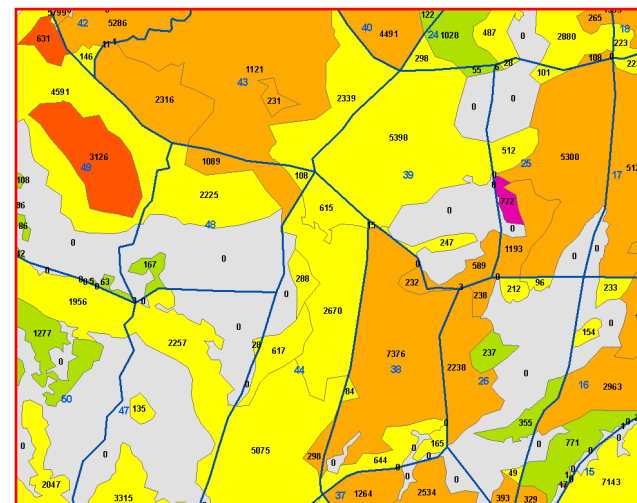


Strumenti innovativi di supporto operativo per l'inventariazione forestale a scala locale



Gianfranco SCRINZI



Diego GIULIARELLI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia

Davide TRAVAGLINI



Sistemi di posizionamento satellitare

Sistemi di posizionamento satellitare

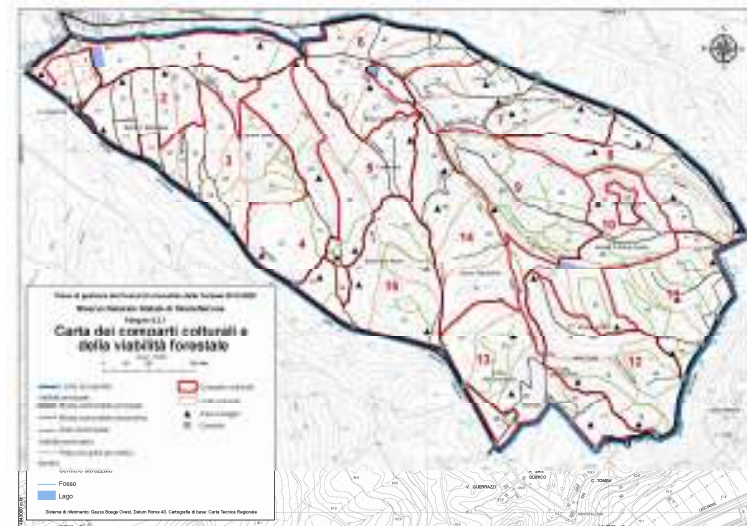
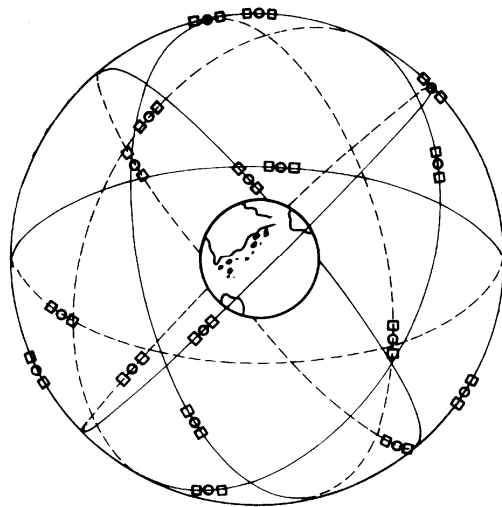
Questi sistemi sono sempre più utilizzati nell'inventariazione forestale a scala locale per il crescente interesse verso la produzione di carte tematiche di supporto alla pianificazione aziendale, a esempio:

Compartimentazione

Rilievo della viabilità forestale e antincendio

Posizionamento e ritrovamento di aree di saggio

Posizionamento di elementi particolari (importanza naturalistica e/o criticità)



Performance

Sistema americano **NAVSTAR-GPS** (1973, 24 satelliti operativi)

Sistema russo **GLONASS** (1982, 26 satelliti operativi)

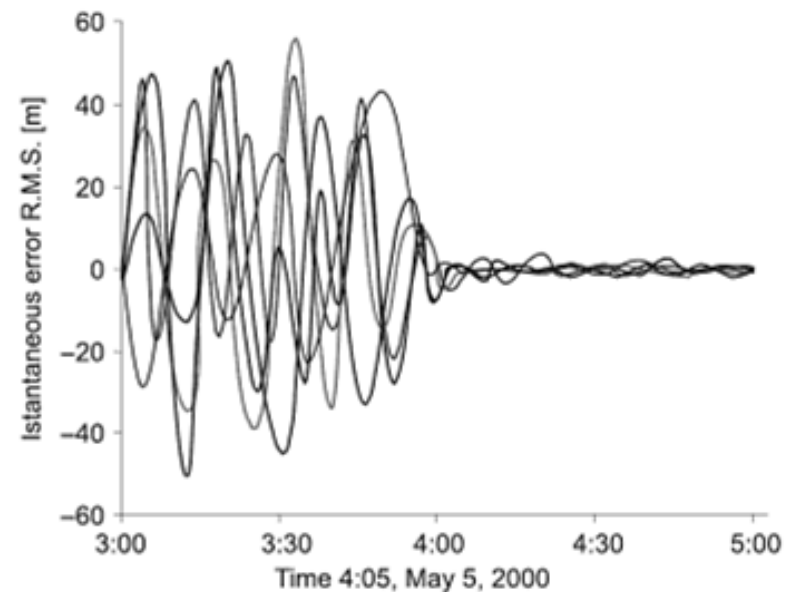
I ricevitori satellitari sono utilizzati per scopi civili fino dai primi anni 80; da allora le prestazioni del sistema sono notevolmente migliorate

Un primo passo in avanti si è registrato nel 2000, quando il Dipartimento della Difesa degli USA ha disattivato il segnale di disturbo **Selective Availability**

Le precisioni dei GPS sono passate dai 50-100 m di errore ai 5-10 m di errore in modalità *standalone*

Vi sono stati miglioramenti nella ricezione del segnale nonostante persistano limitazioni determinate dalla copertura forestale e dall'orografia

Si registra una **progressiva riduzione dei costi di acquisto dei ricevitori**



(Fonte: van der Marel, 2000)

Sviluppi recenti

GLONASS (Russo): dal 2007 i segnali di navigazione del sistema sono di libero accesso per usi civili

L'utilizzo combinato dei sistemi GPS e GLONASS può fornire una migliore geometria satellitare in condizioni di visibilità critiche come quelle riscontrabili negli ecosistemi forestali

Sistema di posizionamento	Precisione (m)
GLONASS	15
GPS	10
GPS+GLONASS	3-5
GPS differenziale + GLONASS	0.5
GPS + GLONASS differenziale	1
GPS differenziale + GLONASS differenziale	0.5

(Fonte: Gomasca M.A., 2009)

EGNOS (Europeo): è operativo dal 2009 e i servizi sono gratuiti

È un sistema basato sulla trasmissione via satellite di messaggi di correzione differenziale e di integrità relativi ai satelliti GPS, in grado di migliorare le performance di accuratezza del segnale GPS sul territorio europeo

Permette di ottenere **precisioni dell'ordine di 2 m** contro i 10 m attuali del *GPS standalone*

Molti ricevitori attualmente in commercio sono compatibili con i segnali trasmessi da EGNOS



Sviluppi futuri

GALILEO (Europeo)

Il sistema *GALILEO* è stato progettato per ridurre la dipendenza della Unione Europea dal sistema *GPS* americano

È costituito da una costellazione di 30 satelliti

La costellazione *GALILEO* sarà supportata dai satelliti *EGNOS*, e sarà compatibile con i sistemi *GPS* e *GLONASS*

L'utilizzo combinato dei sistemi *GALILEO* e *GPS* permetterà di avere una migliore copertura satellitare (12-13 satelliti visibili contro i 6-7 attuali)

GALILEO garantirà **accuratezze di posizionamento dell'ordine di 1 m**, disponibili per tutti gli utenti (accuratezze superiori saranno disponibili a pagamento per scopi commerciali e militari)

Salvo imprevisti, ***GALILEO* sarà operativo a partire dal 2014**. La messa in orbita di tutti i satelliti è attesa per il 2019.

Mobile GIS per il settore forestale

Mobile GIS per il settore forestale

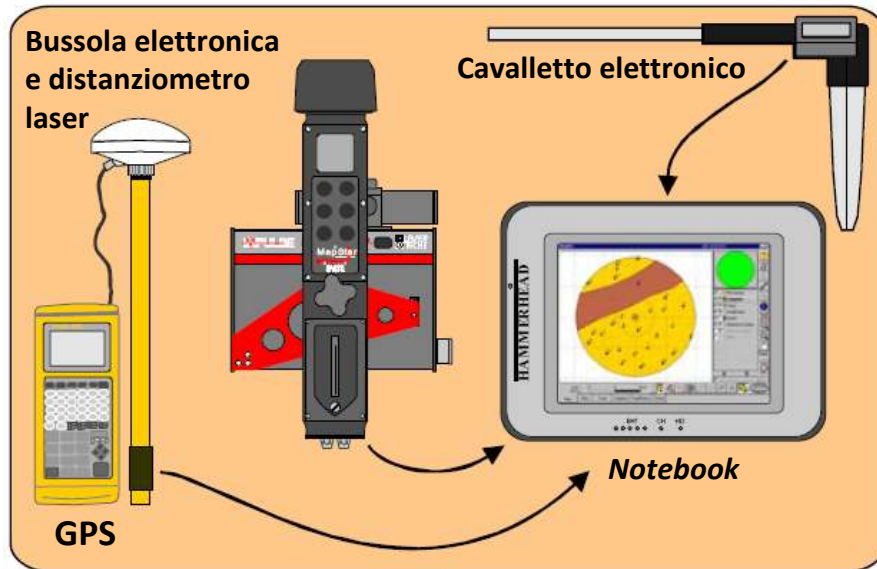
Strumenti integrati (GIS, GPS, strumenti dendrometrici) che consentono di informatizzare direttamente in foresta le risultanze di rilievo saltando il supporto cartaceo e l'input a posteriori

Vantaggi

- ✓ Riduzione dei tempi di lavoro e degli errori
- ✓ Possibilità di implementare i controlli di congruità all'atto del rilievo
- ✓ Elaborazione di esiti di rilievo preliminari durante il rilievo stesso
- ✓ Gestione della navigazione in foresta (campionamento) con percezione contemporanea reale e virtuale (posizionamento real-time rilevatore su ortofoto/layer GIS esistenti: particellare, viabilità, carte tematiche, Lidar, ecc.)
- ✓ Compartimentazione assestamentale non segnata sul terreno ma soltanto digitale
- ✓ Maggiore qualificazione operativa necessaria

Mobile GIS: alcuni esempi

Field-Map: Prodotto commerciale sviluppato da IFER (Repubblica Ceca)



Strumentazione

GIS

GPS

Cavalletto elettronico

Telemetro laser

Inclinometro

Ipsometro elettronico

Notebook

Misure

Distanze

Angoli

Pendenze

Diametri

Altezze

Elaborazioni

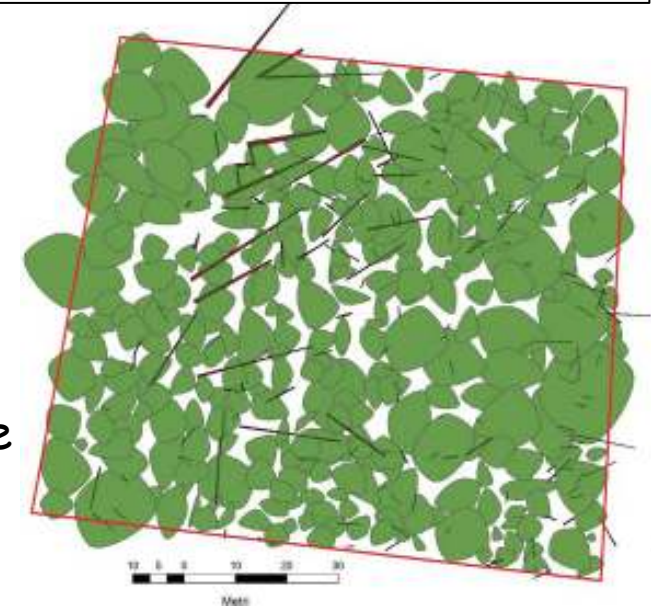
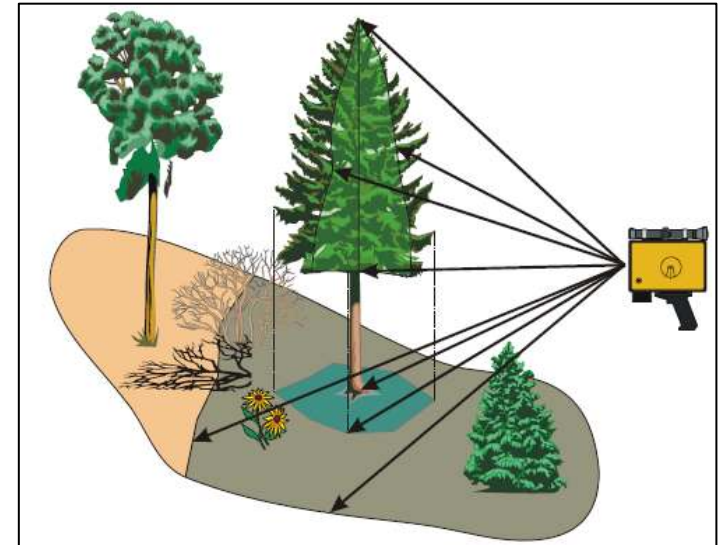
Analisi

dendrometriche

Analisi

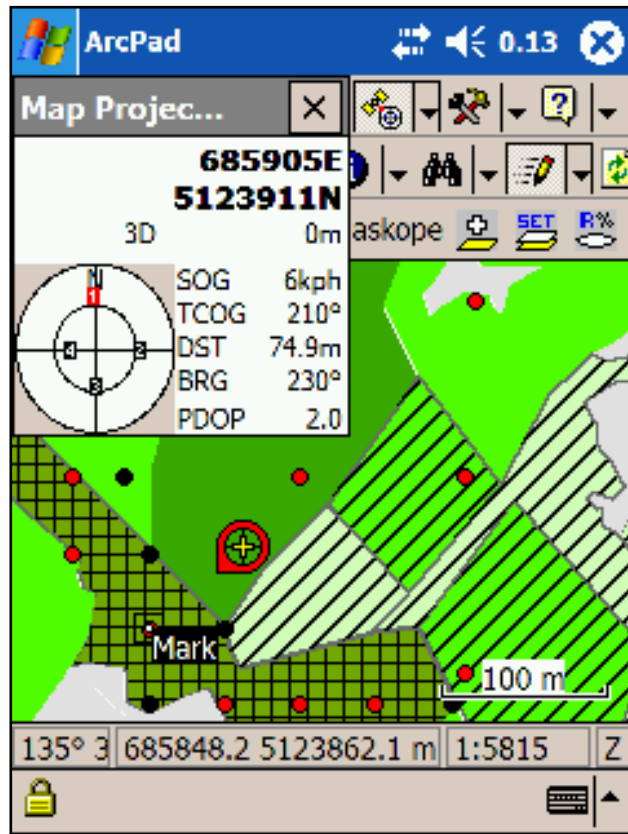
inventariali

Mappe

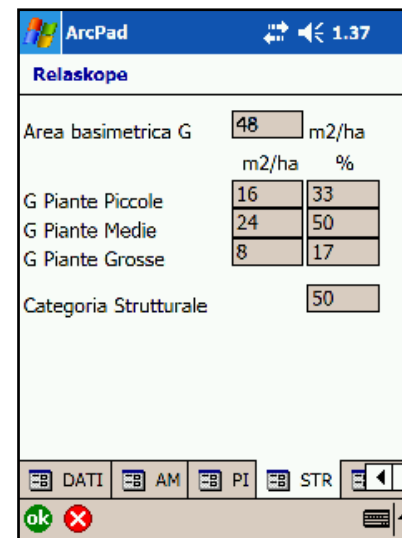
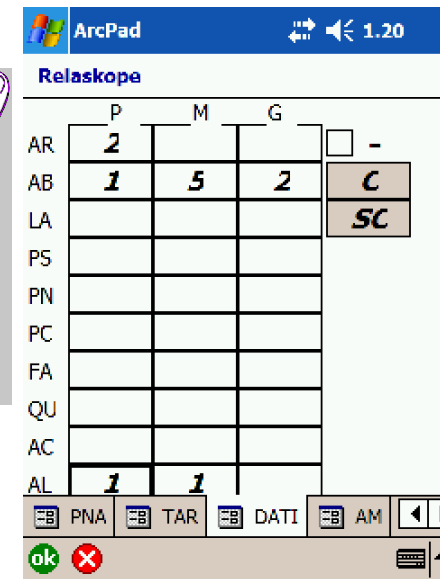
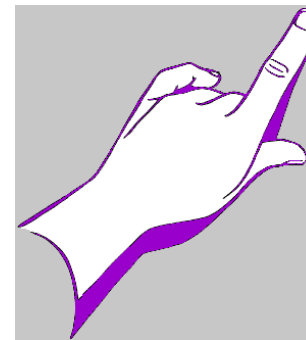


Esempio: PRIN 2007, Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga

Mobile GIS esempi



RELASKOPE: applicativo navigazione/rilievo/elaborazione per il nuovo assestamento in provincia di TRENTO

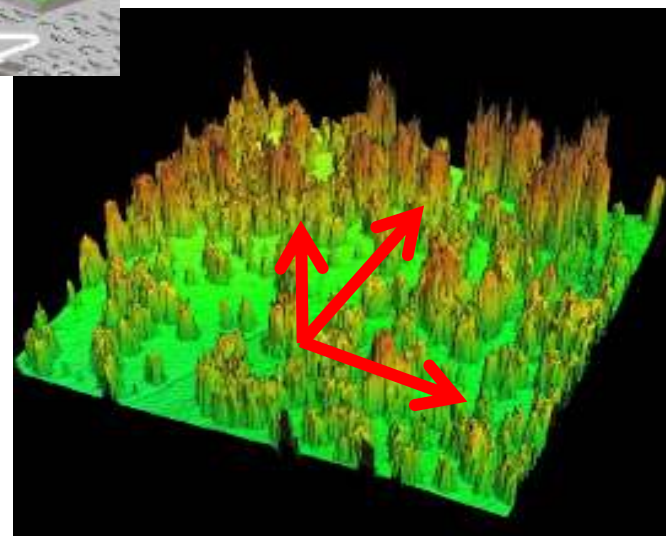


La "novità" LiDAR nel settore forestale

La "novità" LiDAR nel settore forestale: da un telerilevamento ATTIVO la terza dimensione

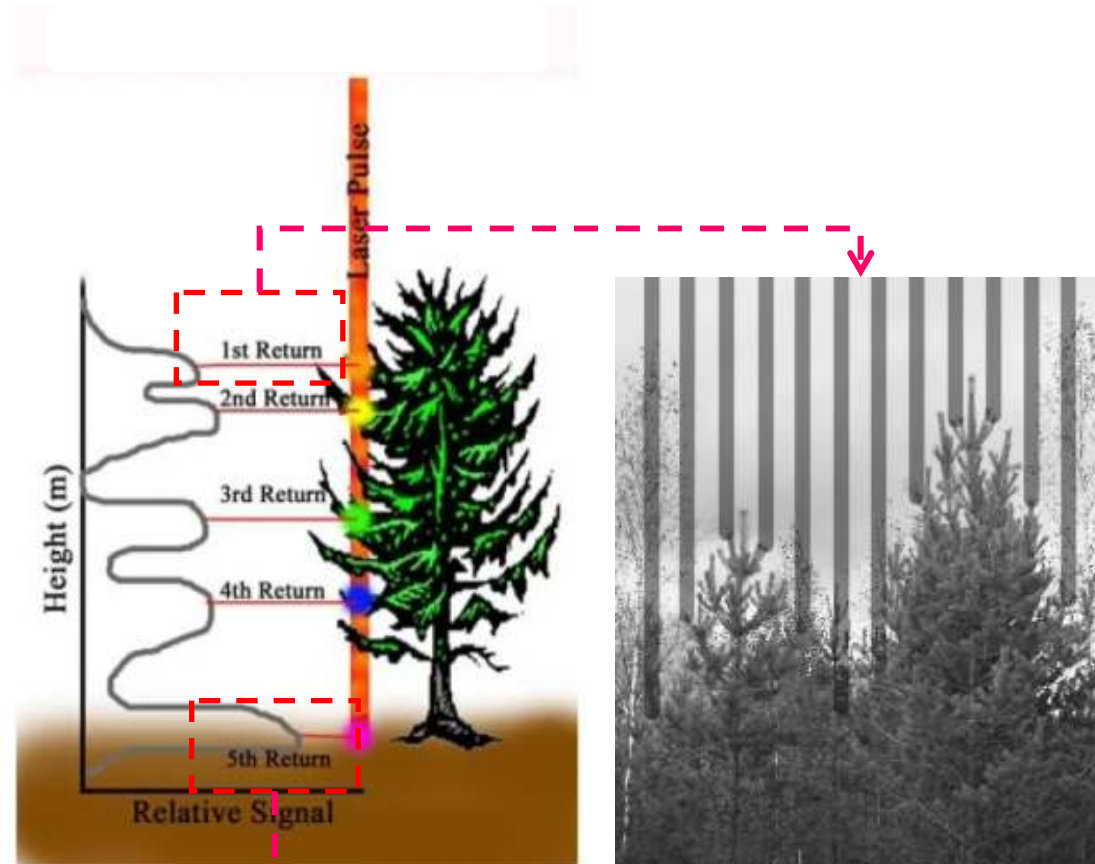
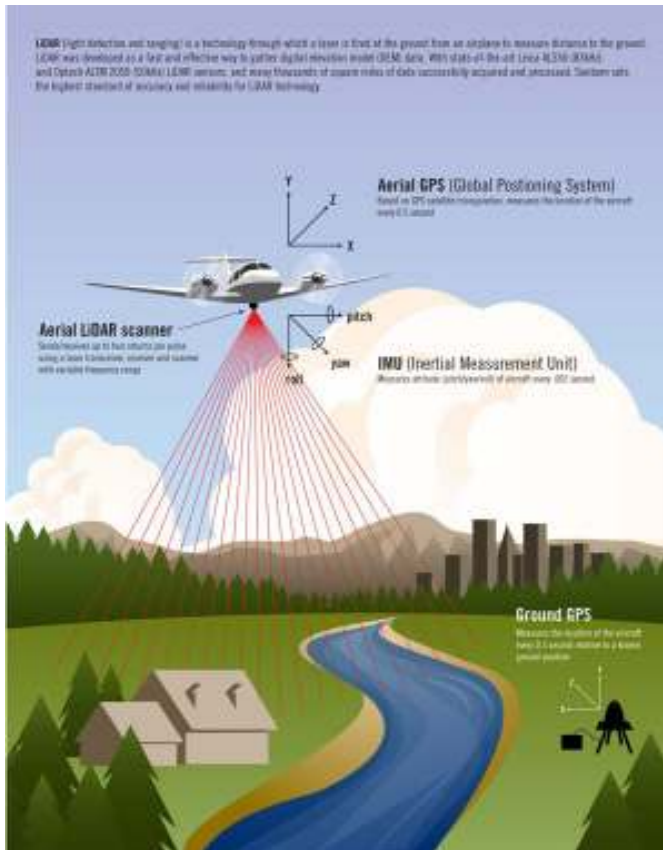


telerilevamento classico: 2D



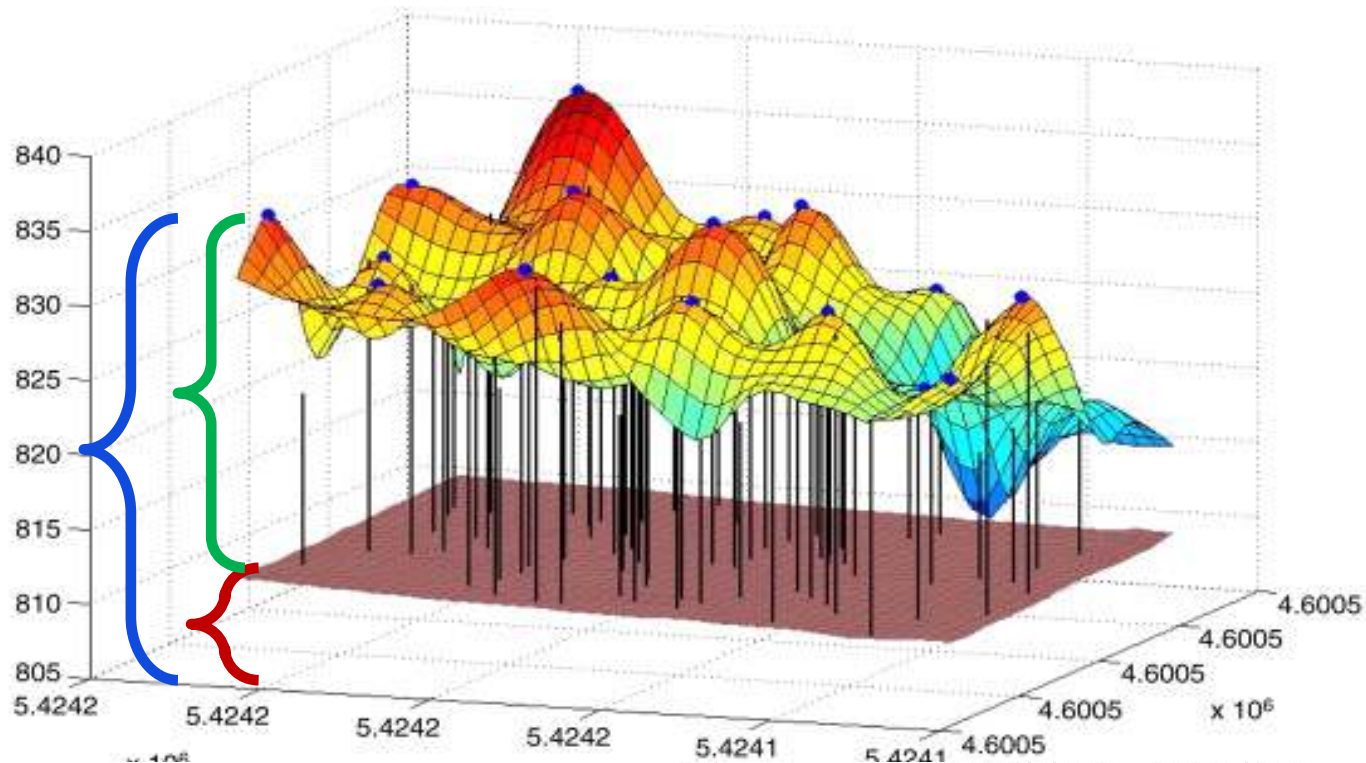
LiDAR: 3D
(sia della vegetazione che del terreno !)

La tecnologia LiDAR

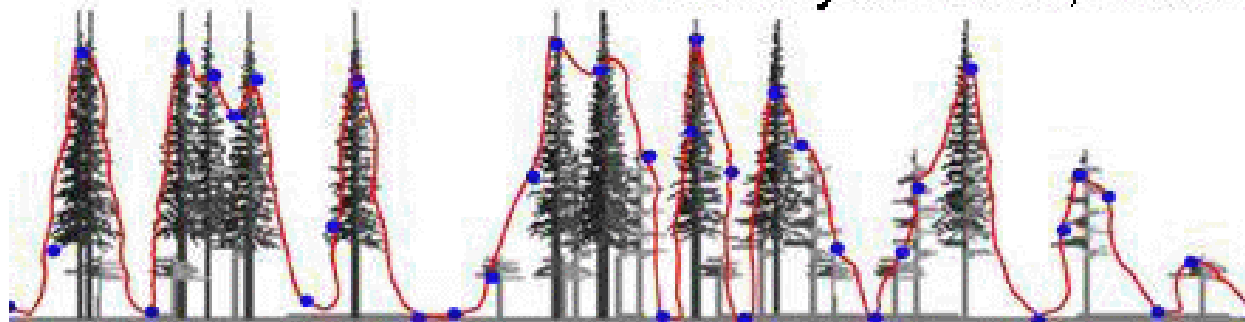


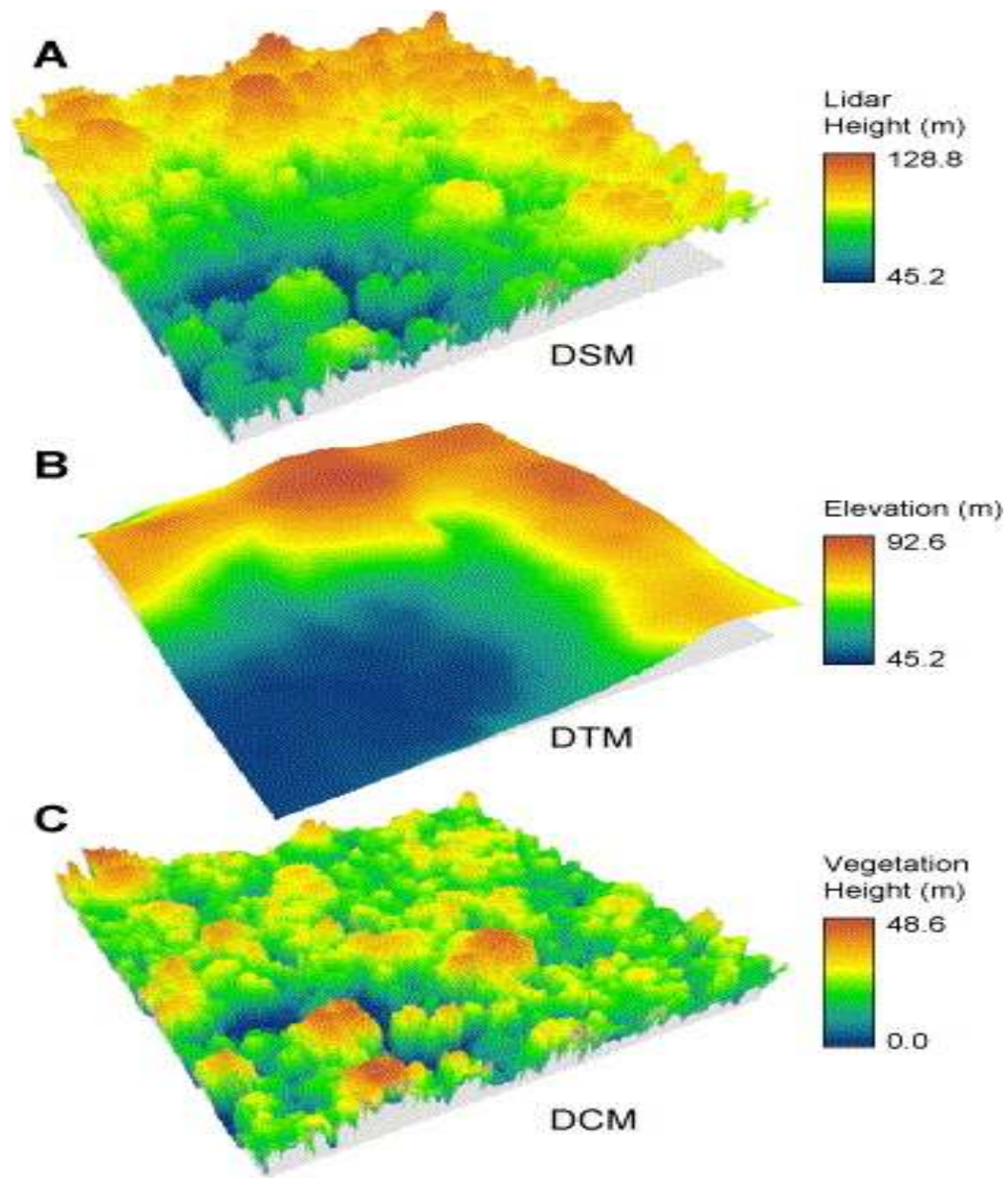
Filtraggio degli ultimi echi (pochi), interpolazione e creazione del DTM o DEM

$$\text{DSM} - \text{DTM} = \text{CHM}$$



Courtesy of RSAC, USDA





Telerilevamento LiDAR: applicazioni in assestamento

3 tematiche principali in esame

- Stratificazione dei soprassuoli (inventario tematico): individuazione nei complessi assestamentali di aree strutturalmente omogenee

- ~~Modelli per la determinazione delle biomasse legnose dei comparti assestamentali:~~

- I.metodi "tree based"

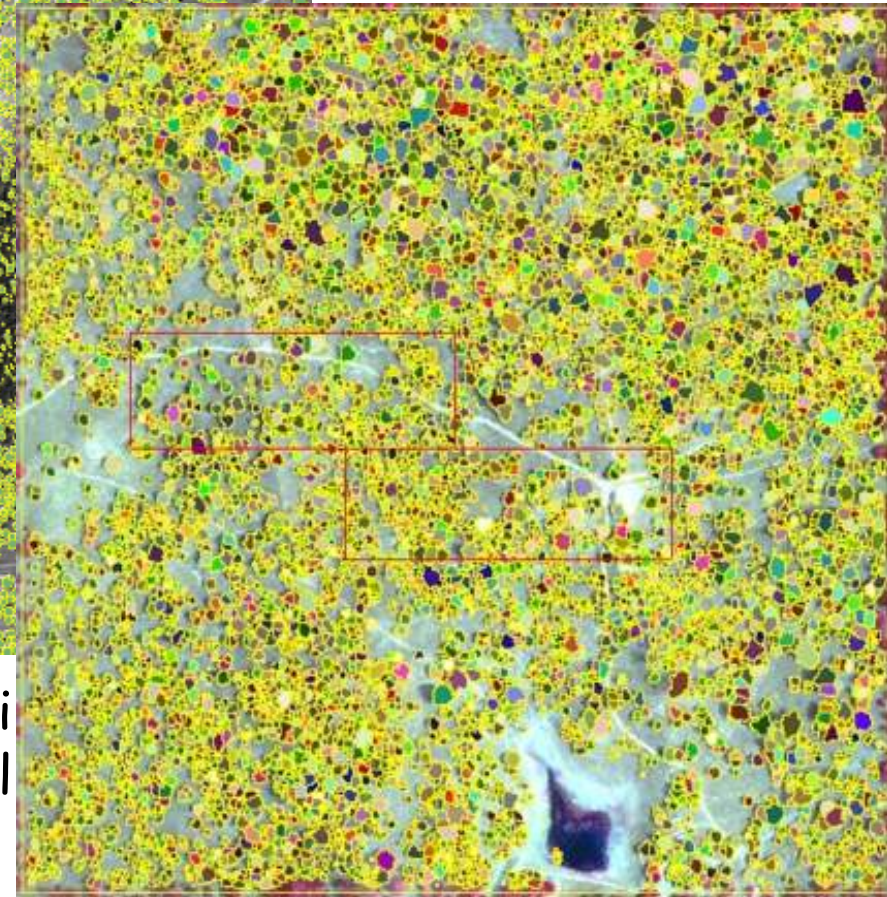
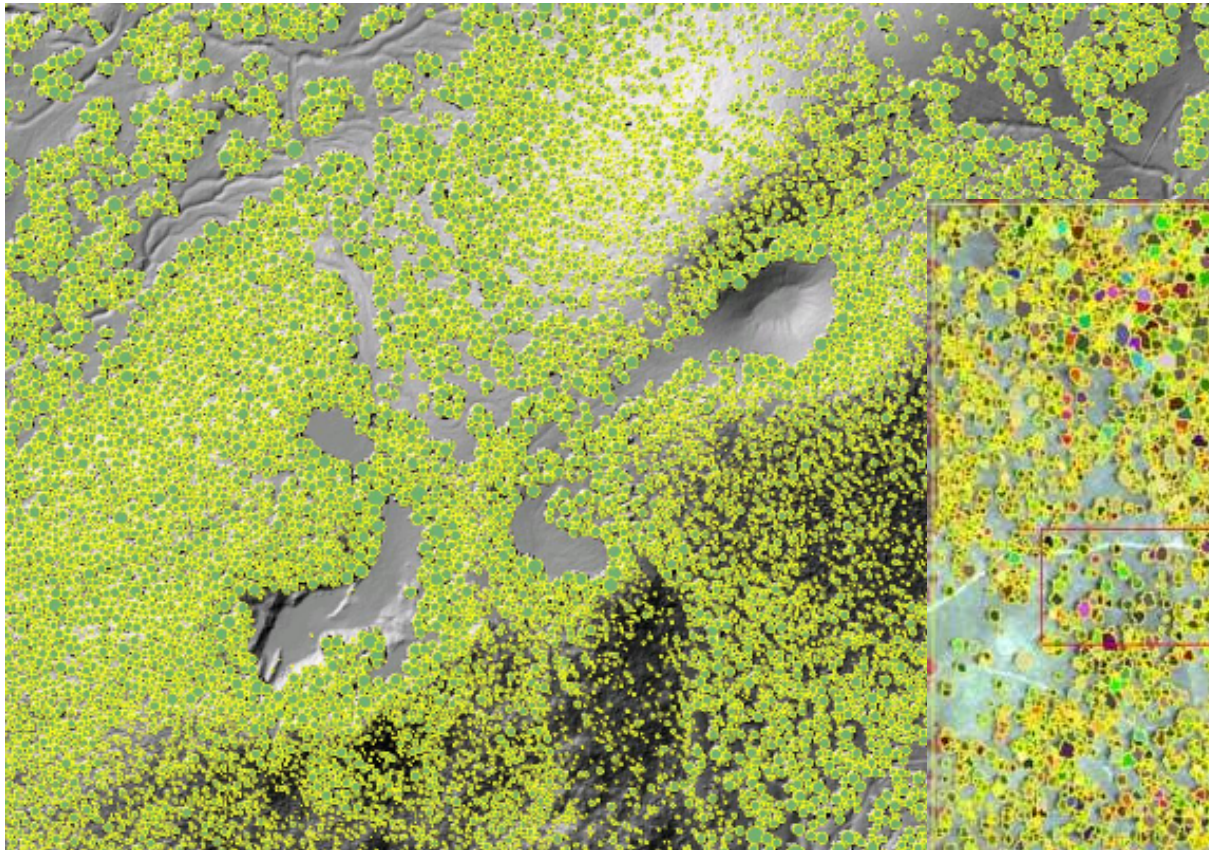
- II.metodi "area based"

- Calibrazione locale su base LiDAR di inventari campionari assestamentali (small area estimation : particelle, lotti)

metodi **tree-based** fasi

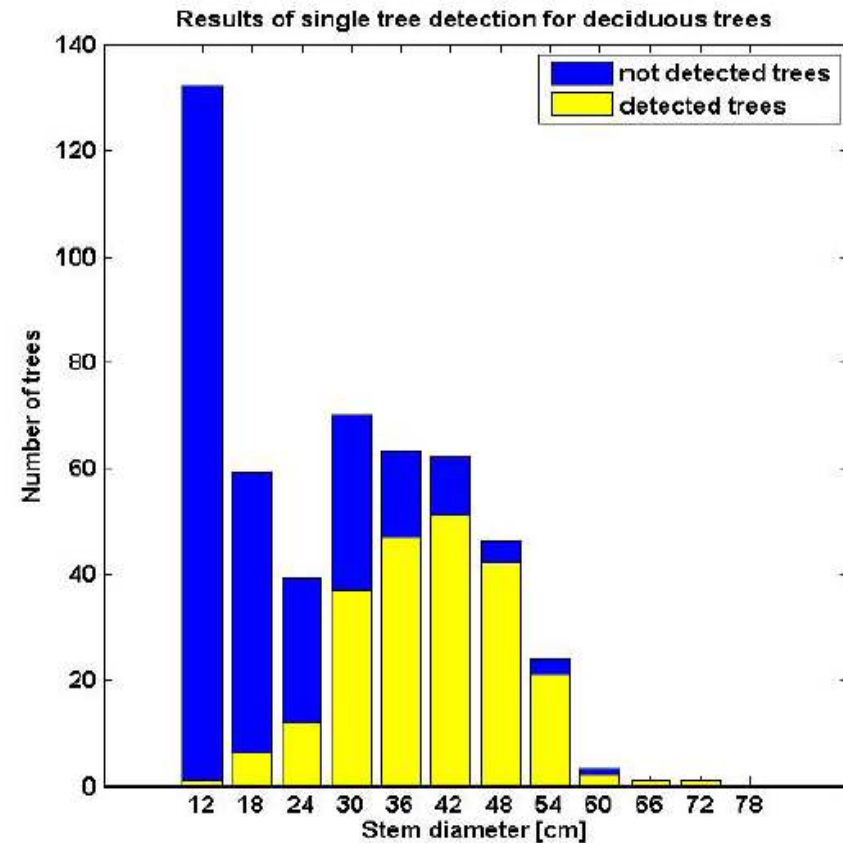
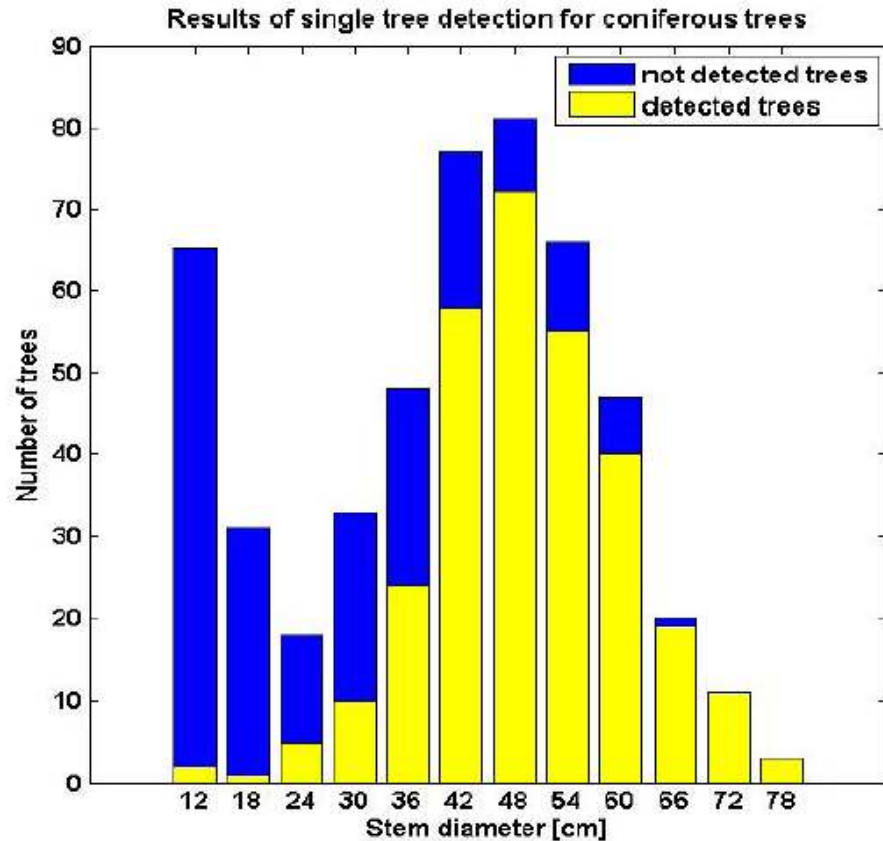
- individuazione con procedure complesse dei singoli soggetti (posizione) ed ev. segmentazione delle rispettive chiome
- misura per ciascun soggetto individuato dell'altezza sul CHM
- "dendrometria ipsometrica": dall'altezza alla stima del diametro corrispondente e cubatura individuale con tavole a doppia entrata convenzionali
- sommatorie per collettivi di comparto

determinazione LiDAR biomasse: tree based



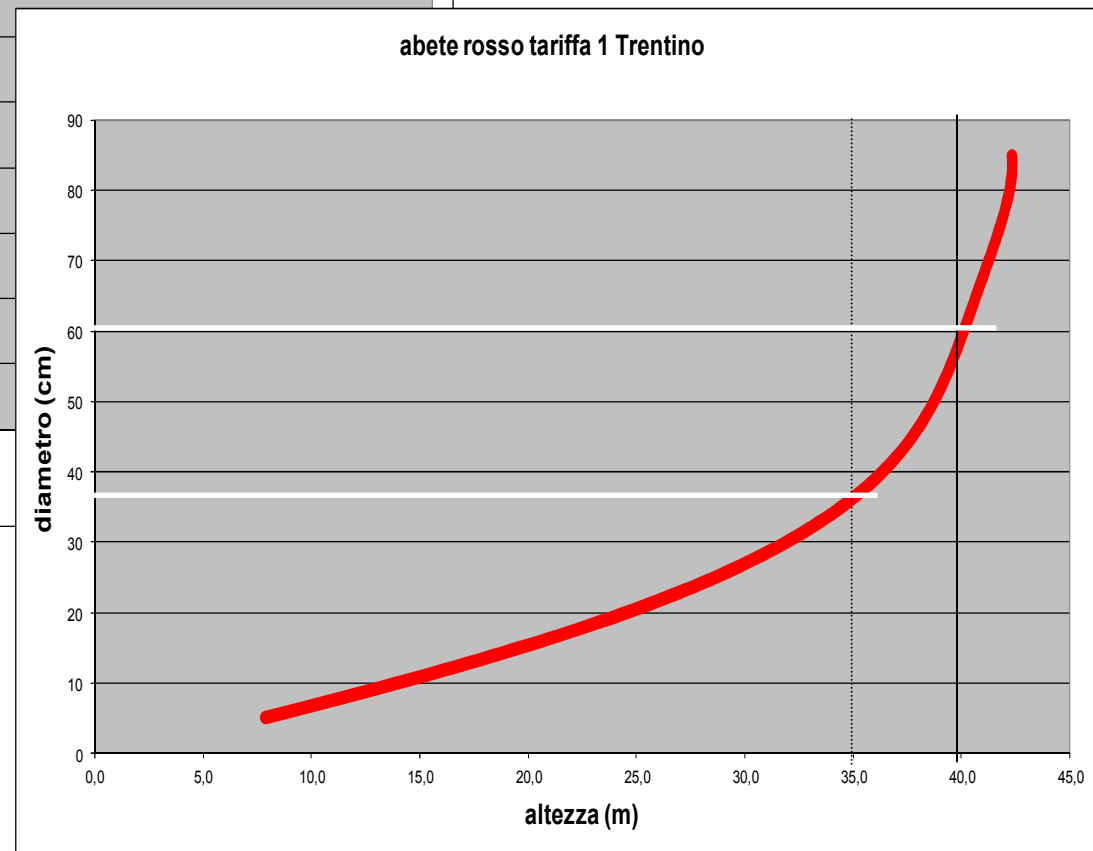
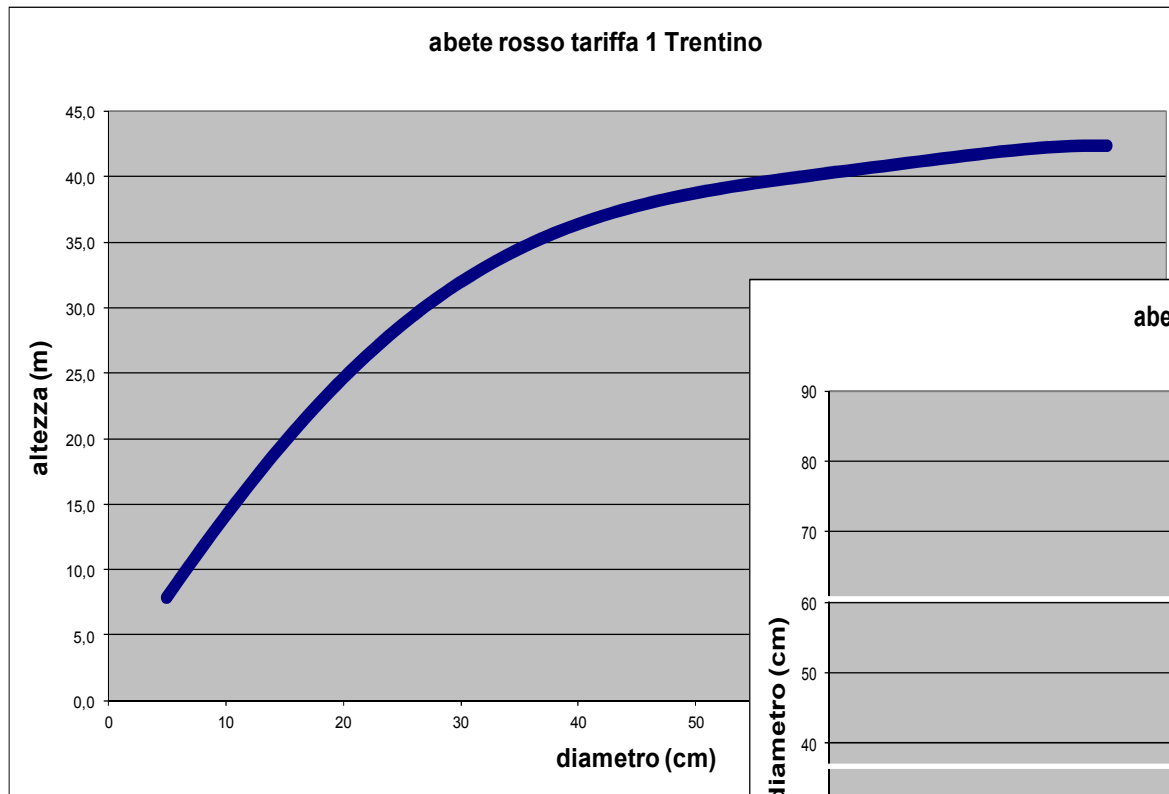
individuazione dei soggetti presenti
ed ev. delimitazione delle chiome (sul
CHM via SW)

determinazione LiDAR biomasse: tree based



risultati spesso insoddisfacenti (50-60%) e limitati ai soggetti dominanti, specialmente nei boschi di latifoglie

determinazione LiDAR biomasse: tree based



occorre "girare" l'approccio dendrometrico: stimare D da H e non H da D. Le curve "saturano" e per altezze poco diverse i diametri variano di molto

determinazione LiDAR biomasse: tree based

metodi **single tree-based** problematiche applicative

- dati Lidar di elevata qualità (echi per m² oltre 5) poco disponibili

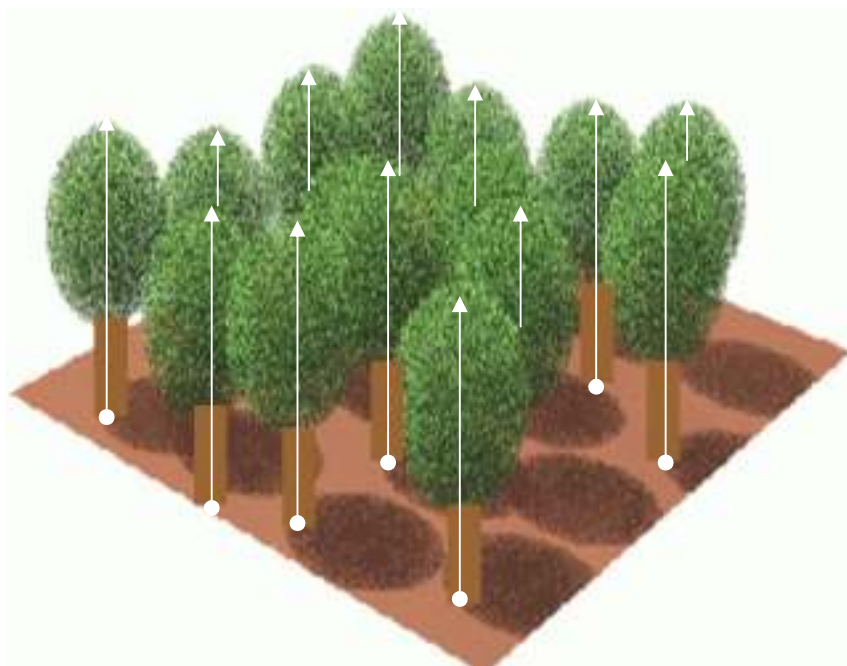
- applicazioni informatiche complesse per la discriminazione dei singoli alberi

- esiti di discriminazione poco soddisfacenti (dal 50 al 80%) dei soggetti presenti (problemi con gli alberi codominanti e dominati)

- passaggio alle masse **strutturalmente** critico sotto il profilo dendrometrico

- occorre comunque avere la curva ipsometrica al suolo o una curva ipsometrica di inquadramento tariffario presunta

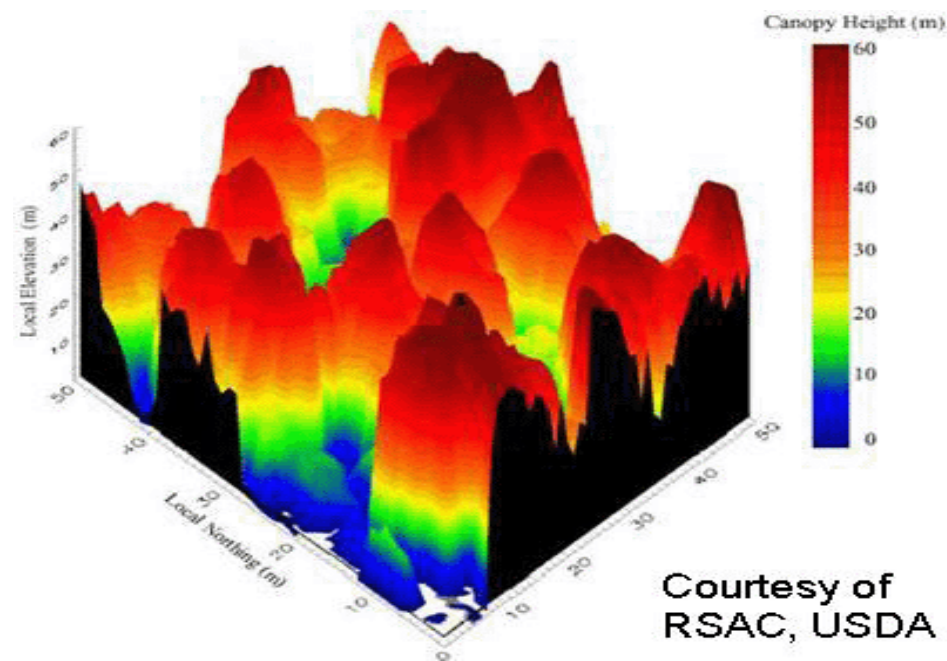
determinazione LiDAR biomasse: area based



$$V = a_1 + b_1 (\sum h^3)$$

h = altezze dendrometriche
dei soggetti presenti

poche centinaia in 1 ha,
tutte > di 0

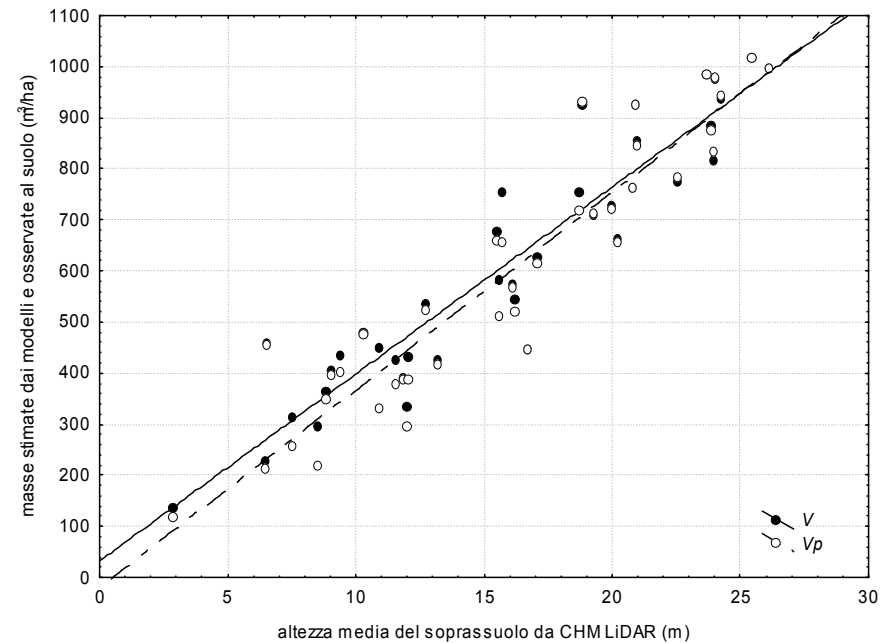
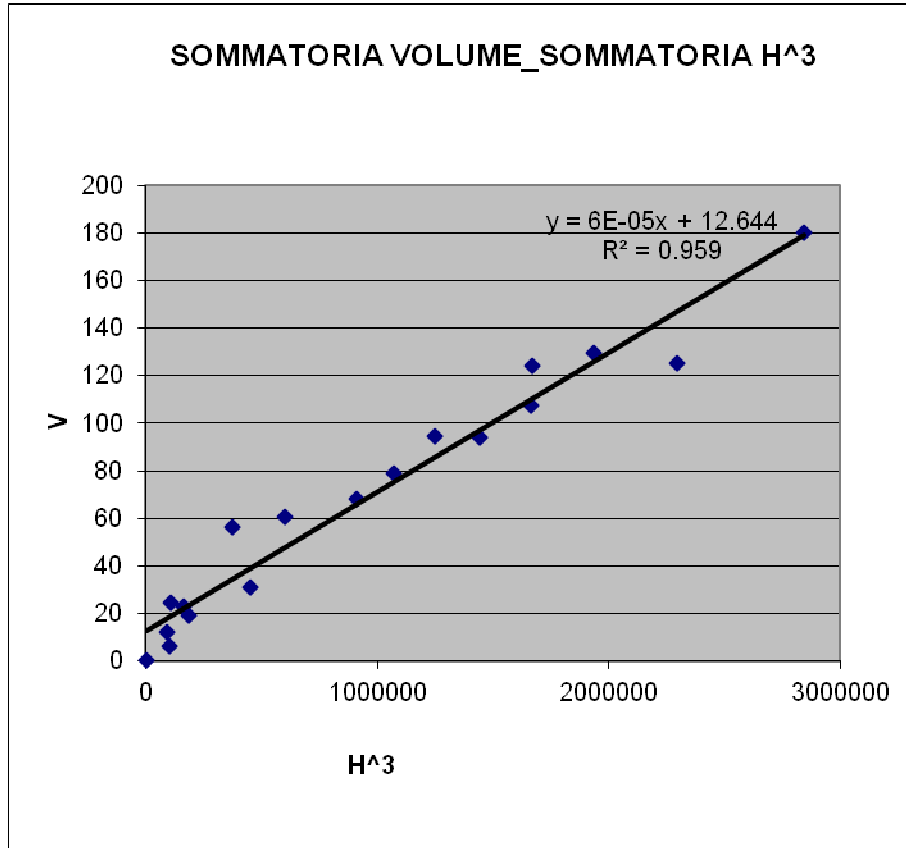


$$V = a_2 + b_2 (\sum h)$$

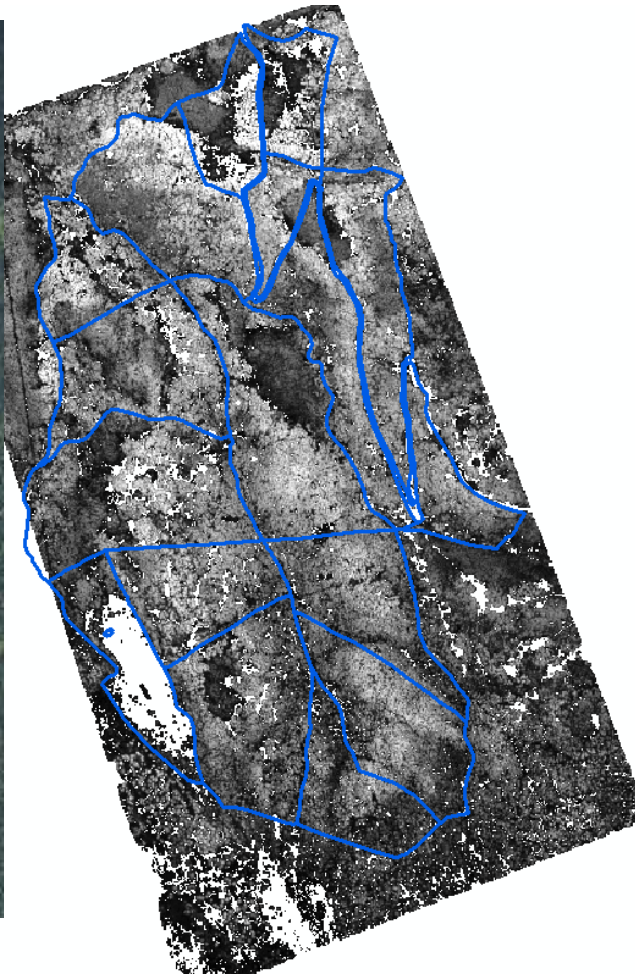
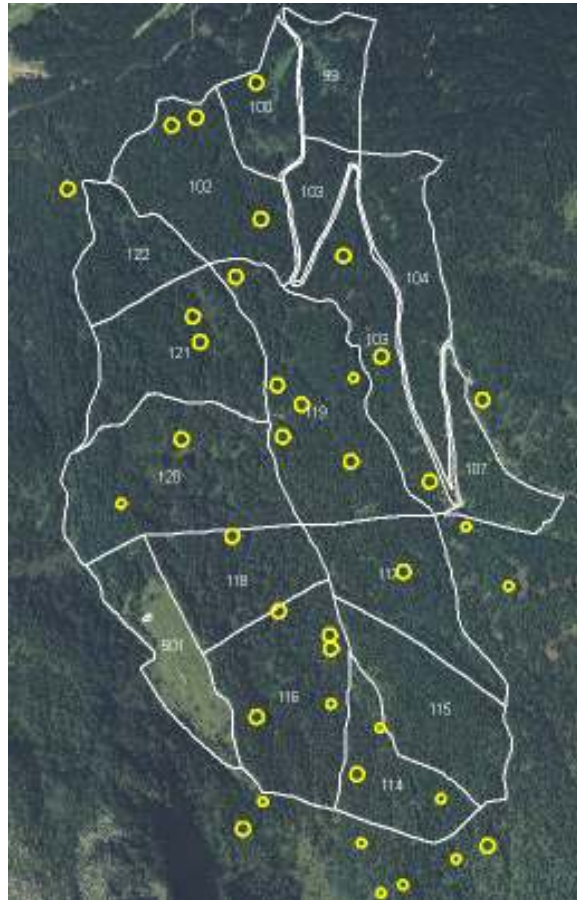
h = altezze dei pixel del CHM

almeno decine di migliaia in
1 ha, molte = 0

determinazione LiDAR biomasse: area based



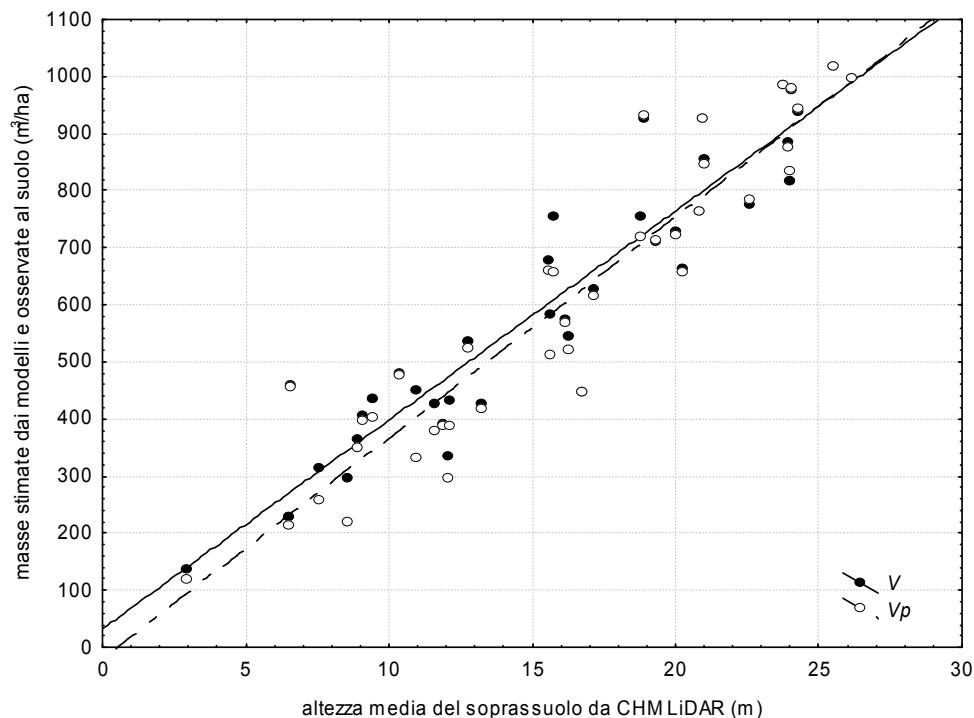
determinazione LiDAR biomasse: area based stima diretta dei volumi legnosi dei comparti: il modello di Paneveggio



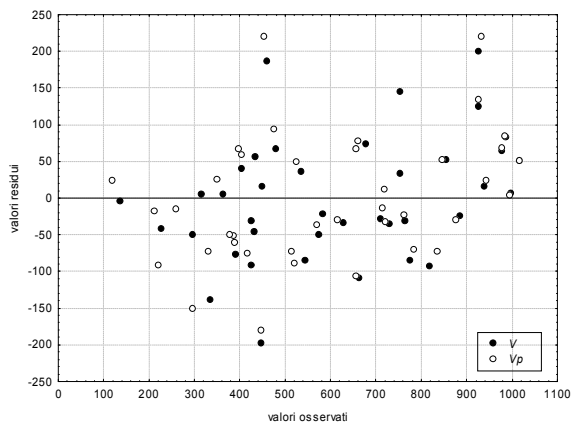
- 39 aree di saggio (raggio 13-20 m), casualmente distribuite (PAT ServFF)
- coordinate dei centri rilevate con GPS (RMSE $\sim 3-4$ m 1σ)
- rilievo al suolo di tutti i diametri ($d \geq 2,5$ cm) e di tutte le altezze
- determinazione volumi al suolo con modelli a doppia entrata del Trentino "MV2"

- Elaborazione del CHM da volo LiDAR dedicato 2008 (8 punti/m²)

determinazione LiDAR biomasse: area based stima diretta dei volumi legnosi dei compartimenti: il modello di Paneveggio



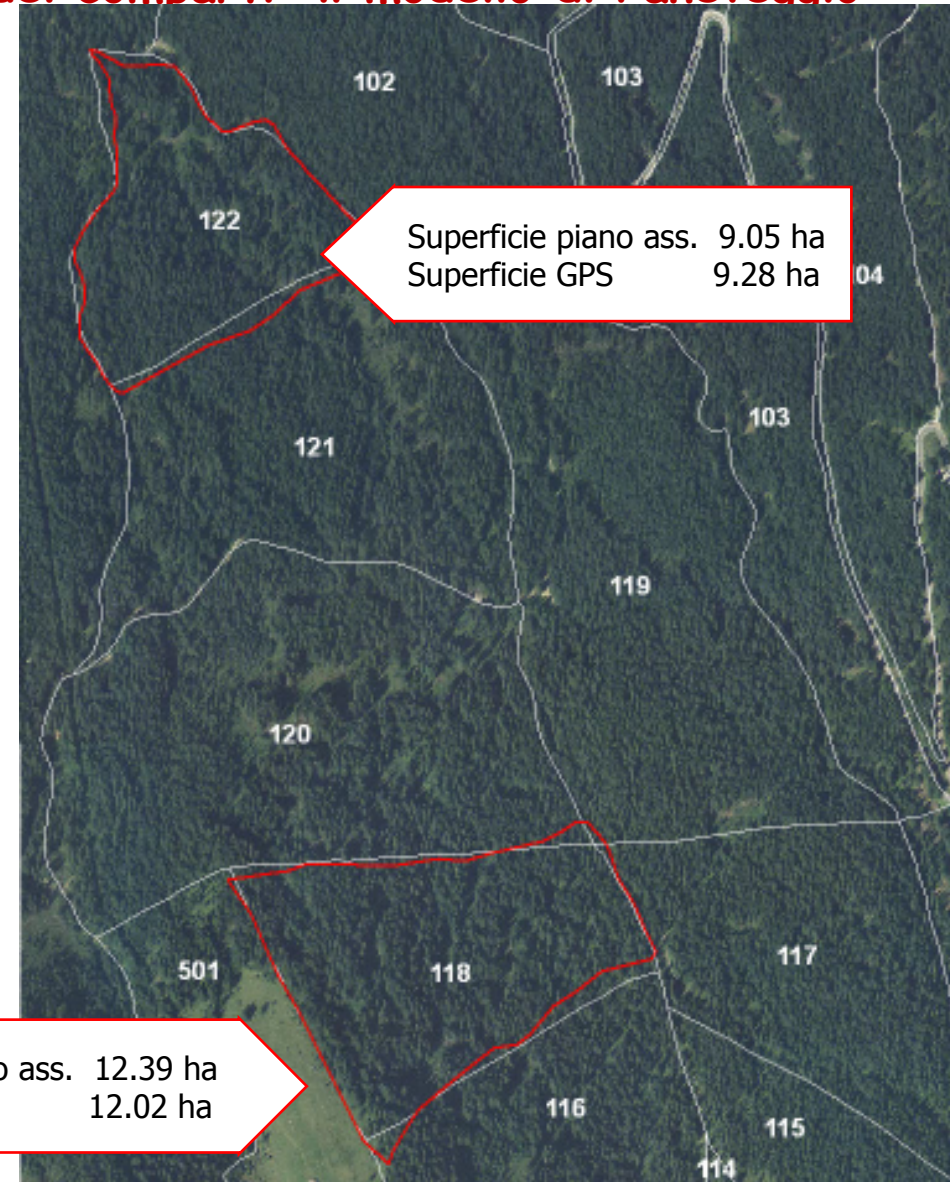
$$V = a + b \bar{h}$$



variabile stimata dal modello	V	V_p
tipo di massa stimata	massa totale	massa assestamentale
R	0,936	0,940
R^2	0,877	0,884
R^2 adjusted	0,871	0,878
RMSE (m ³ /ha)	87,7	91,1
RMSE (%)	14,3	15,3

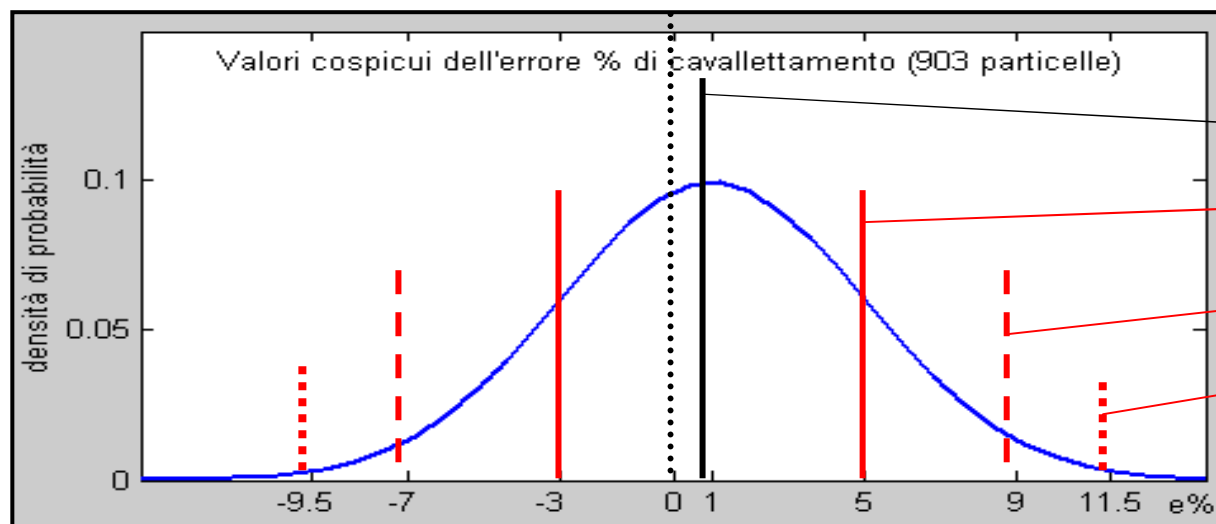
determinazione LiDAR biomasse: area based stima diretta dei volumi legnosi dei comparti: il modello di Paneveggio

- cavallettamento totale accurato con soglia diametrica a 17,5 cm (fine settembre 2010)
- rilievo di 44 altezze dendrometriche per particella, distribuite spazialmente e per classi diametriche
- rilievo DGPS accurato dei confini particellari marcati sul terreno
- elaborazione di due curve ipsometriche specifiche di particella
- calcolo dei volumi al suolo con Tavole a doppia entrata MV2 PAT
- applicazione del modello LiDAR estivo (volo estate 2008)



determinazione LiDAR biomasse: area based stima diretta dei volumi legnosi dei comparti: il modello di Paneveggio

particella	118	122	118	122	entrambe
Cavallettamento 2010 (m ³)	7379	5101	100,0%	100,0%	100,0%
Stima LiDAR volume con incremento 2008/2010 (m ³)	7037	5351	95,4%	104,9%	99,3%
Piano assestamento (m ³)	6346	4077	86,0%	79,9%	83,5%



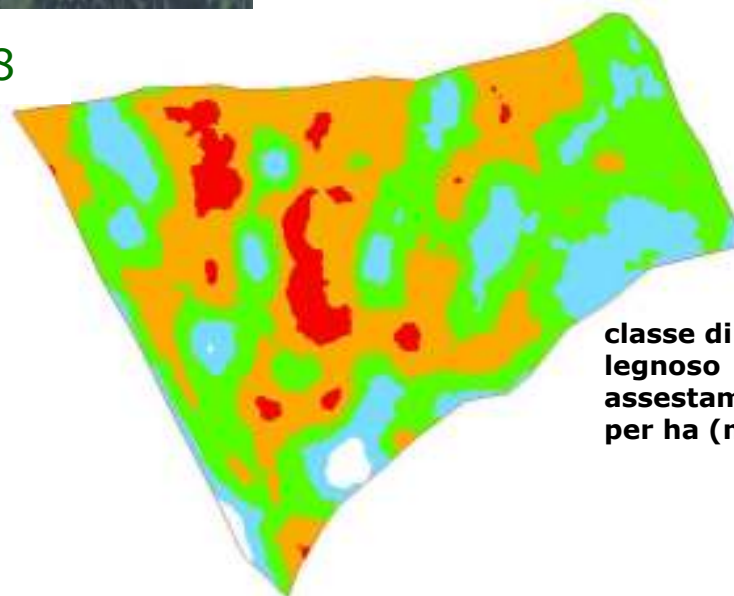
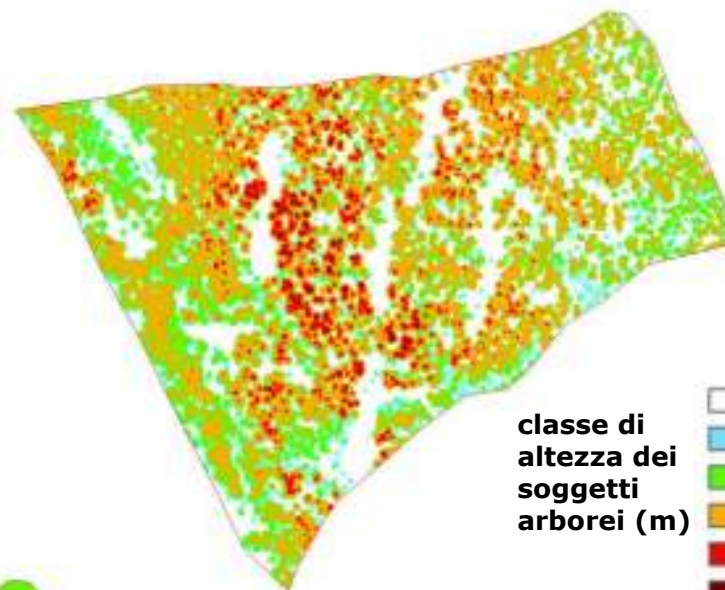
Errori +/- :	
E sistem.	+1 %
E 68%	4 %
E 95%	8 %
E 99%	10.5%

Più precisi che col cavallettamento totale?

determinazione LiDAR biomasse: area based stima diretta dei volumi legnosi dei comparti: il modello di Paneveggio



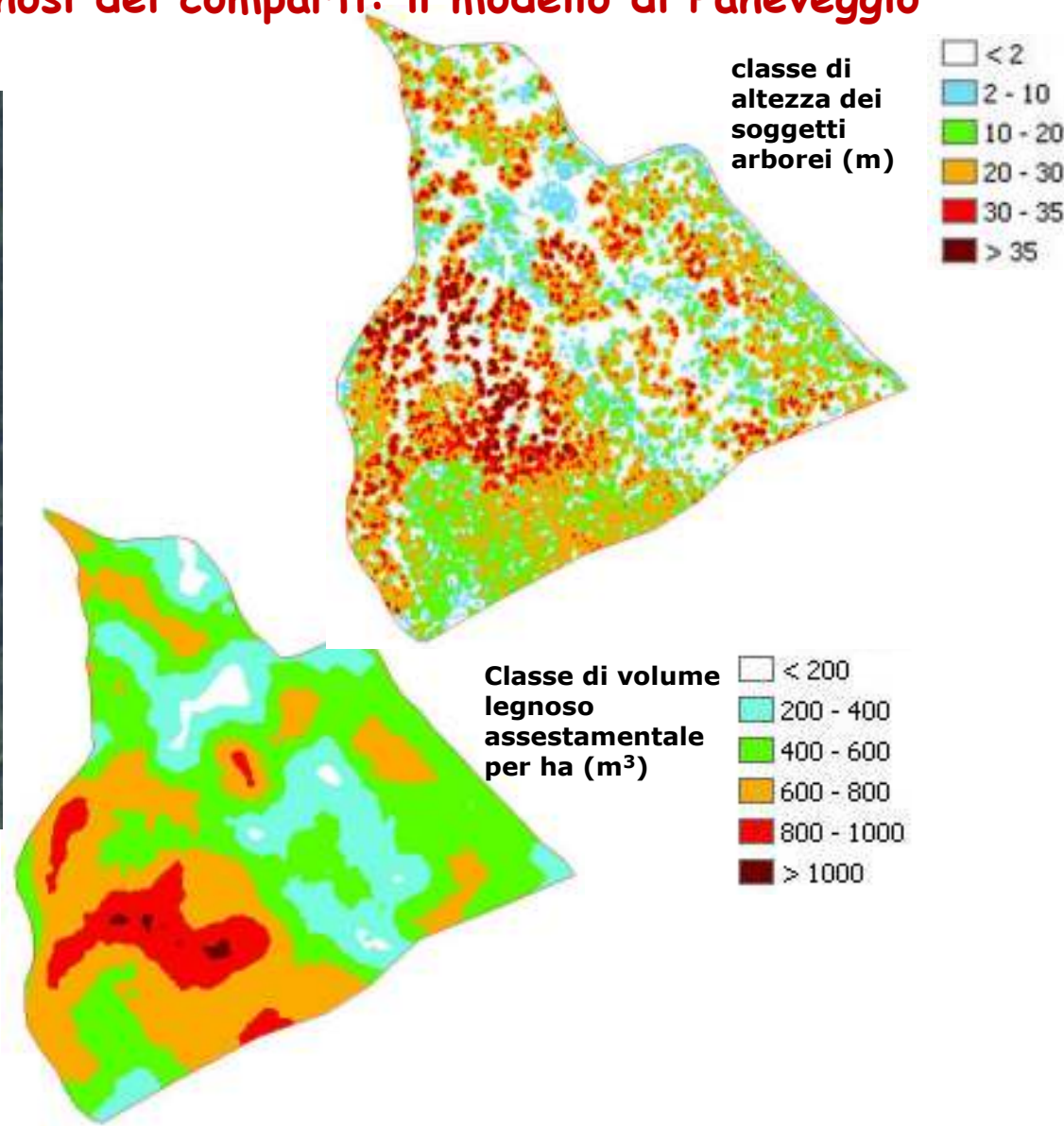
PARTICELLA 118



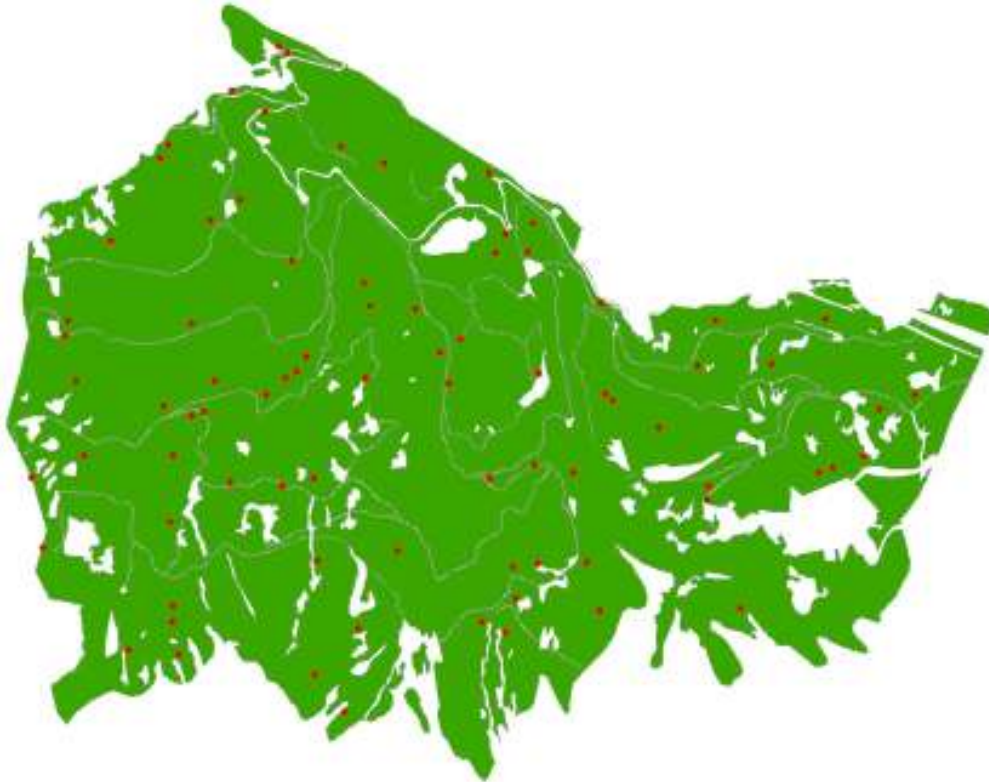
**classe di volume
legnoso
assestamentale
per ha (m³)**



determinazione LiDAR biomasse: area based stima diretta dei volumi legnosi dei comparti: il modello di Paneveggio

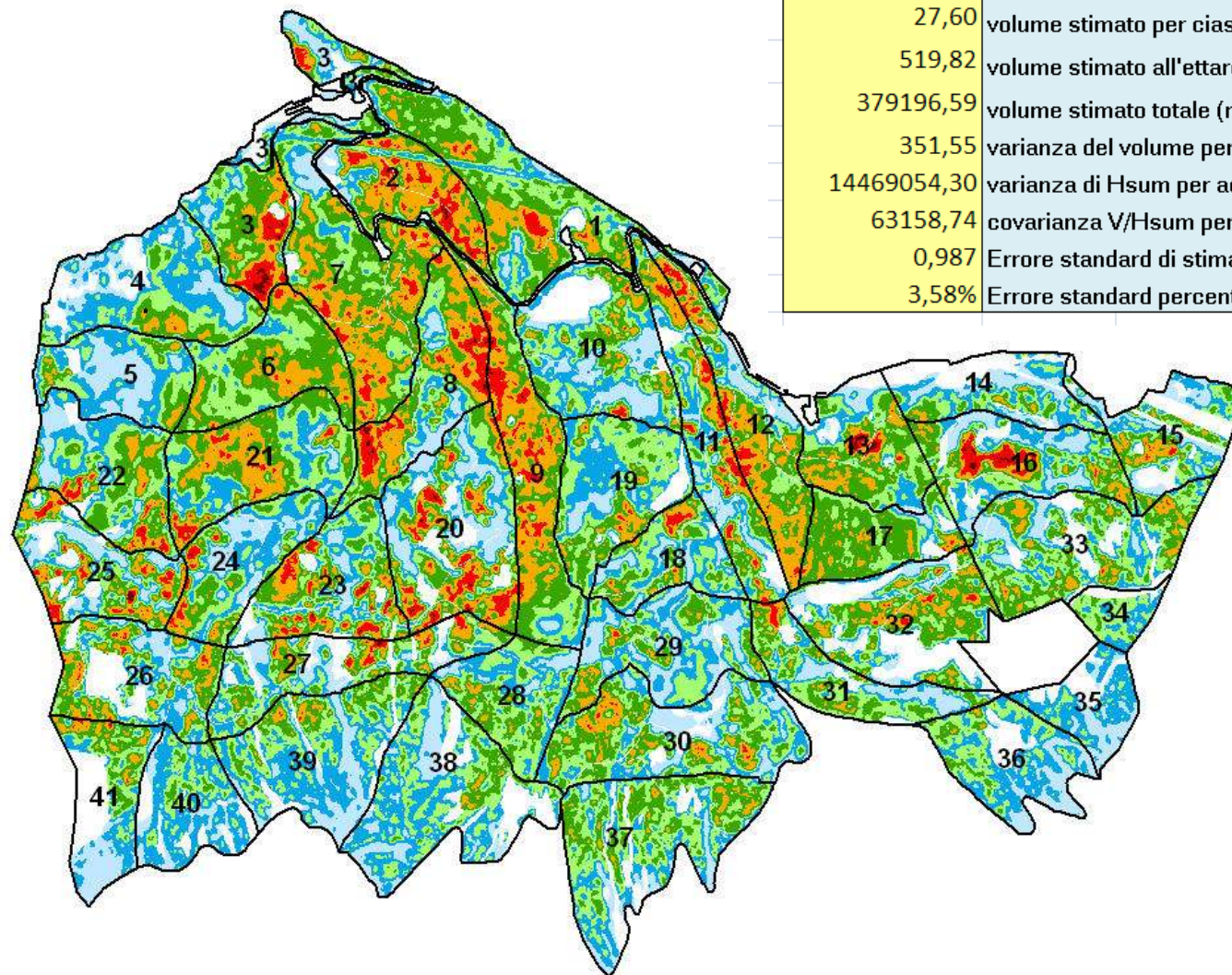


Stima dei volumi legnosi: caso di studio della Foresta del Latemar



- 79 AdS a raggio fisso (13 m, 531 m²) distribuite casualmente
- Posizionamento delle AdS con DGPS protocollo INFC
- Cavallettamento totale (soglia 7,5 cm)
- Rilievo di 6 alberi modello dell'altezza per ciascuna AdS, con rilievo coordinate polari di ciascun soggetto
- Calcolo dei volumi con Tavole a doppia entrata INFC
- Esecuzione di PNA con centro coincidente con quello delle AdS, con rilievo della specie e della classe dimensionale PMG (+preinv)
- Elaborazione di un modello LiDAR (volo estate 2007) con la variabile H_{sum} e metodo "stima per rapporti"

Stima dei volumi legnosi: caso di studio della Foresta del Latemar

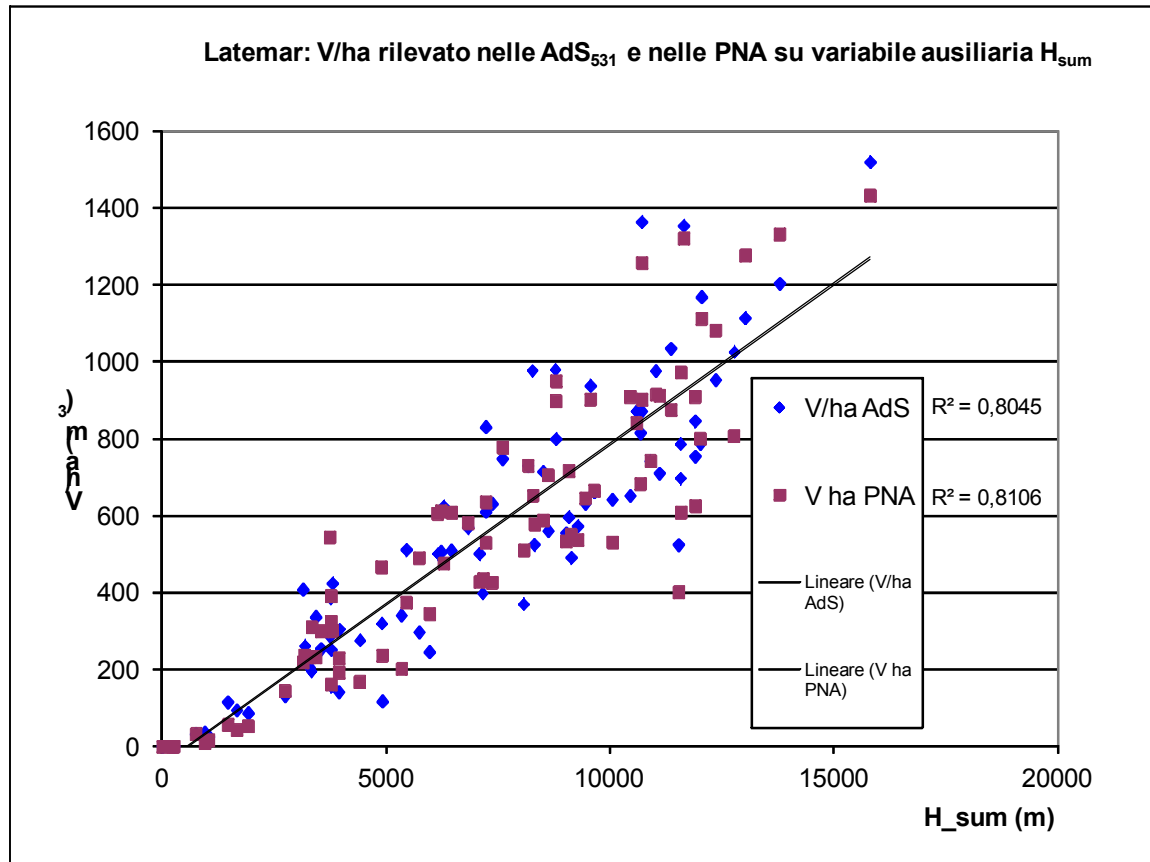


92778655,70	Hsum intero scenario (m)
6752,89	Hsum media di una estensione pari all'area di saggio (m)
729,45	superficie scenario (ha)
27,60	volume stimato per ciascuna estensione pari all'area di saggio (m ³)
519,82	volume stimato all'ettaro (m ³)
379196,59	volume stimato totale (m ³)
351,55	varianza del volume per ads
14469054,30	varianza di Hsum per ads
63158,74	covarianza V/Hsum per ads
0,987	Errore standard di stima di V/ads con formula di Freese
3,58%	Errore standard percentuale di stima di V con formula di Freese

V/ha (m³)

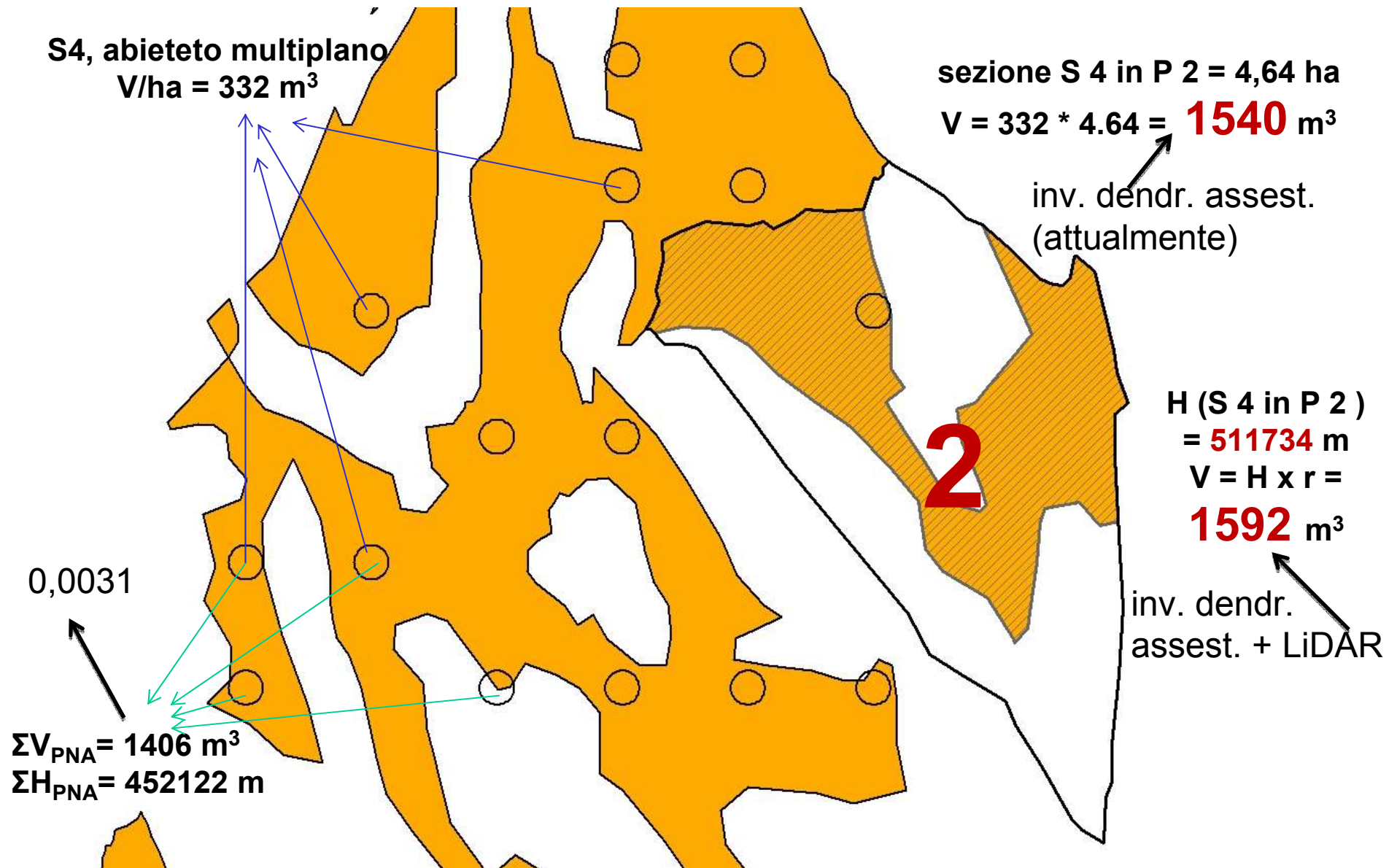


Stima dei volumi legnosi: caso di studio della Foresta del Latemar

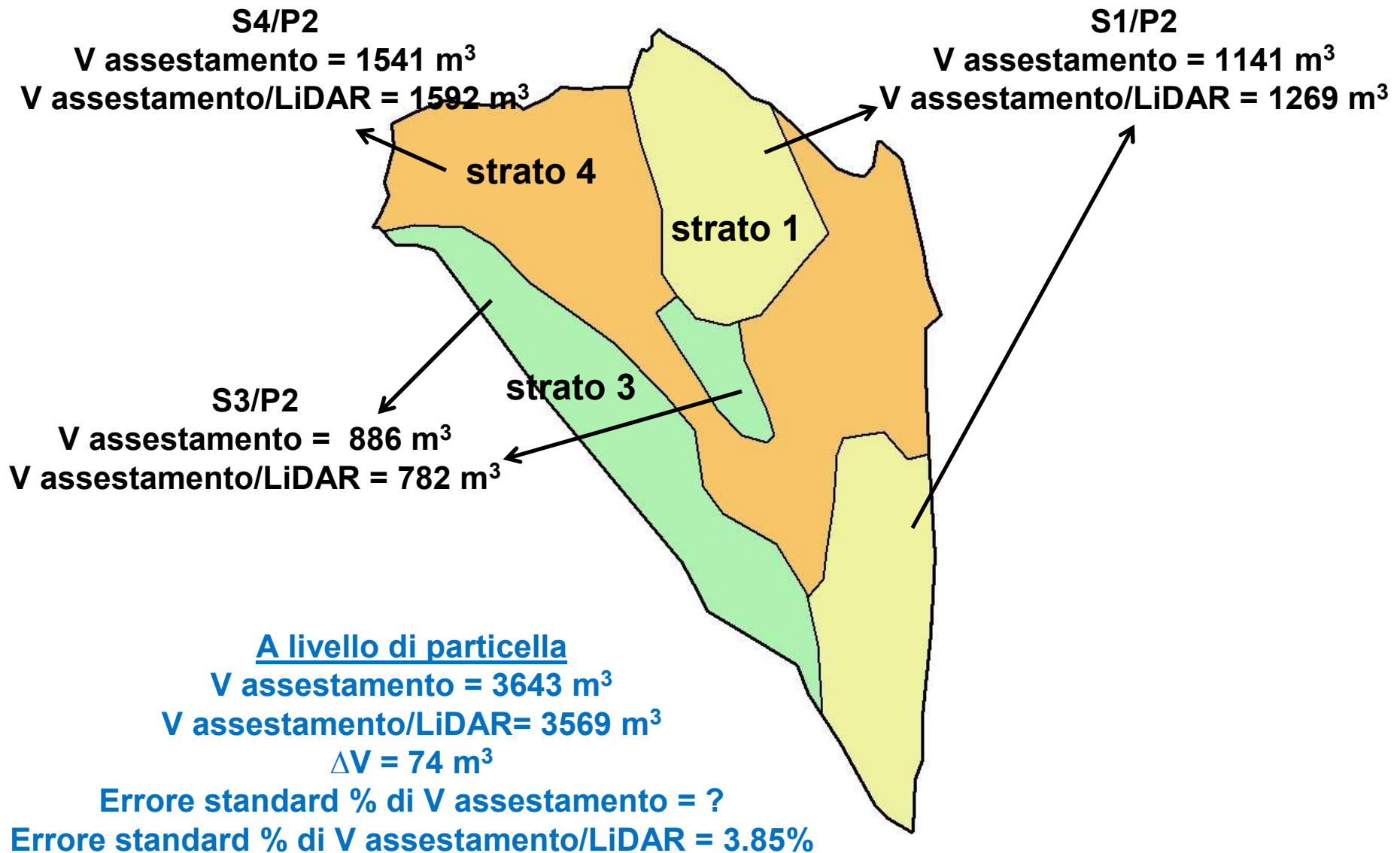


	V totale (m ³)	V/ha (m ³ /ha)	ES%
Stima campionaria da 79 ads531 e mod. st. INFC	407319,82	558,38	7,11
Stima camp. da 79 PNA e mod. per collettivi MPF	404195,54	554,11	7,14
Stima su base LiDAR con variabile ausiliaria Hsum	379196,59	519,82	3,58

L'integrazione di dati dell'inventario dendrometrico NPFAT e di dati LiDAR per la ricostruzione delle provvigioni particellari



L'integrazione di dati dell'inventario dendrometrico NPFAT e di dati LiDAR per la ricostruzione delle provvigioni particellari



L'integrazione di dati dell'inventario dendrometrico NPFAT e di dati LiDAR per la ricostruzione delle provvigioni particellari

PIANO 353 S. MARTINO								
Particella	Superficie (ha)	V assestamento/ LiDAR (m ³)	V/ha assestamento/ LiDAR (m ³ /ha)	Errore standard di V (m ³)	Errore standard % di V	V assestamento (m ³)	ΔV (m ³)	ΔV (m ³ /ha)
5	22.70	11872.51	522.92	339.94	2.86%	9637.51	-2234.99	-98.44
10	15.29	6556.05	428.90	240.65	3.67%	6259.93	-296.12	-19.37
24	15.05	8896.08	591.15	351.85	3.96%	7411.31	-1484.77	-98.66
27	24.49	9332.53	381.09	223.34	2.39%	9704.99	372.46	15.21
tutte					3.22%			

PIANO 296 FAI DELLA PAGANELLA								
Particella	Superficie (ha)	V assestamento/ LiDAR (m ³)	V/ha assestamento/ LiDAR (m ³ /ha)	Errore standard di V (m ³)	Errore standard % di V	V assestamento (m ³)	ΔV (m ³)	ΔV (m ³ /ha)
2	9.86	3643.08	369.31	140.43	3.85%	3569.73	-73.35	-7.44
3	19.13	6487.38	339.20	224.54	3.46%	6757.15	269.77	14.11
4	15.41	5978.55	388.04	319.12	5.34%	5623.33	-355.23	-23.06
5	19.80	6835.59	345.19	311.50	4.56%	7642.39	806.80	40.74
8	25.65	8477.79	330.53	311.92	3.68%	8898.77	420.98	16.41
tutte					4.38%			