

Modelli digitali di altezza della vegetazione da immagini stereometriche con tecniche di *Image Matching*.

Antonio Floris¹, Mauro Marty², Maria Rizzo¹, Christian Ginzler², Fabio Maistrelli³,
Patrizia Gasparini¹

¹ Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'Analisi dell'Economia agraria (CREA) – Centro di ricerca Foreste e Legno, Trento (IT)

antonio.floris@crea.gov.it

patrizia.gasparini@crea.gov.it

maria.rizzo@crea.gov.it

² Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) – Zurigo (CH)

christian.ginzler@wsl.ch

mauro.marty@wsl.ch

³ Provincia Autonoma di Bolzano – Ufficio per la pianificazione forestale (IT)

fabio.mais55@gmail.com

Riassunto

Nel monitoraggio delle risorse boschive, l'altezza di singoli alberi e dei soprassuoli arborei è un'informazione chiave per la determinazione della struttura e consistenza dei popolamenti e delle loro dinamiche di accrescimento. Dati estensivi di questo tipo sono onerosi da rilevare con misure dirette al suolo.

In questo contributo vengono presentate modalità ed esiti di un test effettuato nel parco Naturale di Monte Corno (Alto Adige - Sudtirolo), comparando un modello digitale di superficie (DSM) di derivazione fotogrammetrica, elaborato attraverso tecniche di *image matching*, con un analogo modello prodotto da dati LiDAR.

L'area di studio comprende diversi tipi di bosco e altre classi di vegetazione naturale, nonché usi del suolo diversi dalla foresta, che sono stati oggetto di indagine comparativa.

Le differenze medie tra i due DSM sono risultate trascurabili o poco significative negli usi del suolo con scarso o nullo accrescimento in altezza, mentre nei tre tipi di boschi indagati (latifoglie, boschi misti, conifere) esse sono più marcate (tra i 3 e i 6 metri), anche se in gran parte attribuibili all'accrescimento ipsometrico avvenuto nei sette anni intercorsi fra la ripresa Lidar (2007) e quella fotogrammetrica (2014).

Aspetto peculiare di questo studio è stato l'utilizzo di materiale aerofotogrammetrico già disponibile, rilevato per la produzione di ortofoto, in luogo di costose campagne di ripresa eseguite ad hoc.

Parole chiave

Image Matching, modelli digitali delle chiome, monitoraggio forestale, DSM, CHM, LiDAR.

Abstract

In monitoring forest resources, the height of individual trees and wood stands is a key information for determining their structure, consistency and growth dynamics. Extensive data of this type are burdensome to detect with direct ground measurements.

This paper reports on procedures and results of a test carried out in the Natural Park of Monte Corno (Bolzano province, South Tyrol - IT), comparing a photogrammetric digital surface model (DSM), processed through *image matching* techniques, with a similar one produced by Lidar data.

The study area includes different types of forest and other classes of natural vegetation, as well as land uses other than forest, which have been the subject of comparative investigation.

The average differences between the two DSMs are very small in land use classes with little or no growth in height; in the three types of forest investigated (broadleaved, mixed, conifers) they are more marked (between 3 and 6 meters) but largely due to the height increase occurred in the seven years between the Lidar (2007) and the photogrammetric (2014) flights.

A distinctive aspect of this study was the use of aerophotogrammetric material already available, acquired for orthophotos production, in place of expensive *ad hoc* shooting campaigns.

Keywords

Image Matching, canopy height model, forest monitoring, DSM, CHM, LiDAR.

1. Introduzione

Nel monitoraggio delle risorse boschive, l'altezza di singoli alberi e dei soprassuoli arborei è un'informazione chiave per la determinazione della struttura dei popolamenti, della loro consistenza (volume legnoso, biomassa, contenuto di carbonio) e, non da ultimo, delle dinamiche di accrescimento. Dati estensivi di questo tipo sono onerosi da rilevare con misure dirette al suolo.

I dati LiDAR da piattaforma aerea (Airborne Laser Scanner - ALS) sono una consolidata fonte di informazione sull'altezza delle chiome arboree, sia per collettivi che per singoli alberi [1] [2]. In Italia le missioni di acquisizione di dati LiDAR sono

spesso legate a progetti e studi su scala locale; una lodevole eccezione a tale prassi è stata costituita dal Piano Straordinario di Telerilevamento (PST) del Ministero dell'Ambiente avviato nei primi anni '2000, che ha condotto alla copertura una-tantum di un'ampia porzione del territorio nazionale [3]. Gli elevati costi e la complessità organizzativa ne hanno impedito sinora la trasformazione in servizio permanente e con periodicità certa.

L'intera copertura nazionale con ortofoto digitali è, al contrario, da molti anni garantita con campagne di volo pressoché continue e a frequenza di ripetizione triennale su ciascuna regione, per la cui produzione è indispensabile la copertura stereoscopica. Questo requisito offre la possibilità di ricavare metriche tridimensionali degli elementi fotografati in stereoscopia e ottenere modelli digitali della superficie (DSM), su ampie porzioni di territorio.

La generazione di DSM con metodi fotogrammetrici è già diffusa in ambiti quali l'urbanistica e l'architettura, la prospezione geologica e l'archeologia [4] [5]; sebbene esistano studi e realizzazioni anche nel settore del monitoraggio forestale [6] [7], se ne osserva una certa carenza nel contesto nazionale italiano [8] [9].

Vengono qui illustrati modalità ed esiti di un test effettuato nel parco Naturale di Monte Corno (Provincia Autonoma di Bolzano), verificando l'idoneità di un modello digitale di superficie (Digital Elevation Model – DSM) di derivazione fotogrammetrica, prodotto attraverso tecniche di *Stereo Image Matching* (IM), alla misura dell'altezza di popolamenti forestali e, quindi, a ottenere importanti informazioni sulla loro struttura. La verifica è avvenuta attraverso il confronto dei valori di altezza con quelli di un analogo modello prodotto da dati LiDAR. L'area di studio comprende diversi tipi di bosco e altre classi di vegetazione naturale, nonché usi del suolo diversi dalla foresta, che sono stati oggetto di indagine comparativa.

I risultati di una precedente esperienza realizzata su scala ampia in Svizzera [10] [11] hanno convinto dell'utilità di produrre un caso di studio basato su dati disponibili per il territorio italiano. Lo studio è frutto di una collaborazione nata nell'ambito delle attività del gruppo di lavoro ENFIN-ALPS per lo scambio di informazioni e l'armonizzazione dei metodi inventariali fra paesi dell'arco alpino (<http://enfin.info/>).

2. Area di studio

Verificata preliminarmente la disponibilità dei fotogrammi nativi e dei dati LiDAR di confronto, da parte dei competenti uffici della provincia Autonoma di Bolzano, è stato effettuato uno screening visivo tramite le funzionalità Web-GIS del portale provinciale (<https://maps.civis.bz.it/>), allo scopo di individuare sulle ortofoto digitali un'area con bassa percentuale di nuvole e ombre e al tempo stesso diversificata dal punto di vista dei popolamenti forestali presenti. Dall'analisi è risultata particolarmente idonea l'area del Parco Naturale di Monte Corno. L'area di studio prescelta è ampia circa 130 chilometri quadrati (Figura 1), con un *range* altitudinale tra 600 e 2000 m s.l.m. Nell'area prescelta sono presenti anche prati e pascoli, frutteti, vigneti e colture erbacee, nonché alcuni insediamenti antropici.

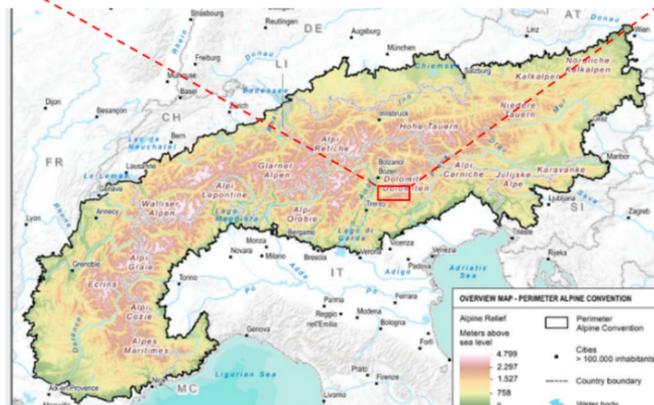


Figura 1 – collocazione geografica dell'area studio, contestualizzata nell'area complessiva dello Spazio Alpino.

3. Raccolta ed elaborazione dei dati

3.1 Pre-elaborazione dei fotogrammi e generazione dei modelli digitali

Il materiale fotografico è stato elaborato presso il Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) di Zurigo. Per elaborare il DSM sono stati utilizzati ottanta fotogrammi digitali acquisiti con il sensore Ultracam Xp (VEXCEL

Imaging) sull'area di studio nel periodo luglio-settembre 2014 (Figura 2). Le immagini hanno quattro bande spettrali (RGB+nIR), con una risoluzione radiometrica di 16 bit. La risoluzione spaziale al suolo è di circa 18 cm. Le immagini sono state fornite con elementi di orientamento assoluto derivati da un precedente processo di triangolazione aerea (coordinate del centro di presa e parametri di orientamento dei fotogrammi ω , φ , k).



Figura 2 – Esempio di fotogrammi consecutivi con indicazione della sovrapposizione stereoscopica attraverso confronto fra elementi omologhi.

La generazione del DSM (Figura 3) è stata realizzata utilizzando il software Socetgxp 4.3.0 (BAE SYSTEMS), con l'algoritmo NGATE (Next Generation Automatic Terrain Extraction), basato su un algoritmo ibrido di abbinamento delle immagini che combina metodi *area-based* e *feature-based* e calcola misure di somiglianza basate su un approccio bidimensionale di cross-correlazione per ogni pixel dell'immagine [12].

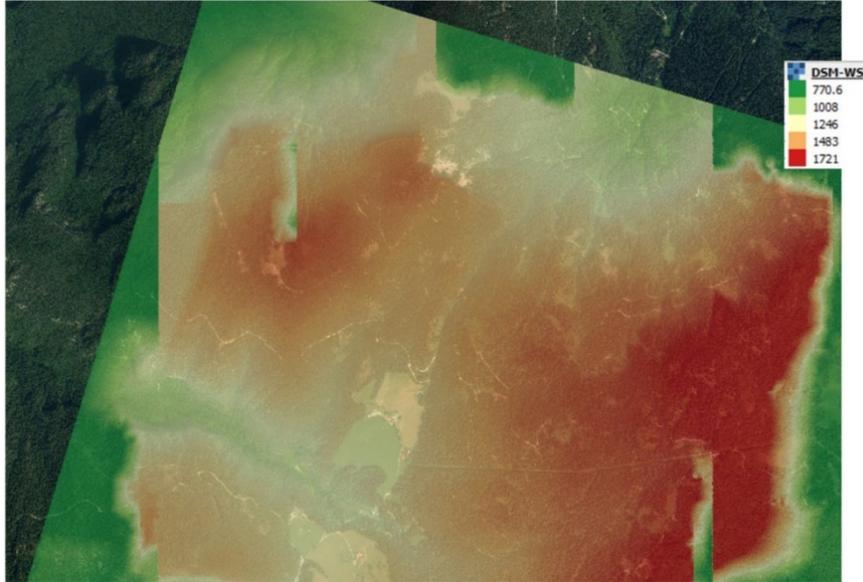


Figura 3 – DSM fotogrammetrico elaborato con Stereo-Image Matching, esempio riferito a una porzione dell’area di studio, sovrapposto in semitrasparenza a ortofoto.

L’algoritmo ha generato una griglia regolare di 0.5 m, esportata come file ASCII (x, y, z), contenente anche, per ciascun punto della matrice, un coefficiente indicatore della qualità della corrispondenza - la cosiddetta cifra di merito (Figure Of Merit - FOM). Solo i punti abbinati con successo sono stati poi triangolati e rasterizzati per la rappresentazione finale utilizzando il software Lastools (<http://lastools.org/>). Sono state applicate tre diverse impostazioni riguardanti il numero massimo di coppie stereo utilizzabili per la corrispondenza di ciascun punto (1, 2 e 3). È stato ottenuto un miglioramento sostanziale nella completezza di corrispondenza e livello di dettaglio impostando tale parametro a 2 invece di 1; aumentare questo valore a 3 non ha portato ad un miglioramento significativo e in alcune aree si è potuto osservare anche un aumento di *outliers*.

3.2 Dati LiDAR di confronto

I dati LiDAR utilizzati per la comparazione dei DSM provengono da due distinte campagne di ripresa: Piano Straordinario di Telerilevamento, con volo eseguito per la provincia di Bolzano nell’anno 2007, e progetto Solar Tyrol (ST) finalizzato alla valorizzazione dell’utilizzo di energia solare in Sudtirolo, con volo eseguito nel 2013 [13]. I dati PST sono stati forniti già elaborati, come DSM e DTM (modello digitale del terreno) in formato raster alla risoluzione geometrica di 2 m, più che sufficiente per le finalità dello studio. La loro accuratezza altimetrica nominale è di 30-40 cm, riferita però alle zone dove sono maggiormente concentrati i punti di controllo a terra (GCP), mentre nelle aree forestali e, più in generale, in quelle impervie e a elevata inclinazione

del terreno, essa è sicuramente inferiore [2] [14]. La ripresa LiDAR Solar Tyrol, a risoluzione geometrica ed accuratezza decisamente più elevate (50 cm e 15 cm, rispettivamente), non è disponibile per la maggior parte delle aree interessate da soprassuoli boschivi; essa è stata pertanto utilizzata come dato di validazione dell'affidabilità della ripresa PST.

I tre DSM disponibili (fotogrammetrico, PST e ST) sono stati confrontati tal quali, senza calcolare i rispettivi modelli digitali delle chiome (Canopy Height Model – CHM), in quanto il DTM da sottrarre per ottenere i CHM sarebbe stato sempre lo stesso (PST) e avrebbe agito come costante nel calcolo delle differenze.

3.3 Classificazione degli usi del suolo sul campione di punti di controllo

Per poter operare confronti distinti sui diversi usi del suolo, si è deciso di calcolare le differenze di valori tra i due DSM su punti campione. Questa modalità garantisce che ciascun punto esaminato appartenga ad una univoca classe di uso del suolo. Sono stati generati casualmente 500 punti di controllo, 300 in aree boscate e 200 in altre aree, stratificati sulla cartografia Corine Land Cover (IV livello) – anno 2011 - in modo da rappresentare le principali classi di uso del suolo presenti.

L'attribuzione definitiva alle rispettive classi è avvenuta per fotointerpretazione (Figura 4). Due fotointerpreti indipendenti, dopo una fase di sincronizzazione, hanno classificato due sottoinsiemi con una sovrapposizione del 10% di punti, confrontandosi sui casi di dubbia attribuzione; in questa fase sono stati inoltre esclusi i punti non idonei per le analisi successive a causa di: i) cambiamenti importanti intervenuti fra il volo LiDAR e le riprese fotografiche (es. cambio coltura agricola, cambio tipo di bosco, costruzione manufatti ecc.); ii) presenza di nubi o ombre; iii) attribuzione incerta della classe di appartenenza. La numerosità finale di punti di confronto è risultata pertanto pari a 369 (198 punti in bosco, 171 in altre classi di uso del suolo).

Con la funzionalità di QGIS *Extract value to points* [15] sono stati estratti i valori di altezza dei punti campione per i DSM da confrontare.

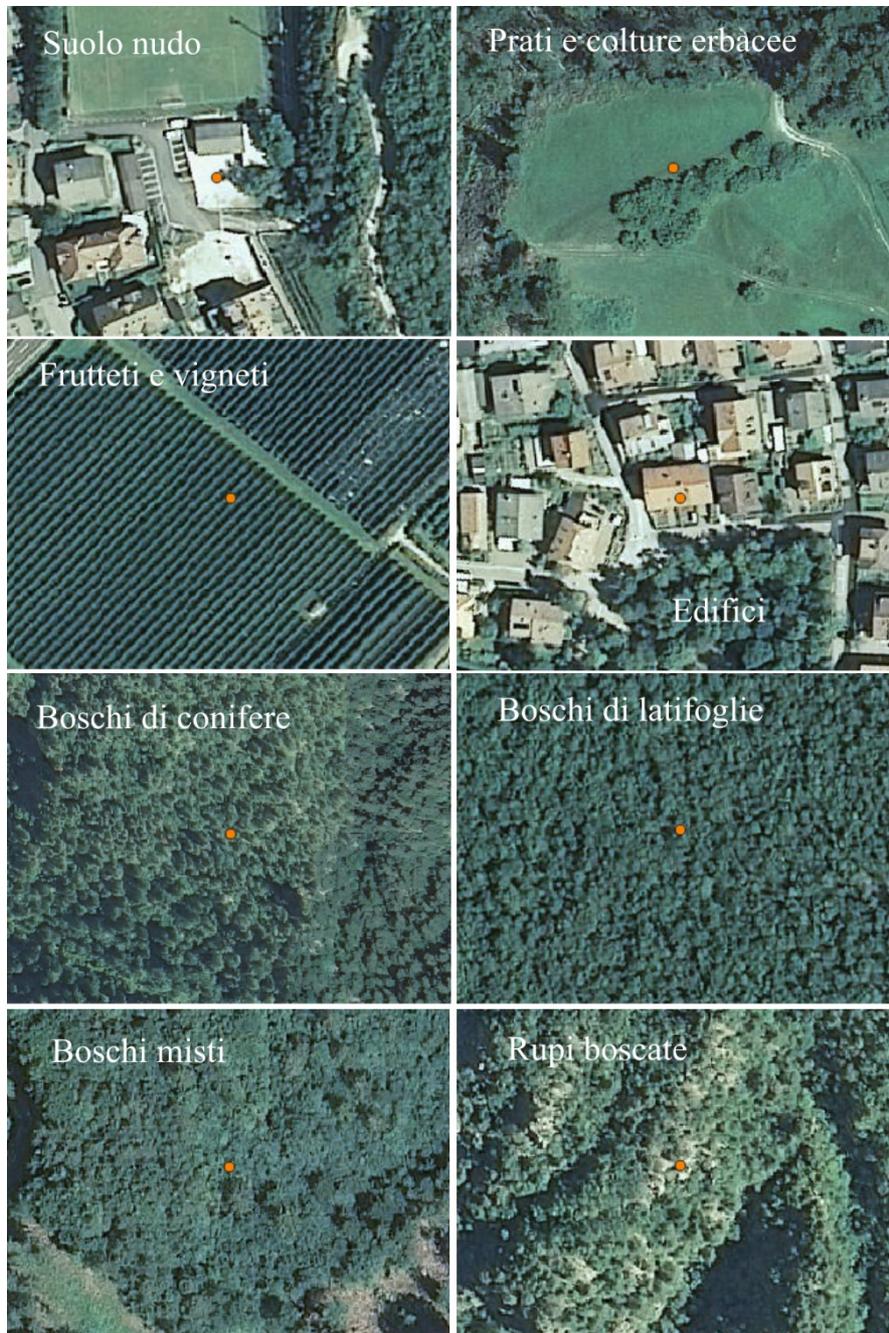


Figura 4 – Esempi delle otto classi di uso/copertura del suolo riconosciute con la fotointerpretazione.

4. Risultati: valori di altezza della vegetazione: confronto fra il modello generato da Image Matching e quello LiDAR

Con riferimento a ciascun punto campione, sono state calcolate le differenze tra i valori di altezza estratti dai due DSM a confronto (con segno, per tener conto di eventuali scostamenti sistematici), calcolandone le principali statistiche descrittive (Tabella 1).

L'analisi sulle prime quattro classi di uso del suolo, sebbene non appartenenti al contesto forestale, è sembrata particolarmente utile in quanto era lecito attendersi in esse differenze di altezza molto contenute, in particolare nella classe "Suolo nudo".

Tabella 1 – Statistiche descrittive delle differenze tra i modelli di superficie confrontati (DSM IM – DSM LiDAR PTR), per le diverse classi di uso/copertura del suolo individuate con la fotointerpretazione.

Classe di uso/copertura del suolo	N. osservazioni	Media (m)	Mediana (m)	Min (m)	Max (m)	Dev. St. (m)
Suolo nudo	34	0.04	0.13	-1.56	1.90	0.77
Prati, pascoli e colture erbacee	37	1.00	1.00	-0.84	2.34	0.56
Frutteti e vigneti	43	0.09	0.08	-1.99	2.50	0.92
Edifici (sommità)	25	1.39	1.29	-3.84	5.94	2.42
Boschi di conifere	110	6.16	5.88	-14.45	17.64	4.35
Boschi di latifoglie	59	3.10	2.92	-2.78	11.12	2.59
Boschi misti	29	4.79	2.93	-0.97	15.98	4.43
Rupi boscate	32	0.51	0.67	-13.04	17.66	6.03

In primo luogo si osservano differenze estremamente contenute in Suolo nudo e Frutteti e vigneti; un po' più marcate, nell'ordine del metro, nelle formazioni erbacee e in Edifici; queste due classi sono entrambe caratterizzate da una possibile, probabile nel caso degli edifici, inclinazione del piano di osservazione (molti punti di formazioni erbacee sono prati e pascoli di quota con pendenze importanti).

Nelle tre classi di boschi le differenze diventano importanti, anche considerando il parametro Mediana che elimina l'effetto dei valori estremi sulla media. Tali differenze sono inoltre sempre positive, cioè il DSM fotogrammetrico da IM presenta valori di altezza sistematicamente più elevati del DSM LiDAR. Questo apparente scostamento sistematico è dovuto a due motivi distinti: a) la ripresa fotogrammetrica è avvenuta in epoca di pieno sviluppo vegetativo, mentre quella LiDAR, essendo destinata soprattutto alla produzione di un DTM, è stata eseguita per lo più in periodo invernale/primaverile; b) nei sette anni trascorsi fra le due campagne di volo vi è stato un sicuro accrescimento in altezza della vegetazione arborea.

L'analisi è stata successivamente approfondita per le tre classi forestali, introducendo la variabile "inclinazione del terreno" come possibile discriminante di precisioni diverse nel calcolo dei modelli di superficie (Tabella 2), senza riuscire peraltro a individuare una tendenza univoca nell'effetto dell'inclinazione sugli scostamenti in altezza.

Tabella 2 – Statistiche descrittive delle differenze tra i modelli di superficie confrontati (DSM IM – DSM LiDAR PST), per tre classi di inclinazione del terreno.

Classe uso suolo	Inclinazione (°)	N. osservaz.	Media (m)	Mediana (m)	Min (m)	Max (m)	Dev. St. (m)
Boschi di conifere	≤ 10	15	4.12	4.68	-14.45	10.67	5.93
	10 ÷ 20	22	6.91	6.17	-1.05	15.31	4.01
	> 20	74	6.54	6.11	-2.74	19.01	4.30
Boschi di latifoglie	≤ 20	10	2.81	3.78	-14.87	13.67	7.21
	> 20	50	2.86	2.71	-2.78	6.95	2.42
Boschi misti	≤ 20	6	7.44	6.50	2.52	14.27	3.95
	> 20	23	4.10	2.56	-0.97	15.98	4.36

5. Discussione e conclusioni

La tendenza al verificarsi di eventi meteorologici estremi con impatti significativi e a volte drammatici sulla vegetazione arborea, quali la recente tempesta Vaia [16], determina l'esigenza di aggiornare in modo rapido e frequente le informazioni disponibili sulla copertura forestale. Stereocoppie riprese con voli ad hoc, anche da UAV, hanno già mostrato la loro idoneità a questo tipo di applicazioni. Con il presente studio si intendeva verificare se anche voli "standard" per la produzione di ortofoto su vasta area fossero idonei allo scopo.

I risultati ottenuti sembrano confermare la capacità di un DSM di derivazione fotogrammetrica di fornire misure dell'altezza delle chiome arboree con precisioni

paragonabili a quelle ottenute da un analogo modello derivato da dati LiDAR, pur con alcuni limiti dovuti alla contenuta estensione dell'area di studio e alla disomogeneità temporale dei dati confrontati. Nella maggior parte delle classi di uso del suolo non forestali esaminate i due modelli sembrano essere molto concordi. Le differenze medie tra i due DSM sono risultate trascurabili o poco significative negli usi del suolo con scarso o nullo accrescimento in altezza (suolo nudo, prato, frutteti e vigneti, sommità di edifici); nei tre tipi di bosco indagati (boschi di latifoglie, boschi misti, boschi di conifere) esse sono più marcate (tra i 3 e i 6 metri), ma in linea con l'accrescimento ipsometrico atteso per il periodo trascorso fra la ripresa Lidar (2007) e quella fotogrammetrica (2014).

Nella classe “rupi boscate”, la differenza media molto contenuta (0.51 m) è molto interessante, poiché si tratta di una tipologia di elementi naturali per i quali è difficile raccogliere misure dirette, ma che sono spesso colonizzati da vegetazione arbustiva e arborea importante dal punto di vista ecologico e protettivo. Questa classe è peraltro concentrata quasi esclusivamente in zone ad elevatissima inclinazione.

Le incertezze di misura riscontrate, nei tre diversi tipi di formazioni forestali esaminati, rientrano entro limiti ampiamente accettabili per l'inquadramento della struttura verticale a livello di popolamenti, poiché si usa solitamente ripartire i boschi in classi di altezza abbastanza ampie, anche 5 m o più. Una maggiore prudenza andrebbe invece adottata volendo usare i valori di altezza a livello di singoli alberi o di piccoli gruppi di chiome: in questi casi l'incertezza comunemente accettata con misure dirette da terra o con modelli derivati da LIDAR ad alta risoluzione può essere dell'ordine di alcuni decimetri (30-40 cm), requisito che il presente studio non è in grado di dimostrare.

Il dato di raffronto adottato, cioè il modello di superficie derivato da LiDAR, non può essere peraltro considerato come “verità a terra” per alcuni suoi requisiti intrinseci di acquisizione e processamento, tra cui una risoluzione inferiore a quella del dato fotogrammetrico ed epoche di ripresa per lo più non coincidenti con il pieno sviluppo vegetativo.

Obiettivo di una prossima attività sarà quello di ripetere lo studio in uno scenario più ampio, usando un DSM LiDAR di confronto temporalmente sincrono con quello fotogrammetrico, estendendo il campione a un maggior numero di punti, includendo anche elementi areali e acquisendo dati di altezza su punti di controllo al suolo (GCP) in foresta.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Stefano Morelli (CREA Centro di Ricerca Foreste e Legno – Trento) per la collaborazione alla fotointerpretazione, e il dott. David Colmano (Ufficio cartografico della provincia Autonoma di Bolzano), per aver messo a disposizione i dati fotogrammetrici e LiDAR utilizzati nel corso dello studio.

Bibliografia

1. Corona P., Cartisano R., Salvati R., Chirici G., Floris A., Di Martino P., Marchetti M., Scrinzi G., Clementel F., Travaglini D., Torresan C., 2012 - Airborne Laser Scanning to support forest resource management under alpine, temperate and Mediterranean environments in Italy. *Italian Journal of Remote Sensing* - 2012, 45: doi: 10.5721/EuJRS2012450. p. 27 – 37
2. Floris A, Penasa A, Michelini T, Puletti N, 2017. Individuazione e correzione di outlier nei dati raster LiDAR provenienti dal Geoportale Nazionale e produzione di un CHM idoneo alla stima delle provvigioni legnose della Calabria. *Forest@* 14: 188-201 [online 2017-05-15] URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor2328-014>
3. MATTM/PST-A (2015). Sito ufficiale del Geoportale nazionale. Website. [online] URL: <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/progetto-piano-straordinario-di-telerilevamento/> ultimo accesso 13/05/2021
4. Climastone S., Poles N., Poli D., Moe K., Meneghetti R., Missaglia M., Sartori M., 2019 - Immagini aeree oblique per la pubblica amministrazione. L'esempio di Treviso. Atti Conferenza ASITA, Trieste 12-14 novembre 2019. Pp. 259-266. <http://atti.asita.it/ASITA2019/> ISBN 978-88-941232-5-8
5. Poli, D., Toschi, I., Moe, K., Lago, F., Remondino, F., Legat, K., Schreiner, C., 2016. Fotogrammetria con immagini aeree oblique - sviluppi e prodotti innovativi. Atti XX Conferenza Nazionale ASITA, Cagliari. <http://atti.asita.it/ASITA2016/index.html> ISBN 978-88-941232-6-75
6. Grenzdörffer G.J., Engel A., Teichert B., 2008. The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *IAPRS&SIS, Vol. 37(B1), Beijing, China*, pp. 1207-1213.
7. Straub C., Stepper C., Seitz R., Waser L.T., 2013. Potential of UltraCamX stereo images for estimating timber volume and basal area at the plot level in mixed European forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 2013, Vol. 43, No. 8: pp. 731-741 <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-0125>
8. Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011*
9. Floris A., Clementel F., Colle C., Gubert F., Bertoldi L., De Lorenzi G., 2012 - Stima di volumi legnosi forestali con dati fotogrammetrici telerilevati da UAV su piccole superfici: un caso di studio in Trentino. Atti XVI Conferenza Nazionale ASITA - Fiera di Vicenza 6-9 novembre 2012 pp. 681-688. ISBN 978-88-903132-7-1 <http://atti.asita.it/ASITA2012/index.html>

10. Ginzler C., Hobi M. L., 2015 – Countrywide Stereo-Image Matching for Updating Digital Surface Models in the Framework of the Swiss National Forest Inventory. *Remote sensing* 2015, 7, 4343-4370; doi:10.3390/rs70404343
11. Waser L.T., Fischer C., Wang Z., Ginzler C., 2015 – Wall-to-Wall Forest Mapping Based on Digital Surface Models from Image-Based Point Clouds and a NFI Forest Definition. *Forests* 2015, 6 (12), 4510-4528; <https://doi.org/10.3390/f6124386>
12. Devenecia K., Walker S., Zhang B., 2007 - New Approaches to Generating and Processing High Resolution Elevation Data with Imagery. *Photogrammetric Week*, 17 (5), S. 1442- 1448.
13. Provincia autonoma di Bolzano. Pagina Web di descrizione del progetto Solar Tyrol. <https://www.provincia.bz.it/natura-ambiente/natura-territorio/cartografia/solar-tirol.asp> Ultimo accesso 14/05/2021.
14. Edson C, Wing MG (2015). LiDAR elevation and DEM errors in forested settings. *Modern Applied Science* 9 (2): 139-157. - doi: 10.5539/mas.v9n2p139
15. QGIS Development Team, 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
16. Pirotti F., Schiavon S., Grigolato S., Marchetti G., Lingua E., 2019 - Utilizzo di diversi metodi di telerilevamento per la caratterizzazione del danno da schianti su bosco: esperienza post-tempesta VAIA. Atti Conferenza ASITA, Trieste 12-14 novembre 2019. Pp. 869-876. ISBN 978-88-941232-5-8 <http://atti.asita.it/ASITA2019/>

#AsitaAcademy2021