

SALVATORE NIEDDU

Analisi dei tipi strutturali forestali utilizzando dati LIDAR rispetto alle metriche di ecologia del paesaggio

Introduzione

La conoscenza delle caratteristiche del bosco è di preludio a tutti i possibili interventi gestionali. La pianificazione e la gestione forestale, specie quella di maggiore dettaglio (asestamentale), si fonda su analisi dirette in campo e con spazializzazioni dei dati oggi rese disponibili con facilità, con l'intervento della cartografia digitale e in particolare modo dell'uso dei G.I.S. (*Geographic Information System*). Allo stato attuale, ogni analisi è più facilmente realizzabile in bosco se preventivamente è stata effettuata un'analisi cartografica di tipo areale. A tale riguardo, l'attività di foto interpretazione (GASPARINI *et al.*, 2014) su ortofoto consente, tra le varie possibilità, una discriminazione preliminare base bosco vs non bosco, conifere vs latifoglie, l'attribuzione successiva ad una data categoria forestale ecc. Chiaramente anche la foto interpretazione ha la necessità di essere confermata, quindi autenticata da un altrettanto importante analisi di campagna, con verifica contestuale ed eventuale successiva rettifica su cartografia GIS (GASPARINI *et al.*, 2014).

L'introduzione dei LIDAR (*Light Detection And Ranging*) e quindi del CHM (*Canopy Height Model*) ha consentito e consente ulteriori ed importanti analisi. Ad esempio è possibile distinguere i vuoti nel bosco, i popolamenti a maggiore o minore altezza ecc. integrando l'analisi su ortofoto e arricchendo i dati per una restituzione areale (GASPARINI, TABACCHI, 2011,

GASPARINI *et al.*, 2014). Con le analisi svolte sul GIS è quindi possibile indagare in bosco con efficaci analisi puntuali (aree di saggio), e riportare dati, con sufficiente grado di spazializzazione, quali la forma di governo, la struttura, l'area basimetrica, il numero di piante/ha ecc. utili alla successiva scelta d'intervento, se chiaramente necessario. L'analisi GIS, certamente non può sostituire *in toto* l'analisi di campagna, ma nell'attuale gestione forestale è possibile affermare anche il contrario. È infatti palese che le preventive analisi GIS su ortofoto e su CHM consentono di delimitare, frazionare, suddividere il bosco e decidere, tra le varie possibilità e sostanzialmente su base statistica, il N° di aree di saggio utili a fornire i dati di maggior dettaglio per l'analisi e la successiva gestione selvicolturale. Per cui, il contenuto delle preventive analisi GIS è certamente arricchito dalla presenza del CHM e sicuramente arricchibile con tutti gli strumenti digitali correlabili allo stesso.

In alcune altre esperienze (NIEDDU, 2021; PASCUAL CASTAÑO *et al.*, 2008; TRAVAGLINI *et al.*, 2012) l'uso della segmentazione del CHM ha permesso di ottenere discreti/buoni risultati nell'identificazione delle categorie forestali, utilizzando il valore medio e la mediana. Un altro potenziale esempio è dato dalla possibilità di valutare le eventuali correlazioni tra il CHM e le relative caratteristiche del paesaggio forestale. Nello specifico, il paesaggio forestale mostra una struttura costituita

da diversi ecosistemi, con delle relazioni spaziali quantificabili con apposite metriche (BRUNDU, MANCA, 2018; FARINA, 2001; FORMAN, 1995; MCGARIGAL, MARKS, 1995). Alcuni esempi di studio (GERI *et al.*, 2008; NIEDDU, 2023) hanno permesso analisi temporali di variazione spaziale delle strutture forestali e delle diverse specie. Con l'analisi diacronica è infatti possibile analizzare il paesaggio forestale evidenziando eventuali differenze e quindi ricostruire la struttura del paesaggio e i relativi cambiamenti riscontrati nel corso del tempo (GERI *et al.*, 2008; INNES, KOCH, 1998; NIEDDU, 2023; ROCCHINI *et al.*, 2006; VIEDMA, MELLÀ, 1999). Alcuni altri esempi (GARCÍA ABRIL *et al.*, 2006; PASCUAL CASTAÑO *et al.*, 2010) hanno analizzato in modo puntuale, quindi lo stato temporaneo, le relazioni tra il CHM del bosco e le metriche del paesaggio, per il caso dei boschi di conifere sostanzialmente puri. Per le conifere (GARCÍA ABRIL *et al.*, 2006; PASCUAL CASTAÑO *et al.*, 2010), la cui distinzione su ortofoto è notoriamente più netta rispetto al caso delle latifoglie, rispetto alle metriche del paesaggio è stata ottenuta una ridotta capacità di correlazione. Poche metriche del paesaggio sono state capaci di distinguere in gruppi omogenei le strutture forestali presenti.

Nei casi citati, la classificazione permette di definire 2 distinti gruppi: elevata vs ridotta copertura. Le metriche di paesaggio di riferimento sono del livello Landscape e del tipo Area (LPI), *Aggregazione* (PD e CONTAG), e di *Divisione* (SHDI e SHEI). Le latifoglie, intuitivamente, essendo meno distinguibili su ortofoto, dovrebbero avere o altrettanto o ancora più ridotte capacità di legame tra il CHM, le diverse strutture forestali e le relative metriche del paesaggio.

In mancanza di tali informazioni, quindi utili a completare i rapporti tra paesaggio forestale e le strutture forestali, il presente articolo si propone di studiare, per un bosco di latifoglie, in sostanziale stato di purezza specifica, l'eventuale legame, se presente e in che termini, tra CHM, strutture forestali e le metriche del paesaggio. Il tentativo è quindi volto alla ricerca di una definizione/caratterizzazione e/o arricchimento di informazione delle strutture forestali avvalendosi di indici, almeno nelle intenzioni, aventi capacità discriminatorie.

Materiali e Metodi

Area di studio

L'area di studio scelta è situata in una zona mediterranea, in Sardegna, nella Provincia di Nuoro, in particolare modo nel Comune di Nuoro, presso il monte Ortobene come da Figura 1. Il monte Ortobene presenta una superficie di circa 21,59 km² (circa 2159 ha), con altitudine massima e minima rispettivamente pari a 956 m e 177 m s.l.m. (<https://www.sardegna-natura.com/esplora-la-sardegna/aree-naturali-protette-sardegna/zone-di-protezione-speciale-sardegna/1011-monte-ortobene.html>).

Il substrato è costituito da rocce intrusive di tipo granitico (batolite sardo corso), dovuto all'orogenesi ercinica con varie forme di erosione che caratterizzano il paesaggio. Per la Carta dei suoli della Sardegna (ARU *et al.*, 1991), l'area presenta prevalentemente entisuoli del tipo Xerorthents, con un profilo A-C, con rocciosità affiorante, da poco a mediamente profondi, con tessiture di tipo sabbioso e scarsa sostanza organica. Il clima (<https://www.sar.sardegna.it/>) è mediterraneo con appartenenza al Lauretum medio, di tipo bi stagionale. È presente una stagione caldo arida estiva alternata a una stagione freddo umida, autunno-invernale. Le precipitazioni sono quindi concentrate soprattutto nei mesi autunno-invernali con successiva riduzione nei mesi primaverili. I mesi estivi presentano le temperature più elevate ma con scarse o nulle precipitazioni.

Il monte Ortobene è un sito Natura 2000 ZPS con codice ITB023049 (<https://eunis.eea.europa.eu/sites/ITB023049>). Il sito prevede la protezione di 10 specie delle direttive sulla Natura (anfibi, uccelli e mammiferi) e di 5 tipi di habitat della omonima direttiva, tra cui, con la superficie maggiore, 1273,81 ha, il codice 9340, *Quercus ilex and Quercus rotundifolia forests*, che caratterizza la lecceta. Sono presenti inoltre specie lianose come *Smilax aspera*, *Rubia peregrina*, *Rosa sempervirens* e, talvolta, *Clematis cirrhosa* e rimboschimenti di conifere quali il *Pinus Pinea* e il *Pinus Halepensis*.

L'area di analisi (Fig. 1) è sita nella parte sommitale del monte Ortobene, ha forma rettangolare e una superficie totale di 170,65 ha con quota massima e minima rispettivamente

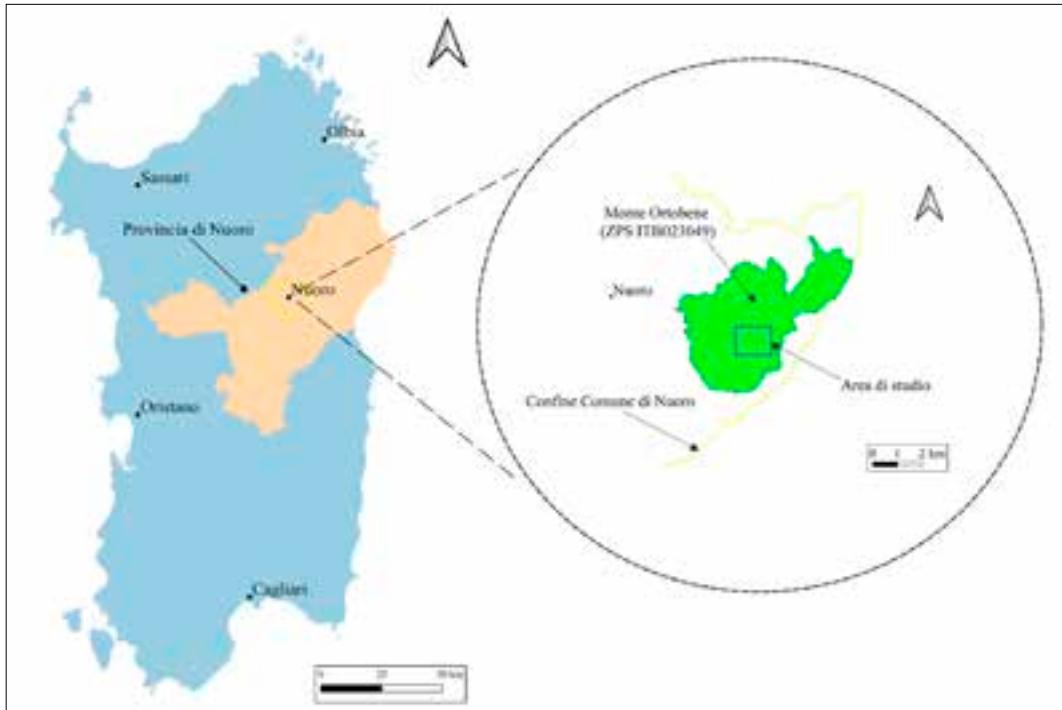


Figura 1 – Inquadramento zona di studio.

di 953,38 e 512,88 m s.l.m.. Al netto delle superfici urbanizzate (strade, edifici), pari a 13,92 ha, il bosco è presente con una superficie di 156,73 ha con una copertura continua e sostanzialmente pura di leccio (*Quercus ilex*). La pendenza prevalente, in senso relativo, è quella maggiore all'80%, con il 30,06% della superficie, seguita dalla classe 20-40% e il 24,12% del territorio in analisi. Le pendenze fino al 20% e tra il 60 e l'80% sono simili e rispettivamente pari al 17,90% e al 17,10% della superficie. Le esposizioni più frequenti sono: Nord-Ovest con il 16,03% della superficie, Nord con il 15,47%, l'Est con il 15,17%, infine la Sud Est con il 14,95%.

Metodologia

Impiego carte tematiche e rilievo in bosco

Tutte le analisi cartografiche, sia per la definizione dell'area di studio e delle sue caratteristiche fisiografiche e ambientali, sia per la

redazione delle carte tematiche di analisi specifica per il presente studio, se non menzionato altrimenti, sono state effettuate dall'autore con l'uso del software GIS Qgis (Versione 3.36.3) con la sua suite di tools propri e di GDAL, GRASS e SAGA.

Per l'area di analisi, la Regione Autonoma della Sardegna (RAS), per i centri urbani interni, ha pubblicato i dati LIDAR, in particolare modo il Digital Terrain Model (DTM) e il Digital Surface Model (DSM). I dati essenziali sono definiti al link <http://www.sardegnaoportale.it/index.php?xsl=2425&s=396898&v=2&c=14469&t=1&tb=14401> mentre i raster DTM e DSM sono scaricabili al link http://www.sardegnaoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=download_raster.

Il DTM e il DSM hanno un passo di 1 m e derivano da rilievo LIDAR su piattaforma aerea, realizzato nel 2013. Il sistema di riferimento originario con cui sono stati acquisiti i dati è l'ETRF89 ma, per omogeneità con i modelli digitali in possesso dell'amministrazione

regionale, vengono resi disponibili nel sistema di riferimento WGS84 UTM32N (EPSG 32632). I DTM e i DSM, in formato grid hanno un'accuratezza altimetrica pari a ± 15 cm e planimetrica pari a ± 30 cm. Dal DTM e dal DSM, per il presente articolo, è stato ricavato per differenza cartografica il CHM (DSM - DTM), successivamente corretto per i valori negativi, privo delle superfici urbanizzate e con la stessa risoluzione geometrica di partenza (1 m). Lo stesso è rappresentato nella Figura 2 con colorazioni in tono di grigio. Il CHM, con valore minimo pari a 0 e massimo di 33,75 m è stato riclassificato in 9 classi di altezza come da Figura 3. Fino a 10 m di altezza le classi sono state individuate con range di 3 m, mentre dai 10 ai 25 m con classi di 5 m per poi ancora aumentare a 7 m nel range 25-32 m. Il raster riclassificato è stato sottoposto ad una colorazione (su GIS) utilizzando una gradazione all'aumentare del valore dell'altezza del CHM. Successivamente è stata effettuata una foto interpretazione sulla base dei diversi pattern, quindi dei diversi

gruppi di colorazione riscontrati. La cartografia, al netto delle zone di interesse urbano, ha permesso di identificare 127 aree ascrivibili a 6 diversi gruppi omogenei. L'associazione di una data area a un determinato gruppo è stata confermata dall'algoritmo Analisi Cluster di Qgis (*K-means clustering*), considerando la media e la deviazione standard del CHM quali parametri di input.

Sul CHM sono state effettuate anche le analisi dell'altezza media e della copertura % del suolo per i 6 gruppi. Preliminarmente, a partire dal CHM di cui sopra, è stata quindi estratta una versione priva delle altezze inferiori ad 1 m (valore NULL). Con il geoprocesso *Statistiche Zonali* di QGIS è stata definita l'altezza media per gruppo, quindi sui soli pixel con valore maggiore di 1 m. Dai risultati espressi del geoprocesso *Statistiche Zonali* è stata calcolata la copertura % del suolo per gruppo di struttura. Il valore è stato calcolato come rapporto % tra la somma del N° dei pixel con altezza maggiore di 1 m, rispetto alla superficie lorda del gruppo di riferimento.

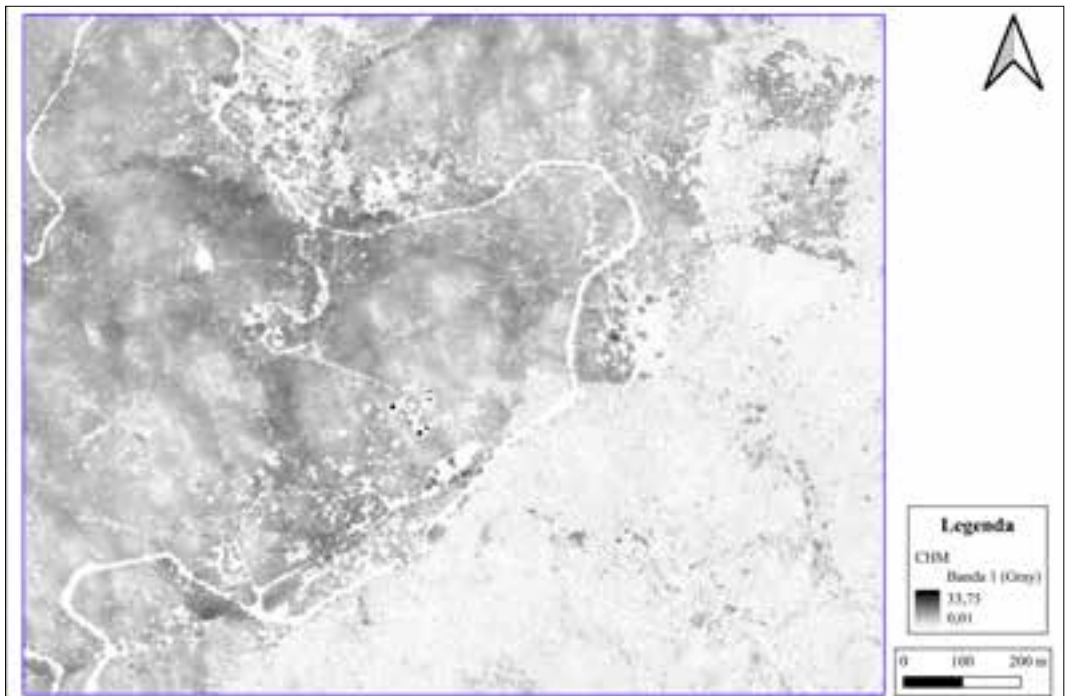


Figura 2 – CHM in b/n.

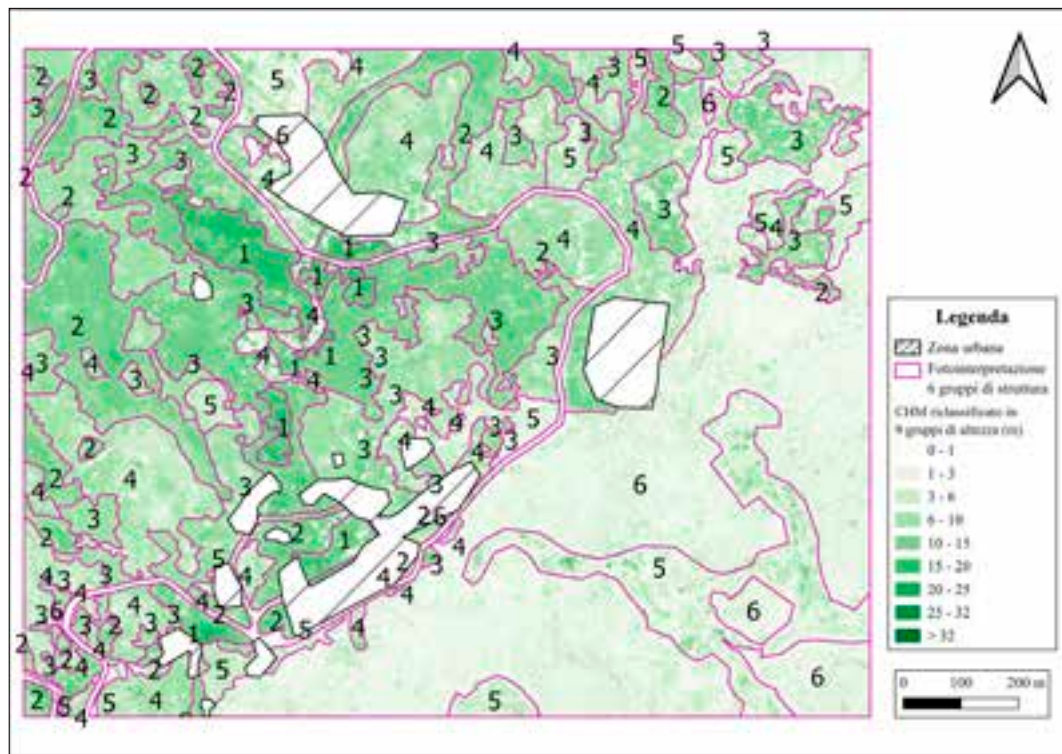


Figura 3 – CHM riclassificato in 9 gruppi di altezza con sovrapposta foto interpretazione per i 6 gruppi di struttura.

Dall'analisi del DTM dell'area di studio sono state invece ottenute le cartografie relative alla pendenza e all'esposizione utili a fornire i dati di sintesi espressi nel precedente paragrafo.

Con la suddivisione del bosco in analisi in 6 diversi gruppi è stato effettuato un rilievo in loco, e per ognuno di essi, sono state effettuate 4 aree di saggio di forma circolare con raggio pari a 13 m. Per ogni gruppo è stata saggiata pertanto una superficie di 2122,64 m² per un totale di 12735,84 m². Le aree di saggio sono state effettuate collocando i 4 punti centrali per gruppo, in modo casuale, con un geoprocesso su Qgis (*Punti casuali dentro i poligoni*). Le aree sono state delimitate con la cordella metrica con l'individuazione delle piante limite. All'interno delle aree di saggio è stato effettuato il cavallettamento totale con il rilievo dei diametri a petto d'uomo (1,30 m), utile a evidenziare soprattutto i caratteri principali: specie, struttura, forma di governo.

Metriche del paesaggio

Per la determinazione delle metriche del paesaggio è stato utilizzato il software Fragstats (McGARIGAL, MARKS, 1995) versione 4.2.1.603, con l'uso dell'analisi a 4 celle (ZATELLI *et al.*, 2019) sul CHM. A tal riguardo (ZATELLI *et al.*, 2019) è stata effettuata una preliminare analisi dell'indice di aggregazione (AI) per le 127 aree (*patch*) e avendo riscontrato valori non molto alti (di poco inferiori al 80%), si è preferito comunque effettuare l'analisi a 4 celle. Con questa condizione si ottengono statistiche con tendenze più evidenti per diverse metriche, ma con andamenti del tutto simili all'analisi svolta con 8 celle. Fragstats richiede input in formato raster (Geotiff), ed essendo le analisi da condurre a livello Landscape si è dovuto anzitutto separare (*split*), a partire dallo shapefile poligonale, le 127 aree ottenute dalla fotointerpretazione e utilizzare le stesse per ritagliare

altrettanti file sul CHM. I 127 files raster sono stati poi sottoposti all'analisi di Fragstats per l'estrazione delle metriche del paesaggio.

Le analisi sono state pertanto svolte selezionando un set di metriche del livello Landscape, applicate ad ognuna delle 127 aree omogenee. L'analisi condotta a livello di paesaggio (SCARBOSSA, 2011), con gli indici calcolati indifferentemente per tutte le patch (tessere elementari del paesaggio), allo stesso modo e ignorando la diversa classificazione effettuata in precedenza (6 gruppi), permette di ottenere dei risultati generali con riferimento al sistema ecologico nella sua interezza.

In particolare sono stati utilizzate le metriche del tipo *Area* (Area – edge), *Forma* (Shape), *Aggregazione* (Aggregation) e *Divisione* (Division) (MCGARIGAL, MARKS, 1995) nel numero totale applicabile di 39. Per la loro puntuale e specifica descrizione, si è preferito definire le stesse, per brevità, nell'ambito dei risultati, limitando l'analisi alle sole metriche aventi interesse rispetto allo scopo del presente articolo.

È importante ricordare che le analisi svolte con le metriche del paesaggio sono una schematizzazione di una realtà complessa quale è la natura, per cui non sono analisi precise e non sono prive di errori (SCARBOSSA, 2011). La stessa interpretazione dei dati deve essere contestualizzata in relazione alla risoluzione del materiale di partenza, accettando un minimo livello di errore. Le analisi condotte nel presente articolo non considerano la variabilità temporale del paesaggio, per cui rappresentano una fotografia al momento d'analisi, quindi utile allo scopo dello studio, in analogia a ciò che viene normalmente eseguito negli studi forestali volti alla determinazione della gestione diretta del bosco.

Analisi congiunte cartografia vs metriche del paesaggio

I dati relativi alle metriche del paesaggio, distinti per i 6 gruppi, sono stati posti a confronto con l'informazione cartografica ottenuta con la foto interpretazione e la successiva classificazione nei 6 diversi gruppi omogenei, confermati o meno dall'analisi di bosco. Con

i dati di sintesi delle metriche del paesaggio delle 127 aree è stata pertanto effettuata l'analisi della varianza per i 6 gruppi di struttura. Successivamente, per i soli casi aventi differenze statisticamente significative, quindi con *p-value* minore di 0,03, è stato applicato un test Post hoc LSD di Fisher, con lo scopo di identificare, per i singoli indici del paesaggio, gruppi rappresentativi dei diversi tipi di struttura forestale. In tale modo si cercherà di definire, se presenti, gruppi omogenei con capacità di distinzione rispetto alle metriche del paesaggio, evidenziando eventuali relazioni tra i dati rilevati inizialmente sul CHM e valutati successivamente in bosco.

Risultati e discussione

Analisi dell'altezza media e della copertura % su CHM

Uno dei primi risultati, utili a saggiare la correttezza della suddivisione effettuata nei 6 diversi gruppi omogenei, è stata l'analisi dei 6 gruppi di struttura forestale rispetto all'altezza media per gruppo sul CHM. Pertanto è stata effettuata una analisi della varianza (ANOVA) sul CHM, depurato dei valori di altezza inferiori ad 1 m, sulle 127 aree raccolte nei 6 diversi gruppi di struttura. Tale analisi è volta a definire le eventuali differenze dei valori medi di altezza rilevati sul CHM tra i 6 gruppi. Effettivamente, come da Tabella 1, sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra i 6 gruppi, pertanto è stato effettuato un successivo test Post Hoc di Fisher per identificare i gruppi omogenei di altezza media. I dati confermano il risultato dell'analisi Cluster di Qgis (*K-means clustering*) con la netta suddivisione, quindi con assenza di sovrapposizioni, in 6 gruppi, ottenuti dall'iniziale foto interpretazione.

Lo stesso risultato non è invece stato ottenuto dalla copertura %. È stata infatti effettuata, come per l'altezza media, una analisi della varianza (ANOVA) della Copertura % sulle 127 aree raccolte nei 6 gruppi. Questa analisi è volta a definire le eventuali differenze dei valori medi di Copertura % rilevati sul CHM tra i gruppi. Sono state riscontrate differenze stati-

Tabella 1 – Risultati ANOVA e test Post Hoc LSD di Fisher per la classificazione in 6 gruppi di struttura vs il CHM.

Test LSD Gruppi Omogenei, alfa = ,03000 Errore: MS Tra grp= ,77468, gl = 121,00							
Struttura Gruppo	Mean CHM	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3	Gr. 4	Gr. 5	Gr. 6
6	2,16	*					
5	3,81		*				
4	6,34			*			
3	7,8				*		
2	10,64					*	
1	14,35						*

sticamente significative, ma il successivo test Post Hoc di Fisher non ha identificato gruppi omogenei in modo netto. Sono stati ottenuti 4 gruppi con sovrapposizioni fra essi. Solo le strutture 5 e 6 sono state definite in modo netto con altrettanti gruppi non sovrapposti.

Analisi di bosco

Le caratteristiche del bosco in analisi distinte nei 6 diversi gruppi omogenei, ottenute dal rilievo in bosco, sono raccolti nella Tabella 2, mentre nella Figura 4 sono presenti alcune fotografie rappresentative. Nella Figura 5 sono invece rappresentate le distribuzioni diame-

triche (N° alberi o polloni per classe diametrica). Pur essendo una superficie forestale sostanzialmente non molto estesa (156,73 ha) si nota la presenza di 6 diverse forme di struttura forestale. L'origine delle stesse e quindi la successiva evoluzione/involuzione è legata ad un taglio episodico, senza criteri razionali e accompagnata dall'abbandono colturale (NIEDDU, COMM.PERS.). Non è presente e quindi applicato un piano di gestione. Si tratta di formazioni forestali di scarso valore mercantile, mentre è di certo più importante il valore espresso dai servizi eco sistemici di tipo Regolazione (qualità dell'aria, regolazione del clima ecc.), Supporto (habitat, conservazione della biodiversità

Tabella 2 – Caratteristiche delle strutture forestali dei 6 gruppi.

Gruppo	Superficie (ha)	Forma di governo e struttura	N piante - polloni/ha	G/ha (m ² /ha)	H media CHM (m)	Copertura % del suolo	Pendenza media (%)
1	5,18	Fustaia disetaneiforme, pura di Leccio	509	28,37	14,35	97,41	20,09
2	31,51	Fustaia coetaneiforme, pura di Leccio	528	18,23	10,64	98,92	30,72
3	25,13	Ceduo coetaneiforme in purezza di Leccio in abbandono colturale	603	10,95	7,80	97,38	35,74
4	29,91	Fustaia coetaneiforme a gruppi, pura di Leccio	622	34,17	6,34	94,92	36,94
5	17,85	Ceduo disetaneiforme/irregolare in purezza di Leccio in abbandono colturale	282	5,28	3,81	83,92	65,78
6	47,15	Ceduo coetaneiforme in purezza di Leccio in abbandono colturale	146	3,67	2,16	71,56	61,37



Figura 4 – Foto 6 gruppi strutture.

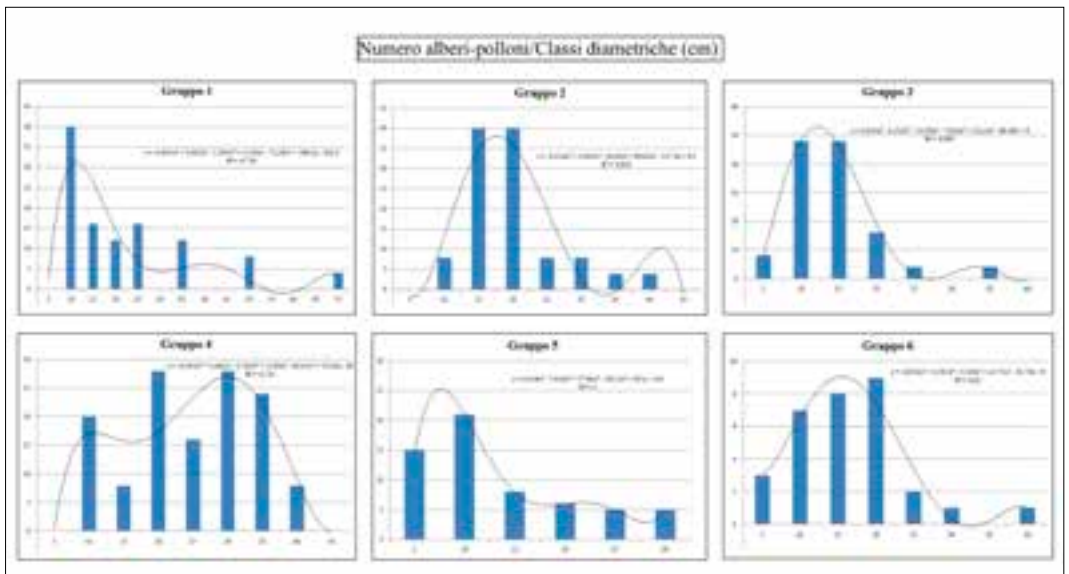


Figura 5 – Distribuzione diametrica dei 6 gruppi di struttura forestale.

genetica) e Culturale (estetico, valore scenico, ricreativo, turismo ecc.) (DE GROOT *et al.*, 2002; MA, 2005; SANTOLINI, 2010; PASTORELLA *et al.*, 2017)

Per i motivi appena accennati si nota che le 6 diverse strutture mostrano delle irregolarità (Figura 5), mentre la preventiva analisi e classificazione su GIS, in particolare modo sul CHM, è confermata dall'analisi in bosco. Il leccio è la specie dominante in condizioni di sostanziale purezza (> 95%). I gruppi 1, 2 (Tabella 2) sono fustaie rispettivamente disetaneiformi mentre il gruppo 4 è coetaniforme. Nei gruppi a fustaia l'altezza media è sostanzialmente più elevata rispetto ai gruppi governati a ceduo. Inoltre la superficie a fustaia è presente su 66,6 ha, pari al 42,50% della superficie forestale indagata. L'area basimetrica (il massimo nel gruppo 4 con 34,17 m²/ha e il minimo nel gruppo 2 con 18,23 m²/ha) e il numero di soggetti arborei è più elevata rispetto al ceduo (da 509 a 622 alberi/ha rispetto al range 603-146 polloni/ha), mentre le pendenze medie sono inferiori al 36%, con il valore più basso del gruppo 1, pari al 20,09%. La struttura diametrica mostra che il solo gruppo 1 è costituito anche da soggetti arborei con diametro ricadente in classe diametrica media maggiore ai 50 cm, con il massimo rappresentato a 70 cm. Il ceduo si presenta su una superficie di 90,13 ha, pari al 57,50%, con 3 gruppi: il 3, il 5 e il 6, rispettivamente il primo e il terzo con struttura coetaniforme e il solo gruppo 5 disetaneiforme. Il numero di polloni è basso per i gruppi 5 e 6 (sotto i 300 polloni/ha), mentre il gruppo 3 è simile ai gruppi a fustaia (maggiore ai 600 polloni/ha). L'area basimetrica è decisamente ridotta (il massimo nel gruppo 3 con 10,95 m²/ha, al minimo del gruppo 6 con 3,67 m²/ha). Il solo gruppo 3 supera i 10 m²/ha, così come l'altezza media sotto i 4 m per i due gruppi 5 e 6, vicina agli 8 m per il gruppo 3. Nella Tabella 2 si riscontra come i gruppi 1, 2, 3 e 4, quelli a maggiore altezza media, la relativa Copertura % del suolo è maggiore e sempre superiore al 94%, con il valore massimo del gruppo 2, pari al 98,92%. I valori più bassi di Copertura % sono per i gruppi 5 e 6 e con il valore minimo del gruppo 6 pari al 71,56%. Il comportamento è simile per i valori di pendenza media % con i più elevati per i gruppi 1, 2, 3 e 4, variabili dal

36,94% del gruppo 4 al valore più basso del gruppo 1 pari al 20,09%. I 2 gruppi a ceduo 5 e 6 sono presenti su pendenze maggiori del 61%, con il massimo del gruppo 5 (65,78%). L'analisi finora condotta dimostra come dai dati estraibili dal CHM, con la presenza di 6 diverse strutture forestali, nonostante le irregolarità presenti (Figura 5), è confermata in pieno dall'indagine di campo.

Analisi delle metriche del paesaggio

I dati finora riscontrati sono stati successivamente collegati ai valori di metrica del paesaggio al livello di landscape, estratti per singolo gruppo di struttura forestale. Dalle iniziali elaborazioni sono stati estratti i dati del CHM delle 127 aree (*patch*) di 39 metriche e, per evidenziare il comportamento utile ai fini del presente articolo, sono stati considerati, in seguito, i soli indici aventi differenze statisticamente significative tra le 6 strutture forestali. Quindi, come da Tabella 3, con la realizzazione dell'analisi di varianza ANOVA, è stato riscontrato anzitutto che 25 su 39 metriche del paesaggio mostrano differenze statisticamente significative per i 6 gruppi di struttura. Rispetto al numero di metriche, l'analisi svolta sulle latifoglie nel caso in esame, ha portato un numero maggiore di quelle invece riscontrate sulle conifere (8 metriche) nell'esempio di riferimento (GARCÍA ABRIL *et al.*, 2006; PASCUAL CASTAÑO *et al.*, 2010). Rispetto al tipo di metriche è stato riscontrato che tutti i tipi selezionati, *Area, Forma, Aggregazione e Divisione*, sono rappresentati con il test ANOVA (Tabella 3). Con la successiva applicazione di un test Post hoc di Fisher, si è avuta una ulteriore distinzione in gruppi, con la riduzione a solo 9 metriche di interesse, aventi una netta capacità di distinzione. Le restanti 16 metriche estratte dal test di Fisher e non utilizzate per l'analisi finale, avevano una condivisione dei 6 gruppi iniziali in almeno 2 o più gruppi omogenei. Sussiste quindi una suddivisione o raggruppamento con un ampio grado di sovrapposizione tra essi. Essendosi verificato un comportamento non netto nelle 16 metriche, le stesse non sono utili a discriminare i dati iniziali. Quindi per le restanti 9 metriche di interesse, con riferimento all'ultima colonna della Tabella 3 (Suddivisione

Tabella 3 – Risultati ANOVA e test Post Hoc LSD di Fisher per le metriche del paesaggio vs CHM.

N°	Tipo di metrica	Metrica	F	P	N° di gruppi da test post hoc Fisher LSD	Suddivisione netta in gruppi
1	Area-edge	LPI	3,695	0,004	2	*
2		ED	4,079	0,002	3	
3		AREA MN	3,968	0,002	2	
4		AREA AM	5,789	0,000	2	*
5		GYRATE MN	3,220	0,009	2	
6		GYRATE AM	6,628	0,000	2	*
7	Shape	SHAPE MN	3,551	0,005	2	
8		SHAPE AM	5,786	0,000	2	*
9		FRAC_AM	2,721	0,229	2	
10		PARA AM	3,262	0,008	3	
11		CONTIG AM	3,618	0,004	3	
12	Aggregation	PD	2,809	0,020	3	
13		CONTAG	9,808	0	3	*
14		PLADJ	3,262	0,008	3	
15		IJI	5,857	0,000	2	*
16		COHESION	4,047	0,002	3	
17		DIVISION	4,276	0,001	2	*
18		MESH	5,789	0,000	2	*
19		PR	4,952	0,000	2	*
20	Division	SHDI	6,800	0,000	4	
21		SIDI	10,232	0	3	
22		MSIDI	7,643	0	3	
23		SHEI	11,78	0	4	
24		SIEI	13,428	0	3	
25		MSIEI	11,977	0	3	

netta in gruppi), i gruppi maggiormente rappresentati sono l'Aggregazione, con 4 metriche (CONTAG, IJI, DIVISIONE e MESH), Area con 3 metriche (LPI, AREA AM e GYRATE AM), Forma e Divisione con 1 metrica (rispettivamente SHAPE AM e PR). Quindi, a partire da un numero notevole di metriche iniziali, esiste una relazione tra CHM, gruppi di struttura e gli indici del paesaggio, quantificabile in 25 metriche, mentre per gli eventuali scopi utili ai fini del presente articolo gli stessi sono limitati a 9.

Nella Tabella 4 è analizzata, per ognuna delle 9 metriche, la suddivisione dei 6 diversi gruppi di struttura forestale in ulteriori gruppi omogenei, come da risultati del test Post hoc di Fisher. Si nota subito che tutte le metriche, tranne CONTAG (3 gruppi), portano a una classificazione in 2 gruppi. Un primo evidente

risultato è che nella copertura di latifoglie analizzata, le metriche del paesaggio non permettono una suddivisione in 6 gruppi come invece verificato con l'altezza media del CHM. Dal punto di vista dell'analisi del paesaggio, quindi alla definizione delle complesse relazioni esistenti tra i vari elementi costituenti lo stesso, le 6 strutture sono invece accomunabili più frequentemente in 2 (8 casi su 9) e 3 (1 caso su 9) grandi gruppi omogenei.

Nel particolare, si riscontra che gli indici di Area LPI, AREA AM, GYRATE AM sono fra essi coerenti, distinguendo in 2 gruppi: da una parte il gruppo 6 e dall'altra i gruppi 1, 2, 3, 4 e 5. Il risultato è uguale con un indice di Forma, SHAPE AM, e 2 di Aggregazione, DIVISION e MESH. Gli altri indici di Aggregazione, rispettivamente IJI e CONTAG, distinguono i

Tabella 4 – Risultati test Post Hoc LSD di Fisher per i soli gruppi di struttura con suddivisione netta.

Struttura Gruppo	LPI	Gr. 1	Gr. 2	Struttura Gruppo	AREA AM	Gr. 1	Gr. 2
4	6,75	*		4	0,005	*	
1	7,87	*		5	0,006	*	
5	10,25	*		1	0,006	*	
3	10,28	*		3	0,009	*	
2	12,55	*		2	0,009	*	
6	25,74		*	6	0,079		*

Struttura Gruppo	GYRATE AM	Gr. 1	Gr. 2	Struttura Gruppo	SHAPE AM	Gr. 1	Gr. 2
4	3,03	*		4	2,13	*	
1	3,4	*		5	2,14	*	
5	3,48	*		1	2,23	*	
3	4,06	*		2	2,58	*	
2	4,13	*		3	2,63	*	
6	8,53		*	6	4,38		*

Struttura Gruppo	IJI	Gr. 1	Gr. 2	Struttura Gruppo	DIVISION	Gr. 1	Gr. 2
6	58,89	*		6	0,84		*
3	59,56	*		2	0,95	*	
2	59,78	*		3	0,962	*	
1	59,99	*		5	0,963	*	
4	68,37		*	1	0,972	*	
5	69,03		*	4	0,978	*	

Struttura Gruppo	MESH	Gr. 1	Gr. 2	Struttura Gruppo	PR	Gr. 1	Gr. 2
4	0,005	*		3	12,82	*	
5	0,006	*		6	13	*	
1	0,006	*		5	13,58	*	
3	0,009	*		4	14,48	*	
2	0,009	*		2	14,51	*	
6	0,079		*	1	19,66		*

Struttura Gruppo	CONTAG	Gr. 1	Gr. 2	Gr. 3
4	30,73		*	
5	32,19		*	
2	37,35	*		
3	37,4	*		
1	39,36	*		
6	49,3			*

6 gruppi di struttura forestale in 2 e 3 gruppi. Nel caso di IJI, i gruppi 4 e 5 sono accomunati rispetto al macro-gruppo contenente i 1, 2, 3 e 6. CONTAG distingue un primo gruppo per le strutture 4 e 5, un secondo gruppo le 1, 2 e 3 e un terzo gruppo con la struttura 6. La sola metrica di *Divisione*, PR distingue in 2 gruppi: da una parte la struttura 1, dall'altra le altre 5.

L'indice LPI (McGARIGAL, MARKS, 1995), misurando la percentuale di paesaggio compreso nelle *patch* di maggiori dimensioni, come da Tabella 4, conferma la suddivisione aspettata. Mentre i gruppi 1-5 sono accomunati un solo grande gruppo con superfici % comprese tra il 6,75% e il 12,55%, il gruppo 6, quello effettivamente più rappresentato in termini di

superficie, assomma a un valore di 25,74%. Il risultato conferma il dato tra i gruppi, ma non ha influenza nel discriminare o aggregare le 6 diverse tipologie di struttura forestale.

La metrica AREA AM, di pari passo a LPI, misura la dimensione delle 127 patch e la relativa variabilità (MCGARIGAL, MARKS, 1995). Per cui si conferma come la struttura 6 mostra il valore maggiore, 0,079357, rispetto agli altri 5 gruppi, con valori invece inferiori a 0,009.

La metrica GYRATE AM (MCGARIGAL, MARKS, 1995) provvede a misurare la continuità del paesaggio (nota anche come lunghezza di correlazione) e rappresenta l'attraversabilità media per un organismo confinato a rimanere all'interno di un singolo appezzamento. Nello specifico la metrica fornisce la distanza media dove ci si può spostare da un punto di partenza casuale e viaggiando in una direzione casuale senza lasciare la zona. Per cui, come anche visibile dalla Figura 3, avendo la struttura 6 una maggiore aggregazione, quindi un valore maggiore dell'indice, 8,53, rispetto alle altre 5, inferiori a 4,13, si presenta come un gruppo indipendente, invece che con valori sostanzialmente simili ma certamente più bassi degli altri gruppi.

L'indice SHAPE AM (MCGARIGAL, MARKS, 1995) pesa il valore della forma con la dimensione di ogni singola tessera del paesaggio. Rappresenta la più semplice e diretta misura della complessità della forma, standardizzando rispetto alla variabilità della dimensione delle patch. Tende, in diminuzione, al valore 1 all'aumentare della compattezza e regolarità della forma, viceversa aumenta all'aumentare dell'irregolarità. Effettivamente, con riferimento alla Figura 3, le forme sono più irregolari per il gruppo 6, con un valore di 4,38, meno per le superfici con struttura 1-5, inferiori a 2,63.

L'indice DIVISION (MCGARIGAL, MARKS, 1995) è una metrica di *Aggregazione*, variabile tra 0, quando il paesaggio consiste in una singola patch, e 1, con il paesaggio massimamente suddiviso, quindi con ogni cella separata in una relativa patch. Nel caso specifico, la struttura 6, con un valore di 0,84, è maggiormente aggregata rispetto alle strutture 1-5 (Figura 3 e Tabella 4), con valori superiori a 0,95.

La metrica MESH (MCGARIGAL, MARKS, 1995) esprime un comportamento negativamente correlato alla metrica DIVISION, con valori

compresi tra le dimensioni del pixel e il totale dell'area del paesaggio. Essendo presente una maggiore aggregazione nelle superfici con struttura 6 rispetto alle 1-5, il valore, 0,079, è di conseguenza più elevato rispetto agli altri 5 (Tabella 4), tutti inferiori a 0,009.

Altro indice di *Aggregazione* è IJI (MCGARIGAL, MARKS, 1995) che nel caso specifico accomuna le strutture 4 e 5, con valori più elevati, maggiori a 68,37, rispetto alle altre 1, 2, 3 e 6 (Tabella 4), tutti inferiori a 59,99. Tale metrica indica l'interdispersione o intermescolanza tra patch appartenenti a classi diverse. Si avvicina allo 0 quando le aggregazioni avvengono tra poche tipologie di patch (irregolare distribuzione delle adiacenze) e aumenta all'aumentare delle categorie coinvolte.

La metrica CONTAG (MCGARIGAL, MARKS, 1995), con valori compresi tra 0 e 100, misura la tendenza delle patch all'aggregazione spaziale. Assume un valore 0 quando le patch sono del tutto disaggregate, aumenta all'aumentare dell'aggregazione. Effettivamente, con riferimento alla Figura 3, le superfici con struttura 6 risultano quelle con il maggior grado di aggregazione, con valore di 49,3. Gli altri 2 gruppi, tra essi vicini e contigui, rispettivamente 1, 2 e 3, hanno valori rispettivamente compresi tra 39,36 e 37,35 vs 4 e 5 inferiori a 32,19.

La metrica PR (MCGARIGAL, MARKS, 1995) misura il numero di tipi di patch presenti nel paesaggio escludendo il paesaggio di bordo, quindi è una misura di composizione paesaggistica. Questo indice rappresenta un elemento chiave della struttura del paesaggio. Infatti, la varietà degli elementi del paesaggio può avere una importante influenza nella varietà dei processi ecologici. Nel caso in esame, la struttura 1, con un valore di 19,66, non si affaccia al bordo dell'area indagata, differenziandosi rispetto alle altre 5 strutture, con valori inferiori a 14,51.

Se l'identificazione dei 6 gruppi su CHM rispetto anche a quanto verificato in bosco è coerente, la diversa comunanza invece riscontrata sulle metriche del paesaggio, può derivare dalla evidente irregolarità riscontrata nella distribuzione diametrica, come da Figura 5. Nessuna delle 6 strutture, prescindendo dal CHM, è completa e pienamente diversa dalle altre. A prescindere dalla forma di governo, come da Figura 5, una suddivisione iniziale porterebbe alla so-

miglianza rispetto alle curve ottenute nella Figura 5, tra i gruppi 2, 3 e 6, di cui il primo è fustata, i secondi a ceduo. Per i gruppi 1 e 5, i grafici si mostrano sostanzialmente simili, ma con diverse forme di governo. Il solo gruppo 4 mostra un grafico effettivamente diverso dagli altri 5. Ma queste differenze non emergono nell'analisi delle metriche del paesaggio. Se invece si limita l'analisi a quanto riscontrato in 6 indici su 9, tra il gruppo 6 e le strutture 1-5, come da Tabella 2, sono presenti delle differenze evidenti di altezza, di area basimetrica, di numero di polloni/ha. La struttura 6 è certamente quella con i valori più bassi mentre le strutture 1-5 sono senz'altro più simili tra esse, risultando talaltro contigue. I risultati dell'analisi di bosco sono quindi sostanzialmente coerenti con quanto invece osservato dalle metriche del paesaggio, pur se con indicatori espressi da angoli diversi di analisi. Le prospettive di indagine sono diverse ma i risultati paiono estremamente coerenti.

Una importante considerazione relativa alle metriche del paesaggio è che le stesse non considerano la posizione delle distinte tessere (*patch*), quindi non registrano il modello della distribuzione spaziale forestale, con tutte le sue specifiche caratteristiche. Questo potrebbe giustificare la diversa capacità classificatoria che gli indici rintracciati hanno invece esplicitato.

Conclusioni

Nel presente studio è emersa, confermando quanto già noto a livello bibliografico, l'importanza nelle analisi forestali dell'uso del LIDAR, nella fattispecie il CHM. Per il caso in esame, le analisi portano ad una sostanziale confluenza tra quanto verificabile nelle analisi GIS su terminale rispetto alla controverifica di bosco. Riuscire a sezionare il bosco in aree omogenee di struttura forestale è attività certamente in evoluzione e ogni possibile analisi aggiunge un nuovo tassello di conoscenza. Le metriche del paesaggio nell'analisi puntuale, non diacronica, non hanno permesso di discriminare in modo compiuto le 6 diverse strutture forestali identificate nell'analisi iniziale, ma certamente confermano il loro ruolo nella descrizione della complessità del paesaggio, in particolare modo quello forestale.

I risultati sostanziali descrivono che in 6 casi su 9, il bosco in esame è stato distinto in 2 (6 vs 1-5) gruppi con indici di diversa impostazione, dall'*Area*, alla *Forma*, alla *Divisione* e all'*Aggregazione*. Effettivamente, riducendo l'occhio di indagine a livello macroscopico, i dati sono di pari passo a quelli riscontrati nell'ambito del rilievo forestale di bosco. Una struttura, la 6, si presenta con dati forestali di sintesi più ridotti (area basimetrica, altezza media, copertura %) rispetto agli altri 5. Quindi esiste una relazione che si esplicita nelle varie forme, aggregazioni e diversità.

Pertanto l'utilità delle metriche del paesaggio può essere certamente di accompagnamento e di miglioramento nella descrizione dei processi di cambiamento del territorio forestale. Del resto, se nel caso in esame non è stato possibile estrarre dalle metriche del paesaggio dati che discriminino o le forme di governo o le strutture o gli altri indici di rilievo forestale in modo almeno pari al CHM, con le informazioni rilevate è possibile intervenire nella gestione conoscendo le caratteristiche di *Area*, *Forma*, *Aggregazione* e di *Divisione*. Quindi tutti i potenziali interventi di gestione forestale, tra cui l'intervento nullo, possono essere meglio valutati, rispetto non solo alla componente vegetale, ma anche a quella animale selvatica, non solo terrestre, ma anche dell'avifauna (corridoi ecologici, aumento della biodiversità) (LAVOREL *et al.*, 1998). Quindi si potrebbe considerare che, prescindendo dai fattori fisiografici (esposizione e pendenza), nell'ipotesi di mantenimento della struttura esistente, le tipologie 1-5 sono state gestite diversamente dalla 6. Certamente si conferma un risultato al pari di quello riscontrato nell'esempio citato in introduzione sulle conifere: è possibile poter distinguere strutture ad elevata copertura vs strutture a più ridotta copertura.

Sarebbe certamente interessante analizzare lo stesso territorio dopo un periodo di almeno 15-20 anni e riscontrare eventuali cambiamenti nella forma di governo e di struttura forestale, quindi del CHM e delle relative metriche del paesaggio.

Schematizzare la natura non è analisi semplice ed è certamente affetta da errori. Il tentativo di sintetizzare i dati forestali, accompagnando gli stessi con informazioni collaterali,

più o meno discriminatorie, può essere certamente utile ad arricchire le analisi, in contesti in cui, oltre il valore mercantile ritraibile dal bosco, la conservazione della natura, quindi del paesaggio, può essere effettuata anche a partire da dati con portata generale anche aventi diversa capacità classificatoria.

BIBLIOGRAFIA

- ARU A., BALDACCINI P., VACCA A., VACCA S., MADRAU S., 1991 – *Nota illustrativa alla carta dei suoli della Sardegna*. Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato della Programmazione, Bilancio e Assetto del territorio. Centro Regionale di Programmazione; Università degli Studi di Cagliari, Dipartimento di Scienze della Terra. Cagliari.
- BRUNDU B., MANCA I., 2018 – “*Cartografia e pianificazione territoriale: modelli e metriche di paesaggio*”, in “*Conoscere per rappresentare. Temi di cartografia e approcci metodologici*”, Trieste, EUT Edizioni Università di Trieste, 2018, pp. 231-246 Studi Monografici / Associazione Italiana di Cartografia.
- DE GROOT R.S., WILSON M., BOUMANS R., 2002 – *A typology for the description, classification and valuation of ecosystem functions, goods and services*. Ecological Economics 41 (3) 393-408.
- FARINA A., 2001 – *Ecologia del paesaggio*. Principi, metodi e applicazioni, UTET Torino
- FORMAN R.T.T., 1995 – *Some general principles of landscape and regional ecology* Landscape Ecology vol. 10 no. 3 pp 133-142 (1995) SPB Academic Publishing bv, Amsterdam.
- 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.
- GARCÍA ABRIL A, PASCUAL CASTAÑO C, RUIZ SÁNCHEZ MDLA, VELARDE CATOLFI-SALVONI MD, BLANCO MARTÍN E, VELÁZQUEZ SAORNIL J, 2006 – *Caracterización de los tipos de estructura forestal mediante índices de ecología del paisaje aplicados sobre datos Lidar*. En: El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. Granada: Universidad de Granada; 2006. pp. 343-50.
- GERI F., GIORDANO M., NUCCI A., ROCCHINI D., CHIARUCCI A., 2008 – *Analisi multi temporale del paesaggio forestale della Provincia di Siena mediante l'utilizzo di cartografie storiche*. Forest@ Italian Society of Silviculture and Forest Ecology 5: 82-91 (2008.)
- INNES J.L., KOCH B., 1998 - *Forest biodiversity and its assessment by remote sensing*. Global Ecology and Biogeography Letters 7: 347-419.
- LAVOREL S., CANADELL J., RAMBAL S., TERRADAS J. 1998 – *Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects*. Global Ecology and Biogeography Letters 7: 157-166.
- MA, 2005 – *Millennium ecosystem assessment synthesis report*. Island Press, Washington, DC, USA.
- MCGARIGAL K., MARKS B.J., 1995 – *Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, Forest Science Department. Oregon State University, Corvallis.
- NIEDDU S., 2021 – *Possibilità d'uso del CHM (Lidar) per la classificazione della vegetazione forestale in ambiente alpino*. Dendronatura, Semestrare dell'Associazione Forestale del Trentino – Anno 42 – Numero 2 – 2° semestre 2021.
- NIEDDU S., 2023 – *Analisi diacronica del paesaggio forestale nella provincia autonoma di Trento*. Dendronatura, Semestrare dell'Associazione Forestale del Trentino – Anno 44 – Numero 2 – 2° semestre 2023.
- PASCUAL CASTAÑO C., GARCÍA ABRIL A., GARCIA-MONTERO L.G., MARTIN-FERNÁNDEZ S., COHEN W.B., 2008 – *Object-based semi-automatic approach for forest structure characterization using lidar data in heterogeneous Pinus sylvestris stands*. Forest Ecology and Management 255 (11): 3677-3685, 255 (11): 3677-3685.
- PASCUAL CASTAÑO C., GARCÍA ABRIL A., MARTIN-FERNÁNDEZ S., GARCIA-MONTERO L.G., 2010 – *Application of LIDAR data to characterize structure types of multifunctional Pinus sylvestris, L. Stands*. USDA Forest Service – General Technical Report PNW.
- PASTORELLA F., MAESANO M., PALETO A., GIACOVELLI G., VIVONA S., VELTRI A., PELLICONE G., MATTEUCCI G., SCARASCIA MUGNOZZA G., 2017 – *Servizi ecosistemi delle foreste calabresi: la percezione degli stakeholders*. Forest@ 14: 143-161.
- ROCCHINI D., PERRY G.L.W., SALERNO M., MACCHERINI S., CHIARUCCI A., 2006 – *Landscape change and the dynamics of open formations in a natural reserve*. Landscape and Urban Planning 77: 167-177.
- SANTOLINI R., 2010 – *Servizi Ecosistemici e Sostenibilità*. Ecoscienza, N. 3.
- SCARBOSSA A., 2011 – *Evoluzione del paesaggio e cambiamenti di uso del suolo dal 1954 al 2006 nelle foreste di Tovanella e Cajada (Dolomiti – Belluno)*. Tesi di laurea, Università degli Studi di Padova, Facoltà di Agraria.
- 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.

VIEDMA O., MELIÀ J., 1999 – *Monitoring temporal changes in the spatial patterns of a Mediterranean shrubland using Landsat images*. Diversity and Distributions 5: 275-293.

ZATELLI P., GOBBI S., TATTONI C., CANTIANI M.G., LA PORTA N., ROCCHINI D., ZORZI N., CIOLLI M., 2019 – *Relevance of the cell Neighborhood Size in Landscape Metrics Evaluation and Free or Open Source Software Implementations*, International Journal of Geo-Information, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2019. 8(12), 586. <https://doi.org/10.3390/ijgi8120586>

<https://eunis.eea.europa.eu/sites/ITB023049> (ultima visita: 31/05/2024)

<https://www.sardegnanatura.com/esplora-la-sardegna/aree-naturali-protette-sardegna/zone-di-protezione-speciale-sardegna/1011-monte-ortobene.html> (ultima visita: 31/05/2024)

<http://www.sardegnaoportale.it/index.php?xsl=2425&s=396898&v=2&c=14469&t=1&tb=14401> (ultima visita: 31/05/2024)

http://www.sardegnaoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=download_raster (ultima visita: 31/05/2024)

<https://www.sar.sardegna.it/> (ultima visita: 19/07/2024)

Salvatore Nieddu

E-mail: salvatorenieddu@yahoo.it

Dottore di Ricerca in

“Difesa e conservazione del suolo,
vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica”
Cell. 347 5397819

PAROLE CHIAVE: CHM, strutture forestali, metriche del paesaggio

RIASSUNTO

Nell'ambito della pianificazione forestale, l'uso della cartografia digitale permette una discriminazione atta a definire la eventuale diversa gestione. In particolare modo è possibile poter effettuare l'analisi del territorio forestale fino alla discriminazione dei diversi tipi forestali. A tale fine i dati LIDAR sono tra gli strumenti più utilizzati e permettano di definire output raffinati per classificare sia la diversa copertura vegetale (CHM) sia le diverse tipologie strutturali. Sono altrettanto utili a definire le caratteristiche di un territorio le apposite metriche di ecologia del paesaggio. Obiettivo del presente lavoro è verificare la possibilità di utilizzare i dati LIDAR nell'ambito dell'ecologia del paesaggio per la caratterizzazione dei tipi strutturali forestali. Nel presente lavoro, è stata indagata un'area forestale mediterranea (Sardegna) con copertura continua di *Quercus ilex* (Leccio). Nella stessa, partendo dai soli dati LIDAR e con successive verifiche di campagna, sono state definite le 6 diverse strutture esistenti. Inoltre sono stati calcolati per ogni gruppo strutturale le diverse metriche del paesaggio (indici di area, forma, aggregazione e divisione) del CHM. Sono state successivamente condotte delle analisi della varianza e un test *post hoc* (LSD di Fisher) atte a valutare la significatività statistica delle differenze dei 6 gruppi strutturali. Diverse metriche del paesaggio, in vario modo, consentono di classificare i 6 gruppi strutturali. Di 39 metriche analizzate 25 sono risultate avere significatività statistica. Il test *post hoc* ha ulteriormente definito che solo 9 metriche, in modo netto, distinguono i 6 gruppi strutturali in 2 o 3 gruppi omogenei. Nessuna metrica ha tuttavia consentito, al pari del CHM, di distinguere in modo netto i 6 diversi gruppi di struttura o di forme di governo. La distinzione più importante è quella evidenziata tra strutture forestali a più elevata rispetto a più bassa copertura, densità, area basimetrica, altezza media.

KEY WORDS: CHM, forest structures, landscape metrics

ABSTRACT

In the context of forest planning, the use of digital cartography allows discrimination aimed at defining any different management. In particular, it is possible to carry out the analysis of the forest territory up to the discrimination of the different forest types. To this end, LIDAR data are among the most used tools and allow the definition of refined outputs to classify both the different vegetation cover (CHM) and the different structural typologies. The specific landscape ecology metrics are equally useful for defining the characteristics of a territory. The objective of this work is to verify the possibility of using LIDAR data in the field of landscape ecology for the characterization of forest structural types. In the present work, a Mediterranean forest area (Sardinia) with continuous coverage of *Quercus ilex* (Holm oak) was investigated. In the same, starting from LIDAR data alone and with subsequent field checks, the 6 different existing structures were defined. Furthermore, the different landscape metrics (area, shape, aggregation and division indices) of the CHM were calculated for each structural group. Analyses of variance and a *post hoc* test (Fisher's LSD) were subsequently conducted to evaluate the statistical significance of the differences in the 6 structural groups. Different landscape metrics, in various ways, allow the 6 structural groups to be classified. Of 39 metrics analyzed, 25 were found to have statistical significance. The *post hoc* test further defined that only 9 metrics clearly distinguish the 6 structural groups into 2 or 3 homogeneous groups. However, no metric has hallowed, like the CHM, to clearly distinguish the 6 different groups of structure or forms of government. The most important distinction is the one highlighted between forest structures with higher versus lower coverage, density, basal area, average height.