

Numero speciale: Progetto “ALForLab” (PON03PE_00024_1 - PON R&C- PAC 2007-2013)
“Laboratorio pubblico-privato per l'applicazione di tecnologie innovative ad elevata sostenibilità ambientale nella filiera foresta-legno-energia”

Editors: Alessandro Paletto (CREA), Giorgio Matteucci e Mauro Maesano (CNR/ISAFOM)

Indicatori ad ampia scala per il monitoraggio della diversità forestale per le principali formazioni boschive della Calabria

Marco Infusino* ⁽¹⁾, Stefano Scalercio ⁽¹⁾, Piermaria Corona ⁽²⁾, Silvia Greco ⁽¹⁾, Nicola Puletti ⁽²⁾,
Francesco Chianucci ⁽²⁾

(1) Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di Ricerca per la Selvicoltura in Ambiente Mediterraneo, c.da Li Rocchi Vermicelli, 87036 Rende (CS); (2) Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di Ricerca per la Selvicoltura, v.le S. Margherita 80, 52100 Arezzo -

*Corresponding Author: Marco Infusino (marco.infusino@crea.gov.it).

Abstract: Large-scale indicators for monitoring forest diversity of the main forest types in Calabria (Italy). Recently, the Society's perception of forest resources has gone through significant changes. Forest ecosystems play a multifunctional role and host an important portion of the whole biodiversity, particularly in the Mediterranean area. Remote sensing technologies provide a unique way to obtain spatially extensive information on forest ecosystems, but relatively few studies used such information to evaluate forest habitat and biotic diversity. In this paper we evaluate the effectiveness of remote sensing to predict forest diversity by linking remotely sensed information with diversity metrics obtained from ground measurements of butterfly diversity. The field work was carried out in Calabria in four different forest types (beech, chestnut, black pine and silver fir forests). The sampling of Lepidoptera was carried out by LED light traps. We positioned 9 traps per forest type, for a total of 36 sites chosen to sample the different stages of forest succession in each forest type. Samples were carried out once a month from May to November 2015. Data from *in situ* butterfly measurements were compared with above ground forest biomass estimated from airborne LiDAR with NDVI estimated from Landsat 8. Results indicated that the Geometridae/Noctuidae ratio of lepidopteran communities was significantly correlated with the tree biomass, its distribution among tree size classes and the NDVI. The Geometridae/Noctuidae ratio, therefore, represents an index easy to calculate, which can be employed to integrate data acquired from remote sensing in order to obtain continuous spatial estimates of forest naturalness.

Keywords: LiDAR, Moths, Biodiversity, Bioindicators Taxa, Landsat, NDVI

Received: Nov 23, 2016; Accepted: Jan 12, 2017; Published online: Feb 27, 2017

Citation: Infusino M, Scalercio S, Corona P, Greco S, Puletti N, Chianucci F, 2017. Indicatori ad ampia scala per il monitoraggio della diversità forestale per le principali formazioni boschive della Calabria. *Forest@* 14: 84-93 [online 2017-02-27] URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor2293-014>

Introduzione

Negli ultimi decenni la percezione della società nei confronti del ruolo delle risorse forestali ha subito profondi mutamenti. La gestione forestale, in passato

prevalentemente orientata alla massimizzazione della produzione legnosa, si è andata configurando sulla base di nuove richieste relative alla promozione e alla salvaguardia del ruolo ecologico-ambientale, tu-

ristico-ricreativo e paesaggistico del bosco (Bottalico et al. 2014). Accanto a queste funzionalità e servizi richiesti al bosco si pone il problema della perdita di biodiversità a livello globale (Gitay et al. 2002). Gli ecosistemi forestali ospitano una elevata porzione di biodiversità, in termini di specie, genotipi e processi ecologici. Questi aspetti assumono un significato forse ancora più importante in un ambiente come quello mediterraneo dove la notevole varietà di condizioni ambientali (climatiche, geologiche, morfologiche) e l'utilizzo secolare delle risorse territoriali hanno creato un mosaico di paesaggi culturali e naturali estremamente ricchi e diversificati. D'altro canto, la forte frammentazione e omogeneizzazione rappresentano una minaccia alla diversità biologica e alla valenza multifunzionale delle componenti naturali del paesaggio e delle risorse forestali (Henle et al. 2004).

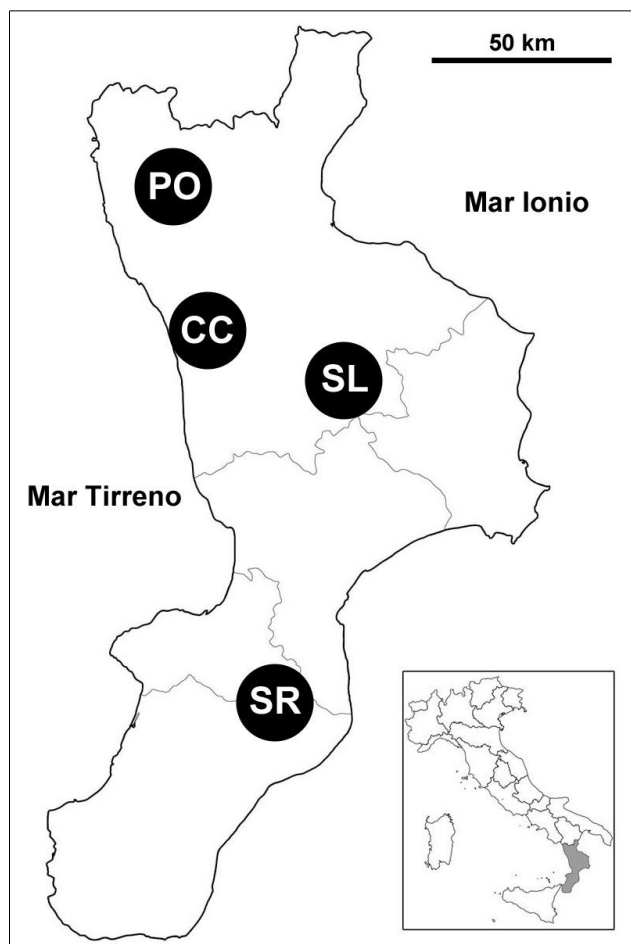


Fig. 1 - Inquadramento geografico delle aree di studio. CC è il codice identificativo dei castagneti della Catena Costiera, PO quello delle faggete del Pollino-Orsomarso, SL quello delle pinete della Sila e SR quello delle abetine delle Serre Vibonesi.

L'impiego delle informazioni derivate dal telerilevamento rappresenta un importante supporto per l'osservazione e il monitoraggio delle risorse naturali e per la programmazione di azioni coordinate utili alla prevenzione degli incendi boschivi (Corona et al. 2015). Il settore forestale eredita una lunga tradizione di impiego di informazioni derivanti dai sistemi di osservazione della terra (OT) per la stima di attributi forestali e per la loro inventariazione: esempi delle variabili stimate includono composizione specifica, volume legnoso e suo incremento. Per maggiori dettagli, si veda Corona (2010).

L'impiego del telerilevamento ai fini della stima e del monitoraggio della biodiversità ha ricevuto solamente in tempi recenti adeguata considerazione. Ad esempio, alcuni studi hanno utilizzato informazioni derivanti da telerilevamento da satellite per valutare la struttura e la composizione di ecosistemi forestali in ambienti tropicali/subtropicali (Laurin Vaglio et al. 2016, Nagendra et al. 2013). Pochi studi invece hanno utilizzato le informazioni derivanti dai sistemi OT per valutare la diversità non-arborea di ecosistemi vegetali. Tale diversità può essere quantificata a terra selezionando comunità biotiche ritenute indicatori di particolari caratteristiche degli habitat forestali e della biodiversità. Esempi di integrazione di stime di diversità da telerilevamento mediante l'impiego di bioindicatori includono l'utilizzo di specie ornitiche (Coops et al. 2016), licheni (Falldorf et al. 2014), funghi (Peura et al. 2016). Pochissimi studi si sono focalizzati sulla valutazione degli habitat e della loro diversificazione utilizzando i Lepidotteri adulti come indicatori ecologici (Kerr et al. 2001). Per esempio, Hess et al. (2013) hanno utilizzato informazioni derivanti da LiDAR e da fotogrammetria aerea per valutare l'idoneità ambientale a scala di paesaggio per quattro specie diverse di farfalle. Il loro studio ha prodotto interessanti risultati, dimostrando che l'informazione tridimensionale derivabile da un dato LiDAR fornisce più informazioni rispetto ai dati ottici per caratterizzare un habitat forestale. Tuttavia, lo studio ha valutato un limitato numero di specie di Lepidotteri diurni che rappresentano una frazione minima di questo Ordine di insetti e, al contrario di quelli notturni, forniscono scarse informazioni per gli habitat forestali perché legati generalmente ad ambienti aperti e soleggiati.

I Lepidotteri Eteroceri (sottogruppo che comprende le famiglie più numerose, con abitudini generalmente notturne) hanno molte caratteristiche tipiche dei bioindicatori. Questo gruppo, infatti, è composto da specie con diversificate esigenze ecologiche, per

le quali si ha una buona conoscenza della tassonomia e dell'autoecologia. Inoltre, le loro comunità reagiscono ai cambiamenti ambientali a differente scala sia spaziale che temporale. Infine, le larve, e spesso anche gli adulti, sono legati troficamente alla vegetazione, per cui le comunità sono direttamente influenzate dalla componente floristica degli ecosistemi.

La ricerca intende testare l'ipotesi secondo la quale i boschi che hanno una struttura eterogenea hanno un maggiore valore naturalistico utilizzando per la verifica i Lepidotteri notturni quali bioindicatori (Summerville & Crist 2004, Dapporto et al. 2005, Scalerio & Infusino 2006, Choi & Miller 2013, Jonason et al. 2014).

In questa prospettiva, scopo della presente sperimentazione è valutare l'impiego dei Lepidotteri a volo notturno come indicatori della biodiversità in ecosistemi forestali naturali. All'uopo, lo studio ha utilizzato uno dei principali prodotti del progetto ALForLAB (Laboratorio Pubblico-privato per l'applicazione di tecnologie innovative ad elevata sostenibilità ambientale nella filiera foresta-legno-energia - [PON03PE_00024_1 - PON R&C- PAC2007-2013]), relativo alla mappatura della biomassa di soprassuoli forestali derivata da dato LiDAR aereo (ALS), per valutare la correlazione tra stime di biomassa prodotte da telerilevamento, indici di diversità strutturale delle foreste e indici relativi alle comunità dei Lepidotteri notturni.

Materiali e metodi

Area di studio

Le attività sono state condotte in formazioni boschive rappresentative dei principali tipi forestali (*European Forest Types* – Barbati et al. 2007) della Regione Calabria, per la precisione: faggete montane a *Fagus sylvatica* L. (Forest Type 7.3), castagneti a *Castanea sativa* Mill. (F.T. 8.7), pinete a dominanza di pino nero di Calabria (*Pinus nigra calabrica* [Loud.] Cessa & Peruzzi – F.T. 10.2) e boschi a dominanza di abete bianco (*Abies alba* Mill. – F.T. 10.6). I quattro tipi forestali sono stati campionati in altrettanti comprensori montuosi differenti (Fig. 1).

I castagneti sono stati individuati lungo la Catena Costiera, fra 550 e 750 m di quota. Per la maggior parte, i popolamenti in questione per quest'area sono sottoposti a ceduzione con un turno tra 12 e 20 anni e un'estensione del taglio variabile, ma che in alcuni casi può arrivare a 10 ha. Piccole porzioni vengono utilizzate per la produzione di castagne.

Le faggete, campionate nell'area Pollino-Orsomar-

so, ricadono quasi interamente nella Zona A (protezione integrale) del territorio del Parco Nazionale del Pollino, fra 990 e 1475 m di quota e non sono sottoposti a trattamenti selvicolturali ordinari, per cui si rinvengono per lo più fustaie e cedui avviati a fustaia.

Le pinete di pino nero di Calabria sono molto estese sull'altopiano della Sila. Le aree scelte ricadono quasi tutte nel territorio del Parco Nazionale della Sila, fra 1300 e 1450 m di quota. Anche se sono foreste storicamente sfruttate per la produzione di materiale legnoso e resine, negli ultimi decenni le attività forestali si sono focalizzate prevalentemente alla produzione di biomasse, quindi con tagli a raso su piccole strisce di dimensioni variabili in base alle caratteristiche topografiche. Nel periodo a cavallo degli anni '70-'80, queste aree sono state interessate da consistenti interventi di rimboschimento a cui, però, spesso non sono seguite le necessarie operazioni selvicolturali.

Le abetine sono i boschi maggiormente rappresentati sui monti delle Serre Vibonesi, sia come boschi monofitici, sia nella classica associazione con il faggio. Le aree di studio rientrano nei territori del Parco Regionale delle Serre, fra 830 e 1090 metri di altitudine. L'industria forestale rappresenta, insieme al turismo, il settore economico più importante del comprensorio (Rete Rurale 2013): la pratica selvicolturale tradizionalmente più diffusa è il taglio saltuario, con periodi di curazione piuttosto lunghi.

Campionamento dei Lepidotteri

Le comunità dei Lepidotteri notturni sono state campionate tramite l'utilizzo di trappole luminose a LED con picco di emissione a 395 nm (15 W – Infusino et al. 2017).

In ogni complesso forestale sono state individuate 9 stazioni, per un totale di 36 siti scelti in modo da includere vari stadi successionali del bosco. In dettaglio, sono stati inclusi 3 boschi con età superiore a 80 anni, 3 boschi giovani (età compresa tra 20 e 40 anni) e 3 stadi iniziali della successione ecologica (aree in rinnovazione, prati o zone sottoposte a tagli recenti). In ognuno di questi siti è stata collocata una trappola luminosa. Le trappole ricadenti nella stessa area sono state attivate simultaneamente, mentre ogni ciclo di campionamento, comprendente tutte le aree indagate, è stato ultimato nel giro di 10-15 giorni. I campionamenti hanno avuto cadenza mensile e sono stati effettuati tra maggio e novembre 2015.

Per ogni stazione di campionamento vengono riportati i nomi delle località, i codici alfanumerici del-

Tab. 1 - Descrizione sintetica dei siti di campionamento: vengono riportati i codici alfanumerici assegnati a ogni stazione, i nomi delle località, le coordinate UTM, la quota e lo stadio di evoluzione del bosco.

Cod. Stazione	Località	UTM E	UTM N	Quota (m s.l.m.)	Stadio Evolutivo
PO_A1	Serrapaolo	593380.28	4408629.75	990	Bosco maturo
PO_A2	Serrapaolo	593145.98	4408625.88	1010	Bosco giovane
PO_A3	Serra Ambruna	592154.60	4408713.41	1035	Bosco in rinnovazione
PO_B1	Bocca di Novacco	589227.26	4407585.74	1315	Bosco maturo
PO_B2	Bruscata	589605.06	4407229.84	1370	Bosco giovane
PO_B3	Bocca di Novacco	589457.29	4407641.73	1339	Bosco in rinnovazione
PO_C1	Timpone della Magara	590076.78	4405412.04	1465	Bosco maturo
PO_C2	Timpone della Magara	589926.23	4405142.61	1460	Bosco giovane
PO_C3	Timpone della Magara	590112.84	4404524.50	1475	Bosco in rinnovazione
CC_A1	Fiego di San Fili	597305.26	4354806.35	723	Bosco maturo
CC_A2	Fiego di San Fili	597338.10	4354031.43	749	Bosco giovane
CC_A3	Fiego di San Fili	597286.88	4353884.90	734	Bosco in rinnovazione
CC_B1	Bosco dei Gesuiti	597450.20	4357511.91	618	Bosco maturo
CC_B2	Bosco dei Gesuiti	597428.66	4357562.12	626	Bosco giovane
CC_B3	Mandarino	597407.18	4358601.68	583	Bosco in rinnovazione
CC_C1	Glicarello	596907.77	4362569.92	550	Bosco maturo
CC_C2	Vallone Argentino	596647.81	4362750.45	565	Bosco giovane
CC_C3	Vallone Argentino	596863.17	4362822.96	545	Bosco in rinnovazione
SR_A1	Santa Maria	614221.47	4268211.51	847	Bosco maturo
SR_A2	Il Palmento	614499.70	4269051.60	831	Bosco giovane
SR_A3	Il Palmento	614593.16	4269034.60	827	Bosco in rinnovazione
SR_B1	Cattarinella	614985.16	4267580.80	943	Bosco maturo
SR_B2	Cattarinella	615080.79	4267287.71	963	Bosco giovane
SR_B3	Cattarinella	615261.05	4266275.33	1045	Bosco in rinnovazione
SR_C1	Sietto dello Caricatore	617070.03	4267910.15	1086	Bosco maturo
SR_C2	Pietra del Signore	616059.05	4266558.50	1090	Bosco maturo
SR_C3	Sietto dello Caricatore	617022.42	4267763.47	1091	Bosco maturo
SL_A1	Montagna Grande	638895.15	4348709.71	1352	Bosco maturo
SL_A2	Montagna Grande	639189.07	4349312.45	1325	Bosco giovane
SL_A3	Montagna Grande	638566.08	4348166.12	1344	Bosco in rinnovazione
SL_B1	Torre Scarda	630869.06	4344438.23	1324	Bosco maturo
SL_B2	Quaresima	625633.51	4341424.98	1306	Bosco giovane
SL_B3	Quaresima	630222.35	4343968.61	1325	Bosco in rinnovazione
SL_C1	Colle Macchie	631744.21	4346638.83	1428	Bosco maturo
SL_C2	Vallivone	632054.06	4346721.55	1446	Bosco giovane
SL_C3	Colle Macchie	631599.43	4346653.07	1433	Bosco in rinnovazione

le stazioni, le coordinate UTM, la quota e lo stadio di evoluzione del bosco (Tab. 1).

Dati derivati da telerilevamento

Lo studio ha impiegato dati LiDAR acquisiti nel periodo 2009-2011 con una copertura pressoché continua (*wall-to-wall*) della superficie regionale della Calabria acquisiti da piattaforma aerea (ALS). Il dato ALS disponibile consiste di un impulso LiDAR a ri-

torno discreto, con una densità approssimativa di 1.5 impulsi al metro quadrato. I dati sono stati pre-processati per ottenere i rispettivi modelli della superficie (DSM) e del terreno (DTM), che hanno consentito, per sottrazione, di ricavare un modello digitale delle chiome (CHM) esportato in formato *raster-matrix* a una risoluzione di 1 metro. Tramite l'integrazione tra dati ottenuti dai punti di campionamento a terra rilevati in terza fase dell'INFC e aree realiz-

Tab. 2 - Modello di stima della ripartizione della biomassa arborea epigea in classi dimensionali (piccole: diametro a 1.30 m [DBH] < 15 cm; medie: 15 cm < DBH < 28 cm; grandi: DBH > 28 cm).

Biomassa epigea Classe dimensionale	metriche del CHM					R ²
	somma	massimo	media	mediana	dev. standard	
Piccole	-0.0004 (0.0001)	0.0897 (0.0410)	-0.0796 (0.125)	0.2418 (0.0889)	-0.1349 (0.0870)	0.39
Medie	-0.0002 (0.0003)	0.0205 (0.1316)	0.1091 (0.4011)	0.2434 (0.2852)	0.0482 (0.2781)	0.56
Grandi	0.00152 (0.0005)	-0.8645 (0.2042)	2.2736 (0.6223)	-1.5065 (0.4425)	1.6476 (0.4315)	0.72

zate nell'ambito del progetto ALForLAB è stato possibile modellizzare la biomassa epigea in funzione delle metriche LiDAR estratte sulle aree a terra (per maggiori dettagli sulla metodologia, si veda Scrinzi et al. 2017).

Si è poi proceduto a modellizzare la ripartizione della biomassa arborea epigea in tre classi dimensionali: (i) alberi piccoli: diametro a 1.30 m (DBH) < 15 cm, (ii) alberi medi: 15 cm < DBH < 28 cm, (iii) alberi grandi: DBH > 28cm, utilizzando modelli multiregressivi basati sulle seguenti metriche LiDAR del CHM: somma, massimo, media, mediana, deviazione standard. I modelli sono risultati particolarmente accurati per predire la biomassa appartenente alla classe dimensionale degli alberi grandi (Tab. 1). Tramite questo approccio è stato possibile calcolare un indice di equitabilità (distribuzione relativa della biomassa arborea nelle tre classi dimensionali - Tab. 2) utilizzando l'indice di Shannon.

Un ulteriore strato informativo derivato da OT è costituito dal dato Landsat 8 (L8) OLI, che è stato utilizzato per il calcolo dell'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Li et al. 2013).

Gli strati informativi ottenuti da ALS e L8 sono stati confrontati con i dati ottenuti dal campionamento dei Lepidotteri adulti (vedi sotto).

Analisi dei dati

Per caratterizzare le comunità dei Lepidotteri sono stati utilizzati i più comuni indici di ricchezza e diversità specifica (numero di Specie, Shannon, Simpson, Fisher α), calcolati tramite il *software* EstimateS 9.1.0 (Colwell 2013). Inoltre, è stata calcolata la proporzione (rapporto G/N) fra specie e fra individui appartenenti alle famiglie dei Geometridi, la cui diversità aumenta in ecosistemi forestali, e dei Noctuidae, la cui diversità aumenta in ecosistemi dominati da formazioni erbacee. Si assume che più è elevato

questo rapporto, ovvero più alta risulta la frazione di Geometridae, maggiore è la naturalità del bosco (Axmacher et al. 2004, Brehm & Fiedler 2005).

Gli indici di ricchezza e diversità specifica delle comunità dei Lepidotteri notturni sono stati confrontati con le informazioni derivanti da OT, specificatamente: metriche CHM, biomassa arborea epigea, equitabilità della distribuzione della biomassa da ALS, NDVI da L8. Nota la coordinata delle trappole luminose installate a terra, le metriche OT sono state ottenute estraendole da una area circolare di raggio pari a 20 m centrata sulle trappole. I dati sulle comunità dei Lepidotteri notturni e quelli telerilevati sono stati correlati utilizzando come indice statistico del loro grado di associazione il coefficiente di Pearson (*r* test).

Risultati

Lepidotteri

In totale sono stati campionati 50.234 individui (N) di Lepidotteri appartenenti a 546 specie (S) così suddivisi tra i diversi tipi forestali: castagneti (N = 8.164; S = 328), faggete (N = 26.558; S = 352), pinete (N = 10.487; S = 306), abetine (N = 5.025; S = 254). Nella Tab. 3 sono riassunti i dati di cattura, gli indici di diversità e il rapporto G/N.

La maggiore ricchezza specifica e la maggiore abbondanza di individui sono state registrate nelle faggete del Pollino. A questi dati non corrispondono proporzionali valori degli indici di diversità (Shannon, Simpson, Fisher), che, anzi, sono mediamente i più bassi delle quattro aree. Ciò è dovuto principalmente alla marcata dominanza di poche specie su tutte le altre. Gli indici di diversità hanno mostrato i valori più alti per i siti dominati dal castagno, ma sono piuttosto elevati anche quelli di pinete e abetine, nonostante queste ultime presentino di gran lunga la

Tab. 3 - Dati di cattura dei Lepidotteri: per ogni stazione sono riportati il numero di specie e di individui catturati, i valori degli indici di diversità più comunemente utilizzati e il rapporto Geometridae/Noctuidae, calcolato sia in termini quantitativi (sul totale degli individui campionati) che in termini qualitativi (sul totale delle specie campionate).

Stazione	N individui	N specie	Fisher α	Shannon	Simpson	G/N Individui	G/N Specie
CC_A1	1029	150	48.42	3.86	15.13	2.56	1.08
CC_A2	987	145	46.87	3.9	19.05	2.00	1.51
CC_A3	507	121	50.32	3.82	17.77	1.29	1.57
CC_B1	651	143	56.62	4.17	34.22	1.73	1.07
CC_B2	1649	193	56.7	4.37	44.24	1.41	0.87
CC_B3	452	120	53.39	3.97	26.88	1.86	1.49
CC_C1	665	137	52.33	4.14	36.45	1.30	1.16
CC_C2	1601	172	48.87	4.04	27.62	3.33	1.30
CC_C3	623	118	43.1	3.76	18.45	2.31	1.30
PO_A1	6361	204	40.24	2.72	3.64	0.94	1.01
PO_A2	8295	226	42.88	2.34	2.64	1.31	1.04
PO_A3	1966	166	43.25	3.16	5.96	1.48	1.08
PO_B1	918	110	32.62	3.44	15.24	2.68	0.79
PO_B2	2399	128	28.88	3.3	15.2	2.03	0.87
PO_B3	602	90	29.32	3.22	10.78	1.73	1.00
PO_C1	3491	97	18.49	2.08	3.24	8.87	0.93
PO_C2	1842	119	28.42	3.22	11.68	3.91	1.00
PO_C3	684	121	42.69	3.91	25.77	1.09	0.96
SL_A1	1114	147	45.36	4.03	28.25	3.21	1.34
SL_A2	2530	157	37.04	3.33	12.88	7.49	0.93
SL_A3	1046	141	43.9	4.01	31.52	2.38	0.89
SL_B1	1367	139	38.69	3.72	13.29	3.78	1.51
SL_B2	869	135	44.76	4.11	36.18	1.52	0.93
SL_B3	247	75	36.65	3.81	32.53	0.66	0.78
SL_C1	1119	142	43.1	3.8	22.74	2.13	1.12
SL_C2	1790	146	37.59	3.71	19.76	3.49	1.19
SL_C3	405	83	31.61	3.55	17.93	1.15	0.81
SR_A1	672	119	42	3.71	13.78	3.31	1.69
SR_A2	751	136	48.55	4.2	40.49	3.94	1.48
SR_A3	155	73	53.86	3.95	47.93	2.41	2.33
SR_B1	487	98	36.96	3.94	35.59	3.61	1.60
SR_B2	637	103	34.79	3.82	25.66	3.76	1.42
SR_B3	221	76	40.96	3.82	33.72	1.30	1.00
SR_C1	641	93	29.89	3.58	21.38	2.06	0.74
SR_C2	1201	113	30.57	3.62	19.2	3.15	0.98
SR_C3	260	69	30.69	3.56	22.57	3.36	1.11

minore quantità di individui e la minore ricchezza specifica, frutto di una marcata equiripartizione delle abbondanze relative. Le diverse comunità entomiche sono ben caratterizzate e molto differenziate tra loro. Considerando le cinque specie più abbondanti di ogni biocenosi (Tab. 4) non ve ne sono in comune fra i vari tipi forestali, ad eccezione di *Alcis repandata*,

specie caratterizzante sia i boschi a dominanza di pino nero sia le formazioni a dominanza di abete bianco.

Il rapporto G/N relativo alle specie ha mostrato valori superiori a 1 (maggiore numero di Geometridae rispetto ai Noctuidae) nella maggior parte dei siti di campionamento, raggiungendo generalmente i valo-

Tab. 4 - Specie più abbondanti di Lepidotteri per tipo forestale analizzato. (*): Unica specie presente in più tipi forestali.

Castagneti	Faggete
<i>Peribatodes rhomboidaria</i>	<i>Eilema lurideola</i>
<i>Clemathada calberlai</i>	<i>Operophtera fagata</i>
<i>Paracolax tristalis</i>	<i>Campaea margaritata</i>
<i>Dysauxes famula</i>	<i>Epirrita christyi</i>
<i>Eilema caniola</i>	<i>Cosmia trapezina</i>
Pinete	Abetine
<i>Alcis repandata*</i>	<i>Macaria liturata</i>
<i>Pennithera firmata</i>	<i>Pungeleria capreolaria</i>
<i>Idaea deversaria</i>	<i>Lithosia quadra</i>
<i>Thaumetopoea pityocampa</i>	<i>Alcis repandata*</i>
<i>Epirrhoe galiata</i>	<i>Dendrolimus pini</i>

ri massimi nei boschi di maggiore età.

Dati telerilevati e analisi di correlazione

I dati ottenuti da OT e quelli relativi allo studio delle comunità di Lepidotteri sono stati sottoposti ad analisi di correlazione, i cui risultati sono illustrati in Tab. 5.

Il risultato più significativo riguarda il rapporto G/N, positivamente correlato alla biomassa arborea epigea e negativamente correlato alla sua equitabilità: l'aumento di massa arborea favorisce i Geometridae, generalmente più legati a tali ambienti, mentre la dominanza di una sola classe dimensionale arborea sulle altre fa diminuire il rapporto a vantaggio

dei Noctuidae. La biomassa è, inoltre, negativamente correlata con il Fisher α , indice di diversità frequentemente utilizzato per i Lepidotteri. Inoltre, l'indice G/N tende a diminuire con la quota e ad aumentare con la copertura (approssimata dall'NDVI). A quest'ultimo indice di copertura è positivamente correlato il numero di Lepidotteri in termini specifici, mentre è inversamente correlato l'indice di Shannon. La quota influisce negativamente su tutti gli indici di diversità relativi ai Lepidotteri.

Discussione

I Lepidotteri possono fornire preziose indicazioni sul grado di diversità degli ambienti forestali, so-

Tab. 5 - Risultato dell'analisi di correlazione tra indici di diversità e dati misurati a terra (Pearson r test); (Ps1_median): mediana della biomassa del fusto calcolata nell'area di raggio pari a 20 m centrata sulle trappole dei lepidotteri; (Ps2_median): mediana della biomassa epigea calcolata nell'area di raggio pari a 20 m; (SH_BIOM): indice di equitabilità della distribuzione della biomassa epigea in classi dimensionali; (CHM_x): metriche del CHM estratte nell'area di raggio pari a 20 m centrata sulle trappole dei lepidotteri; (*): $p < 0.05$; (**): $p < 0.01$; (***): $p < 0.001$; (ns): non significativo ($p > 0.05$).

Parametro	N individui	N specie	Fisher α	Shannon	Simpson	G/N Individui	G/N Specie	SH_BIO M
Quota	ns	ns	***	*	*	ns	**	ns
Ps1_median	ns	ns	***	ns	ns	*	ns	***
Ps2_median	ns	ns	***	ns	ns	*	ns	***
NDVI_median_L8	**	**	ns	*	ns	ns	ns	ns
CHM_sum	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	***
CHM_mean	ns	ns	*	ns	ns	**	ns	***
CHM_median	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	***
CHM_stdev	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***
CHM_min	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CHM_max	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	***
SH_BIOM	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	-

prattutto in caso di habitat frammentati o in rinnovazione perché strettamente associati alla distribuzione delle loro piante nutrici (Holloway 1985). A volte, però, può risultare complicato reperire informazioni dettagliate sulla dieta larvale delle singole specie, mentre maggiori sono le conoscenze sulle preferenze ecologiche. I diversi tipi forestali esaminati in questo studio sono caratterizzati da comunità di Lepidotteri peculiari, il cui studio completo offrirebbe numerose chiavi interpretative delle complesse interazioni ecologiche. Ciononostante, è possibile individuare alcune caratteristiche della struttura nelle biocenosi che possono dare indicazioni abbastanza attendibili sulla naturalità degli ecosistemi e che prescindono dalla specie arborea dominante (Kitching et al. 2000). Di fatto, i risultati ottenuti in questo studio mostrano una stretta rispondenza tra la struttura delle comunità di Lepidotteri e le caratteristiche dei popolamenti forestali.

Particolarmente indicativo è il rapporto G/N. Un rapporto G/N a favore dei Geometridae è considerato indice di maggiore naturalità per gli ambienti forestali (Usher & Keiller 1998) e ciò è confermato dai risultati delle analisi effettuate che mostrano una correlazione con la quantità di biomassa e con la copertura arborea. La correlazione risulta invece negativa nel caso in cui una classe dimensionale sia dominante nel bosco: l'assenza di una struttura forestale complessa, infatti, rappresenta una condizione spesso ascrivibile a una gestione selvicolturale che tende a semplificare le cenosi con la creazione di sistemi comparativamente meno favorevoli alla biodiversità.

In termini di valutazione dello stato di conservazione delle foreste, il rapporto G/N, fornisce indicazioni più attendibili rispetto agli indici di diversità, a volte ritenuti poco affidabili nel caso di ambienti frammentati (Brandmayr & Pizzolotto 1994, Samways 1994). Questo rapporto, infatti, è il risultato di una valutazione, seppure semplificata, della struttura di comunità che prende in considerazione anche le caratteristiche autoecologiche dei *taxa*.

Anche NDVI si dimostra un indice di un certo interesse: correlazioni tra questo indice e altre variabili ecologiche hanno fornito risultati significativi in passato, anche riguardo alla componente animale e le relazioni tra cambiamenti climatici e dinamica delle popolazioni (Cihlar et al. 1991, Pettorelli et al. 2011). La correlazione positiva di NDVI con il rapporto G/N e con la ricchezza di specie di Lepidotteri conferma l'utilità di questo dato per la mappatura della naturalità forestale.

Nel complesso, i risultati sono da ritenersi partico-

larmente significativi in quanto riferiti a quattro tipi forestali differenti e ciò sembrerebbe suggerire la possibilità di generalizzare le conclusioni raggiunte, almeno nelle condizioni ambientali (montano-mediterranee) considerate.

Ringraziamenti

Si ringraziano Carlo Di Marco, Franco Calabrese, Gino Scarpelli, Massimo ed Ettore Salerno per il supporto tecnico. Il lavoro è stato finanziato dal Progetto "ALForLab" (PON03PE_00024_1) cofinanziato dal Programma Operativo Nazionale Ricerca e Competitività (PON R&C) 2007-2013, attraverso il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) e risorse nazionali (Fondo di Rotazione (FDR) - Piano di Azione e Coesione (PAC) MIUR).

Bibliografia

- Axmacher JC, Holtmann G, Scheuermann L, Brehm G, Müller-Hohenstein K, Fiedler K (2004). Diversity of geometrid moths (Lepidoptera: Geometridae) along an Afro-tropical elevational rainforest transect. Diversity and Distributions 10 (4): 293-302. - doi: [10.1111/j.1366-9516.2004.00101.x](https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2004.00101.x)
- Barbati A, Corona P, Marchetti M (2007). A forest typology for monitoring sustainable forest ecosystem management: the case of European Forest Types. Plant Biosystems 1: 93-103. - doi: [10.1080/11263500601153842](https://doi.org/10.1080/11263500601153842)
- Bottalico F, Travaglini D, Fiorentini S, Lisa C, Nocentini S (2014). Stand dynamics and natural regeneration in silver fir (*Abies alba* Mill.) plantations after traditional rotation age. iForest 7: 313-323. - doi: [10.3832/ifer0985-007](https://doi.org/10.3832/ifer0985-007)
- Brandmayr P, Pizzolotto R (1994). I Coleotteri Carabidi come indicatori delle condizioni dell'ambiente ai fini della conservazione. In: "Atti XVII Congresso Nazionale Italiano di Entomologia". Udine, 13-18 giugno 1994, pp. 439-444.
- Brehm G, Fiedler K (2005). Diversity and community structure of geometrid moths of disturbed habitat in a montane area in the Ecuadorian Andes. Journal of Research on the Lepidoptera 38: 1-14.
- Choi SW, Miller JC (2013). Species richness and abundance among macromoths: a comparison of taxonomic, temporal and spatial patterns in Oregon and South Korea. Entomological Research 43 (6): 312-321. - doi: [10.1111/1748-5967.12036](https://doi.org/10.1111/1748-5967.12036)
- Cihlar J, Laurent LS, Dyer JA (1991). Relation between the normalized difference vegetation index and ecological variables. Remote sensing of Environment 35 (2): 279-298. - doi: [10.1016/0034-4257\(91\)90018-2](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90018-2)
- Colwell RK (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9.

- User's Guide and application. [online] URL: <http://purl.org/estimates>
- Coops NC, Tompaski P, Nijland W, Rickbeil GJ, Nielsen SE, Bater CW, Stadt JJ (2016). A forest structure habitat index based on airborne laser scanning data. *Ecological Indicators* 67: 346-357. - doi: [10.1016/j.ecolind.2016.02.057](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.057)
- Corona P (2010). Integration of forest mapping and inventory to support forest management. *iForest* 3 (3): 59-64. - doi: [10.3832/ifor0531-003](https://doi.org/10.3832/ifor0531-003)
- Corona P, Ascoli D, Barbati A, Bovio G, Colangelo G, Elia M, Garfi V, Iovino F, Laforteza R, Leone V, Lovreglio R, Marchetti M, Marchi E, Menguzzato G, Nocentini S, Picchio R, Portoghesi L, Puletti N, Sanesi G, Chianucci F (2015). Integrated forest management to prevent wildfires under Mediterranean environments. *Annals of Silvicultural Research* 39 (1): 1-22.
- Dapporto L, Fabiano F, Balderi F (2005). I Macrolepidotteri della Val di Farma (Toscana). *Aldrovandia* 1: 37-54.
- Falldorf T, Strand O, Panzacchi M, Tommervik H (2014). Estimating lichen volume and reindeer winter pasture quality from Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 140: 573-579. - doi: [10.1016/j.rse.2013.09.027](https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.027)
- Gitay H, Suárez A, Watson RT, Dokken DJ (2002). Climate change and biodiversity. IPCC Technical Paper V. pp. 77.
- Henle K, Davies KF, Kleyer M, Margules C, Settele J (2004). Predictors of species sensitivity to fragmentation. *Biodiversity and Conservation* 13: 207-251. - doi: [10.1023/B:BIOC.0000004319.91643.9e](https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000004319.91643.9e)
- Hess AN, Falkowski MJ, Webster CR, Storer AJ, Pocewicz A, Martinuzzi S (2013). Employing lidar data to identify butterfly habitat characteristics of four contrasting butterfly species across a diverse landscape. *Remote sensing letters* 4 (4): 354-363. - doi: [10.1080/2150704X.2012.734932](https://doi.org/10.1080/2150704X.2012.734932)
- Holloway JD (1985). Moths as indicator organisms for categorising rain forest and monitoring changes and regenerating processes. In: "Tropical Rain-Forest: The Leeds Symposium" (Chadwick AC, Sutton SL eds). Philosophical and Literary Society, Leeds, UK, pp. 235-242.
- Infusino M, Brehm G, Di Marco C, Scalercio S (2017). Assessing the efficiency of UV LEDs as light sources for macro-moth diversity sampling. *European Journal of Entomology* 114: 25-33. - doi: [10.14411/eje.2017.004](https://doi.org/10.14411/eje.2017.004)
- Jonason D, Franzén M, Ranius T (2014). Surveying moths using light traps: effects of weather and time of year. *PLoS ONE* 9 (3): e92453. - doi: [10.1371/journal.pone.0092453](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092453)
- Kerr JT, Southwood TRE, Cihlar J (2001). Remotely sensed habitat diversity predicts butterfly species richness and community similarity in Canada. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98 (20): 11365-11370. - doi: [10.1073/pnas.201398398](https://doi.org/10.1073/pnas.201398398)
- Kitching RL, Orr AG, Thalib L, Mitchell H, Hopkins MS, Graham AW (2000). Moth assemblages as indicators of environmental quality in remnants of upland Australian rain forest. *Journal of Applied Ecology* 37: 284-297. - doi: [10.1046/j.1365-2664.2000.00490.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00490.x)
- Laurin Vaglio G, Puletti N, Chen Q, Corona P, Papale D, Valentini R (2016). Above ground biomass and tree species richness estimation with airborne lidar in tropical Ghana forests. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 52: 371-379. - doi: [10.1016/j.jag.2016.07.008](https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.008)
- Li P, Jiang L, Feng Z (2013). Cross-comparison of vegetation indices derived from landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8 operational land imager (OLI) sensors. *Remote Sensing* 6 (1): 310-329. - doi: [10.3390/rs6010310](https://doi.org/10.3390/rs6010310)
- Nagendra H, Lucas R, Honrado JP, Jongman RH, Tarantino C, Adamo M, Mairota P (2013). Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators* 33: 45-59. - doi: [10.1016/j.ecolind.2012.09.014](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.014)
- Pettorelli N, Ryan S, Mueller T, Bunnefeld N, Jedrzejewska B, Lima M, Kausrud K (2011). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research* 46 (1): 15-27. - doi: [10.3354/cr00936](https://doi.org/10.3354/cr00936)
- Peura M, Gonzalez RS, Müller J, Heurich M, Vierling LA, Mönkkönen M, Bässler C (2016). Mapping a "cryptic kingdom": performance of lidar derived environmental variables in modelling the occurrence of forest fungi. *Remote Sensing of Environment* 186: 428-438. - doi: [10.1016/j.rse.2016.09.003](https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.003)
- Rete Rurale (2013). Atlante Nazionale del Territorio Rurale. Web site. [online] URL: http://www.reterurale.it/downloads/atlante/calabria/Vibo%20Valentia/Serra%20San%20Bruno_VV.pdf
- Samways MJ (1994). Insect conservation biology. Chapman and Hall, London, UK, pp. 358.
- Scalercio S, Infusino M (2006). I Macrolepidotteri notturni del basso corso della Fiumara del Trionto (Calabria, Italia meridionale) (Lepidoptera). *Quaderni della Stazione Ecologica del civico Museo di Storia naturale di Ferrara* 16: 179-202.
- Scrinzi G, Floris A, Clementel F, Turco R, Bernardini V, Greco S, Puletti N, Chianucci F, Corona P (2017). LiD-CAL: un sistema di modelli di stima attraverso dati LiDAR del volume e delle fitomasse per le principali formazioni forestali della Calabria. *iForest*. [in press]
- Summerville KS, Crist TO (2004). Contrasting effects of habitat quantity and quality on moth communities in fragmented landscapes. *Ecography* 27: 3-12. - doi: [10.1111/j.0906-7590.2004.03664.x](https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03664.x)

Infusino M et al. - Forest@ 14: 84-93

Usher MB, Keiller S (1998). The macrolepidoptera of farm woodlands: determinants of diversity and community structure. *Biodiversity Conservation* 7(6): 725-748. - doi: [10.1023/A:1008836302193](https://doi.org/10.1023/A:1008836302193)