

Metodi di filtraggio e classificazione di nuvole di punti per l'identificazione di strutture arboree

Nazarena Bruno, Claudio Morini

Università degli Studi di Parma, Parco Area delle Scienze 181A, 0521 905972, 0521 905924,
nazarena.bruno@studenti.unipr.it, claudio.morini1@studenti.unipr.it

Riassunto

Per descrivere le caratteristiche dendrologiche ed ecologiche di una qualsiasi area boscata si procede normalmente con l'analisi in sito di tutte le piante presenti. Il rilievo prevede l'impiego di personale tecnico in campo, comportando inevitabilmente un dispendio elevato di tempo e di personale.

Il presente lavoro, nato in collaborazione con ARPA Valle d'Aosta, ha lo scopo di proporre una metodologia di analisi robusta e automatizzata che, partendo da un modello tridimensionale di una qualsiasi area boscata costituito da una nuvola di punti, consenta di estrapolare in via analitica alcuni di questi parametri (in particolare numero, posizione degli alberi e diametro dei tronchi ad altezza petto). L'algoritmo proposto si basa sull'individuazione dei tronchi in quanto elementi geometrici particolarmente distinguibili e si propone come strumento per supportare e rendere più rapide le fasi di misurazione di tali valori.

1. Introduzione

Una corretta attività di pianificazione e gestione delle risorse forestali non può prescindere da un'analisi dettagliata delle aree boscate. Ottenere informazioni sui singoli alberi consente di valutare molteplici aspetti utili a caratterizzare dendrologicamente ed ecologicamente la popolazione arborea delle foreste. Generalmente vengono analizzati parametri quali diametro medio e altezza media del tronco, numero di piante per ettaro, volume di legna totale, ecc., per la cui valutazione si procede per "aree di saggio", ovvero porzioni boscate di limitata estensione, distribuite casualmente o individuate secondo una griglia regolare.

Il rilievo prevede l'impiego di personale tecnico in campo, a cui è attribuito il compito di misurare manualmente i parametri dendrometrici che caratterizzano i singoli alberi, comportando inevitabilmente un dispendio non trascurabile di personale e tempo.

Negli ultimi anni numerose sono state le ricerche e gli studi specifici nel campo del remote sensing applicato in ambito forestale, al fine di supportare le operazioni di rilievo. Accanto al laser scanner (LS) aereo (Birdal et al., 2017) e terrestre (Roñca et al., 2018) si sta anche affermando l'uso di UAV (Unmanned Aerial Vehicle), equipaggiati con camere anche a basso costo, in particolare per rilievi topografici legati al monitoraggio delle dinamiche forestali (Koh and Wich, 2012) e dello stato di salute delle piante (Dash et al., 2017), per la mappatura delle aree prive di chiome nelle foreste (Getzin et al., 2012) oppure per la misura dell'altezza degli alberi in aree boschive (Zarco-Tejada et

al., 2014). Esistono infine studi che combinano i due approcci integrando i dati da LS a quelli fotogrammetrici (Wallace et al., 2014a; Wallace et al., 2014b). I progressi scientifici e tecnologici in questo ambito hanno reso queste tecniche potenzialmente accessibili e utilizzabili in alternativa al monitoraggio manuale delle aree boschive, riducendo tempistiche, dispendio di forze e rischi connessi. Il lavoro qui presentato propone una metodologia di analisi robusta e automatizzata che, partendo da una nuvola di punti rappresentante una qualsiasi area boscata, consente di estrapolare in via analitica alcuni dei parametri sopracitati. In particolare, si è focalizzata l'attenzione sulla valutazione del numero, della posizione degli alberi e del diametro dei tronchi ad altezza petto (Diameter at Breast Height, DBH). La procedura di riconoscimento degli alberi proposta si basa sull'individuazione dei tronchi in quanto si configurano come elementi geometrici particolarmente distinguibili all'interno della struttura arborea e associati in maniera pressoché univoca (a meno di biforcazioni in prossimità del suolo) ai singoli alberi. L'algoritmo con il quale si esegue tale procedura è stato implementato in linguaggio Matlab.

2. Sito di indagine e acquisizione dati

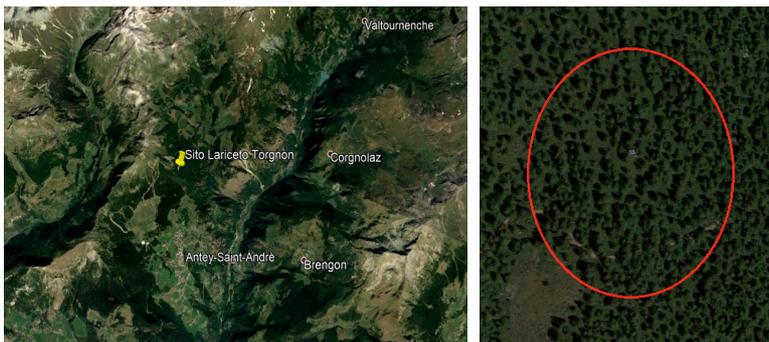


Figura 1_Sito di indagine.

Il progetto è nato in collaborazione con ARPA Valle d'Aosta (ARPAVdA) e le elaborazioni effettuate sono riferite ad un sito ubicato in Valtournenche in località Tronchaney (Comune di Torgnon). L'area boschiva è situata tra i 2050 e i 2100 metri di quota sul livello del

mare per una estensione di circa 3 ha. Dal punto di vista ecologico il bosco è classificato come "lariceto subalpino secondario". Si tratta quindi prevalentemente di un bosco di larici (*Larix decidua*), con presenza di "sporadici" abeti rossi (*Picea abies abies*), caratterizzato da una struttura irregolare. Sono presenti alberi più vecchi uniti a piante più giovani dalle dimensioni ridotte; in generale sono rappresentate tutte le classi intermedie di diametro e altezza.

L'indagine è stata condotta su set di dati provenienti da UAV e Laser Scanner Terrestre (TLS). Per quanto riguarda le acquisizioni da UAV, sono state effettuate dal personale ARPAVdA 4 missioni, due nel 2013 e due nel 2017, utilizzando droni e sensori differenti (tre con Sense Fly Ebee RTK e una con DJI Phantom 4 Pro). Le acquisizioni da TLS (modello Leica C10) sono state effettuate in concomitanza con i voli UAV di luglio 2017; in totale sono state eseguite 10 scansioni relative ad un'area di circa 1 ha.

Tra le nuvole di punti ottenute da UAV, l'applicabilità del metodo è stata testata sulla nuvola prodotta dal Phantom 4 Pro.

Tuttavia, trattandosi di un bosco con alberi non a foglia caduca, le immagini nadirali acquisite da drone presentavano numerose occlusioni che non hanno permesso la corretta ricostruzione degli elementi al di sotto delle chiome.

Pertanto, le acquisizioni effettuate con TLS si sono rivelate più idonee a garantire una corretta ricostruzione dell'intero l'impianto arboreo, consentendo l'individuazione dei tronchi. Nei test effettuati, riportati di seguito nell'articolo, verrà dunque utilizzata la nuvola acquisita con TLS.

L'immagine in Figura 2 mostra il differente grado di completezza e densità delle nuvole rilevate da drone e da terra.

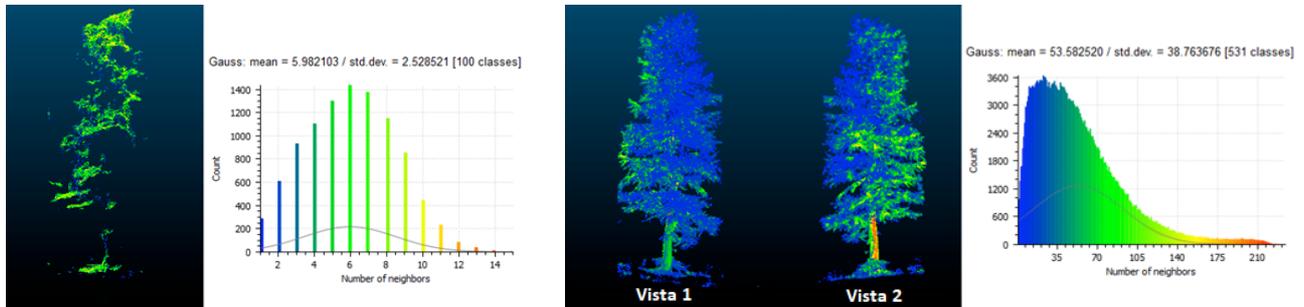


Figura 2_Analisi di densità su un albero isolato dalla nuvola ottenuta con Phantom 4 Pro (sinistra) e con TLS (destra).

3. Metodologia di riconoscimento adottata

La procedura di riconoscimento è stata implementata in linguaggio Matlab e riprende quella proposta da (Aschoff & Spiecker, 2004).

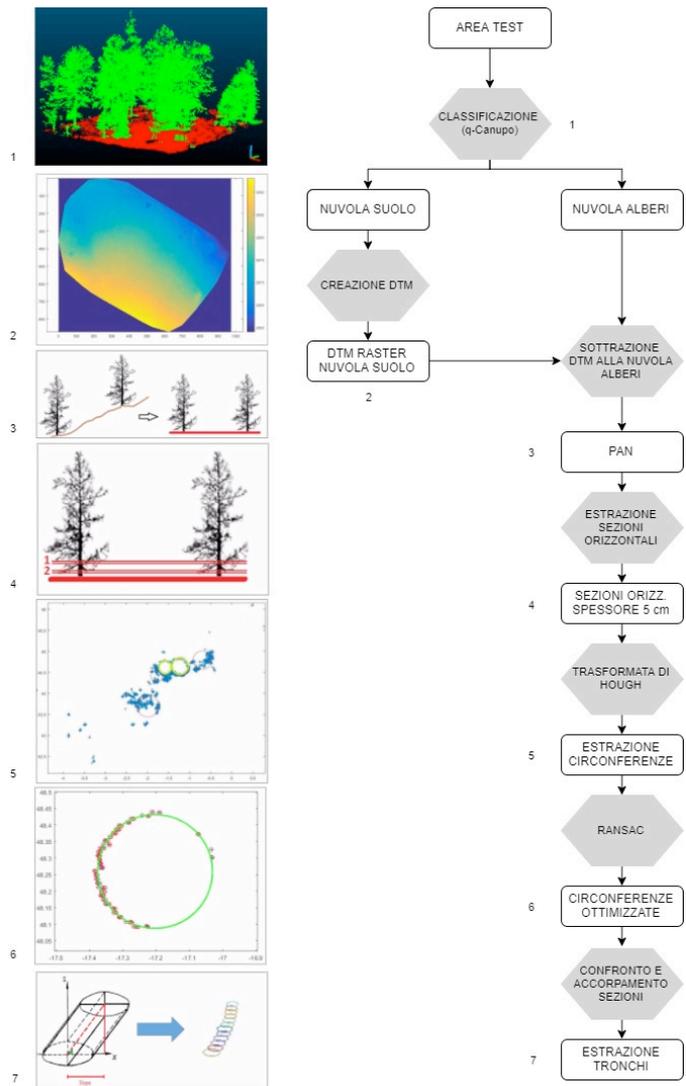
Il diagramma di flusso riportato in Figura 3, sintetizza il workflow di lavoro e le funzioni implementate nel codice di calcolo.

Nello specifico, in una prima fase la nuvola di punti rappresentante la porzione di bosco in esame viene sottoposta ad un processo di classificazione tridimensionale (mediante q-Canupo, plug-in di CloudCompare) atto ad isolare l'insieme dei punti individuati a terra (SUOLO) da quelli che invece si elevano e che, potenzialmente, possono rappresentare gli elementi arborei (classe indicata con il nome ALBERI).

A partire dai punti SUOLO viene creato il modello digitale del terreno (DTM). Le quote ricavabili dal DTM vengono, in uno step successivo, sottratte a quelle relative ai punti della nuvola ALBERI per riportare tutti gli elementi in elevazione ad un unico riferimento piano orizzontale. La nuvola così ricavata viene denominata PAN (Porzione di Alberi Normalizzata).

Successivamente, l'algoritmo estrae dalla PAN sezioni orizzontali di spessore 5 cm a determinate altezze dal suolo.

Su ogni strato individuato, si procede all'individuazione di distribuzioni di punti che possono giacere su curve circolari (anche incomplete): per tale operazione si ricorre ad una trasformata di Hough (Duda & Hart, 1972) opportunamente tarata. Le circonferenze individuate, verosimilmente, possono essere associate ai singoli tronchi.



Al fine di adattare il più possibile le circonferenze individuate con la trasformata alla reale distribuzione dei punti nella nuvola, le sezioni circolari vengono in seguito ottimizzate mediante una procedura RANSAC (Fischler & Bolles, 1981). Infine, le sezioni circolari appartenenti a slices a differenti quote vengono confrontate lungo il potenziale sviluppo verticale del tronco ed eventualmente aggregate in modo da individuare la conformazione del fusto e comporre le entità "tronco".

L'aggregazione avviene solo se l'inclinazione verticale del vettore congiungente i centri delle circonferenze considerate è minore di un determinato valore (tronco approssimativamente verticale) e se la differenza di raggio tra due sezioni poste su livelli diversi non è eccessiva (rastremazioni o irregolarità del fusto contenute).

In output la procedura fornisce le nuvole di punti appartenenti ai singoli alberi identificati, i dati sui raggi e l'ubicazione media dei centri relativi alle sezioni circolari isolate alle varie altezze.

4. Elaborazioni

La procedura è stata sviluppata considerando un'area TEST con una superficie di circa 130 m², al fine di operare in un ambiente controllato per tarare l'algoritmo. Per testare poi la robustezza della soluzione sviluppata, è stata individuata un'altra area CAMPIONE (composta da tre sotto-aree di estensione

Figura 3_Diagramma di sintesi delle funzioni implementate

10 x 10 m², aventi caratteristiche dendrologiche tra loro differenti) su cui valutare le performance

dell'algoritmo.

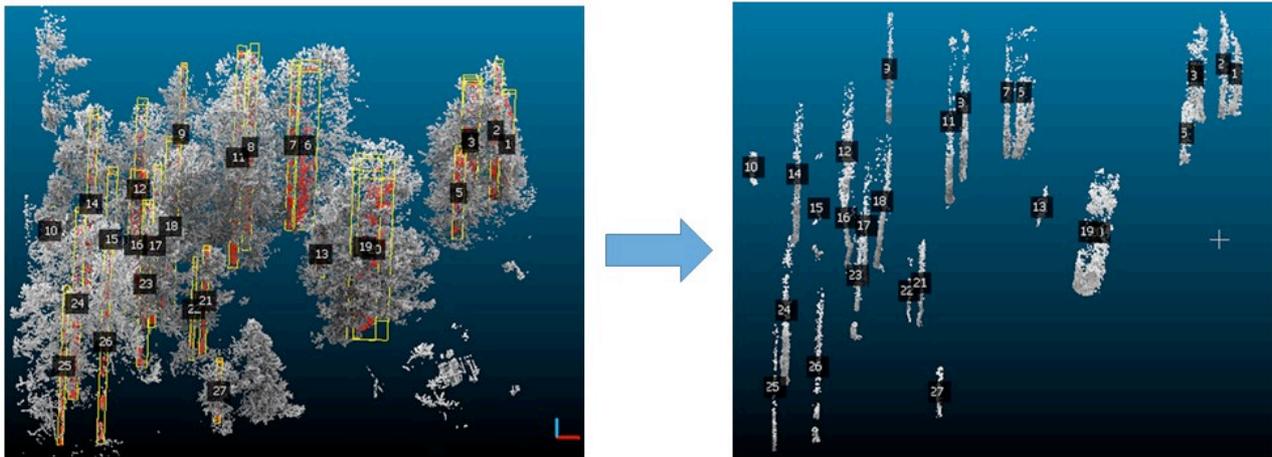


Figura 4_Campione di controllo estratto manualmente.

Per quanto riguarda la fase di taratura, sull'area TEST è stato estratto manualmente un campione di controllo (visibile in Figura 4) costituito da 27 alberi, con cui confrontare i risultati prodotti dall'algoritmo.

Per quanto riguarda la scelta ottimale dei parametri, si sono basate le valutazioni di performance dell'algoritmo sulla base del numero di alberi individuato, delle omissioni (alberi non identificati) e delle commissioni (alberi identificati non corrispondenti a quelli reali del campione di controllo).

Nello specifico, sono state estratte sezioni di spessore 5 cm con passo regolare di 10 cm nell'intervallo compreso tra 20 cm e 130 cm di altezza rispetto al suolo. Nell'applicazione della trasformata di Hough sono stati considerati tutti i diametri da un minimo di 7.5 cm ad un massimo di 70 cm. Questi parametri sono stati mantenuti pressoché costanti, mentre la taratura dell'algoritmo si è focalizzata principalmente sui valori di:

- *gsd*: risoluzione del DTM
- *tree_slope*: inclinazione sull'orizzontale del vettore congiungente i centri delle circonferenze individuate su sezioni diverse
- *tree_deltaR*: differenza di raggio tra due sezioni poste su livelli diversi

In particolare, sono stati esaminati cinque differenti valori di *gsd*: 0.01 m, 0.1 m, 0.25 m, 0.5 m e 1 m. Una minore dimensione di cella produce una superficie del DTM più articolata e dettagliata (ma anche più irregolare); al contrario, un *gsd* elevato porta ad avere una superficie più regolare con il rischio però di introdurre approssimazioni di quota.

Il settaggio della *slope* dipende invece dalla tipologia di alberi presenti nella scena e dal processo di sviluppo che ha contraddistinto le singole piante, il quale potrebbe averle portate ad assumere inclinazioni anche significativamente diverse dalla verticale. Sono stati testati valori di pendenza minima variabili tra 60° e 75°.

Il valore di *tree_deltaR* tiene conto della rastremazione del fusto e i valori testati variano tra 3 e 5 cm.

Sono state testate le seguenti combinazioni:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
tree_Slope [°]	60	70	70	75	70	70	60

tree_deltaR [m]	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03
------------------------	------	------	------	------	------	------	------

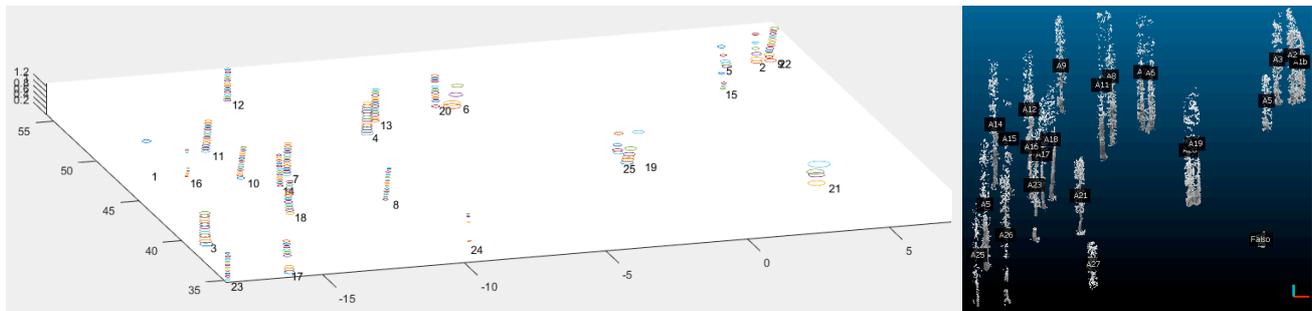
Tabella 1_Configurazioni delle varie combinazioni testate.

I risultati ottenuti in seguito alla variazione dei *gsd* sono riassunti in Tabella 2.

gsd	0.01 m				0.1 m					0.25 m					0.5 m		1 m		
COMBINAZIONI																			
	1	2	5	7	1	2	5	6	7	1	2	3	5	7	1	7	1	2	7
C	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	2	1	0	1
I	21	20	19	20	22	20	21	20	20	23	20	21	19	23	20	20	20	17	20
O	6	7	8	7	5	7	6	6	7	4	7	6	8	4	6	7	7	10	7

Tabella 2_Riassunto dei risultati ottenuti dai test effettuati con vari settaggi dei parametri. C: errori di COMMISSIONE, I: INDIVIDUAZIONI corrette, O: errori di OMISSIONE.

In media sono stati individuati 20,6 tronchi su 27, cioè il 76,3 % del totale. I risultati migliori si ottengono con *gsd*=0.25 m. Con questa dimensione di cella, la combinazione 7 ha restituito il maggior numero di identificazioni univoche (23 su 27 alberi riconosciuti, pari a circa l'85 %).



Albero	Coord. X	Coord. Y	H_slice [m]	R_1.3 [m]	D_1.3 [m]	N. aggregazioni
1	7.081	55.098	1.3	0.15	0.3	6
2	6.355	54.951	1.2	0.11	0.22	6
3	5.121	54.815	0.9	0.13	0.26	5
4	0	0	0	0	0	
5	4.296	52.081	0.8	0.10	0.21	4
6	-8.708	50.429	1.3	0.17	0.34	4
7	-5.558	52.955	1.3	0.12	0.24	10
8	-7.960	51.920	1.3	0.12	0.24	12

Figura 5_Sezioni circolari, nuvole di punti ed esempio di dati geometrici forniti in output dall'algoritmo di riconoscimento.

5. Risultati

La miglior combinazione di parametri individuata sull'area TEST (*gsd*= 0.25 m, combinazione C7) è stata testata sull'area CAMPIONE, caratterizzata dalla presenza di 35 alberi (12 alberi per le prime due sotto-aree e 11 alberi per la terza).

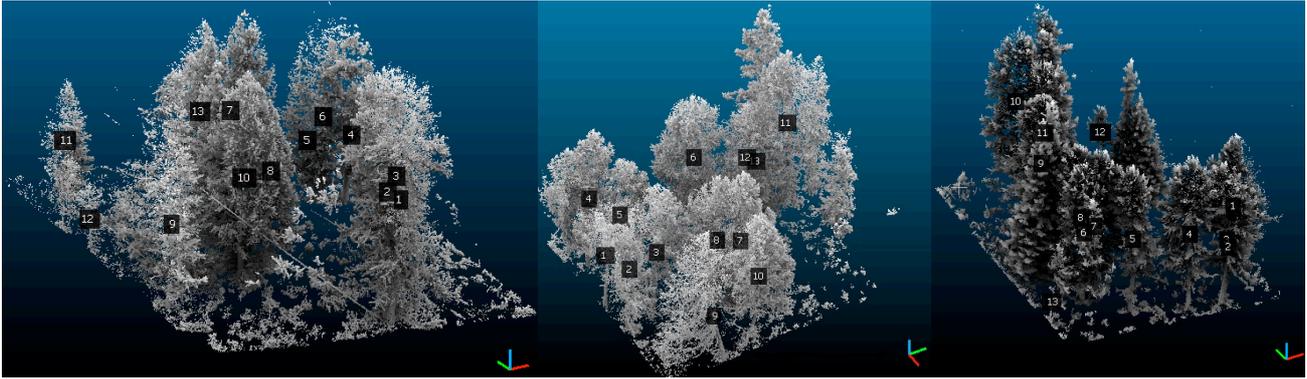


Figura 6_ Le tre sotto-aree CAMPIONE a confronto. Da sinistra: Area1, Area2, Area3.

Si è ottenuta, in questo caso, una percentuale media di riconoscimento pari all'88.6 %, quindi coerente con quella individuata per l'area di calibrazione. L'algoritmo è stato inoltre in grado di stimare le posizioni del centro medio dei tronchi (media dei centri delle sezioni circolari individuate a vari livelli) in un sistema di riferimento locale calcolato sulla base di punti di appoggio di coordinate note e di mostrare la progressione dei diametri che caratterizzano i fusti alle varie altezze.

	Sotto-area 1	Sotto-area 2	Sotto-area 3	Tot. AREA CAMPIONE
	<i>C7 gsd 0.25 m</i>			
Commissioni	1	0	3	4
Identificati	11	10	10	31
Omissioni	1	2	1	4
Riconoscimento	91.7 %	83.3 %	90.9 %	88.6%

Tabella 3_Risultati ottenuti sull'AREA CAMPIONE

6. Conclusioni

L'obiettivo della ricerca è stato quello di sviluppare un codice di calcolo per l'individuazione e l'analisi di tronchi, robusto e automatizzato, che consenta l'estrazione di parametri dendrologici a partire dal modello tridimensionale di un'area boscata.

I risultati delle varie elaborazioni effettuate sulle aree campione mostrano una percentuale di riconoscimento dei tronchi pari a circa l'88.6 %. Seppur tale percentuale non corrisponda alla totalità dei tronchi presenti, viene ritenuta soddisfacente dagli operatori del settore, vista la natura campionaria delle rilevazioni che generalmente vengono effettuate.

Dai test effettuati è emerso che il numero di omissioni è relazionato alle occlusioni e varia sensibilmente in funzione della densità dei punti che costituiscono i tronchi. Per tale ragione, il dataset acquisito con laser scanner terrestre si è dimostrato l'unico idoneo per l'adozione di questa procedura.

Tuttavia, dover ricorrere a scansioni terrestri rappresenta un punto di debolezza della procedura a causa degli elevati tempi di acquisizione, dei costi e delle difficoltà nel raggiungimento diretto di alcune aree.

In questo contesto, oltre ad un'ottimizzazione dell'algoritmo che porti sia ad un incremento degli alberi individuati che alla riduzione dei tempi di calcolo, ulteriori sviluppi della ricerca dovranno riguardare principalmente le fasi e le modalità di acquisizione dati.

Dovranno essere messe a punto metodologie per consentire la riduzione delle occlusioni e l'acquisizione anche delle zone sottostanti alle chiome tramite riprese aeree (fotogrammetriche o laser), oppure dovranno essere ottimizzate le fasi di acquisizione con laser scanner terrestre, riducendo tempi e problematiche connesse alla sicurezza degli operatori.

Superati quindi i problemi legati all'acquisizione dei dati, metodologie come quella presentata nel presente contributo potranno costituire un valido supporto alle operazioni di gestione e pianificazione forestale.

Ringraziamenti

Si ringraziano il dott. Umberto Morra di Cella e il dott. Fabrizio Diotri di Arpa Valle d'Aosta per il prezioso contributo nello sviluppo di questa ricerca e per l'acquisizione dei dati da UAV.

Riferimenti bibliografici

Aschoff T. & Spiecker H. (2004), "Algorithms for the automatic detection of trees in laser scanner data", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(8-W2):71-75.

Birdal A.C., Avdan U. & Turk T. (2017), "Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle", *Geomatics, Natural Hazard and Risk*, 8:2, 1144-1156.

Dash J.P., Watt M.S., Pearse G.D., Heaphy M., Dungey H. S. (2017), "Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131: 1-14.

Duda R.O., Hart P.E. (1972), "Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures", *Communications of the ACM*, 15 (1): 11-15.

Fischler M.A., Bolles R.C. (1981), "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography", *Communications of the ACM*, 24(6): 381-395.

Getzin S., Wiegand K. & Schöning I. (2012), "Assessing biodiversity in forests using very high resolution images and unmanned aerial vehicles", *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2): 397-404.

Koh L. P. & Wich S.A. (2012), "Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation", *Tropical Conservation Science*, 5: 121-132.

Roñca S., Suomalainen J., Bartholomeus H., Herold M. (2018), "Comparing terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicle structure from motion to assess top of canopy structure in tropical forests", *Interface Focus*, 8(2), 11p.

Wallace L., Lucieer A & Watson C. (2014a), "Evaluating tree detection and segmentation routines on very high resolution UAV Lidar data" *IEEE Trans Geosci remote Sens*, 52(12):7619-7628.

Wallace I., Musk R., Lucieer A. (2014b), "An assessment of repeatability of automatic forest inventory metrics derived from UAV - borne laser scanning data" *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 52(11):1-10.

Zarco-Tejada P.J., Diaz-Varela R., Angileri V. & Loudjani P. (2014), "Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo - reconstruction methods", *European Journal of Agronomy*, 55:89-99.

