

SALVATORE NIEDDU

Analisi diacronica del paesaggio forestale nella provincia autonoma di Trento

Introduzione

La pianificazione forestale è una attività di grande importanza per la gestione spaziale e temporale della risorsa boschiva, sia a livello mercantile (Servizi ecosistemici di fornitura: legno, legna, altri prodotti del bosco) sia a livello di servizi indiretti (servizi ecosistemici di regolazione, di supporto e culturali) (DE GROOT *et al.*, 2002; MA, 2005; SANTOLINI, 2010; PASTORELLA *et al.*, 2017). Ad ogni livello pianificatorio, una corretta gestione delle risorse richiede una importante ed imprescindibile fase di conoscenza e studio sulle quantità e qualità delle foreste da amministrare. Nella Provincia Autonoma di Trento (di seguito P.A.T.), la pianificazione forestale è normata dalla legge provinciale N° 11 del 2007 mentre per la pianificazione generale territoriale e aziendale dal Decreto del Presidente della provincia 26 agosto 2008, n. 35-142/Leg. In modo particolare la Legge 11/2007 prevede all'art. 6 la realizzazione del Piano Forestale e Montano (di seguito P.F.M.) quale strumento di pianificazione settoriale per l'intero territorio provinciale. Tra gli obiettivi del P.F.M. sono previsti la definizione: (lettera a) ... delle aree a bosco e a pascolo; (lettera b) ... degli eventuali indirizzi e criteri per attività e (lettera h) ... degli ambiti particolarmente significativi legati alla conservazione della natura, quali corridoi o aree di particolare valore naturalistico e paesaggistico-ambientale.

Pertanto al P.F.M. è riconosciuta una importanza conoscitiva di tipo generale che è certamente utile sia per le conoscenze della risorsa

forestale provinciale, sia anche per indirizzare con apposite regole le pianificazioni di maggior dettaglio. In Trentino la risorsa forestale di proprietà pubblica, come da legge nazionale (art. 130 del R.D. 30 dicembre 1923, n. 3267), deve essere sottoposta obbligatoriamente ad una pianificazione effettuata con un piano di assestamento. Nella P.A.T., la denominazione di piano di assestamento è sostituita con la denominazione di Piano di Gestione Forestale Aziendale, previsto dalla L.P. 25 maggio 11/2007 e dal D.P.G.P. 26 agosto 2008 n. 35-142/leg, prevedendo non solo interventi sulla copertura forestale in un lasso di tempo predefinito (turno di gestione o periodo di curazione), ma anche la gestione di altre risorse contigue al bosco, quali pascoli e prati, quindi la componente foraggera e la relativa zootecnia. I piani di assestamento sono sottoposti ad una revisione, generalmente decennale, tale per cui è possibile poter orientare la gestione del bosco con eventuali correzioni, tenendo conto anche delle specificità del territorio in analisi. Ma la revisione della pianificazione forestale guardando al passato, può essere effettuata anche su scala territoriale più vasta e con tempi maggiori rispetto a quelli previsti dalla pianificazione aziendale (10-15-20 anni). Chiaramente, disponendo di dati cartografici e gestionali (biomasse legnose) adeguati, è possibile restituire informazioni ancora utili sia a livello generale sia nello specifico territorio di pianificazione assestamentale.

Oltretutto, guardare al passato consente di definire anche quali sono stati i cambiamenti di uso del suolo e del paesaggio forestale. Con

un'ottica di lungo periodo si possono valutare gli eventuali processi di frammentazione forestale, i quali sono fonte di alterazione specifica, quindi di perdita della biodiversità e la conseguente minaccia della piena funzionalità ecologica delle aree naturali (BROWN *et al.*, 2000). Alla frammentazione forestale è certamente associato il fenomeno del consumo del suolo (NIEDDU, 2012; NIEDDU, 2017; <https://www.paesaggiotrentino.it/it/rapporto-stato-del-paesaggio/dinamiche-di-urbanizzazione-e-consumo-di-suolo-/>).

L'Europa e in particolare il bacino del mediterraneo sono sottoposti, da centinaia d'anni, da un elevato grado di pressione antropica (COVAS, BLONDEL 1998; LAVOREL *et al.*, 1998; VALLEJO *et al.*, 2005). Anche in Italia è presente un processo di dinamica del paesaggio, con cambiamenti che hanno comportato una riduzione dei terreni in pianura ad uso agricolo, con la sempre maggiore necessità di spazi per le infrastrutture e gli insediamenti urbani e periurbani. La tendenza opposta si è verificata per i terreni a maggiore pendenza, specie in seguito all'abbandono colturale, con un aumento della superficie forestale (GERI *et al.*, 2008).

Nel caso della P.A.T., nel 2021, l'Osservatorio del Paesaggio Trentino (<https://resoil-foundation.org/ambiente/trentino-consumo-suolo-coldiretti/>), ha rilevato l'aumento vertiginoso dell'antropizzazione territoriale (insediamenti e infrastrutture) a discapito delle aree agricole, seguita da un aumento del grado generale di frammentazione del paesaggio.

Sebbene la problematica in sede pianificatoria sia nota, tenere conto dei fenomeni in atto descritti, nella gestione delle risorse naturali è fondamentale per il mantenimento di un elevato grado di biodiversità. Ma per pianificare il paesaggio su scala vasta, si deve conoscere lo stato di fatto e il come lo stesso si è generato (per lo meno a partire da una data prestabilita) e successivamente evoluto, tenendo conto dei diversi processi passati e utile a rappresentare la base per le future politiche decisorie (GERI *et al.*, 2008; LAMBIN, 1994; NAGENDRA *et al.*, 2004).

Pertanto analizzare il paesaggio forestale naturale e seminaturale con un'analisi diacronica, quindi multi temporale, sufficiente ad evidenziare eventuali differenze, permette di

ricostruire la struttura del paesaggio e i relativi cambiamenti riscontrati nel corso del tempo (INNES, KOCH, 1998; VIEDMA, MELIÀ, 1999; ROCCHINI *et al.*, 2006).

Disponendo di appositi dataset, con la strumentazione software oggi disponibile, in particolare GIS e di analisi di immagine per le metriche del paesaggio, è possibile monitorare la trasformazione del bosco, identificandone un eventuale trend dei cambiamenti (GERI *et al.*, 2008).

Per la grande importanza economica, turistica, ricreativa, sociale delle sue foreste (<https://forestefauna.provincia.tn.it/Foreste/Foreste-in-Trentino/Funzioni-delle-foreste/>), per la P.A.T. l'analisi dei cambiamenti della struttura del paesaggio forestale è certamente un valido esempio per delineare per le zone alpine italiane, l'attuale tendenza evolutiva e le implicazioni eventuali nella relativa gestione.

Pertanto gli obiettivi della presente ricerca sono:

- effettuare, per la P.A.T., lo studio dei cambiamenti riscontrati negli ultimi 100 anni sul paesaggio forestale, impiegando apposite carte tematiche di confronto tra l'attuale e il passato, in termini di conservazione, deforestazione e forestazione;
- valutare, con l'uso di apposite metriche del paesaggio, l'evoluzione dell'organizzazione spaziale e la struttura del paesaggio forestale e in particolare modo, l'entità dei processi di frammentazione.

Materiali e Metodi

Area di studio

La P.A.T. presenta una superficie territoriale totale di 621.008,42 ha (6210,08 km²) e confina a Nord con la provincia di Bolzano, a Sud e a Est con la Regione Veneto, infine a Ovest con la Regione Lombardia. Il territorio trentino (https://agrireregionieuropa.univpm.it/en/views/glossario_pac/zona%20altimetrica) è per la massima parte montuoso con il 87,49% (superfici con quota maggiore di 600 m s.l.m.) mentre è collinare per l'8,07% (superfici con quote comprese tra 300 e i 600 m s.l.m.) e pianeggiante per il 4,43% (superfici con quota minore di 300 m s.l.m.).

La pendenza prevalente è maggiore del 50% per il 48,53% della superficie totale. Le classi di pendenza comprese tra il 40 e il 50%, 30-40% e 20-30% assommano rispettivamente a superfici del 12,13%, 11,93% e il 10,85%. Le pendenze inferiori al 20% assommano ad un totale del 16,52%.

Le esposizioni ai punti cardinali presentano dati simili. Si evidenziano con un valore simile, 13,90% della superficie, le esposizioni a Est, Sud Est e Ovest.

Al 2018 in Trentino la superficie forestale assomma a 390418,13 ha pari al 62,86% del totale (http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/sistema_informativo_gestione_forestale_aziendale_trentino/968/sistema_informativo_gestione_forestale_aziendale_trentino/157841). I principali tipi forestali (Provincia Autonoma di Trento, 2018, http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/sistema_informativo_gestione_forestale_aziendale_trentino/968/sistema_informativo_gestione_forestale_aziendale_trentino/157841) all'anno 2011, sono la Pecceta secondaria o sostitutiva con 51319,13 ha (13,14%), la Pecceta altimontana tipica con 28217,80 ha (7,23%), il Lariceto secondario o sostitutivo con 28206,90 ha (7,22%), l'Abieteto calcicolo con faggio con 23346,26 ha (5,98%), la Faggeta tipica a dentarie con 20428,35 ha (5,23%) e la Pecceta altimontana xerica con 19614,92 ha (5,02%).

Il tipo di clima (<http://www.climatrentino.it/>) è notevolmente vario e legato alla sua morfologia. Sono infatti presenti valli orientate in diverse direzioni e di diversa ampiezza, catene montuose, laghi, colline con inverni relativamente freddi e nevosi ed estati calde e temporalesche mentre le zone a maggior quota presentano un clima montano con estati fresche/miti e piovose e frequenti temporali, alternate ad inverni freddi e abbastanza nevosi.

Le precipitazioni sono piuttosto variabili tra le varie zone. Il regime pluviometrico annuale nelle zone più vicine alle Prealpi (val d'Adige, valle del Chiese, Alto Garda e Valsugana) è caratterizzato da due massimi di precipitazione in primavera e autunno e due minimi in estate e soprattutto in inverno. Le zone invece più lontane dalla pianura Padana e alle quote più

elevate, mostrano invece un regime più "alpino", con un massimo di precipitazione stagionale piuttosto evidente in estate e dovuto ai frequenti eventi temporaleschi.

Metodologia

Impiego carte tematiche

Tutte le analisi cartografiche, sia per la definizione dell'area di studio sia per la redazione delle carte tematiche, dove non menzionato altrimenti, sono state effettuate dall'autore con l'uso del software Qgis (Versione 3.30) con la sua suite di tools propri e di GDAL, GRASS e SAGA.

L'analisi diacronica del paesaggio forestale è stata effettuata con il confronto tra 2 diverse mappe realizzate a diversa età. La carta a maggiore età è quella realizzata nel 1936 dalla Regia Milizia Forestale Fascista, per l'intero territorio italiano e oggi disponibile in formato aperto (<https://carta1936.dicam.unitn.it/> e <https://sisef.org/2016/02/06/recuperata-la-carta-forestale-del-regno-ditalia-del-1936/>) sia raster sia vettoriale.

La carta forestale del 1936 come da Figura 1, ritagliata sui confini attuali della P.A.T., fornisce le informazioni sul tipo di bosco (castagneti, faggete ecc.) e la relativa forma di governo (fustaia, ceduo semplice, matricinato, composto). La cartografia è fornita nel sistema di riferimento UTM (WGS84). La carta forestale di confronto, come da Figura 2, è invece quella realizzata dal Servizio Foreste della P.A.T. con datazione al 2011 e rappresenta 51 tipi forestali (http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/sistema_informativo_gestione_forestale_aziendale_trentino/968/sistema_informativo_gestione_forestale_aziendale_trentino/157841).

Per effettuare l'analisi diacronica le 2 carte forestali sono state riclassificate in 3 diverse tipologie: boschi di conifere, boschi di latifoglie e boschi misti.

Utilizzando le 3 diverse classi, tra la carta del 1936 e del 2011 è stato possibile poter definire, con il geoprocesso di *overlay mapping*, quali sono le superfici forestali oggi ancora presenti, quindi conservate, le superfici in aumento e quelle in diminuzione.

I 3 diversi processi di conservazione, forestazione e deforestazione sono stati contestualizzati rispetto all'altimetria, all'esposizione e alla pendenza. A tale scopo è stato ricavato il DTM dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (TARQUINI *et al.*, 2007; TARQUINI *et al.*, 2007; <https://tinitaly.pi.ingv.it/>) con risoluzione a 10 m ritagliato sui confini della P.A.T.

Il dataset è un DEM a 10 m di risoluzione in formato griglia che copre l'intero territorio italiano. Il DEM è codificato come "ESRI ASCII Raster" ottenuto interpolando il DEM originale in formato *Triangular Irregular Network* (TIN). La versione TIN ha beneficiato dell'applicazione sistematica dell'algoritmo DEST. La proiezione è UTM, il World Geodetic System 1984 (WGS 84). Per fornire il *dataset* come un unico DEM senza soluzione di continuità, è stata selezionata l'unica zona 32 N, sebbene circa la metà dell'Italia appartenga alla zona 33 N. Il database è organizzato in 193 tessere quadrate di 50 km di lato.

L'analisi dei processi ha permesso di definire i tassi di cambiamento di superficie forestale intercorsi in quasi un secolo tra le diverse classi. Il confronto è stato effettuato con una matrice di contingenza, espressa in forma tabellare. Nella matrice le superfici delle diverse classi di bosco di conifere, di latifoglie e boschi misti, sono espresse come conservazione nel tempo lungo la diagonale tabellare, mentre al di fuori della stessa i cambiamenti verificatisi tra i 2 diversi tempi di riferimento quali la forestazione e la deforestazione.

Metriche del paesaggio

Per completare l'analisi diacronica è stata effettuata, per le 3 diverse classi di bosco conifere, latifoglie e boschi misti, lo studio delle metriche del paesaggio (FARINA, 2001; FORMAN, 1995; MCGARIGAL, MARKS, 1995; BRUNDU, MANCA, 2018). Con le metriche del paesaggio è possibile, nel caso in esame, determinare l'eventuale differenza della distribuzione spaziale delle superfici forestali.

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). A tal riguardo (ZATELLI *et al.*, 2019) è stata effettuata una preliminare

analisi dell'indice di aggregazione (AI come di seguito spiegato) e avendo riscontrato valori molto alti (maggiori al 95%) le differenze di uso di statistiche a 4 o 8 celle sono insignificanti (ZATELLI *et al.*, 2019). Inoltre (ZATELLI *et al.*, 2019) con l'analisi a 4 celle le statistiche forniscono tendenze più evidenti per diverse metriche, ma con andamenti del tutto simili all'analisi svolta con 8 celle. Fragstats richiede input in formato raster per cui i file vettoriali poligonali delle carte forestali sia del 1936 sia del 2011, riclassificate in boschi di conifere, latifoglie e misti, sono state convertite nel formato Geotiff.

In modo particolare sono state usate le metriche di analisi di classe, del tipo *Area Based, Patch Density, Shape Based Metrics e Edge Based Metrics* oltre gli indici COHESION e AI (MCGARIGAL, MARKS, 1995).

Per quanto riguarda l'analisi di classe del tipo *Area based*, l'indice utilizzato è il Class Area, (CA), con formula (1):

$$(1) CA = \sum_{j=1}^n a_{ij}(1/10000)$$

con a_{ij} = area (m^2) della *patch* ij esima. CA è uguale alla somma delle aree (m^2) di tutte le *patches* del tipo di *patch* corrispondente, divisa per 10.000 (per valori espressi in ettari) ovvero l'area totale della classe. L'area della classe è una misura della composizione del paesaggio ed esprime quanta parte del paesaggio è composta da un particolare tipo di *patch*.

Gli indici di *Patch Density* utilizzati sono:

- l'NP (il Numero di *patches*) con formula (2):

$$(2) NP = \sum n_i$$

con n_i = numero di *patch* nel *landscape* del tipo di *patch* (classe) i -esima. Il numero di *patch* di un particolare tipo è una semplice misura dell'estensione della suddivisione o frammentazione del tipo di *patch*.

- AREA_MN (Area media delle *patch*) con formula (3):

$$(3) AREA_MN = \sum_{j=1}^n X_{ij}/n_i$$

è uguale alla somma, in tutte le *patch* del tipo

i-esimo, dei valori metrici di *patch* corrispondente, divisa per il numero di *patch* dello stesso tipo. MN è dato nelle stesse unità della metrica *patch* corrispondente.

- AREA_SD (Deviazione Standard delle media della superficie delle *patch*) con formula (4):

$$(4) \text{ AREA_SD} = \sqrt{(\sum_{j=1}^n (X_{ij} - (\sum_{j=1}^n / n_i))^2 / n_i)}$$

è l'errore quadratico medio (deviazione standard della popolazione, non la deviazione standard del campione) nella metrica della *patch* corrispondente.

Gli indici di *Shape based metrics* sono:

- SHAPE_MN (Indice di forma media delle *patch*) con formula (5):

$$(5) \text{ SHAPE_MN} = \Sigma((p_{ij}/2\sqrt{\pi a_{ij}})/n_{ij})$$

è un indice di forma che valuta quanto i frammenti si avvicinano alla forma di un cerchio nel caso di formati vettoriali o di un quadrato per formati raster.

- SHAPE_AM (indice di forma medio ponderato per area) con formula (6):

$$(6) \text{ SHAPE_AM} = \Sigma((p_{ij}/2\sqrt{\pi a_{ij}})*(a_{ij}/\Sigma a_{ij}))$$

è un indice che pesa il valore dello SHAPE_MN con la dimensione di ogni singolo frammento.

Gli indici di *Edge based metrics* sono:

- TE (Totale bordo) con formula (7):

$$(7) \text{ TE} = \sum_{k=1}^m e_{ik}$$

con e_{ik} = lunghezza totale (m) del bordo nel paesaggio (quantità di margini) che coinvolge il tipo di *patch* (classe) i . La metrica include il confine del paesaggio e i segmenti di sfondo che coinvolgono il tipo di *patch* i . È uguale alla somma delle lunghezze (m) di tutti i segmenti di bordo che coinvolgono il tipo di *patch* corrispondente.

- MPE (media del bordo per *patch*) con formula (8):

$$(8) \text{ MPE} = \Sigma p_{ij} / \Sigma n_{ij}$$

esprime il grado dell'effetto margine.

Infine sono stati presi in esame gli indici di:

- COHESION (Coesione) con formula (9):

$$(9) \text{ COHESION} = (1 - (\sum_{j=1}^n p_{ij} / \sum_{j=1}^n p_{ij} * \sqrt{a_{ij}}) * (1 - (1/\sqrt{Z})) - 1) * 100$$

con p_{ij}^* = perimetro della *patch* ij in termini di numero di superfici cellulari, a_{ij}^* = area della *patch* ij in termini di numero di celle e Z = numero totale di celle nel paesaggio con $0 < \text{COHESION} < 100$

COHESION si avvicina a 0 man mano che la proporzione del paesaggio compresa nella classe focale diminuisce e diventa sempre più suddivisa e meno connessa fisicamente. COHESION è dato come 0 se il paesaggio è costituito da una singola cella senza sfondo.

L'indice di coesione della *patch* misura la connessione fisica del tipo di *patch* corrispondente. La coesione della *patch* aumenta man mano che il tipo di *patch* diventa più raggruppato o aggregato nella sua distribuzione; quindi, più fisicamente connesso.

- AI (Indice di Aggregazione) con formula (10):

$$(10) \text{ AI} = (g_{ii} / (\max \rightarrow g_{ii})) * (100)$$

con g_{ii} = numero di adiacenze simili (join) tra pixel di tipo *patch* (classe) i in base al metodo *single-count* e $\max\text{-}g_{ii}$ = numero massimo di adiacenze simili (join) tra pixel di tipo *patch* (classe) i (vedi sotto) basato sul metodo *single-count*.

con $0 \leq \text{AI} \leq 100$

L'indice di aggregazione viene calcolato da una matrice di adiacenza, che mostra la frequenza con cui diverse coppie di tipi di *patch* (comprese le adiacenze simili tra lo stesso tipo di *patch*) appaiono fianco a fianco sulla mappa. L'indice di aggregazione tiene conto solo delle adiacenze simili che coinvolgono la classe focale, non delle adiacenze con altri tipi di *patch*. La massima aggregazione si ottiene quando il tipo di *patch* è costituito da un'unica *patch* compatta, che non è necessariamente una *patch* quadrata.

Risultati e discussione

Analisi delle differenze cartografiche

La superficie forestale rappresentata nella Figura 1 relativa all'anno 1936 riporta un valore totale di 272427,70 ha. Il predominio è netto per i boschi di conifere con 180820,95 ha pari al 66,37% del totale, seguiti dai boschi misti con 71422,55 ha e pari al 26,22%, infine i boschi di latifoglie con 20184,20 ha con una % del 7,41%. In circa 100 anni, al 2011, la superficie forestale è aumentata di 117919,81 ha per un totale di 390347,51 ha. La classe dei boschi di conifere è sempre la prevalente con 238850,19 ha, pari al 61,19%, e con un aumento di 58029,24 ha. La classe dei boschi di latifoglie è invece la seconda prevalente, con 97178,00 ha pari al 24,89% e rispetto al 1936 con 76993,8 ha in più. I boschi misti sono invece calati fino a 54319,32 ha, pari al 13,91% del totale e con un decremento di 17103,23 ha.

Nel 1936, per il caso della PAT, rispetto al

resto della penisola italiana, sono 14 le categorie forestali riscontrate, ma solo 5 quelle con la superficie più rilevante. La categoria delle “resinose” è presente con il 53,35% seguita da “altre specie o fustaia/ceduo” con il 24,42% mentre le “resinose con abete rosso” erano presenti con il 9,40%. Altre 2 categorie d'interesse sono state i “cedui di faggio” con il 6,58% e le “resinose di larice” con l'1,80%.

Nel 2011 la carta dei tipi forestali reali della P.A.T., come da Figura 2, riporta la presenza di 15 categorie forestali mentre 6 sono certamente quelle più importanti in termini di superficie. La categoria più rappresentata sono le Peccete, con il 31,99%, seguita dalle faggete con il 13,51%, dai lariceti con il 13,26%, dalle abetine con l'11,39%, le pinete con il 9,02% e gli orno-ostrieti con il 7,49%.

Il confronto tra le 2 carte forestali è rappresentato nella Figura 3. In particolare modo sono raffigurati i 3 processi di conservazione, deforestazione e forestazione. La conservazione rappresenta la presenza di bosco nelle stesse

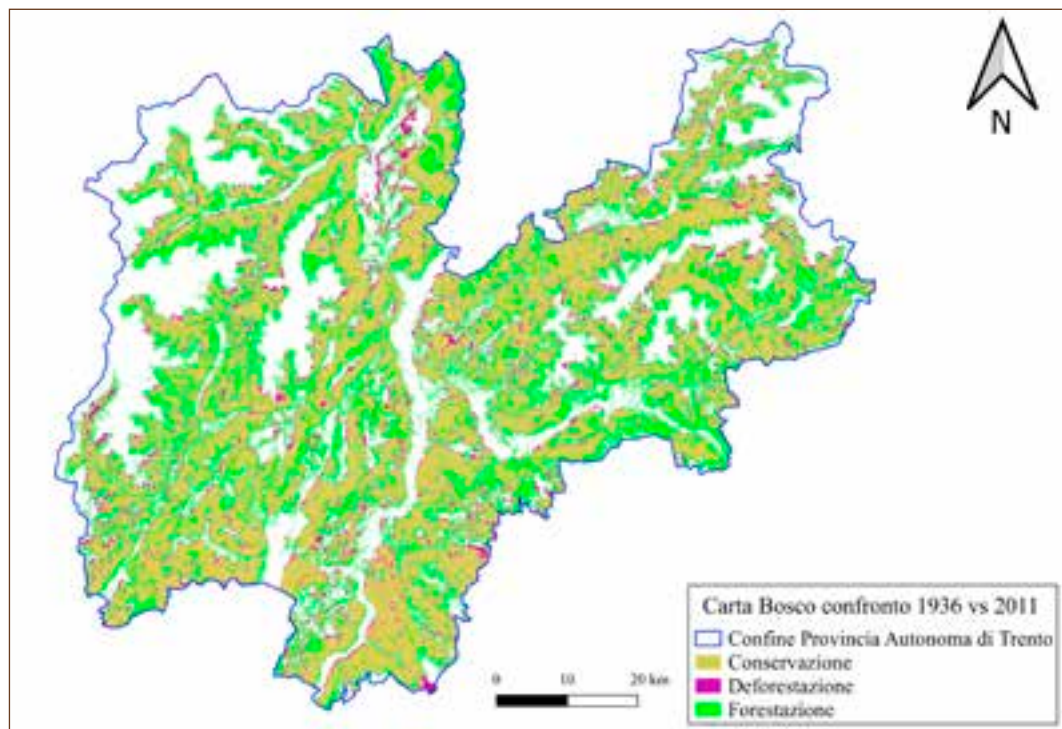


Figura 3 – Confronto carta forestale del 1936 e tipi forestali del 2011.

superfici sia nel 1936 sia nel 2011, la deforestazione (non bosco), le superfici forestali presenti nel 1936 e non più presenti nel 2011, infine la forestazione, con la presenza di bosco nelle superfici in cui lo stesso era assente nel 1936.

La Figura 3 permette di affermare come è notevole la superficie forestale conservatasi nel tempo, distribuita in varie quote e fasce, mentre i processi di forestazione si concentrano per lo più in zone di media/alta quota. La deforestazione è invece presente soprattutto nelle zone di medio/fondovalle, soprattutto in corrispondenza di insediamenti umani ed infrastrutture.

Nella Tabella 1 è rappresentata la matrice di contingenza, quindi di confronto tra i boschi del 1936 e del 2011, rispetto alle categorie di boschi di conifere, di latifoglie e misti. È presente anche la categoria di “No bosco” che definisce l’assenza del bosco sia nel caso del 1936 e viceversa per il 2011.

Le superfici della classe di conservazione del bosco (superficie pari alla somma del quadrato inscritto nella Tabella 1 tra conifere/latifoglie/misti 1936 e conifere/latifoglie/misti 2011) assomma ad un totale di 242288,10 ha, pari al 57,62% delle superfici totale. La forestazione (superficie pari alla somma dei valori di “No bosco” della riga corrispondente) assomma a 148059,41 ha pari al 35,21% mentre la deforestazione (superficie pari alla somma dei valori di “No bosco” della corrispondente colonna) a 30139,60 ha, pari al 7,17%.

Le superfici dei boschi di conifere, latifoglie e misti conservatesi dal 1936 al 2011, quindi con mantenimento della stessa classe (conifere 1936 = conifere 2011, latifoglie 1936 =

latifoglie 2011 e misti 1936 = misti 2011) sono definite dalla diagonale della Tabella 1, con i valori per i boschi di conifere di 125480,83 ha, per i boschi di latifoglie di 10718,42 ha, infine i boschi misti con 12482,42 ha. Pertanto la maggiore superficie di conservazione del bosco è quella relativa alle conifere mentre è simile quella tra latifoglie e misti.

I boschi di conifere del 2011 sono pari a 238850,19 ha e derivano soprattutto dal processo di conservazione del bosco (52,53%) e dalla forestazione con 92304,10 ha (38,64%), mentre il passaggio da altre categorie, latifoglie/misti, ha inciso per un totale di 21065,26 ha (8,81%).

I boschi di latifoglie del 2011, pari a 97178 ha, derivano soprattutto dalla forestazione con 40503,95 ha (41,68%) e dal passaggio dai boschi misti con 35084,95 ha (36,10%). Infine il passaggio dalle conifere alle latifoglie è costituito da 10870,68 ha (11,18%) mentre la conservazione è la superficie minore con 10718,42 ha (11,02%).

I boschi misti del 2011, pari a 54319,32 ha, sono dovuti soprattutto al passaggio dalle conifere con 23221,06 ha (42,74%), dalla forestazione con 15251,36 ha (28%), mentre la conservazione assomma a 12482,42 ha (22,97%). Il passaggio dalle latifoglie al bosco misto è di 3364,47 ha (6,19%).

Rispetto alle superfici perse con la deforestazione nel 2011, si nota come, del totale di 30139,60 ha, la maggiore perdita è quella relativa alle conifere con 21248,38 ha, pari al 70,49%. Molto più contenute sono le superfici perse nel bosco misto con 7416,42 ha, pari al 24,60% e 1474,79 ha, perse nelle latifoglie e pari al 4,91%.

Tabella 1 – Matrice di contingenza (valori in ha).

Tipi 1936	Tipi 2011				Totale Risultato
	CONIFERE	LATIFOGLIE	MISTO	No bosco	
CONIFERE	125480,83	10870,68	23221,06	21248,38	180820,95
LATIFOGLIE	4626,51	10718,42	3364,47	1474,79	20184,20
MISTO	16438,75	35084,95	12482,42	7416,42	71422,55
No bosco	92304,10	40503,95	15251,36		148059,41
Totale Risultato	238850,19	97178,00	54319,32	30139,60	420487,11

Rispetto alle superfici guadagnate in forestazione nel 2011, per un totale di 148059,41 ha, la maggior quota è dovuta alle conifere con 92304,10 (62,34%), mentre le latifoglie assommano a 40503,95 ha (27,35%) e i boschi misti a 15251,36 ha (10,30%). Nella P.A.T., dal 1936 al 2011, si riscontra un generalizzato aumento delle superfici forestali con netta prevalenza delle conifere sia in conservazione sia in forestazione. Rispetto al 1936 il bosco è cresciuto del 43,28%, i boschi di conifere sono cresciuti del 132,09%, i boschi di latifoglie del 481,45% mentre i boschi misti sono decresciuti del 23,94%

Del totale della superficie di conservazione del bosco dal 1936 al 2011, si riscontra come i tipi forestali prevalenti sono le conifere, con le peccete secondarie o sostitutive con il 13,40%, le peccete altimontane tipiche con l'8,68%, l'abietetto calcicolo con faggio con il 7,42%, il lariceto secondario o sostitutivo con il 6,99%, la faggeta tipica a dentarie con il 5,94%, la pecceta altimontana xerica con il 5,84%, l'abietetto dei suoli fertili con il 5,56%, la faggeta con carpino nero con il 5,36% e la pecceta a erica con il pino silvestre con il 4,65%. Tutti gli altri tipi forestali sono presenti con superfici inferiori alla soglia del 3%. Per le superfici di forestazione al 2011 la % più elevata è ancora la pecceta secondaria o sostitutiva, con il 12,74%, seguita dal lariceto secondario o sostitutivo con il 7,65%, dalle ontanete di ontano verde con il 5,73%, dal lariceto xerico a ginepro con il 5,54%, la pecceta altimontana tipica con il 4,85% e la faggeta tipica a dentarie con il 4,09%. Tutte gli altri tipi forestali sono rappresentati con soglie inferiori al 4%.

Per le superfici perse con la deforestazione, con riferimento alle categorie del 1936, la maggiore quota persa nel 2011 è presente soprattutto

nel gruppo delle resinose, con il 52,81%, seguita dai cedui di altre specie o misti con il 22,12% e dalle resinose di abete rosso con il 12,99%. Le altre categorie sono inferiori al 4%. Rispetto alle Comunità di valle della P.A.T. (Istituite con la Legge provinciale 16 giugno 2006, n. 3), del totale delle superfici forestali dei 3 processi, la conservazione è concentrata soprattutto nelle Giudicarie con il 9,68%, la Vallagarina con il 7,57%, la Val di Non con il 5,47%, la Valsugana e Tesino con il 4,92%, la Val di Fiemme con il 4,85% e l'Alto Garda e Ledro con il 4,40%. I processi di forestazione sono anch'essi concentrati nella comunità di valle delle Giudicarie per il 6,76% e Valsugana Tesino per il 4,25%. La deforestazione presenta la maggior % anch'essa nelle Giudicarie, con l'1,35%.

Nella Tabella 2 i processi di conservazione, forestazione e deforestazione sono stati messi in relazione rispetto ai valori medi, deviazione standard e coefficiente di variazione % dell'altitudine, della pendenza e dell'esposizione. Rispetto all'altimetria si nota come i valori medi, per tutti i processi, sono maggiori ai 1247 m s.l.m. con elevata dispersione dalla media e elevati CV% soprattutto nella conservazione. Rispetto alla pendenza i valori medi sono sostanzialmente simili per la conservazione e la forestazione (circa il 60%) mentre decisamente più bassi per la deforestazione con il 40,47%. Il grado di dispersione è simile mentre il CV% è più basso nel solo caso della deforestazione. Infine, rispetto all'esposizione, si nota una certa omogeneità del valore medio compreso tra i 181,70° della deforestazione e i 186,77° della conservazione, la dispersione e il CV% assumono valori ancora elevati ma non molto diversi tra essi. Per cui rispetto ai fattori morfologici e topografici, si nota come conservazione e forestazione si realizzano con pendenze più

Tabella 2 – Processi di Conservazione, Forestazione e Deforestazione vs Altimetria, Pendenza ed Esposizione.

PROCESSI	ALTIMETRIA (m)			PENDENZA (%)			ESPOSIZIONE (°)		
	Media	Dev.St. (+/-)	CV%	Media	Dev.St. (+/-)	CV%	Media	Dev.St. (+/-)	CV%
Conservazione	1247,85	406,58	306,91	59,92	34,84	171,99	186,77	106,94	174,65
Forestazione	1316,66	529,22	248,79	57,79	38,39	150,53	183,30	101,93	179,83
Deforestazione	1274,64	547,52	232,80	40,47	41,64	97,19	181,70	92,26	196,94

Tabella 3 – Processi di Conservazione, Forestazione e Deforestazione vs Pianura, Collina e Montagna.

Processo	Disposizione	Somma di sup_ha	%
Conservazione	Pianura	1829,46	0,44
	Collina	14287,26	3,40
	Montagna	226077,65	53,78
Deforestazione	Pianura	1039,15	0,25
	Collina	3055,03	0,73
	Montagna	26036,12	6,19
Forestazione	Pianura	3820,19	0,91
	Collina	13292,58	3,16
	Montagna	130914,35	31,14
Totale complessivo		420351,80	100

elevate mentre tutti i processi si svolgono mediamente in quote ed esposizioni simili. Nella Tabella 3 sono rapportati i 3 diversi processi rispetto alla morfologia (pianura, collina, montagna). La maggior parte della superficie è inserita nel contesto montano ed è prevalente per la conservazione, con il 53,78% mentre il 6,19% nella deforestazione e il 31,14% nella forestazione. Le altre tipologie di morfologia sono presenti con valori sempre minori al 4% e collocati soprattutto nell'ambiente collinare.

Analisi delle metriche del paesaggio

Come da Figura 4, il parametro CA (*Class Area*), tranne per il caso dei boschi misti (-31,44%), conferma che le superfici del 2011 a conifera (24,33%) e latifoglia (79,23%) sono aumentate in modo sensibile, chiaramente in analogia a quanto verificato nel paragrafo precedente.

Il parametro NP (numero di *patches*), (Fig. 4), del bosco trentino è aumentato notevolmente nel corso del tempo e per tutte le 3 categorie analizzate, indice di una maggiore frammentazione delle superfici forestali. Ad esempio, nel caso delle conifere si è passati da circa 5000 *patch* del 1936 a circa 140000. Nel caso delle latifoglie la differenza è ancora maggiore.

I valori di elevata differenza tra il 1936 e il 2011 del parametro NP possono essere in parte dovuti al metodo di realizzazione della carta del 1936. Probabilmente la carta del 1936 è

affetta da una sottostima del N° di diverse superfici boschive. La diversa tecnica di rilievo, certamente a maggiore tasso tecnologico quella adoperata nel 2011, può essere stata fonte di almeno una parte del minore valore del numero di *patches* del 1936. Se il NP è aumentato nel corso del periodo si è ridotto sensibilmente per tutte le categorie forestali indagate la dimensione media della *patch* definita dal parametro Area_MN (Fig. 4). Nel caso delle conifere si è passati da 331,61 ha a 17,07 ha, per le latifoglie da 188,60 ha a 6,24 ha, infine per i boschi misti da 242,84 ha a 11,57 ha.

L'indice AREA_SD (deviazione standard di AREA_MN) (Fig. 4) segue i valori dell'indice AREA_MN rivelando per il 1936 la maggiore variabilità per il caso delle conifere. Per il 2011 invece la minore variabilità, quindi la riduzione della dimensione media delle *patch*, ha comportato una riduzione della complessità geometrica delle superfici forestali. La tendenza è evidente analizzando i parametri SHAPE_MN e SHAPE_AM, come da Figura 5, con valori che si mostrano per tutte le categorie analizzate più vicine al valore dell'unità, valore che definisce forme compatte e circolari.

Il parametro TE (Fig. 5), lunghezza totale delle diverse class di paesaggio dal 1936 è aumentato in linea con l'aumento delle superfici forestali, mentre la dimensione media del perimetro per singola class, espressa dal parametro MPE (Fig. 5), è invece diminuita, comportamento del paesaggio con maggiore frammentazione.

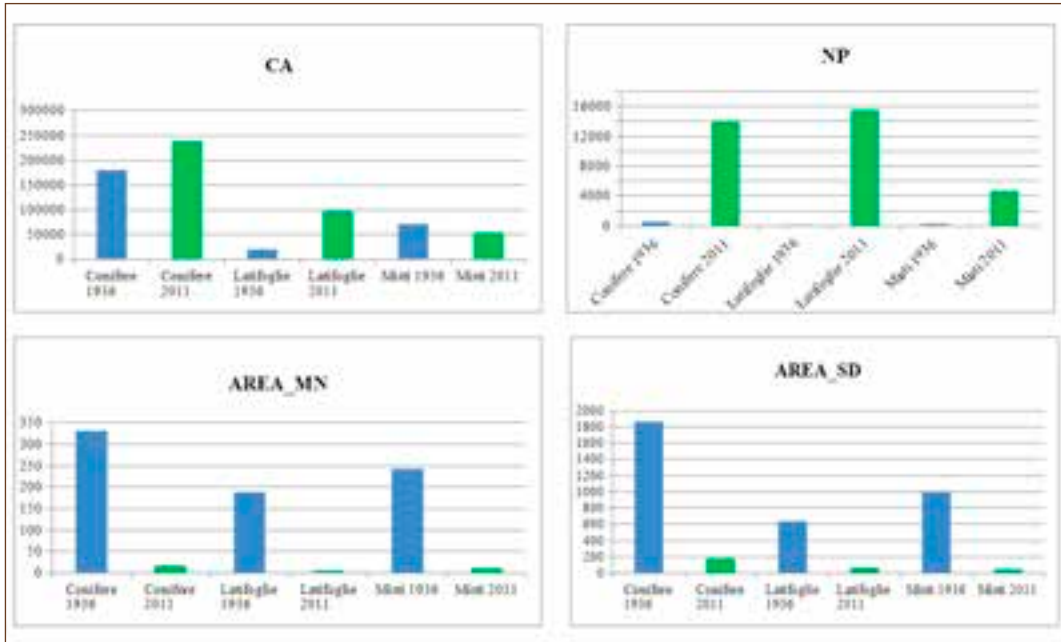


Figura 4 – Confronto tra il 1936 e il 2011 delle metriche di paesaggio per i boschi di conifere, latifoglie e misti per i parametri CA, NP, AREA_MN e AREA_SD.

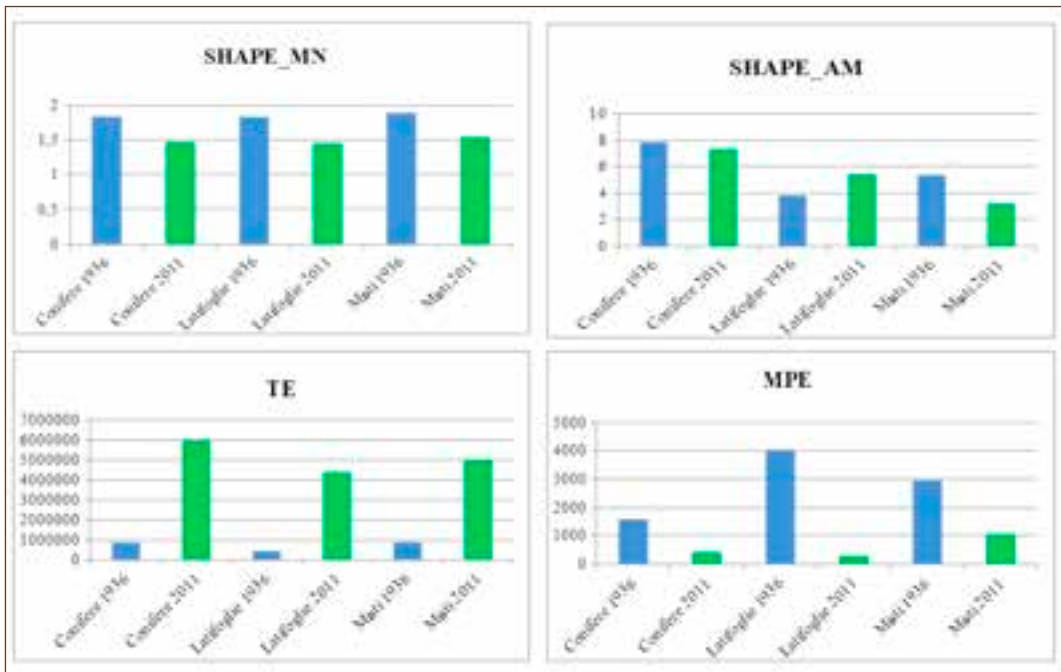


Figura 5 – Confronto tra il 1936 e il 2011 delle metriche di paesaggio per i boschi di conifere, latifoglie e misti per i parametri SHAPE_MN, SHAPE_AM, TE e MPE.

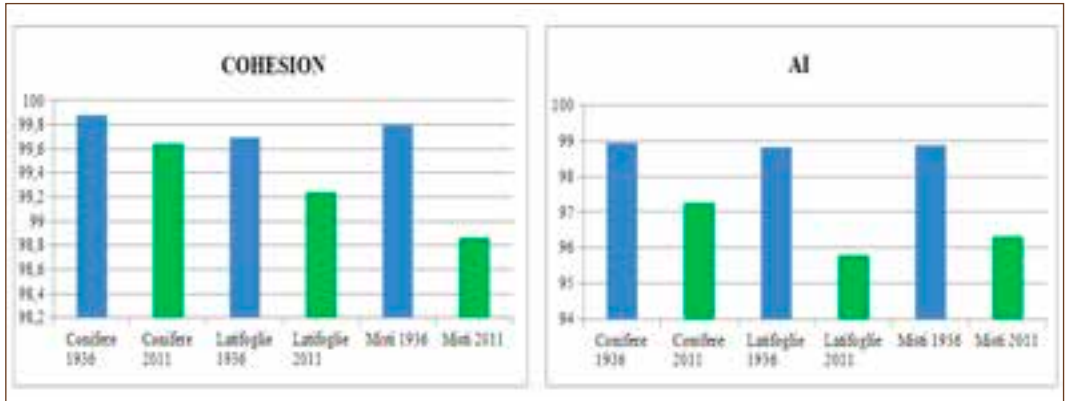


Figura 6 – Confronto tra il 1936 e il 2011 delle metriche di paesaggio per i boschi di conifere, latifoglie e misti per i parametri COHESION e AI.

Il parametro COHESION, come da Figura 6, mostra un calo dal 1936 al 2011 per tutte le categorie, rivelando una maggiore suddivisione e minore connessione territoriale. La diminuzione è chiaramente legata alla maggiore antropizzazione e urbanizzazione del territorio, ma nel caso della PAT è dell'ordine massimo del punto percentuale (boschi misti) e ancora più limitato negli altri 2 casi. Ad esempio per le conifere si è avuto il passaggio dal 99,9% al 99,6% e mai sotto il 98,8% dei boschi misti del 2011). L'indice AI (Fig. 6), analogamente all'indice COHESION, conferma una riduzione dei valori dal 1936 al 2011, definendo una maggiore disaggregazione, con passaggi del 1936 al 2011 per le conifere da circa il 99% a circa il 97% e mai sotto il 95,8% delle latifoglie del 2011.

Conclusioni

Nel presente articolo, l'analisi diacronica per un periodo di circa 100 anni, ha permesso, per la P.A.T., di ottenere una serie di indicatori evolutivi e descrittivi su un duplice livello di lettura, con indici sia di ordine cartografico sia paesaggistico. Le dinamiche di lungo periodo riscontrate, sia per le superfici forestali sia per le metriche del paesaggio, sono generalizzate a tutto il territorio, per tutti gli ambiti analizzati, pianura, collina e montagna. È quindi possibile poter affermare che il territorio forestale della PAT dal 1936 al 2011 è cambiato con signifi-

cativi aumenti di superficie totale e soprattutto per le categorie "pure" quali le conifere e le latifoglie. L'aumento e la conservazione sostanziale per il gruppo delle conifere (principalmente peccete, lariceti, abetine) è certamente legato al bilancio mercantile del legno da opera della PAT. La tendenza è simile per le latifoglie mentre si è registrato una decisa riduzione dei boschi misti. Quindi gli aspetti economici sono dominanti e la presenza di una minore biodiversità è già un indice pianificatorio di grande evidenza. I processi di conservazione e forestazione delle superfici forestali, quindi a prescindere dalle 3 categorie analizzate (conifere, latifoglie e boschi misti) sono, in senso assoluto, maggiori rispetto a quelli di deforestazione. La conservazione del bosco è presente in varie quote e fasce vegetazionali, la forestazione si concentra in aree a maggiore pendenza, mentre la deforestazione nelle zone a minor quota e in prossimità degli insediamenti umani, in superfici antropizzate con infrastrutture e questo in accordo con quanto descritto in introduzione.

Il bosco nella PAT, specie per la proprietà pubblica, entra nei bilanci degli enti comunali e intercomunali grazie alla vendita di importanti assortimenti legnosi, ma anche per tutta una serie di servizi indiretti (ecosistemici), soprattutto legati al turismo escursionistico e sportivo. Ma proprio un aumento della popolazione, la necessità sempre crescente di infrastrutture, ha portato un aumento vertiginoso della frammentazione delle superfici forestali,

con un notevole aumento del numero di tessere e accompagnate da una riduzione della superficie media per tessera. Questo comporta in generale, quindi per tutte le tipologie di bosco (conifere, latifoglie e boschi misti), allo stato attuale rispetto al 1936, la presenza di un numero maggiore di superfici di bosco, ma di valore medio minore. Tale aspetto dovrebbe comportare un punto di interesse relativamente al grado di sconvolgimento dal punto di vista ecologico – naturalistico oggi esistente e alla sua tendenza multitemporale.

Altro aspetto emerso dall'analisi delle metriche del paesaggio è la riduzione della complessità geometrica del bosco trentino, con il passaggio a forme compatte e regolari, quando l'aspetto opposto è un indice di maggiore complessità forestale. Emerge quindi un quadro di minore coesione territoriale, con frammentazione e disaggregazione delle superfici forestali.

Le infrastrutture e un buon grado di presenza delle stesse sono un indice di sviluppo economico e aumenta la facilità degli scambi commerciali. Certamente le infrastrutture consentono anche una gestione selvicolturale in boschi precedentemente isolati, evitando l'abbandono del territorio e le eventuali nefaste conseguenze. Ma il giusto bilancio tra sviluppo economico e gestione delle risorse forestali deve tenere conto della complessità degli habitat e delle sue varie componenti, aumentando o almeno conservando il grado di coesione territoriale.

Infine, considerando le emergenze verificatesi negli ultimi anni nella PAT, ad esempio la tempesta VAIA, l'attacco del bostrico, la conoscenza dell'evoluzione multitemporale delle superfici forestali sia in quantità sia in qualità, può entrare nel processo pianificatorio sia a livello sovraordinato (pianificazione provinciale), sia a livello aziendale (piani di assestamento aziendale). In tale modo sarà possibile anticipare e valutare con maggiore oggettività eventuali tendenze promuovendo azioni pianificatorie utili alla conservazione del bosco, ad esempio riducendo gli effetti di processi di frazionamento, agevolando la presenza di corridoi ecologici, salvaguardando e orientando la selvicoltura con modelli non solo economici ma anche rispettosi del mantenimento del capitale futuro.

BIBLIOGRAFIA

BROWN DJ, DUH J, DRZYGA SA, 2000 – *Estimating error in an analysis of forest fragmentation change using north American landscape characterization (NALC) data*. Remote Sensing of Environment 71: 106-117.

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

COVAS R., BLONDEL J., 1998 – *Biogeography and history of the Mediterranean bird fauna*. Ibis 140: 395-407

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

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)

https://agrireregionieuropa.univpm.it/en/views/glossario_pac/zona%20altimetrica (ultima visita: 16/06/2023)

<https://carta1936.dicam.unitn.it/> (ultima visita: 05/09/2022)

<https://resoilfoundation.org/ambiente/trentino-consumo-suolo-coldiretti/> (ultima visita: 28/07/2023)

<https://forestefauna.provincia.tn.it/Foreste/Foreste-in-Trentino/Funzioni-delle-foreste> (ultima visita: 28/07/2023)

<https://sisef.org/2016/02/06/recuperata-la-carta-forestale-del-regno-ditalia-del-1936/> (ultima visita: 21/06/2023)

<https://tinality.pi.ingv.it/> (ultima visita: 05/09/2022)

<http://www.climatrentino.it/> (ultima visita: 21/06/2023)

http://www.territorio.provincia.tn.it/portal/server.pt/community/sistema_informativo_gestione_forestale_aziendale_trentino/968/sistema_informativo_gestione_forestale_aziendale_trentino/157841 (ultima visita: 16/06/2023)

<https://www.paesaggiotrentino.it/it/rapporto-stato-del-paesaggio/dinamiche-di-urbanizzazione-e-consumo-di-suolo/> (ultima visita: 28/07/2023)

INNES J.L., KOCH B., 1998 – *Forest biodiversity and its assessment by remote sensing*. Global Ecology and Biogeography Letters 7: 347-419

LAMBIN E.F., 1994 – *Modelling deforestation processes: a review*. TREES Publications Series B: Research Report 1. Office of Official Publications of European Community, Luxembourg, pp. 113

- 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
- NAGENDRA H., MUNROE D.K., SOUTHWORTH J., 2004 – *From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change*. *Agriculture Ecosystem and Environment* 101 (2/3): 111-115
- 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
- PASTORELLA F., MAESANO M., PALETTO 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
- PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO, SERVIZIO FORESTE E FAUNA, 2018 – *I tipi forestali del Trentino: descrizione e aspetti dinamici*. 138 p.
- 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
- TARQUINI S., ISOLA I., FAVALLI M., BATTISTINI A., 2007 – *TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 meters cell size (Version 1.0)* [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/tinality/1.0>
- TARQUINI S., I. ISOLA, M. FAVALLI, A. BATTISTINI, G. DOTTA, 2023 – *TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 meters cell size (Version 1.1)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/tinality/1.1>
- VALLEJO R., ARONSON J., PAUSAS J.C., CORTINA J., 2005 – *Restoration of Mediterranean woodlands*. In: *Restoration ecology: a European perspective* (van Andel J, Aronson J eds). Blackwell Science, Oxford, UK, 193-207
- 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., CIOILLI 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>

Salvatore Nieddu

E-mail: salvatorenieddu@yahoo.it

Cellulare: 347-5397819

Dottore di Ricerca in “Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica”

PAROLE CHIAVE: *analisi diacronica, carte storiche, metriche del paesaggio*

KEY WORDS: *diachronic analysis, historical maps, landscape metrics*

RIASSUNTO

Nel presente articolo è stata effettuata una analisi diacronica della superficie forestale della Provincia Autonoma di Trento. È stato realizzato un confronto tra la carta forestale del 1936 rispetto alla cartografia del 2011, riscontrando 3 diversi comportamenti di conservazione del bosco, deforestazione e forestazione con riferimento a 3 diverse categorie: conifere, latifoglie e boschi misti. La superficie forestale conservata al 2011, rispetto al 1936, è la maggiore; seguono le superfici di nuova forestazione mentre i boschi trasformati per l’agricoltura e le infrastrutture sono la minore quota. Inoltre è stata effettuata, con una serie di set di indicatori, l’analisi delle metriche del paesaggio forestale di confronto tra le 2 carte forestali del 1936 e del 2011 riscontrando un notevole aumento del grado di frammentazione del paesaggio forestale.

ABSTRACT

In this article a diachronic analysis of the forest area of the Autonomous Province of Trento has been carried out. A comparison was made between the 1936 forest map and the 2011 cartography, finding 3 different forest conservation behaviors, deforestation and forestation with reference to 3 different categories: conifers, deciduous and mixed forests. The forest area preserved in 2011, compared to 1936, is the largest; follow the surfaces of new forestation while the forests transformed for agriculture and infrastructures are the smallest share. Furthermore, with a series of sets of indicators, the analysis of the metrics of the forest landscape was carried out in comparison between the 2 forest maps of 1936 and 2011, noting a significant increase in the degree of fragmentation of the forest landscape.