

Possibilità d'uso del CHM (LIDAR) per la classificazione della vegetazione forestale in ambiente alpino

1. Introduzione

Gli studi e le analisi forestali, è abbastanza noto, ad ogni livello e grado, sia a carattere scientifico-sperimentale sia a carattere professionale, non possono prescindere dalla conoscenza, oltre che della consistenza, della risorsa bosco. È infatti necessario conoscere sia le informazioni caratteristiche del bosco, in termini di specie, struttura, età ecc., sia la sua estensione e collocazione territoriale. In merito all'estensione territoriale del bosco, esistono varie tecniche informatiche utili a definire sia la superficie, la geometria sia le varie categorie forestali (DEL FAVERO *et al.* 1990; MATTIOLI *et al.*, 2007). Tutte le tecniche hanno in comune l'uso del GIS (Geographic Information System) mentre diverse sono le metodologie di lavorazione.

Una tecnica che trova ancora ampio uso in ambito forestale è la fotointerpretazione su ortofoto (GASPARINI, TABACCHI, 2011, GASPARINI *et al.*, 2014). La fotointerpretazione prevede l'attività di osservatori esperti e opportunamente formati, (i cosiddetti fotointerpreti) che, sulla base di alcune predefinite regole, individuano sulle immagini dei punti del territorio aventi determinate caratteristiche, oppure delimitano su GIS le superfici aventi tali caratteristiche di interesse. Ad esempio, il bosco in Italia (art. 3, c. 3 del D.Lgs. 3 aprile 2018, n. 34) è costituito da superfici (ricoperte da vegetazione

forestale arborea eventualmente associata a quella arbustiva) minime di 2000 m², con copertura minima del 20% e larghezza minima di 20 m. Pertanto il fotointerprete deve individuare sull'ortofoto tali caratteristiche, eventualmente aiutandosi con strumenti di misurazione. La fotointerpretazione consente ad un occhio ben allenato di definire con sufficiente precisione le diverse categorie forestali, analizzandone i fattori caratteristici distintivi: colorazioni, tessiture, ombre ecc. (VIANELLO, MALAGOLI, 1998; BAGNARESI, VIANELLO, 1995). La fotointerpretazione richiede, specie se rivolta ad analisi territoriali, tempi notevoli e un forte impiego di personale esperto. Si possono impiegare GIS open source e ortofoto mediante servizi WMS (Web Map Service). Quindi i costi possono limitarsi al solo tempo e al personale fotointerprete. È altresì vero che con la fotointerpretazione, sebbene affetta dalla soggettività del fotointerprete, è possibile fornire una cartografia che, rispetto all'ortofoto da cui è derivata, possiede un contenuto informativo molto più elevato, specie se verificata in loco con un numero consistente di casi o quantomeno analizzata da personale terzo con notevole conoscenza del territorio. Il vero rischio, con la fotointerpretazione, è quello di fornire un dato cartografico non aggiornato (es. in caso di trasformazioni successive alle riprese aeree). In questi casi solo l'analisi at-

tuale e diretta in loco può confutare il dato cartografico. Quindi, a valle di un impiego notevole di forza lavoro e di tempo, il risultato finale può essere datato e non completamente utilizzabile.

Un'altra tecnica, alternativa alla fotointerpretazione, è la segmentazione (CHIRICI *et al.*, 2003; CHIRICI *et al.*, 2006; CHIRICI, CORONA 2006) che permette l'interpretazione del contenuto spettrale di un'immagine, con la generazione di oggetti poligonali ottenuti delimitando zone omogenee, aggregando i pixel dell'immagine stessa. In campo forestale la segmentazione (AGEA, 2008) ha permesso di poter conseguire risultati molto interessanti sia a partire da dati LIDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) (TRAVAGLINI *et al.*, 2012) sia da ortofoto (CHIRICI *et al.*, 2003; CHIRICI *et al.*, 2006; CHIRICI, CORONA 2006) o tramite il loro uso congiunto (BOTTALICO, TRAVAGLINI, 2014; CAMARRETTA, 2014) e con tempi di lavorazione relativamente ridotti. Gli svantaggi sono costituiti sia dal dover addestrare/calibrare il modello di segmentazione con intervento umano di supervisione pre e post segmentazione (TRAVAGLINI *et al.*, 2012), sia dal costo non indifferente di appositi moduli o software dedicati.

Considerando i vantaggi e gli svantaggi sia della fotointerpretazione sia della segmentazione, nel presente studio si è manifestato un concreto quesito: è possibile definire i diversi usi del suolo agroforestali e in modo particolare la superficie di bosco senza dover usare in toto/parte sia la fotointerpretazione sia la segmentazione? Inoltre il CHM (Canopy Height Model) derivato dal LIDAR è uno strumento che può essere efficace per rispondere al precedente quesito?

Nel presente articolo, si è pertanto cercato di definire una procedura semiautomatica che consenta di soddisfare i seguenti obiettivi generali:

- ottenere le superfici aventi carattere generale di bosco;
- utilizzare una metodologia che ottimizzi i tempi e i costi di lavorazione, sfruttando quindi i vantaggi sia della fotointerpretazione sia della segmentazione.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio

Per realizzare il presente studio, è stata indagata una superficie in ambiente alpino con importanti superfici agricole e altrettanti superfici forestali.

L'area scelta per le analisi del presente articolo, ha una superficie totale di 3164,81 ha ed è situata in Provincia di Trento, nella Val di Non (Fig. 1 e Fig. 2), nei comuni di Predaia (ex comuni di Tres, Vervò e la frazione di Priò), zona centrale e settentrionale, per l'87,92% della superficie e il comune di Ton, nella zona più meridionale, per il 12,07%. Rispetto al capoluogo di Comunità di valle, Cles, l'area dista (percorrenza stradale) circa 11 km mentre rispetto al capoluogo di provincia, Trento, 34 km. L'area è stata definita sul bacino idrografico al fine di avere omogenee caratteristiche di suolo, clima e vegetazione. La zona è caratterizzata da rocce calcaree con suoli prevalentemente appartenenti al gruppo dei suoli bruni calcarei tipo rendzina e litosuoli (ISSDS, 1965). Il paesaggio è caratterizzato dal grande solco vallivo della val di Non ed essendo una valle laterale al pari della Valsugana, ha un clima con temperature più moderate d'estate e leggermente più fredde d'inverno rispetto alle altre valli (<http://www.climatrentino.it/>).

La distribuzione tra le varie tipologie di superfici tra categorie di bosco, agricole, infrastrutturali, urbane ecc. sono state definite con una attività di foto interpretazione svolta nel 2018 sulla base di ortofoto del 2014 e del 2017. Le superfici foto interpretate sono state verificate in loco e le stesse costituiscono la base "vera" di confronto rispetto ai risultati attesi dal presente studio.

L'area è stata ripartita in: zone agricole, presenti soprattutto nella fascia altitudinale minore con una superficie totale di 595,37 ha (18,81%) e costituita da coltivazioni erbacee e soprattutto arboree, prevalentemente frutteti di melo, situati nella zona occidentale del bacino idrografico; aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota, nelle fasce ad altitudine maggiore, con una su-

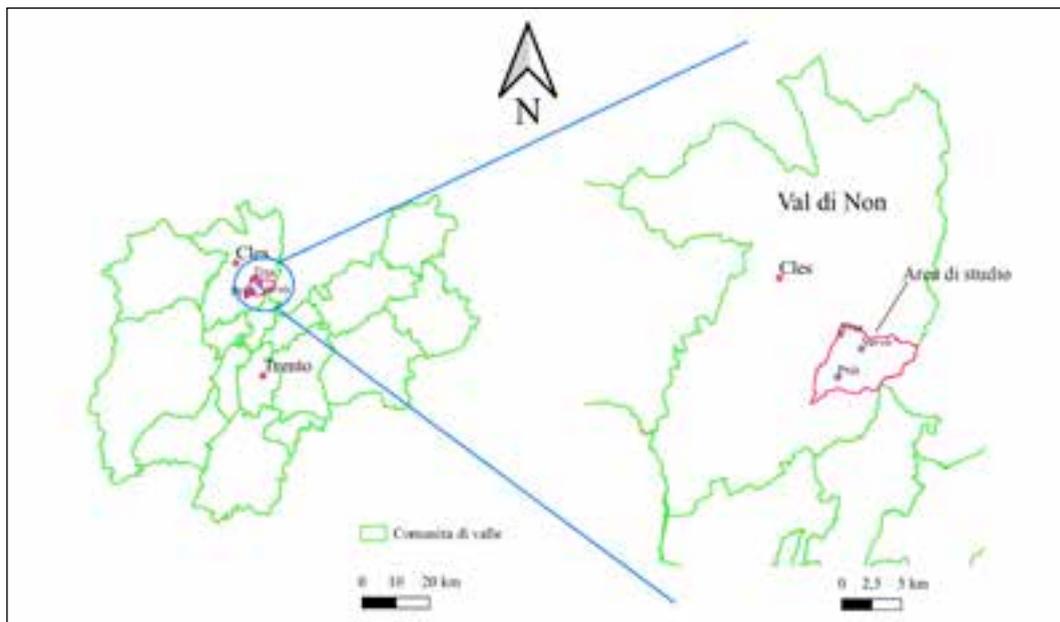


Figura 1 – Inquadramento generale.



Figura 2 – Veduta panoramica di Tres e zone attigue (da <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4667269>, di Christian Stringari - Opera propria, CC BY-SA 3.0) (ultima visita: 09/07/2021).

perficie di 71,78 ha (2,26%); rocce nude, falesie, rupi e affioramenti con 1,06 ha (0,033%); boschi bassi (mughete e/o ontanete) rappresentati da 2,96 ha (0,094%), infine la categoria di uso del suolo più rappresentata, il bosco con 2343,01 ha (74,03%).

Le zone urbane ed edifici nell'agro sono presenti con 114,16 ha mentre le strade principali con una superficie di 36,45 ha. È una zona con importanti superfici agricole ad alto reddito (meleti) ma anche con una netta prevalenza di zone boscate.

In particolare modo, il bosco e i boschi bassi presenti nell'area in esame, sulla base della carta dei tipi forestali reali, realizzata dal Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento (Provincia Autonoma di Trento, 2018) è ripartito nelle seguenti categorie forestali: Pinete (pineta con faggio o specie nobili, pineta con orniello, pineta di pino nero, pineta pioniera, pineta xerica endalpica) con il 40,44% del bosco, Abetine (abieteto calcicolo con faggio, abieteto dei suoli fertili) con il 24,85%, Peccete (pecceta a erica con pino silvestre, pecceta altimontana tipica, pecceta altimontana xerica, pecceta secondaria o sostitutiva) con il 15,87 %, Lariceti (lariceto secondario o sostitutivo, lariceto xerico a ginepro) con il 10,24%, Orno-ostrio querceti (orno-ostrieto primitivo, orno-ostrieto tipico, ostrio-quer-ceto) con il 5,43%. Le restanti categorie sono rappresentate con meno del 5% e sono le Faggete (faggeta tipica a dentarie, faggeta con carpino nero ecc.) con il 2,53%, Rovereti, Castagneti, Robinieti con il 0,26%, Acereti, Tiglieti, Frassineti con il 0,18%, Ontanete con il 0,09%, le formazioni transitorie con il 0,04%, infine le Mughete con lo 0,02%.

3. Metodologia

Considerando gli obiettivi definiti in introduzione sono stati studiati alcuni metodi relativi rispettivamente alla determinazione dei diversi usi del suolo agroforestali e più in particolare delle aree a bosco. In entrambe i casi è stato utilizzato il GIS e in par-

ticolare modo il software QGIS (Versione 3.16.3) con la sua suite di tools propri e di GDAL, GRASS e SAGA.

I metodi di analisi hanno in comune l'impiego di dati estratti dal CHM. Per lo svolgimento dello studio è stato utilizzato il Lidar, reperito presso il portale cartografico della Provincia Autonoma di Trento (http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/portale_geocartografico_trentino/254), il dato Lidar relativo all'anno 2014, integrato con voli 2018 (<https://siat.provincia.tn.it/stem/> e <http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/lidar/847/lidar/23954>). L'autore originale e/o titolare dei diritti è l'Ufficio Sistemi Informativi - Servizio autorizzazioni e valutazioni ambientali mentre il nome della Banca Dati è LIDAR rilievo 2006/2007/2008.

In particolare, sono stati utilizzati il DTM (Digital Terrain Model) e il DSM della vegetazione (Digital Surface Model) con risoluzione geometrica a 1 m. Per il rilievo è stato utilizzato il sensore Gemini e LMS Q780 Pegasus, con una densità media di punti al suolo di circa 4 punti/m² per le aree da rilevare ad alta densità e di circa 10 punti/m² per le porzioni di territorio da rilevare ad altissima densità.

Dalla differenza tra DSM e DTM è stato ottenuto il CHM (Canopy Height Model) sottoposto ad una procedura di correzione per l'eliminazione dei valori negativi. Il CHM definitivo mostra un range di valori compreso tra 0 m e 50 m.

Il primo metodo utilizzato per la ricerca degli usi del suolo agroforestali è costituito dall'analisi statistica del CHM. In particolare modo si è cercato di rintracciare in modo univoco la presenza di un range di dati utili a permettere l'eventuale differenza tra diversi usi del suolo agroforestali. L'indicatore utilizzato è l'altezza del CHM. Per estrarre i dati statistici, in teoria utili alla attribuzione non solo del bosco ma anche di altre categorie di usi del territorio dell'area totale in esame, è stato fatto ricorso all'analisi di una serie di superfici campione. Precedentemente alla definizione delle stesse, sull'area totale è stata creata, mediante un tool di QGIS, utilizzando la base CHM, una griglia

in formato shapefile, avente una maglia quadrata di dimensioni 20x20 m. La scelta di una griglia con passo 20x20 m è stata effettuata in seguito a varie prove. Considerando che i dati statistici sono stati estratti dal CHM con una risoluzione geometrica di 1 m, la scelta di una griglia con passo inferiore, ad esempio 10 x 10 m può fornire informazioni più dettagliate nel quadro generale, ma con l'aggravio di un maggiore numero di record e dei conseguenti maggiori tempi di lavorazione. Allo stesso tempo, si presentano vantaggi e svantaggi opposti utilizzando una griglia con passo superiore, ad esempio 30x30 m. Per cui, considerando che la griglia costituirà lo strato finale di analisi, la scelta di una dimensione 20x20 m è apparsa come un buon compromesso quanto a precisione del dato, tempi di lavorazione e risoluzione geometrica finale. A conferma della probabile bontà tecnica della scelta effettuata, dalle prove iniziali è

emerso che i dati statistici estratti con griglie con passo di 10, 20 e 30 m mostrano sostanzialmente gli stessi range.

Successivamente, sul territorio in esame sono state collocate delle aree spot, anch'esse a griglia 20x20 m e selezionate con riferimento alla griglia dell'area totale, in posizioni utili a definire le condizioni medie presenti nell'area. È stato scelto di disporre un numero di 6 aree spot.

Queste ultime presentano una superficie totale pari al 12% dell'intera area, pari a circa 378 ha. Ogni area spot presenta una superficie di circa 63 ha e con una forma rettangolare di dimensioni di 900 m x 700 m (Fig. 3). Sulle 6 aree spot è stata effettuata la foto interpretazione (o un ritaglio cartografico sullo strato totale definito in precedenza, par. 2.1) volta alla definizione delle categorie di uso del suolo. I dati ottenuti sono stati successivamente associati con Join spaziale alle singole celle del grigliato

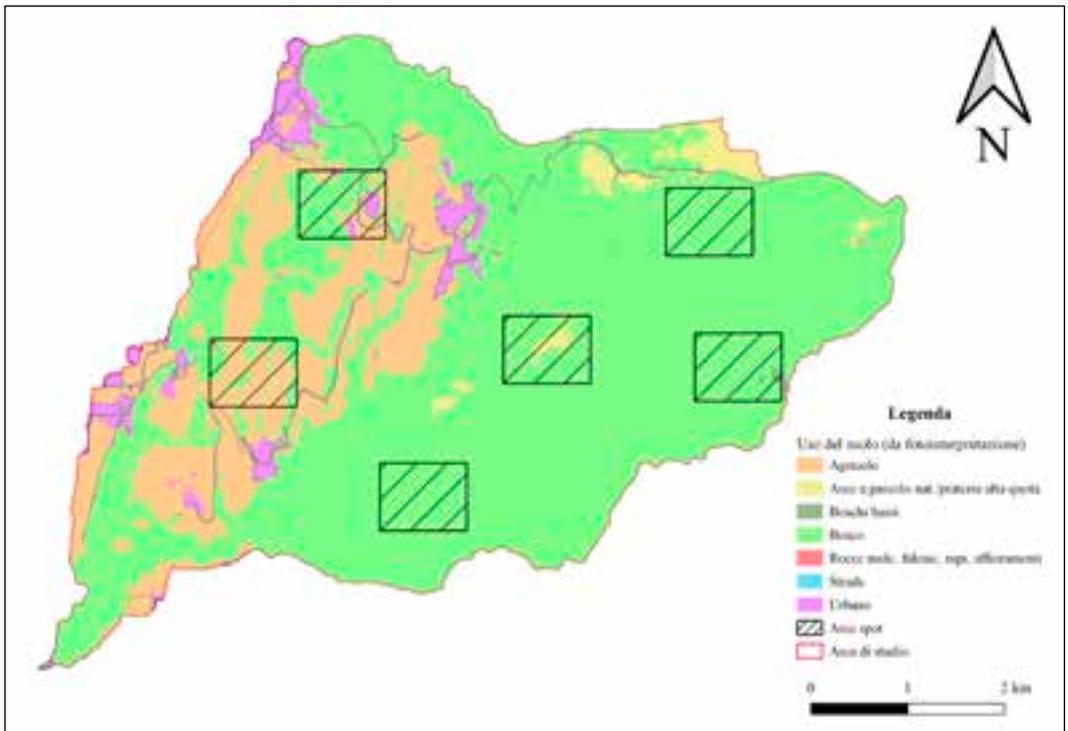


Figura 3 – Posizione delle 6 aree spot rispetto all'area totale.

dei 6 spot e all'intera area, ma in quest'ultimo caso, solo per finalità di verifica finale. Infine con un apposito tool di QGIS, Zonal statistics, sia nelle 6 aree spot sia nell'intera area, sono state effettuate le analisi statistiche per singola cella 20x20 m sul CHM, ottenendo dati della distribuzione dei valori di altezza rispetto ai seguenti stimatori statistici: media, deviazione standard, minimo, massimo, Coefficiente di variabilità %. L'analisi della distribuzione degli stimatori statistici sulle 6 aree spot è stata effettuata attribuendo medesima importanza ad ogni cella 20x20 m.

La suddetta analisi statistica è stata effettuata su una griglia 20x20 m priva delle superfici urbanizzate, a loro volta costituite sia dai centri abitati sia dalle infrastrutture stradali. Questa indubbia facilitazione è, allo stato attuale, facilmente replicabile, in quanto sono spesso note, nei vari database istituzionali (es. per il Trentino http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/portale_geocartografico_trentino/254) sia le superfici edificate e le infrastrutture stradali sia la loro geometria in formato vettoriale. Pertanto, dal totale delle superfici da analizzare, è possibile limitare gli errori di analisi di qualsivoglia modello escludendo inizialmente superfici sicuramente non agro-forestali.

Quindi l'unica possibilità di errore, nella ricerca delle superfici esclusivamente forestali (Boschi e Boschi bassi), è costituito dalla presenza delle superfici agricole, dalle aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota e dalle rocce nude, falesie, rupi e affioramenti. Queste ultime possono costituire fonte di errore qualora presentino valori nel CHM confondibili con le superfici forestali.

Dalla superficie totale della griglia 20x20 m sono state inoltre eliminate le celle che, successivamente alle varie elaborazioni (eliminazione aree urbane e infrastrutture stradali), hanno subito dei tagli. Quindi sono state conservate per l'analisi le sole celle aventi una superficie pari a 400 m² (20x20 m).

Nella definizione delle aree a bosco sull'intera area, il modello proposto nel presente articolo, prevede una combinazione di

dati utili alla definizione di bosco a partire dalla struttura verticale, espressa dal range delle *classi di altezze* delle piante forestali, dalla struttura orizzontale, espressa dalla *distanza minima tra pixel* e dalla copertura del suolo espressa dalla *copertura %*. Uno schema di applicazione del modello è raffigurato nella Figura 4. Le analisi del modello conservano l'unità base della cella 20x20 m, ma in questo caso sono rivolte all'intera area.

L'insieme dei valori delle *classi di altezza* media della cella 20x20 m fornisce una misura abbastanza diretta della struttura verticale del bosco. Quindi conoscere un range di altezza media del bosco, a partire dai valori espressi ad esempio dall'analisi delle 6 aree spot, è una misura di stima sicuramente attendibile e utile a rintracciare, sul grigliato generale, i limiti del bosco. Dal range di analisi si devono necessariamente escludere i valori rintracciati nelle zone non forestali. Quanto ai valori di altezza, gli stessi saranno estratti dalla distribuzione della media delle altezze per singola cella 20x20 m, in termini di range a scelta tra un valore medio +/- la deviazione standard (limite inferiore-limite superiore di distribuzione dei valori dalla media) o tra il valore minimo e il massimo.

La distanza minima tra pixel esprime una stima indiretta della struttura orizzontale del bosco in termini della maggiore o minore vicinanza tra piante o punti di esse, quindi ad essere indagati sono sostanzialmente i rapporti sociali nello spazio orizzontale. Il valore da utilizzare nel modello è una media di distanze minime calcolate per ogni singola cella della griglia 20x20 m. In questo modo si può ragionevolmente tenere conto dei rapporti sociali tra le piante. Il CHM è stato convertito in un file shape di tipo puntuale e ogni punto rappresenta ogni singolo pixel in posizione centroide presente nel raster di partenza. Su ogni singola cella 20x20 m sono stati ottenuti, tramite uno specifico tool di QGIS, dei punti centroidi, dai quali sono stati poi edificati 2 distinti buffer circolari con raggio rispettivamente pari a 4,77 m e 7,16 m. Tali precise dimensioni sono state ottenute in modo tale da poter collo-

care sulla circonferenza dell'area buffer un numero di punti distanti 3 m. In questo modo, con uno specifico tool di QGIS, sono stati collocati sulla circonferenza esterna avente raggio 4,16 m, un numero di 10 punti mentre su quella di raggio 7,16 m, 15 punti. Inoltre è stata considerata la distanza minima dal punto centroide della cella 20x20 m rispetto ai punti pixel più vicini. Con un successivo tool di QGIS, rispetto al CHM, è stato creato un file shape lineare contenente le distanze minime tra punti di rilievo e punti pixel. La somma totale delle distanze e il numero totale delle distanze raccolte, al massimo pari a 26, sono state attribuite al grigliato generale 20x20 m e in un apposito campo del database associato è stata calcolato il valore medio per cella. Sul valore medio sono state effettuate varie analisi sul range da considerare come attribuibile al bosco e al non bosco. In particolare modo sono stati provate varie soglie: 1 m, 1,5 m, 2 m e 2,5 m, considerando bosco i range inferiori alle suddette soglie, mentre come non bosco i range superiori. La diversa soglia da adottare è un nodo sostanzialmente sperimentale che potrebbe essere approfondito con successivi studi.

Mentre i 2 precedenti parametri sono potenzialmente rilevabili idealmente mediante transetti lineari, orizzontali e verticali, il terzo fattore preso in esame, la *copertura %*, esprime un dato certamente areale e che richiama la definizione legislativa di bosco (art. 3, c. 3 del D.lgs. 3 aprile 2018, n. 34), in quanto si considera una copertura minima pari al 20%. Quindi per ogni cella 20x20 m si considera un numero minimo di pixel pari ad 80 su un massimo di 400 presenti che invece esprimono il 100% di copertura. Per ottenere la copertura % è stato utilizzato il CHM riclassificato con 2 valori, 1 e 0. In particolare modo, i pixel aventi altezza maggiore di 1 m sono stati riclassificati con il valore unico 1, mentre i pixel con altezza inferiore ad 1 con il valore unico di 0. Pertanto i pixel aventi copertura utile saranno quelli che mostrano un'altezza maggiore di 1 m, ma nell'ambito della cella 20x20 m si terrà conto solo di un numero minimo di 80 pixel su un massimo di 400.

Il modello, in ultima analisi, definisce per ogni cella 20x20 m l'attributo di bosco se contemporaneamente presenta valori compresi sia nel range di altezza, sia un valore di distanze medie tra pixel inferiore ad esempio alla soglia 2 m, infine una copertura minima di almeno 80 pixel. Il grigliato comprendente le sole celle 20x20 m aventi qualità di bosco, è stato successivamente sottoposto al tool dissolve per eliminare i confini interni e ai controlli di superficie minima. Sono state escluse le superfici inferiori ai 2000 m² (art. 3, c. 3 del D.Lgs. 3 aprile 2018, n. 34). Inoltre, in via cautelare, sono state eliminate anche le superfici comprese tra i 2000 e i 5000 m², per eliminare le riscontrate e numerose superfici aventi una larghezza minima di 20 m, effettivamente rappresentanti non boschi ma filari o singole piante isolate e non quindi superfici boscate (art. 5, c. 1 lettera c del D.Lgs. 3 aprile 2018, n. 34). La superficie finale è stata ritagliata sulla superficie totale foto interpretata (par. 2.1). Per verificare la bontà dell'output ottenuto dal modello, sono stati considerati quali indici di analisi l'entità delle superfici non forestali (errore su altre categorie vegetali) e l'entità delle superfici forestali non determinate dal modello (errore sul bosco da fotointerpretazione).

4. Risultati e discussione

Relativamente alla potenziale determinazione dei diversi usi del suolo agroforestali, a partire dalle 6 aree spot (Fig. 3), dai dati espressi nella Tabella 1, che descrive la distribuzione della media delle altezze, è possibile verificare che rispetto al valore medio +/- deviazione standard esiste una distinzione tra la categoria d'uso del suolo bosco rispetto alle altre categorie. Il bosco si presenta con valori di media +/- deviazione standard di 13,62 +/- 5,72 m, valori sicuramente superiori e diversi rispetto alle altre categorie di uso del suolo. Sia l'agricolo sia le aree a pascolo così come i boschi bassi e le rocce nude sono presenti con valori media +/- deviazione standard inferiori ai 5 m.

Invece osservando i range min-max, la di-

Tabella 1 – Statistiche descrittive delle altezze di uso del suolo nelle 6 aree spot.

Stimatore statistico	Agricolo	Aree a pascolo naturale e prateria alta quota	Boschi bassi	Bosco	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
Media	1,09	0,27	2,53	13,62	1,56
Dev.st.	0,68	0,59	2,55	5,72	0,00
Min	0,00	0,00	0,02	0,00	1,55
Max	4,71	4,00	11,75	30,75	1,56
CV%	0,62	2,24	1,01	0,42	0,00

stinzione, soprattutto nei valori di minimo, è molto più difficile. Infatti il valore massimo si riscontra nel bosco con 30,75 m, valore ben diverso da quelli riscontrati nelle altre categorie di uso del suolo (il valore massimo più vicino è di 11,75 m nei boschi bassi). Il valore minimo è pari allo 0, tranne il caso delle rocce nude con 1,55 m.

Rispetto al coefficiente di variabilità % è attribuita una maggiore omogeneità nella categoria bosco rispetto alle altre categorie. Il più elevato valore si riscontra nelle aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota con il 2,24%, seguono i boschi bassi con il 1,01%, mentre l'agricolo e il bosco sono inferiori all'1% con rispettivamente lo 0,62% e lo 0,42%. È invece prossimo allo 0 il valore espresso nelle rocce nude. La maggiore omogeneità di valori delle zone agricole e soprattutto del bosco è effettivamente dovuta ad una più capillare e continua copertura del suolo rispetto alle altre categorie di uso del suolo.

Analizzando l'area totale, quindi non il

dato stimato ma il dato reale, come da Tabella 2, si conferma quanto rilevato per le aree spot (bontà di stima della posizione).

I valori, come da Tabella 2, di media +/- deviazione standard del bosco, pari a 13,19 +/- 5,43 m sono dei valori sicuramente ben diversi rispetto agli altri range inferiori ai 5 m. Invece, i range minimo e massimo non permettono piena distinguibilità poiché i valori minimi sono sostanzialmente simili tra i diversi usi del suolo (~ 0), mentre le differenze più sostanziali sono presenti nei valori massimi con 37,24 m del bosco, ben distanziati dai valori degli 11,75 m dei boschi bassi e gli 8,40 m delle rocce nude. Ancora più bassi i valori riscontrati nell'agricolo e nelle aree a pascolo naturale con rispettivamente 6 e 4,01 m. Anche il coefficiente di variabilità % conferma il dato emerso nelle 6 aree spot con il valore più basso nel bosco, 0,41%, seguito dallo 0,57% dell'agricolo e dallo 0,68% delle rocce nude. Più elevati e sempre maggiori all'unità i valori espressi dalle altre classi di uso del suolo.

Tabella 2 – Statistiche descrittive delle altezze di uso del suolo nell'area totale.

Stimatore statistico	Agricolo	Aree a pascolo naturale e prateria alta quota	Boschi bassi	Bosco	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
Media	1,18	0,21	2,24	13,19	2,92
Dev.st.	0,68	0,43	2,30	5,43	1,97
Min	0,00	0,00	0,02	0,00	0,50
Max	6,00	4,01	11,75	37,24	8,40
CV%	0,57	2,01	1,03	0,41	0,68

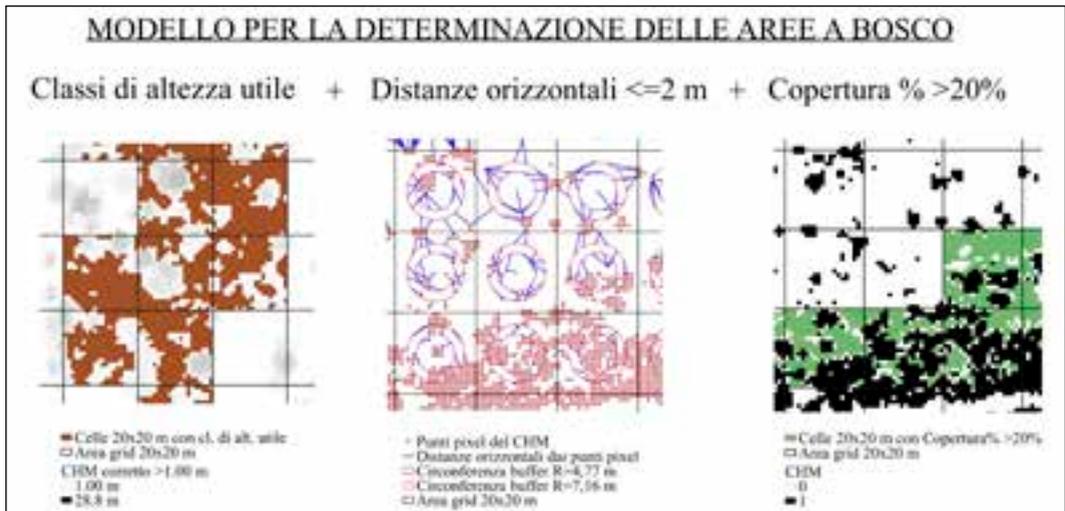


Figura 4 – Schema del modello per la determinazione delle aree a bosco.

Per completezza è stata effettuata un'analisi non solo sulla distribuzione delle altezze del CHM, ma anche (Fig. 4) sulla media della distanza minima tra punti pixel e della co-

pertura % rispettivamente come da Tabella 3 e Tabella 4. Per quanto riguarda la distanza orizzontale (Tab. 3) del dato medio \pm deviazione standard si nota una piena differen-

Tabella 3 – Distribuzione della media delle distanze medie orizzontali per tipo di uso del suolo nell'area totale.

Stimatore statistico	Agricolo	Aree a pascolo naturale e prateria alta quota	Boschi bassi	Bosco	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
Media	6,38	8,53	3,93	0,64	2,07
Dev.st.	3,31	2,72	2,41	0,77	1,27
Min	0,46	1,10	0,52	0,39	0,41
Max	20,07	17,39	11,29	15,17	5,41
CV%	51,91	31,92	61,44	120,43	61,35

Tabella 4 – Distribuzione della media della copertura % per tipo di uso del suolo nell'area totale.

Stimatore statistico	Agricolo	Aree a pascolo naturale e prateria alta quota	Boschi bassi	Bosco	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
Media	4,19	2,34	20,35	86,61	33,01
Dev.st.	8,00	4,88	20,01	18,56	22,74
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	3,75
Max	68,00	49,75	87,25	100,00	85,00
CV%	190,88	208,43	98,36	21,43	68,88

za tra le diverse categorie di uso del suolo. Il valore più basso e anche l'unico inferiore all'unità, si nota per il bosco, con 0,64 +/- 0,77 m, mentre all'aumentare del valore si riscontra la presenza delle rocce nude e dei boschi bassi (3,93 +/- 2,41 m) e con valori ancora più alti l'agricolo (6,38 +/- 3,31 m) e le aree a pascolo naturale (8,53 +/- 2,72 m).

Tuttavia considerando i range min – max si nota per tutte le categorie di uso del suolo una completa sovrapposizione. Il valore più alto si riscontra nell'agricolo con 20,07 m mentre il più basso nelle rocce nude con 5,41 m. Il valore minimo è invece sostanzialmente simile con il minimo nel bosco con 0,39 m e il maggiore nelle aree a pascolo con 1,10 m. Il CV% invece mostra i valori maggiori per le superfici a bosco con il 120,43% valori ben distaccati rispetto ai valori delle altre categorie con minore altezza. I valori sono simili per i boschi bassi e le rocce nude con rispettivamente il 61,44% e il 61,35% mentre sono più ridotti i valori nell'agricolo (51,91%) e nelle aree a pascolo con il 31,92%. Si può dedurre che se sono minori i rapporti tra punti pixel sono minori i rapporti sociali invece evidenti tra piante forestali (chioma).

Nella Tabella 4 è invece rappresentata la distribuzione delle coperture % medie dell'area in esame. I valori media +/- deviazione standard della categoria bosco sono i più elevati con l'86,61% ben staccati rispetto alle rocce nude con il 33,01% e rispetto al terzo maggior valore, i boschi bassi con il 20,35%. Molto più ridotti i valori della zona agricola e delle aree a pascolo, entrambe inferiori al 5%. Anche in questo caso, il range min-max presenta piena sovrapposibilità tra diversi usi del suolo non permettendone una completa distinguibilità. Mentre il bosco è l'unica categoria di uso del suolo a presentare valori massimi di piena copertura (100%) i boschi bassi e le rocce nude presentano valori elevati e maggiori all'85% mentre l'agricolo arriva al massimo al 68% e le aree a pascolo naturale a circa il 50%. Con la sola eccezione delle rocce nude, con il valore del 3,75%, tutte le altre categorie di uso del suolo sono livellate ad un valore minimo pari a 0.

Il CV% è invece, ancora una volta, il valore che permette una qualche distinzione tra diversi usi mostrando una bassa eterogeneità nell'uso bosco (21,43%) mentre sono molto più elevati i valori delle altre classi con il massimo, 208,43% nelle aree a pascolo mentre l'agricolo si attesta al 190,88%. I boschi bassi e le rocce nude sono invece inferiori al 100% ma pur sempre superiori all'uso del suolo bosco.

Nella determinazione delle aree a bosco dell'intera zona, il modello è stato applicato con i rispettivi parametri: per le classi di altezza è stato usato il range minimo-massimo di 3 m – 37,24 m (Tabella 2), rintracciato nell'area totale; per la distanza minima tra punti pixel i valori inferiori o uguali ai 2 m, infine per la copertura%, i soli valori di copertura maggiori o almeno uguali agli 80 pixel per cella 20x20 m.

Il modello ha espresso i risultati riportati nella Tabella 5. Nella Figura 5 è raffigura-

Tabella 5 – Risultati del modello area a bosco con distanza orizzontale \leq ai 2 m.

Categoria uso del suolo da fotointerpretazione	Sup. (ha)	% sul totale
Bosco	2343,01	99,87
Boschi bassi	2,96	0,13
Totale bosco	2345,97	100,00
Superfici stimate da modello	Sup. (ha)	% sul totale
Agricolo	13,63	0,62
Aree a pascolo naturale e prateria alta quota	3,47	0,16
Bosco	2184,11	99,22
Totale	2201,22	100,00
Errore (%) su altre categorie	Errore (%) sul bosco da fotointerpretazione	
0,78	6,90	
Errore (ha) su altre categorie	Errore (ha) sul bosco da fotointerpretazione	
17,11	161,86	

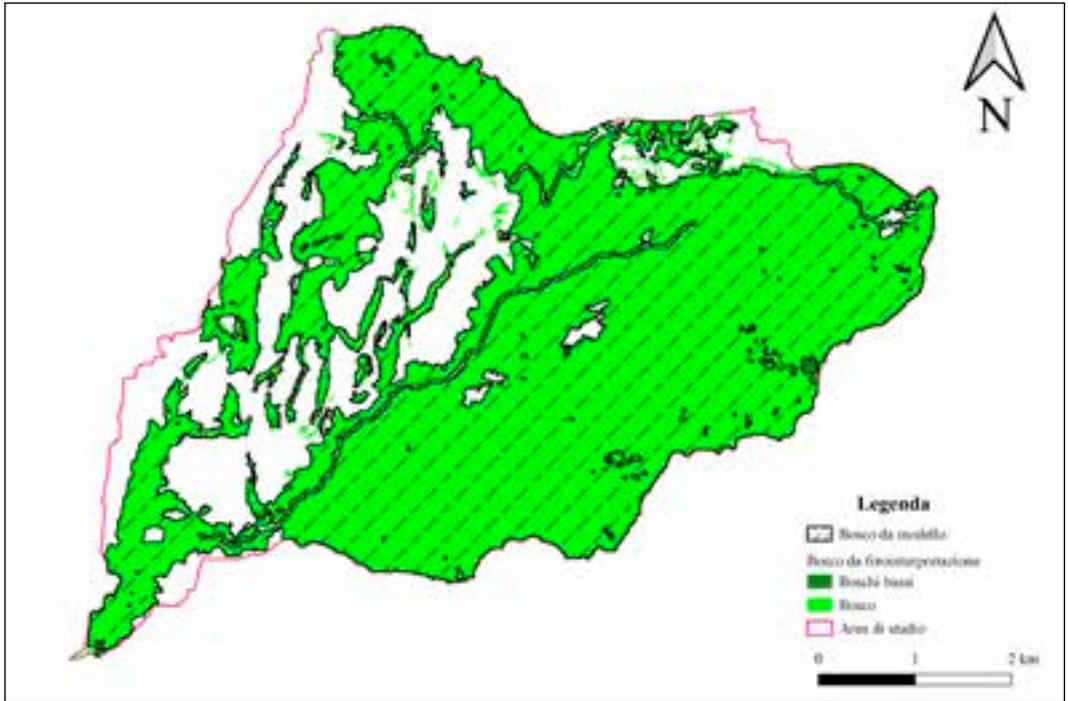


Figura 5 – Aree a bosco ottenute dal modello generale area di studio alpina.

to il bosco ottenuto dal modello rispetto a quello ottenuto dalla fotointerpretazione ove sono presenti i valori di superficie dei boschi e boschi bassi (totale di 2345,97 ha) e considerati il valore vero di riferimento rispetto alle superfici stimate dal modello.

Il modello fornisce una superficie totale di 2201,22 ha, quindi circa 145 ha in meno del dato reale e comprende oltre la categoria bosco anche 2 altre categorie: l'agricolo e le aree a pascolo. Il bosco è comunque la categoria più rappresentata con il 99,22% e 2184,11 ha. Pertanto l'errore % sulle altre categorie si limita allo 0,78% e 17,11 ha, mentre rispetto al bosco reale da fotointerpretazione l'errore è maggiore con il 6,90% e ben 161,86 ha.

Con riferimento alla Fig. 5 si nota come l'area definita dal modello come bosco presenta quali zone di errore sostanzialmente superfici di contatto con le altre categorie di uso del suolo, spesso nella zona centro occidentale dell'area indagata confinante so-

prattutto con le zone agricole. Altro aspetto degno di nota è che una parte delle superfici escluse hanno una forma stretta e lunga.

Sicuramente, variando i valori di range del modello, è possibile ottenere diversi risultati rispetto ai valori attesi. Ad esempio, a parità di range di altezza (3 m – 37,24 m) e di copertura % minima (80 pixel su 400 m² di cella), variando il limite di accettabilità di bosco/non bosco delle sole distanze pixel orizzontali dai 2 m originari ai 2,5 m, si ottengono i valori riportati nella Tabella 6.

La superficie estratta dal modello è superiore al caso precedente anche se di poco (16 ha) e mostra un errore % maggiore su categorie diverse, pari allo 1,01% corrispondente a 22,34 ha ricadenti, anche in questo caso sull'agricolo e le aree a pascolo, mentre il bosco è presente con circa il 99% e 2194,71 ha. I dati assoluti sul bosco mostrano un errore % minore pari a 6,45% e 151,26 ha in meno. La superficie di bosco "captata" dal modello è inferiore di circa 10

Tabella 6 – Risultati del modello area a bosco con distanza orizzontale \geq ai 2,5 m.

Categoria uso del suolo da fotointerpretazione	Sup. (ha)	% sul totale
Bosco	2343,01	99,87
Boschi bassi	2,96	0,13
Totale bosco	2345,97	100,00
Superfici stimate da modello	Sup. (ha)	% sul totale
Agricolo	17,54	0,79
Aree a pascolo naturale e prateria alta quota	4,80	0,22
Bosco	2194,71	98,99
Totale	2217,05	100,00
Errore (%) su altre categorie	Errore (%) sul bosco da fotointerpretazione	
1,01	6,45	
Errore (ha) su altre categorie	Errore (ha) sul bosco da fotointerpretazione	
22,34	151,26	

ha rispetto al caso precedente. In entrambe i casi non sono state rintracciate superfici di boschi bassi.

Pertanto si può concludere che all'aumento del fattore distanza aumenta l'errore su altre categorie mentre, sebbene l'errore % sul bosco è minore, la superficie forestale stimata è inferiore. Considerando questi ultimi 2 parametri certamente la soluzione a 2 m è quella più precisa.

In generale, il bosco è meglio rappresentato, ma con un errore sull'agricolo superiore.

Questi dati confermano che il modello, per il caso in analisi, al variare in senso restrittivo dei range anche di uno solo dei parametri di input, comporta una riduzione anche notevole dell'errore sulle superfici agricole, determinando quindi una superficie di bosco sostanzialmente veritiera, ma sottostimata sul totale.

Sul grado di bontà del modello utilizzato si possono considerare i confronti tra i ri-

Tabella 7 – Confronto tra fattori del modello e il modello generale aree a bosco rispetto agli errori % relativi ed assoluti nell'area di studio alpina.

Tipo di modello	Errore % su altre categorie	Errore % sul bosco
Classi di Altezze	1,71 (38,46 ha)	5,86 (137,47 ha)
Copertura %	2,55 (58,52 ha)	4,69 (110,07 ha)
Distanze orizzontali 1 m	0,37 (7,85 ha)	11,11 (260,75 ha)
Distanze orizzontali 1,5 m	0,94 (20,57 ha)	7,66 (179,70 ha)
Distanze orizzontali 2 m	1,80 (40,27 ha)	4,62 (148,67 ha)
Distanze orizzontali 2,5 m	2,70 (61,62 ha)	5,56 (130,65 ha)
Modello generale	0,77 (17,10 ha)	6,89 (161,86 ha)

sultati dei test sull'uso dei singoli fattori per la determinazione indipendente delle aree a bosco. È stato infatti riscontrato, come da Tabella 7, che l'uso dei singoli fattori per la determinazione delle aree a bosco comporta un errore % sull'agricolo maggiore rispetto all'impiego congiunto degli stessi nel modello analizzato.

L'impiego delle sole classi di altezza con il parametro a 2,5 m, comporta il massimo errore % del 2,70% rispetto agli altri metodi e con 61,62 ha mentre l'errore sul bosco è il più basso adottando il metodo delle coperture % con 4,69% e circa 110 ha.

Al contrario, il più basso valore di errore su altre categorie si riscontra con il solo metodo delle distanze orizzontali a 1 m con lo 0,37% e 7,85 ha ma allo stesso tempo con il più elevato errore sulla superficie forestale pari all'11,11 % e 260,75 ha.

Si nota che, con i metodi proposti, nessuna delle soluzioni consente di ottenere il minimo errore sulle altre categorie di uso del suolo con la più elevata superficie di bosco stimata.

Utilizzando gli altri metodi, gli errori % di determinazione relativa ed assoluta del

bosco sono intermedi rispetto al caso precedente e al modello generale analizzato. Pertanto l'uso congiunto nel modello unico e dei singoli fattori, consentirebbe di determinare, per differenze cartografiche successive, una superficie di bosco molto più vicina al valore reale o comunque una superficie più ridotta di differenza che può essere indagata con la foto interpretazione, quantomeno riducendone i suoi limiti intrinseci esplicitati in introduzione.

Resta una possibilità non minimale d'uso del modello generale e/o dei suoi fattori costituenti. Le superfici, senza o con categoria forestale nota, possono essere indagate e differenziate per un dato range di altezza e/o di distanza pixel e/o di copertura. Questo significa che possono essere escluse o incluse aree da analizzare per una eventuale ragione gestionale selvicolturale, portando una cernita importante in fase di analisi diretta di campagna.

Il metodo proposto nel presente studio, basato sui valori del CHM e visti i buoni risultati ottenuti, può trovare una ragionevole applicazione in superfici ove il bosco presenta una differenza di altezza rispetto alle altre categorie di uso del suolo. Pertanto è altrettanto ragionevole escludere l'applicazione del modello nelle superfici ricadenti in ambienti ad esempio mediterranei, specie in quelle in cui la componente bosco è caratterizzata sia da piante d'alto fusto sia da macchia mediterranea. Il metodo utilizzato nel presente studio è stato applicato in un'area mediterranea oggetto di studio dello scrivente in alcuni lavori precedenti (NIEDDU, 2019, NIEDDU, 2017, NIEDDU, 2012). L'area è situata nella Sardegna centro orientale in Provincia di Nuoro nei comuni di Dorgali e Orosei.

La superficie di bosco stimata con la fotointerpretazione, pari a 2887,45 ha è ripartita in: lecceta con 1124,29 ha e il 29,92%, arbusteti prostrati con 708,21 ha e il 18,85%, la macchia mediterranea in fase regressiva con 564,71 ha e il 15,03%, i boschi di olivastro con 292,41 ha e il 7,78%, la macchia evoluta con 178,46 ha e il 4,75%, infine le pinete con 19,37 ha e il 0,52%. Le superfici agricole assommano a 869,95 ha e il 23,15%.

Nella determinazione delle aree a bosco il modello è stato applicato con i rispettivi parametri: per le classi di altezza è stato usato il range minimo-massimo di 1,01 m – 11,46 m, rintracciato in 5 aree spot rettangolari aventi dimensioni pari a 1000 x 800 m per un totale di circa 400 ha; per la distanza minima tra punti pixel i valori inferiori o uguali ai 2 m, infine per la copertura%, i soli valori di copertura maggiori o almeno uguali agli 80 pixel per cella 20x20 m.

Nella Figura 6 è raffigurato il bosco ottenuto dal modello rispetto al bosco ottenuto dalla fotointerpretazione.

La superficie totale ottenuta dal modello è di circa 1905 ha, di cui 1805 ha costituiti dal bosco, mentre circa 101 ha ricadono in zona agricola. Pertanto l'errore % dovuto alla presenza dell'agricolo è del 5,27% in termini relativi, mentre in termini assoluti, rispetto alla superficie forestale totale è presente una sottostima di circa 1084 ha con una % in meno di circa il 37,5%.

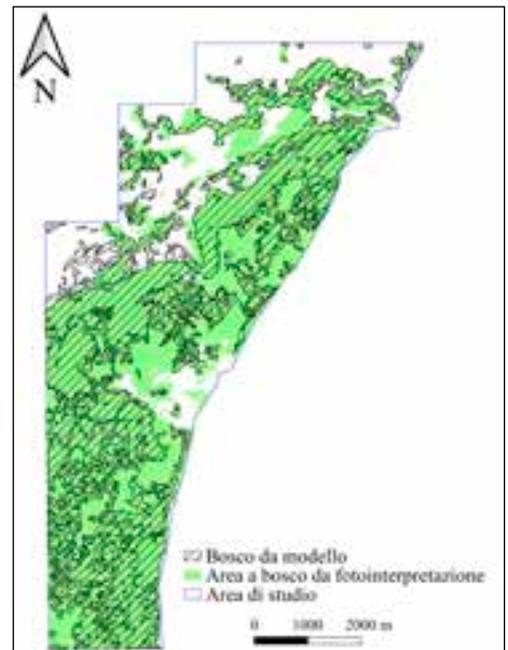


Figura 6 – Aree a bosco ottenute dal modello generale area di studio mediterranea.

Il modello permette di stimare una superficie di bosco con un errore relativo basso ma allo stesso tempo sottostima rispetto ai valori assoluti con notevoli % di perdita. Si può notare inoltre una minore sottostima per le categorie forestali ad alto fusto, leccete, boschi di olivastro e pinete rispetto alle formazioni di macchia sia preforestale sia degradata e per gli arbusteti prostrati. Quindi l'output finale può essere utilizzato solo come una parziale base di stima, mentre le restanti superfici di bosco possono essere determinate con opportune ritature del modello anche se affette da una % di errore.

Al pari del confronto effettuato in Tabella 7 per l'esperimento condotto in area alpina, sul grado di bontà del modello utilizzato, si possono considerare i risultati dei test sull'uso dei singoli fattori per la determinazione indipendente delle aree a bosco. È stato infatti riscontrato, come da Tabella 8, che l'uso dei singoli fattori per la determinazione delle aree a bosco comporti un errore % sull'agricolo maggiore rispetto all'impiego congiunto degli stessi nel modello analizzato. L'impiego delle sole classi di altezza comporta il massimo errore % relativo del 20,10% rispetto agli altri metodi e con 671 ha di agricolo, ma allo stesso tempo l'errore % assoluto sul valore totale del bosco è il più basso con il 7,70%.

Utilizzando il solo parametro della copertura % o della distanza orizzontale tra

Tabella 8 – Confronto tra fattori del modello e il modello generale aree a bosco rispetto agli errori % relativi ed assoluti nell'area di studio mediterranea.

Tipo di modello	Errore % su altre categorie	Errore % sul bosco
Classi di Altezze	20,10 (671 ha)	7,70 (222,34 ha)
Copertura%	8,23 (177 ha)	31,50 (910 ha)
Distanze orizzontali	5,76 (119 ha)	32,80 (947 ha)
Modello generale	5,27 (100,4 ha)	37,50 (1083 ha)

pixel, gli errori % di determinazione relativa ed assoluta del bosco sono intermedie rispetto al caso precedente e al modello generale analizzato. Per le difficoltà insite in ambiente mediterraneo, con una evidente sfumatura e naturale inscindibilità dei valori del bosco rispetto all'agricolo, l'uso congiunto del modello unico e dei singoli fattori, consente di determinare per differenze cartografiche successive, una superficie di bosco molto più vicina al valore reale o comunque una superficie più ridotta di differenza che può essere indagata con la foto interpretazione, quantomeno riducendone i suoi limiti intrinseci esplicitati in introduzione.

5. Conclusioni

I metodi proposti nel presente studio, basati sull'uso del CHM del LIDAR, hanno consentito in buona parte di definire le differenze tra categorie d'uso del suolo soprattutto con riferimento al parametro media +/- deviazione standard e il coefficiente % di variabilità.

Quindi sia per il riconoscimento delle categorie di uso del suolo sia per l'area a bosco, e in quest'ultimo caso si consideri l'applicazione di un modello che richiama le caratteristiche del bosco in termini strutturali (sia orizzontali sia verticali), la superficie di bosco è stata ottenuta, rispetto alla tabella 7, notando che 6 metodi su 7 consentono di ottenere superfici del bosco stimate maggiori del 90% e in 2 casi con più del 95%, quindi con errori % relativi bassi e contemporaneamente elevate superfici forestali rispetto ai totali realmente censibili.

Sicuramente il metodo proposto consente di ottenere, quantomeno nel contesto alpino, dei risultati che possono essere usati come buona/ottima base di stima. Allo stesso tempo, con opportune variazioni dei range dei parametri di input, gli stessi possono essere utili per eliminare una parte anche consistente delle superfici non utili da analizzare, ottenendo un output in tempi relativamente brevi, rispettando quindi il secondo obiettivo del presente studio.

Sicuramente i risultati ottenuti sia nella ricerca delle diverse categorie di uso del suolo sia e soprattutto nella definizione delle aree a bosco, sono più efficaci in aree ove le superfici agricole presentano altezze e strutture tali da non essere confuse con le superfici forestali. Il modello è sicuramente più efficace in ambiente alpino rispetto all'ambiente mediterraneo (presenza della macchia mediterranea) ove le altezze del piano forestale sono certamente più elevate e più omogenee rispetto al piano agricolo, quindi più facilmente distinguibili sia su base statistica sia modellistica.

In conclusione, visti i risultati ottenuti, i metodi proposti per la definizione sia delle diverse categorie sia per l'area a bosco possono ritenersi, nelle condizioni di analisi, in buona parte alternativi sia alla foto interpretazione sia alla segmentazione.

Chiaramente, tutte le elaborazioni GIS possono essere usate a vario titolo e vario livello, ma la portata dei risultati è bene sia sempre verificata in un numero ragionevole di casi con analisi dirette sul territorio, sia per verificare la portata e i risultati ottenuti dalla modellistica sia per eventualmente meglio tarare gli algoritmi utilizzati al fine di cogliere al meglio le differenze tra le diverse strutture forestali.

BIBLIOGRAFIA

- AGEA AGENZIA PER LE EROGAZIONI IN AGRICOLTURA, 2008 - *Manuale operativo Refresh Superfici non Eleggibili*, emissione n° 1.6 del 10 MARZO 2008
- BAGNARESI U., VIANELLO G., 1995 - *Copertura forestale e territorio, Contributi metodologici e tecniche d'indagine*, Franco Angeli Edizioni, 304 pp.
- BOTTALICO F., TRAVAGLINI D., 2014 - *Classificazione delle coperture forestali con immagini satellitari multispettrali e dati laser scanner aereo*, Atti XVIII Conferenza Nazionale ASITA, Palazzo degli Affari, Firenze 14-16 ottobre 2014
- CAMARRETTA N., 2014 - *Uso di dati telerilevati lidar e ikonos per la caratterizzazione delle coperture forestali di Monte Morello*, tesi di laurea, Relatore: Davide Travaglini
- CHIRICI G., CORONA P., TRAVAGLINI D., 2003 - *Sperimentazione di tecniche di classificazione object-oriented di immagini QuickBird a fini forestali*, L'Italia Forestale e Montana 4: 231-250.
- CHIRICI G., BARBATI A., CORONA P., LAMONACA A., MARCHETTI M., TRAVAGLINI D., 2006 - *Segmentazione di immagini tele rilevate multirisoluzione per la derivazione di cartografie di uso/copertura del suolo multiscala*, Rivista Italiana di Telerilevamento 37: 113-136.
- Chirici G., Corona P., 2006 - *Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per il rilevamento delle risorse forestali*, Aracne Editrice, Roma.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2018, n. 34 Testo unico in materia di foreste e filiere forestali*. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/04/20/18G00060/sg> (ultima visita: 06/08/2021)
- DEL FAVERO R., ANDRICH O., DE MAS G., LASEN C., POLDINI L., 1990 - *La vegetazione forestale del Veneto. Prodnomi di tipologia forestale*, Regione Veneto, Dipartimento Foreste, Mestre - Venezia, pp. 177.
- GASPARINI P., TABACCHI G., 2011 - *L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati*. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Edagricole, Milano
- GASPARINI P., RIZZO M., DE NATALE F., 2014 - *Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio, INFC2015 - Terzo inventario forestale nazionale*. Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale (CRA-MPF); Corpo Forestale dello Stato, Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali. 64 pp.
- <http://www.climatrentino.it/> (ultima visita: 21/08/2021)
- http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/portale_geocartografico_trentino/254 (ultima visita: 18/06/2021)
- <https://siat.provincia.tn.it/stem/> (ultima visita: 18/06/2021)
- <http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/lidar/847/lidar/23954> (ultima visita: 18/06/2021)
- ISTITUTO SPERIMENTALE STUDIO DIFESA DEL SUOLO DI FIRENZE (ISSDS), 1965 - *Carta dei suoli della Provincia di Trento* (vedi sito <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/carta-dei-suoli-della-provincia-di-trento> ultima visita: 06/08/2021)
- MATTIOLI W., GIULIARELLI D., CARLONI C., LAMONACA A., 2007 - *Utilizzo di tecniche object oriented per la carta dei tipi forestali del Comune di Antrodoco (RI)*, Atti XI Conferenza Nazionale ASITA, Centro Congressi Lingotto, Torino 6-9 novembre 2007.
- NIEDDU S., 2012 - *Condizioni di conservazione dei suoli su substrati carbonatici assoggettati ad intensa pressione antropica*, Tesi di Dottorato, Corso "Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica", Ciclo XXIII, Università degli studi di Cagliari.

NIEDDU S., 2017 - *Consumo di suolo e perdita di servizi ecosistemici in ambiente costiero mediterraneo*, Dendronatura, Semestrale dell'Associazione Forestale del Trentino - Anno 38 - Numero 2 - 2° semestre 2017

NIEDDU S., 2019 - *Proposta di modello di determinazione delle lacune forestali e della loro valutazione di attitudini ad interventi di rinfoltimento della copertura forestale*, Dendronatura, Semestrale dell'Associazione Forestale del Trentino - Anno 40 - Numero 1 - 1° semestre 2019

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO, SERVIZIO FORESTE E FAUNA, 2018 - *I tipi forestali del Trentino: descrizione e aspetti dinamici*. 138 p.

TRAVAGLINI D., BOTTALICO F., CHIRICI G., CORONA P., NOCENTINI S., 2012 - *Potenzialità del telerilevamento laser scanner aereo per la classificazione delle coperture forestali in funzione della forma di governo*, Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA - Fiera di Vicenza 6-9 novembre 2012

VIANELLO G., MALAGOLI P., 1998 - *Cartografia e fotointerpretazione* Editore: CLUEB Edizione: 2 Pagine: X-170 pp.

Salvatore Nieddu

Dottore di Ricerca in "Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica"
cellulare: 347-5397819
mail: salvatorenieddu@yahoo.it

Parole chiave: *classificazione aree a bosco, modellistica, fotointerpretazione*

RIASSUNTO

Nel presente articolo è stata analizzata una metodologia semi automatica per cercare di definire le superfici con diverse categorie di uso del suolo e in via più generale le aree con copertura boschiva. Lo studio è stato effet-

tuato in ambiente alpino. Il metodo è frutto della combinazione tra i dati statistici e delle coperture vegetali ottenuti dalla sovrapposizione di una griglia a passo costante avente dimensioni 20x20 m al CHM (Canopy Eight Model) del LIDAR. Il metodo esposto consente in buona parte di poter definire le differenze tra le diverse categorie di uso del suolo con riferimento al parametro media +/- deviazione standard e il Coefficiente di variazione %. I risultati sono ancora più interessanti nella determinazione dell'area a bosco. Il modello proposto, basato sull'uso congiunto di un determinato range di altezza della vegetazione forestale, delle distanze minime tra punti pianta e infine della copertura forestale consente di determinare la superficie di bosco con errori su altre categorie di uso del suolo inferiori al 3% e con una sottostima sul totale compresa tra il 5 e il 10%.

Key words: *forest areas classification, modeling, photointerpretation.*

ABSTRACT

In this article a semi-automatic methodology has been analyzed to try to define the surfaces with different categories of land use and more generally the areas with forest cover. The study was carried out in an alpine environment. The method is the result of the combination of statistical data and vegetation cover obtained by superimposing a grid with a constant pitch having dimensions of 20x20 m on the CHM (Canopy Eight Model) of the LIDAR. The above method largely allows to define the differences between the different land use categories with reference to the mean parameter +/- standard deviation and the Coefficient of variation%. The results are even more interesting in determining the woodland area. The proposed model, based on the joint use of a certain height range of forest vegetation, of the minimum distances between plant points and finally of forest cover, allows to determine the forest area with errors on other land use categories of less than 3% and with an underestimation of the total between 5 and 10%.