano da 9 a 20 m e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 15 (Fig. 25).

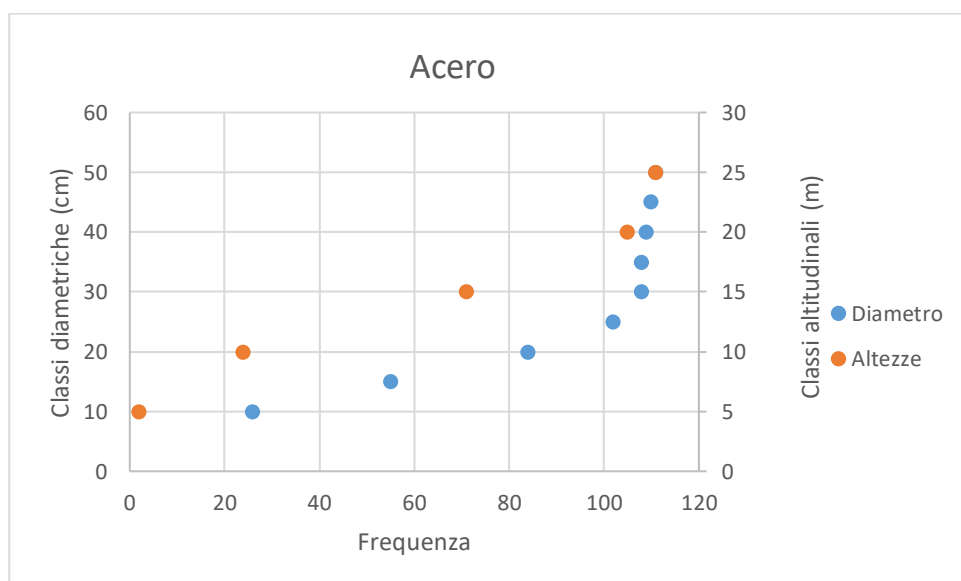


Figura 26. Distribuzione dei diametri e delle altezze per l'acero.

L'acero presenta diametri compresi tra 8 e 50 cm e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 25; le altezze variano da 3 a 30 m e la frequenza è maggiore tra le classi 10 e 15 (Fig. 26).

C. Rilevamenti LiDAR

A partire dalla nuvola di punti ottenuta mediante metodi di acquisizione LiDAR, si ricavano i modelli digitali di elevazione, che ricostruiscono sia il modello di superficie che del terreno.

Le tipologie di modelli digitali di elevazione sono:

- **DTM:** riguarda il modello digitale del terreno, ovvero quello che corrisponde all'ultimo ritorno di un rilievo LiDAR. La ricostruzione di un DTM permette di individuare le linee del terreno, eliminando quelle che sono le strutture come edifici e vegetazione. Il DTM, viene ottenuto mediante algoritmi di interpolazione;
- **DSM:** Il modello digitale della superficie, tiene conto delle strutture che insistono sulla superficie, quindi rileva la vegetazione e gli edifici presenti. Per la ricostruzione di un DSM si può utilizzare un sistema di acquisizione LiDAR.
- **CHM:** ricavato dalla differenza tra DSM e DTM e rappresenta l'altezza degli oggetti sul terreno (come edifici, piante ecc)

Per questo studio sono stati utilizzati DTM e DSM che coprono l'intero territorio regionale piemontese. Il set di dati è stato acquisito durante la ripresa aerea fotogrammetrica ICE (2009-2011). L'altezza del volo era di circa 4.500 m slm. Le nuvole di punti LiDAR sono state acquisite utilizzando un sensore LEICA ALS50-II (Leica Geosystems 2006) (in Allegato 1 scheda tecnica). Sono stati forniti con sistema cartografico WGS 84 UTM 32N.

La densità dei punti era di circa 0,5 punti al m². Il sistema era capace di rilevare fino a 4 ritorni multipli per ogni impulso laser in uscita (primo, secondo, terzo e ultimo). La distanza tra gli impulsi consecutivi era di circa 3,5 m. I DTM e DSM, pre-elaborati dall'originale nuvola di punti LiDAR, presentano una risoluzione geometrica di 5 m.

Le condizioni imposte dal fascicolo di condizioni, applicate durante la pianificazione del lavoro e successivamente durante la sua realizzazione, vengono riassunte nelle Tabelle 2 e 3, che descrivono rispettivamente la metodologia seguita durante i rilievi dei dati LiDAR e la loro elaborazione e la precisione assicurata per il DTM. Nel lavoro commissionato dalla Regione Piemonte non è stata richiesta la precisione del DSM che non è quindi un dato validato dalla Regione Piemonte.

Tabella 2. Metodologia seguita.

Oggetto	Caratteristiche Tecniche Offerte
Processamento dei dati GPS/INS	Con software di validità internazionalmente riconosciuta, dei minimi quadrati e filtro di Kalman per INS con calcolo con il metodo della traiettoria diretta e inversa
Filtraggio e classificazione	Selezionare il criterio e gli algoritmi adeguati per il tipo di terreno e gli obiettivi del lavoro prefissati Successivamente al filtraggio e classificazione automatica, si definiranno le linee di rottura e la edizione manuale con sovrapposizione dei modelli (DSM e DTM) e modelli stereoscopici aerofotogrammetrici corrispondenti
Ottenimento della nube di punti XYZ	Mediante calcoli che tengano in conto tutti i parametri: coordinate del centro dello scanner laser, le eccentricità tra i sistemi, la posizione del centro di misura il tempo di ritorno del segnale
Risultato finale	MDT in formato raster (maglia regolare): 5 x 5 m
	MDS in formato raster (maglia regolare): 5 x 5 m

Tabella 3. Precisione dei dati.

Oggetto	Caratteristiche Tecniche Offerte
Precisione	La precisione sarà < di mt. $\pm 0.3m$
Errore massimo	Errore massimo sarà < di mt. $\pm 0.60m$
Qualità del modello	Si utilizzeranno punti di controllo Precisione planimetrica di punti quotati ed elementi lineari: $\pm 0.3m$
Precisione DTM livello 4	Nel DTM di livello 4 con LIDAR si offre una precisione in quota $\pm 0.3m$ e un errore sistematico $< 0.15m$ e una precisione planimetrica di punti quotati ed elementi lineari: $\pm 0.3m$

C1. Sistema informativo GIS

Tutti i calcoli e le statistiche effettuate in questo studio, per analizzare il DTM e il DSM, sono stati eseguiti con SAGA® GIS (System for Automated Scientific Analysis) e QGIS 2.8-Wien (Fig. 27 e 28), sempre con sistema cartografico WGS 84 UTM 32N.

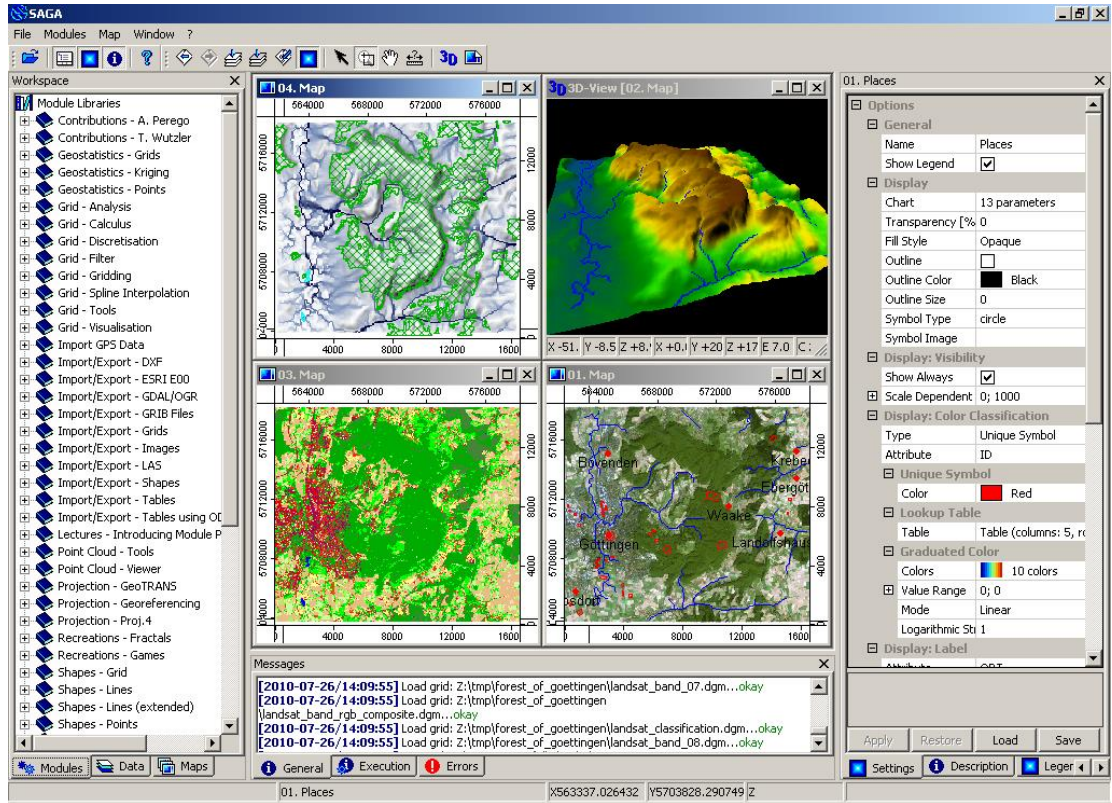


Figura 27. SAGA Gis (da: https://live.osgeo.org/_images/saga_overview.png).

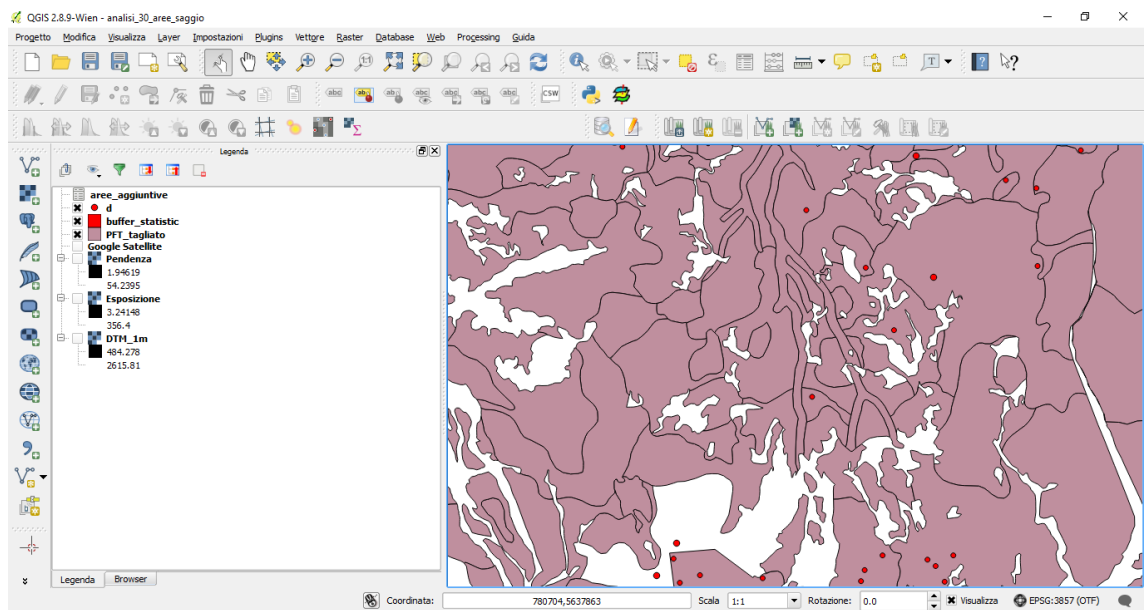


Figura 28. Qgis 2.8-Wien.

Il GIS è un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici (geo-riferiti). Trattasi quindi di un sistema informatico in grado di produrre, gestire e analizzare dati spaziali associando a ciascun elemento geografico una o più descrizioni alfanumeriche.

C2. Carta Forestale della Regione Piemonte

Un ulteriore strumento utilizzato in questo studio, per effettuare l'analisi dei dati LiDAR correlati ai Tipi Forestali, è stata la Carta Forestale della Regione Piemonte (Fig. 29) scaricata dal sito Sistema Informativo Forestale Regionale (SIFOR) in formato shape file. Tale carta è stata fornita con sistema cartografico WGS 84 UTM 32N.

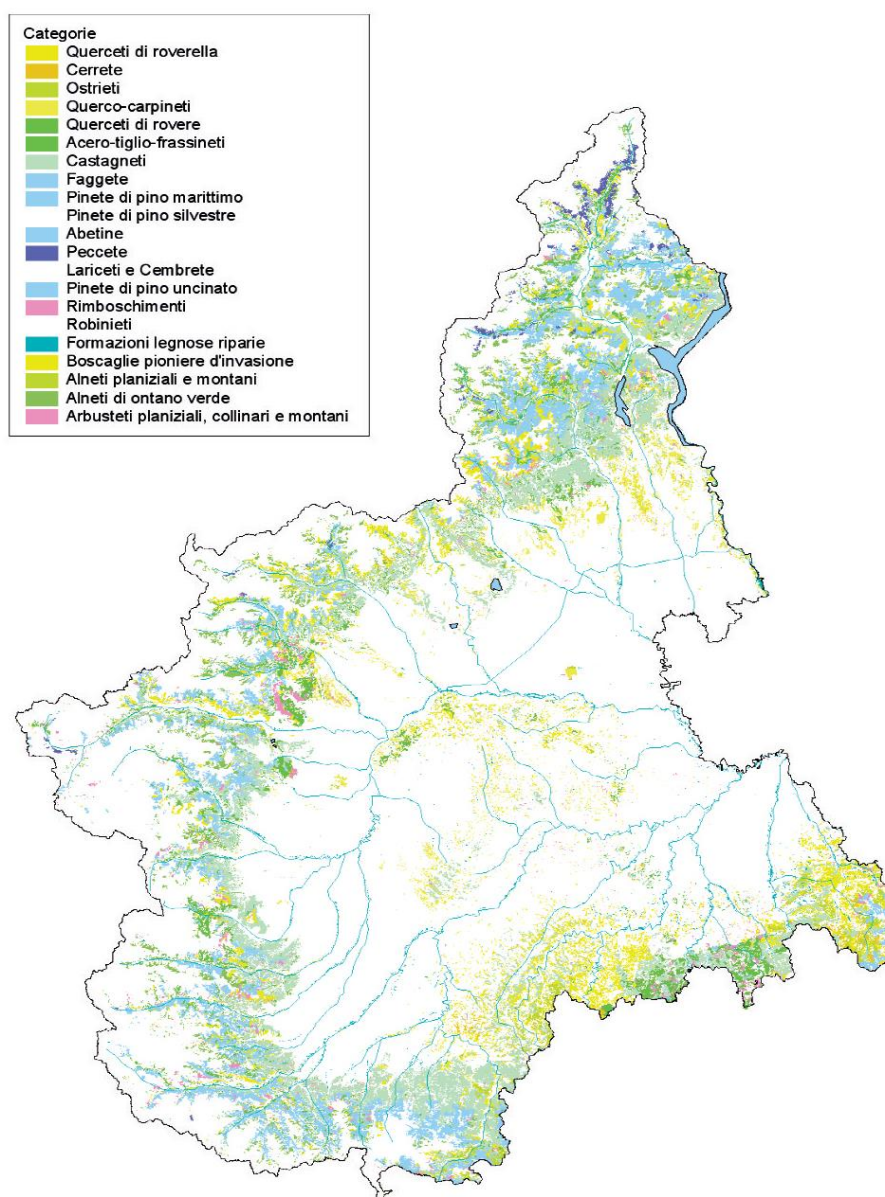


Figura 29. Carta forestale della Regione Piemonte, scala 1:200.000.

La Regione Piemonte ha infatti incaricato nel 2015, l'IPLA S.p.A. di aggiornare il limite del bosco e delle altre superfici forestali, riferiti alla carta forestale inserita nel SIFOR e risalente all'anno 2000.

La metodologia adottata è stata basata sulla fotointerpretazione della copertura complessiva, avendo come base di partenza quella derivante dagli studi per i PFT e come ripresa aerea di riferimento la ripresa aerea ICE 2009-2011 della Regione Piemonte. A seguito della fotointerpretazione l'IPLA ha realizzato controlli mirati e speditivi del contenuto tematico nelle zone che hanno evidenziato le variazioni più significative.

D. Metodologia di rilevamento e analisi dei dati

Durante i mesi di settembre-ottobre 2016, nell'ambito di questa tesi, sono state effettuate delle ricognizioni al suolo con raccolta di dati dendrometrici, con 30 aree di campionamento di 15 m di raggio, per disporre di "verità a terra" con le quali confrontare e validare le corrispondenti classificazioni prodotte con i dati LiDAR.

E' opportuno segnalare che la differenza di 5-7 anni tra il volo LiDAR (2009-2011) e i rilievi al suolo (2016) ha comportato la presenza di alcune discrepanze nel confronto tra i dati, legate in particolar modo agli incrementi in altezza e in volume, soprattutto per le latifoglie.

Nelle aree di saggio si è effettuata una stima a vista della percentuale di copertura delle chiome. In seguito si è indicato il tipo strutturale (o classe cronologica) del bosco, secondo le classi indicate dal "Piano forestale aziendale" della Regione Piemonte (Allegato 3). Nel frattempo si sono individuate le coordinate GPS.

Successivamente si è perimetrata l'area di saggio segnando le piante non comprese all'interno e infine si sono misurati i diametri con soglia di cavallettamento di 7,5 cm e le altezze con soglia di rilievo di 1,30 m, di tutte le piante contenute nell'area di saggio.

Tutti i dati rilevati in campo sono poi stati trasferiti su un file Excel riportando specie, diametro e altezza.

Su tali dati si è costruita la curva ipsometrica per ogni singola specie o gruppo di specie (nel caso si avessero pochi individui per specie).

Dalla funzione della curva ipsometrica si è quindi calcolata l'altezza ipsometrica per tutti gli individui rilevati in campo, calcolando in seguito l'errore in valore assoluto.

Creando una curva ipsometrica inversa invece (curva diametrica), si è ricavata la formula, diversa per ogni specie, con la quale si è calcolato il diametro stimato per ogni individuo.

In seguito sono state fatte una serie di elaborazioni per ogni singola area di saggio:

- Area basimetrica m² ad ha;

$$g_i = \frac{\pi}{4} d_i^2$$

- Densità ad ha;
- Volume (m³ ad ha);
- Composizione specifica ad ha;
- Altezza media aritmetica (m);
- Altezza media dendrometrica (m): ovvero l'altezza della pianta con area basimetrica media e diametro medio dendrometrico;
- Altezza dominante (m): ovvero l'altezza delle 100 piante più grosse ad ha;
- Diametro medio aritmetico (cm);
- Diametro medio dendrometrico (cm);
- Diametro max e min (cm);
- Altezza max e min (m);
- Deviazione standard dell'altezza (m);
- Deviazione standard del diametro (m);
- Numero di conifere a ha;
- Numero di latifoglie a ha.

Le formule per il calcolo del volume sono state ricavate dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio del 2012 (INFC) realizzati dal CRA-MPF (Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale).

Infine per ogni area di saggio è stato individuato il Tipo forestale, tramite il libro "Metodologia e guida per l'identificazione dei Tipi Forestali del Piemonte".

Prima di passare alla descrizione delle elaborazioni Gis, si sottolinea che la pre-elaborazione della "nube" di punti georeferenziati (raw data) non viene trattata in questo studio, poiché sia il DTM che il DSM sono stati forniti direttamente dalla Regione Piemonte, in formato raster con risoluzione di cinque metri. Per questi due modelli, gestibili in ambiente GIS, è stato preso come riferimento il sistema cartografico WGS84 UTM 32N, in modo tale che potessero essere spazialmente sovrapponibili.

Per prima cosa si sono analizzati i punti GPS rilevati in campo delle aree di saggio, di questi sono stati eliminati 2 perché non vi era riscontro tra i punti riportati con il GPS e la loro posizione sulla carta e di altri 2 non si aveva il riferimento GPS.

È stata poi eseguita una sottrazione locale algebrica (pixel a pixel) del DTM dal DSM. Si è ottenuto così un CHM provvisorio, il quale è dotato di alcuni valori negativi, dovuti ad errori di misurazione legati in genere a punti di elevata pendenza del versante. Di conseguenza è stato assegnato un valore "NoData" ai risultati al di sotto dei 4 metri, in quanto non è di nostro interesse l'analisi di rinnovazione, arbusti e boscaglia.

Si è poi creato un buffer di 15 metri di raggio per ogni punto individuato con il GPS così da poter effettuare le “statistiche zonali” per ricavare l’altezza minima, massima, media e la deviazione standard.

Si è proceduto tagliando il raster, in modo tale da renderlo meno pesante per le successive analisi. Si sono poi sviluppati i raster di pendenza ed esposizione.

A questo punto dell’analisi dei dati si è riscontrato il primo grande limite del LiDAR, ovvero mettendo a confronto l’altezza media calcolata tramite il CHM con le statistiche zonali e l’altezza media dendrometrica sulla base dei dati raccolti in campo, si sono notate notevoli differenze.

La prima ipotesi sopraggiunta è stata che la differenza di altezza fosse dovuta al volo LiDAR risalente al 2009/2011, ma analizzando le aree con presenza di larici (specie a lento accrescimento) la differenza di altezza era troppo elevata, considerando gli anni trascorsi dal volo ai rilievi in campo. Quindi in questo caso è il LiDAR ad avere un errore sistematico che deve essere risolto con delle approssimazioni.

Per l’approssimazione è stato creato un file in cui sono stati riportati: i valori medi, i valori massimi e i valori minimi delle altezze sia ricavati dal LiDAR che dalle aree di saggio; questi valori sono stati inseriti in un grafico per tentare di trovare una correlazione tra i valori.

È stata individuata una linea di tendenza rettilinea rappresentativa che ha ridotto l’errore medio tra i dati di campo e i dati LiDAR da 7,2 m a 4,7 m:

$$y = 1.1599x + 3.9911$$

Tale formula è stata poi applicata come correzione a tutti i dati LiDAR.

È stato poi aperto lo shape file del Piano Forestale Territoriale (PFT), contenente la carta dei Tipi Forestali, nella quale si sono individuate delle discordanze con la realtà delle aree di saggio.

In particolare dove era individuata la tipologia del castagneto, molto spesso nelle aree di saggio si erano invece ritrovati gli acero-frassino- tiglieti.

In questo punto dell’analisi si è quindi riscontrata la seconda problematica della tesi, ovvero l’utilizzo di una Carta dei Tipi Forestali basata su fotointerpretazione da copertura aerofotogrammetrica del 2010 e quindi non aggiornata.

Negli ultimi anni infatti vi sono stati repentini cambiamenti, dovuti a una veloce colonizzazione degli acero-frassino- tiglieti che pian piano stanno prendendo il posto dei castagneti.

I castagni per centinaia di anni sono stati preferiti e gestiti dall’uomo, ma a causa dell’abbandono delle montagne, sono destinati a un veloce degrado e a una rapida sostituzione da parte delle formazioni originarie.

Si è quindi dovuta accettare un'approssimazione nella descrizione del territorio, in quanto si è andato a modificare lo shape file della Carta dei Tipi Forestali, aggiornandola con i Tipi Forestali riscontrati nelle aree di saggio, ma per le aree in cui non si hanno verità a terra non si può avere la certezza che i Tipi Forestali indicati dalla Carta Forestale siano corretti.

A questo punto per ogni Tipo Forestale è stata indicata la curva diametrica da applicare per il calcolo del diametro.

Per i Tipi Forestali in cui non vi era un'unica specie dominante e rappresentativa, si è applicata una formula ricavata dalla curva ipsometrica con gli individui appartenenti alle latifoglie o conifere in numero minore.

In seguito si è creata una griglia di dimensioni 30 x 30 m simili a quelle dei plot delle aree di saggio (i plot presentano un raggio 15 m quindi una superficie di 707 m², la griglia quadrata di 30 x 30 m presenta invece una superficie di 900 m²).

Sono stati poi eliminati dal file tutti i Tipi Forestali rappresentativi di specie arbusti sotto i 4 m, poiché non risultano essere interessanti a livello produttivo (sono stati eliminati i Tipi Forestali a cui erano stati assegnati i seguenti ID: 15, 17, 18, 19, 16, 20, 21, 51, 52).

Dopodiché si è calcolata la densità individuata dal LiDAR, ponendo come base un CHM con pixel 2 x 2 m.

Anche in questo caso il dato ricavato dal LiDAR presenta valori molto diversi dalla densità rilevata in campo. Si è quindi cercata una formula per poter approssimare il dato LiDAR e ridurre la differenza.

I procedimenti eseguiti per correggere la densità sono stati i seguenti:

- Su Excel sono stati riportati i valori di densità delle aree di saggio e dei valori LiDAR riferiti alle aree di saggio;
- Si è normalizzato il dato LiDAR con la seguente formula:
(Valore LiDAR/36) x 1429;
Dove 36 e 1429 sono rispettivamente il valore massimo di densità dei dati LiDAR e il valore massimo di densità delle aree di saggio.
Questo per portare il dato LiDAR sulla stessa scala di valori delle aree di saggio;
- Si è poi calcolata la differenza tra la densità di campo e il dato normalizzato LiDAR;
- Si è creato un grafico differente tra conifere e latifoglie, ponendo sull'asse delle X il dato normalizzato e sull'asse delle Y la differenza calcolata in precedenza;
- Dai grafici si sono ricavate le seguenti due formule di correzione della differenza, rispettivamente per le latifoglie e per le conifere:
$$Y = -0,7818x + 604,71$$
$$Y = -937,2\ln(x) + 5709,3$$

- Con tali formule è stato quindi possibile calcolare la differenza corretta e quindi la densità LiDAR corretta.

A questo punto si è creato un albero modello per ogni quadrato della griglia creata su Qgis, applicando le statistiche zonali per ogni quadrato e calcolando poi per ognuno l'altezza corretta, il diametro e la densità corretta applicando formule diverse in base ai Tipi Forestali di riferimento e alle famiglie (conifere e latifoglie).

Infine, poiché l'obiettivo della tesi è quello di verificare se vi è compatibilità tra la cubatura calcolata con dati presi a terra e la cubatura calcolata con i dati LiDAR, si è creato un file dove per ogni area di saggio sono stati inseriti l'altezza media dendrometrica, il diametro medio dendrometrico e la densità a ettaro ricavati dai dati di campo e l'altezza media, il diametro medio e la densità media ricavati dai dati LiDAR.

In questo modo è stato possibile calcolare il volume applicando le formule ricavate dall'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio del 2012 (INFC).

Anche in questo caso vi è una notevole differenza tra i volumi. Si è quindi proceduto nella ricerca di una approssimazione del valore che riducesse il divario.

I procedimenti eseguiti per la correzione del volume sono stati i seguenti:

- Per ogni area di saggio si è effettuata la somma tra il diametro in centimetri e la relativa altezza in metri presi dai dati LiDAR;
- Il valore ottenuto è stato messo a confronto graficamente con il volume ottenuto dai valori rilevati in campo differenziando tra latifoglie e conifere, ponendo sulle ascisse la somma diametri altezze e sulle ordinate il volume;
- Sono stati inoltre eliminati i valori outlier;
- Dai grafici si sono ricavate le seguenti due formule di correzione del volume LiDAR, rispettivamente per le latifoglie e per le conifere:
$$Y = 0.7096x1.5742$$
$$Y = 12.297x0.8364$$
- Con tali formule è stato quindi possibile calcolare il volume LiDAR più vicino al valore reale.

Infine si è costruita la mappa dei volumi calcolando per ogni patch il volume corrispondente.

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel seguente capitolo verranno esposti singolarmente i diversi risultati delle analisi. L'accuratezza è stata verificata di volta in volta con modalità diverse a seconda della variabile considerata.

È stata effettuata un'analisi dendrometrica dei dati rilevati in campo, calcolando l'area basimetrica (m^2 a ha) il volume (m^3 a ha), la densità ad ettaro, il numero di individui ad ettaro per conifere e latifoglie, l'altezza media dendrometrica (m), l'altezza dominante (m), il diametro dendrometrico (cm) ed infine la deviazione standard dell'altezza e del diametro rispettivamente in metri e in centimetri (Θ_h e Θ_d). Tali elaborati sono riportati nelle Tabelle 4 e 5.

Tabella 4. Analisi dendrometrica della densità e del volume.

Area di saggio	Area basimetrica a ha	Densità a ha	Volume a ha	n conifere a ha	n latifoglie a ha
1	37.540	495.050	372.545	480.905	14.144
2	20.781	212.314	208.121	212.314	0
3	31.799	268.741	340.844	268.741	0
4	29.474	254.597	310.981	254.597	0
5	27.914	650.636	231.119	14.144	636.492
6	25.747	919.378	192.458	198.020	721.358
7	30.941	466.761	322.304	155.587	311.174
8	51.518	579.915	605.206	226.308	353.607
9	59.161	1018.388	638.966	240.453	777.935
10	29.234	806.223	252.462	70.721	735.502
11	17.482	1244.696	118.581	0.000	1244.696
12	23.118	905.233	221.471	14.144	891.089
13	23.266	636.492	203.068	14.144	622.348
14	48.737	537.482	619.171	254.597	268.741
15	27.649	396.040	305.313	183.876	212.164
16	43.545	792.079	474.408	240.453	551.627
17	31.319	339.463	345.597	339.463	0
18	25.750	212.164	267.187	212.164	0
19	25.785	155.587	255.759	155.587	0
20	28.209	169.731	332.317	155.587	0
21	37.375	226.308	389.568	226.308	0
22	40.923	311.174	473.126	311.174	0
23	30.868	282.885	300.736	282.885	0
24	41.317	381.895	423.919	381.895	0
25	48.620	1428.571	404.537	70.721	1357.850
26	43.537	509.194	494.319	113.154	396.040
27	40.896	509.194	481.979	127.298	381.895
28	34.202	254.597	374.968	254.597	0
29	33.642	282.885	372.992	282.885	0
30	27.835	268.741	319.383	268.741	0

Tabella 5. Analisi dendrometrica dell'altezza e del diametro.

Area di saggio	h media dendrometrica (m)	h dominante (m)	Deviazione standard h	Diametro medio dendrometrico (cm)	Deviazione standard D
1	20.165	23.486	4.978	32.279	10.4790307
2	20.929	22.729	2.318	35.399	7.41990196
3	22.928	25.814	3.960	38.824	7.91253355
4	22.799	25.929	3.123	38.402	6.0824939
5	16.455	21.543	4.862	23.377	12.1654456
6	12.594	18.100	3.450	18.887	8.38706078
7	19.240	26.071	5.338	29.059	13.1184147
8	26.501	33.157	7.499	34.943	10.7629617
9	21.107	29.757	5.329	27.203	13.1309091
10	18.095	23.786	5.050	21.492	9.27882779
11	13.326	17.243	2.490	13.376	3.56560766
12	18.033	18.058	2.565	18.036	4.8760623
13	17.574	21.343	4.119	21.578	5.97021225
14	25.612	32.800	9.366	33.986	17.1413691
15	22.236	26.500	6.460	26.463	13.3509804
16	20.422	29.514	7.584	29.822	13.645179
17	23.120	25.686	3.790	34.282	8.3586933
18	21.926	24.786	7.539	39.320	15.2215386
19	21.980	23.371	2.917	45.947	6.36181792
20	24.663	25.136	3.114	47.302	7.9669773
21	22.948	24.871	3.428	45.867	10.675322
22	25.203	28.257	5.236	37.283	11.7696138
23	20.265	23.814	5.474	40.931	11.4996567
24	21.656	24.743	4.287	20.822	9.53506051
25	16.537	23.186	4.280	37.124	9.51580239
26	21.982	28.714	5.847	33.002	12.3290855
27	20.893	29.900	8.151	31.986	19.832513
28	23.927	26.286	4.197	41.368	9.95020281
29	23.688	26.743	5.676	38.922	12.7432128
30	24.404	27.200	3.918	36.323	9.58525915

I dati di altezza e diametro sono serviti inoltre per creare le curve ipsometriche e le curve diametriche per ogni singola specie. La curva ipsometrica descrive l'altezza di un popolamento forestale ed è fondamentale per avere una stima volumetrica accurata, questo perché le moderne equazioni per il calcolo della biomassa si basano sul diametro e l'altezza. La curva diametrica invece esprime l'andamento diametrico del popolamento forestale.

Tali curve permettono di stimare altezze e diametri di ipotetiche piante non rilevate in campo.

Dai dati a disposizione si sono ricavati i grafici (Fig. 30 e 31) delle singole specie con la relativa funzione ipsometrica e diametrica.

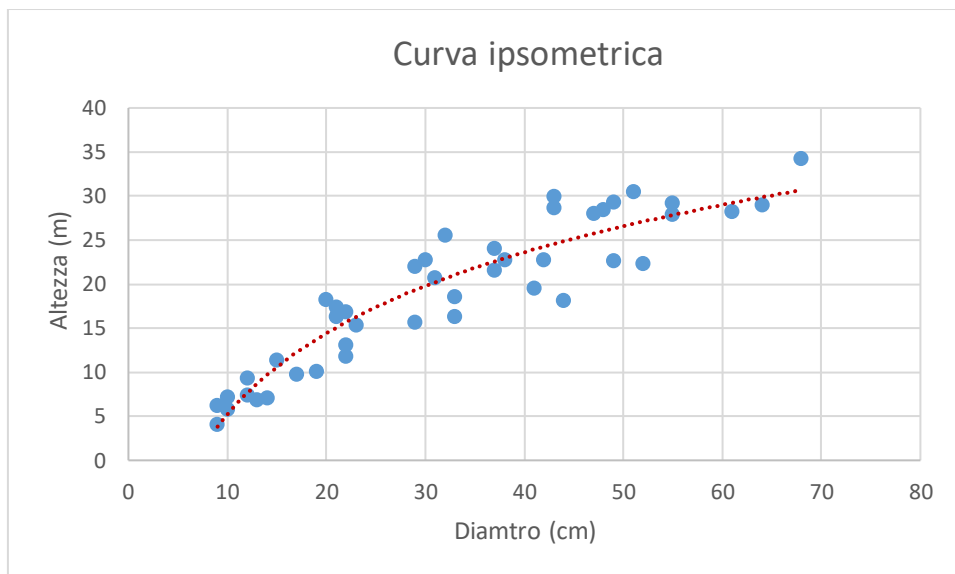


Figura 30. Esempio di curva ipsometrica.

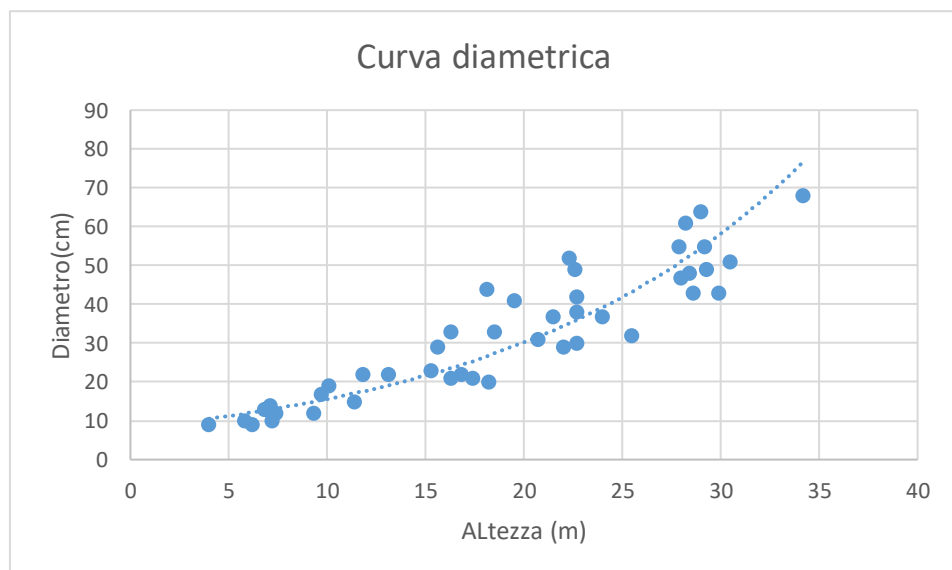


Figura 31. Esempio di curva diametrica.

La funzione tipo che caratterizza le curve ipsometriche è la seguente:

$$Y = A * \ln(x) - B.$$

Mentre la funzione tipo che caratterizza le curve diametriche è:

$$Y = A * e^{(B * x)}.$$

Di seguito è stata riportata la Tabella 6 che riassume i fattori che compongono le funzioni ipsometriche e diametriche riferite a ogni singola specie. È stato inoltre inserito l'errore in valore assoluto (|£|) che è calcolato dalla differenza tra il valore ricavato in campo e il valore ricavato dalla funzione. Come si può notare l'errore medio in valore assoluto è molto basso e quindi accettabile, si tratta di un errore di 2,32 m per le altezze e di 4,10 cm per i diametri.

Specie	Curva ipsometrica			Curva diametrica		
	A	B	Media errore	A	B	Media errore
Abete bianco	13.272	25.344	2.450566513	8.0827	0.0658	5.582436058
Acerò	7.513	5.2429	2.543402609	6.4199	0.0607	3.9151455
Betulla	12.761	23.729	2.439159974	9.7374	0.0532	4.564095368
Faggio	9.7707	12.715	3.137349956	7.4941	0.06	5.605033807
Frassino	6.364	2.5658	2.024350054	9.1644	0.0308	3.944562168
Larice	10.892	15.879	2.541063068	12.562	0.0466	6.315888939
Tiglio	8.2958	7.1743	1.971091951	4.8818	0.0758	3.47937697
Acerò frassineto	7.2816	4.7483	2.127110587	5.401	0.0691	3.540327147
Altre conifere	12.525	22.19	2.272007635	11.586	0.05	1.551461753
Altre latifoglie	7.721	6.4303	2.229544996	5.9046	0.0673	2.119823005
Castagno	3.7798	4.697	1.78832169	5.4497	0.0755	4.564095368

Tabella 6. Fattori che compongono le funzioni ipsometriche e diametriche.

Le elaborazioni dendrometrica effettuata finora serviranno in seguito per mettere a confronto e verificare le differenze con i valori LiDAR; ed infine per verificare che la cubatura realizzata basandosi su dati LiDAR, presenti un margine di errore accettabile rispetto alla cubatura eseguita con dati ricavati dalle Aree di Saggio.

Utilizzando il DSM e il DTM, sono state effettuate una serie di elaborazioni dei dati LiDAR.

Innanzitutto è stato calcolato il CHM dell'area di studio, come mostra la Figura 32; dalla legenda si può notare che le altezze espresse variano da 4 m a 30 m. Sono stati assunti come "No Data" tutti i valori inferiori a 4 m, in quanto la vegetazione con altezze al di sotto di tale valore, solitamente è composta da rinnovazione o da boscaglia con arbusti, quindi insignificanti a livello volumetrico. Il volume infatti risulta essere importante per tale studio e comunque punto di riferimento per la gestione del bosco e per la stesura dei piani di assestamento forestale.

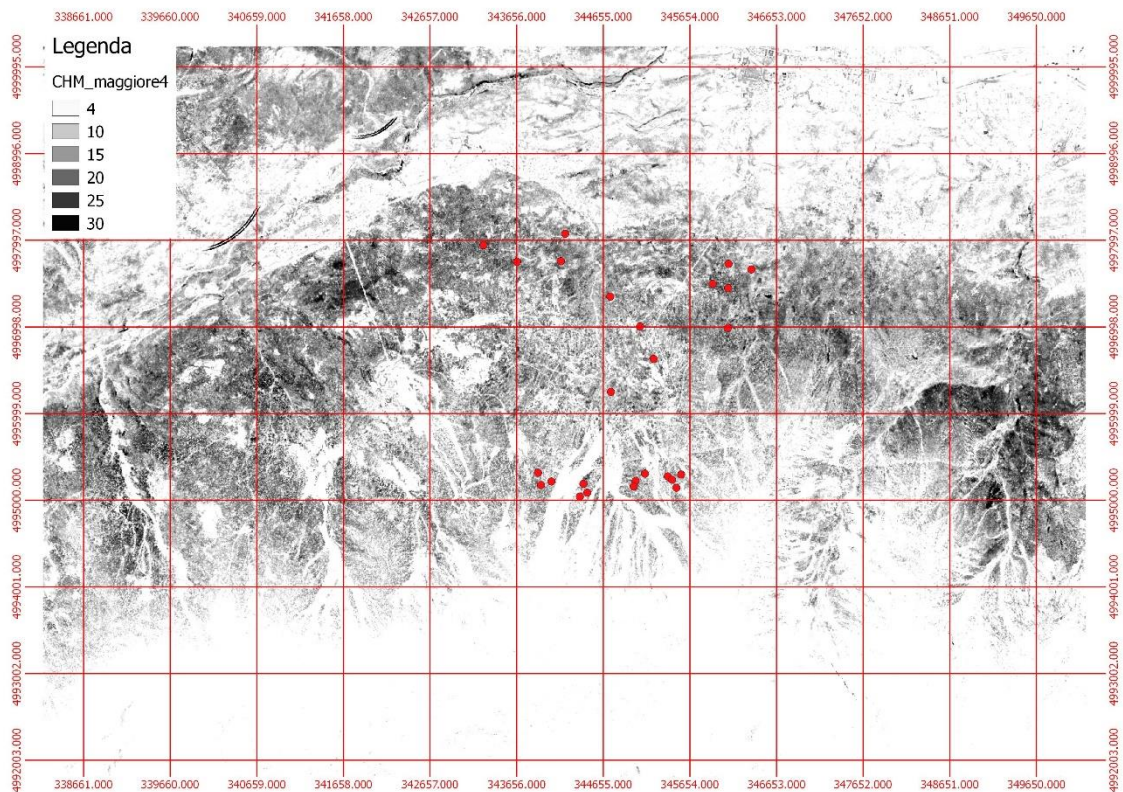


Figura 32. CHM dell'area di studio.

Utilizzando il CHM, sono stati creati i raster dell'esposizione e della pendenza (Fig. 33 e 34), per verificare la posizione delle aree di studio e controllare che fossero quindi rappresentative del territorio in cui sono ubicate. Come si può notare, l'intera area di studio è maggiormente esposta a nord, mentre la pendenza varia maggiormente tra 30 e 40°.

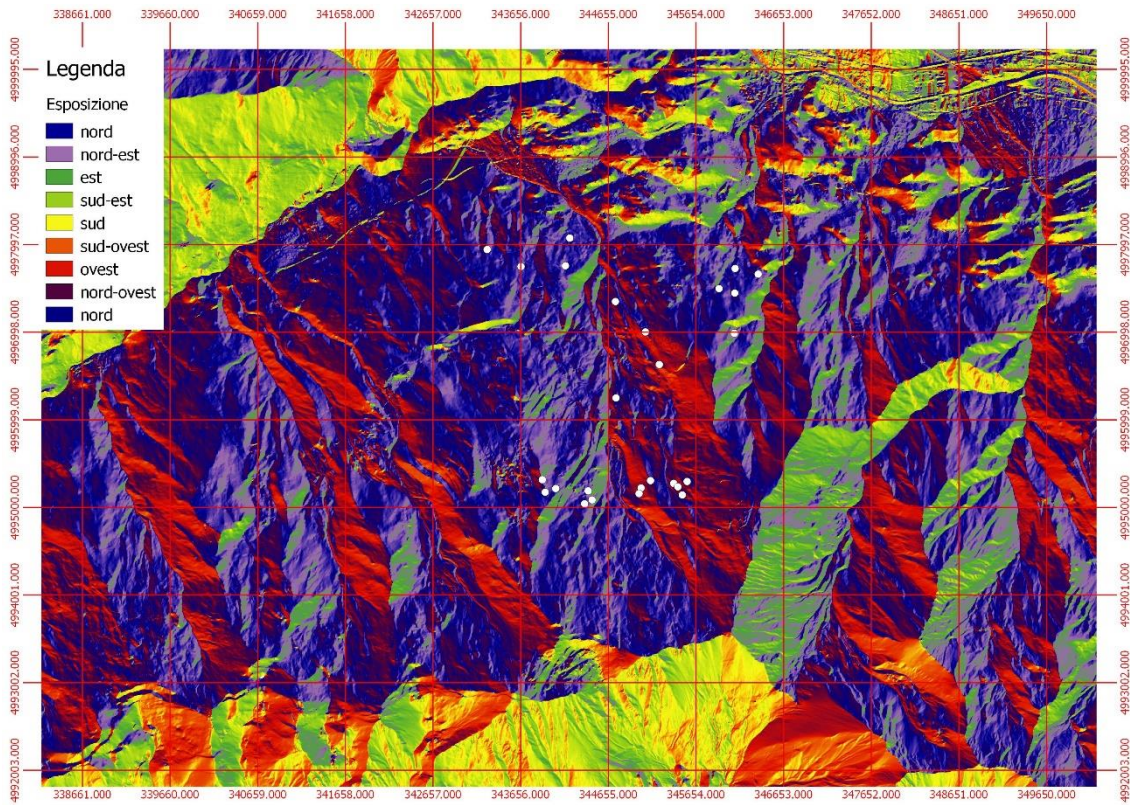


Figura 33. Esposizione dell'area di studio.

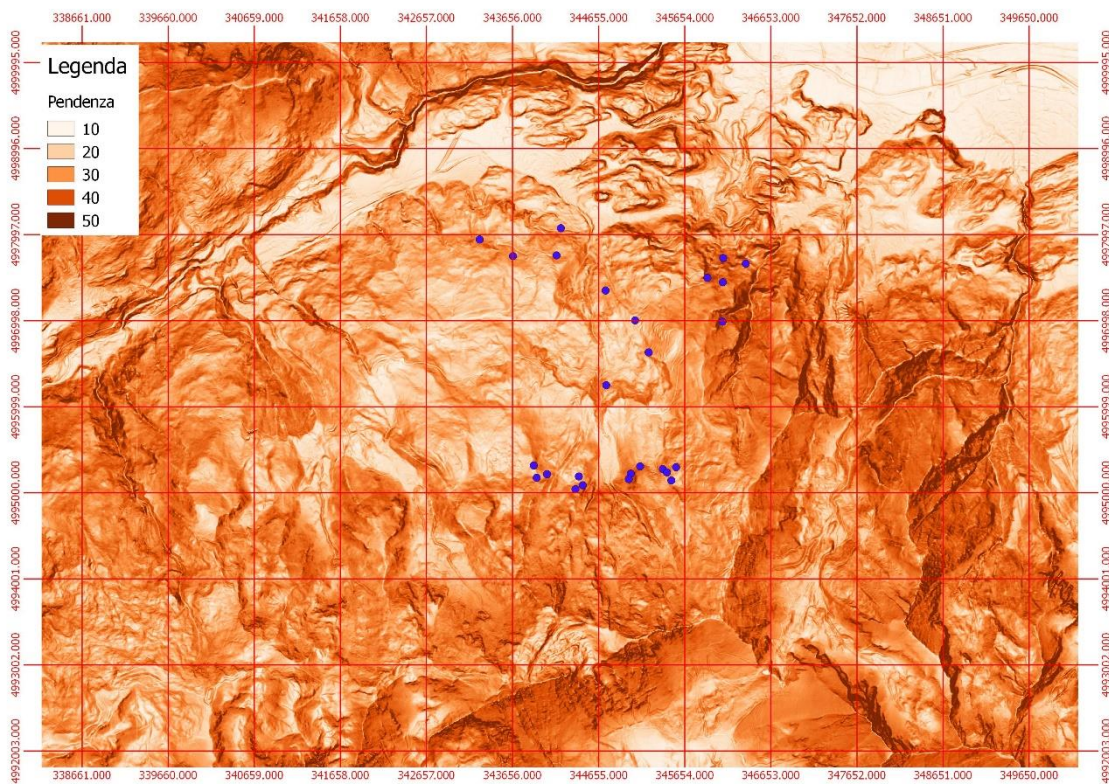


Figura 34. Pendenza dell'area di studio.

Utilizzando il CHM è stato possibile effettuare delle statistiche zonali riferite alle singole aree di saggio così da ricavare l'altezza media, minima e massima.

A questo punto mettendo a confronto i valori di altezza media dendrometrica derivanti dall'analisi dendrometrica e quelli delle statistiche zonali, si è riscontrata una notevole differenza di altezza nelle singole aree di saggio.

Si è quindi proceduto al calcolo dell'altezza LiDAR approssimata per avere un valore più vicino a quello di terra.

Per un miglior confronto oltre all'altezza media si è usata anche quella minima e massima per ogni area di saggio. Tutti i valori sono stati inseriti in un grafico (Fig. 35) dal quale poi è stata interpolata una curva di tendenza rettilinea, in grado di trovare una correlazione tra i diversi valori.

La formula ricavata è: $Y = 1,1599x + 3,9911$.

La funzione rappresentativa della curva di tendenza è stata poi applicata per il calcolo dell'altezza LiDAR corretta, passando così da un errore medio assoluto di 7,19 metri a un errore medio assoluto di 4,7 metri, decisamente più accettabile.

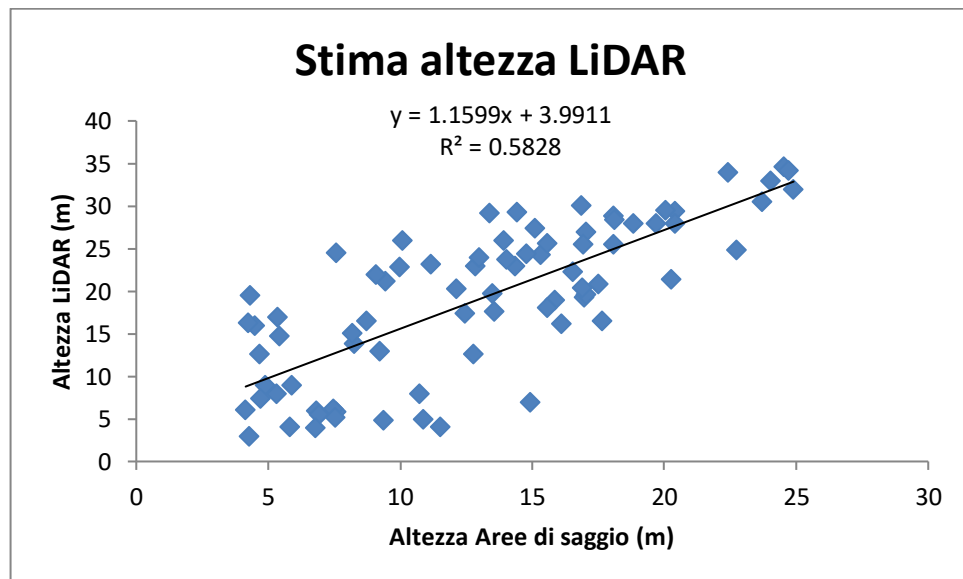


Figura 35. Funzione utilizzata per la correzione dell'altezza LiDAR.

In seguito si è caricato lo shape file della Carta dei Tipi forestali della Regione Piemonte, così da poter individuare per ogni tipo forestale la funzione da applicare per il calcolo del diametro (Fig. 36).

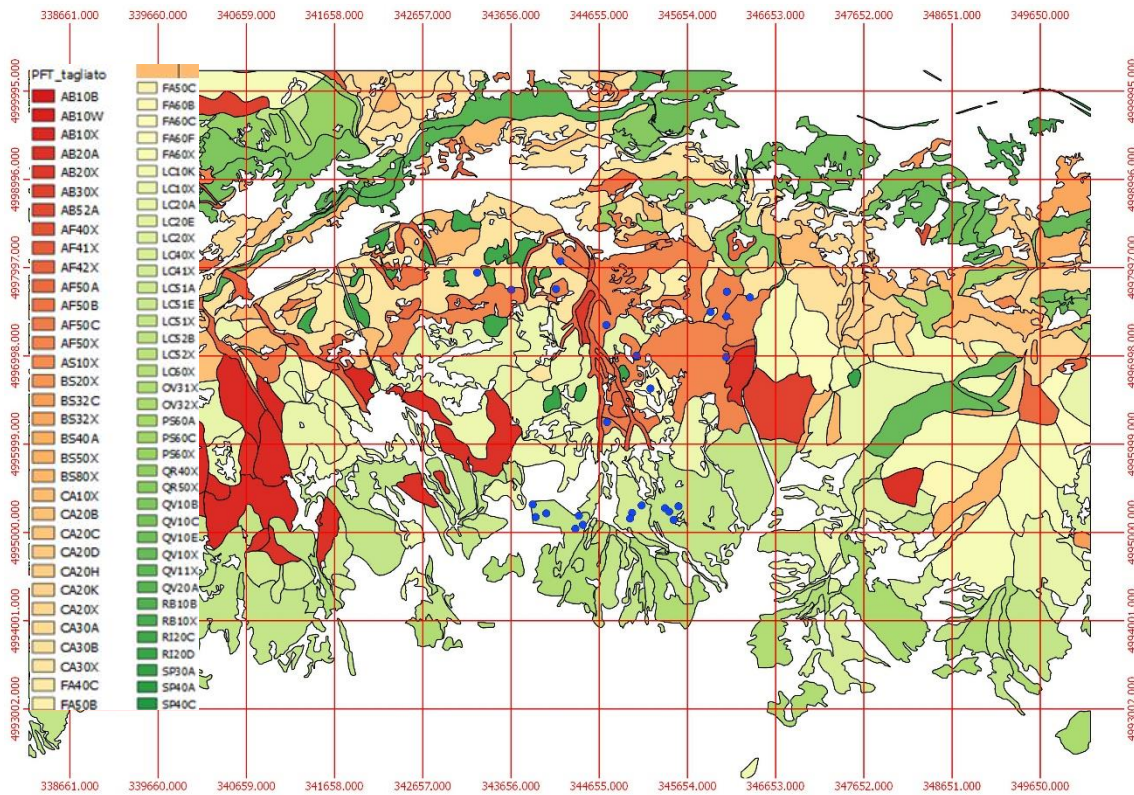


Figura 36. Carta dei tipi forestali.

Anche in questo caso vi sono delle discordanze con ciò che era stato rilevato in campo. Tali differenze sono state riportate nella Tabella 7.

Le disuguaglianze si sono riscontrate nelle seguenti aree di saggio: 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 25, 26 e 27.

Quasi tutte le aree che mostrano differenze con il PFT, presentano attualmente una formazione di acero-tiglio-frassineto. Questo perché tale formazione negli ultimi anni è stata caratterizzata da una forte espansione/ricolonizzazione verso i boschi abbandonati e degradati. Si può quindi affermare che la Carta dei tipi forestali non è aggiornata alle condizioni attuali.

Di conseguenza, per i patch di cui si avevano verità a terra sono state sostituite le tipologie, per i restanti patch si è dato per vero ciò che era indicato sulla Carta.

Tabella 7. Confronto dei Tipi forestali tra i rilievi in campo e la Carta dei tipi Forestali della Regione Piemonte.

Area di saggio	Rilevato in campo		Rilevato da PFT		Curva ipsometrica di riferimento
	Codice Tipi Forestali	Tipo forestale	Codice Tipi Forestali	Tipo forestale	
1	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto	Larice
2	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto	Larice
3	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto	Larice
4	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vaccinieto	Larice
5	AF50X	Acerò-tiglio frassineto di invasione	CA30X	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> delle Alpi	Acerò tiglio frassineto
6	CA30X	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> delle Alpi	CA10X	Castagneto da frutto	Castagno
7	AF50X	Acerò-tiglio frassineto di invasione	LC20A	Lariceto montano	Acerò tiglio frassineto
9	CA30X	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> delle Alpi	CA30X	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> delle Alpi	Castagno
10	AF50X	Acerò-tiglio frassineto di invasione	LC20A	Lariceto montano	Acerò tiglio frassineto
11	AF50X	Acerò-tiglio frassineto di invasione	CA30X	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> delle Alpi	Acerò tiglio frassineto
12	AF50X	Acerò-tiglio frassineto di invasione	CA10X	Castagneto da frutto	Acerò tiglio frassineto
13	AF50X	Acerò-tiglio frassineto di invasione	LC20A	Lariceto montano	Acerò tiglio frassineto

14	AF50X	Acero-tiglio frassineto di invasione	LC20A	Lariceto montano	Acero tiglio frassineto
16	FA60B	Faggeta oligotrofica	LC10X	Lariceto pascolivo	Faggio
17	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice
18	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice
19	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice
20	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice
21	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice
23	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice
25	AF50X	Acero-tiglio frassineto di invasione	FA50B	Faggeta mesotrofica	Acero tiglio frassineto
26	AF50X	Acero-tiglio frassineto di invasione	AB20A	Abetina mesotrofica mesalpica	Acero tiglio frassineto
27	AF50X	Acero-tiglio frassineto di invasione	CA30X	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> delle Alpi	Acero tiglio frassineto
28	LC40X	Lariceto a megaforbie	LC41X	Lariceto a megaforbie	Larice
29	LC40X	Lariceto a megaforbie	LC41X	Lariceto a megaforbie	Larice
30	LC40X	Lariceto a megaforbie	LC41X	Lariceto a megaforbie	Larice

A seguito di tali correzioni, è stato calcolato il diametro, applicando per ogni diverso tipo forestale la formula di riferimento. I fattori delle formule applicate sono state riassunte nella Tabella 8.

Tabella 8. Quale curva dendrometrica utilizzare per i diversi tipi forestali.

Codice tipo forestale	Tipo forestale	Curva dendrometrica da usare	Diametro	
			A	B
AB10B	Abetina eutrofica	Abete	8.083	0.066
AB10W	Abetina eutrofica	Abete	8.083	0.066
AB10X	Abetina eutrofica	Abete	8.083	0.066
AB20A	Abetina mesotrofica mesalpica	Altre conifere	11.59	0.05
AB20X	Abetina mesotrofica mesalpica	Abete	8.083	0.066
AB30X	Abetina oligotrofica mesalpica	Abete	8.083	0.066
AB52A	Abetina endalpica	Abete	8.083	0.066
AF40X	Acerο-tiglio-frassineto di forra	Acerο frassino tiglio	5.401	0.069
AF41X	Acerο-tiglio-frassineto di forra	Acerο frassino tiglio	5.401	0.069
AF42X	Acerο-tiglio-frassineto di forra	Acerο frassino tiglio	5.401	0.069
AF50A	Acerο-tiglio-frassineto d'invasione	Acerο frassino tiglio	5.401	0.069
AF50B	Acerο-tiglio-frassineto d'invasione	Acerο frassino tiglio	5.401	0.069
AF50C	Acerο-tiglio-frassineto d'invasione	Acerο frassino tiglio	5.401	0.069
AF50X	Acerο-tiglio-frassineto d'invasione	Acerο frassino tiglio	5.401	0.069
CA10X	Castagneto da frutto	Castagno	5.45	0.076
CA20B	Castagneto mesoneutrofilo a Salvia glutinosa delle Alpi	Altre latifoglie	5.905	0.067

CA20C	Castagneto mesoneutrofilo a <i>Salvia glutinosa</i> delle Alpi	Altre latifoglie	5.905	0.067
CA20D	Castagneto mesoneutrofilo a <i>Salvia glutinosa</i> delle Alpi	Altre latifoglie	5.905	0.067
CA20H	Castagneto mesoneutrofilo a <i>Salvia glutinosa</i> delle Alpi	Altre latifoglie	5.905	0.067
CA20K	Castagneto mesoneutrofilo a <i>Salvia glutinosa</i> delle Alpi	Castagno	5.45	0.076
CA20X	Castagneto mesoneutrofilo a <i>Salvia glutinosa</i> delle Alpi	Castagno	5.45	0.076
CA30A	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> delle Alpi	Altre latifoglie	5.905	0.067
CA30B	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> delle Alpi	Castagno	5.45	0.076
CA30X	Castagneto acidofilo a <i>Teucrium scorodonia</i> dg Alpi	Castagno	5.45	0.076
FA40C	Faggeta eutrofica delle Alpi	Altre latifoglie	5.905	0.067
FA50B	Faggeta mesotrofica	Altre latifoglie	5.905	0.067
FA50C	Faggeta mesotrofica	Altre latifoglie	5.905	0.067
FA60B	Faggeta oligotrofica	Faggio	7.494	0.06
FA60C	Faggeta oligotrofica	Altre latifoglie	5.905	0.067

FA60F	Faggeta oligotrofica	Altre latifoglie	5.905	0.067
FA60X	Faggeta oligotrofica	Faggio	7.494	0.06
LC10K	Lariceto pascolivo	Larice	12.56	0.047
LC10X	Lariceto pascolivo	Larice	12.56	0.047
LC20A	Lariceto montano	Larice	12.56	0.047
LC20E	Lariceto montano	Altre conifere	11.59	0.05
LC20X	Lariceto montano	Larice	12.56	0.047
LC41X	Lariceto a megaforbie	Larice	12.56	0.047
LC51A	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Altre conifere	11.59	0.05
LC51E	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice	12.56	0.047
LC51X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice	12.56	0.047
LC52B	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice	12.56	0.047
LC52X	Larici-cembreto su rodoreto-vacciniето	Larice	12.56	0.047
LC60X	Lariceto dei campi di massi	Larice	12.56	0.047
PS60A	Pineta mesalpica acidofila di pino silvestre	Altre conifere	11.59	0.05
PS60C	Pineta mesalpica acidofila di pino silvestre	Altre conifere	11.59	0.05
PS60X	Pineta mesalpica acidofila di pino silvestre	Altre conifere	11.59	0.05
QR40X	Querceto xero-basifilo di roverella delle Alpi	Altre latifoglie	5.905	0.067

QR50X	Querceto mesoxerofilo di roverella delle Alpi	Altre latifoglie	5.905	0.067
QV10B	Querceto di rovere a <i>Teucrium scorodonia</i>	Altre latifoglie	5.905	0.067
QV10C	Querceto di rovere a <i>Teucrium scorodonia</i>	Altre latifoglie	5.905	0.067
QV10E	Querceto di rovere a <i>Teucrium scorodonia</i>	Altre latifoglie	5.905	0.067
QV10X	Querceto di rovere a <i>Teucrium scorodonia</i>	Altre latifoglie	5.905	0.067
QV11X	Querceto di rovere a <i>Teucrium scorodonia</i>	Altre latifoglie	5.905	0.067
QV20A	Querco-tiglieto	Altre latifoglie	5.905	0.067
RB10B	Robinetto	Altre latifoglie	5.905	0.067
RB10X	Robinetto	Altre latifoglie	5.905	0.067
RI20C	Rimboschimento del piano montano	Larice	12.56	0.047
RI20D	Rimboschimento del piano montano	Altre conifere	11.59	0.05
SP30A	Pioppeto di pioppo nero	Altre latifoglie	5.905	0.067
SP40A	Pioppeto di pioppo bianco	Altre latifoglie	5.905	0.067
SP40C	Pioppeto di pioppo bianco	Altre latifoglie	5.905	0.067

Un ulteriore parametro necessario per la cubatura è la densità. Tale parametro è stato calcolato, ponendo come base un CHM con pixel 2 x 2 m. Come anticipato in precedenza, anche in questo caso sono state riscontrate grandi differenze tra la densità LiDAR e la densità rilevata in campo.

È stato quindi necessario effettuare una serie di approssimazioni per il raggiungimento di un valore LiDAR accettabile.

Innanzitutto è stata effettuata una normalizzazione del valore di densità LiDAR, si è poi calcolata la differenza tra il valore di campo e il valore normalizzato, si è infine deciso di trovare differenti funzioni di approssimazione per le conifere e le latifoglie (Fig. 37 e 38). Ponendo il valore normalizzato sulle ascisse e il valore di differenza sulle ordinate, si è estrapolata una linea di tendenza rettilinea in grado di stimare una buona differenza tra i valori, così da poter calcolare una densità stimata LiDAR accettabile. In Tabella 9 sono riassunti i calcoli effettuati durante tali passaggi e si può notare che l'errore medio percentuale è del 30,8% per le latifoglie e 23,97% per le conifere. Un errore maggiore per le latifoglie è prevedibile in quanto non presentando una chioma con una punta ben definita ed essendo formazioni caratterizzate da un sotto bosco abbondante, è inevitabile che il LiDAR con una densità di punti bassa come quello utilizzato in questo studio, non possa individuare in modo preciso il numero di piante.

Tabella 9. Riassunto dei calcoli effettuati per la correzione del valore di densità.

Famiglia	Normalizzazione	Differenza stimata	Densità stimata	Errore medio percentuale
Latifolia	(Valore LiDAR/36) x 1429	$Y = -0.7818 * x + 604.71$	Valore normalizzato + Differenza stimata	30.8%
Conifere		$Y = -937.2 * LN x + 5709.3$		23.97%

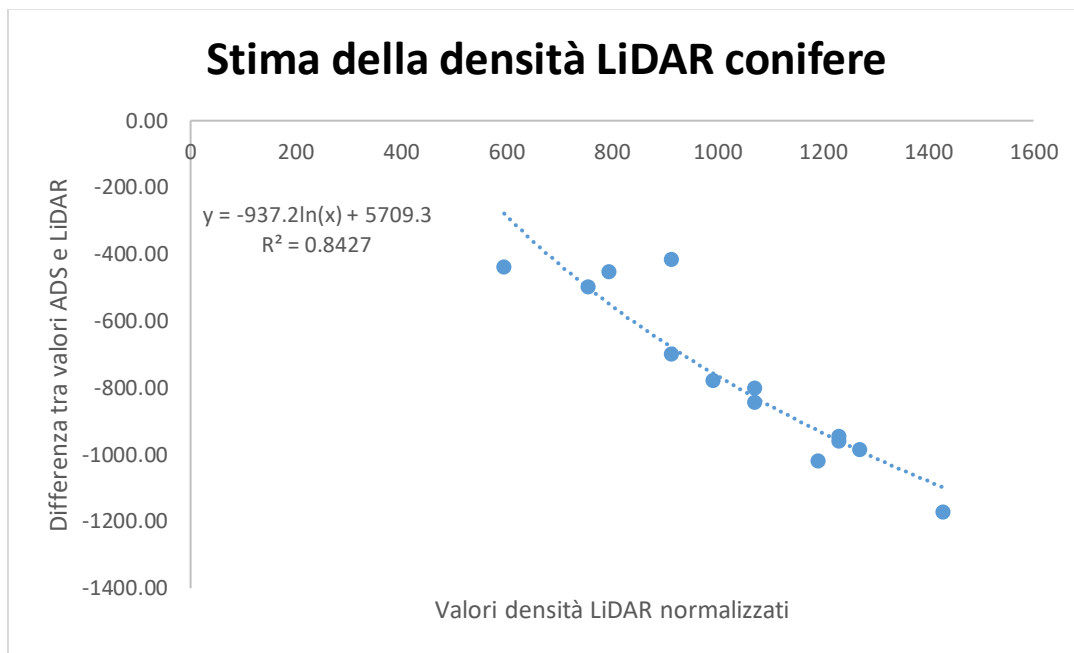


Figura 37. Funzione di correzione del valore di differenza per le conifere.

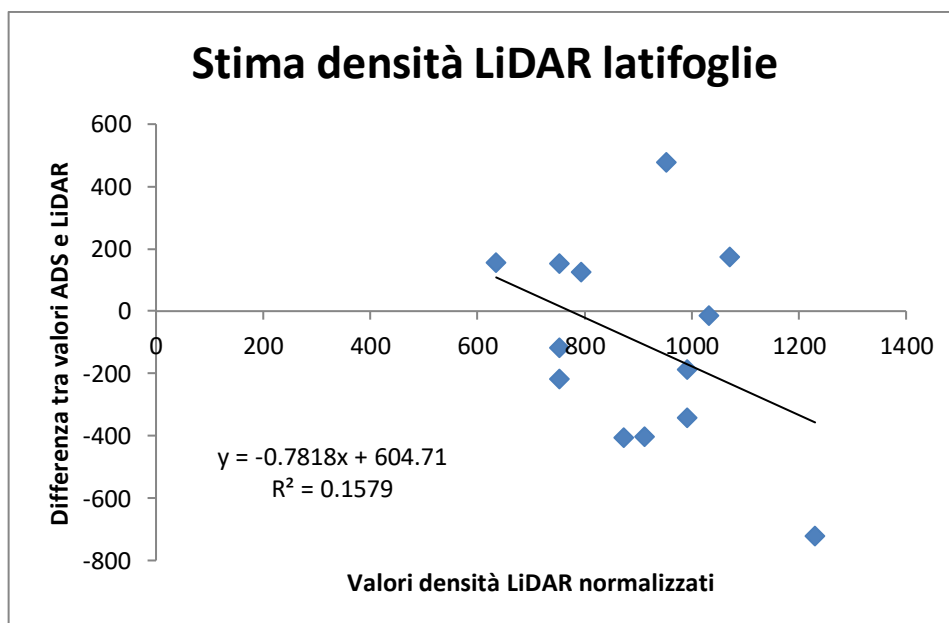


Figura 38. Funzione di correzione del valore di differenza delle latifoglie.

Infine si sono calcolate le densità corrette su tutta l'area di studio e si è creata la mappa delle densità mostrata nella Figura 39.

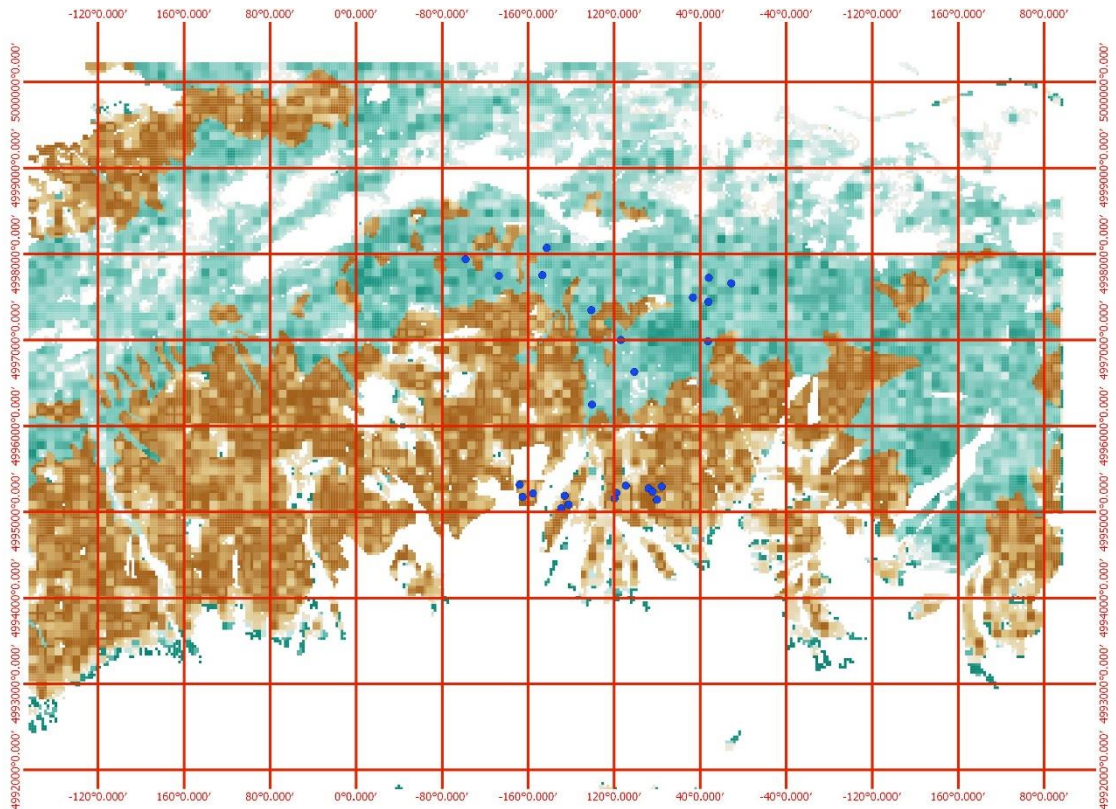


Figura 39. Mappa delle densità.

Si descrivono ora gli ultimi passaggi effettuati. Avendo a disposizione tutti i parametri necessari per il calcolo del volume, ovvero altezza, diametro e densità, si è proceduto quindi con la cubatura di ogni area di saggio, paragonando poi i volumi calcolati con i dati di campo e con i dati LiDAR.

Anche in questo caso si è riscontrata una differenza molto elevata, più precisamente un errore medio percentuale in valore assoluto di 61,4%.

Si è quindi ricercata la relazione che riducesse l'errore percentuale, mettendo in relazione la somma dei diametri in centimetri e delle altezze in metri dei dati LiDAR e i volumi calcolati con dati a terra. Graficamente sono state individuate due curve rappresentative separando latifoglie e conifere, i valori outlire sono stati eliminati. I passaggi effettuati sono descritti dalle due tabelle (Tabella 10 e 11) e dai due grafici seguenti (Fig. 40 e 41).

Area di saggio	Tipo	Altezza Lidar (m)	Diametro Lidar (cm)	Somma diametro e altezza	Volume Ground (m ³)	Volume LiDAR corretto (m ³)	£	£ %
1	Larice cembreto	16.703	27.4	44.062	343.003	291.6718223	51.331	14.965
2	Larice cembreto	15.284	25.6					
3	Larice cembreto	18.7	30.0	48.728	301.871	317.291	15.420	5.108
4	Larice cembreto	16.285	26.8	43.116	278.397	286.425	8.028	2.883
17	Larice cembreto	17.803	28.8	46.601	299.531	305.664	6.133	2.048
18	Larice cembreto	14.45	24.6	39.083	234.928	263.838	28.910	12.306
19	Larice cembreto	12.921	22.9	35.86	235.764	245.513	9.750	4.135
20	Larice cembreto	15.204	25.5	40.717	302.135	273.033	29.102	9.632
21	Larice cembreto	20.002	31.9	51.908	355.059	334.519	20.540	5.785
23	Larice cembreto	17.268	28.1	45.357	262.657	298.825	36.168	13.770
28	Larice cembreto	16.954	27.7	44.636	337.305	294.846	42.459	12.588
29	Larice cembreto	21.384	34.0	55.412	328.804	353.305	24.501	7.452
30	Larice cembreto	20.286	36.3					

Tabella 10. Calcolo del volume LiDAR corretto per le conifere.

Area di saggio	Tipo	Altezza Lidar (m)	Diametro Lidar (cm)	Somma diametro e altezza	Volume Ground (m3)	Volume LiDAR corretto (m3)	£	£ %
5	Acero frassino tiglio	14.621	14.8	29.455	228.742	145.802	82.94	36.259
6	Castagno	18.626	22.2	40.865	165.631	244.120	78.489	
7	Acero frassino tiglio	24.831	30.0	54.869	296.502	388.206	91.704	30.929
9	Castagno	23.943	33.2	57.167	603.621	414.106	189.51	31.396
10	Acero frassino tiglio	22.524	25.6	48.135	263.446	315.896	52.45	19.909
11	Acero frassino tiglio	15.983	16.3	32.281	115.919	168.422	52.503	45.293
12	Acero frassino tiglio	23.202	26.8					
13	Acero frassino tiglio	18.223	19.0	37.249	203.609	210.990	7.3817	3.6254
14	Acero frassino tiglio	21.6199	24.1					
16	Faggio	19.985	24.9	44.844	402.003	282.570	119.43	29.709
25	Acero frassino tiglio	26.309	34.7	60.997	400.393	458.613	58.22	14.541
26	Acero frassino tiglio	24.844	30.1	54.908	476.707	388.640	88.067	18.474
27	Acero frassino tiglio	17.936	18.7					

Tabella 11. Calcolo del volume LiDAR corretto per le latifoglie.

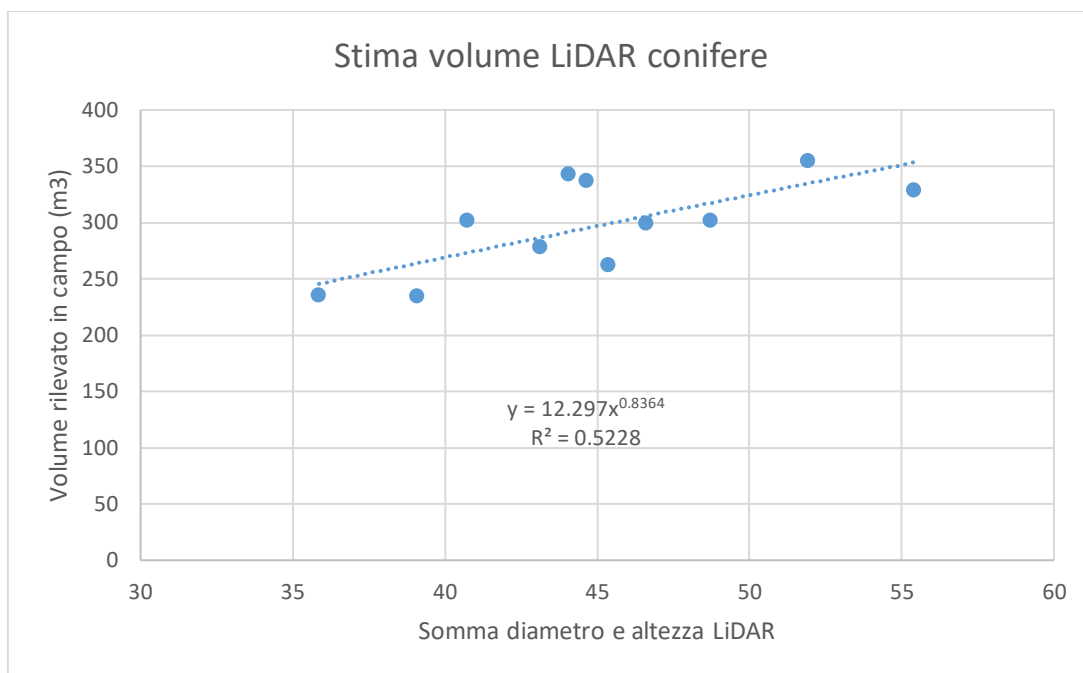


Figura 40. Curva stimata per il calcolo del Volume LiDAR corretto per le conifere.

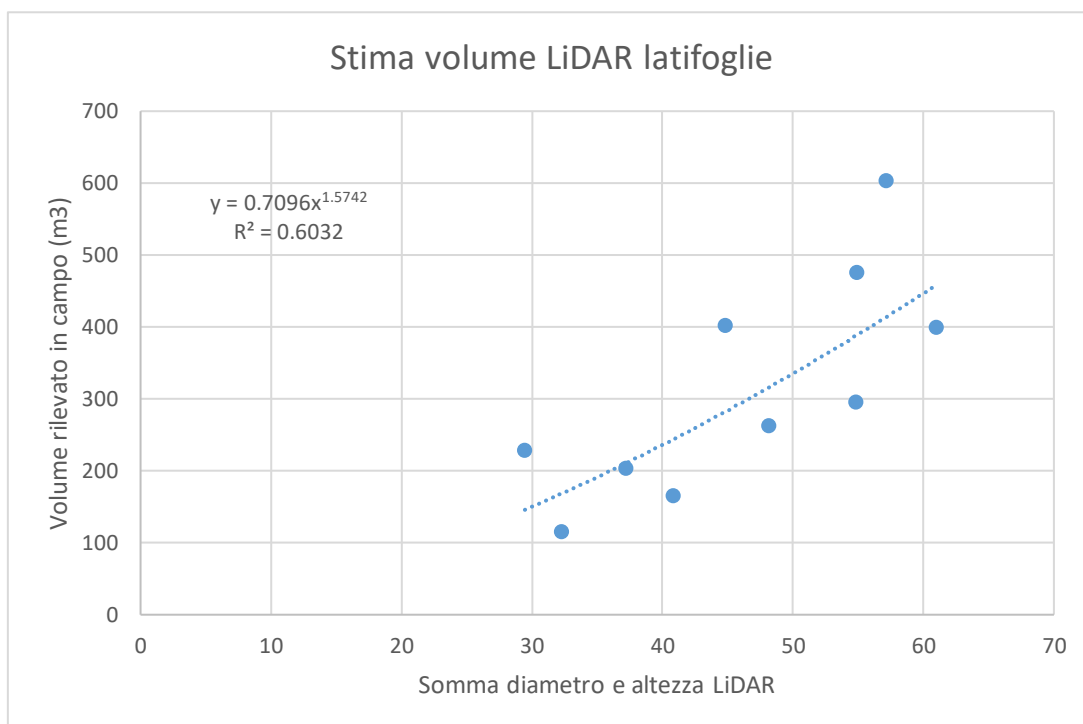


Figura 41. Curva stimata per il calcolo del Volume LiDAR corretto per le latifoglie.

A seguito di tali approssimazioni, l'errore medio percentuale in valore assoluto, risulta essere pari a 8,24% per le conifere e 25,57% per le latifoglie.

Le conifere presentano un errore medio percentuale molto basso, che non ci si aspettava. Le latifoglie invece, come previsto, presentano invece un errore medio percentuale maggiore, a causa delle stesse problematiche esposte per la densità, risulta comunque essere un valore accettabile per questo studio.

L'analisi si conclude con il calcolo del volume per tutti i patch dell'area di studio e la produzione della mappa dei volumi mostrata in Figura 42. Come si può notare i volumi variano da un minimo di 70 m^3 e un massimo di 1.500 m^3 .

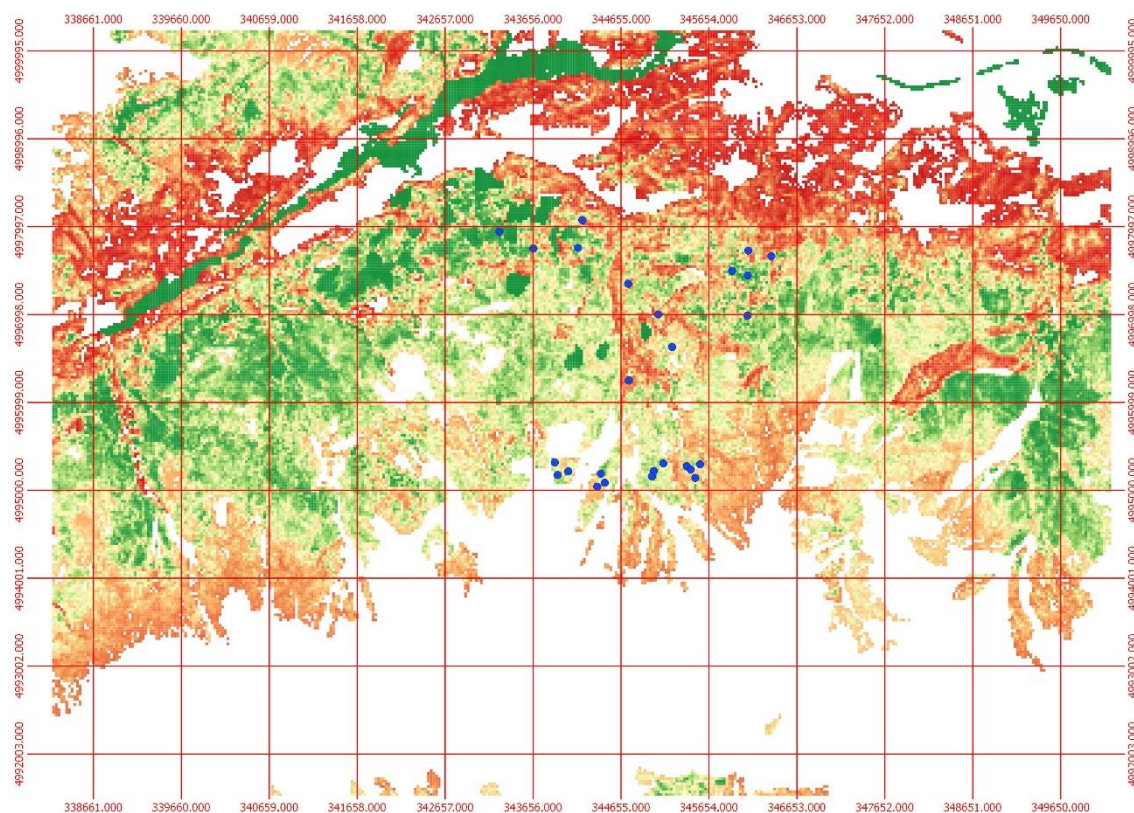


Figura 42. Mappa dei volumi. Il rosso esprime un valore variabile tra 70 e 150 m^3 , il giallo un volume tra 150 e 270 m^3 e il verde un volume tra 270 e 1500 m^3 .

Più precisamente dai grafici (Fig. 43 e 44) e dalle tabelle (12 e 13) seguenti si può notare come l'andamento dei volumi, sia a gaussiana. Il maggior numero di volumi ricade nel range $200\text{-}600 \text{ m}^3$.

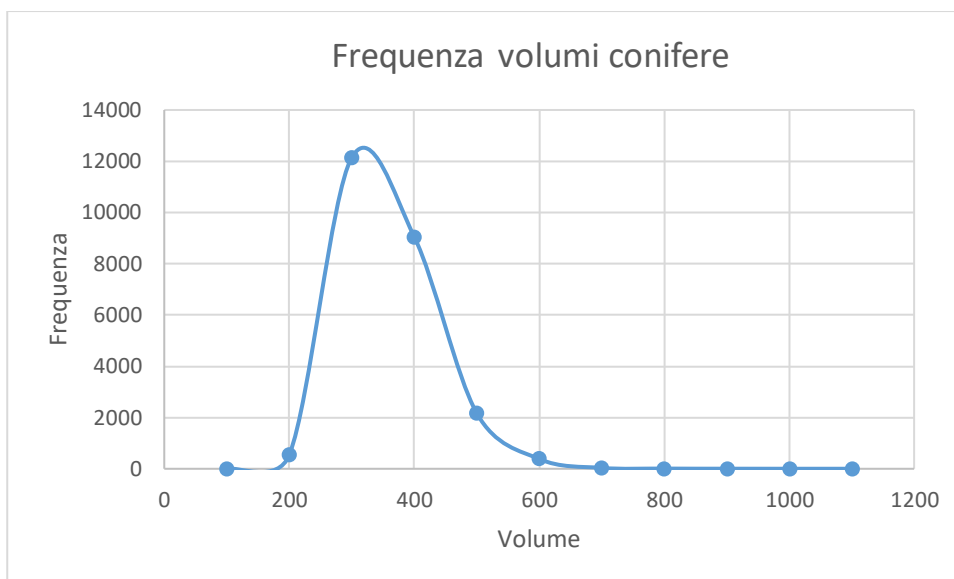


Figura 43. Andamento a gaussiana dei volumi delle conifere.

Classi	Frequenza conifere
100	0
200	540
300	12143
400	9054
500	2171
600	383
700	34
800	8
900	3
1000	1
1100	1
Patch tot	24338

Tabella 12. Frequenza relativa a ogni classe volumetrica delle conifere.

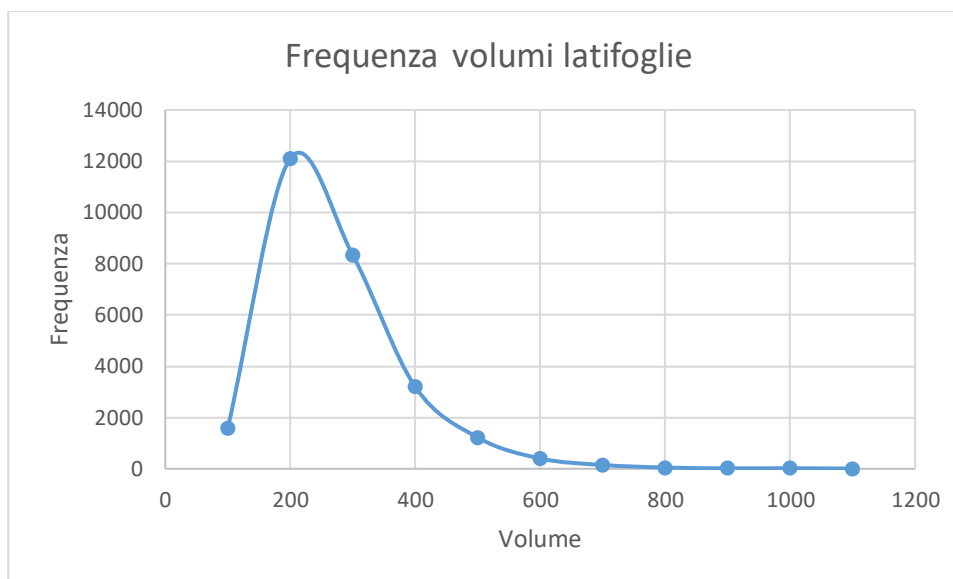


Figura 44. Andamento a gaussiana dei volumi delle latifoglie.

Classi	Frequenza latifoglie
100	1586
200	12110
300	8341
400	3195
500	1220
600	401
700	148
800	48
900	17
1000	21
1100	8
1200	7
1300	7
1400	1
1500	2
1600	4
1700	3
1800	3
1900	1
2300	2
2400	3
2500	2
2900	4
3100	1
5100	1
7300	1
Patch tot	27120

Tabella 13. Frequenza relativa a ogni classe volumetrica delle latifoglie.

4. CONCLUSIONE

In questo studio è stato confermato il contributo che i dati LiDAR possono fornire alla pianificazione forestale, proponendo soluzioni che, seppur non ancora ottimali, potranno essere applicate durante la redazione di Piani di Assestamento. Le elaborazioni condotte in ambiente GIS, che non hanno fatto ricorso quindi a software particolarmente specializzati, hanno consentito di estrarre informazioni e di ottenere cubature accettabili, attraverso i quali il tecnico pianificatore potrà impostare la realizzazione ex-novo o la revisione di piani di gestione forestali e pianificare gli interventi selvicolturali più opportuni.

Le altezze medie ottenute con l'uso di dati LiDAR hanno mostrato una bassa correlazione con i rilievi effettuati sul campo. Queste differenze sono da imputare in parte al LiDAR stesso e in parte agli anni trascorsi tra il rilievo LiDAR e il rilievo in campo. Sono stati raggiunti valori accettabili a seguito delle approssimazioni effettuate. Tuttavia, dall'analisi delle altezze non è possibile ricavare l'errore esatto delle stime ottenute con i dati LiDAR, per il semplice fatto che in generale le altezze ricavate in campo, sia per stima a vista sia per misura con l'uso dell'ipsometro, sono soggette a loro volta a errori difficili da quantificare.

I valori di densità ricavati dal LiDAR hanno prodotto errori non trascurabili soprattutto nelle formazioni di latifoglie e nelle formazioni miste, in quanto gli individui presenti negli strati inferiori sono sovrapposti da altri alberi nel piano dominante. Si è riusciti comunque ad approssimare i valori, in modo tale che fossero accettabili per tale studio.

Per quanto riguarda l'elaborato più importante, la Carta dei Volumi, si è partiti per la cubatura LiDAR da dati già approssimati e con discrete differenze da quelli rilevati in campo. Per questo motivo ad una prima analisi l'errore riscontrato risultava del tutto inaccettabile. Sono state applicate però buone approssimazioni che hanno ridotto di molto l'errore, fino a valori inattesi.

Dall'analisi finale, risulta che i dati LiDAR a bassa risoluzione sono più efficienti per formazioni di conifere, in quanto la densità risulta essere più corretta per l'assenza di denso sottobosco, cosa invece molto comune in formazioni di latifoglie.

Sicuramente questo studio ha sottolineato il fatto che utilizzando dati LiDAR a bassa densità e non specifici per il settore, sono ovviamente necessarie delle verità a terra per poter applicare correzioni ai valori LiDAR.

Il lavoro non aveva comunque la pretesa di portare a delle conclusioni certe ed evidenti, ma intendeva esplorare le possibili applicazioni assestamentali dei dati LiDAR tramite procedure operative alla portata dei professionisti forestali.

L'adozione di dati LiDAR non deve essere intesa quindi come sostituzione del fondamentale ruolo dell'analisi esperta del professionista, poiché esistono molte situazioni articolate e di transizione difficilmente modellizzabili con l'applicazione di indici di derivazione algebrica tramite GIS. I sopralluoghi e i rilevamenti sul terreno,

infatti, forniscono informazioni e “punti di vista” difficilmente surrogabili con questo sistema di telerilevamento. L’impiego del LiDAR, piuttosto, va visto nel senso della costruzione di un sistema di supporto alle decisioni, creando delle sinergie per migliorare la percezione e l’analisi dell’ambiente da pianificare.

Infine, le tecnologie utilizzate nei sistemi LiDAR si stanno evolvendo in maniera molto rapida. Negli ultimi anni, infatti, si è registrato un continuo progresso, ed è previsto che in futuro tale sviluppo tenderà ad aumentare. Il settore forestale può beneficiare dell’evoluzione dei sensori LiDAR, in quanto si determina una maggiore capacità di raccolta dei dati e l’utilizzo di nuove tecniche che influiscono direttamente sul costo di acquisizione dei dati, riducendolo e favorendo un mercato più accessibile. Per tali motivi, però, è necessario uno sviluppo parallelo dei professionisti del settore forestale allo scopo di stare al passo con le innovazioni tecnologiche.

5. RINGRAZIAMENTI

Se sono arrivata fino a questo punto, il merito non è esclusivamente mio ma anche di tutti coloro che mi circondano e che hanno collaborato con me, ognuno a suo modo, al raggiungimento di questo traguardo. Trovo giusto dunque ringraziare tutte le persone che mi hanno accompagnato fino a qui. Il primo pensiero va al mio ragazzo Giorgio, grazie per avermi sopportata e supportata per tutto questo tempo. Non sarei mai riuscita a superare con serenità molti momenti degli ultimi cinque anni; grazie per i consigli e per sapere come tranquillizzarmi nei momenti difficili.

Un enorme grazie va ovviamente ai miei genitori e a mia sorella Silvia e suo marito Marco, senza i quali certamente non sarei la persona che sono. Un infinito grazie non solo per avermi permesso di intraprendere questo percorso ma soprattutto per esserci sempre stati, per avermi sostenuto in ogni circostanza sopportando i miei repentini cambi di umore e per avermi aiutato a crescere non solo attraverso i vostri consigli ma anche attraverso le vostre critiche.

Per quanto riguarda la stesura di questa tesi non è facile citare e ringraziare, in poche righe, tutte le persone che ne hanno contribuito allo sviluppo. La mia gratitudine va a tutto il personale e alla dirigenza del CFAVS per la cordialità con cui sono stata accolta, per il supporto tecnico ricevuto e per avermi fornito documenti e consigli indispensabili per l'elaborazione del mio studio.

In particolare voglio rivolgere un ringraziamento speciale al signor Flavio che mi ha assistito direttamente in questo lavoro affiancandomi nella raccolta dei dati, un aiuto veramente insostituibile, consigliandomi e indirizzarmi nel mio lavoro di rilievo. Infine, ma non per questo meno importanti, voglio ringraziare gli amici che hanno condiviso con me questo percorso sia formativo che di vita.

Grazie al mio coinquilino speciale, Eugenio per avermi sopportato in quest'anno di convivenza, per aver condiviso con me tanti momenti divertenti e per avermi regalato indimenticabili momenti di follia.

Grazie alla mia immancabile compagna di studi Eleonora, per essermi stata vicina sia nei momenti difficili, sia nei momenti felici, per essere stata la migliore coinquilina che si possa desiderare e per essere un'amica sincera, unica e speciale.

Un grazie ai miei amici di sempre: Pierluigi, Mattia, Alice e Chanel; grazie per avermi fatto vivere momenti unici, indimenticabili e che rimarranno nel mio cuore per sempre. Senza tutti voi non sarebbe stato lo stesso, GRAZIE!

6. ALLEGATI

ALLEGATO 1



RIPRESA AEREA ICE 2009-2011 - DTM25

Identificazione

- Titolo: RIPRESA AEREA ICE 2009-2011 - DTM25.
- Formato di presentazione: Immagine digitale.
- Identificatore unico di risorsa:
r_piemon:f4b00ea3-6e98-4a04-a2ae-bc5d4f285aed_resource.
- Id livello superiore:
r_piemon:f4b00ea3-6e98-4a04-a2ae-bc5d4f285aed_resource.

Altri dettagli

- Descrizione: Il DTM copre tutto il territorio regionale ed è stato acquisito con metodologia uniforme (LIDAR) in standard di livello 4. Il DTM originale (RIPRESA AEREA ICE 2009-2011 - DTM) è stato generalizzato per interpolazione su una griglia (passo) di 25 m.
- Tipo di rappresentazione spaziale: Dati raster.
- Lingua dei metadati: ita.
- Set dei caratteri dei metadati: utf8.

Informazioni supplementari

- Categoria Tematica: Mappe di base - Immagini - Copertura terrestre.
- Data Creazione: 2011-07-28.

Responsabile dei dati

- Nome dell'Ente: Regione Piemonte - A1613A - Sistema informativo territoriale e ambientale.
- Telefono: +390114321376.
- E-mail: cartografico@regione.piemonte.it.
- Sito: <http://www.regione.piemonte.it/territorio/cartografia/index.htm>.
- Protocollo: WWW:LINK-1.0-http—link.
- Ruolo: Proprietario.

Risoluzione spaziale

- Denominatore: 25000.

Vincoli sui dati

- Limitazione d'uso:
http://www.datigeo-piem-download.it/direct/Geoportale/RegionePiemonte/Licenze/DTM25_2009-2011_Piemonte_ICE_licenzaCC25BY.pdf.

Estensione spaziale

- Longitudine Ovest 6.62
- Longitudine Est 9.21
- Latitudine Sud 44.06
- Latitudine Nord 46.459999084472656

Qualità e validità

- Livello di qualità: Dataset
- Genealogia:
- Volo aereofotogrammetrico con rilievo LiDAR (Leica ALS)
- Quota di volo relativa 4500 m
- Ricoprimento long. Tra il 55% e il 70%
- Processamento dei dati GPS/INS
- Filtraggio e classificazione dei dati LiDAR
- Editing manuale dei dati LiDAR classificati
- Ottenimento della nube di punti XYZ
- Trasformazione al sistema di riferimento ETRS89/UTM-zone32n
- Interpolazione su griglia regolare (5m)
- Generalizzazione su griglia regolare (25m)
- Accuratezza posizionale: 2 (m)
- Grado di conformità: conforme

CRS

- Identificatore unico di risorsa: WGS84/UTM 32N

ALLEGATO 2



Aggiornamento carta forestale 2016

Quadro di sintesi

Nel 2015 la Regione Piemonte ha incaricato IPLA S.p.A. di aggiornare il limite del bosco e delle altre superfici forestali, riferiti alla carta forestale inserita nel SIFOR, risalente all'anno 2000, operando in parallelo allo sviluppo del nuovo Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi di carbonio (INFC: <http://www.sian.it/inventarioforestale/>) realizzato nel 2015. Si evidenzia che la base di fotointerpretazione per entrambi i lavori (revisione cartografica e inventario forestale nazionale) è rappresentata da copertura aerofotogrammetrica del 2010.

La nuova carta forestale è convenzionalmente denominata, in base all'anno di conclusione dei lavori, come "Carta forestale (Edizione 2016)".

Dal rilievo cartografico effettuato con fotointerpretazione, seguito da locali e mirati rilievi in campo, risulta che la superficie forestale complessiva del Piemonte al 2016 è di 976.953 ha, ripartita come indicato nella Tabella 1. Rispetto alla carta forestale (convenzionalmente datata come anno medio il 2000) presente nel SIFOR (<http://www.sistemapiemonte.it/cms/privati/territorio/servizi/526-sistema-informativo-forestale-regionale>) elaborata con la redazione degli studi per i Piani Forestali Territoriali, per i soli boschi, si è avuto un incremento di 57.854 ha, pari al 6,6%.

Rispetto ad altre realtà regionali italiane, le superfici con copertura arboreo-arbustiva <20%, classificabili come forestali secondo la definizione FAO FRA 2000, in Piemonte sono circa 9.300 ha (circa 1% dei boschi), localizzate prevalentemente ai limiti superiori della vegetazione arborea, in aree con forti limiti stazionali (rupi boscate, macereti) o di transizione verso pascoli o coltivi abbandonati in aree montane.

Tali dati sono in linea con le proiezioni dell'INFC (anno 2015), che per il Piemonte censisce una superficie forestale di poco al di sotto del milione di ettari.



L'arboricoltura da legno ha avuto una diminuzione generale, quantificabile in circa 13.000 ha, dovuta principalmente alla riduzione della pioppicoltura per minore redditività e in parte all'utilizzazione degli impianti di arboricoltura da legno a ciclo medio-lungo allo scadere degli impegni colturali e di contribuzione.

Superfici	Carta forestale - edizione 2016			Carta forestale (SIFOR) 2000		INFC 2005* (ettari)	Proiezione INFC 2015** (ettari)
	ettari		%	ettari	%		
Superficie territoriale regionale		2.538.479					
Superficie forestale	Boschi (L.R. 4/2009)	932.514	37	874.660	34	870.594	955.000
	Altre superfici forestali (FRA2000)	9.374	0,4	n.d.		-	-
	Arboricoltura da legno	35.065	1	48.206	2	-	-
	Totale	976.953	38,4	922.866	36	940.516	-



Il rilievo cartografico ha portato a delimitare complessivamente 941.888 ettari per l'insieme costituito da boschi e altre superfici forestali; di questi, i $\frac{3}{4}$ sono costituiti da 5 Categorie forestali delle 21 presenti in Piemonte: Castagneti (22%), Faggete (15%), Robineti (12%), Lariceti e Cembrete (10%) e Boscaglie pioniere e d'invasione (8%). Interessante è notare come l'apporto dato dalle altre superfici forestali è significativo solo per le Categorie dei Lariceti-Cembrete e delle Boscaglie pioniere e d'invasione, che costituiscono spesso i prodromi al ritorno del bosco.

Categorie forestali		Carta forestale - edizione 2016		
		Boschi (art. 3 L.R. 4/2009)	Altre superfici forestali (FRA2000)	Totale
Castagneti	CA	206.582	415	206.997
Faggete	FA	141.288	311	141.599
Robineti	RB	117.379	104	117.483
Lariceti e Cembrete	LC	89.164	3.369	92.533
Boscaglie pioniere e d'invasione	BS	72.660	2.335	74.995
Acero-tiglio-frassineti	AF	46.017	453	46.470
Querceti di roverella	QR	45.883	94	45.977
Querceti di rovere	QV	40.548	351	40.898
Querceto-carpineti	QC	36.486	-	36.486
Arbusteti subalpini	OV	32.282	766	33.048
Rimboschimenti	RI	20.099	290	20.389
Abetine	AB	15.175	-	15.175
Pinete di pino silvestre	PS	14.875	78	14.952
Saliceti e pioppeti ripari	SP	14.199	32	14.231
Orno-ostrieto	OS	14.087	41	14.128
Peccete	PE	9.264	28	9.292
Alneti planiziali, collinari e montani	AN	4.684	-	4.684
Cerrete	CE	4.367	3	4.370
Arbusteti planiziali collinari e montani	AS	4.122	603	4.726
Pinete di pino montano	PN	2.669	102	2.769
Pinete di pino marittimo	PM	683	-	683
Totale		932.514	9.376	941.888



ALLEGATO 3

	I PIANI FORESTALI AZIENDALI	
---	------------------------------------	---

FUSTALIA		
DESCRIZIONE	STADIO DI SVILUPPO	CODICE
Altezza degli alberi compresa tra 30 e 200 cm (in funzione della specie), diametro variabile, elevata mortalità naturale; da adottare anche per giovani rimboschimenti.	<i>Novelletto</i>	<i>FNO</i>
Stadio di sviluppo successivo al novelletto in cui tutti gli alberi hanno la stessa altezza, le chiome iniziano a toccarsi, elevata competizione intraspecifica ed elevata mortalità naturale; i diametri prevalenti sono compresi nella classe dei 10 cm. da adottare anche per giovani rimboschimenti.	<i>Spessina</i>	<i>FSP</i>
Le piante raggiungono il culmine di incremento in altezza, diminuisce la mortalità naturale, i diametri sono compresi entro la classe dei 15 cm; l'origine può essere anche da polioni affrancati o selezionati.	<i>Particiale</i>	<i>FPE</i>
FUSTAIA MONOPLANA/COETANEA/UNIFORME		
DESCRIZIONE	STADIO DI SVILUPPO	CODICE
Popolamento con prevalenza di diametri piccoli (entro la classe 25 cm) in cui è avvenuto da poco il passaggio a fustale, definita come stadio in cui le piante hanno raggiunto il loro ruolo definitivo, la mortalità è molto bassa, si raggiunge il massimo incremento dei diametri; l'origine può essere anche da polioni affrancati o selezionati.	<i>Giovane</i>	<i>FMP</i>
Popolamento in cui prevalgono le classi diametriche medie (30-45 cm).	<i>Adulta</i>	<i>FMA</i>
Popolamento con struttura verticale monoplana e struttura orizzontale a grandi gruppi di superficie compresa tra 1.000 e 5.000 mq.	<i>Per ampi gruppi</i>	<i>FMG</i>
Popolamento costituito prevalentemente da esemplari di classi diametriche grandi (>45 cm), o senescente con alberi in fase di esaurimento fisiologico.	<i>Matura/Senescente</i>	<i>FMM</i>
FUSTAIA FLURIPLANA/IRREGOLARE/DISETANEA		
DESCRIZIONE	STADIO DI SVILUPPO	CODICE
Popolamento costituito da 2 o più strati di vegetazione, in cui è presente una buona distribuzione delle piante in tutte le classi di diametro	<i>Irregolare o per piede d'albero</i>	<i>FDI</i>

	I PIANI FORESTALI AZIENDALI	
---	------------------------------------	---

Popolamento costituito da 2 o più strati di vegetazione, in cui prevalgono i diametri medi e grandi (>30 cm)	<i>a prevalenza di diametri medi e grandi</i>	FDG
FUSTAIA PLURIPLANA/IRREGOLARE/DISETANEA PER GRUPPI		
DESCRIZIONE	STADIO DI SVILUPPO	CODICE
Struttura verticale pluriplana, struttura orizzontale per gruppi, di dimensioni entro i 1000 metri quadri buona distribuzione delle piante in tutte le classi di diametro	<i>per gruppi</i>	FGI
Struttura verticale pluriplana, struttura orizzontale per gruppi, in cui prevalgono i diametri medi e grandi (>30 cm)	<i>a prevalenza di diametri medi e grandi</i>	FGG
Popolamenti strutturati per collettivi, generalmente situati nel piano subalpino	<i>per collettivi</i>	FGC
CEDUO		
DESCRIZIONE	STADIO DI SVILUPPO	CODICE
Età dei polloni inferiore alla durata del turno consuetudinario, presenza o meno di matricine (una o più classi di età superiore alla durata del turno)	Giovane	CCG
Età dei polloni pari a circa alla durata del turno consuetudinario, presenza o meno di matricine	Adulto	CCA
Polloni senescenti, o vitali di età oltre i 40 anni (inclusi i cedui disetanei in cui la classe maggiore ha superato i 40 anni) di specie in cui si manifesta la perdita della facoltà pollonifera	Invecchiato	CCI
Polloni di diametri e, presumibilmente, età diverse sulla stessa ceppala o tra le ceppale, buona distribuzione delle piante in tutte le classi di diametro (ceduo a sterno)	Disetaneo	CDI
GOVERNO MISTO		
DESCRIZIONE	STADIO DI SVILUPPO	CODICE
Fustaia e ceduo compresenti con copertura analoga (40-60% per strato)	Equilibrato	GME

	I PIANI FORESTALI AZIENDALI	
---	------------------------------------	---

Fustale e ceduo compresenti con copertura della fustale tra il 60 e il 75%	<i>Prevalenza fustale</i>	GMF
Fustale e ceduo compresenti con copertura del ceduo tra il 60 e il 75%	<i>Prevalenza ceduo</i>	GMC
Fustale e ceduo compresenti con ceduo invecchiato	<i>Invecchiato</i>	GMI
ALTRE CONDIZIONI		
DESCRIZIONE	STADIO DI SVILUPPO	CODICE
Soprasuoli non sottoposti ad alcun intervento selvicolturale sistematico anche in passato e privi di interesse economico diretto; spesso eterogenei, con individui arborei e/o arbustivi, ubicati in stazioni ai limiti superiori della vegetazione forestale, rupestri, a suolo superficiale, su colatoi di valanga, ecc., ove si sono insediati con difficoltà e lentezza, o in stazioni riparie (alvei, golene, sponde lacustri ecc.), soggette a più o meno frequenti esondazioni con asportazione o drastica riduzione della copertura forestale.	<i>Senza gestione</i>	SGE
Popolamento con almeno l'80% delle piante del piano dominante gravemente danneggiate o distrutte per età elevate, patogeni o per eventi naturali (neve, vento, valanghe, galaverna, frane, ecc.). Assenza di struttura verticale stabile, carenza di rinnovazione naturale.	<i>Collassato</i>	SDD
Superficie forestale temporaneamente priva di copertura (<20%) per cause naturali o antropiche (recenti interventi selvicolturali, incendi o schianti sgomberati).	<i>Senza copertura</i>	SCO

7. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Abramo E, Barilotti A, Sepic F, “Dalla dendrometria diametrica alla dendrometria ipsometrica: stima del volume degli alberi da rilievi laser-scanning”, 2007, Dipartimento di Georisorse e Territorio - Università degli studi di Udine, Forest@;
- Barilotti A, Sepic F, “Delineazione automatica delle chiome in diverse tipologie forestali attraverso analisi di dati LiDAR”, 2006, Atti 10a Conferenza nazionale ASITA, Bolzano;
- Barilotti A, “Estrazione di parametri forestali da dati laser scanning in alcune aree delle foreste regionali del Cansiglio, di Caltea e di Fusine”, 2009, Forestry and Environmental Mapping Solutions, Regione Autonoma Friuli Venezia-Giulia, Direzione centrale risorse agricole, naturale e forestali. Servizio gestione forestale e antincendio boschivo. Udine, 49 pp;
- Barilotti A, “La tecnologia LiDAR per il settore forestale”, 2010, Seminario ARSIA, Palazzo dei Congressi, Firenze;
- Colomina I, Aigner E, Agea A, Pereira M, Vitoria T, Jarauta, R, Pascual J, Ventura J, Sastre J, Brechbühler de Pinho G, Derani A, Hasegawa J, “The uvision project for helicopter-UAV photogrammetry and remote-sensing”, 2007, Proceedings of the 7th International Geomatic Week, Barcelona, Spain;
- Corona P, Cartisano R, Salvati R, Chirici G, Floris A, Di Martino P, Marchetti M, Scrinzi G, Clementel F, Torresan C, “Airborne Laser Scanning to support forest resource management under alpine, temperate and Mediterranean environments in Italy”, 2012, European Journal of Remote Sensing 45: 27-37;
- Dyck B, “Precision Forestry - the path to increased profitability. In: Proceedings of the Second International Precision Forestry Symposium”, 2003, University of Washington, Seattle, WA: 3-8;
- Eisenbeiss H, “UAV photogrammetry”, 2009, Diss. ETH No. 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Mitteilungen Nr.105, pp. 235;
- Floris A. e Clementel F, “Esperienze di ricerca per l'impiego operativo del LiDAR aereo in Assestamento forestale”, 2011, VII Corso intensivo di alta formazione per Dottorandi di Ricerca del Settore forestale-ambientale, CSALP - Pieve Tesino (TN);

- Floris A, Clementel F, Colle G, Gubert F, Bertoldi L, De Lorenzi G, “Stima di volumi legnosi forestali con dati fotogrammetrici telerilevati da UAV su piccole superfici: un caso di studio in Trentino”, 2012, Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA - Fiera di Vicenza 6-9;
- Franklin SE, “Remote sensing for sustainable forest management”, 2001, CRC Press.
- Grenzdörffer G. J, Engelb A, Teichert B, “The photogrammetric potential of low-cost uavs in forestry and agriculture”, 2008, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing;
- Gingo Alves M. V, “Applicazioni LiDAR per la stima di parametri inventariali”, 2010, Docente guida Marchetti M, Dottorato di Ricerca in "Ambiente e Territorio" (XXIII Ciclo), Dipartimento di Scienze e tecnologie per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi del Molise: 1-27;
- Gomarasca M. A, “Elementi di geomatica”, 2004, Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano, 618 pp;
- Gómez C, Wulder M.A, Montes F, Delgado J.A, “Modeling forest structural parameters in the mediterranean pines of central Spain using QuickBird-2 imagery and classification and regression tree analysis (CART)”, Remote Sens. 2012, 4, 135–159;
- Grenzdörffer G, “Investigations on the use of airborne remote sensing for variable rate treatments of fungicides, growth regulators and N-fertilisation”, 2003, Stafford, J. und Werner, A.: Precision Agriculture (= Proceedings of 4. ECPA, 16.-19.6.2003): 241 – 246;
- Horcher A. and Visser R.J.M, Unmanned Aerial Vehicles, “Applications for Natural Resource Management and Monitoring”, 2004, COFE (Council on Forest Engineering) Annual Meeting 2004, Proceedings;
- Jean-Romain Roussel, John Caspersen, Martin Béland, Sean Thomas, Alexis Achim, “Removing bias from LiDAR-based estimates of canopy height: Accounting for the effects of pulse density and footprint size”, 2017, Remote Sensing of Environment 198, 1–16;
- Kane V.R, North M.P, Lutz J.A, Churchill D.J, Roberts S.L, Smith D.F, McGaughey R.J, Kane J.T, Brooks M.L, “Assessing fire effects on forest spatial structure using a fusion of Landsat and airborne LiDAR data in Yosemite National Park”, Remote Sens. Environ. 2013, 151, 89–101;

- Keith H, Mackey B.G, Lindenmayer D.B, “Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world’s most carbon-dense forests”, 2009, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 106, 11635–11640;
- Lindenmayer D.B, Margules C.R, Botkin D.B, Biology C, Aug N, “Indicators of Biodiversity for Ecologically Sustainable Forest Management”, 2007, Conserv. Biol, 14, 941–950;
- Lo Brutto M, “I sistemi Laser Scanning aerei”, 2005, Geomatica e modellizzazione 55 digitale del terreno, Master Universitario di II livello in "Sistemi Informativi Territoriali", Università degli Studi di Palermo;
- Wallace L, Lucieer A, Malenovsky Z, Turner D. and Vopěnka P, “Assessment of Forest Structure, Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds”, 2016;
- McElhinny C, Gibbons P, Brack C, Bauhus J, “Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement”, 2005, For. Ecol. Manag, 218, 1–24.
- Most Jannatul Fardusi, Francesco Chianucci, Anna Barbati, “Concept to Practices of Geospatial Information Tools to Assist Forest Management and Planning under Precision Forestry Framework: a review”, 2017, Annals of Silvicultural Research, 41 (1): 3-14;
- Penasa A, Colpi C, Floris A, “Impiego di dati LiDAR per la creazione di mappe tematiche a supporto del tecnico forestale: Uno studio condotto in Val di Rabbi (Trentino)”, 2012, Università Degli Studi Di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali;
- Pirotti F, “La tecnologia LiDAR per applicazioni forestali”, 2009, Sherwood, Foreste ed alberi oggi, 156: 7-15;
- Professor Antonio Saracino, Università degli studi di Napoli Federico II, Slide di dendrometria, 2013;
- Professore Camillo Castellani, “Tavole stereoscopiche e alsometriche costruite per i boschi italiani”, 1972, Annali dell’Istituto Sperimentale per l’Assestamento e per l’Alpicoltura, Trento, II volume;
- Remondino F, Barazzetti L, Nex F, Scaioni M, Sarazzi D, “UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future

- perspectives”, 2011, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011;
- Schmoldt DL, Thomson AJ, “Precision technologies: data availability past and future. In: Proceedings of the First International Precision Forestry Symposium”, 2003, University of Washington, Seattle, WA: 9-15;
 - Sibona E, Vitali A, Meloni F, Caffo L, Dotta A, Lingua E, Motta R. and Garbarino M, “Direct Measurement of Tree Height Provides Different Results on the Assessment of LiDAR Accuracy”, 2016, Forests 2017, 8, 7; doi:10.3390/f8010007;
 - Tang L, Shao G, “Drone remote sensing for forestry research and practices”, 2015, Journal of Forestry Research 26 (4): 791-797;
 - Trumbore S, Brando P, Hartmann H, “Forest health and global change”, 2015 Science 349 (6250): 814-818;
 - Turco S, Alberti G, Barilotti A, Bonfanti PL, “Processamento di dati laser scanning con GRASS GIS per la determinazione automatica di parametri inventariali forestali”, 2005, 6° Meeting degli Utenti Italiani di GRASS;
 - Zellweger F, Braunisch V, Baltensweiler A, Bollmann K, “Remotely sensed forest structural complexity predicts multi species occurrence at the landscape scale”, For. Ecol. Manag. 2013, 307, 303–312;
 - <https://it.wikipedia.org>;
 - https://www.drawingcad.it/contents/it/d8038_Cavalletti_dendrometrici.html;
 - <https://www.tecnomarket.it/tecnis/usati/i/ipsometro-vertex.htm>;
 - <http://www.conosceregeologia.it/2016/08/22/modelli-digitali-del-terreno-dtm-dsm/>;
 - <http://www.geoportale.piemonte.it/geocatalogorp/>;
 - https://live.osgeo.org/_images/saga_overview.png;
 - <http://www.sistemapiemonte.it/popalfa/authentication/LoginSispieAction.do>;
 -
 - http://www.regione.piemonte.it/territorio/pianifica/dwd/180515/elaborati/Schede_ambiti_paesaggio.pdf.