



**FutureFor
Coppices**

Shaping future forestry for sustainable coppices in southern Europe:
the legacy of past management trials



LIFE14 ENV/IT/000514

Report

Sintesi scientifica e valutazione integrata dei risultati del progetto LIFE FutureForCoppiceS – Gestione sostenibile dei boschi cedui nel sud Europa: indicazioni per il futuro dall'eredità di prove sperimentali (con Sintesi per gestori e decisori politici)



Marzo, 2019



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Forestas
Agenzia forestale regionale pro sviluppo de
su territoriu e de s'ambiente de sa Sardegna
Agenzia forestale regionale per lo sviluppo
del territorio e dell'ambiente della Sardegna



Forma raccomandata di citazione:

Cutini A., Brunialti G., Amici V., Bagella S., Bertini G., Caddeo C., Calderisi M., Chianucci F., Ciucchi B., Corradini S., Cristofori A., Di Salvatore U., Fabbio G., Ferrara C., Cristofolini F., Frati L., Fratini R., Landi S., Riccioli F., Rocchini D., Roggero P.P., Seddaiu G., Tattoni C., Gottardini E. 2019. Report: Sintesi scientifica e valutazione integrata dei risultati del progetto LIFE FutureForCoppiceS - Gestione sostenibile dei boschi cedui nel sud Europa: indicazioni per il futuro dall'eredità di prove sperimentali (con Sintesi per gestori e decisori politici). Deliverable del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.9, 112 pp.

In collaborazione con il sub-contractor TerraData srl environmetrics,
Spin Off dell'Università di Siena.



Autori

*Andrea Cutini, Gianfranco Fabbio, Giada Bertini, Francesco Chianucci,
Umberto Di Salvatore, Carlotta Ferrara*

CREA

*Elena Gottardini, Fabiana Cristofolini, Antonella Cristofori,
Stefano Corradini, Duccio Rocchini, Clara Tattoni*

FEM

Simonetta Bagella, Sara Landi, Pier Paolo Roggero, Giovanna Seddaiu

UNISS

Roberto Fratini, Francesco Riccioli

UNIFI

Corinne Caddeo
Agenzia Forestas

Bruno Ciucchi
Terre regionali toscane

Giorgio Brunialti, Luisa Frati, Marco Calderisi, Valerio Amici
TerraData environmetrics

Sommario

Riassunto esteso	8
1. Introduzione	10
1.1 Natura e contenuto di questo documento	12
2. Materiali e Metodi	15
2.1 Siti di campionamento	15
2.2 Disegno di campionamento	17
2.3 Dati	17
2.3.1 Indicatori consolidati	18
2.3.2 Indicatori nuovi	18
2.3.3 Database di Progetto	20
2.4 Elaborazione dati	20
3. Valore degli indicatori di GFS	26
3.1 Criterio 1 GFS: contributo delle foreste al ciclo globale del carbonio	26
3.1.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali	26
3.1.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali	29
3.2 Criterio 2 GFS: salute e vitalità degli ecosistemi forestali	32
3.2.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali	32
3.2.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali	36
3.3 Criterio 3 GFS: funzione produttiva delle foreste (prodotti legnosi e non legnosi)	43
3.3.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali	43
3.3.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali	45
3.4 Criterio 4 GFS: diversità biologica negli ecosistemi forestali	46
3.4.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali	46
3.4.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali	50
3.5 Criterio 5 GFS: funzioni protettive delle foreste	53
3.5.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali	53
3.5.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali	55
3.6 Criterio 6 GFS: funzioni e condizioni socio-economiche	57
3.6.1 Descrizione degli indicatori e dei principali risultati	57
3.6.2 Capacità degli indicatori di valutare / monitorare diversi approcci gestionali	59
4. Sostenibilità delle diverse opzioni gestionali	62
4.1 Approccio multivariato	62
4.2 Indicatori e opzioni gestionali	66
5. Upscaling dei risultati a diverse scale spaziali	69
5.1 Valore attuale di alcuni indicatori selezionati, andamento dei dati passati e variazioni attese per il futuro	69
5.2 Scenari	74
6. Discussione generale sui risultati e conclusioni	94

6.1 Discussione generale per Criterio	94
6.2 Una visione complessiva	100
6.3 Sintesi per i gestori e i decisori politici	102
Ringraziamenti	105
Bibliografia	105

Riassunto esteso

Il ceduo è una forma di governo antico che ha modellato il paesaggio forestale europeo fin dai primi insediamenti umani. Allo stato attuale rappresenta più del 10% della superficie forestale europea ed è molto diffuso, in particolare nell'Europa meridionale dove caratterizza gran parte delle aree collinari e montane; in Italia occupa circa 3.6 milioni di ettari.

Di recente, anche a livello internazionale, si è registrata una rinnovata attenzione verso il 'tema del ceduo', in parte dovuta alla crescente esigenza di riduzione dell'uso dei combustibili fossili facendo ricorso alle risorse rinnovabili, in parte alle intrinseche qualità del ceduo – maggiore affidabilità della rinnovazione e rapido sequestro di carbonio – con interessanti risvolti nella mitigazione degli effetti del cambiamento climatico.

Tuttavia i boschi cedui sono tuttora scarsamente considerati negli scenari di Gestione Forestale Sostenibile (GFS).

Il Progetto LIFE FutureForCoppiceS è stato ideato per contribuire allo sviluppo della GFS dei boschi di origine cedua nel Sud Europa. In particolare tre sono stati gli obiettivi principali:

1. testare, dimostrare e divulgare il valore degli Indicatori di GFS nei cedui;
2. valutare la sostenibilità delle principali opzioni gestionali;
3. applicare i risultati a scala geografica più ampia, simulando cambiamenti gestionali rispetto allo stato attuale.

Per la prima volta nell'ambito dei boschi di origine agamica, sono stati utilizzati Criteri e Indicatori di GFS di FOREST EUROPE per valutare la sostenibilità del governo a ceduo alla scala di popolamento o di unità di gestione. Complessivamente, nell'ambito dei sei Criteri di GFS, sono stati testati 38 indicatori, di cui 12 consolidati e 26 nuovi, in quanto appositamente formulati per i boschi cedui.

Il conseguimento di questi obiettivi è stato reso possibile anche grazie alla disponibilità di dati storici relativi a 45 aree sperimentali di lungo periodo, distribuite in Toscana e Sardegna, caratterizzate da tre Tipi Forestali Europei (faggete montane, foreste decidue termofile e foreste di latifoglie sempreverdi), sottoposte a tre diverse opzioni gestionali: ceduo tradizionale, evoluzione naturale e conversione ad alto fusto.

Questo report fornisce una sintesi scientifica integrata dei risultati del progetto e una sintesi finale per i gestori e i responsabili politici.

Valore degli indicatori GFS. La maggior parte degli indicatori testati (26 dei 38) sono risultati appropriati in termini di capacità informativa, applicabilità, replicabilità e costi. Sette di questi indicatori sono risultati particolarmente idonei in quanto in grado di discriminare le diverse opzioni gestionali considerate dal progetto: Stock di carbonio, Massa in piedi, Biomassa epigea totale, Copertura del sottobosco, Reddito netto, Energia e Accessibilità per fini ricreativi.

Sostenibilità delle tre opzioni gestionali. Ciascuna delle tre opzioni gestionali favorisce differenti aspetti della sostenibilità.

- Il Ceduo tradizionale esalta la produzione legnosa e gli aspetti socio-economici, come evidenziato dai valori elevati i) del rapporto tra massa utilizzata e incremento e legna da ardere, ii) dei prodotti non legnosi e iii) del reddito netto. Per contro, si osserva una ridotta massa in piedi con un basso stock di carbonio e bassa vitalità (limitatamente al faggio).
- L'Evoluzione naturale valorizza gli aspetti legati al ciclo del carbonio, allo stato di salute e vitalità degli ecosistemi forestali, come confermato da alti valori di massa in piedi e relativo stock di carbonio e

bassi valori di defogliazione e danni (per il faggio). Per contro, appaiono penalizzati gli aspetti socio-economici per i quali risultano: basso il valore ricreativo, nulli i redditi e il recupero di scarti legnosi a fini energetici, per assenza di utilizzazioni.

- La Conversione a alto fusto, che coniuga elevate biomasse in piedi e possibilità di utilizzazioni attraverso i diradamenti, ha effetti positivi sugli aspetti ambientali (biodiversità, energia da scarti forestali) e socio-economici come reddito netto e, soprattutto, valori ricreativi.

Applicazione dei risultati a scala più ampia. LIFE FutureForCoppiceS ha simulato cambiamenti di gestione rispetto allo stato attuale, interessando al massimo il 10% della superficie totale dei tre tipi forestali: quattro scenari con aumento della gestione a ceduo e conversione a alto fusto; due scenari con aumento dell'evoluzione naturale. Le simulazioni sono state elaborate a livello locale, regionale e nazionale.

- La riduzione dell'intensità di gestione produce effetti positivi sul ciclo del carbonio (Criterio 1) e sulla salute e vitalità delle foreste (Criterio 2). Per contro, si registrano performance inferiori per le funzioni produttive (Criterio 3) e per quelle socio-economiche (Criterio 6).
- L' aumento dell'intensità di gestione, seppure in misura contenuta, comporta un miglioramento delle funzioni produttive (Criterio 3) e socio-economiche (Criterio 6). D'altra parte, si registrano prestazioni inferiori per il contributo al ciclo del carbonio (Criterio 1).

Poiché ognuna delle tre opzioni gestionali considerate promuove aspetti diversi della sostenibilità, la loro coesistenza e contiguità, alle varie scale e in proporzioni variabili a seconda delle condizioni ambientali specifiche e del contesto socio-economico, è fortemente raccomandata.

E' infine confermata l'importanza di disporre, a livello regionale, nazionale e europeo, di statistiche sui cedui e sulle principali opzioni di gestione, informazioni oggi spesso carenti, per poter promuovere, attraverso appropriati indicatori di GFS, l'uso sostenibile e multifunzionale di questa forma di governo che rappresenta una parte rilevante della superficie forestale europea, contribuendo così al conseguimento degli obiettivi della EU Forest Strategy.

Parole chiave: Gestione Forestale Sostenibile, Criteri e Indicatori di GFS, ceduo, evoluzione naturale, conversione ad altofusto, Quercus ilex, Quercus cerris, Fagus sylvatica

1. Introduzione

Il ceduo è un sistema di governo antico che utilizza la capacità delle latifoglie di rinnovarsi per via agamica emettendo nuovi fusti (polloni) da gemme preesistenti sulla ceppaia tagliata. Il bosco ceduo è caratterizzato da turni brevi, variabili oggi, secondo le specie componenti e la fertilità stazionale, da 15-20 fino a 50-60 anni. Questa forma di governo ha caratterizzato il paesaggio forestale europeo fin dai primi insediamenti umani ed è un sistema antropogenico creato ed ottimizzato per la produzione di legna da ardere, quindi di piccola pezzatura e, fino agli anni '50 del secolo scorso, di carbone vegetale. I suoi prodotti hanno avuto un uso diffuso perché soddisfavano usi quotidiani di base, quali la cottura del cibo e il riscaldamento domestico, e le necessità energetiche della nascente industria. Il picco di utilizzazione del bosco ceduo fu durante la prima rivoluzione industriale, mentre il suo ruolo iniziò a diminuire con la diffusione dei combustibili fossili fino da metà 1900 (Fabbio 2016).

I cedui occupano circa 23 milioni di ettari nei Paesi mediterranei e sono una componente significativa (maggiore del 10%) della superficie forestale europea, con una grande variazione a livello nazionale e geografico, fino a rappresentare addirittura il 50% delle foreste in Serbia e in Bosnia-Erzegovina (Unrau et al. 2018). In nove Paesi (Francia, Turchia, Spagna, Italia, Grecia, Bulgaria, Ucraina, Serbia, Bosnia Erzegovina), la superficie complessiva è superiore al milione di ettari.

In Italia, il ceduo copre una superficie superiore a 3.6 milioni di ettari (Gasparini and Tabacchi 2011). Le tecniche di coltivazione sono bene documentate fino dal Medioevo (Piusi 1980, 1982, Piusi and Stivelli 1986, Piusi and Zanzi Sulli 1997, Szabo et al. 2015).

Fino dalla metà del secolo scorso, la competitività dei "moderni" combustibili fossili e la loro pronta diffusione hanno ridotto drasticamente l'utilizzo prima del carbone e poi della legna da ardere. Si è quindi originato un quadro composito dove convivono aree ancora governate a ceduo, boschi in abbandono colturale lasciati all'evoluzione naturale e popolamenti in conversione ad alto fusto (Fabbio and Cutini 2017). Un andamento simile si è verificato negli altri Paesi con una componente originale importante di ceduo.

Oggi, il quadro generale segue la convergenza di due fattori globali: il primo, la consapevolezza che i combustibili fossili non sono affatto una risorsa 'pulita', che essi non saranno ancora a lungo facilmente disponibili ma che forme di energia rinnovabile dovranno sostituirli (Marchetti et al. 2014). Il secondo, la coscienza ormai acquisita che il riscaldamento globale prodotto dalle emissioni gassose inquinanti è oggi modellizzabile secondo scenari sempre più accurati e preoccupanti che pongono un limite temporale a disposizione per la correzione dei processi in corso. Il punto focale è che il cambiamento in atto sta minacciando le basi del nostro habitat globale, sia direttamente che attraverso le concorrenti variazioni ambientali, i fattori limitanti e le retroazioni collegate (Fabbio 2018).

La domanda attuale di riduzione dell'uso dei combustibili fossili rende di nuovo il ceduo un sistema interessante sia per la capacità di produzione diretta, che per i caratteri che gli sono propri: rinnovazione agamica in confronto al modello più lento e sensibile della rinnovazione da seme, il ripristino veloce del sequestro di carbonio seguente il ricaccio dei polloni, la flessibilità e reversibilità del sistema, la resilienza elevata ai disturbi, la variabilità degli habitat prodotti dalla fase iniziale a quella finale del ciclo di coltivazione. Il sistema a ceduo è quindi, da molti punti di vista, molto 'adattativo' alle nuove sfide.

Le stesse qualità danno nuovo impulso al ruolo di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico (non predicibilità, riduzione delle precipitazioni, temperature più elevate, periodi secchi prolungati, stress idrico, eventi estremi, rischio di incendi). Questa è, di fatto, la direzione del cambiamento atteso e già in atto nell'area mediterranea e nei Paesi dell'Europa meridionale, dove il ceduo è particolarmente diffuso.

In questo senso, la letteratura internazionale si aggiorna continuamente di nuove evidenze sulla capacità di sequestro di carbonio già nei primi anni dopo il taglio, sul maggiore accrescimento legnoso e sulla superiore tolleranza ecologica alla siccità di un apparato radicale pre-esistente, sulla ricopertura del terreno più rapida e sulle ridotte perdite per evapotraspirazione (Espelta et al. 1999, Konstantinidis et al. 2006, Lopez et al. 2009, Splichalova 2015, Holisova et al. 2015, Pietras et al. 2016).

Questa rinnovata attenzione verso il 'tema del ceduo' è confermata anche da recenti iniziative dedicate.

La Conferenza Internazionale di Brno *Coppice forests: past, present and future* (2015) ha affrontato tutte le maggiori questioni aperte riguardanti il ceduo.

Nel 2017 è stata costituita l'Unità IUFRO 1.03.01 - *Traditional coppice: ecology, silviculture and socio-economic aspects*, che si interessa di individuare le strategie sostenibili a livello internazionale (<https://www.iufro.org/science/divisions/division-1/10000/10300/10301/>).

L'Azione COST FP1301 EuroCoppice - *Innovative management and multifunctional utilization of traditional coppice forests - an answer to future ecological, economic and social challenges in the European forestry sector* (2013-2017) (<https://www.eurocoppice.uni-freiburg.de/>), che ha riunito 35 Paesi, ha pubblicato un dettagliato rapporto sul ceduo in Europa che contiene, tra gli altri, Rapporti nazionali che forniscono un quadro aggiornato della situazione (Unrau et al. 2018).

Per quanto attiene alla Gestione Forestale Sostenibile (GFS), essa rappresenta un tema attuale sia nella politica forestale che in quella ambientale fin dal 1990. Con la Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo nel 1992, il concetto di sostenibilità diventa soggetto di pubblico interesse. In Europa, questo punto è preso in considerazione nella Seconda Conferenza Ministeriale sulla Protezione delle Foreste in Europa (MCPFE, ora conosciuta come FOREST EUROPE), di Helsinki 1993, quando la GFS fu definita ed adottata e divenne vincolante a livello politico (Risoluzioni H1e e H2 MCPFE 1993).

La GFS è definita come gestione ed utilizzo delle foreste e del suolo forestale in un modo e con una intensità tali da mantenere la biodiversità, la produttività, la capacità di rinnovazione, la vitalità ed il potenziale per assolvere oggi ed in futuro le funzioni ecologiche, economiche e sociali che gli sono proprie dalla scala locale a quella nazionale e globale (MCPFE, 1993). L'insieme di Criteri ed Indicatori di GFS fu adottato la prima volta dal MCPFE di Lisbona 1998. Essi, insieme alle linee guida, sono periodicamente migliorati ed aggiornati (FOREST EUROPE 2015).

In questo contesto, il progetto LIFE FutureForCoppiceS (2015-19) *Shaping future forestry for sustainable coppices in Southern Europe: the legacy of past management trials* (<https://www.futureforcoppices.eu/it/>) ha inteso valutare la sostenibilità del sistema ceduo e delle principali opzioni di gestione applicate, per mezzo di Criteri ed Indicatori di GFS sviluppati da FOREST EUROPE (2015) e di alcuni nuovi indicatori.

In questo senso LIFE FutureForCoppiceS è in linea con i tre principali obiettivi posti dalla EU Forest Strategy per il 2020, ovvero a) contribuire alla GFS delle foreste europee, b) valutare quali opzioni gestionali assicurino le molteplici funzioni svolte dalle foreste e c) creare banche dati che contribuiscano a rendere più competitivo il settore.

Una componente innovativa introdotta da LIFE FutureForCoppiceS è quella dell'applicazione dei Criteri ed Indicatori di GFS alle scale di 'sito e popolamento' (le scale, quindi, dell'unità di gestione e quella operativa delle pratiche colturali). Tale approccio intende perseguire una determinazione di maggiore dettaglio della sostenibilità.

LIFE FutureForCoppiceS ha utilizzato dati reali raccolti da una serie di prove sperimentali (45 aree permanenti) monitorate nel lungo periodo (dalla fine degli anni '60), realizzate in tre Tipi Forestali Europei -faggete montane (7.3), foreste decidue termofile (8.2) e foreste di latifoglie sempreverdi (9.1)- e trattate secondo le tre principali opzioni di gestione del bosco ceduo -ceduo tradizionale (TC), evoluzione naturale (NE) e conversione ad alto fusto (CO) .

Più in dettaglio, tre i principali obiettivi del progetto:

1. testare, dimostrare e divulgare il valore degli Indicatori di GFS nei cedui;
2. valutare la sostenibilità delle principali opzioni gestionali;
3. applicare i risultati a scala geografica più ampia, simulando cambiamenti gestionali rispetto allo stato attuale.

Oltre a testare indicatori consolidati di GFS, il progetto ha sviluppato e realizzato metodi per la raccolta e l'analisi di 'nuovi' Indicatori, disegnati sulle caratteristiche dei popolamenti di origine agamica.

Inoltre, dato che l'applicazione dei Criteri e Indicatori di GFS a scale diverse è questione dibattuta (Mendoza e Prabhu 2000; Islam et al. 2010, Santopuoli et al. 2015), il progetto ha testato Indicatori consolidati alla scala di unità di gestione, classificandoli così come 'nuovi'.

Gli Indicatori tradizionali sono riportati dalle statistiche nazionali, ma la loro applicazione a livello di singolo distretto forestale è molto meno frequente. In questo senso, la loro capacità di risposta secondo i differenti approcci gestionali, la loro applicabilità e trasferibilità, la loro performance di tipo funzionale può essere meglio valutata al livello di popolamento/unità di gestione.

La replicabilità ed il trasferimento di questo approccio e dei risultati del progetto è stata e sarà promossa anche attraverso il ruolo attivo dei due beneficiari associati, soggetti responsabili della gestione delle foreste demaniali della Toscana e della Sardegna.

1.1 Natura e contenuto di questo documento

Il presente documento costituisce la sintesi scientifica integrata finale del progetto, elaborata principalmente nell'ambito dell'Azione B.9 "Sintesi e valutazione". Essa si basa sui sei rapporti specifici sullo stato e le tendenze di ciascun criterio di GFS, prodotti dalle Azioni di implementazione (Azioni B.1-B.6). Nei Rapporti (www.futureforcoppices.eu) elencati di seguito sono disponibili ulteriori dettagli sui principali risultati scientifici e tecnici relativi a ciascuno dei sei criteri GFS, sul database del progetto (B.7) e sulla spazializzazione dei risultati del progetto a diverse scale geografiche (B.8).

1. Bertini G., Di Salvatore U., Chianucci F., Ferrara C., Cutini A., Piovosi M., Marchino L., Calderisi M., Fabbio G., 2016. Report on status and trend of indicators related to SFM Criterion 1 at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 75.

2. Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Roggero PP., Seddaiu G. 2018. Report on status and trend of SFM Criterion 2 at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.2, pp. 122.
3. Bertini G., Chianucci F., Cutini A., Fabbio G., Fratini R., Di Salvatore U., Marchino L., Piovosi M., Riccioli F. 2018. Report on status and trend of SFM Criterion 3 indicators at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, 27 pp.
4. Bagella S., Bertini G., Brotzu R., Brunialti G., Calderisi M., Filigheddu R., Frati L., Landi S., Padovan F., Pisu D., 2017. Report on status and trends of traditional and newly tested SFM Criterion 4 at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 53.
5. Chianucci F., Ferrara C., Bertini G., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G, Landi S., Cutini A., 2017. Report on status and trend of indicators related to SFM Criterion 5 at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 42.
6. Fratini R., Riccioli F., Marone E. (2017). Report on status and trend of SFM Criterion 6 indicators at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp.41.

Cinquantaquattro schede informative (una per ciascuno dei nove siti e i sei criteri GFS) che riassumono i risultati ottenuti dai diversi approcci gestionali in ogni sito sono allegate ai rapporti sopra menzionati.

7. Corradini S, Chianucci F, Gottardini E, Cristofori A Cutini A., 2018. Report. Data harmonization and project database. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 20.
8. Tattoni C, Rocchini D, 2018 Report Spatial models implementation and maps. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 28.

Una guida per le strategie e metodologie di campionamento, le procedure di Assicurazione di Qualità e organizzazione dei dati, era stata preliminarmente redatta al fine di ottenere un insieme armonizzato di dati e risultati, che consentisse una corretta analisi e valutazione:

- Ferretti M., Cutini A., Gottardini E., 2016. Linee Guida per una preparazione coerente delle indagini e dei dati "Guidelines for a consistent and harmonized preparation of surveys and data". Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS. pp. 22.

Ulteriori dettagli sulla metodologia di rilevamento, valutazione e interpretazione dei nuovi indicatori di GSF, relativi a ciascuno dei sei criteri GFS sono disponibili nei manuali di seguito elencati:

1. Bertini G., Chianucci F., Cutini A., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G., 2016. Misura dell'accrescimento, della biomassa arborea epigea complessiva, dell'efficienza di accrescimento e della mortalità. Guida per studi in campo. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.1, 26 p.
2. Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Pollastrini M., Ferretti M., 2016. Misura della fluorescenza della clorofilla a, contenuto di clorofilla e tratti fogliari: campionamento, raccolta e misurazioni. Guida per studi in campo. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.2, pp. 34.

3. Bertini G., Chianucci F., Cutini A., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G., 2016. Misura del rapporto tra incremento legnoso e utilizzazioni, del legno tondo prodotto e della produzione di funghi eduli commerciabili. Guida per studi in campo. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, 28 pp.
4. Bagella S., Brotzu R., Brunialti G., Filigheddu R., Frati L., Ferretti M., Landi S., Padovan F., Pisu D., 2016. Diversità di piante vascolari, licheni epifiti, funghi lignicoli e uccelli come indicatori di gestione forestale sostenibile a scala locale: manuale di rilevamento. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 39.
5. Chianucci F., Bertini G., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G., Cutini A., Landi S., 2016. Campionamento per la stima della copertura del piano di vegetazione arboreo superiore, inferiore, arbustivo e delle briofite, dello spessore della lettiera e della regimazione idrica. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 19.
6. Fratini R., Marone E., Riccioli F., C. (2016). Indicatori socio-economici per la valutazione a livello locale del Criterio 6 della Gestione Forestale Sostenibile. Una guida per la loro misura, valutazione e interpretazione. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp.36.

Il presente documento tratta la sintesi finale dei dati e delle informazioni generate dalle suddette attività di progetto e riassume i risultati delle elaborazioni statistiche eseguite secondo un approccio integrato, per rispondere ai tre obiettivi principali del progetto e per fornire informazioni e supportare le decisioni dei gestori e dei responsabili politici.

Il rapporto è strutturato nei seguenti capitoli:

- Capitolo 2 Materiali e Metodi. Questa sezione riporta una panoramica dei siti di campionamento e del tipo di dati, con un riferimento incrociato ai precedenti rapporti tecnici del progetto (manuali di campo, rapporti sullo stato e tendenze) per una descrizione dettagliata dei metodi di campionamento e dei protocolli sul campo. Questo capitolo riporta anche la descrizione dell'elaborazione dei dati eseguita in questo documento.
- Capitoli da 3 a 5 riportano i risultati dell'elaborazione dei dati e la loro interpretazione, sia dal punto di vista statistico che ecologico. I tre capitoli sono strutturati seguendo l'ordine dei tre obiettivi principali del progetto.
- Capitolo 6 riporta una discussione generale sui risultati e indicazioni per i gestori e i decisori politici.

Una sintesi dei dati a livello di ciascun sito è disponibile nel seguente report:

- Cutini A., Brunialti G., Amici V., Bagella S., Bertini G., Caddeo C., Calderisi M., Chianucci F., Ciocchi B., Corradini S., Cristofolini F., Cristofori A., Di Salvatore U., Fabbio G., Ferrara C., Frati L., Fratini R., Landi S., Riccioli F., Rocchini D., Roggero P.P., Seddaiu G., Tattoni C., Gottardini E., 2019. Sintesi dei risultati di progetto per sito. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS.

2. Materiali e Metodi

2.1 Siti di campionamento

Nell'ambito del progetto LIFE FutureForCoppiceS, le indagini di campo riguardanti gli aspetti principali degli indicatori GFS (dal Criterio 1 al 6) sono state realizzate in nove siti, in due regioni italiane: Toscana (7 siti, 34 aree) e Sardegna (2 siti, 11 aree), su un totale di 45 aree permanenti. Le aree sono state realizzate in boschi di origine agamica a prevalenza di faggio (*Fagus sylvatica*), di cerro (*Quercus cerris*) e di leccio (*Quercus ilex*) appartenenti a tre EFTs: faggete montane (7.3), foreste decidue termofile (8.2), foreste di latifoglie sempreverdi (9.1). Tre siti, denominati "plus" (un sito per EFT), per un totale di 18 aree permanenti, sono stati selezionati per testare nuovi metodi di rilevamento degli indicatori GFS o nuovi indicatori. I siti "plus" sono: Buca Zamponi (7.3 "faggete montane"), Is Cannoneris (9.1 "foreste di latifoglie sempreverdi") e Poggio Pievano (8.2 "foreste decidue termofile").

La Tabella 2.1 riporta le informazioni sui siti del progetto.

Tabella 2.1 – Informazioni sui "Siti" e "Trattamenti" del progetto LIFE FutureForCoppiceS.
I siti "Plus" sono contrassegnati con il simbolo *.

EFT	Foresta & Località	Sito	Trattamento	Età nel 2016 (anni)	Piante (n ha ⁻¹)	Area basimetrica (m ² ha ⁻¹)	Altezza media (m)	Volume (m ³ ha ⁻¹)
Foreste sempreverdi di latifoglie (9.1)	Foresta di Settefratelli Sinnai (CA)	Settefratelli	Conversione	75	1188	51,7	16,1	447,7
			Conversione	75	1375	38,5	11,7	249,6
	Alberese (GR)	Alberese	Conversione	85	525	27,2	16,1	236,7
			Evoluzione naturale	85	4125	38,7	9,3	213,3
			Diradato	85	500	29,1	20,4	315,0
	Foresta di Is Cannoneris Domus de Maria (CA)	Is Cannoneris *	Conversione	67	963	24,0	12,8	167,8
			Conversione	67	475	22,5	14,3	170,4
			Conversione	67	850	26,0	13,3	187,3
			Conversione	67	650	22,5	12,7	153,8
			Conversione	67	713	22,0	12,5	149,0
			Conversione	67	800	21,7	12,2	143,8
			Evoluzione naturale	67	4063	50,9	10,1	286,9
			Evoluzione naturale	67	3513	55,1	10,9	346,4
Evoluzione naturale	67	3850	47,6	10,1	259,0			
Faggete montane (7.3)	Alpe di Catenaia Chitignano (AR)	Buca Zamponi *	Conversione	71	525	35,1	23,9	420,5
			Conversione	71	313	38,1	27,1	542,3
			Conversione	71	413	34,7	25,7	452,0
			Conversione	71	338	26,7	23,9	321,9
			Evoluzione naturale	71	1900	48,1	19,9	545,0
		Buca Zamponi 1	Ceduo tradizionale	75	1888	13,6	12,3	90,4
			Ceduo tradizionale	75	2563	16,0	11,8	104,8
			Ceduo tradizionale	75	1525	19,3	14,1	147,7
			Ceduo tradizionale	75	1863	19,1	13,4	141,3
		Eremo della Casella	Conversione	74	413	36,6	23,0	427,6
			Taglio di sementazione	74	100	20,4	21,3	222,0
Foreste di latifoglie decidue (8.2)	Alto Tevere Pieve Santo Stefano (AR)	Valsavignone	Conversione	64	850	35,9	24,1	463,6
			Conversione	64	475	26,4	25,1	327,8
			Conversione	64	450	21,0	22,8	236,2
			Evoluzione naturale	64	1125	33,7	20,1	360,2
	Colline Metallifere Monterotondo (GR)	Poggio Pevano *	Evoluzione naturale	57	2388	33,2	14,1	251,6
			Ceduo tradizionale	22	5575	22,3	9,2	108,7
			Conversione	57	775	30,2	19,2	295,1
			Ceduo tradizionale	22	4188	22,9	9,5	117,7
	Foresta di Caselli Monteverdi Marittimo (PI)	Caselli	Conversione	66	2647	37,8	15,6	399,4
			Conversione	66	1956	39,8	17,2	440,0
			Conversione	66	1867	38,6	17,3	419,6
			Conversione	66	1534	37,3	18,2	417,7
			Conversione	66	1045	34,1	21,6	410,7
			Conversione	66	2922	32,3	16,8	402,8
Conversione			66	1723	34,2	19,4	405,1	
Conversione			66	2900	32,6	16,9	363,9	
Evoluzione naturale			66	1845	41,6	17,0	493,7	
Evoluzione naturale			66	1445	43,3	18,9	541,0	
Evoluzione naturale	66	1789	32,6	15,6	373,3			
Evoluzione naturale	66	2311	38,8	15,5	436,9			

2.2 Disegno di campionamento

Al fine di consentire una corretta analisi e valutazione dei risultati degli indicatori dei sei criteri GFS, sono state preparate delle linee guida specifiche per affrontare correttamente questioni trasversali quali il campionamento, le procedure di assicurazione di qualità, l'organizzazione, l'armonizzazione e l'elaborazione dei dati. Per una descrizione dettagliata di questi argomenti si rimanda a *Ferretti M., Cutini A., Gottardini E., 2016, Linee Guida per una preparazione coerente delle indagini e dei dati*. Per una descrizione dettagliata del disegno di campionamento adottato per il rilevamento, la valutazione e l'interpretazione dei nuovi Indicatori GFS, coerente con ciascuno dei sei criteri, si consiglia di fare riferimento ai sei manuali specifici redatti nell'ambito del progetto (si veda lista al capitolo § 1).

2.3 Dati

Le analisi statistiche hanno riguardato un totale di 38 indicatori GFS. Dodici di questi sono indicatori consolidati (FOREST EUROPE 2015), mentre 26 indicatori sono stati adattati ad una scala di maggior dettaglio o recentemente sviluppati nell'ambito del progetto per rafforzare l'affidabilità della valutazione di GFS. Per alcuni indicatori sono state considerate più variabili. Per ulteriori dettagli su ciascun indicatore GFS si rimanda ai manuali di campo ed ai rapporti sullo stato e le tendenze elaborati nell'ambito del progetto (per un elenco completo cfr. §1 e riferimenti). Gli indicatori sono stati calcolati sulla base di dati nuovi, acquisiti nel corso del progetto, e dati storici, resi disponibili da studi di monitoraggio a lungo termine avviati alla fine degli anni '60 dal Beneficiario Coordinatore del progetto "Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi economica agraria" (CREA) nelle 45 aree sperimentali, dove le variabili legate all'accrescimento degli alberi e alla struttura del bosco sono state periodicamente rilevate.

2.3.1 Indicatori consolidati

La Tabella 2.2 riporta l'elenco degli indicatori consolidati (n=12) riferiti a ciascun criterio GFS e delle relative variabili considerate.

Tabella 2.2 – Elenco degli indicatori consolidati di GFS per ciascun criterio GFS e delle variabili relative.

Criteri	N di Indicatori	Indicatori GFS	Variabili
Criterio 1	3	Massa in piedi (m ³ ha ⁻¹)	
		Età e distribuzione diametrica (n)	
		Stock di carbonio	Stock di carbonio nella massa in piedi (Mg ha ⁻¹) Contenuto di carbonio nel suolo (g kg ⁻¹)
Criterio 2	3	Caratteristiche dei suoli	Saturazione in basi (%) Saturazione in C (g kg ⁻¹) Rapporto C:N (g kg ⁻¹) Capacità di scambio cationico (milleivalenti per 100 g di suolo) Argilla (g kg ⁻¹) Limite di saturazione per il C nel suolo (g kg ⁻¹) C organico (g kg ⁻¹) pH (a.u.) Sabbia (g kg ⁻¹) Limo (g kg ⁻¹) N totale (g kg ⁻¹)
		Defogliazione	Defogliazione (%) Mediana defogliazione (%) Trasparenza (%) Mediana trasparenza (%)
		Danni forestali	Parti affette (n) Mediana parti affette (n) Agenti/fattori di danno (n) Mediana agenti/fattori di danno (n).
Criterio 3	0		Nessun indicatore consolidato
Criterio 4	4	Composizione arborea specifica	Area_Bas_Sp_Arboree (m ² /100m ²). Ricchezza_Sp_Arboree
		Specie arboree introdotte	Area_Bas_Sp_Arboree_Introdotte (m ² /100m ²)
		Legno morto	Volume_Legno_Morto_A terra (m ³ ha ⁻¹) Volume_Legno_Morto_In piedi (m ³ ha ⁻¹)
		Specie arboree minacciate	Area_Bas_Sp_Arboree_Minacciate (m ² /100m ²)
Criterio 5	0		Nessun indicatore consolidato
Criterio 6	2	Contributo al PIL del settore forestale (%); Redditi netti (€/ha per anno)	

2.3.2 Indicatori nuovi

La Tabella 2.3 riporta l'elenco dei nuovi indicatori (n=26) riferiti a ciascun criterio di GFS e delle relative variabili considerate. Alcuni indicatori, sebbene consolidati, sono classificati come nuovi essendo qui applicati al livello di bosco/unità di gestione.

Tabella 2.3 – Elenco dei nuovi indicatori per ciascun criterio di GFS e delle variabili relative. (*) Indicatori consolidati ma calcolati a livello di bosco/unità di gestione.

Criteria	N di indicatori	Indicatori GFS	Variabili
Criterio 1	2	Efficienza di accrescimento	Efficienza di accrescimento_LAI Efficienza di accrescimento_Lettiera
		Biomassa epigea totale (Mg ha ⁻¹)	
Criterio 2	4	Contenuto di clorofilla (Chl_SPAD) (a.u.)	
		Tratti anatomici fogliari	Asimmetria_Fluttuante_FA (adimensionale) Lunghezza_Lamina_LL (mm) Area_Fogliare_LA (mm ²) Lunghezza_Foglia_LL (mm) Spessore_Foglia_LT (mm) Larghezza_Foglia_LW (mm) Larghezza_Max_parte sinistra lamina_WL (mm) Larghezza_Max_Parte destra lamina_WR (mm) Area_Specifica_Fogliare_SLA (mm ² mg ⁻¹) Peso secco (mg)
		Fluorescenza della clorofilla	Fm (a.u.) Fo (a.u.) Fv_Fm (a.u.) Plabs (a.u.) Vi (a.u.) Vj (a.u.)
		Accrescimento del popolamento	Accrescimento del popolamento_Biomassa (Mg ha ⁻¹ y ⁻¹) Accrescimento del popolamento_Volume (m ³ ha ⁻¹ y ⁻¹)
Criterio 3	3	Incrementi e prelievi legnosi* (%); Produzione di funghi commerciabili* (€ ha ⁻¹); Legna da ardere* (m ³ ha ⁻¹)	
Criterio 4	8	Specie erbacee forestali	Ricchezza_Sp_Erb_Forestali Indice_Shannon_Sp_Erb_Forestali Indice_Pielou_Sp_Erb_Forestali
		Specie erbacee native	Ricchezza_Sp_Erb_Native Indice_Shannon_Sp_Erb_Native Indice_Pielou_Sp_Erb_Native
		Specie erbacee introdotte	Ricchezza_Sp_Introdotte Indice_Shannon_Sp_Erb_Introdotte Indice_Pielou_Sp_Erb_Introdotte
		Specie erbacee di interesse prioritario	Ricchezza_Sp_Interesse Indice_Shannon_Sp_Erb_Interesse Indice_Pielou_Sp_Erb_Interesse
		Funghi lignicoli	Ricchezza_Sp_Funghi_Lignicoli
		Licheni epifiti	Ricchezza_Sp_Licheni Indice_Shannon Indice_Pielou
		Uccelli nidificanti	Ricchezza
		Funghi commerciabili	Biomassa_Sp_Funghi_Commestibili (g) Ricchezza_Sp_Funghi_Commestibili

Criterio 5	5	Copertura delle briofite Ritenzione idrica Spessore della lettiera (cm) Copertura del soprassuolo Copertura del sottobosco	
Criterio 6	4	Energia* (MWth/ha anno) Accessibilità per fini ricreativi* (€/anno) Commercio di legname* (m ³ /anno) Forza lavoro nel settore forestale* (indice di specializzazione)	

2.3.3 Database di Progetto

Le serie di dati nuovi e storici sono state compilate e memorizzate nel database di LIFE FutureForCoppiceS <https://www.futureforcoppices.eu/mydb/en/index.php>. Il database costituisce il riferimento e la fonte unica dei dati, considerati ed analizzati per i vari scopi del progetto.

Il database LIFE FutureForCoppiceS contiene oltre 42.000 record e numerose tabelle relative rispettivamente ai dati originali (42) e alle query (25). Il formato è compatibile con quello richiesto dall' European Forest Data Centre (EFDAC) e dal Forest Information System for Europe (FISE). Una sintesi dei principali risultati e del confronto, per ciascun EFT, tra gli indicatori GFS consolidati e nuovi, e tra le principali opzioni di gestione è liberamente consultabile sul sito web del progetto.

Per ulteriori dettagli o per ottenere dati di interesse, il richiedente deve compilare il modulo predisposto nella sezione "DATABASE" del sito web di progetto, specificando lo scopo della richiesta.

Ulteriori dettagli sulle caratteristiche del database di LIFE FutureForCoppiceS sono disponibili in: Corradini S, Chianucci F, Gottardini E, Cristofori A Cutini A., 2018. Report. Data harmonization and project database. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp 20.

2.4 Elaborazione dati

La valutazione del valore degli indicatori GFS (consolidati e nuovi) è derivata dai risultati ottenuti nelle 45 aree sperimentali, che sono descritti in dettaglio nei sei rapporti "Status and Trend" (vedere § 1).

Un punteggio complessivo di appropriatezza è stato assegnato ad ogni indicatore GFS da un gruppo di esperti, seguendo una scala di nove punti: 8-9, Indicatore molto appropriato; 6-7, Indicatore appropriato; ≤ 5, Indicatore moderatamente o scarsamente appropriato. Il punteggio finale dell'indicatore è stato calcolato sommando i punteggi parziali (1, basso, 2, medio, 3, alto) rispettivamente per:

i) Applicabilità, ossia potere informativo e affidabilità in termini di sostenibilità, delle opzioni di gestione e relativamente agli EFTs considerati nel progetto.

- a. Applicabilità bassa: 1

misure fortemente influenzate da vincoli quali la soggettività dell'operatore, l'assenza di procedure e/o protocolli standardizzati;

b. Applicabilità media: 2

le misure possono dipendere da vincoli quali l'esperienza dell'operatore, la complessità delle procedure e/o dei protocolli di rilevamento, la necessità di un lungo periodo di monitoraggio;

c. Applicabilità alta: 3

misure con una bassa soggettività dell'operatore, procedure e/o protocolli di rilevamento facili e veloci.

ii) Replicabilità, in termini di possibilità di essere facilmente riprodotta anche seguendo semplici procedure o manuali.

a. Replicabilità bassa: 1

indicatori senza procedure e/o protocolli standardizzati e/o con procedure e protocolli di rilevamento molto complessi e/o necessità di strumenti sofisticati;

b. Replicabilità media: 2

indicatori con procedure e/o protocolli standardizzati, ma complessi e/o che richiedono l'utilizzo di strumenti sofisticati;

c. Replicabilità alta: 3

indicatori con procedure e/o protocolli standard semplificati, senza la necessità di strumenti sofisticati.

iii) Costi, in termini di spese stimate di personale e di competenze, strumenti, tipo di rilievo, periodo di monitoraggio necessari per la valutazione dell'indicatore e organizzati in tre classi comparative.

a. Costi bassi: 3

b. Costi medi: 2

c. Costi alti: 1

I livelli di appropriatezza assegnati a ciascun indicatore sono riportati nelle Tabelle 3.1 (Criterio 1), 3.3 (Criterio 2), 3.7 (Criterio 3), 3.9 (Criterio 4), 3.11 (Criterio 5), 3.13 (Criterio 6).

Nell'ambito della presente sintesi scientifica integrata, al fine di sintetizzare i risultati sulla sostenibilità delle diverse opzioni di gestione, i dataset sono stati elaborati aggregando i dati a livello di "Area" (n = 45, vedi Tabella 2.1), che era comune a tutti gli indicatori dei diversi criteri (Azioni B.1-B.6). Questo livello di aggregazione dei dati è diverso da quello utilizzato nelle relazioni tecniche "Status and trend" di ciascun Criterio. In quel caso, infatti, i dati erano stati elaborati al livello più basso consentito dal protocollo di campionamento di ciascun indicatore. Ad esempio, per l'Azione B.2, il livello di "foglia" era il livello più basso considerato nel campionamento per la stima dei tratti fogliari o per la misura delle variabili relative all'efficienza fotosintetica. Per questo motivo, i dati elaborati a "livello foglia", data l'elevata numerosità campionaria, sono stati trattati con l'analisi parametrica. Il diverso livello di scala spaziale utilizzato in questo documento può spiegare la non concordanza tra alcuni risultati. È evidente infatti che l'aggregazione dei dati a livello di "Area" riduce ampiamente la numerosità campionaria disponibile per l'analisi statistica, riducendo di conseguenza le prestazioni dei test statistici adottati per l'analisi post-hoc (soprattutto per i confronti tra dati appaiati) e la

rappresentatività di alcune opzioni di gestione e/o siti. È importante sottolineare che in molti casi, a causa della natura dei siti del progetto, non sempre le tre opzioni di gestione erano rappresentate all'interno di ciascun sito e/o per ciascun indicatore. Questa è la causa di alcune lacune nel set di dati aggregato al livello "Area".

L'analisi integrata è stata eseguita complessivamente su 38 indicatori GFS e relative variabili (vedi Tabelle 2.2 e 2.3). I dati sono stati distinti per European Forest Type: faggete montane (7.3), foreste decidue termofile (8.2), foreste di latifoglie sempreverdi (9.1).

Per ciascun EFT sono stati considerati i dati relativi alle seguenti opzioni di gestione: conversione (CO), evoluzione naturale (NE), ceduo tradizionale (TC). Due tipi di trattamento (diradato - sito "Alberese"; taglio di sementazione - sito "Eremo della Casella") sono stati esclusi dall'elaborazione in quanto rappresentati da un solo caso ciascuno.

Per ogni indicatore/variabile sono state effettuate le seguenti analisi:

i) Confronto percentuale tra le opzioni di gestione - All'interno di ciascun EFT, sono stati calcolati i valori medi degli indicatori GFS rilevati in ciascuna opzione di gestione. Quindi, per valutare gli andamenti crescenti o decrescenti tra le coppie di opzioni gestionali (CO-NE, TC-NE, TC-CO), sono stati effettuati dei confronti percentuali tra i valori medi.

ii) Confronto post-hoc a coppie tra le opzioni di gestione - All'interno di ciascun EFT e per ciascun indicatore sono stati eseguiti i test preliminari previsti dall'ANOVA per verificare le ipotesi di normalità (test di *Shapiro-Wilk*) e omoschedasticità (*Test di Levene*) del set di dati. Quando queste condizioni erano soddisfatte ($p < 0,05$), sono stati effettuati i confronti post-hoc mediante il *test di Tukey* per esplorare le differenze tra le tre opzioni di gestione. I valori di p sono stati corretti con il *metodo di Bonferroni*. Dove la normalità non era soddisfatta, è stato adottato il test non parametrico di *Kruskal-Wallis*. Per risultati significativi ($p < 0,05$) i confronti post-hoc sono stati eseguiti mediante il test di *Mann-Whitney* (detto anche test di *Wilcoxon*).

iii) Analisi multivariata - La Principal Component Analysis (PCA) è stata utilizzata come analisi multivariata esplorativa unsupervised per studiare le relazioni tra gli indicatori dei diversi criteri GFS.

Le analisi statistiche sono state condotte con il software statistico libero R (R Core Team 2017).

Per quanto riguarda l'upscaling dei risultati su scala geografica più ampia, sono stati utilizzati dati provenienti da fonti diverse. I dati sugli indicatori di GFS delle azioni B.1 - B.6 sono stati ottenuti dal database implementato dall'azione B7. I dati per gli indicatori GFS a livello europeo sono stati ottenuti con una richiesta formale di accesso alla banca dati dell'*International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests* (ICP Forests). Non tutti gli indicatori considerati nel progetto LIFE FutureForCoppiceS erano disponibili da questa fonte, pertanto l'upscaling è stato eseguito quando possibile. Il numero e la distribuzione spaziale dei plots di ICP Forests varia per ciascun indicatore in base allo schema di campionamento e viene commentato nella sezione dei risultati.

Alcuni degli indicatori GFS su scala italiana sono stati derivati dall'*Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi forestali di Carbonio* (INFC). Non tutti gli indicatori considerati nel progetto LIFE FutureForCoppiceS erano disponibili da questa fonte, pertanto l'upscaling è stato eseguito quando possibile. Per ottenere l'upscaling dei dati raccolti nel progetto LIFE FutureForCoppiceS su diverse scale spaziali, era necessario

disporre di mappe digitali continue delle principali variabili ambientali a varie scale e risoluzioni. I dati raccolti nel progetto sono stati integrati con dataset spaziali recuperati da diverse fonti o elaborati ad hoc.

Indicazioni relative agli European Forest Types (EFTs) erano disponibili solo su scala italiana, sulla base di una riclassificazione della mappa CORINE Land Cover (livello IV): le regole di classificazione sono state gentilmente fornite dal prof. Anna Barbati, Università della Tuscia (Italia), come riportato in Barbati et al. (2014). Questa limitazione ha impedito di sviluppare mappe per ciascun EFT a livello europeo.

L'area geografica all'interno della quale sono state mappate le informazioni ottenute tramite la modellazione sviluppata, corrisponde all'area di distribuzione di ciascuno dei tre EFT (faggete montane, foreste decidue termofile e foreste di latifoglie sempreverdi) nei distretti forestali locali, nelle due regioni (Toscana e Sardegna), in Italia e nell'Europa meridionale (cioè <45 gradi di latitudine).

Il flusso di lavoro dalla raccolta dei dati ai modelli finali è stato implementato in un ambiente open source che garantisce l'interoperabilità tra i vari strumenti utilizzati. Le query dal database di progetto e da database esterni sono state eseguite utilizzando lo scripting SQL, la preparazione dei layer GIS è stata eseguita con QGIS (Quantum GIS Development Team, 2017) e GRASS GIS (GRASS Development Team, 2017). Il punto di occorrenza degli indicatori a varie scale è stato utilizzato per campionare i livelli ambientali sopra menzionati. La matrice ottenuta è stata quindi elaborata con il software R (R Development Core Team 2016). I metodi di interpolazione spaziale forniscono strumenti per stimare potenzialmente i valori di una variabile ambientale in siti non campionati utilizzando i dati di osservazioni di punti all'interno della stessa regione. In base al tipo di dati disponibili, sono stati utilizzati diversi metodi di interpolazione:

- metodi non-geostatistici: l'analisi degli attributi e le rappresentazioni tematiche sono state utilizzate quando l'indicatore non era un valore numerico ma una classe o un insieme di classi (per esempio, la distribuzione del diametro);
- metodi geostatistici: le interpolazioni spaziali Inverse Distance Weighting (IDW) e Simple Kriging sono state utilizzate per l'upscaling a scala nazionale a causa dell'elevata densità di punti;
- metodi combinati: quando l'indicatore da modellare aveva una distribuzione irregolare, è stata usata la modellazione PLSR (Partial Least Square Regression).

La PLSR (Mevik and Wehrens, 2016) è stata eseguita in R e poi il coefficiente è stato applicato all'intera area di studio utilizzando GRASS. Gli indicatori con meno di 30 punti di campionamento non sono stati scalati, poiché l'autocorrelazione spaziale era troppo alta e quindi l'analisi statistica non era sufficientemente robusta.

Oltre alla modellizzazione delle variabili di stato attuali, è stata modellata anche la variabilità fornita da diversi scenari di gestione e per i tre EFTs considerati nel progetto.

Sono stati elaborati diversi scenari che prefigurano i cambiamenti nella gestione rispetto allo stato attuale di gestione, definito come Scenario 1 (scenario dello *status quo*). Rispetto allo Scenario 1, sono stati sviluppati altri scenari, caratterizzati da un tasso di gestione forestale più alto e più basso, concepiti come tassi diversi della superficie gestita a ceduo tradizionale (TC) e a bosco ceduo in conversione ad alto fusto (CO).

Quattro scenari sono stati caratterizzati da livelli crescenti di superfici soggette alla gestione forestale. L'aumento delle superfici forestali in gestione, rispetto alla situazione attuale, è stato sottratto dalla superficie forestale in evoluzione naturale (NE).

D'altra parte, sono stati sviluppati due scenari, caratterizzati da livelli decrescenti di gestione delle foreste. In tal caso l'aumento delle superfici forestali in NE, rispetto alla situazione attuale, è stato sottratto dalla superficie forestale in TC.

Nell'elaborazione dei diversi Scenari si è operato, da un lato, per mezzo di alcune semplificazioni e, dall'altro, secondo i principi di praticabilità e prudenza.

Più in dettaglio, i valori medi degli indicatori GFS, ottenuti nell'ambito del progetto per ciascun EFT, sono stati applicati alle più simili categorie di inventario forestale nazionale e regionale attualmente disponibili. Queste categorie di inventario sono più ampie delle EFTs considerate in generale.

Le modifiche nella gestione forestale simulate per ogni scenario sono state programmate per essere pienamente applicate entro un periodo di transizione (stimato in 10 anni). Quindi, i risultati riportati qui di seguito sono riferiti alla fine di questo periodo di transizione, quando si ritiene che tutti i cambiamenti siano stati pienamente raggiunti.

Inoltre, le simulazioni presuppongono che:

- tutte e tre le opzioni di gestione (TC, CO, NE), anche se a livelli diversi, siano mantenute; le percentuali delle aree interessate dai cambiamenti, sia verso tassi di gestione crescenti che decrescenti, non hanno superato l'8,5% della superficie totale delle categorie forestali considerate;
- le caratteristiche ecologiche delle tipologie forestali e, più in generale, delle specie siano debitamente prese in considerazione nella progettazione dei diversi scenari. In altre parole, è stato ipotizzato che le tre categorie forestali non siano suscettibili allo stesso modo di cambiamenti nella gestione e che, ad esempio, boschi di origine agamica di leccio da un lato e di faggio dall'altro, per ragioni diverse (valore ecologico, capacità di ricambio, cambiamenti climatici ...), siano suscettibili al recupero del ceduo solo in misura limitata, mentre, al contrario, i boschi di cerro siano più suscettibili a una dimensione più ampia.

Più nel dettaglio:

Scenario 1 – "Scenario *status quo*": situazione attuale di gestione per le tre categorie forestali considerate.

Scenario 2 – "diminuzione del 10% nell'evoluzione naturale": in questo Scenario è stato simulato di ridurre del 10% la superficie dei boschi in evoluzione naturale (NE) di faggio e leccio e di convertire questa area come 5% in conversione ad alto fusto (CO) e 5% a ceduo tradizionale (TC). Per il cerro invece il 10% del NE è stato trasformato in TC.

Scenario 3 – "diminuzione del 15% nell'evoluzione naturale": in questo Scenario è stato simulato di ridurre del 15% la superficie di faggio e leccio in NE e di utilizzare quest'area come 10% CO e 5% TC. Per il cerro invece, è stato simulato di ridurre del 20% la superficie in NE e di spostare questa area a CO (5%) e TC (15%).

Scenario 4 – "aumento del 5% nell'evoluzione naturale": rispetto alla situazione attuale, è stato simulato un aumento del 5% della NE a scapito del TC per tutte e tre le categorie forestali.

Scenario 5 – "aumento del 10% nell'evoluzione naturale": come lo Scenario 4, ma con una riduzione del 10% di TC per tutte e tre le categorie forestali.

Scenario 6 – "diminuzione del 30% nell'evoluzione naturale (solo cerro)": una percentuale del 30% del cerro in NE è stato trasformato in TC, il resto è come lo Scenario 1.

Scenario 7 – “diminuzione del 15-30% nell’evoluzione naturale”. Una percentuale del 15% di superficie di faggio e leccio in NE si sposta a CO (10%) e a TC (5%). Una percentuale del 30% del cerro in NE è stato spostato a TC.

I valori per gli indicatori GFS sono stati ottenuti e mediati per ciascuna categoria forestale e opzione gestionale. Il valore degli indicatori GFS è stato calcolato per tutti gli scenari sopra definiti a due livelli spaziali: i) scala nazionale, cioè tutta l'Italia divisa in regioni e ii) scala regionale, Toscana e Sardegna, per ogni particella forestale.

Per gli indicatori GFS espressi per ettaro è stato possibile calcolare il valore per regione o per particella forestale moltiplicando il valore per l'area del poligono. Per le simulazioni sono stati utilizzati i seguenti indicatori: B1, Massa in piedi ($m^3 ha^{-1}$); B1, Biomassa epigea totale ($m^3 ha^{-1}$); B3, Legna da ardere ($m^3 ha^{-1}$); B3, Produzione di funghi commerciabili ($€ ha^{-1}$); B6, Reddito netto ($€ ha^{-1} anno^{-1}$); B6, Energia ($MWth ha^{-1} anno^{-1}$). Per gli altri indicatori, espressi in varie unità di misura (cfr. Tabella 6.1), è stato possibile valutare solo la variazione percentuale dell'area/numero di parcelle che passano da un valore all'altro.

Per quanto riguarda la scala italiana, è stata utilizzata la tabella fornita dall'INFC che riporta l'estensione delle foreste italiane in base alle principali specie e ai diversi tipi di gestione per regione: ad esempio bosco ceduo di faggio (*F. sylvatica*), cerro (*Q. cerris*) e leccio (*Q. ilex*). Questa tabella è stata successivamente spazializzata unendo i valori della tabella con il poligono di ciascuna regione. La tabella INFC è stata semplificata al fine di rispettare le stesse classi di trattamento utilizzate nel progetto:

- ceduo tradizionale (TC): tutte le foreste classificate come ceduo con un'età da 0 a 40 anni;
- evoluzione naturale (NE): tutte le foreste classificate come ceduo più vecchie di 40 anni;
- conversione ad alto fusto (CO): le foreste classificate come in conversione, etichettate come “Fustaia transitoria”.

Per ogni scenario è stata sviluppata una nuova tabella, con una riga per ogni regione d'Italia, con i valori aggiornati dei 6 indicatori riferiti all'ettaro. Queste tabelle sono state successivamente collegate alla mappa ufficiale dell'Italia fornita dall'ISTAT al fine di ottenere gli Scenari su cartografia tematica.

Per la scala regionale sono state usate le mappe degli inventari forestali regionali. Gli inventari forestali per entrambe le regioni sono mappati come unità (parcelle) e per ogni unità sono riportate diverse informazioni sull'età, percentuale di copertura per le prime tre o più specie di alberi e diverse informazioni di gestione. Tuttavia, per entrambe le regioni era disponibile solo una copertura parziale: in Toscana, la mappa (Inventario Forestale Toscano, IFT) copre solo le foreste demaniali mentre in Sardegna solo i due distretti coinvolti nel progetto sono stati messi a disposizione dall'Agenzia Forestas.

Le mappe poligonali regionali hanno fornito le informazioni suddivise in parcelle di gestione, con una classificazione molto dettagliata che ha permesso di riclassificare le mappe nei tre sistemi di gestione utilizzati nel progetto come segue: per la regione Sardegna è stata utilizzata la mappa in formato shape file fornita dall'Ente Foreste della Regione Sardegna, applicando le seguenti regole di classificazione:

- ceduo tradizionale (TC): tutte le foreste classificate come bosco ceduo (sotto il campo "tipo coltu") con un'età da 0 a 50 anni;
- evoluzione naturale (NE): tutte le foreste classificate come bosco ceduo (sotto il campo "tipo coltu") di età superiore ai 50 anni;

- conversione ad alto fusto (CO): le foreste classificate come conversione etichettate come “Fustaia transitoria”.

La combinazione con il campo "Specie 1", la specie principale, ha permesso di identificare tutte le combinazioni necessarie di specie e trattamento.

Per la regione Toscana è stato utilizzato il file in formato shape fornito dall’Inventario Forestale Toscano. La tabella degli attributi è stata organizzata in modo diverso da quello della Sardegna, quindi sono state sviluppate alcune query SQL per riclassificare la mappa nelle tre classi, in conformità a quelle utilizzate nel progetto LIFE FutureForCoppiceS:

- ceduo tradizionale (TC): tutte le foreste classificate come bosco ceduo (sotto i campi “OR GEST”, “CLEC” e “USO”);
- evoluzione naturale (NE): tutte le foreste classificate come bosco ceduo (sotto i campi “OR GEST” e “CLEC”);
- conversione ad alto fusto (CO): le foreste classificate come conversione etichettate come “Fustaia transitoria” o “Cedui in conversione”.

La combinazione con il campo "Specie 1", la specie principale, ha permesso di identificare tutte le combinazioni necessarie di specie e di trattamento. Una volta effettuata la classificazione, il valore medio per ciascuna combinazione di trattamento e specie è stato assegnato al poligono corrispondente. Per implementare le simulazioni, è stato selezionato in maniera casuale il numero di particelle forestali in base alle regole definite in ciascuno dei 6 scenari ed è stata creata una nuova tabella aggiornata di attributi. Per i 6 indicatori riferiti a “metro cubo” o “euro per ettaro”, è stato calcolato il valore dell'indicatore moltiplicando il valore per l'area del poligono.

3. Valore degli indicatori di GFS

Questo capitolo riporta una valutazione complessiva sull’appropriatezza dei 38 indicatori di GFS applicati per i tre EFTs e le tre opzioni di gestione. Questo capitolo risponde al primo obiettivo generale di progetto:

- *Testare, dimostrare e disseminare il valore degli indicatori di GFS nei boschi cedui.*

A questo scopo, nei seguenti paragrafi (3.1-3.6), uno per ogni Criterio, si riporta una valutazione di ciascun indicatore di GFS.

3.1 Criterio 1 GFS: contributo delle foreste al ciclo globale del carbonio

3.1.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali

Massa in piedi (indicatore consolidato)

L'indicatore si riferisce alla biomassa legnosa in piedi (ovvero la massa corrente) presente in un determinato popolamento forestale espressa in termini di volume o peso secco. L'indicatore descrive la quantità di massa in piedi presente nell'area di riferimento al momento della sua misurazione.

L'indicatore è efficace nel fornire le informazioni richieste ed è strettamente correlato alla valutazione del ciclo del carbonio. Il calcolo dell'indicatore si basa sull'impiego dei dataset esistenti ed è determinabile tramite l'utilizzo di strumentazioni di facile reperibilità. Inoltre, la possibilità di raccolta a scala locale dei dati necessari consente il suo aggiornamento periodico. L'indicatore fornisce valori di biomassa legnosa per unità di superficie e di tempo.

Si adatta bene alla descrizione delle dinamiche dei popolamenti forestali in base al loro stadio di sviluppo ed è in grado di discriminare tra boschi soggetti a differenti trattamenti selvicolturali. Viene applicato a livello locale ovvero a livello di popolamento.

I valori dell'indicatore vengono determinati attraverso degli inventari successivi ripetuti nel tempo.

Il volume è calcolato con l'uso di relazioni allometriche (diametro e altezze) e poi trasformato in biomassa fresca, peso secco e contenuto di carbonio tramite coefficienti di espansione e conversione. Gli strumenti di determinazione dell'indicatore (tavole di cubatura) e i vari coefficienti di conversione sono quelli disponibili negli Inventari forestali nazionali. L'indicatore risulta perciò altamente appropriato (vedi tabella 3.1).

Età e distribuzione diametrica (indicatore consolidato)

L'indicatore descrive lo stadio di sviluppo (giovane, intermedio, adulto, maturo) dei popolamenti forestali coetanei. Anche per i popolamenti disetanei o a struttura irregolare l'indicatore può essere espresso in termini di distribuzione degli alberi in classi diametriche.

L'età del popolamento (boschi coetanei) è strettamente correlata con la capacità di sequestro e stoccaggio del carbonio e risulta essere più elevata nei popolamenti giovani rispetto a quelli maturi. L'indicatore non è molto informativo.

L'indicatore viene applicato a scala locale ovvero a livello di popolamento. L'indicatore si ottiene tramite cavallettamento periodico. L'indicatore risulta essere appropriato (vedi tabella 3.1).

Stock di carbonio (indicatore consolidato)

Stock di carbonio nella massa in piedi

Corrisponde al contenuto medio di carbonio, espresso in peso secco, presente nella biomassa legnosa in piedi (massa corrente). Questa variabile deriva direttamente dall'indicatore Massa in piedi. Risulta efficace nel fornire le informazioni richieste ed è strettamente correlato alla valutazione del contributo dei boschi al ciclo globale del carbonio. Il calcolo si basa sull'impiego dei dataset esistenti ed è determinabile tramite l'utilizzo di strumentazioni di facile reperibilità. Il calcolo dello stock di carbonio è derivato dal volume degli alberi in piedi tramite l'impiego di opportuni fattori di conversione.

Si adatta bene alla descrizione delle dinamiche dei popolamenti forestali in base al loro stadio di sviluppo ed è in grado di discriminare tra boschi soggetti a differenti trattamenti selvicolturali. La possibilità di raccolta a scala locale dei dati necessari consente il suo aggiornamento periodico. La variazione nel tempo dei valori della variabile determina l'attuale tasso di sequestro di carbonio.

Gli strumenti di determinazione (tavole di cubatura) e i vari coefficienti di conversione sono quelli disponibili negli Inventari forestali nazionali. Viene applicato a livello locale ovvero a livello di popolamento. E' altamente appropriato (vedi tabella 3.1).

Contenuto di carbonio nel suolo

Descrive il contenuto di carbonio organico presente nel suolo forestale (stato attuale) distinto per strato (0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm) ed in funzione del trattamento selvicolturale applicato. La variabile è in grado di fornire i dati richiesti che completano le informazioni riguardanti i pool di carbonio.

I valori registrati descrivono una dinamica comune e già nota in base alla quale il carbonio del legno morto presente nello strato superficiale tende a raggiungere col tempo gli strati sottostanti. È stato rilevato un ampio intervallo di valori presente nei diversi strati di suolo considerati. Non è molto efficiente.

E' applicato a scala locale ovvero a livello di popolamento.

La valutazione del contenuto di carbonio organico richiede indagini specializzate e ha evidenziato una elevata variabilità dei risultati delle misurazioni. Nessun dato relativo a misurazioni effettuate in passato era disponibile. L'elevata variabilità oltre ad essere presente tra strati di suolo diversi, cosa prevedibile, è stata evidenziata anche all'interno dello stesso strato di suolo. Risulta per questo moderatamente appropriato (vedi tabella 3.1).

Efficienza di accrescimento (indicatore nuovo)

L'indicatore descrive la capacità di fissazione del carbonio da parte dei tessuti delle piante ed è basilare per descrivere la funzionalità degli ecosistemi forestali. Di norma l'indicatore viene stimato dal rapporto tra incremento corrente (misurato come biomassa legnosa, ma calcolabile anche come incremento di area basimetrica o di volume della massa legnosa) misurato in un determinato periodo tramite differenze di inventari e indice di area fogliare medio misurato nel periodo (o massa anidra della componente fogliare).

L'indicatore fa riferimento alle seguenti variabili: 1. Incremento corrente di biomassa legnosa calcolato come differenza tra inventari successivi; 2. Indice di Area Fogliare (LAI) o area fogliare per unità di superficie; 3. massa fogliare prodotta annualmente sulla superficie unitaria.

L'indicatore varia sensibilmente in funzione della selvicoltura applicata e dell'intensità della gestione forestale, che influisce sulla disponibilità di luce e nutrienti e quindi sui livelli di competizione intra- e inter-specifica. Allo stesso tempo anche i disturbi fisici, chimici e biologici che intervengono a carico dei tessuti fogliari vengono presi in considerazione.

L'indicatore si adatta bene alla descrizione delle dinamiche post-intervento selvicolturale durante le quali si assiste al ripristino di una copertura completa da parte del piano delle chiome. L'indicatore è applicato a scala locale ovvero a livello di popolamento.

La determinazione dell'indicatore necessita di misurazioni periodiche ripetute nel tempo e dell'impiego di relazioni allometriche. Le misurazioni possono essere effettuate o tramite rilievi in campo oppure attraverso tecniche di remote sensing. La produzione di biomassa fogliare viene stimata attraverso la collocazione di trappole per la raccolta nell'area di studio e tramite successive analisi di laboratorio. Per la stima dell'indice di area fogliare si utilizza il dispositivo ottico LAI 2000.

L'indicatore richiede indagini molto specifiche per la determinazione di parametri in grado di tenere conto degli aspetti funzionali e quantitativi riuscendo a discriminare tra popolamenti forestali di età, caratteristiche stagionali e composizione specifica diverse tra loro.

Per questo i dati raccolti durante le fasi della ricerca applicata distinti per specie, sito ed età potrebbero essere molto utili se impiegati come valori di riferimento e supporto alla pratica selvicolturale.

L'indicatore è appropriato (vedi tabella 3.1).

Biomassa epigea totale (indicatore nuovo)

L'indicatore rappresenta la biomassa arborea epigea totale prodotta dal bosco nel lasso di tempo considerato, sia in popolamenti forestali ad evoluzione naturale sia in quelli soggetti a trattamenti selvicolturali. L'indicatore descrive e rende confrontabili tutte le diverse opzioni gestionali in quanto tiene conto anche delle masse periodicamente raccolte (diradamenti) e del legno morto.

La qualità dell'indicatore proposta risiede nel concetto di produttività generale dei popolamenti, indipendentemente dall'opzione gestionale applicata. Il valore della biomassa arborea epigea totale può essere facilmente convertito in contenuto di carbonio e fornire indicazioni circa la capacità di stoccaggio e di sostituzione (prodotti intermedi) dei combustibili fossili.

La valutazione della dinamica dell'indicatore effettuata attraverso inventari successivi ben si adatta a descrivere i diversi stadi evolutivi dei popolamenti al variare dell'età. L'indicatore è applicato a scala locale ovvero a livello di popolamento.

La variabile massa arborea è esprimibile in volume ($m^3 ha^{-1}$) o in massa anidra o peso secco ($Mg ha^{-1}$) attraverso l'impiego di opportuni coefficienti di conversione specie-specifici. I rilievi da condurre sono gli stessi dei precedenti indicatori.

L'indicatore è altamente appropriato (vedi tabella 3.1).

Tabella 3.1 – Indicatori del Criterio 1; valutazione di appropriatezza.

	Indicatori	Applicabilità	Replicabilità	Costo	Appropriatezza
Consolidati	Massa in piedi	alta	alta	basso	molto appropriato
	Distribuzione dei diametri	bassa	alta	basso	appropriato
	Stock di carbonio - Stock di carbonio nella massa in piedi	alta	alta	basso	molto appropriato
	Stock di carbonio - Contenuto di carbonio nel suolo	media	media	alto	moderatamente /scarsamente appropriato
Nuovi	Efficienza di accrescimento	alta	media	alto	appropriato
	Biomassa epigea totale	alta	alta	basso	molto appropriato

3.1.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali

La tabella 3.2 riporta i valori medi degli indicatori (consolidati e nuovi) del Criterio 1 per le tre opzioni di gestione selvicolturale (CO: conversione; NE: evoluzione naturale; TC: ceduo tradizionale) e per i tre EFTs considerati,

e le differenze statisticamente significative (Test test KW; * $p < 0,05$) tra le opzioni di gestione. Vengono riportati anche i confronti a coppie (%) tra le diverse opzioni gestionali, con differenze significative (test di Mann-Whitney, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$).

Per i tre EFTs, i due indicatori consolidati "Massa in piedi" e "Stock di carbonio nella massa in piedi" mostrano differenze statisticamente significative tra le tre opzioni gestionali, con valori più alti presenti nei plot ad "Evoluzione naturale". I confronti a coppie confermano queste differenze per le foreste di latifoglie sempreverdi (9.1) mentre per le faggete (7.3) e per i boschi di querce decidue (8.2) si ottengono valori di p significativi nel confronto tra ceduo tradizionale e conversione all'alto fusto, anche se le differenze percentuali tra NE e TC mostrano valori più alti. Questo risultato dipende dalla minore disponibilità di dati per le aree ad evoluzione naturale.

I valori di Massa in piedi misurati nelle aree NE e CO sono risultati di molto superiori al valore medio ($163 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) di Massa in piedi misurato nelle foreste europee (FOREST EUROPE, 2015), mentre per i boschi a TC il valore è risultato più basso. Anche a livello italiano ($148.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) i dati hanno mostrato la stessa tendenza (FOREST EUROPE, 2015).

Anche per quanto riguarda lo Stock di carbonio l'analisi dei dati raccolti ha condotto a conclusioni molto simili. I valori per NE e CO sono risultati molto superiori al valore medio presente in Italia (69 Mg ha^{-1}) (FOREST EUROPE, 2015), mentre per TC sono stati registrati valori inferiori.

Il "Contenuto di carbonio nel suolo", mostra risultati molto simili nelle diverse opzioni gestionali, senza evidenziare un particolare trend nei tre tipi forestali considerati.

Il nuovo indicatore, "Efficienza di accrescimento", in accordo con quanto riportato in letteratura, ha mostrato valori più alti nelle faggete rispetto ai boschi di cerro, anche se la mancanza di differenze statisticamente significative non consente di giungere a considerazioni generali.

D'altro canto i valori di "Biomassa epigea totale" hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra le diverse opzioni gestionali in entrambi gli EFTs per cui erano disponibili dati (7.3 e 8.2), con valori più alti nei plot soggetti a conversione (CO).

Tabella 3.2 – Criterio 1, indicatori consolidati e nuovi: valori medi ottenuti per le tre opzioni di gestione (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale). Gli indicatori con differenze significative (test KW, * $p < 0,05$) tra le opzioni di gestione sono riportati in grassetto. Sono riportati anche i risultati dei confronti a coppia (test di Mann-Whitney, $p < 0,05$), con differenze percentuali positive (+) o negative (-) tra le coppie (NA: non valutato, sfondo verde: differenze significative).

EFTs	Tipo	Indicatori/variabili (valore di P; KW test)	Valori medi			Confronti a coppie (%)		
			CO	NE	TC	CO-NE	TC-NE	TC-CO
7.3	Consolidati	Stock di carbonio nella massa in piedi (*)	152	210	42.1	-	-	-
		Massa in piedi (*)	367	505	102	-	-	-
		Contenuto di carbonio nel suolo	29.5	28.8	32.0	+	+	+
	Nuovi	Efficienza di accrescimento_LAI	1.13	0.980	NA	+	NA	NA
		Massa epigea totale (*)	478	419	220	+	-	-
8.2	Consolidati	Stock di carbonio nella massa in piedi (*)	120	152	7.50	-	-	-
		Massa in piedi (*)	284	358	17.7	-	-	-
		Contenuto di carbonio nel suolo	24.3	27.8	23.6	-	-	-
	Nuovi	Efficienza di accrescimento_LAI	1.00	0.489	NA	+	NA	NA
		Massa epigea totale (*)	363	303	160	+	-	-
9.1	Consolidati	Stock di carbonio nella massa in piedi (*)	72.5	133	NA	-	NA	NA
		Massa in piedi (*)	160	313	NA	-	NA	NA
		Contenuto di carbonio nel suolo	35.9	35.9	NA	-	NA	NA
	Nuovi	Efficienza di accrescimento_LAI	NA	0.970	NA	-	NA	NA
		Massa epigea totale	276	266	NA	+	NA	NA

In merito alle relazioni tra gli indicatori consolidati e quelli nuovi, entrambi i nuovi indicatori risultano appropriati e con prestazioni simili o migliori rispetto a quelli consolidati.

Più nel dettaglio la "Biomassa epigea totale" ha evidenziato risultati molto interessanti; questo indicatore fornisce il vantaggio di riassumere in un unico dato i livelli di produttività complessiva e, quindi, di capacità di sequestro di carbonio, rendendo possibili confronti tra tutte le diverse opzioni di gestione selvicolturale presenti.

L'indicatore è risultato un ottimo indicatore nel discriminare le opzioni di gestione, in particolare quando si considera un comune arco temporale di confronto.

3.2 Criterio 2 GFS: salute e vitalità degli ecosistemi forestali

3.2.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali

Il progetto LIFE FutureForCoppiceS relativamente al Criterio 2 considera gli indicatori elencati e descritti di seguito.

Caratteristiche dei suoli (indicatore consolidato)

Le variabili riportate sono state selezionate, tra quelle associate alle caratteristiche dei suoli, per essere maggiormente indicative di fertilità e qualità. Alcune di queste sono abbastanza stabili nel tempo (ad esempio sabbia, limo, argilla) e sono utili per stimare altri indicatori (ad es. Cx_sc), mentre altre mostrano solitamente delle variazioni su tempi medio-lunghi.

- **Saturazione in basi:** percentuale di saturazione in basi del suolo.
- **Rapporto C:N:** rapporto tra carbonio ed azoto nel suolo.
- **Sabbia:** contenuto di sabbia nel suolo.
- **Limo:** contenuto di limo nel suolo.
- **Argilla:** contenuto di argilla nel suolo.
- **Cx_sc:** limite di saturazione per il carbonio nel suolo.
- **C_sat:** grado di saturazione in carbonio.
- **Capacità di scambio cationico:** capacità di scambio cationico del suolo.
- **N totale:** contenuto di azoto nel suolo.
- **C organico 0-10cm:** contenuto di carbonio nell'orizzonte tra 0 e 10 cm. Questo indicatore, che riporta l'accumulo di carbonio nello strato superiore del suolo, è risultato molto variabile tra siti e specie. I suoli di questo orizzonte nei siti di progetto sono risultati saturi o sovrassaturi di carbonio.
- **pH:** misura l'acidità del suolo. il pH è risultato invariabilmente associato alle differenti opzioni di gestione in relazione alle specie forestali studiate. In particolare, i suoli sono caratterizzati da una reazione acida o sub-acida, con l'eccezione di un sito (Valsavignone).

In LIFE FutureForCoppiceS, nei plot di ceduo tradizionale è stata osservata maggiore acidità del suolo e minore contenuto di carbonio nello strato superficiale superiore (0-10 cm). L'acidità del suolo più bassa e il più alto contenuto di carbonio sono stati rilevati nell'opzione gestionale evoluzione naturale (NE); mentre i valori

medi erano rappresentati nell'opzione gestionale conversione (CO). In generale, gli indicatori del suolo considerati non hanno mostrato altre differenze significative tra gli approcci di gestione comparati, evidenziando come tali indicatori siano influenzati da differenze specie e sito specifiche.

Nel complesso, gli indicatori di condizione del suolo risultano appropriati (vedi tabella 3.3).

Defogliazione (indicatore consolidato)

- **Defogliazione:** ridotta densità della chioma dell'albero, perdita di aghi/foglie nella porzione di chioma valutabile rispetto ad un albero di riferimento. La defogliazione è l'indicatore più diffuso per valutare la salute e la vitalità dell'ecosistema forestale e per misurare la risposta dell'albero al cambiamento delle condizioni ambientali, come le condizioni climatiche, la deposizione di sostanze inquinanti, lo stress biotico.
- **Trasparenza:** percentuale di spazi vuoti nella porzione di chioma valutabile.

La trasparenza e la defogliazione del fogliame sono tra loro ben correlate.

In LIFE FutureForCoppiceS, questo indicatore ha mostrato differenze significative tra gli approcci gestionali solo per il faggio. In generale, i valori di defogliazione sono risultati specie-specifici.

L'indicatore risulta altamente appropriato (vedi tabella 3.3).

Danni forestali (indicatore consolidato)

- **Parti affette:** codice riferito alle parti affette dell'albero e posizionamento nella chioma.
- **Agenti/fattori di danno:** codice riferito al nome scientifico dell'agente o fattore responsabile del sintomo

Gli indicatori di danni forestali misurano la salute delle foreste quantificando le parti affette dell'albero e l'agente o il fattore responsabile dei sintomi visibili.

All'interno di LIFE FutureForCoppiceS, questo indicatore ha mostrato differenze significative tra gli approcci gestionali solo nelle foreste montane di faggio. In generale, i valori del danno forestale sono risultati specie-specifici.

L'indicatore risulta altamente appropriato (vedi tabella 3.3).

Contenuto di clorofilla Chl_SPAD (nuovo indicatore)

Chl_SPAD è una stima del contenuto fogliare di clorofilla. Mediante l'utilizzo di un clorofillometro, questa misura può essere condotta direttamente sulla foglia in modo non distruttivo (Gottardini et al. 2016).

Il contenuto di clorofilla ci fornisce un'informazione sulla vitalità dell'albero da un punto di vista funzionale. Esso può essere alterato da fattori di stress sia biotici che abiotici e può portare ad una diminuzione di resistenza della pianta.

Le misure del contenuto di clorofilla sono state condotte su foglie prelevate da porzioni di chioma esposta alla luce. Il contenuto di clorofilla non ha mostrato trend caratteristici nelle diverse opzioni gestionali per nessun EFT.

L'indicatore risulta altamente appropriato (vedi tab 3.3).

Tratti anatomici fogliari (nuovo indicatore)

I tratti anatomici fogliari possono essere indicatori di salute e vitalità dell'albero.

Nel contesto di Life FutureForCoppiceS, le misure sono state condotte su foglie completamente sviluppate e raccolte durante la stagione vegetativa (giugno-settembre). La pagina superiore di ogni foglia è stata scansionata e le immagini archiviate al fine di analizzare i tratti fogliari; a tale scopo è stato utilizzato il software ImageJ (Gottardini et al. 2016).

- **Asimmetria_Fluttuante_FA:** misura dell'asimmetria della foglia come deviazione dalla perfetta simmetria bilaterale. Si basa sulle larghezze massime delle due semi-lamine destra e sinistra
- **Lunghezza_Lamina_LL:** misura della lunghezza della lamina fogliare
- **Area_Fogliare_LA:** misura dell'area fogliare
- **Lunghezza_Fogliare_LL:** misura della lunghezza della foglia
- **Larghezza_Lamina_LW:** misura della larghezza totale della lamina fogliare
- **Larghezza_max_parte_sinistra_lamina:** misura della massima larghezza della parte sinistra della lamina
- **Larghezza_max_parte_destra_lamina:** misura della massima larghezza della parte destra della lamina
- **Peso secco:** misura del peso secco medio per foglia, calcolato su un campione di 100 foglie
- **Area_Specifica_fogliare_SLA:** rapporto tra area della foglia e peso secco. Questo indicatore viene spesso utilizzato per analizzare il tasso di crescita delle specie legnose.
In LIFE FutureForCoppiceS si sono riscontrati bassi valori di SLA in corrispondenza di bassa defogliazione ed un maggior spessore della lamina fogliare (più evidente nel caso del faggio).
- **Spessore_Lamina_LT:** misura lo spessore della lamina fogliare. È molto efficace per evidenziare la ridotta vitalità degli alberi e la resistenza ai fattori di stress.

In LIFE FutureForCoppiceS, le variabili di morfologia fogliare hanno mostrato valori sito- e specie-specifici, mentre una chiara relazione con le diverse opzioni gestionali non è stata rilevata.

L'indicatore risulta altamente appropriato (vedi tab 3.3).

Fluorescenza della clorofilla a (nuovo indicatore)

La fluorescenza della clorofilla consente di stimare le prestazioni fotosintetiche delle foglie e le variazioni in relazione ai fattori di stress. Le misure vengono eseguite su campioni di foglie completamente sviluppate raccolte durante la stagione vegetativa (giugno-settembre) (Gottardini et al., 2016). Sono state considerate le seguenti variabili:

- **F₀:** misura la fluorescenza intrinseca della foglia adattata al buio.
- **F_m:** misura la fluorescenza massima della foglia adattata al buio e trattata con un impulso di luce saturante.
- **V_i:** misura la fluorescenza variabile normalizzata allo stadio I, 30 ms dopo l'impulso luminoso. $V_i = (F_i - F_0) / (F_m - F_0)$.
- **V_j:** misura la fluorescenza variabile normalizzata nello stadio J, 2 ms dopo l'impulso luminoso. $V_j = (F_j - F_0) / (F_m - F_0)$.
- **F_v / F_m:** stima l'efficienza fotochimica massima, la resa massima della fotochimica primaria del fotosistema II (PSII). Fornisce informazioni funzionali e mette in evidenza la ridotta vitalità degli alberi e la resistenza ai fattori di stress.
- **Plabs:** stima l'indice di prestazione per la fotosintesi. $Plabs = [1 - (F_0 / F_m)] / [M_0 / V_j] * [(F_m - F_0) / F_0] * [(1 - V_j) / V_j]$.

L'indice Plabs ha mostrato valori più alti nell'evoluzione naturale per il faggio e il cerro e nella conversione per il leccio.

L'indicatore risulta altamente appropriato (vedi tabella 3.3).

Accrescimento del popolamento (nuovo indicatore)

L'accrescimento del popolamento è un indicatore quantitativo correlato alla salute e alla vitalità della foresta. L'incremento del popolamento è influenzato da variabili fisiche, chimiche e biologiche ed è strettamente correlato alle condizioni della foresta.

L'accrescimento del popolamento è calcolata come l'attuale incremento in volume ($m^3 ha^{-1} anno^{-1}$) e biomassa ($Mg ha^{-1} anno^{-1}$) sulla base di dati storici, raccolti a livello di area (come differenza tra due inventari consecutivi):

- **Accrescimento del popolamento_Volume:** misura l'accrescimento del popolamento in unità di volume.
- **Accrescimento del popolamento_Biomassa:** misura l'accrescimento del popolamento in unità di biomassa.

In Life FutureForCoppiceS, l'accrescimento del popolamento espresso sia in volume che in biomassa, è risultato essere sempre più elevata per i popolamenti in conversione.

L'indicatore risulta appropriato (vedi tabella 3.3).

Tabella 3.3 - Indicatori del Criterio 2; valutazione di appropriatezza.

	Indicatore	Applicabilità	Replicabilità	Costo	Appropriatezza
Consolidati	Caratteristiche dei suoli	media	alta	basso-alto (dipende dalle metodologie di laboratorio applicate)	appropriato
	Defogliazione	media	media	basso (non strumenti ma personale ben qualificato)	molto appropriato
	Danni forestali	media	media	basso (non strumenti ma personale ben qualificato)	molto appropriato
Nuovi	Contenuto di clorofilla	alta (misure veloci in campo o il laboratorio)	alta	basso (strumento e ore uomo)	molto appropriato
	Tratti anatomici fogliari	alta	alta	medio (strumento e ore uomo)	molto appropriato
	Fluorescenza della clorofilla	alta (misure veloci in campo o il laboratorio)	alta	medio (strumento e ore uomo)	molto appropriato
	Accrescimento del popolamento	media	media	medio	appropriato

3.2.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali

Le tabelle 3.4, 3.5 e 3.6 riportano i valori medi degli indicatori del criterio 2 (consolidati e nuovi) per i tre EFTs e le tre opzioni di gestione (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale); evidenziati con asterisco sono gli indicatori per i quali si sono riscontrate differenze significative (Test KW; * $p < 0,05$) tra le opzioni di gestione. Si riporta inoltre il segno dei confronti a coppie (%) tra diverse opzioni di gestione, con differenze significative (test di Mann-Whitney, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$) evidenziate in verde.

Nelle foreste montane di faggio (7.3, Tabella 3.4) diversi indicatori consolidati relativi al danno forestale (parte affetta, mediana della parte affetta, agente/ fattore di danno, mediana agente/ fattore di danno) e alla defogliazione (defogliazione, mediana defogliazione, trasparenza, mediana della trasparenza) mostrano differenze significative tra le tre opzioni di gestione, con valori più alti in ceduo tradizionale (TC), seguiti da quelli in conversione (CO). Allo stesso tempo, l'accrescimento (volume e biomassa) mostra i valori più bassi in TC rispetto a NE e CO, anche se con differenze non significative. Tra gli indicatori delle condizioni del suolo, il pH mostra i valori più bassi in TC, con differenze significative rispetto all'evoluzione naturale (NE). Non sono state osservate differenze significative per tutti gli altri parametri del suolo tra le opzioni di gestione.

Per quanto riguarda i nuovi indicatori, l'unico paragone possibile è tra CO e NE (perché i nuovi indicatori sono stati misurati solo nel sito "plus" di Buca Zamponi, dove l'opzione di gestione TC non era presente). Non sono state rilevate differenze significative tra queste due opzioni di gestione. In ogni caso, gli indici di prestazione fotosintetica sono risultati più elevati in NE, mentre i tratti fogliari come l'area fogliare specifica (SLA), l'asimmetria fluttuante (FA) e l'area fogliare sono più alti in CO.

Nelle foreste decidue termofile (cerrete) (8.2) (tabella 3.5) non sono state riscontrate differenze significative tra le tre opzioni di gestione, sia per gli indicatori consolidati che per quelli recentemente proposti. Anche per questo EFT, l'accrescimento (volume e biomassa) è nettamente superiore in CO rispetto a NE e TC.

Per la foreste di latifoglie sempreverdi (leccete) (9.1), il nuovo indicatore 'Accrescimento del popolamento_Biomassa' è l'unico che ha mostrato valori significativamente più alti nei plots CO che in NE (Tabella 3.6).

Tabella 3.4 – Criterio 2 indicatori nelle foreste montane di faggio (EFT 7.3): valori medi ottenuti per le tre opzioni di gestione (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale). Gli indicatori con differenze significative (test KW, * $p < 0,05$) tra le opzioni di gestione sono riportati in grassetto. Sono riportati anche i risultati dei confronti a coppia (test di Mann-Whitney, $p < 0,05$), con differenze percentuali positive (+) o negative (-) tra le coppie (NA: non valutato, sfondo verde: differenze significative).

Tipo	Indicatori /variabili (valore di P; KW test)	Valori medi			Confronti a coppie (%)		
		CO	NE	TC	CO-NE	TC-NE	TC-CO
	Caratteristiche dei suoli:						
	Saturazione in Basi	13.9	28.6	17.6	-	-	+
	Saturazione C	1.72	1.76	1.94	-	+	+
	Rapporto C:N	14.4	14.6	16.1	-	+	+
	Capacità scambio cationico	27.2	26.2	31.2	+	+	+
	Argilla	112.7	88.6	90.9	+	+	-
	Limite saturazione C	25.3	24.4	24.5	+	+	-
	C organico 0-10	43.4	43.0	47.4	+	+	+
	pH (*)	4.93	5.19	4.60	-	-	-
Consolidati	Sabbia	433	473	539	-	+	+
	Limo	430	439	368	-	-	-
	N totale	3.03	2.94	2.91	+	-	-
	Defogliazione:						
	Defogliazione (*)	25.7	22.4	37.5	+	+	+
	Defogliazione Mediana (*)	23.0	20.0	35.0	+	+	+
	Trasparenza(*)	35.7	32.4	52.5	+	+	+
	Trasparenza Mediana (*)	33.0	30.0	50.0	+	+	+
	Danni forestali:						
	Parti Affette(*)	1.31	1.00	1.67	+	+	+
	Parti Affette Mediana (*)	1.00	1.00	1.88		+	+

	Agenti/Fattori di danno (*)	2.40	2.00	3.44	+	+	+
	Agenti/Fattori di danno Mediana (*)	2.20	2.00	3.50	+	+	+
	Contenuto di clorofilla (Chl_SPAD)	36.1	37.5	NA	-	NA	NA
	Tratti anatomici fogliari:						
	Asimmetria Fluttuante FA	0.156	0.151	NA	+	NA	NA
	Lunghezza Foglia LL	61.8	59.8	NA	+	NA	NA
	Spessore Foglia LT	0.302	0.327	NA	-	NA	NA
	Larghezza Foglia LW	35.8	36.0	NA	-	NA	NA
	Larghezza Max parte sinistra lamina WL	17.7	18.0	NA	-	NA	NA
	Larghezza Max parte destra lamina WR	17.9	17.9	NA	+	NA	NA
	Area Specifica Fogliare SLA	14.9	12.3	NA	+	NA	NA
	Lunghezza Lamina LL	53.3	51.5	NA	+	NA	NA
	Area fogliare LA	1375	1314	NA	+	NA	NA
Nuovi	Peso secco	97.1	112.9	NA	-	NA	NA
	Fluorescenza della clorofilla:						
	Fm	3058.41	3009.42	NA	+	NA	NA
	Fo	526.54	511.45	NA	+	NA	NA
	Fv/Fm	0.827	0.830	NA	-	NA	NA
	Plabs	2.37	2.40	NA	-	NA	NA
	Vi	0.83	0.84	NA	-	NA	NA
	Vj	0.49	0.49	NA	-	NA	NA
	Accrescimento del popolamento:						
	Accrescimento del popolamento in Biomassa	6.87	5.35	4.21	+	-	-
	Accrescimento del popolamento in Volume	8.24	6.45	5.07	+	-	-

Tabella 3.5 – Criterio 2 indicatori in foreste decidue termofile (EFT 8.2): valori medi ottenuti per le tre opzioni di gestione (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale). Gli indicatori con differenze significative (test KW, * $p < 0,05$) tra le opzioni di gestione sono riportati in grassetto. Sono riportati anche i risultati dei confronti di coppia (test di Mann-Whitney, $p < 0,05$), con differenze percentuali positive (+) o negative (-) tra le coppie (NA: non valutato, sfondo verde: valori significativi).

Tipo	Indicatori /variabili (valore di P; KW test)	Valori medi			Confronti a coppie (%)		
		CO	NE	TC	CO-NE	TC-NE	TC-CO
	Caratteristiche dei suoli:						
	Saturazione in Basi	61.1	58.8	46.0	+	-	-
	Saturazione C	1.47	1.79	1.54	-	-	+
	Rapporto C:N	15.8	15.6	14.7	+	-	-
	Capacità scambio cationico	31.6	32.0	29.3	-	-	-
	Argilla	249.9	251.7	249.4	-	-	-
	Limite saturazione C	30.47	30.54	30.45	-	-	-
	C organico 0-10	44.6	53.7	46.8	-	-	+
	pH	5.83	5.78	6.06	+	+	+
Consolidati	Sabbia	360	327	437	+	+	+
	Limo	390	421	314	-	-	-
	N totale	2.91	3.48	3.22	-	-	+
	Defogliazione:						
	Defogliazione	12.6	12.9	11.0	-	-	-
	Defogliazione Mediana	11.5	11.7	10.0	-	-	-
	Trasparenza	15.5	17.1	13.5	-	-	-
	Trasparenza Mediana	14.4	15.8	12.5	-	-	-
	Danni forestali:						
	Parti Affette	1.20	1.17	1.08	+	-	-
	Parti Affette Mediana	1.00	1.00	1.00			

	Agenti/Fattori di danno	1.21	1.21	1.32		+	+
	Agenti/Fattori di danno Mediana	1.08	1.08	1.50		+	+
	Contenuto di clorofilla (Chl_SPAD)	41.5	38.8	41.5		+	+
	Tratti anatomici fogliari:						
	Asimmetria Fluttuante FA	0.214	0.207	0.210		+	+
	Lunghezza Lamina LL	64.9	65.5	69.3		-	+
	Area Fogliare LA	1165	1100	1308		+	+
	Lunghezza Foglia LL	75.8	76.1	79.9		-	+
	Spessore Foglia LT	0.389	0.384	0.421		+	+
	Larghezza Foglia LW	32.1	31.1	33.8		+	+
	Larghezza Max parte sinistra lamina WL	15.6	15.6	16.8			+
	Larghezza Max parte destra lamina WR	16.3	15.5	17.0		+	+
	Peso secco	122.1	93.0	124.7		+	+
Nuovi	Area Specifica Fogliare SLA	9.7	11.9	10.6		-	-
	Fluorescenza della clorofilla:						
	Fm	3153.65	3104.33	3055.68		+	-
	Fo	532.42	513.36	529.84		+	+
	Fv/Fm	0.83	0.83	0.83			
	Plabs	2.38	2.59	2.26		-	-
	Vi	0.80	0.81	0.82		-	+
	Vj	0.52	0.50	0.52		+	+
	Accrescimento del popolamento:						
	Accrescimento del popolamento in Biomassa	5.72	4.26	4.58		+	+
	Accrescimento del popolamento in Volume	6.74	5.02	5.40		+	+

Tabella 3.6.– Criterio 2 indicatori nelle foreste di latifoglie sempreverdi (leccete) (EFT 9.1): valori medi ottenuti per le tre opzioni di gestione (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: bosco ceduo tradizionale). Gli indicatori con differenze significative (test KW, * p <0,05) tra le opzioni di gestione sono riportati in grassetto. Sono riportati anche i risultati dei confronti di coppia (test di Mann-Whitney, p <0,05), con differenze percentuali positive (+) o negative (-) tra le coppie (NA: non valutato, sfondo verde: valori significativi).

Tipo	Indicatori /variabili (valore di P; KW test)	Valori medi			Confronti a coppie (%)		
		CO	NE	TC	CO-NE	TC-NE	TC-CO
	Caratteristiche dei suoli:						
	Saturazione in Basi	54.1	65.1	NA	-	NA	NA
	Saturazione C	2.69	2.33	NA	+	NA	NA
	Rapporto C:N	17.7	16.1	NA	+	NA	NA
	Capacità scambio cationico	35.7	34.2	NA	+	NA	NA
	Argilla	104.5	118.5	NA	-	NA	NA
	Limite saturazione C	25.0	25.5	NA	-	NA	NA
	C organico 0-10	66.9	58.3	NA	+	NA	NA
	pH	5.83	6.02	NA	-	NA	NA
Consolidati	Sabbia	583	552	NA	+	NA	NA
	Limo	313	330	NA	-	NA	NA
	N totale	3.90	3.64	NA	+	NA	NA
	Defogliazione:						
	Defogliazione	16.4	15.7	NA	+	NA	NA
	Defogliazione Mediana	13.3	13.8	NA	-	NA	NA
	Trasparenza	16.4	17.0	NA	-	NA	NA
	Trasparenza Mediana	13.3	15.0	NA	-	NA	NA
	Danni forestali:						
	Parti Affette	0.70	0.69	NA	+	NA	NA

	Parti Affette Mediana	0.56	0.50	NA	+	NA	NA
	Agenti/Fattori di danno	0.60	0.59	NA	+	NA	NA
	Agenti/Fattori di danno Mediana	0.57	0.25	NA	+	NA	NA
	Contenuto di clorofilla (Chl_SPAD)	46.8	46.8	NA	-	NA	NA
	Tratti anatomici fogliari:						
	Area Specifica Fogliare SLA	6.073	6.069	NA	+	NA	NA
	Asimmetria Fluttuante FA	0.089	0.081	NA	+	NA	NA
	Lunghezza Lamina LL	41.6	43.2	NA	-	NA	NA
	Area Fogliare LA	477	510	NA	-	NA	NA
	Lunghezza Foglia LL	51.2	52.3	NA	-	NA	NA
	Spessore Foglia LT	0.346	0.346	NA		NA	NA
	Larghezza Foglia LW	14.9	15.3	NA	-	NA	NA
	Larghezza Max parte sinistra lamina WL	7.4	7.6	NA	-	NA	NA
	Larghezza Max parte destra lamina WR	7.4	7.7	NA	-	NA	NA
Nuovi	Peso secco	80.1	84.4	NA	-	NA	NA
	Fluorescenza della clorofilla:						
	Fm	3669.80	3099.94	NA	+	NA	NA
	Fo	623.57	681.98	NA	-	NA	NA
	Fv/Fm	0.83	0.78	NA	+	NA	NA
	Plabs	2.67	1.43	NA	+	NA	NA
	Vi	0.80	0.82	NA	-	NA	NA
	Vj	0.49	0.61	NA	-	NA	NA
	Accrescimento del popolamento:			NA		NA	NA
	Accrescimento del popolamento in Biomassa (*)	8.45	4.35	NA	+	NA	NA
	Accrescimento del popolamento in Volume	8.52	5.12	NA	+	NA	NA

Per quanto riguarda le relazioni tra indicatori consolidati e nuovi, è stato possibile osservare che nella situazioni in cui la defogliazione, la trasparenza e il danno erano più elevati, il contenuto di clorofilla e le prestazioni fotosintetiche (espresse da Fv/Fm e Plabs) erano inferiori. Ciò suggerisce una ridotta resistenza ai fattori di stress in concomitanza condizioni peggiori di salute e vitalità; questo risultato evidenzia un collegamento tra salute della foresta ed indicatori fisiologici di risposta.

3.3 Criterio 3 GFS: funzione produttiva delle foreste (prodotti legnosi e non legnosi)

Gli indicatori testati per questo Criterio, anche se consolidati, vengono considerati nel progetto come nuovi indicatori in quanto applicati a scala di popolamento/ unità di gestione forestale.

3.3.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali

Incrementi e prelievi legnosi (nuovo indicatore - applicato a scala di popolamento/unità di gestione forestale).

L'indicatore rappresenta, a livello di sito, il bilancio tra l'incremento legnoso e le utilizzazioni periodiche ed è dato dal rapporto tra l'incremento del volume in piedi e il volume della massa intercalare nel periodo di riferimento. Il valore è anche esprimibile in percentuale [incremento di volume :100 = volume utilizzato : x] ed è riferito all'intervallo tra un intervento ed il successivo. Nel ceduo a regime, il volume utilizzato periodicamente (età della rotazione) è uguale al volume in piedi. Nella conversione ad alto fusto, il volume utilizzato (massa intercalare) è uguale ad una quota parte del volume in piedi, per ciascuno dei periodici diradamenti. In condizioni di gestione forestale sostenibile, il valore del rapporto tra utilizzazione e incremento legnoso è inferiore a 1.

L'entità di ciascun intervento selvicolturale è funzione dello stadio di sviluppo del popolamento, delle condizioni stazionali e dell'ecologia delle specie considerate.

L'indicatore è un indice efficace della gestione forestale applicata e delle entità delle utilizzazioni alle diverse età del popolamento. Il suo calcolo si basa su inventari periodici eseguiti al momento di ogni utilizzazione (pre e post) e su relazioni allometriche. L'indicatore è appropriato solo per popolamenti forestali gestiti (vedi tabella 3.7).

Legna da ardere (nuovo indicatore - applicato a scala di popolamento/unità di gestione forestale).

L'indicatore "Legna da ardere" è calcolabile solo per le opzioni gestionali ceduo e conversione all'alto fusto (cioè per quelle opzioni gestionali che prevedono utilizzazioni forestali).

L'indicatore valuta la produttività dei popolamenti in termini di volume o peso secco e quando espresso in metri cubi, fornisce il valore economico dell'utilizzazione eseguita (€/m³). I valori registrati sono relativamente alti e variano da 62 a 153 m³ ha⁻¹. A seguito dell'indagine di mercato svolta per la valutazione degli indicatori del Criterio 6 è risultato attualmente un valore di mercato della legna da ardere pari a 10-12 € / x 100 kg, vale a dire 60-66 € al m³. Questo valore di mercato è applicabile a tutte le specie considerate.

La valutazione della sostenibilità economica del prelievo di legna da ardere è di fondamentale importanza sia per i popolamenti governati a ceduo sia per quelli soggetti a conversione all'alto fusto.

L'indicatore ha di norma valori positivi nei boschi cedui a regime mentre necessita di una più attenta valutazione in caso di conversione. In questo caso, la possibilità di giungere ad un'ottimizzazione tra l'intervallo tra i diradamenti, la loro intensità e la risposta incrementale che ne consegue, permette di giungere a valori positivi dell'indicatore. Si tratta di una condizione fondamentale per promuovere la conversione all'alto fusto anche nei boschi di proprietà privata.

La dinamica dell'indicatore è coerente col tipo di gestione applicata e varia al variare delle condizioni stazionali e dell'ecologia delle specie coinvolte. I valori generalmente tendono ad aumentare con l'età dei popolamenti, ovvero con i livelli di provvigione (massa in piedi) presenti.

Produzione di funghi commerciabili (nuovo indicatore - applicato a scala di popolamento/unità di gestione forestale).

L'indicatore "Produzione di funghi commerciabili" è stato ottenuto attraverso tre raccolte effettuate nei mesi autunnali, ed ha prodotto risultati molto variabili. L'elevata variabilità dell'indicatore è legata al valore commerciale di ciascuna specie fungina (prezzo di mercato), alla quantità raccolta ed al numero di specie raccolte. Ulteriori elementi da tenere in considerazione sono le fluttuazioni del valore commerciale legate alle caratteristiche del mercato locale e alle oscillazioni delle produzioni stagionali. Difficilmente stimabili la predazione animale e la raccolta libera da parte dell'uomo.

La valutazione della produzione di funghi commerciabili rappresenta un buon indicatore degli aspetti economici e socio-ricreativi delle comunità locali, nonostante l'elevata variabilità dovuta ai diversi motivi descritti.

Le raccolte ripetute nel tempo possono tuttavia contribuire ad ottenere dati coerenti (tenendo conto anche della variabilità annuale), i quali possono essere mediati per area forestale e fornire in questo modo degli utili termini di riferimento.

I valori stimati variano da pochi euro fino a 450 euro per ettaro per anno. La produzione di funghi in ciascun sito risulta essere correlata all'opzione gestionale applicata ed è maggiore nella conversione all'alto fusto rispetto all'evoluzione naturale e nel ceduo rispetto alla conversione. I valori dell'indicatore al momento disponibili non consentono ulteriori considerazioni.

Il rilievo consiste nella raccolta di funghi effettuata sempre dallo stesso gruppo di persone esperte, con la presenza di almeno un micologo, che procedono ad identificare e a contare tutti i corpi fruttiferi dei funghi epigei commerciabili, in buono stato di conservazione, con diametro del cappello maggiore di 2 centimetri. Il materiale fresco raccolto viene poi essiccato fino a peso costante e misurato. Il valore di mercato delle singole raccolte è stimato attraverso dettagliate indagini e interviste ai portatori di interesse nei mercati locali, escludendo volutamente i prodotti di provenienza estera.

In considerazione di tutti i motivi descritti l'indicatore risulta essere moderatamente appropriato (vedi tabella 3.7).

Table 3.7 – Indicatori del Criterio 3; valutazione di appropriatezza.

	Indicatori	Applicabilità	Replicabilità	Costo	Appropriatezza
Nuovi	Incrementi e prelievi legnosi	media	alta	medio	appropriato
	Legna da ardere	media	alta	medio	appropriato
	Produzione di funghi commerciabili	media (necessità di rilevatori esperti)	bassa (necessità di rilevatori esperti)	alta	moderatamente /scarsamente appropriato

3.3.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali

La Tabella 3.8 riporta i valori medi degli indicatori del Criterio 3 (solo nuovi indicatori) per le tre opzioni di gestione (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale) e per i tre EFTs, con indicazione delle differenze statisticamente significative (test KW; * $p < 0.05$) tra le diverse opzioni. Vengono riportati anche i confronti a coppie (%) tra le diverse opzioni gestionali, con differenze significative (test di Mann-Whitney; * $p < 0,05$).

L'indicatore "Incrementi e prelievi legnosi" calcolato a livello di popolamento, ha mostrato valori significativamente più alti nei plot a TC, sia nelle faggete (7.3) sia nei boschi di querce caducifoglie (8.2), ovvero i due EFTs per i quali erano disponibili dati.

I valori medi dell'indicatore per CO e TC sono risultati rispettivamente del 63.7% e del 77.5%. Entrambe i valori sono superiori al livello di riferimento italiano per "Incrementi e prelievi legnosi" il quale è pari a 39.2%, ma inferiori a quello su scala europea pari al 72% per le regioni del Centro-Ovest e del Nord Europa (FOREST EUROPE, 2015). Il rapporto tra incremento legnoso e utilizzazioni è relativamente stabile e rimane inferiore all'80% nella maggior parte dei paesi europei. Questi valori dei tassi di utilizzazione hanno permesso l'aumento dei livelli provvigionali del patrimonio forestale considerato nel suo complesso. Tuttavia, un valore del tasso di utilizzazione pari al 70% dell'incremento legnoso è quello raccomandato per garantire una gestione sostenibile delle foreste (EEA, 2017).

Gli altri due indicatori, "Produzione di funghi commerciabili" e "Legna da ardere" hanno riportato valori più alti nelle leccete e nelle faggete in conversione (CO) rispettivamente, e nei cedui di cerro (TC).

Tabella 3.8 - Indicatori del Criterio 3 (solo nuovi): valori medi ottenuti per i 3 EFTs e per le tre opzioni di gestione selvicolturale. (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale). Sono riportati in grassetto gli indicatori con differenze statisticamente significative (test KW, * p <0,05) tra le opzioni di gestione. Sono riportati anche i risultati dei confronti a coppia (test di Mann-Whitney, p <0,05), con differenze percentuali positive (+) o negative (-) tra le coppie (NA: non valutato, evidenziati in verde: valori significativi).

EFTs	Indicatori /variabili (valore di P; KW test)	Valori medi			Confronti a coppie (%)		
		CO	NE	TC	CO-NE	TC-NE	TC-CO
7.3	Incrementi e prelievi legnosi (*)	46.0	NA	64.5	NA	NA	+
	Produzione di funghi commerciabili	59.8	0.000	NA	NA	NA	NA
	Legna da ardere (*)	261	NA	164	NA	NA	-
8.2	Incrementi e prelievi legnosi (*)	50.8	NA	90.4	NA	NA	+
	Produzione di funghi commerciabili	4.42	17.2	131	-	+	+
	Legna da ardere	151	NA	171	NA	NA	+
9.1	Incrementi e prelievi legnosi	105	NA	NA	NA	NA	NA
	Produzione di funghi commerciabili	297	0.000	NA	NA	NA	NA
	Legna da ardere	212	NA	NA	NA	NA	NA

3.4 Criterio 4 GFS: diversità biologica negli ecosistemi forestali

3.4.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali

Composizione arborea specifica (indicatore consolidato)

L'indicatore si riferisce alla composizione arborea rilevata per unità di campionamento (plot, 10x10 m). Questo indicatore è un descrittore quantitativo ottenuto dalla misurazione dell'area basimetrica di ciascuna specie arborea presente all'interno dei plot. L'area basimetrica è ottenuta a partire dal diametro misurato su ciascun tronco di albero presente nel plot. Il diametro di ciascuna specie arborea è stato misurato durante i rilievi in campo. Il parametro calcolato è stato Area_Bas_Sp_Arboree. Questo parametro non è stato utilizzato per le analisi statistiche generali eseguite su tutti gli indicatori in quanto non riconducibile ad un unico valore per plot. Per queste analisi è stato usato il parametro derivato Ricchezza_Sp_Arboree (cioè il numero di specie arboree per plot).

L'indicatore risulta molto appropriato (vedi tabella 3.9).

Specie arboree introdotte (indicatore consolidato)

L'indicatore si riferisce alla composizione delle specie arboree introdotte (aliene) rilevata per unità di campionamento (plot). Questo indicatore è un descrittore quantitativo espresso da Area_Bas_Sp_Arboree_Introdotte, ottenuto dalla misurazione dell'area basimetrica di ciascuna specie

arborea introdotta presente all'interno dei plot. Nessuna specie arborea introdotta è stata trovata nei siti del progetto, quindi non è stato possibile calcolare questo parametro.

Legno morto (indicatore consolidato)

L'indicatore si riferisce al volume di legno morto in piedi e a terra. L'indicatore è un descrittore quantitativo misurato come volume di legno morto in piedi e a terra effettuato mediante un campionamento sistematico a scala di macroplot. I valori sono stati determinati dai rilevamenti sul campo. I parametri calcolati sono stati Volume_Legno_Morto_A terra, Volume_Legno_Morto_In piedi. È noto che questo sia un indicatore utile per stimare la quantità di carbonio accumulata nella massa morta in piedi e a terra, che viene aggiunta allo stock di carbonio nella massa in piedi, e per la sua relazione diretta con la biodiversità animale e fungina. Tuttavia, nonostante l'elevato interesse potenziale di questo indicatore per le aree forestali protette o non gestite, la non disponibilità di dati per alcune opzioni di gestione considerate in questo progetto ha impedito una valutazione specifica dell'indicatore.

Specie arboree minacciate (indicatore consolidato)

L'indicatore si riferisce alla composizione delle specie arboree minacciate secondo le categorie IUCN, rilevata per unità di campionamento (plot). L'indicatore è un descrittore quantitativo espresso dal parametro Area_Bas_Sp_Arboree_Minacciate ottenuto calcolando l'area batimetria delle specie arboree minacciate. Non sono state rilevate specie arboree minacciate nei siti del progetto, quindi non è stato possibile calcolare questo parametro.

Specie erbacee forestali (indicatore nuovo)

L'indicatore si riferisce principalmente al numero di specie erbacee esclusive dell'ambiente forestale. L'indicatore è un descrittore quantitativo espresso dal numero di specie erbacee strettamente legate all'habitat forestale rilevate per plot. Le specie forestali erbacee sono state determinate attraverso indagini sul campo. Il parametro principale calcolato è stato Ricchezza_Sp_Erb_Forestali. Oltre alla ricchezza, sono stati ottenuti altri due parametri relativi alla diversità (usando l'indice di Shannon) e alla "uniformità" (usando l'indice di Pielou): Indice_Shannon_Sp_Erb_Forestali e Indice_Pielou_Sp_Erb_Forestali.

Il nuovo indicatore Ricchezza_Sp_Erb_Forestali è risultato molto appropriato (vedi tabella 3.9) per discriminare i diversi tipi di opzioni di gestione in relazione alle diverse specie forestali studiate, poiché la vegetazione erbacea esclusiva dell'ambiente forestale è estremamente sensibile ai cambiamenti di luce, microclima, ventilazione, che si verificano in relazione alla gestione forestale. Per effettuare il rilievo è necessaria la presenza di due operatori in grado di riconoscere le specie in campo o identificarle in laboratorio.

Specie erbacee native (indicatore nuovo)

L'indicatore si riferisce principalmente al numero di specie erbacee native. L'indicatore è un descrittore quantitativo espresso dal numero di specie erbacee per plot. La ricchezza delle specie erbacee native è stata determinata attraverso indagini di campo. Il parametro principale ottenuto è stato Ricchezza_Sp_Erb_Native. Oltre alla ricchezza, sono stati ottenuti altri due parametri relativi alla diversità (usando l'indice di Shannon) e alla "uniformità" (usando l'indice di Pielou): Indice_Shannon_Sp_Erb_Native e Indice_Pielou_Sp_Erb_Native.

Il parametro principale Ricchezza_Sp_Erb_Native è risultato altamente appropriato (vedi tabella 3.9) nel discriminare le diverse opzioni gestionali in relazione alle diverse specie forestali studiate, anche se con una tendenza disomogenea nei tre EFTs.

Tra le diverse categorie di piante erbacee analizzate come possibili indicatori, le piante erbacee native sembrano essere quelle più adatte. La loro ricchezza è positivamente correlata con la ricchezza delle specie erbacee forestali. Per eseguire indagini sul campo è necessaria la presenza di due operatori in grado di riconoscere le specie vascolari sul campo o identificarle in laboratorio.

Specie erbacee introdotte (indicatore nuovo)

L'indicatore si riferisce principalmente al numero di specie erbacee aliene ovvero introdotte da luoghi diversi da quello di origine. L'indicatore è un descrittore quantitativo espresso dal numero di specie erbacee per plot. La ricchezza di specie erbacee aliene è stata determinata attraverso indagini di campo. Il parametro principale calcolato è stato Ricchezza_Sp_Introdotte. Oltre alla ricchezza, sono stati ottenuti altri due parametri relativi alla diversità (usando l'indice di Shannon) e alla "uniformità" (usando l'indice Pielou):

Indice_Shannon_Sp_Erb_Introdotte e Indice_Pielou_Sp_Erb_Introdotte, ma la quasi totale assenza di specie aliene (solo una specie è stata registrata) e la conseguente non disponibilità dei dati non hanno consentito il calcolo dei parametri e una valutazione specifica all'interno del progetto.

Specie erbacee di interesse prioritario (indicatore nuovo)

L'indicatore si riferisce principalmente al numero di specie erbacee di interesse conservazionistico, che sono incluse negli elenchi di attenzione a livello regionale e nazionale, Direttive internazionali e Liste rosse. L'indicatore è un descrittore quantitativo espresso dal numero di specie erbacee per plot. La ricchezza delle specie erbacee è stata determinata attraverso indagini di campo. Il parametro principale calcolato è stato Ricchezza_Sp_Interesse. Oltre alla ricchezza, sono stati ottenuti altri due parametri relativi alla diversità (usando l'indice di Shannon) e alla "uniformità" (usando l'indice di Pielou): Indice_Shannon_Sp_Erb_Interesse e Indice_Pielou_Sp_Erb_Interesse. A causa del basso numero di specie di interesse conservazionistico, il parametro principale Ricchezza_sp_Interesse non ha dato risultati rilevanti.

Licheni epifiti (indicatore nuovo)

L'indicatore si riferisce al numero di specie di licheni epifiti (solo licheni foliosi e fruticosi, con esclusione delle specie crostose). L'indicatore è un descrittore quantitativo espresso dal numero di specie di licheni che sono state registrate su 4 alberi selezionati all'interno del macroplot. La ricchezza delle specie di licheni è stata determinata attraverso indagini di campo. Il parametro principale calcolato è stato Ricchezza_Sp_Licheni. Oltre alla ricchezza, sono stati ottenuti altri due parametri relativi alla diversità (usando l'indice di Shannon) e alla "uniformità" (usando l'indice di Pielou): Indice_Shannon e Indice_Pielou. Il parametro principale Ricchezza_Sp_Licheni è risultato appropriato (vedi tabella 3.9) per discriminare i diversi tipi di trattamento in relazione ai diversi tipi di foresta, anche se con una tendenza disomogenea nei tre EFTs.

Per eseguire l'indagine è necessaria la presenza di personale specializzato e la disponibilità di strumenti specifici.

Funghi lignicoli (indicatore nuovo)

L'indicatore si riferisce al numero di specie di funghi lignicoli. L'indicatore è un descrittore quantitativo espresso dal numero di specie di funghi per plot. La ricchezza di specie di funghi è stata determinata da indagini di campo. Il parametro calcolato è stato Ricchezza_Sp_Funghi_Lignicoli che si è dimostrato un indicatore appropriato (vedi tabella 3.9) per discriminare le diverse opzioni gestionali in relazione ai diversi tipi di foresta confrontati.

La presenza di operatori specializzati è necessaria per svolgere le indagini.

Uccelli nidificanti (indicatore nuovo)

L'indicatore si riferisce al numero di specie di uccelli tipici degli habitat forestali ed è applicato utilizzando il metodo del conteggio puntiforme. L'indicatore è un descrittore quantitativo rilevato su scala di area.

A causa dell'adiacenza delle aree sottoposte a diversi trattamenti selvicolturali, non è stato possibile valutare il valore dell'indicatore a livello di area, sebbene esso sia di interesse generale.

Funghi commerciabili (indicatore nuovo)

L'indicatore si riferisce al numero di specie e alla biomassa dei funghi commerciabili. L'indicatore è un descrittore quantitativo rilevato a scala di macroplot. La ricchezza di specie di funghi è stata determinata da indagini di campo. I valori della biomassa (peso secco) sono stati misurati dopo l'essiccazione in forno ventilato fino al raggiungimento di un peso costante. I parametri calcolati sono stati Biomassa_Sp_Funghi_Comestibili e Ricchezza_Sp_Funghi_Comestibili. L'indicatore è risultato scarsamente appropriato (vedi tabella 3.9) non tanto per costi e replicabilità, ma per la limitata applicabilità, data la necessità di serie di dati pluriennali per valutazioni più accurate. La presenza di operatori specializzati è necessaria per svolgere le indagini.

Table 3.9 – Indicatori del Criterio 4; valutazione di appropriatezza.

	Indicatori	Applicabilità	Replicabilità	Costo	Appropriatezza
Consolidati	Composizione arborea specifica	alta	alta	basso	molto appropriato
Nuovi	Specie erbacee forestali	alta	alta	medio	molto appropriato
	Specie erbacee native	alta	alta	medio	molto appropriato
	Licheni epifiti	media	media	medio	appropriato
	Funghi lignicoli	media	media	medio	appropriato
	Funghi commerciabili	media	bassa	alta	moderatamente/scarsamente appropriato

3.4.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali

La Tabella 3.10 riporta i valori medi degli indicatori del Criterio 4 (consolidati e nuovi) per le 3 opzioni gestionali (CO: conversione; NE: evoluzione naturale; TC: ceduo tradizionale), e per i tre ETFs; evidenziati con asterisco sono gli indicatori per i quali si sono riscontrate differenze significative (KW test; * $p < 0.05$) tra le opzioni gestionali. È stata eseguita anche un'analisi Pair comparisons (%) tra le opzioni gestionali; si riporta il segno dei confronti con le differenze significative (Mann-Whitney test; * $p < 0.05$) evidenziate in verde.

Nella faggeta (7.3) differenze significative sono state rilevate solo per il nuovo indicatore Ricchezza_Sp_Erb_Forestali ($p < 0, 05$) che ha valori più alti nei plot CO rispetto ai plot NE. Negli altri confronti non sono state riscontrate differenze significative. Tuttavia Ricchezza_Sp_Erb_Native ha valori più alti nei plot CO, mentre Ricchezza_Sp_Arbore, Ricchezza_Sp_Licheni e Ricchezza_Sp_Funghi_Lignicoli hanno mostrato i valori più alti nei plot NE.

Nelle foreste di querce decidue (8.2) sono state rilevate differenze significative solo per l'indicatore consolidato Ricchezza_Sp_Arboree ($p < 0, 05$) che presenta valori più alti nei plot CO rispetto ai plot NE. Tuttavia, gli indicatori Ricchezza_Sp_Erb_Native e Ricchezza_Sp_Funghi_Lignicoli hanno i valori più alti nei plot NE, e Ricchezza_Sp_Funghi_Commestibili, Ricchezza_Sp_Erb_Forestali e Ricchezza_Sp_Licheni hanno i valori più alti nei plot TC.

Nelle foreste di querce sempreverdi (9.1) sono state rilevate differenze significative solo per il nuovo indicatore Ricchezza_Sp_Erb_Native ($p < 0,05$) con valori più alti nei plot CO e NE. Tuttavia, Ricchezza_Sp_Erb_Forestali e Ricchezza_Sp_Licheni hanno i valori più alti nei plot CO, mentre Ricchezza_Sp_Arboree e Ricchezza_Sp_Funghi_Lignicoli hanno i valori più alti nei plot NE.

Table 3.10 – Indicatori del Criterio 4: valori medi ottenuti per i 3 EFTs e per le tre opzioni di gestione selvicolturale. (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale). Sono riportati in grassetto gli indicatori con differenze statisticamente significative (test KW, * $p < 0,05$) tra le opzioni di gestione. Sono riportati anche i risultati dei confronti a coppia (test di Mann-Whitney, $p < 0,05$), con differenze percentuali positive (+) o negative (-) tra le coppie (NA: non valutato, evidenziati in verde: valori significativi).

EFTs	Tipo	Indicatori /variabili (valore di P; KW test)	Valori medi			Confronti a coppie (%)		
			CO	NE	TC	CO-NE	TC-NE	TC-CO
		Ricchezza_Sp_Arboree	1.30	2.00	1.00	-	-	-
	Cons	Volume_Legno_Morto_A terra	NA	27.6	NA	NA	NA	NA
		Volume_Legno_Morto_In piedi	NA	65.6	NA	NA	NA	NA
		Biomassa_Sp_Funghi_Commestibili	18.0	NA	NA	NA	NA	NA
7.3		Ricchezza_Sp_Funghi_Commestibili	2.25	0.000	NA	Inf	NA	NA
	Nuovi	Ricchezza_Sp_Erb_Forestali (*)	2.00	1.00	NA	+	NA	NA
		Ricchezza_Sp_Licheni	3.00	4.00	NA	-	NA	NA
		Ricchezza_Sp_Erb_Native	5.25	1.00	NA	+	NA	NA
		Ricchezza_Sp_Funghi_Lignicoli	9.50	15.0	NA	-	NA	NA
		Ricchezza_Sp_Arboree (*)	2.50	2.30	1.50	+	-	-
	Cons	Volume_Legno_Morto_A terra	NA	44.8	NA	NA	NA	NA
		Volume_Legno_Morto_In piedi	NA	25.7	NA	NA	NA	NA
		Biomassa_Sp_Funghi_Commestibili	3.87	18.4	16.1	-	-	+
8.2		Ricchezza_Sp_Funghi_Commestibili	2.00	1.00	4.50	+	+	+
	Nuovi	Ricchezza_Sp_Erb_Forestali	9.00	12.0	14.0	-	+	+
		Ricchezza_Sp_Licheni	8.00	5.00	9.00	+	+	+
		Ricchezza_Sp_Erb_Native	24.0	26.0	25.5	-	-	+
		Ricchezza_Sp_Funghi_Lignicoli	10.0	13.0	7.50	-	-	-
		Ricchezza_Sp_Arboree	1.40	2.40	NA	-	NA	NA
9.1	Cons	Volume_Legno_Morto_A terra	NA	13.4	NA	NA	NA	NA
		Volume_Legno_Morto_In piedi	NA	36.4	NA	NA	NA	NA

	Biomassa_Sp_Funghi_Commestibili	57.0	NA	NA	NA	NA	NA
	Ricchezza_Sp_Funghi_Commestibili	0.833	0.000	NA	Inf	NA	NA
Nuovi	Ricchezza_Sp_Erb_Forestali	3.00	2.33	NA	+	NA	NA
	Ricchezza_Sp_Licheni	5.17	2.00	NA	+	NA	NA
	Ricchezza_Sp_Erb_Native (*)	16.2	5.33	NA	+	NA	NA
	Ricchezza_Sp_Funghi_Lignicoli	3.50	4.00	NA	-	NA	NA

I dati raccolti hanno permesso di avere un quadro indicativo delle relazioni tra indicatori nuovi e tradizionali in risposta alle opzioni gestionali. Sebbene la mancanza di dati storici non consenta di confrontare periodi più lunghi, è stato tuttavia possibile, sulla base dei risultati ottenuti, valutare l'efficacia di indicatori consolidati e nuovi e individuare quelli di maggior interesse per la valutazione dell'impatto delle diverse opzioni di gestione sulle foreste del sud Europa. In generale, tutti i parametri relativi ai nuovi indicatori hanno presentato valori più elevati in TC rispetto alle altre opzioni gestionali. Tuttavia, dobbiamo tenere conto del fatto che i plot con l'opzione TC erano molto pochi e spesso senza repliche, il che spiega anche la bassa variabilità dei parametri. Le specie di piante erbacee, come previsto, costituiscono un buon surrogato per la biodiversità vegetale totale. La ricchezza di specie erbacee autoctone è ben correlata con la ricchezza totale delle specie erbacee e quindi può essere considerata un buon proxy di queste ultime. Allo stesso modo, anche la ricchezza delle specie erbacee forestali è risultata positivamente correlata con la ricchezza delle specie legnose. Le principali correlazioni negative sono state trovate tra l'area basimetrica (a scala di plot) delle specie arboree e la ricchezza delle specie erbacee native, la ricchezza delle specie di licheni e la diversità delle specie vegetali. Altri indicatori come i licheni e i funghi lignicoli possono essere utili per valutare lo stato fitosanitario e sanitario dei boschi.

In sintesi, il confronto tra i parametri relativi agli indicatori consolidati e quelli relativi ai nuovi indicatori presenta un quadro variegato. Le principali correlazioni positive sono state riscontrate tra la ricchezza delle specie legnose e la ricchezza totale delle specie erbacee. Le principali correlazioni negative state riscontrate tra l'area basimetrica delle specie arboree, le piante erbacee e la ricchezza dei licheni.

3.5 Criterio 5 GFS: funzioni protettive delle foreste

3.5.1 Descrizione degli indicatori e risultati principali

Copertura delle briofite (nuovo indicatore)

Il ruolo delle briofite negli ecosistemi forestali è complesso e comprende le attività di pedogenesi e biodecomposizione della sostanza organica, la regolazione del flusso idrico proveniente dalle precipitazioni e la sintesi di materia organica. Questo indicatore valuta la presenza/assenza di briofite. La copertura delle briofite deve essere valutata a partire da osservazioni di presenza/assenza (1/0) in ogni punto di campionamento.

La copertura delle briofite non risulta efficiente nel discriminare differenze tra tipi di trattamento e specie forestali.

L'indicatore proposto è applicato a scala locale, in particolare a livello di Macroplot.

Le misurazioni di tale indicatore sono facilmente ottenibili, ma poco oggettive e precise.

L'indicatore è moderatamente appropriato (vedi tab. 3.11).

Ritenzione idrica (nuovo indicatore)

Questo indicatore viene valutato sulla base del calcolo dell'indice di Kennessey (Flood retention Index - FRI), denominato anche coefficiente di deflusso. Tale indice è stato modificato al fine di produrre indicazioni sulla capacità di contrastare il deflusso idrico superficiale a scala di Macroplot, utilizzando misure relative alla copertura del piano di vegetazione inferiore e arbustivo, pendenza topografica, permeabilità del substrato roccioso. L'indice proposto varia da 0,1 (alta ritenzione) a 1,0 (alto deflusso).

L'indicatore riesce a discriminare qualche differenza rispetto al tipo di trattamento. In questo caso, le opzioni evoluzione naturale e conversione ad alto fusto hanno una maggiore capacità di trattenuta delle acque, mentre in corrispondenza dei boschi cedui si ottengono valori più elevati del coefficiente di deflusso.

L'indicatore proposto è applicato a scala locale, in particolare a livello di Macroplot.

Le misurazioni di tale indicatori sono derivate dalle informazioni raccolte per la stima della copertura del piano inferiore, ma anche da dati relativi alla geomorfologia dei Macroplot, come la pendenza del terreno e permeabilità del substrato roccioso. La pendenza topografica deve essere misurata in campo da operatori esperti tramite clisimetro. La permeabilità rocciosa viene valutata sulla base di classi di permeabilità variabili da 1 - 5 (permeabilità molto bassa - alta) attribuite da pedologi esperti. Pertanto, ognuna delle tre variabili risulta necessaria al suo computo; inoltre, si associa una bassa accuratezza ai valori calcolati di regimazione idrica del suolo.

L'indicatore è appropriato (vedi tab. 3.11).

Spessore della lettiera (nuovo indicatore)

La lettiera rappresenta lo strato organico superficiale dove avvengono i primi processi di trasformazione della necromassa in humus e quindi svolge un ruolo fondamentale nel preservare la fertilità dei suoli forestali. Inoltre, la profondità dello strato di lettiera, individuata dalla misura dello spessore della lettiera, svolge un ruolo importante per la protezione del suolo dall'erosione. Viene misurata utilizzando una barra graduata, inserita nel terreno, per la determinazione centimetrica dello spessore dello strato di lettiera.

La profondità della lettiera risulta maggiore nell'evoluzione naturale, dal momento che il sottobosco non è mai 'scoperto' durante il ciclo vitale. Tuttavia, l'indicatore risulta poco efficiente date le differenze non marcate (pochi mm) e significative solo nei confronti della ceduzione, che comporta sì cambiamenti drastici a livello dello strato superficiale, ma temporanei.

L'indicatore proposto è applicato a scala locale, in particolare a livello di Macroplot.

Le misurazioni di tale indicatore sono facilmente ottenibili, ma poco precise e con elevate incertezze relative ai valori misurati. L'accuratezza delle misure è funzione dello strumento e della tecnica utilizzata e nel caso della profondità della lettiera è di ± 1 cm.

L'indicatore è moderatamente appropriato (vedi tab. 3.11).

Copertura del soprassuolo (nuovo indicatore)

La copertura del soprassuolo è definita come la frazione di suolo ricoperta dalla proiezione verticale delle chiome. Pertanto, questo indicatore valuta la frazione di area coperta dalle chiome, rispetto alla superficie totale, espressa in termini relativi (0: assenza di copertura; 1: copertura colma, pari a 100%). La copertura è stata stimata mediante l'utilizzo di fotocamere ad angoli ristretti (30°) che permettono di stimare la copertura da immagini pseudo-zenitali.

L'indicatore risulta molto efficiente nel discriminare i diversi tipi di trattamenti in relazione alle diverse specie forestali studiate. In particolare, la copertura del soprassuolo è sensibilmente minore in corrispondenza dei boschi cedui tradizionali rispetto all'evoluzione naturale ed alla conversione ad altofusto, soprattutto nel caso del faggio.

L'indicatore proposto è applicato a scala locale, in particolare a livello di Macroplot.

Le misurazioni di tale indicatore sono facilmente ottenibili tramite tecniche di precision forestry, veloci, immediate e cost-effective, come ad esempio tramite utilizzo di strumentazioni fotografiche digitali.

L'indicatore è altamente appropriato (vedi tab. 3.11).

Copertura del sottobosco (nuovo indicatore)

La copertura del piano inferiore è definibile in analogia con quanto sopra riportato per il piano superiore. Grazie allo sviluppo recente di un metodo ottico per la stima della copertura dello strato inferiore, la sua determinazione è oggi meno problematica, data la complessità ed eterogeneità dello strato inferiore, che rende difficile la separabilità (classificazione) di pixel foglie dal substrato (background). Infatti, l'impiego di strumentazione fotografica digitale ad angoli ristretti orientati in senso pseudo-nadirale usando un bastone telescopico, ha permesso una stima agevole della copertura dello strato inferiore. In dettaglio, tale indicatore valuta la frazione di area coperta dal fogliame, rispetto alla superficie totale, espressa in termini relativi (0: assenza di copertura; 1: copertura colma, pari a 100%).

L'indicatore risulta molto efficiente nel discriminare i diversi tipi di trattamenti in relazione alle diverse specie forestali studiate. In particolare, è maggiore nelle aree trattate rispetto all'evoluzione naturale, soprattutto nel caso del cerro e del faggio.

L'indicatore proposto è applicato a scala locale, in particolare a livello di Macroplot.

Le misurazioni di tale indicatore sono facilmente ottenibili tramite tecniche di precision forestry, veloci, immediate e cost-effective, come ad esempio tramite utilizzo di strumentazioni fotografiche digitali.

L'indicatore è altamente appropriato (vedi tab. 3.11).

Table 3.11 – Indicatori del Criterio 5; valutazione di appropriatezza.

	Indicatore	Applicabilità	Replicabilità	Costo	Appropriatezza
Nuovi	Copertura delle briofite	bassa	media	basso	moderatamente/ scarsamente appropriato
	Ritenzione idrica	media	media	basso	appropriato
	Spessore della lettiera	bassa	media	basso	moderatamente/ scarsamente appropriato
	Copertura del soprassuolo	alta	alta	medio	Molto appropriato
	Copertura del sottobosco	alta	alta	medio	Molto appropriato

3.5.2 Capacità degli indicatori di valutare/monitorare i diversi approcci gestionali

La Tabella 3.12 riporta i valori medi per gli indicatori del Criterio 5 ripartiti per le diverse opzioni di gestione (CO: conversione; NE: evoluzione naturale; TC: ceduo tradizionale), e per le tre tipologie forestali (EFTs), dove le differenze significative sono evidenziate dal test KW (* $p < 0,05$) in funzione delle diverse opzioni colturali. Si riportano altresì i risultati della comparazione a coppie dei valori percentuali per le varie opzioni colturali (Mann-Whitney test; * $p < 0,05$).

La copertura del piano inferiore mostra differenze significative tra le tipologie forestali, anche se il diverso andamento nelle diverse opzioni colturali all'interno di ciascuna tipologia, rende difficile fare ulteriori considerazioni tra le tipologie indagate. Simile difformità tra le tipologie forestali si rinviene anche negli altri indicatori.

Nello specifico, in boschi di faggio (7.3) la 'Ritenzione idrica' e la 'Copertura del sottobosco' mostrano valori significativamente più alti nel TC; invece NE mostra valori significativamente più alti di copertura del soprassuolo. ($p < 0,05$).

Per i boschi caducifogli di querce termofile (8.3) nessun indicatore mostra differenze significative tra le varie opzioni di gestione. Tuttavia, la 'Copertura delle briofite' è maggiore in NE, la 'Copertura del soprassuolo nel TC, la 'Copertura del sottobosco' e lo 'Spessore della lettiera' sono più alti in CO.

In foreste di querce sempreverdi (9.1) l'indicatore 'Copertura del sottobosco' mostra valori significativamente più alti nell'evoluzione naturale, laddove gli indicatori 'Spessore della lettiera' e 'Copertura del soprassuolo' sono più alti ma non significativamente differenti da CO. La 'Copertura delle briofite' e la 'Ritenzione idrica' sono più alti in CO.

A causa della natura innovativa degli indicatori proposti per il criterio 5, non c'è comparabilità con altri indicatori misurati in programmi di monitoraggio quali UNECE/ICP e FOREST EUROPE. L'unico indicatore che permette una qualche comparazione con altri studi è la 'Copertura del soprassuolo'. I valori riscontrati per le diverse tipologie forestali sono in linea coi valori di copertura osservati in altri studi (Ciancio et al., 2006; Staelens et al. 2006). I valori di 'Copertura del sottobosco' osservati nei boschi di faggio in funzione del trattamento sono

in linea con quanto osservato da Kermavnar et al. 2019 in faggete sottoposte a interventi colturali di diversa intensità e sono in linea con quanto osservato da Chianucci et al. 2014.

*Tabella 3.12 – Indicatori del Criterio 5: valori medi ottenuti per i 3 EFTs e per le tre opzioni di gestione selvicolturale. (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale). Sono riportati in grassetto gli indicatori con differenze statisticamente significative (test KW, * p <0,05) tra le opzioni di gestione. Sono riportati anche i risultati dei confronti a coppia (test di Mann-Whitney, p <0,05), con differenze percentuali positive (+) o negative (-) tra le coppie (NA: non valutato, evidenziati in verde: valori significativi).*

EFTs	Indicators/variables (p-value KW test)	Average values			Pair comparison (%)		
		CO	NE	TC	CO-NE	TC-NE	TC-CO
7.3	Copertura delle briofite	0.009	0.000	NA	NA	NA	NA
	Ritenzione idrica (*)	0.360	0.360	0.420	+	+	+
	Spessore della lettiera	1.98	2.91	NA	-	NA	NA
	Copertura del soprassuolo (*)	0.926	0.955	0.584	-	-	-
	Copertura del sottobosco (*)	0.025	0.049	0.253	-	+	+
8.2	Copertura delle briofite	0.030	0.085	0.082	-	-	+
	Ritenzione idrica	0.290	0.290	0.290	+	+	+
	Spessore della lettiera	1.55	1.41	1.32	+	-	-
	Copertura del soprassuolo	0.784	0.808	0.812	-	+	+
	Copertura del sottobosco	0.195	0.098	0.131	+	+	-
9.1	Copertura delle briofite	0.179	0.140	NA	+	NA	NA
	Ritenzione idrica	0.243	0.227	NA	+	NA	NA
	Spessore della lettiera	1.57	1.88	NA	-	NA	NA
	Copertura del soprassuolo	0.774	0.888	NA	-	NA	NA
	Copertura del sottobosco (*)	0.039	0.070	NA	-	NA	NA

3.6 Criterio 6 GFS: funzioni e condizioni socio-economiche

Gli indicatori testati per questo Criterio, anche se consolidati, vengono considerati nel progetto come nuovi indicatori in quanto applicati a scala di popolamento/unità di gestione forestale.

3.6.1 Descrizione degli indicatori e dei principali risultati

Contributo al PIL del settore forestale (indicatore consolidato)

Il contributo del settore forestale al prodotto interno lordo (PIL), espresso nel presente studio come valore aggiunto della produzione forestale, è indicativo dell'importanza macroeconomica del settore. I valori determinati si riferiscono alle aree sperimentali del CREA e, in particolare, al valore dell'utilizzazione forestale a cui sono sottratti i costi intermedi. Il valore ottenuto è rapportato al Valore aggiunto dell'agricoltura. Il rapporto è riferito all'ettaro di superficie.

L'indicatore è stato in grado di determinare le differenze relative alle diverse opzioni di gestione. In questo caso, i valori più alti sono stati ottenuti nella conversione all'alto fusto, i valori minori nei cedui. L'indicatore proposto è applicato a livello di Distretto.

Se i dati selvicolturali ed economici sono disponibili, questo indicatore può essere replicato in qualsiasi altro contesto. Nel caso in cui non si dispone di questi dati, diventa difficile calcolare questo indicatore così come realizzare l'upscaling a livello regionale e nazionale.

L'indicatore è risultato appropriato nell'analisi e valutazione della gestione forestale sostenibile dei cedui, con particolare riferimento al contesto economico (vedi Tab 3.13).

Reddito Netto (indicatore consolidato)

La stima di questo indicatore si basa sul calcolo del valore di macchiatico, considerando un opportuno tasso di interesse e il turno (in anni) dei diversi trattamenti considerati.

Il reddito netto è risultato utile nel determinare le differenze relative alle diverse opzioni di gestione del bosco. Anche in questo caso i valori più alti sono stati registrati nella conversione all'alto fusto, ad eccezione del sito di Poggio Pievano, dove si è ottenuto un valore più alto per il governo a ceduo. L'indicatore proposto è applicato a livello distrettuale.

Questo indicatore risulta altamente appropriato nell'analisi e nella valutazione della gestione forestale dei boschi cedui con particolare riferimento al contesto economico (vedi tab 3.13). Tuttavia, per la sua applicazione è necessario acquisire sia i dati selvicolturali, che sono mediamente costosi nella loro rilevazione, sia i dati economico-finanziari.

Si tratta di dati tra l'altro necessari per l'upscaling a livello regionale e nazionale.

L'indicatore risulta molto appropriato.

Energia (nuovo indicatore)

Questo indicatore è inteso come il quantitativo di energia rinnovabile che si può ottenere dai residui dell'utilizzazione forestale. Più specificamente, si riferisce ai megawatt termici prodotti dai residui forestali disponibili. Il dato è riferito all'ettaro di superficie forestale utilizzata.

L'indicatore proposto viene applicato a livello di Distretto.

Per la determinazione dell'energia termica si utilizza la quantità di residui legnosi, espressa in metri cubi/ettaro/annui, convertita in tonnellate e moltiplicata per il potere calorifico di ciascuna specie (faggio, cerro e leccio). Il valore ottenuto è espresso in MWth ad ettaro all'anno.

L'indicatore è in grado di determinare le differenze relative ai trattamenti analizzati. I valori più alti sono stati ottenuti, per le aree esaminate, nella conversione del ceduo all'alto fusto. I valori più alti si sono registrati in Alpe di Catenaia e alle Colline Metallifere, mentre i più bassi a Is Cannoneris.

Questo indicatore è altamente appropriato ed è importante dal punto di vista economico (vedi tab 3.13) (Springer et al., 2017) ed ambientale, in quanto permette la quantificazione della produzione di energia da fonti rinnovabili. Può essere replicato in qualsiasi altro contesto. La presenza e la disponibilità di dati sui residui legnosi incide molto sul costo finale del calcolo dell'indicatore.

Accessibilità per fini ricreativi (nuovo indicatore)

La metodologia utilizzata per determinare questo indicatore si basa sulla Valutazione Contingente (CVM). I dati derivano da un campione di 275 interviste, in cui per le tre opzioni di gestione è stata espressa una disponibilità a pagare per ciascuna forma di trattamento del bosco. La stima di tale disponibilità a pagare si è basata sul *Random effects interval data regression model*.

L'indicatore è in grado di determinare le differenze relative al trattamento applicato, in particolare nelle fustaie di faggio. In questo caso, i valori più alti si hanno nella conversione all'alto fusto.

Il valore medio tra i tre EFTs più alto è per la conversione all'alto fusto che registra 8,45 euro/anno, seguita dal ceduo con 7,57 euro/annuo e dall'evoluzione naturale con 7,25 euro/anno. È replicabile in qualsiasi altro contesto in presenza di indagini campionarie sulla popolazione che usufruisce delle aree boschive a fini ricreativi. Da tenere in considerazione il costo relativo alla raccolta di dati attraverso i questionari.

Questo indicatore è altamente appropriato e importante dal punto di vista socio-ambientale, perché il valore ricreativo delle aree verdi può essere considerata l'espressione di interesse per le questioni ambientali (vedi scheda 3.13).

Commercio di legname (nuovo indicatore)

L'indicatore è dato dalla produzione di legna da ardere commercializzata. Per la determinazione dell'indicatore si tiene conto del dato statistico sulle utilizzazioni a livello provinciale (Istat 2001-2012).

L'indicatore proposto è applicato a livello di distretto. Attraverso l'acquisizione dei Piani di taglio delle particelle forestali (ove sono presenti), si può ricavare la quantità media annua di assortimenti legnosi producibili. Pertanto il quantitativo delle utilizzazioni forestali espresso in metri cubi può essere trasformato in valore con l'acquisizione dei prezzi di mercato attraverso interviste con imprese del settore, proprietari forestali e soggetti pubblici. L'indicatore può migliorare il monitoraggio della gestione forestale sostenibile nelle aree esaminate. Tuttavia, questo indicatore non è risultato adatto in quanto, alla scala utilizzata per il suo calcolo, non riesce a determinare le differenze relative al trattamento applicato.

Forza lavoro nel settore forestale (nuovo indicatore)

L'indicatore proposto è applicato a livello di singola provincia. Per il suo calcolo è utilizzato un indice di specializzazione (IS) che deriva dal rapporto tra la percentuale di lavoratori forestali rispetto al numero totale di dipendenti in agricoltura per una singola provincia e lo stesso rapporto riferito al livello regionale. I risultati

maggiori di 1 indicano una specializzazione superiore al valore medio regionale. L'indicatore può essere interessante per analizzare e valutare la gestione forestale sostenibile dal punto di vista economico e sociale. Come il precedente indicatore, non è risultato adatto agli scopi del progetto in quanto, alla scala utilizzata per la sua determinazione, non riesce a determinare le differenze relative al trattamento applicato.

Tavola 3.13 - Indicatori del Criterio 6; valutazione di appropriatezza.

	Indicatore	Applicabilità	Replicabilità	Costo	Appropriatezza
Consolidati	Contributo al PIL	Media	Media	Medio	Appropriato
	Reddito Netto	Alta	Alta	Medio	Molto appropriato
Nuovi	Energia	Alta	Alta	Medio	Molto appropriato
	Accessibilità per fini ricreativi	Alta	Alta	Medio	Molto appropriato

3.6.2 Capacità degli indicatori di valutare / monitorare diversi approcci gestionali

La tabella 3.14 riporta i valori medi degli indicatori del criterio 6 (consolidati e nuovi) per le tre opzioni di gestione (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale) e per le tre specie forestali (EFTs), con differenze significative (test KW; * p <0,05; ** p <0,01) tra le opzioni di gestione. Sono altresì riportati i segni dei confronti a coppia (%) tra diverse opzioni di gestione, con differenze significative evidenziate in verde (test di Mann-Whitney, * p <0,05; ** p <0,01).

Nelle faggete (7.3) due indicatori consolidati ("Contributo al PIL", ns; "Redditi netti", p <0,05) e due nuovi ("Energia", "Accessibilità per fini ricreativi", p <0,05) mostrano valori più elevati in CO.

Nelle foreste di querce decidue (8.2), i lotti di CO hanno mostrato valori più elevati di "Contributo al PIL" (p <0,05), "Energia" (p <0,05), "Accessibilità per fini ricreativi" (p <0,05). Valori più alti per "Redditi netti" sono invece stati rilevati in TC (p <0,05). Nelle foreste di querce sempreverdi in CO (9.1), "Contributo al PIL", "Redditi Netti" "Energia" e "Accessibilità per fini ricreativi" sono risultati significativamente più alti (p <0,05).

Tutti gli indicatori sono stati valutati dal punto di vista statistico, tuttavia gli indicatori "Forza lavoro" e "Commercio di legname", calcolati rispettivamente a livello provinciale e distrettuale, non sono stati analizzati in quanto non era possibile correlarli alle opzioni di gestione e agli EFTs.

Il confronto con i dati di FOREST EUROPE (2015) può essere effettuato in termini di "Reddito Netto" per l'anno 2010 e per la "Accessibilità per fini ricreativi".

Reddito Netto

I redditi netti ottenuti nel nostro studio possono essere confrontati con quanto riportato nel report di FOREST EUROPE (2015). I redditi netti indicati sono pari a: 36 €/ha per l'Europa sud-orientale; € 88/ha per Europa

sud-occidentale; € 97/ha per l'Europa centro orientale; € 144/ha per l'Europa centro occidentale € 144/ ha; Europa del Nord € 109 / ha. Il valore medio per l'Europa a 28 paesi è pari a € 114/ha.

I valori pubblicati sono paragonabili ai nostri risultati solo per l'Europa sud-orientale. Nelle altre aree europee la differenza è principalmente dovuta alla predominanza delle fustaie rispetto al governo a ceduo.

Accessibilità per fini ricreativi

Nel report di FOREST EUROPE (2015) questo indicatore viene valutato e riportato come "Percentuale di foreste con accesso disponibile al pubblico per scopi ricreativi", mentre nel nostro studio abbiamo valutato la disponibilità a pagare (DAP) dei visitatori delle aree forestali. Pertanto, i dati non sono direttamente confrontabili.

Per questo motivo, e per avere un confronto con altre situazioni europee, abbiamo preso in considerazione le valutazioni della funzione turistica ricreativa disponibili nella letteratura. I valori trovati sono riportati di seguito.

Merlo e Croitoru (2005) - Foreste mediterranee: 20 € / ettaro.

Fagarazzi et al. (2006) - Colline Metallifere 19 € / anno.

Romano et al. (1990) - Orecchiella (LU), 9,27 € / anno *.

Romano e Carbone (1993) - Lago di Vico (VT), 4,01 € / anno *.

Signorello (1990) – Oasi del Simeto (CT), 12,54 € / anno *.

* citato in Bishop and Romano, 1998.

Si tratta di valori riferiti ad aree forestali paragonabili al contesto forestale da noi esaminato (foreste dell'area mediterranea). Le DAP ottenute nelle aree forestali del progetto hanno valori inferiori rispetto a quelli sopra citati, sia perché riferiti ad un campione più limitato sia perché riferite a un caso specifico.

Tabella 3.14 - Indicatori del criterio 6: valori medi ottenuti per i tre EFTs e per le tre opzioni di gestione (CO: conversione, NE: evoluzione naturale, TC: ceduo tradizionale). Gli indicatori con differenze significative (test KW, * p <0,05) tra le opzioni di gestione sono riportati in grassetto. Sono riportati anche i risultati dei confronti di coppia (test di Mann-Whitney, p <0,05), con differenze percentuali positive (+) o negative (-) tra le coppie (NA: non valutato, sfondo verde: valori significativi).

EFTs	Tipo	Indicatori /variabili (valore di P; KW test)	Valori medi			Confronto a coppie (%)		
			CO	NE	TC	CO-NE	TC-NE	TC-CO
7.3	Consolidati	Contributo al PIL (**)	0.023	-0.019	0.015	-	-	-
		Reddito netto (*)	46.9	-39.8	30.7	-	-	-
	Nuovi	Energia (*)	1.68	-1.49	1.14	-	-	-
		Accessibilità per fini ricreativi (*)	8.80	8.64	7.55	+	-	-
8.2	Consolidati	Contributo al PIL (**)	0.026	-0.026	0.022	+	-	-
		Reddito netto (*)	39.0	-39.8	49.8	+	-	+
	Nuovi	Energia (**)	1.21	-1.17	0.900	+	-	-
		Accessibilità per fini ricreativi (**)	8.17	7.20	7.60	+	+	-
9.1	Consolidati	Contributo al PIL (**)	0.025	-0.023	NA	+	NA	NA
		Reddito netto (*)	35.5	-35.6	NA	+	NA	NA
	Nuovi	Energia (**)	0.80	-0.94	NA	+	NA	NA
		Accessibilità per fini ricreativi (**)	8.74	7.04	NA	+	NA	NA

4. Sostenibilità delle diverse opzioni gestionali

In questa sezione sono analizzati i risultati per rispondere al secondo obiettivo principale del progetto:

- *Dimostrare la sostenibilità delle principali opzioni di gestione forestale.*

La disponibilità di set di dati specifici per EFT ha permesso di confrontare la sostenibilità delle principali opzioni di gestione del bosco ceduo (TC, CO e NE) applicate ad aree sperimentali a lungo termine.

4.1 Approccio multivariato

Questa sezione riporta i risultati dell'analisi multivariata eseguita con un'aggregazione a livello di EFT: faggete montane (7.3), foreste decidue termofile (8.2), foreste di latifoglie sempreverdi (9.1). Questo approccio di elaborazione è stato adottato per fornire un'ulteriore sintesi e valutazione generale dei risultati del progetto e per esplorare le interazioni e le correlazioni tra gli indicatori GFS consolidati e nuovi, che rappresentano obiettivi importanti del progetto.

L'analisi delle componenti principali è stata applicata per ogni EFT (faggete montane, 7.3, foreste decidue termofile, 8.2 foreste di latifoglie sempreverdi, 9.1). Per migliorare l'interpretazione dei dati e la discussione dei risultati, gli score plots dell'ordinamento riportano anche la distribuzione dei siti del progetto.

Faggete montane (EFT 7.3)

La Figura 4.1 riporta i risultati dell'ordinamento PCA per la faggeta (EFT 7.3). Le tre opzioni di gestione risultavano chiaramente separate lungo l'Asse 1 (varianza spiegata: 54,92%), mostrando un gradiente crescente di danni forestali (indicatori "Parti affette" e "Agenti/fattori di danno") e defogliazione (Criterio 2) in corrispondenza dei plot TC.

I plot CO e NE risultavano distribuiti per i valori negativi dell'Asse 1, in relazione a un gradiente crescente dei seguenti indicatori: "Stock di carbonio" e "Biomassa epigea totale" (Criterio 1), "pH del suolo" e "Accrescimento del popolamento_Volume e Biomassa"(Criterio 2).



Figura 4.1 - Ordinamento PCA per la faggeta (EFT 7.3): score plots e loadings plot.

Foreste decidue termofile (EFT 8.2)

La Figura 4.2 riporta i risultati dell'ordinamento PCA per le Foreste decidue termofile (EFT 8.2). L'ordinamento mostra un andamento poco definito dei plot in relazione alle diverse opzioni di gestione, anche se la maggior parte dei boschi CO e NE sono distribuiti per valori negativi dell'Asse 2 (varianza spiegata: 19,69%), in relazione ad un gradiente crescente dei seguenti indicatori: 'Stock di carbonio', e 'Biomassa epigea totale' (Criterio 1), 'Accrescimento_Biomassa e Volume' (Criterio 2), 'Contributo al PIL', 'Energia'. (Criterio 6).

L'Asse 1 (varianza spiegata: 28,15%) mostra un gradiente dai plot di 'Valsavignone' (valori negativi) a quelli di 'Caselli' e 'Poggio Pievano', per valori positivi. Questi ultimi mostrano i valori più alti di indicatori di danno e

di defogliazione (Criterio 2), mentre i boschi di quercia di Valsavignone sono caratterizzati da valori più alti di 'pH del suolo' (Criterio 2).

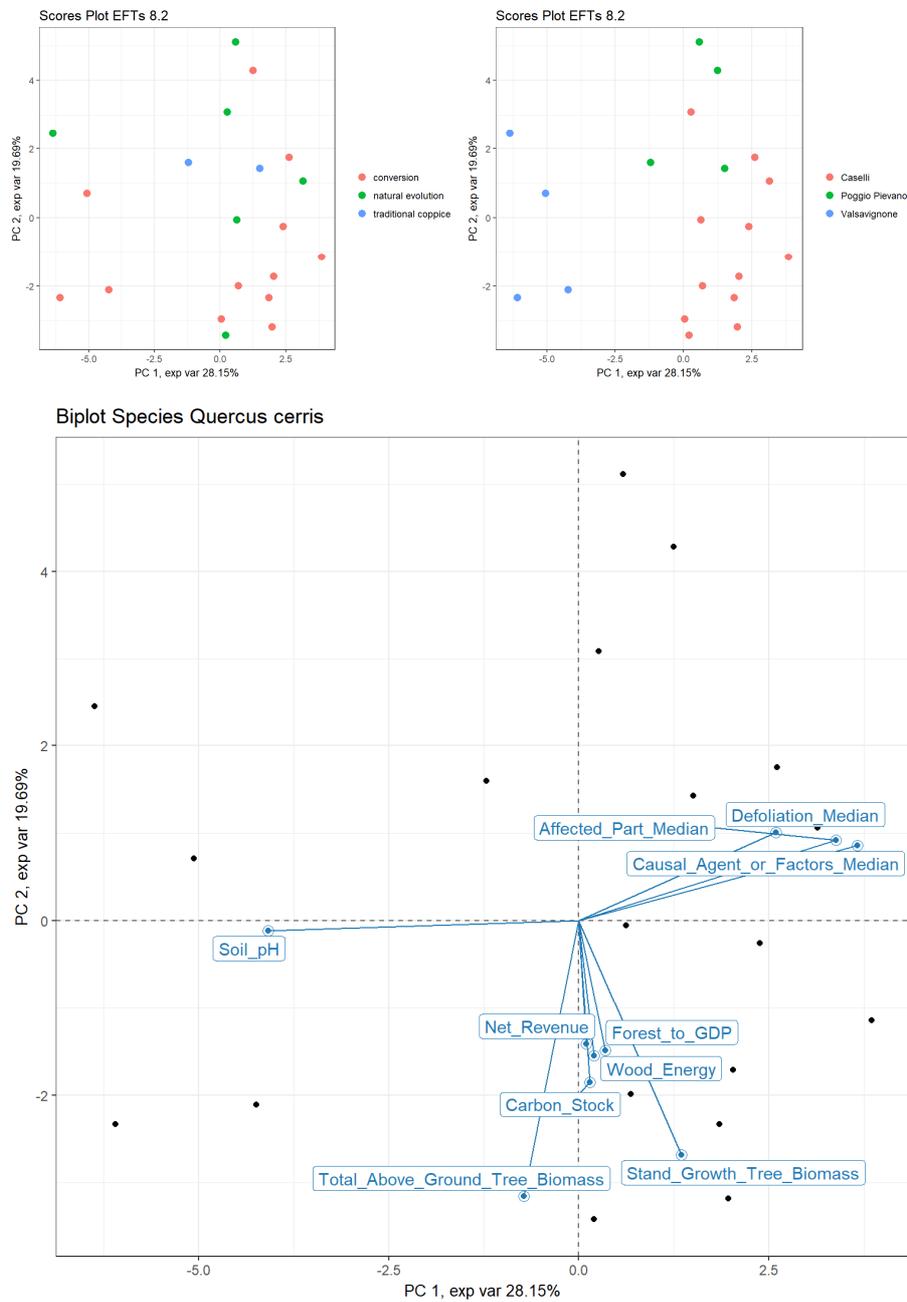


Figura 4.2 - Ordinamento PCA per la Foresta termofila decidua (EFT 8.2): score plots e loadings plot.

Foreste di latifoglie sempreverdi (EFT 9.1)

La Figura 4.3 riporta i risultati dell'ordinamento PCA per i plot di foreste di latifoglie sempreverdi (EFT 9.1). L'Asse 1 (varianza spiegata: 41,78%) separa i boschi di leccio della Toscana (Sito di 'Alberese'), per valori negativi, da quelli della Sardegna (Siti di 'Is Cannoneris' e 'Settefratelli'), distribuiti per valori positivi. Rispetto ai plot della Sardegna, i boschi di leccio toscani mostrano valori più elevati di danni forestali e defogliazione (Criterio 2). I boschi sardi, invece, mostrano un gradiente crescente dei seguenti indicatori: 'Stock di carbonio' e 'Biomassa epigea totale' (Criterio 1).

Le diverse opzioni gestionali sono chiaramente separate lungo l'Asse 2 (varianza spiegata: 19,29%), con valori positivi relativi ai plot in evoluzione naturale (NE), che mostrano un gradiente crescente dei seguenti indicatori: 'Stock di carbonio' (Criterio 1) e 'pH del suolo' (Criterio 2).

I valori negativi dell'Asse 2 mostrano i plot di leccio in conversione ad alto fusto (CO) con valori crescenti dei seguenti indicatori: 'Biomassa epigea totale' (Criterio 1), 'Accrescimento del popolamento_Biomassa e Volume' (Criterio 2) e indicatori del Criterio 6 ('Redditi netti', 'Contributi al PIL', 'Energia').

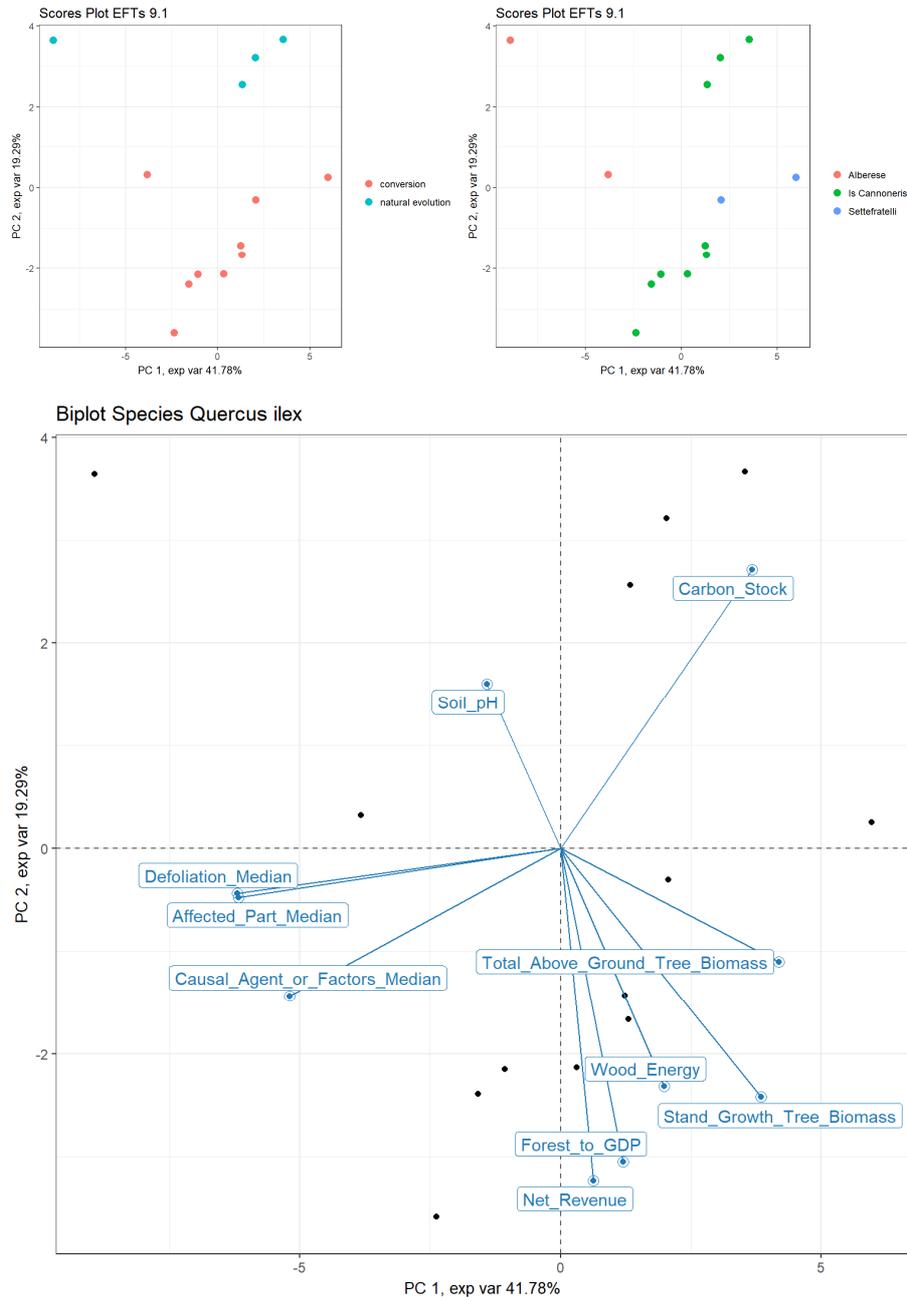


Figura 4.3 - Ordinamento PCA per Foreste di latifoglie sempreverdi (EFT 9.1): score plots e loadings plot.

4.2 Indicatori e opzioni gestionali

La Tabella 4.1 riporta uno schema di sintesi delle prestazioni di quegli indicatori (consolidati e nuovi) dei diversi Criteri GFS, che mostrano valori significativamente più bassi o più alti in relazione alle tre opzioni di gestione, per ciascun EFT.

Nel commentare separatamente i risultati per ciascun EFT è possibile evidenziare: i) gli indicatori più rilevanti e adeguati, cioè quelli che sono più influenzati dalle tre opzioni di gestione; ii) le relazioni tra indicatori appartenenti ai diversi Criteri GFS.

Faggete montane (EFT 7.3)

Per quanto riguarda le foreste di faggio, i boschi in conversione ad alto fusto (CO) mostrano valori di biomassa e sequestro di carbonio più elevati (Criterio 1) rispetto ai boschi TC, insieme a un pH del suolo più elevato e una buona salute delle foreste (valori significativamente inferiori di defogliazione e danni, Criterio 2). Questi boschi mostrano anche valori più elevati di legna da ardere (Criterio 3) e copertura del soprassuolo (Criterio 5), rispetto ai boschi gestiti a ceduo tradizionale (TC). Per quanto riguarda gli aspetti economici, questi boschi sono caratterizzati da alti valori sia di indicatori consolidati ("Reddito netto") che nuovi ("Energia" e "Accessibilità per fini ricreativi") rispetto ai boschi TC.

Per quanto riguarda l'aspetto ricreativo delle foreste di faggio CO, normalmente le persone tendono a preferire aree forestali con un numero elevato di alberi di diverse età e specie, con un sottobosco costituito da vegetazione bassa e diradata. I risultati ottenuti nella nostra analisi confermano che la conversione ad alto fusto e l'evoluzione naturale sono le opzioni di gestione meno influenzate dal taglio (al contrario del ceduo tradizionale), quindi i valori ricreativi sono più alti dei cedui. Questi alti valori sono anche legati alle foreste di faggio che sono considerate piacevoli (dal punto di vista estetico) favorendo le attività ricreative.

Le foreste di faggio in evoluzione naturale (NE) sono caratterizzate soprattutto dalla minore ricchezza di specie erbacee forestali rispetto ai boschi CO.

Oltre alle differenze con i plot CO già riportate sopra, le faggete gestite a ceduo tradizionale (TC) mostrano le più alte prestazioni in termini di rapporto tra incrementi e prelievi legnosi (Criterio 3). I valori più alti di "Ritenzione idrica" (Criterio 5) possono essere correlati al fatto che questa opzione di gestione lascia scoperta la superficie del terreno durante la prima fase della rotazione, innescando un maggiore deflusso dell'acqua. La maggiore disponibilità di luce sul terreno, favorisce un aumento della "Copertura del sottobosco". Precedenti studi sui boschi di faggio hanno mostrato una correlazione negativa significativa tra copertura del soprassuolo e copertura del sottobosco, in linea con la teoria dell'equilibrio eco-ecologico (Chianucci et al., 2014; Macfarlane et al., 2010).

Foreste decidue termofile (EFT 8.2)

Per quanto riguarda le foreste decidue termofile, i boschi CO, rispetto a quelli gestiti come TC, mostrano valori maggiori di biomassa e una buona capacità di fissazione del carbonio (Criterio 1), insieme a una maggiore ricchezza di specie arboree (Criterio 4). Per quanto riguarda gli aspetti economici, questi boschi, rispetto ai TC, mostrano valori più elevati della maggior parte degli indicatori considerati, sia consolidati ("Contributo al PIL" e "Redditi netti") sia nuovi ("Energia" e "Accessibilità per fini ricreativi").

Oltre a quanto già riportato sopra, i boschi di cerro TC sono caratterizzati da buone prestazioni del Criterio 3 in termini di incrementi e prelievi legnosi. Questi boschi hanno valori più alti di "Redditi netti" e valori più bassi di "Energia" rispetto a quelli di CO, e una maggiore "Accessibilità per fini ricreativi" rispetto ai boschi in NE.

Foreste di latifoglie sempreverdi (EFT 9.1)

Per quanto riguarda i boschi di leccio, i boschi CO, rispetto a quelli in NE, mostrano un minore sequestro di carbonio (Criterio 1) e valori più elevati di accrescimento del soprassuolo (Criterio 2) e di ricchezza di specie di piante erbacee autoctone (Criterio 4). Per quanto riguarda gli aspetti economici, come già osservato per le foreste di faggio e querce caducifoglie, questi boschi mostrano valori più alti di "Contributo al PIL", "Redditi netti", "Energia" e "Accessibilità per fini ricreativi", se confrontati con quelli di NE.

Inoltre, i boschi di leccio in NE hanno una maggiore copertura del sottobosco (Criterio 5) rispetto ai boschi CO.

Tabella 4.1 - Elenco degli indicatori con valori significativamente (test KW; * $p < 0,05$ e test di Mann-Whitney per dati appaiati) più alti (verde) o più bassi (arancione) rispetto alle altre due opzioni gestionali. CO: conversione ad alto fusto; NE: evoluzione naturale; TC: ceduo tradizionale. Gli indicatori nuovi sono sottolineati. C1-C6: Criteri 1-6.

○ Faggete montane (7.3) □ Foreste decidue termofile (8.2) △ Foreste di latifoglie sempreverdi (9.1)

Significativamente più alto Significativamente più basso

C	Indicatore	CO			NE			TC		
		7.3	8.2	9.1	7.3	8.2	9.1	7.3	8.2	9.1
C1	Stock di carbonio	●	■	▲			▲	●	■	
	Massa in piedi	●	■	▲			▲	●	■	
	<u>Biomassa epigea totale</u>	●	■					●	■	
C2	pH del suolo	●						●		
	Defogliazione	●						●		
	Danni forestali	●						●		
	<u>Accrescimento del popolamento Biomassa</u>			▲			▲			
C3	<u>Legna da ardere</u>	●						●		
	<u>Incrementi e prelievi legnosi</u>	●	■					●	■	
C4	Ricchezza_Sp_Arboree		■							
	<u>Ricchezza Sp Erb Native</u>			▲			▲			
	<u>Ricchezza Sp Erb Forest ali</u>	●			●					
C5	<u>Ritenzione idrica</u>	●						●		
	<u>Copertura del soprassuolo</u>	●						●		
	<u>Copertura del sottobosco</u>	●		▲			▲	●		
C6	Contributo al PIL		■	▲		■	▲			
	Reddito Netto	●	■	▲		■	▲	●	■	
	<u>Energia</u>	●	■	▲		■	▲	●	■	
	<u>Accessibilità per fini ricreativi</u>	●	■	▲		■	▲	●	■	

5. Upscaling dei risultati a diverse scale spaziali

5.1 Valore attuale di alcuni indicatori selezionati, andamento dei dati passati e variazioni attese per il futuro

Il processo di *upscaling* ha riguardato 25 indicatori in totale: per l'elenco dettagliato degli indicatori selezionati e le scale alle quali sono stati modellizzati, si prega di fare riferimento al Report dell' Azione B.8 (Tattoni e Rocchini, 2019).

Di seguito si riporta la descrizione di Indicatori selezionati (Massa in piedi, Contenuto di carbonio nel suolo, Defogliazione, Diversità delle specie, Copertura delle briofite, Copertura del sottobosco) ed i risultati per ciascun criterio, con particolare riferimento a: (i) i valori attuali spazializzati su scala europea; (ii) l'andamento temporale calcolato per i dati storici e (iii) la variazione attesa per il futuro, dedotta dai dati storici tramite modellazione lineare.

Criterio 1

Massa in piedi

Il modello per questo indicatore a scala europea è stato sviluppato utilizzando i dati "ICP Forests file fmd gr inv Growth and Yield assessment, Level II INV: Plot based information". Il volume effettivo per ettaro per ciascuna area di saggio è stato calcolato a livello dei plot ICP. Il numero totale di plot utilizzati è 1924; il modello di regressione PLSR è stato calcolato con cross validation, utilizzando 600 punti per calibrare il modello ed i restanti come test. La varianza spiegata in totale dal modello è 95,37%, la varianza spiegata dalla prima componente è il 48,33% e dalla seconda componente è il 16,70%. La figura 5.1 riporta la mappa spazializzata dei valori correnti di massa in piedi (m^3/ha) modellati a livello europeo, mentre la figura 5.2 rappresenta gli andamenti calcolati su dati storici (1996-2014) di massa in piedi (m^3/ha) nei punti ICP.

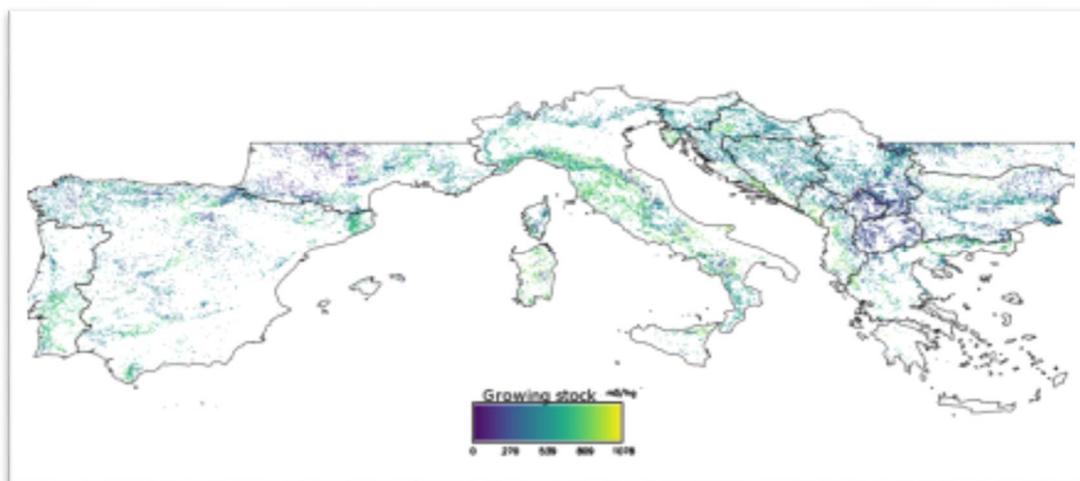


Figura 5.1 - Modello di Massa in piedi a scala Europea.

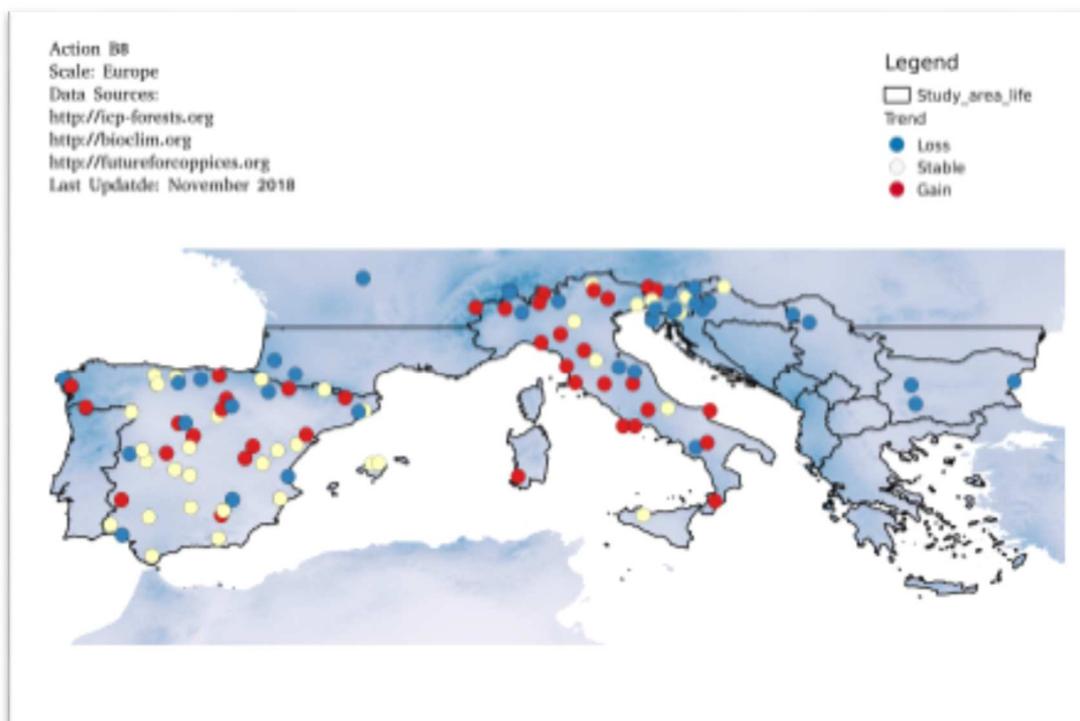


Figura 5.2 - Variazione dell'indicatore Massa in piedi in Europa (1996 - 2014)

Criterio 2

Contenuto di carbonio organico nel suolo 0-10 cm

Il modello per questo indicatore a scala europea è stato sviluppato utilizzando i dati "ICP Forests, file fmd so, Level II". Il numero totale di plot contenenti dati sul contenuto di carbonio nel suolo era di 166. I dati coprono in modo non uniforme tutte le aree di studio: un numero inferiore di campioni per i Balcani e nessuno per la Grecia, il Portogallo e la Francia. Il modello di regressione PLSR è stato calcolato con cross validation, utilizzando 100 punti per la calibrazione del modello ed i rimanenti come test. La varianza spiegata in totale dal modello è 93,23%, la varianza spiegata dalla prima componente è 44,63% e dalla seconda componente è del 17,92%. La figura 5.3 riporta la spazializzazione dei valori correnti del contenuto di carbonio organico del suolo 0-10 cm (mg / kg) modellato a livello europeo.

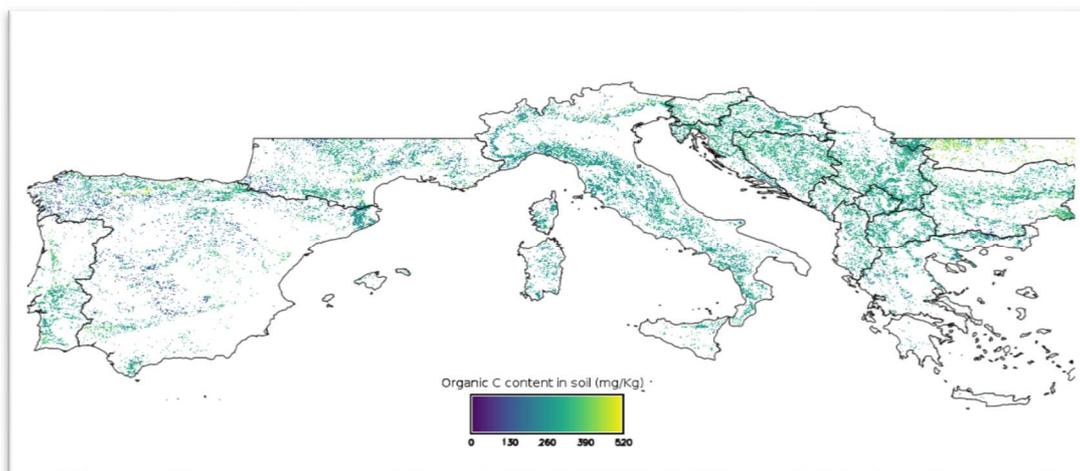


Figura 5.3 - Contenuto di carbonio organico nel suolo (0-10 cm) a scala Europea.

Defogliazione

Alla scala europea il modello è stato sviluppato utilizzando i dati di 'ICP Forests, file fmd cc trc' dal 'Visual Assessment of Crown Condition Level II TRC: Crown condition parameters'. I plot nell'area di studio sono 2206. I dati coprono tutta l'area di studio ma ci sono punti di rilevamento meno numerosi per l'area balcanica e la Grecia. Il modello di regressione PLSR è stato eseguito con una cross validation: la varianza spiegata dalla prima componente è del 32,17% e dalla seconda componente del 26,15%. I coefficienti del modello sono stati utilizzati per calcolare la defogliazione a scala europea, come mostrato in Figura 5.4.

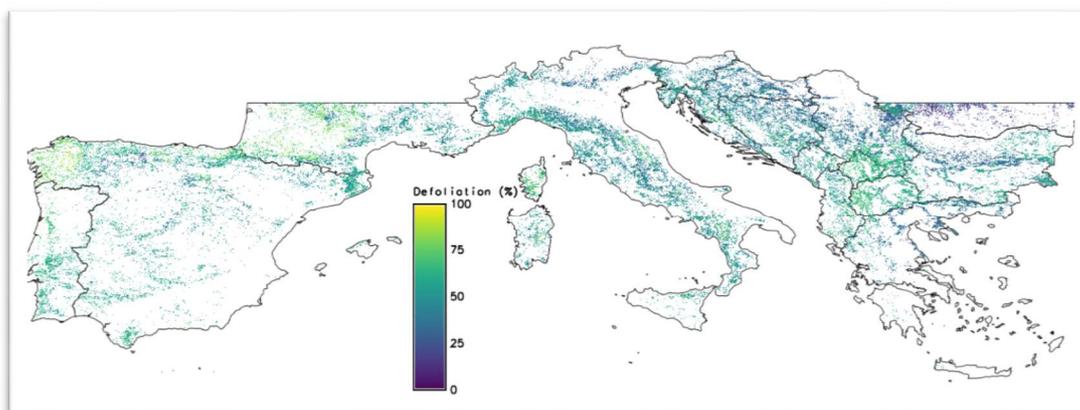


Figura 5.4 - Modello della defogliazione a scala europea.

Sono stati calcolati anche l'andamento temporale dei dati di defogliazione (figura 5.5) e la variazione attesa in futuro (figura 5.6). Si osserva un aumento generale della defogliazione nel tempo, specialmente per la variazione attesa del 2029, con possibili effetti avversi sulla salute delle foreste.

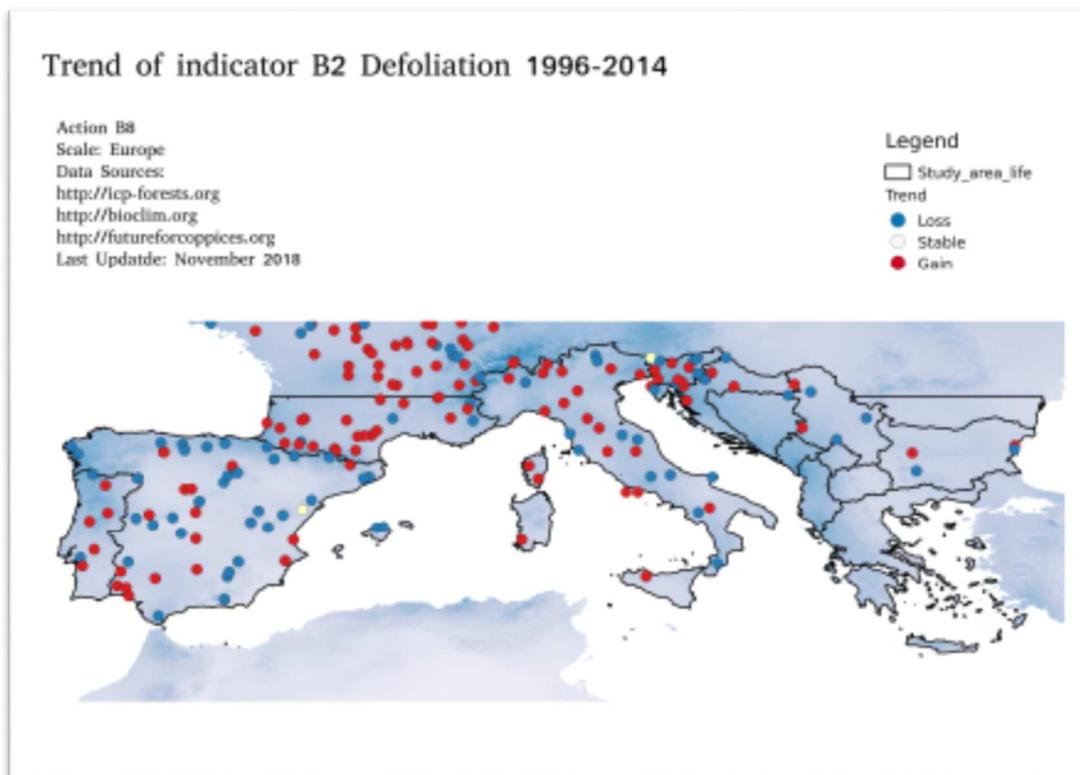


Figura 5.5 - Trend della defogliazione a scala europea

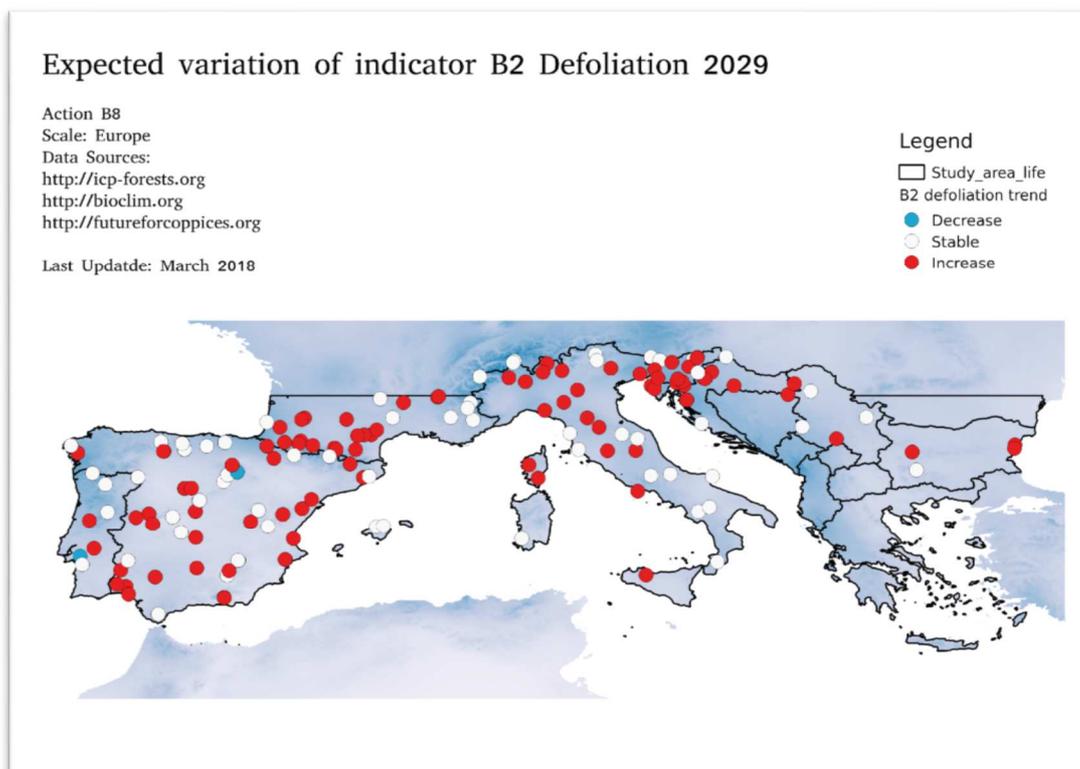


Figura 5.6- Variazione attesa della defogliazione per il 2029 nel caso permanga il trend attuale.

Criterio 4

Diversità di specie vegetali

La diversità delle specie vegetali comprende una serie di indicatori: le Specie erbacee forestali, le Specie erbacee native, le Specie aliene e le Specie erbacee di interesse prioritario. I dati a scala europea sono stati ricavati dalla banca dati di 'ICP Forests database' dall'Assessment of Ground Vegetation Level II Monitoring System. Nel database ICP i dati sono dettagliati a livello di singola specie, per questo motivo è stata creata una query in linguaggio SQL per aggregare i dati in un indice di ricchezza specifica. La valutazione viene effettuata ogni 5 anni. Viene considerato il periodo di tempo compreso tra il 2011-2014 perché nel 2014 sono stati aggiornati solo 40 plot, ed includendo i dati del 2010 i plot disponibili diventano 584. Il modello utilizzato è un modello di regressione PLSR: la varianza spiegata dalla prima componente è del 46,103% e del 21,80%, dalla seconda componente è del 12,218%; la varianza totale spiegata dal modello a 10 componenti è del 94,79%. La Figura 5.7 mostra la mappa risultante dei valori correnti di diversità delle specie vegetali superiori (ricchezza di specie) a livello europeo.

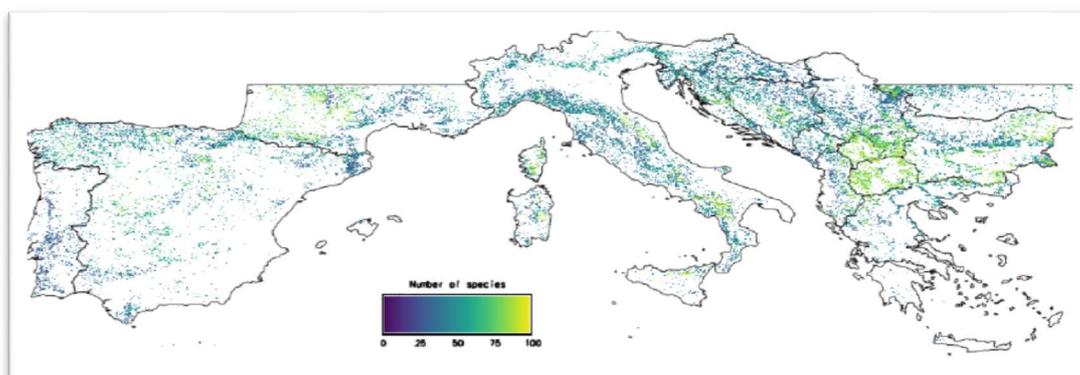


Figura 5.7 - Biodiversità delle specie vegetali a scala europea.

Criterio 5

Copertura di Briofite

I dati a scala europea sono stati ricavati dalla banca dati di 'ICP Forests database' dall'Assessment of Ground Vegetation Level II Monitoring System. Il database contiene l'elenco delle specie per plot, che sono state aggregate come numero di singole specie per plot grazie ad uno script SQL. La valutazione viene effettuata ogni 5 anni e nel periodo di tempo compreso tra il 2011-2014, per il quale sono disponibili un totale di 1538 plot. La copertura dei muschi è riportata come valore percentuale per plot.

In Portogallo e nei paesi balcanici ci sono dati mancanti. Il modello di regressione PLSR è stato eseguito con una cross validation: la varianza spiegata dalla prima componente è del 51,36% e dalla seconda componente è del 17,92%, la varianza totale spiegata dal modello a 10 componenti è del 92,68%. La Figura 5.8 mostra la spazializzazione dei valori correnti della copertura di Bryophyte (%) a livello europeo.

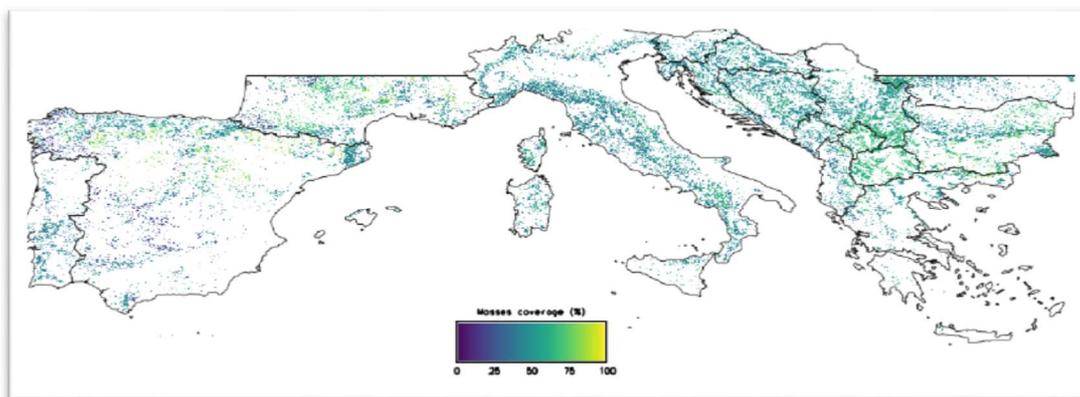


Figura 5.8 - Copertura di Bryophyte, modellata a livello europeo.

Copertura del sottobosco

I dati a scala europea per questo indicatore sono stati ricavati dalla banca dati di 'ICP Forests database' dall'Assessment of Ground Vegetation Level II Monitoring System. Il database contiene la copertura dello strato di arbusti ed erbe espressa in percentuale per ogni plot. Il periodo compreso tra il 2004 e il 2014 presenta un numero di dati sufficiente per la modellazione con un totale di 725 punti. Per il Portogallo, la Francia e l'area dei Balcani ci sono dati mancanti. Il modello di regressione PLSR è stato eseguito con cross-validation: la varianza spiegata dalla prima componente è del 51,3%, dalla seconda componente è del 14,67% e dall'intero modello del 95,55%. La Figura 5.9 mostra la spazializzazione dei valori correnti della copertura del sottobosco (%) a livello europeo.

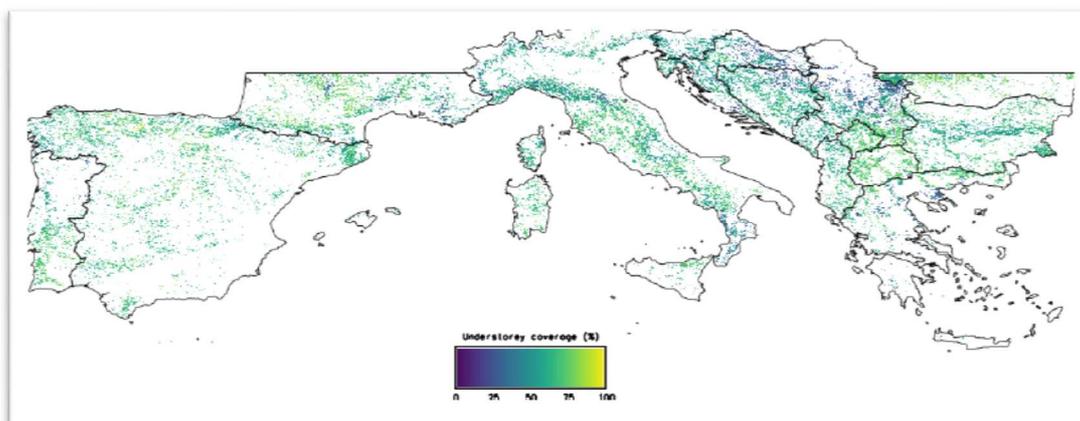


Figura 5.9 - Copertura del sottobosco a livello Europeo.

5.2 Scenari

Le simulazioni dei diversi scenari hanno riguardato le categorie di inventario forestale disponibili a livello nazionale e regionale assimilabili ai tre EFTs considerati nel progetto: il ceduo in evoluzione naturale (NE, nessun intervento di tipo selvicolturale), cedui in conversione (CO, diradamento periodico) e bosco ceduo ancora gestito (TC) delle tre specie considerate nel progetto, ovvero faggio, cerro e leccio.

In due scenari (Scenari 4 e 5), la componente a ceduo (CT) diminuisce di superficie rispetto allo Scenario 1 ("status quo", riferito all'attuale situazione di gestione), ed aumenta l'estensione delle superfici ad evoluzione naturale (NE). In quattro degli scenari proposti, una parte della superficie del bosco ceduo ad evoluzione naturale (NE) viene destinata al ceduo (TC) oppure convertita ad alto fusto (CO) rispetto allo scenario 1 "status quo" (per ulteriori dettagli si veda capitolo 2.4). Le variazioni di superficie per ciascuno dei sei Scenari sopra menzionati rispetto allo Scenario 1 "status quo" sono riportate in Tab. 5.1.

Tabella 5.1 - I sei scenari espressi come percentuale di variazione della superficie per ogni categoria forestale ed opzione di gestione.

	Categorie forestali	Variazione, %		
		NE	CO	TC
Scenario 2	Faggio	-10	+5	+5
	Leccio	-10	+5	+5
	Cerro	-10		+10
Scenario 3	Faggio	-15	+10	+5
	Leccio	-15	+10	+5
	Cerro	-20	+5	+15
Scenario 4	Faggio	+5		-5
	Leccio	+5		-5
	Cerro	+5		-5
Scenario 5	Faggio	+10		-10
	Leccio	+10		-10
	Cerro	+10		-10

	Categorie forestali	Variazione, %		
		NE	CO	TC
Scenario 6	Faggio			
	Leccio			
	Cerro	-30		+30

	Categorie forestali	Variazione, %		
		NE	CO	TC
Scenario 7	Faggio	-15	+10	+5
	Leccio	-15	+10	+5
	Cerro	-30		+30

Nelle simulazioni, sette combinazioni su nove di tipi forestali e sistemi di gestione hanno una copertura relativa inferiore al 10%, con il leccio in conversione (CO) che rappresenta il valore minimo (5%). D'altra parte, i principali motori del cambiamento dell'indicatore a livello nazionale sono stati, come previsto, i due tipi di foresta con la maggiore estensione: il cerro gestito come ceduo (TC) e il bosco ceduo di faggio in evoluzione naturale (NE), rispettivamente il 30% ed il 20% di copertura.

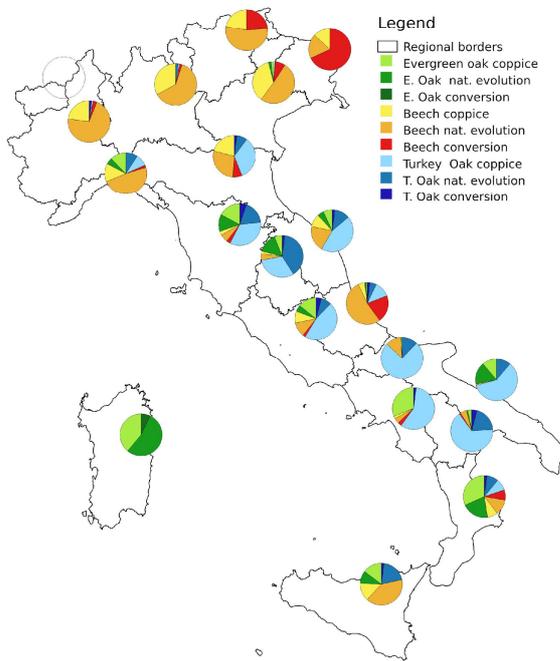
Di conseguenza, su scala nazionale, i valori complessivi registrano lievi cambiamenti, tra gli scenari, come riportato in tabella (Tabella 5.2).

Tabella 5.2 - Estensione (ha) dell'area forestale per i vari sistemi di gestione e tipi forestali in Italia nei 7 scenari.

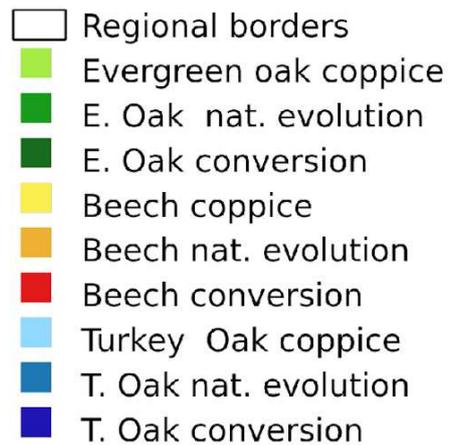
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7
Leccio, TC	172806	181447	181447	164166	155526	172806	181447
Leccio, NE	142219	124938	116298	150859	159499	142219	124938
Leccio, CO	7789	16429	25069	7789	7789	7789	16429
Faggio, TC	136241	143053	143053	129429	122617	136241	143053
Faggio, NE	303993	290369	283557	310805	317617	303993	290369
Faggio, CO	78279	85091	91903	78279	78279	78279	85091
Cerro, TC	439834	457557	448695	417842	395850	493002	493002
Cerro, NE	177229	159506	141783	199221	221213	124061	124061
Cerro, CO	35173	35173,4	61758	35173	35173	35173	35173
Totale	1493562						

A scala regionale, la diversa composizione delle categorie (specie arboree e opzioni di gestione) hanno portato a cambiamenti più evidenti. Nella Figura 5.10, per ogni regione e per ogni scenario, viene rappresentata la variazione in percentuale della superficie di ciascuna categoria di inventario forestale (specie di alberi e opzione di gestione) in base ai 7 scenari. Da notare che l'assenza delle categorie faggio e cerro in Sardegna, ha limitato il confronto a cinque scenari (1, 2, 3, 4 e 5) e ha influito sull'impatto complessivo sugli indicatori di GFS.

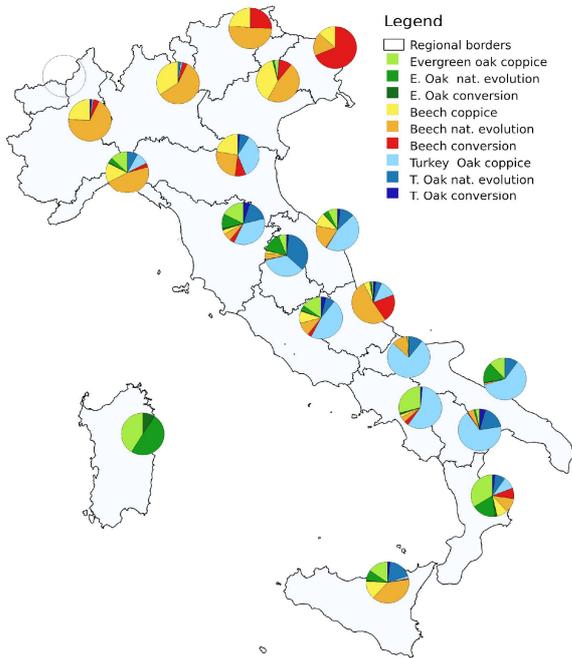
Scenario 1



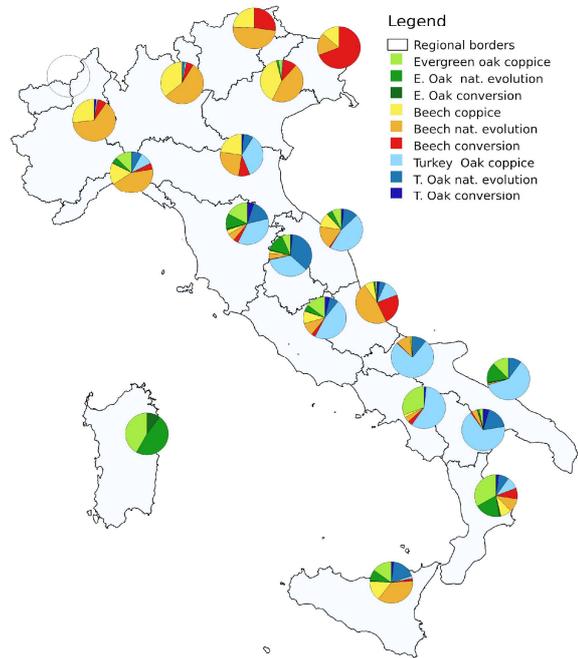
Legend



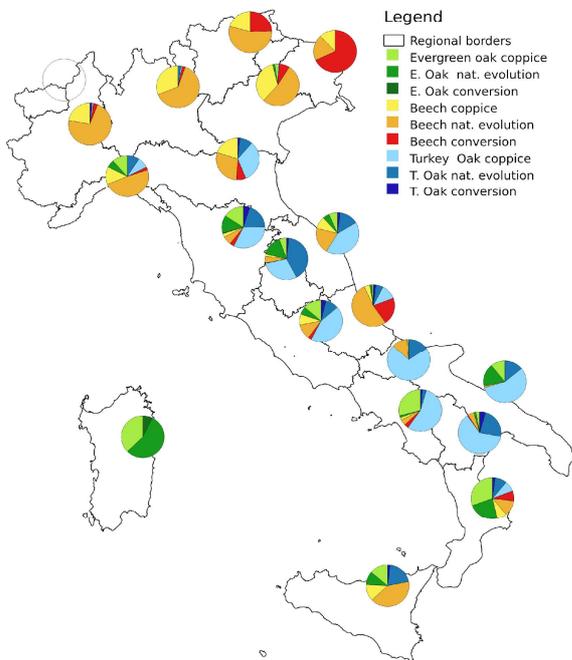
Scenario 2



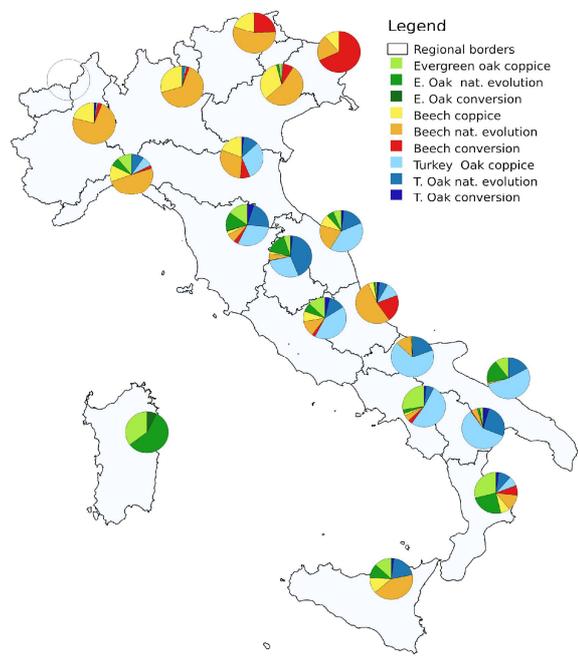
Scenario 3



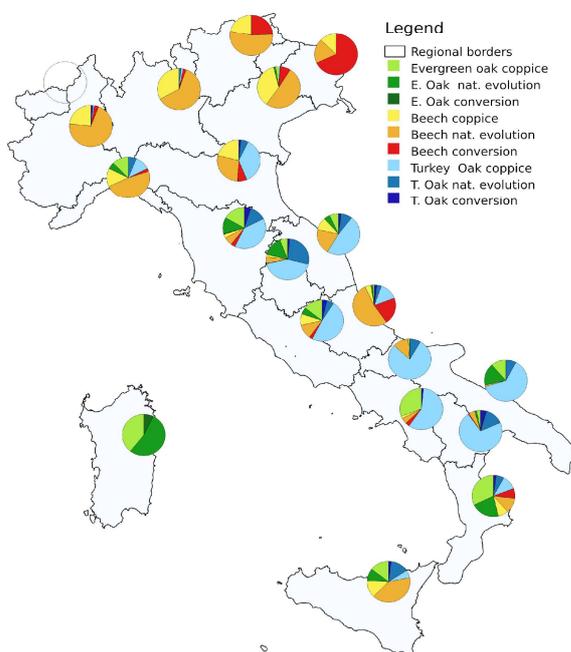
Scenario 4



Scenario 5



Scenario 6



Scenario 7

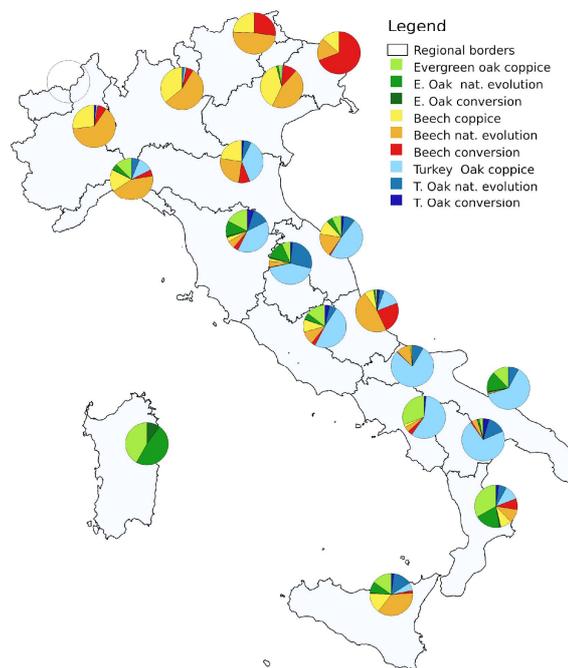


Figura 5.10 - Variazione in percentuale della superficie di ciascuna categoria (specie e opzione di gestione) in base ai 7 scenari. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

Di seguito vengono riportati i risultati delle simulazioni, relativi ai sei criteri di GFS, su scala nazionale, ed i principali risultati riguardanti la scala regionale o le due Regioni coinvolte nel progetto - Toscana e Sardegna.

Criterio 1

I valori degli indicatori 'Massa in piedi', 'Biomassa epigea totale' e 'Stock di carbonio', in funzione degli scenari, a livello nazionale sono mostrati nella Figura 5.11. I loro valori diminuiscono negli scenari 2, 3, 6 e 7 rispetto alla situazione attuale (scenario 1). Le variazioni sono comprese tra il - 8 ed il 2% per l'indicatore 'Biomassa epigea totale' che tiene conto non solo della biomassa in piedi, ma anche di quella rimossa dalle utilizzazioni forestali. Lo Scenario 6 (anche se si riferisce esclusivamente al cerro) mostra che un aumento del ceduo può produrre effetti simili agli scenari 2 e 3 a causa della grande copertura di questo tipo di foresta in Italia. Al contrario, negli Scenari 4 e 5, una maggiore superficie destinata all'evoluzione naturale ha portato ad un aumento (+ 8%) di 'Massa in piedi' e 'Stock di carbonio', mentre, la biomassa epigea totale presenta una variazione meno marcata (+ 3%).

Per questi indicatori di indicatori si riscontra lo stesso andamento anche in Toscana e in Sardegna (vedi Grafico 'Massa in piedi' Figura 5.12).

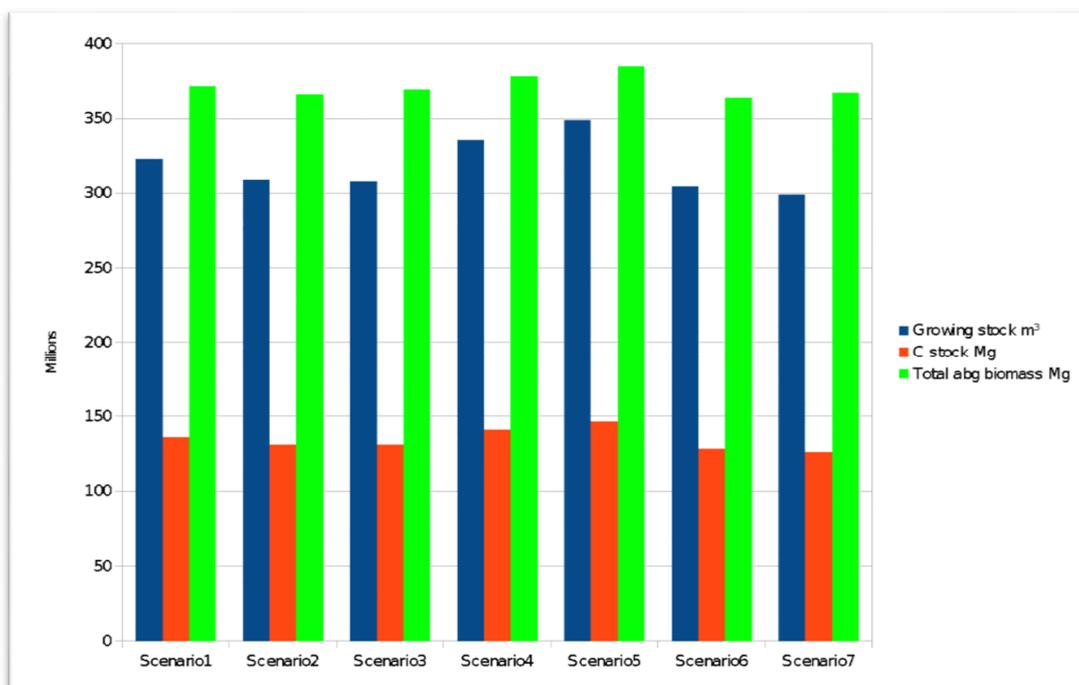
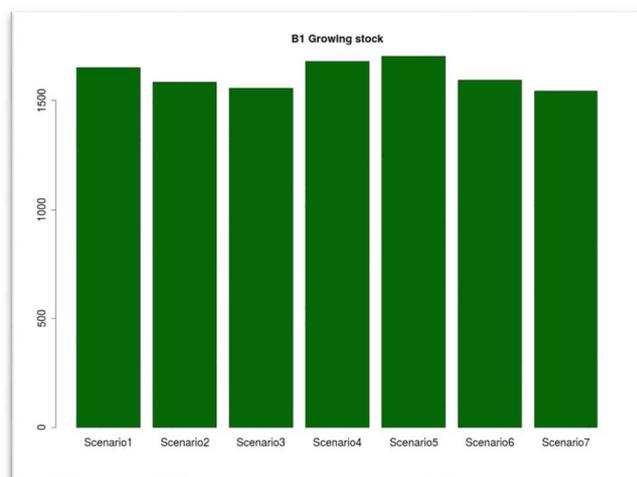


Figura 5.11 - Valori di 'Massa in piedi', 'Stock di carbonio' e 'Biomassa epigea totale' per i sette scenari calcolati a livello nazionale. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

a) Toscana



b) Sardegna

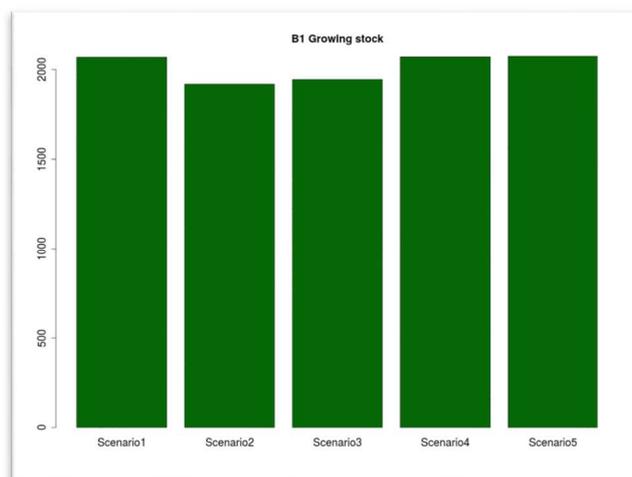


Figura 5.12 - Andamento della Massa in piedi secondo i diversi scenari calcolati per la Toscana (a) e la Sardegna (b). (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

Criterio 2

Il valore dell'indicatore "Defogliazione" a livello nazionale è mostrato nella Figura 5.13.

Si osserva per gli scenari 4 e 5, dove è previsto un aumento della superficie ad evoluzione naturale, un leggero aumento nella classe più bassa di defogliazione. Le frequenze di defogliazione superiori al 20%, al contrario, aumentano per gli scenari 2, 3 e 7, dove l'evoluzione naturale diminuisce, a favore di altre opzioni di gestione. Risultati analoghi sono stati ottenuti, a scala regionale, in Toscana ed in Sardegna.

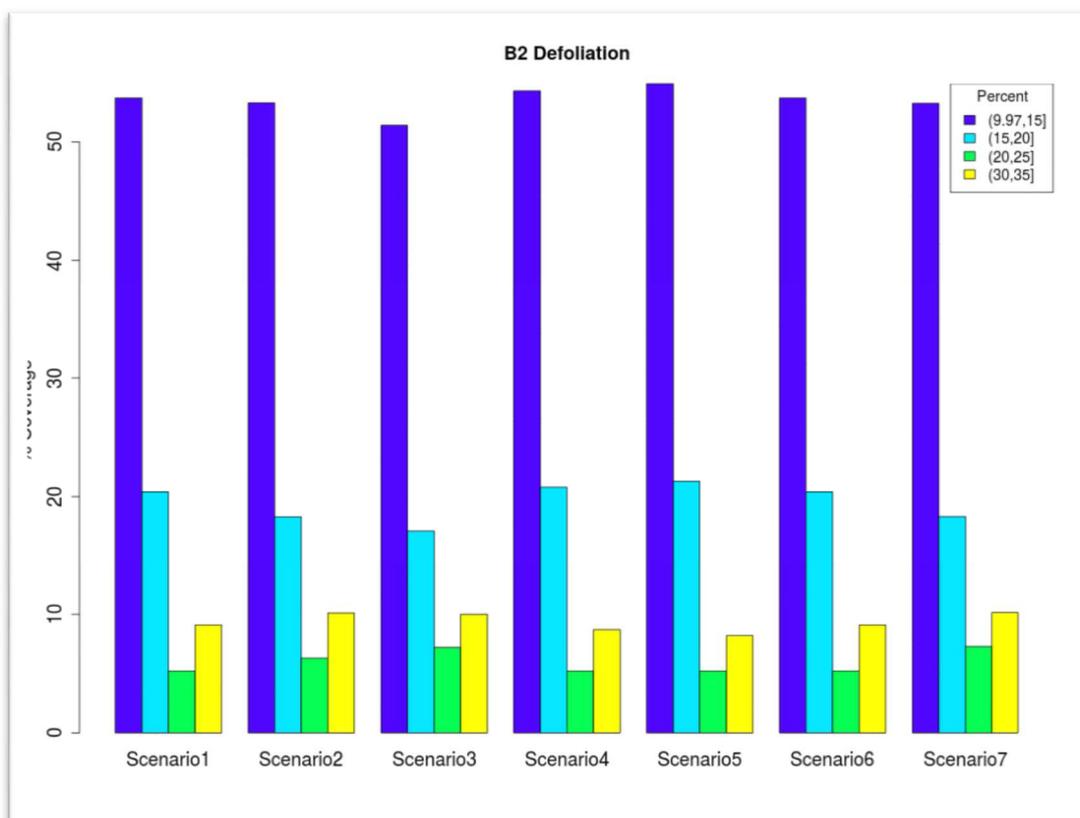


Figura 5.13 -Valori di Defogliazione per i sette scenari calcolati a livello nazionale. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo per il cerro)"; Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

Criterio 3

In Tab 5.14 sono riportati i valori dell'Indicatore "Incrementi e prelievi legnosi" a scala nazionale, in relazione ai diversi scenari. Un aumento del valore di questo Indicatore si ottiene per gli Scenari 2, 3, 6 e 7, questo perchè sono gli scenari in cui aumenta la superficie destinata al ceduo tradizionale (CT) ed alla conversione (CO). Analogamente, i valori più bassi di "Incrementi e prelievi legnosi" coincidono con i due scenari (4 e 5) in cui aumenta la superficie ad evoluzione naturale (NE).

Un andamento simile si osserva anche per la Toscana (figura 5.15)

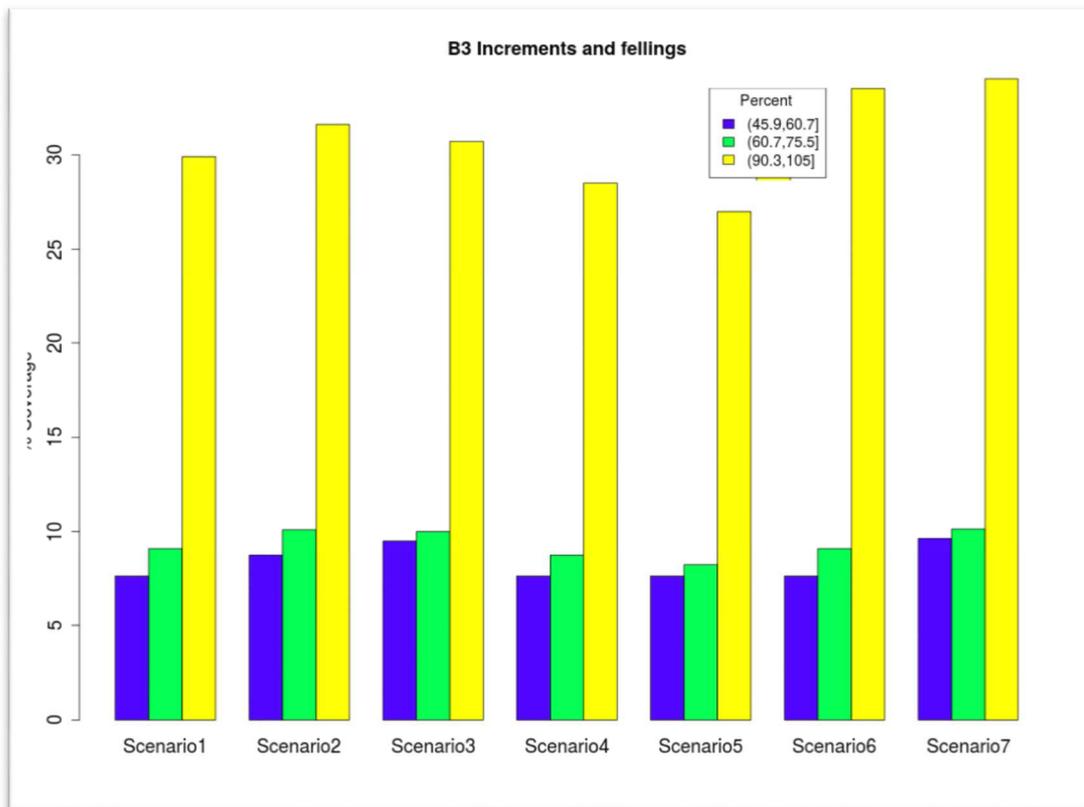


Figura 5.14 - I valori di "Incrementi e prelievi legnosi" cambiano in base ai diversi scenari. I tre diversi colori rappresentano tre diverse gamme di incrementi e prelievi legnosi. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

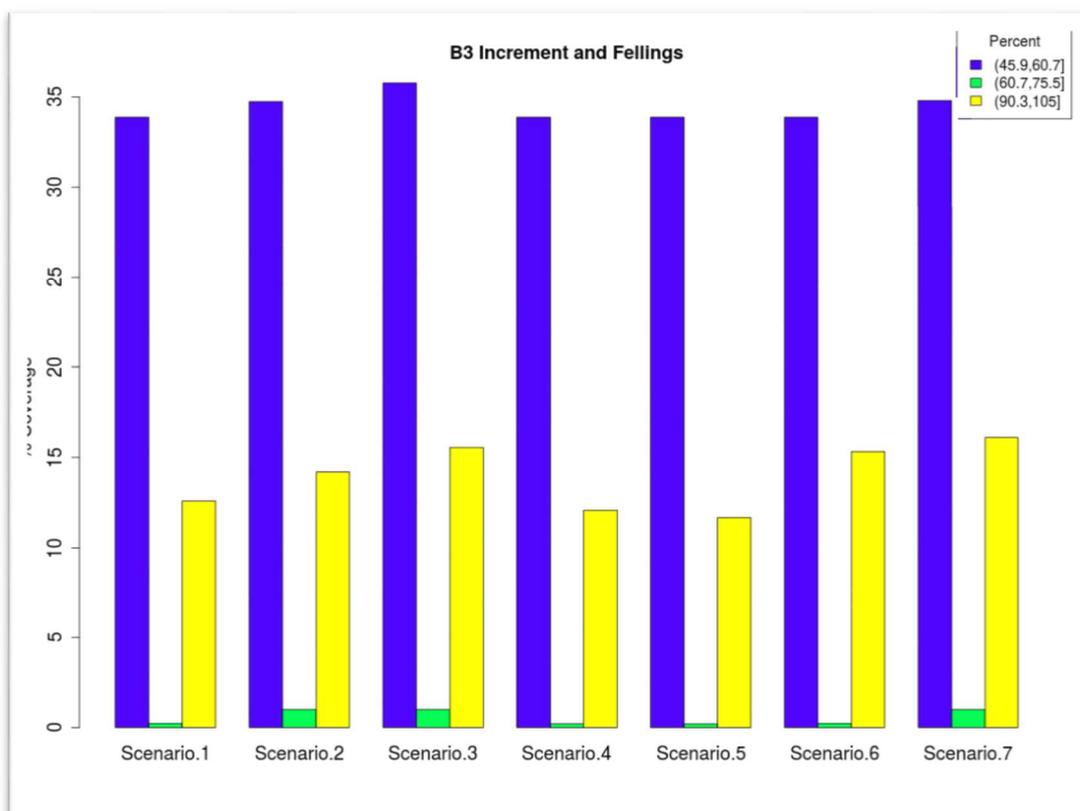


Figura 5.15 - Valori di "Incrementi e prelievi legnosi" in base ai diversi scenari calcolati per la Toscana. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

Criterio 5

Le variazioni dei valori di "Copertura del sottobosco" nei diversi scenari sono limitate a causa delle compensazioni tra le diverse classi di copertura (Figura 5.16). Un andamento simile si osserva anche per la Toscana (figura 5.17).

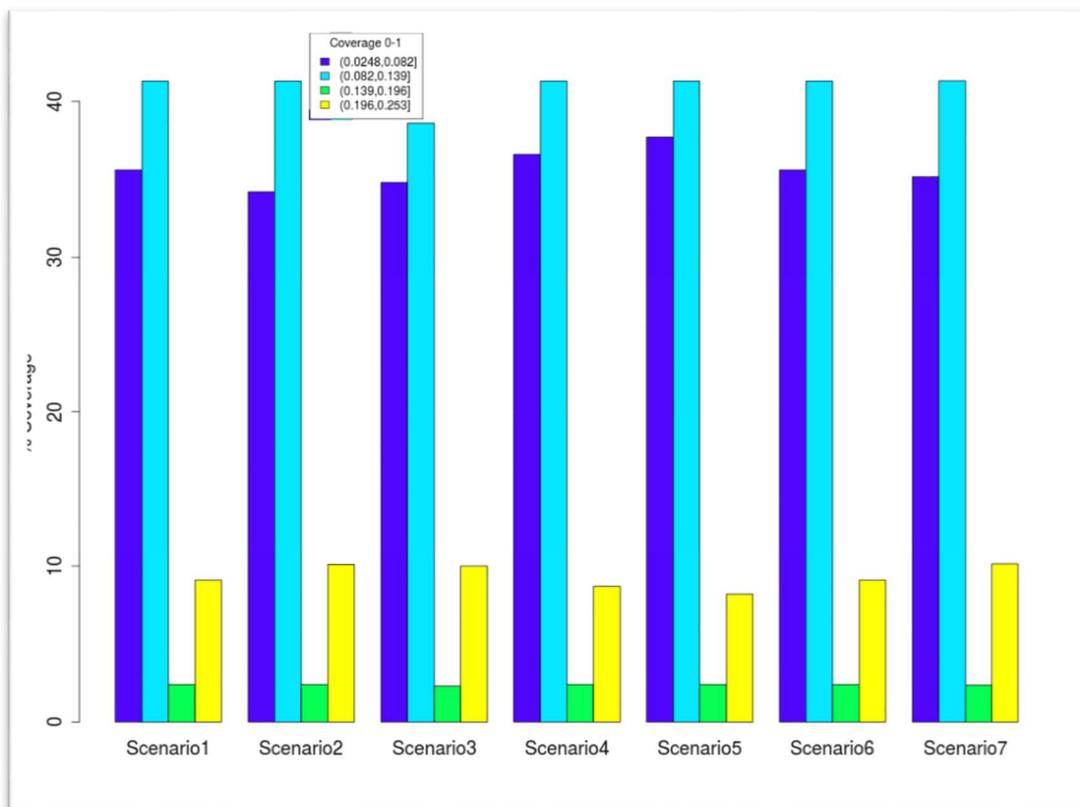


Figura 5.16 - Andamento dell'indicatore Copertura del sottobosco a livello nazionale in base ai diversi scenari. I diversi colori rappresentano quattro diversi intervalli di copertura del sottobosco. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo Cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

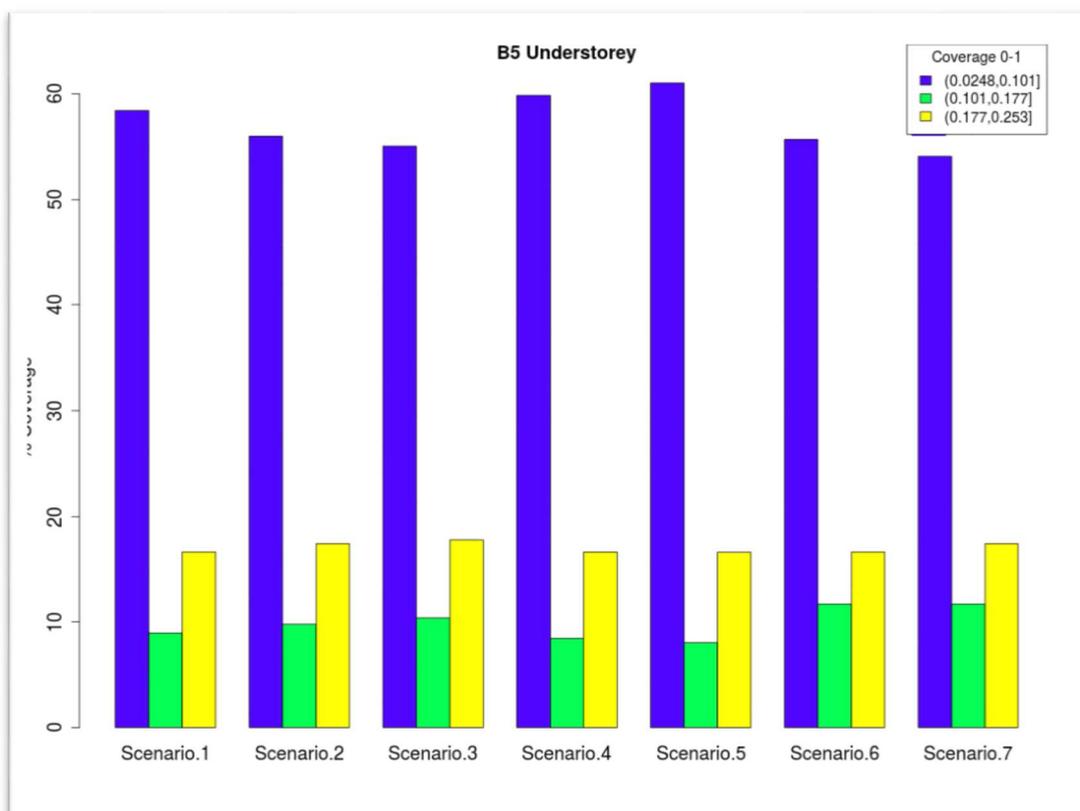


Figura 5.17 -Valori di Copertura del sottobosco secondo i diversi scenari calcolati per la Toscana. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "diminuzione del 30% a NE (solo cerro)"; Scenario 7 "15-30% di diminuzione in NE").

Criterion 6

Gli effetti dei diversi scenari devono essere interpretati con cautela poiché sono stati utilizzati i valori medi calcolati per le foreste demaniali, che non comprendono le foreste di proprietà privata. L'esclusione delle foreste private può influire in modo significativo sui valori degli indicatori economici, con possibili sottostime del Reddito Netto e dell'Energia termica ottenibile dai residui legnosi. Questi due indicatori sono stati rivalutati in considerazione della variabilità della produttività legnosa e del valore economico di altri terreni forestali esistenti nel territorio regionale e nazionale. Gli indicatori economici, espressi in euro/ha, mostrano una marcata differenza tra i diversi Scenari. I redditi netti a livello nazionale (figura 5.18) sono stati stimati in 76.563.711 euro all'anno e presi come base per effettuare confronti fra i differenti Scenari. Gli Scenari che favoriscono il ceduo e la conversione all'alto fusto (Scenari 2, 3, 6 e 7) portano a maggiori entrate, in base ai diversi gradi di utilizzazione del soprassuolo. Il maggior reddito si ottiene dallo Scenario 3 (+16,9%) nel quale i redditi netti simulati sono superiori a 89,5 milioni di Euro, seguiti dallo Scenario 7 (+15,8%) con 88,6 milioni, dallo Scenario 6 (+10,4%) 84,5 milioni e dallo Scenario 2 (+8,9%) con 83,4 milioni. Gli Scenari 4 e 5 hanno invece mostrato un calo del reddito netto a livello nazionale (compreso tra -6,5% e -13,0%), rispettivamente con 71,5 e 66,6 milioni di euro.

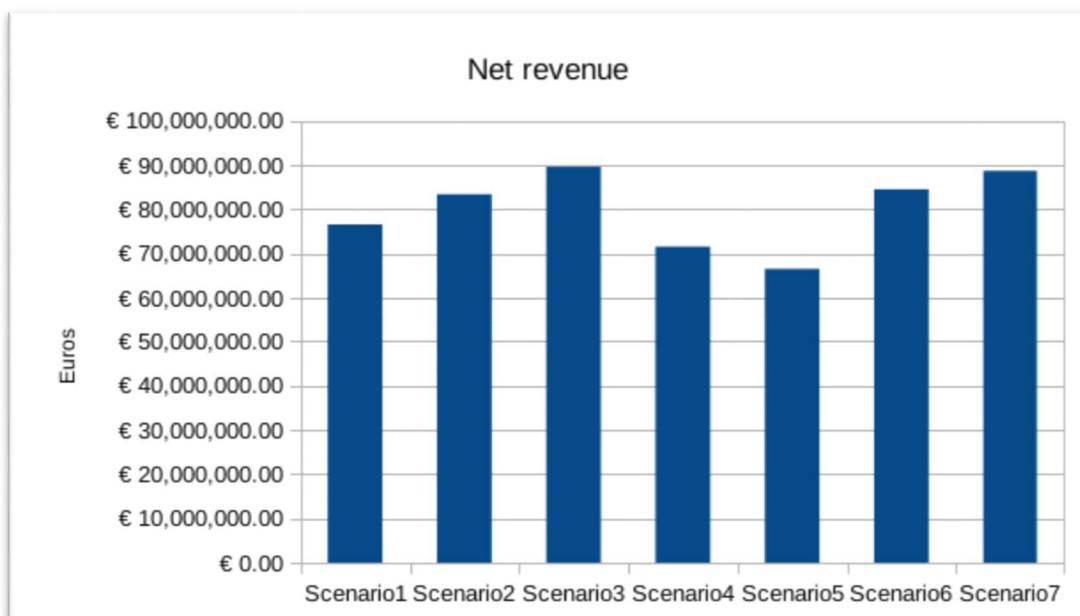
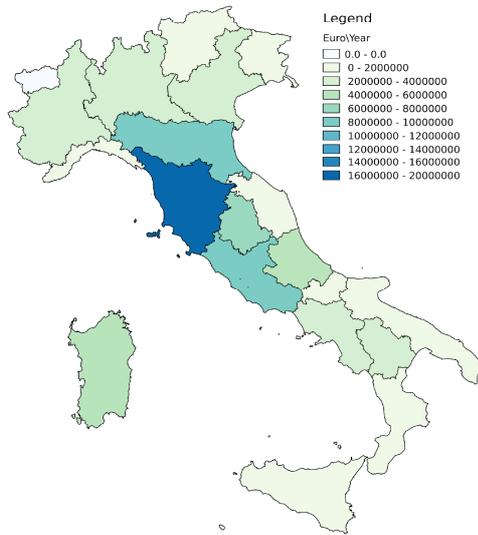


Figura 5.18 - Variazione del Reddito netto in base ai diversi scenari. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

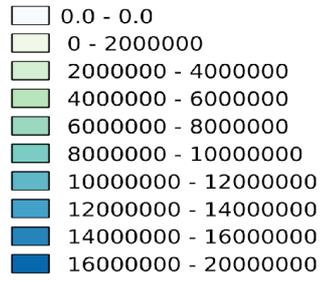
A livello regionale, la variazione di questi indicatori è meno evidente, a causa della distribuzione relativa delle tre specie e delle tre opzioni di gestione. In generale, gli indicatori mostrano un andamento analogo al livello nazionale (Figura 5.19).

Scenario 1: Average Net revenue



Legend

Euro\Year



Scenario 2



Scenario 3



Scenario 4

0 500 km



Scenario 5

0 500 km



Scenario 6

0 500 km



Scenario 7

0 500 km



Figura 5.19 - Reddito netto per Regione in base ai diversi scenari (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE".)

D'altra parte, maggiore è l'estensione delle tipologie forestali interessate dal cambiamento (cerro gestito come ceduo e faggio in evoluzione naturale), maggiori sono le differenze nel reddito netto: come nel caso della Toscana (vedi Figura 5.20a). Analogamente in Sardegna, dove si ha un'importante estensione del leccio in evoluzione naturale, sono stati osservati andamenti di miglioramento del reddito netto in seguito al recupero delle pratiche selvicolturali (Figura 5.20b) .

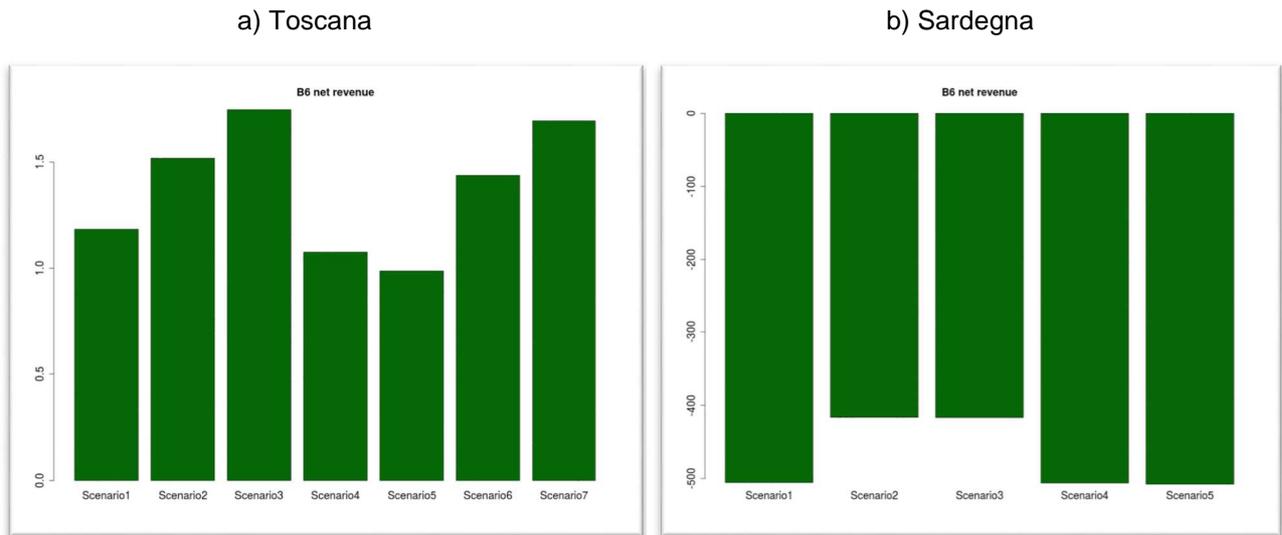


Figura 5.20 - Reddito netto per la Toscana (a) e la Sardegna (b) in base ai diversi scenari. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "diminuzione del 30% a NE (solo cerro)"; Scenario 7 "15-30% di diminuzione in NE").

L'indicatore relativo all'energia dalle risorse legnose, inteso come energia rinnovabile ottenuta dai residui delle utilizzazioni forestali, aumenta nello Scenario 2, 3, 6 e 7 e diminuisce negli Scenari 4 e 5 (figura 5.21). In particolare, la maggior variazione si verifica nello Scenario 7, con 0,24 milioni di MWth/anno in più rispetto allo Scenario 1, e nello Scenario 3.

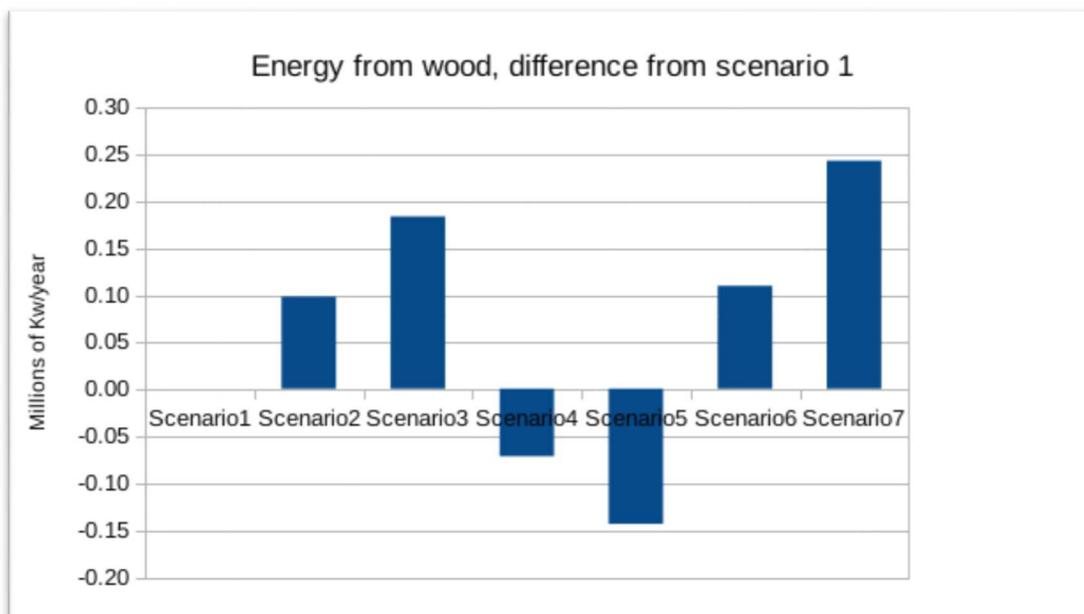
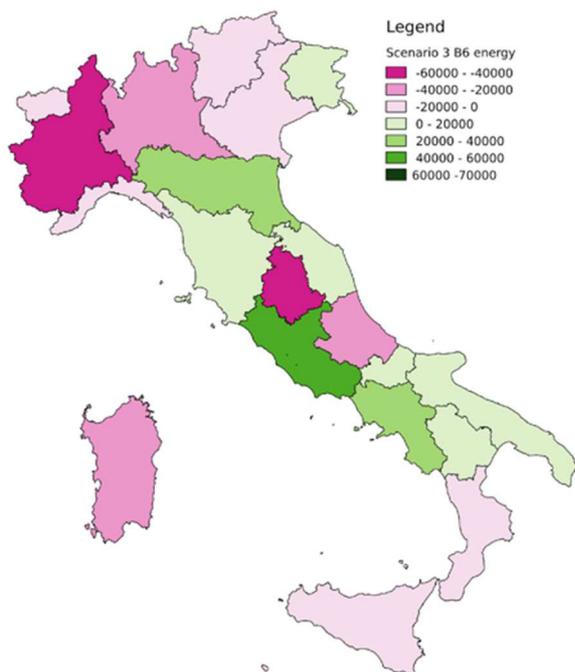


Figura 5.21 - Energia da biomassa, in base ai diversi scenari calcolati a livello nazionale. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)"; Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

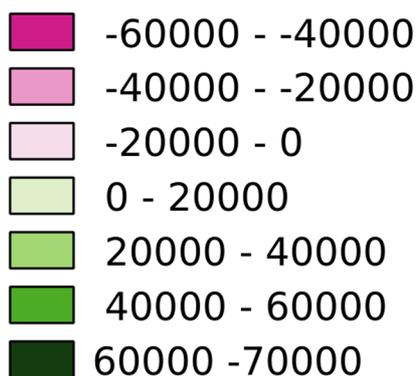
A livello regionale, l'andamento dell'indicatore, sebbene influenzato dall'importanza relativa delle tre specie e delle tre opzioni di gestione, ha mostrato risultati simili a quelli a livello nazionale: variazioni positive negli Scenari 2, 3, 6 e 7 e variazioni negative negli altri due (Figura 5.22).

Scenario 1: B6 Energy from wood MWth/year

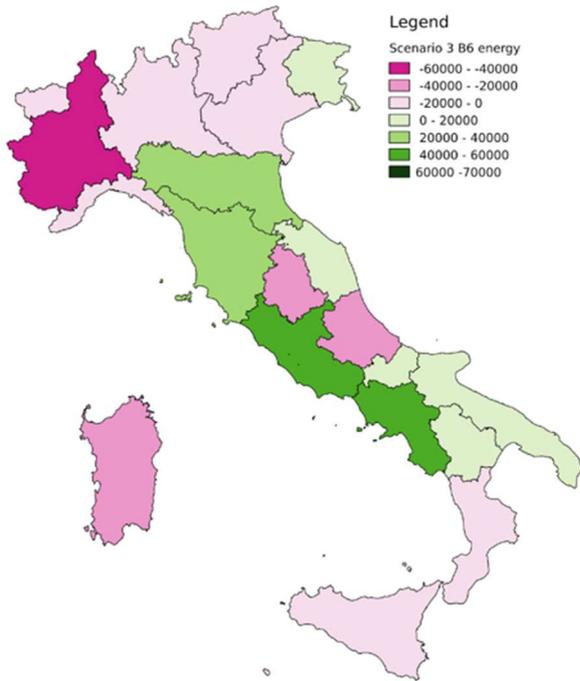


Legend

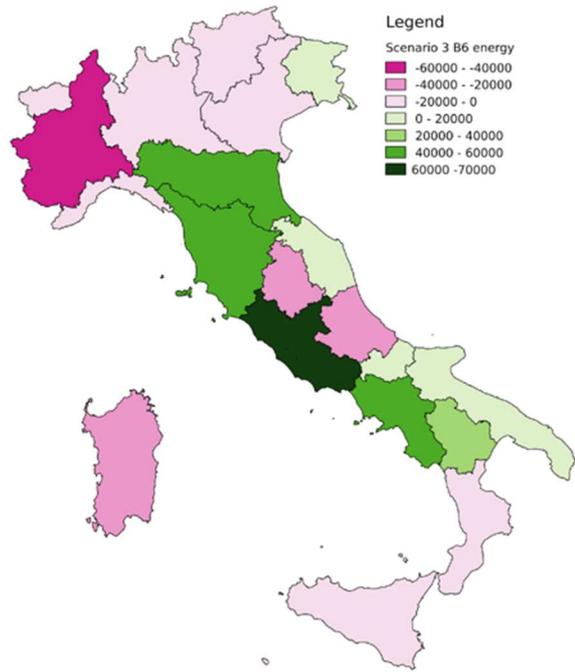
B6 energy



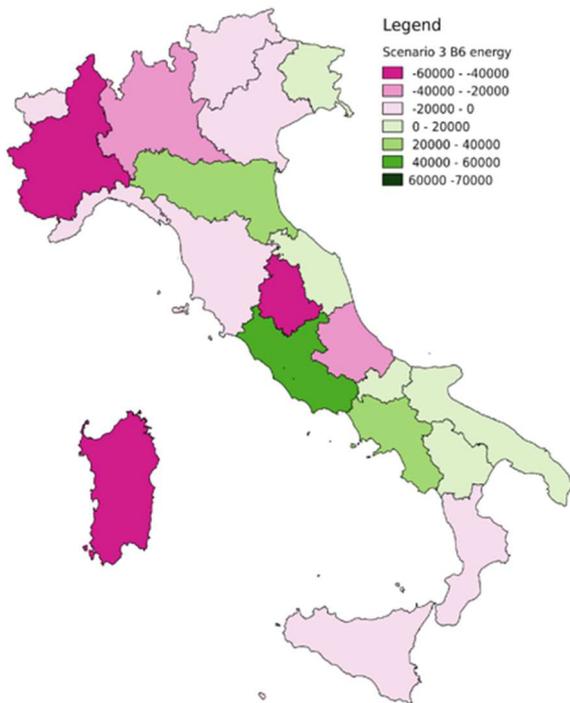
Scenario 2: B6 Energy from wood MWth/year



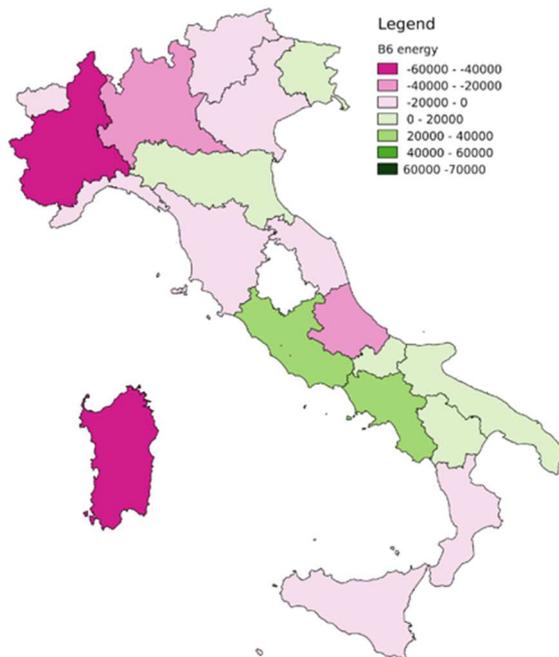
Scenario 3: B6 Energy from wood MWth/year



Scenario 4: B6 Energy from wood MWth/year



Scenario 5: B6 Energy from wood MWth/year



Scenario 6: B6 Energy from wood MWth/year

Scenario 7: B6 Energy from wood MWth/year

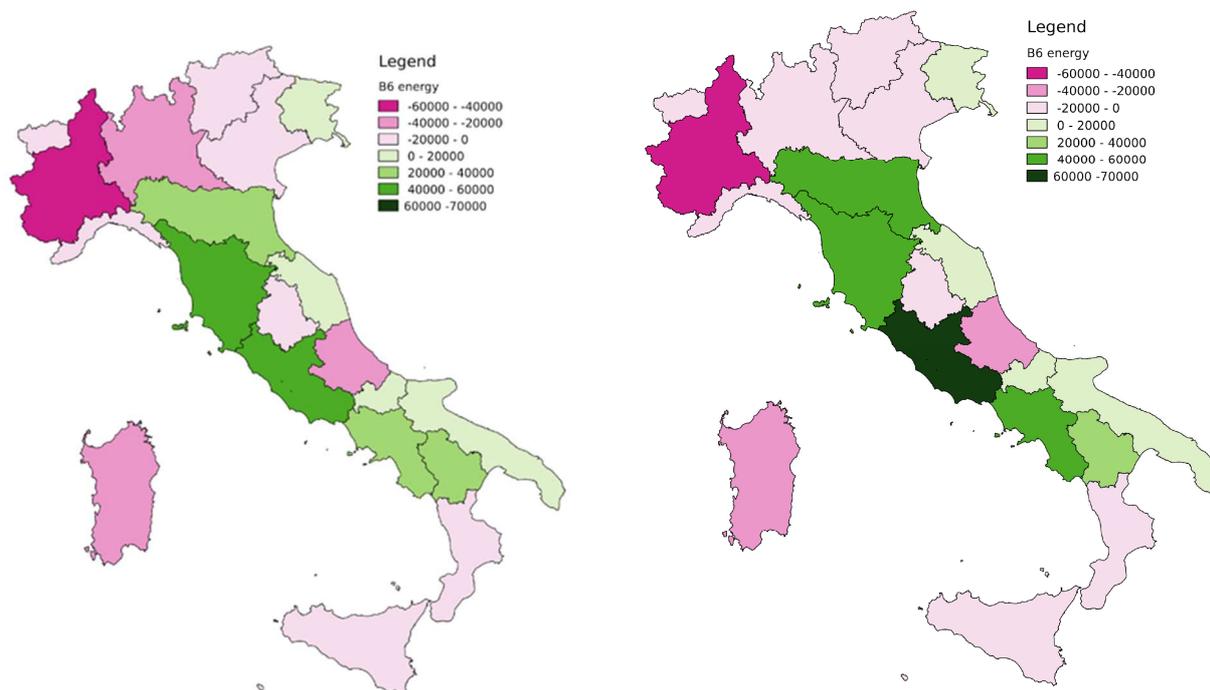
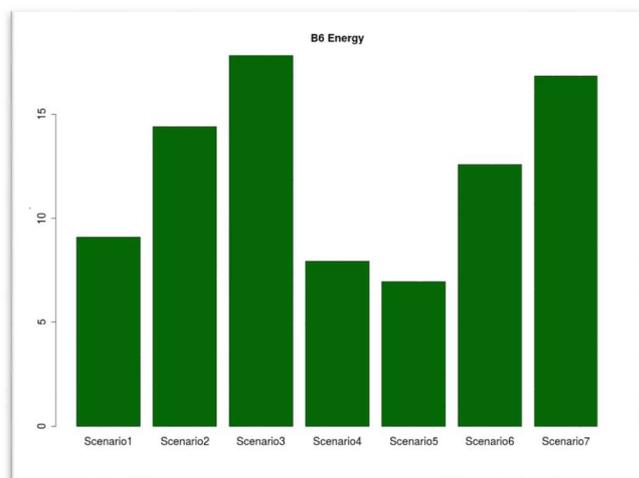


Figura 5.22 - Energia da biomassa per regione in base ai diversi scenari. (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

Essendo il bosco ceduo e l'evoluzione naturale le principali opzioni di gestione adottate in Sardegna, il recupero delle attività selvicolturali (Scenari 2 e 3) comporta un incremento della quantità di energia termica producibile dai residui legnosi provenienti dalle utilizzazioni forestali (Figura 5.23).

a) Toscana



b) Sardegna

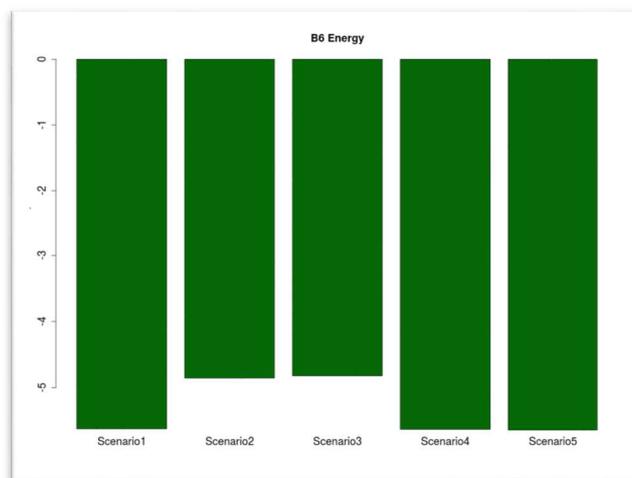


Figura 5.23 - Energia da biomassa in Toscana (a) e Sardegna (b) negli scenari . (Scenario 1 "status quo"; Scenario 2 "Riduzione del 10% in NE"; Scenario 3 "Riduzione del 15% in NE"; Scenario 4 "Incremento del 5% in NE"; Scenario 5 "Incremento del 10% in NE"; Scenario 6 "Riduzione del 30% in NE (solo cerro)" Scenario 7 "Riduzione del 15-30% in NE").

6. Discussione generale sui risultati e conclusioni

Le relazioni tra gli Indicatori relativi ai sei Criteri di GFS sono argomento interessante e complesso, in particolare per il bosco ceduo, sistema di gestione tradizionale particolarmente diffuso nell'area mediterranea. Il progetto ha considerato tre opzioni di gestione e tre tipi forestali tra i più diffusi nell'Europa meridionale. La disponibilità di dati di lungo periodo (oltre 40 anni) e una rete di 45 aree sperimentali hanno consentito di analizzare le serie temporali e le relazioni tra Indicatori nello stesso Criterio e tra Criteri di GFS.

Per la prima volta si è analizzata la capacità di risposta di Indicatori consolidati e nuovi specificatamente per il bosco ceduo a scala di popolamento/unità di gestione. Allo stesso tempo, sono stati considerati gli aspetti relativi a: (i) coerenza di risposta degli Indicatori, (ii) valutazione e confronto tra Indicatori consolidati e nuovi, (iii) sostenibilità di ciascuna opzione di gestione, (iv) simulazioni del cambiamento delle diverse opzioni colturali e gli effetti in termini di sostenibilità complessiva.

Obiettivo di questo capitolo è di riassumere, secondo un approccio integrato, i risultati riportati nei capitoli precedenti per ottenere un quadro della performance di ciascun Indicatore e opzione gestionale. L'interpretazione dei risultati ha consentito di produrre raccomandazioni utili per supportare le decisioni a livello locale/regionale/nazionale dei gestori delle risorse forestali e dei decisori politici. Questi risultati sono estensibili, secondo un approccio cautelativo, in una prospettiva europea negli ambienti circum-mediterranei.

6.1 Discussione generale per Criterio

I risultati sono dapprima discussi separatamente per Criterio e poi interpretati in un quadro generale integrato.

Criterio 1

Gli Indicatori consolidati 'Massa in piedi' e 'Stock di carbonio nella massa in piedi' e il nuovo 'Biomassa epigea totale' sono molto appropriati e adatti a spiegare la dinamica dei popolamenti (Cias et al. 2008) secondo le differenti opzioni di gestione (Baskent et al. 2011, Campioli et al. 2015).

Il nuovo indicatore 'Biomassa epigea totale' ha la performance migliore perché capace di riassumere in un dato unico la produzione totale in termini di massa e quindi di capacità di sequestro e di stock di carbonio (Fabbio 2016). Eccellente Indicatore, esso rende confrontabili tutti i tipi di gestione, attraverso l'intero ciclo di vita del soprassuolo.

Il 'Contenuto di carbonio nel suolo' mostra una elevata variabilità entro gli orizzonti, per tutte le opzioni colturali e i siti. Non è quindi efficiente nel discriminare le diverse opzioni di gestione. Contribuisce comunque alla stima dell'Indicatore 'Caratteristiche dei suoli' secondo il Criterio 2 'Salute e vitalità degli ecosistemi forestali'.

La 'Distribuzione diametrica' produce un'informazione qualitativa, coerente con la dinamica dimensionale degli alberi e la struttura delle età (Vilen 2012).

La 'Efficienza di accrescimento' è un Indicatore sensibile (Chianucci et al. 2016) capace di coniugare sia caratteri funzionali che quantitativi dei soprassuoli e delle specie considerati.

Critério 2

La salute e la vitalità delle foreste sono significativamente influenzate dall'opzione di gestione solo nel caso del faggio. Per questa specie, la defogliazione media nella conversione (25,7%) e nel ceduo tradizionale (37,5%) è più alta del valore medio rilevato a livello europeo nel 2016 (22,5%) (Timmermann et al. 2017), e sopra la soglia del 25%, sotto alla quale le piante vengono considerate in salute (FOREST EUROPE 2015). Nei plot ad evoluzione naturale, la defogliazione mostra un valore comparabile (22,4%) al valore medio rilevato a livello europeo.

Le migliori condizioni di salute e la più alta efficienza fotosintetica potenziale si registrano nell'evoluzione naturale (per il faggio). Questo risultato è ulteriormente rafforzato dalla bassa area fogliare specifica (SLA, area fogliare per unità di peso secco), che è considerata correlata con un'aumentata capacità fotosintetica per unità di area fogliare (Evans and Poorter 2001), e con un alto spessore fogliare. In ogni caso, l'efficienza fotosintetica potenziale è alta anche nella conversione ($F_v/F_m=0,83$), mostrando una situazione generale di piante non sottoposte a stress. E' risaputo infatti che i valori di F_v/F_m di piante in condizioni ottimali sono approssimativamente 0,83-0,84 nelle piante C3 (Kalaji et al. 2014).

Tutti gli indicatori del suolo studiati sono fortemente influenzati dalle caratteristiche sito-specifiche piuttosto che dalle opzioni gestionali. I suoli degli orizzonti superiori sono generalmente molto fertili, come sottolineato dalla capacità di scambio cationico (CEC), dal grado di saturazione in basi (GBS) e dal contenuto di carbonio organico (SOC). Un generale marcato decremento di SOC, andando dagli orizzonti superiori a quelli inferiori, concorda con i risultati riportati da Rovira e Vallejo (2003), da Seddaiu et al (2013) da De Feudis et al. (2017). Come è noto, i valori di CEC e GSB sono strettamente correlati con la grandezza delle particelle di suolo, con valori più alti generalmente associati alla presenza di numerose particelle di piccole dimensioni ed all'alto contenuto di materia organica. Il SOC dell'orizzonte superiore di tutti i siti non era mai inferiore all 1%, che è il limite minimo per identificare lo stato di pre-desertificazione (CEC 2002), prova che le opzioni gestionali praticate nei siti di studio possono contribuire a mantenere una fertilità del suolo piuttosto soddisfacente, nel contesto di aree climatiche mediterranee.

Le foreste di cerro risultano in salute nelle tre opzioni gestionali considerate, dal momento che la defogliazione (11-13%) è più bassa del valore soglia utilizzato per definire le piante danneggiate (valori > 25%) o sane (valori < 25%; FOREST EUROPE 2015). I valori rilevati sono inferiori anche rispetto alla defogliazione media misurata a livello europeo nel 2016 (20,2%; Timmermann et al. 2017). È interessante notare che, dove le condizioni delle foreste sono peggiori (nell'evoluzione naturale, dove la defogliazione e la trasparenza mostrano i valori più elevati), il contenuto di clorofilla mostra i valori più bassi. Ciononostante, le piante non sembrano soggette a stress, dal momento che l'efficienza fotosintetica potenziale è alta ($F_v/F_m=0,83$; Kalaji et al. 2014) in tutte e tre le opzioni gestionali.

Anche le foreste di leccio sono in buono stato di salute nelle due opzioni gestionali considerate, dal momento che la defogliazione (circa il 16%) è più bassa della soglia del 25% (FOREST EUROPE 2015); i valori sono più bassi anche della defogliazione media misurata a livello europeo nel 2016 (25%; Timmermann et al. 2017). Nell'evoluzione naturale, dove si registrano i valori più elevati di defogliazione e trasparenza, le piante risultano fisiologicamente più stressate (bassa efficienza fotosintetica potenziale, $F_v/F_m= 0,78$, inferiore al valore di riferimento per le piante in salute; Kalaji et al. 2014).

Complessivamente, la tendenza della defogliazione nel corso dell'intervallo temporale 1996-2014 a scala europea risulta aumentata, con conseguenti effetti negativi sulla salute delle foreste. Sulla base degli scenari

analizzati, un cambiamento verso una più ampia area gestita ad evoluzione naturale aumenterebbe la superficie forestale con bassi valori di defogliazione.

In sintesi, la sostenibilità delle opzioni gestionali varia in relazione all'EFT:

(i) l'*evoluzione naturale* sembra promuovere la salute e la vitalità delle foreste di faggio, e questo è confermato anche da una concomitante buona condizione delle chiome ed una maggiore efficienza fotosintetica potenziale;

(ii) al contrario, l'*evoluzione naturale* non sembra promuovere la sostenibilità delle foreste di cerro e leccio, dal momento che il loro stato di salute e la loro vitalità sono leggermente peggiori, sia in termini di condizioni delle chiome che di efficienza fotosintetica potenziale;

(iii) la *conversione* promuove la crescita del popolamento in tutti e tre gli EFTs considerati.

Complessivamente, l'efficienza fotosintetica potenziale è buona per tutti gli EFTs e le opzioni gestionali (eccetto per le foreste di leccio in evoluzione naturale).

Possiamo quindi concludere che la condizione delle chiome (defogliazione e danni) risulta essere un buon indicatore per discriminare l'effetto delle opzioni gestionali, almeno per il faggio. La risposta di questo indicatore è generalmente coerente con quella degli indicatori maggiormente orientati ad aspetti funzionali (contenuto fogliare di clorofilla Chl-SPAD; efficienza e performance fotosintetica potenziale Fv/Fm, Plabs; morfologia fogliare LT, SLA).

Criterio 3

'Incrementi e prelievi legnosi', 'Legna da ardere' e 'Produzione di funghi commerciabili' sono Indicatori nuovi alla scala adottata di popolamento.

'Incrementi e prelievi legnosi' e 'Legna da ardere' sono risultati Indicatori appropriati nel descrivere la sostenibilità in termini sia ecologici che economici (EEA 2017, Lassere et al. 2011, Pra e Pettenella 2016).

La 'Produzione di funghi commerciabili' dimostra di essere un Indicatore con valore potenziale elevato sia dal punto di vista socio-economico, che ambientale (Dettori et al. 2009). L'alta variabilità sito-specifica ed inter-annuale, legata al mercato locale e alla naturale variazione stagionale, caratterizzano l'indicatore, riducendone la coerenza, incrementabile tuttavia da un monitoraggio multi-annuale.

Criterio 4

Tra gli indicatori testati, il più efficace per discriminare gli effetti delle diverse opzioni di gestione è risultato essere la diversità delle specie erbacee.

Le opzioni gestionali applicate alle faggete (7.3) e alle foreste di latifoglie sempreverdi (9.1) influenzano in modo significativo la diversità delle piante vascolari del sottobosco (specie erbacee forestali e specie erbacee native). Infatti, anche se la gestione forestale ha effetti diretti sulle specie dello strato superiore arboreo, che sono prevalentemente legnose, ha anche effetti indiretti sulle specie degli strati inferiori. Questo supporta l'idea di Vild et al. (2013), secondo cui l'estensione del ciclo di taglio si traduce in periodi prolungati di chiusura da parte delle chiome e diminuzione della disponibilità di luce nello strato inferiore, inducendo così un declino della biodiversità. Lo strato superiore può influire sulla dinamica delle specie erbacee modificando la disponibilità di luce e migliorando la fertilità del suolo (Muller 2003, Neufeld e Young 2003). Questo risultato

concorda in parte con Beatty (2003), secondo cui la diversità di specie dello strato superiore può migliorare l'eterogeneità ambientale all'interno del sito rendendo le condizioni locali favorevoli ad un maggior numero di specie negli strati sottostanti (Vockenhuber et al., 2011).

La massima ricchezza di specie erbacee è risultata per la 'Conversione', in particolare per le faggete (specie erbacee forestali) e per le foreste sempreverdi di leccio (specie erbacee native). Per l' 'evoluzione naturale', la ricchezza di specie del sottobosco è correlata alla ricchezza delle specie dello strato arboreo come già riportato da altri autori (Garson et al., 2002; Grenyer et al., 2006; Qian & Kissling 2010). Nella 'conversione' esiste la stessa relazione, ma la predittività del modello diminuisce significativamente. La ricchezza di specie arboree può quindi rappresentare un buon surrogato per prevedere la ricchezza totale delle specie di piante vascolari particolarmente nella 'evoluzione naturale' con modelli diversi a seconda del tipo di foresta (Gilliam 2007).

La ricchezza delle specie arboree, adottata per i confronti generali come indicatore della diversità delle specie legnose, mostra differenze significative tra le diverse opzioni di gestione solo nelle foreste decidue termofile, probabilmente a causa del basso numero di specie legnose nelle foreste mediterranee.

Lo scarso potenziale informativo dell'indicatore consolidato 'Specie forestali minacciate' a livello nazionale dipende dal basso numero di specie arboree incluse nelle categorie di specie minacciate della IUCN. A tale riguardo, sarebbe più efficace fare riferimento a elenchi nazionali o regionali al fine di portare il livello di protezione a livello locale. Allo stesso tempo, l'assenza di specie aliene è un elemento positivo.

I funghi lignicoli stanno ricevendo crescente attenzione da parte di ecologi forestali, patologi e gestori (Lonsdale e Pautasso, 2008) perché sono essenziali per il funzionamento degli ecosistemi forestali, essendo la decomposizione del legno di fondamentale importanza per il ciclo dei nutrienti, la formazione del suolo e la regolazione del bilancio del carbonio degli ecosistemi forestali. Nel progetto LIFE FutureForCoppiceS la ricchezza dei funghi lignicoli è risultata maggiore in NE rispetto a CO.

Nonostante diversi studi abbiano confermato che la diversità delle specie di licheni è particolarmente sensibile alla gestione delle foreste (ad es. Rose 1992, Nascimbene et al., 2007; Aragón et al., 2010; Giordani et al., 2006) e che molte specie sono principalmente confinate in foreste vetuste (Nilsson et al., 1995; Gustafsson et al., 1999; Brunialti et al., 2015, 2015), nel contesto di questo progetto, questo indicatore non ha mostrato risultati significativi con una chiara tendenza. Ciò può essere spiegato principalmente dalle seguenti considerazioni: i) i boschi cedui hanno generalmente caratteristiche limitanti per la colonizzazione dei licheni, soprattutto per la periodica interruzione della copertura arborea; ii) l'adozione di un metodo semplificato, che tenga conto solo dei licheni foliosi e fruticosi, influisce probabilmente sui risultati in termini di ricchezza di specie e presenza di specie rare; iii) una chiara predominanza di briofite, che competono con i licheni per il substrato, è spesso evidente nei nostri plot.

L'indicatore 'Uccelli forestali' non è risultato efficace a causa della vicinanza delle aree appartenenti a opzioni gestionali diverse. Questo non diminuisce l'importanza dell'indicatore, utile a descrivere la diversità degli ecosistemi forestali in accordo con la convenzione sulla biodiversità. La presenza di avifauna è indice della salute generale dell'ambiente. La possibilità di utilizzare un indice comune (WBI - Wild Bird Index) e l'esistenza di una buona rete di osservazione volontaria a livello europeo (PECBMS - Schema di monitoraggio comune degli uccelli in Europa) rende questo indicatore di grande utilità. La sua rilevanza è supportata anche dal fatto che è stato recentemente adottato come indicatore da FOREST EUROPE 2015, nella fase di revisione degli indicatori di GFS.

Criterio 5

Tutti gli indicatori proposti sono nuovi. La 'Copertura del soprassuolo' e la 'Copertura del sottobosco' risultano indicatori molto appropriati e capaci di discriminare, a scala locale, le differenti opzioni di gestione in tutti e tre gli EFTs considerati (Chianucci et al. 2014a, 2014b). Entrambi gli indicatori possono essere ottenuti da procedure note e accuratamente descritte, che permettono la replicabilità, e confermano l'attendibilità e l'oggettività delle misure. In particolare la 'Copertura del sottobosco' è l'indicatore più adatto a discriminare tra le opzioni di gestione del ceduo, anche se non è risultato significativo per le foreste decidue termofile.

La presenza del sottobosco è molto influenzata dalle operazioni di gestione, per esempio dai diradamenti, che modellano lo strato delle chiome e quindi la disponibilità delle risorse (acqua, luce e elementi nutritivi). Data l'importanza del piano inferiore del soprassuolo nella dinamica dei popolamenti, una stima efficace del sottobosco dovrebbe essere inclusa nei monitoraggi forestali come supporto alla pianificazione e alla gestione. L'indicatore 'Ritenzione idrica' è risultato capace di distinguere il ceduo tradizionale di faggio, ma non efficace per gli altri EFTs. Il vantaggio dell'indicatore risiede nel fatto che può essere calcolato a varie scale usando variabili semplici anche già tabellate. Al contrario lo 'Spessore della lettiera' e la 'Copertura delle briofite' non sono state in grado di discriminare tra le diverse opzioni di gestione.

Criterio 6

I risultati ottenuti sottolineano l'elevata efficienza di alcuni indicatori relativi agli aspetti socio-economici nell'analisi e valutazione della gestione forestale sostenibile del ceduo. Più in particolare, indicatori consolidati come il 'Contributo al PIL del settore forestale' ed il 'Reddito netto', ed indicatori nuovi come la 'Accessibilità per fini ricreativi' e la 'Energia' risultano adatti per valutare la sfera economica ed evidenziare la redditività delle foreste di origine agamica. Se disponibili dati selvicolturali e dendrometrici, la loro determinazione ha costi contenuti, nonostante siano necessarie informazioni aggiuntive ottenibili attraverso indagini in campo.

I risultati ottenuti sono coerenti con altre ricerche: in particolare i redditi netti possono essere confrontati con i risultati emersi dal rapporto di FOREST EUROPE (2015) e i valori di ricreazione possono essere confrontati con i risultati di altri autori (Bishop e Romano, 1998; Fagarazzi et al. 2006; Merlo and Croitoru, 2005).

La 'Forza lavoro nel settore forestale' e il 'Commercio di legname' sono invece risultati due indicatori poco adatti.

Tra gli indicatori nuovi, 'Accessibilità per scopi ricreativi' è risultata più performante. Nonostante necessiti di indagini specifiche (es. questionari rivolti ad un campione della popolazione) che richiedono un maggiore sforzo economico, è in grado di rappresentare in modo efficace la sfera socio-ambientale, essendo la ricreazione all'aperto un'espressione di interesse per l'ambiente ed in particolare modo per quello forestale.

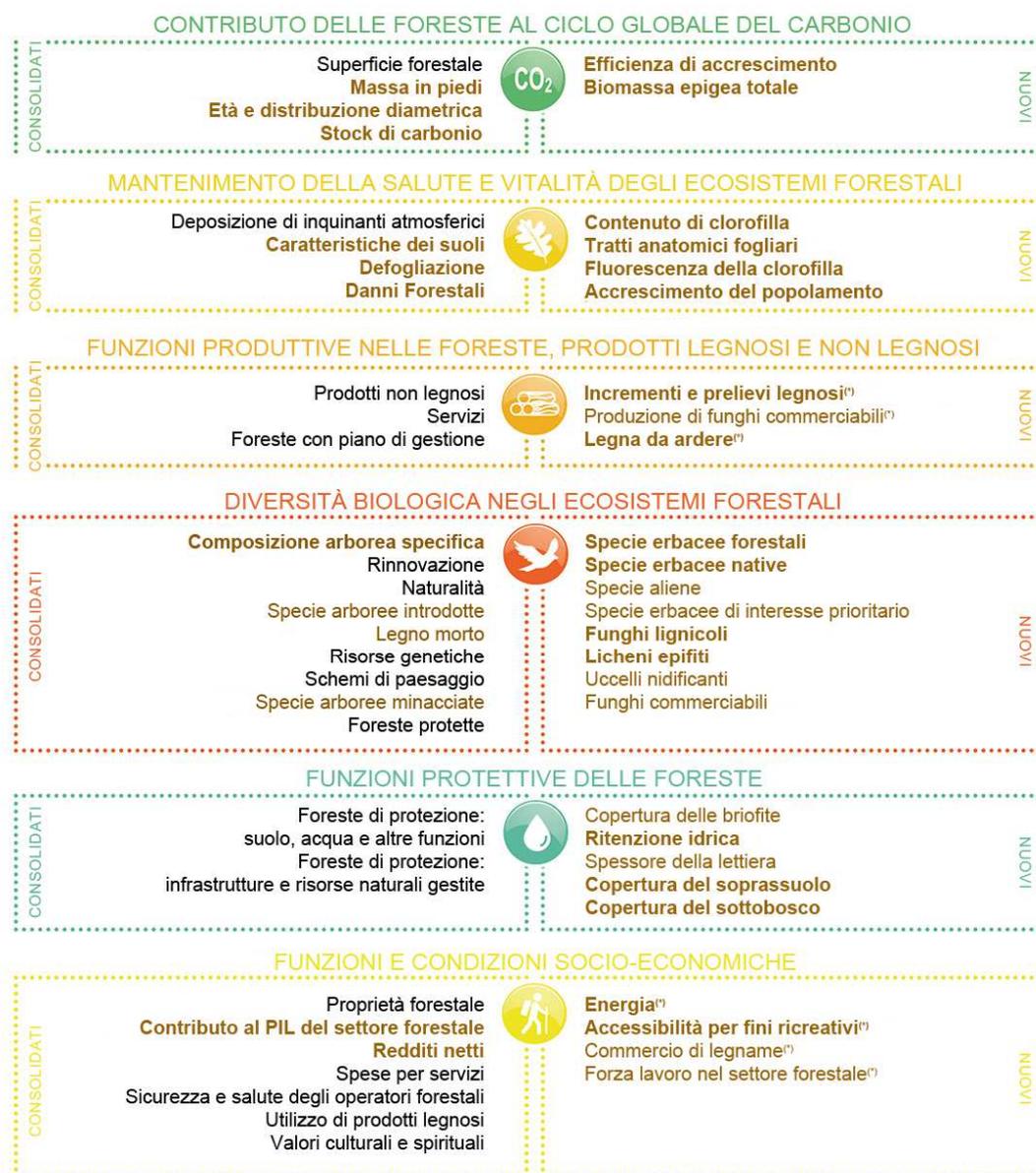
Osservazioni generali sugli Indicatori di GFS

Complessivamente, per la prima volta nel caso dei boschi cedui, LIFE FutureForCoppiceS ha testato 38 Indicatori nei sei Criteri di GFS (Figura 6.1): 12 sono consolidati e 26 nuovi perché sviluppati per il ceduo e/o alla scala di popolamento/unità di gestione. Ben 26 dei 38 Indicatori (Figura 6.1) sono risultati appropriati (9 consolidati e 17 nuovi) per capacità informativa e affidabilità, replicabilità e costo. Inoltre, sette sono molto appropriati perché capaci anche di discriminare tra le diverse soluzioni di gestione in atto: Stock di carbonio,

Massa in piedi, Biomassa arborea totale epigea, Copertura del piano erbaceo, Reddito netto, Energia e Accessibilità per fini ricreativi.

Il fatto che alcuni Indicatori siano risultati non significativamente differenti tra le opzioni colturali può comunque rappresentare una informazione importante. In alcuni casi tale risultato può dipendere dal fatto che il valore dell'Indicatore non è stato modificato dalla soluzione colturale applicata, oppure che ancora risenta dei cicli di ceduzione precedenti. Entrambi i casi non escludono la possibilità di andamenti futuri divergenti. Questo suggerisce l'utilità del loro monitoraggio in relazione alla GFS.

CRITERI E INDICATORI GFS



Legenda:
 in nero gli indicatori consolidati non presi in considerazione dal progetto
 in marrone gli indicatori considerati nel progetto
 in **marrone grassetto** gli indicatori risultati "appropriati"
⁽¹⁾ indicatori consolidati ma calcolati a livello di popolamento/unità di gestione

Figura 6.1 - Elenco degli indicatori di GFS (consolidati e nuovi) per ciascun Criterio.

6.2 Una visione complessiva

L'analisi integrata dei risultati ha evidenziato una buona congruenza tra molti Indicatori appartenenti a criteri diversi di GFS.

Di seguito si riportano gli aspetti salienti che emergono dal confronto tra le diverse opzioni di gestione - ceduo tradizionale (TC), evoluzione naturale (NE) e conversione ad alto fusto (CO) con periodici diradamenti - le quali caratterizzano l'area del ceduo non solo in Italia ma anche a livello europeo (Unrau et al. 2018).

Il ceduo tradizionale esalta la produzione legnosa e gli aspetti socio-economici, come evidenziato dai valori elevati i) del rapporto tra massa utilizzata e incremento e della legna da ardere, ii) dei prodotti non legnosi e iii) del reddito netto. Per contro, si osserva una ridotta massa in piedi, basso stock di carbonio e minore vitalità (limitatamente al faggio).



L'evoluzione naturale valorizza gli aspetti legati al ciclo del carbonio, allo stato di salute e vitalità degli ecosistemi forestali, come confermato dagli alti valori di massa in piedi e relativo stock di carbonio e dai bassi valori di defogliazione e danni (per il faggio). Per contro, sono penalizzati gli aspetti socio-economici per i quali risultano: basso il valore ricreativo, nulli i redditi e il recupero di scarti legnosi a fini energetici per assenza di utilizzazioni.

La conversione ad alto fusto, coniugando elevate masse in piedi e periodiche utilizzazioni (diradamenti), ha effetti positivi sugli aspetti ambientali (biodiversità, energia da scarti forestali) ed socio-economici, come reddito netto e, soprattutto, valori ricreativi. Si osserva una minore copertura del sottobosco rispetto al ceduo, compensata però dalla piena copertura arborea.



Risulta perciò evidente come ciascuna delle tre opzioni di gestione considerate promuova espressioni differenti di sostenibilità.

La simulazione di cambiamenti tra le opzioni colturali correnti

LIFE FutureForCoppiceS ha simulato cambiamenti di gestione rispetto allo stato attuale (Scenario 1 - status quo). Le simulazioni sono state elaborate a livello locale, regionale e nazionale.

Quattro Scenari (2, 3, 6 e 7) sono caratterizzati da una maggiore intensità di gestione: superfici di ceduo in evoluzione naturale (NE), variabili da un minimo del 10% fino al 30%, passano a ceduo tradizionale (TC) e a conversione (CO).

In alternativa, sono stati previsti due Scenari (4 e 5) con livelli decrescenti di gestione. Qui, si simula un aumento rispettivamente del +5% e +10% delle superfici in evoluzione naturale (NE) sottraendole a quelle gestite come ceduo (TC).

In tutti i casi, gli Scenari sono stati disegnati secondo i principi di fattibilità e di cautela. Gli aumenti o diminuzioni sono stati applicati per passi successivi e tenendo conto delle caratteristiche ecologiche diverse di ciascuna delle specie (cerro, leccio, faggio). I cedui in evoluzione naturale di leccio da un lato, e di faggio dall'altro, sono stati per ragioni diverse (valore ecologico, capacità di ricaccio, etc.), sottoposti a ripresa della ceduzione per valori limitati, mentre quelli di cerro per valori più ampi. Di conseguenza, la superficie sottoposta a cambiamento di gestione, non eccede l'8,5% di quella totale.

Sono stati osservati per alcuni Criteri e Indicatori solo leggeri cambiamenti, sia nel caso di aumento che di diminuzione della gestione. È il caso dei Criteri 4 e 5, mentre differenze più accentuate sono state registrate per Indicatori dei Criteri 1, 2, 3 e, specialmente, 6. Differenze sensibili tra le scale nazionale e regionale sono evidenti soltanto quando il peso del cerro gestito a ceduo e del faggio in evoluzione naturale sono molto differenti.

Una utilizzazione decrescente delle foreste - andamento che già coinvolge una quota parte importante dei boschi cedui in Italia ed in Europa (cedui oltre turno, in invecchiamento e in evoluzione naturale) ha prodotto effetti positivi sul 'Contributo delle foreste al ciclo globale del carbonio' (Criterio 1) e sul 'Mantenimento della salute e vitalità degli ecosistemi forestali' (Criterio 2). Sono viceversa penalizzate le funzioni produttive delle foreste (Criterio 3) e quelle sociali ed economiche (Criterio 6). Indirizzare alla evoluzione naturale il 5% o 10% dei cedui attualmente gestiti (Scenari 4 e 5 rispettivamente) comporta un incremento di circa l'8% di Indicatori quali 'Massa in piedi' e 'Stock di carbonio'. Un moderato effetto positivo è registrato anche per 'Defogliazione'. Diminuiscono invece in misura sensibile i valori di 'Incrementi e prelievi legnosi' (Criterio 3) ed alcuni Indicatori di tipo sociale ed economico: il 'Reddito netto' complessivo decresce del 6,5% e 13,0% per gli Scenari 4 e 5. Il medesimo andamento è osservato per 'Energia', con diminuzione di 0,07 e 0,14 MWt per anno rispetto alla situazione corrente.

L'incremento delle attività di gestione ha potenziato le funzioni produttive (Criterio 3) e quelle sociali ed economiche (Criterio 6). Performance inferiori si registrano per il contributo al ciclo globale del carbonio (Criterio 1). Destinare superfici attualmente in evoluzione naturale, parte alla ceduzione e parte alla conversione ad alto fusto, da un minimo del 10% (Scenario 2) fino al 10-30% (Scenario 7), ha risultati positivi su Indicatori quali 'Incrementi e prelievi legnosi' (Criterio 3), 'Reddito netto' ed 'Energia' (Criterio 6).

Evidente il trend positivo del 'Reddito netto' che aumenta in modo proporzionale alla intensità di gestione, con differenze consistenti (da +15% a +17%) negli Scenari 3 e 7 rispetto alla situazione corrente. Da sottolineare che nel caso dello Scenario 6, nel quale il cambiamento nella gestione ha coinvolto soltanto il cerro, si registra comunque un aumento del 10% del 'Reddito netto'. Analogo andamento si osserva per l'indicatore 'Energia'. Di contro, diminuzioni moderate (-4% - 8%) in 'Massa in piedi' and 'Stock di carbonio' sono presenti negli Scenari che aumentano il livello di attività della gestione. La diminuzione ridotta (-2%) considerando non solo la biomassa in piedi, ma anche quella rimossa con le utilizzazioni, è evidenziata dal nuovo Indicatore 'Biomassa epigea totale'.

6.3 Sintesi per i gestori e i decisori politici

Il ceduo è una forma antica di gestione del bosco sviluppata e mantenuta per rifornire le comunità rurali dei mezzi di sussistenza attraverso soprattutto la produzione di legna da ardere. E' ancor oggi diffusa in Europa su oltre 20 milioni di ettari; ben nove Paesi hanno superfici governate a ceduo superiori al milione di ettari (Unrau et al. 2018). Nell'intero bacino del Mediterraneo, i boschi cedui si stima che coprano oltre 23 milioni di ettari.

Negli ultimi decenni, il governo a ceduo è stato sempre meno utilizzato e le sue potenzialità non adeguatamente valorizzate (Unrau et al. 2018). Statistiche affidabili e aggiornate sui cedui a scala Europea sono scarse o non omogenee; ne consegue una ridotta possibilità di gestire razionalmente e in maniera sostenibile questo importante patrimonio, specialmente per i Paesi del Sud Europa.

Per fare ciò sono necessari sforzi comuni a livello europeo. L'attenzione dei decisori politici a livello UE e nazionale, dovrebbe innanzitutto incoraggiare e supportare la raccolta di dati e di statistiche sul ceduo e sulle sue principali forme di gestione, ad oggi spesso mancanti o non raccolti in modo armonizzato ed organizzato. Un richiamo in questo senso, anche nell'ambito di FOREST EUROPE, potrebbe favorire la ripresa di attenzione a livello di inventari e statistiche forestali nazionali, tenuto conto anche che i boschi cedui sono ben rappresentati nelle Reti europee ICP Forests di livello 1 e di livello 2, finalizzate a monitorare la condizione delle foreste in Europa.

Il processo di FOREST EUROPE ha reso evidente come Criteri e Indicatori di GFS siano uno strumento indispensabile per disporre di informazioni robuste a supporto della prassi decisionale.

In questo solco si è mosso LIFE FutureForCoppiceS contribuendo da una parte alla discussione sul ruolo delle foreste, nello specifico foreste governate a ceduo, e la loro Gestione sostenibile e, dall'altro, offrendo ulteriori strumenti di analisi e valutazione per i gestori e i decisori politici, sia a livello UE che nazionale, regionale e locale, nonché per il settore privato e la società civile. Con riferimento a quest'ultimo aspetto il progetto ha raccolto le richieste formulate dai vari portatori di interesse e dalle comunità locali, condensandole in uno specifico Report consultabile sul sito di progetto (<https://www.futureforcoppices.eu/it/>).

L'applicazione di Indicatori di GFS a boschi di origine agamica è uno dei risultati più rilevanti di LIFE FutureForCoppiceS. Una parte consistente degli Indicatori testati sono risultati appropriati (26 su 38) nel valutare la sostenibilità della gestione nell'ambito dei boschi governati a ceduo. Tra questi, i seguenti Indicatori sono fortemente raccomandati per la capacità informativa e di certificare la sostenibilità nel bosco di origine

cedua: lo Stock di carbonio, la Massa in piedi, La Biomassa epigea totale, la Copertura del sottobosco, il Reddito netto, L'Energia, l'Accessibilità per fini ricreativi.

Il progetto ha poi prodotto un quadro analitico di sostenibilità delle diverse opzioni applicando in modo sinergico Indicatori consolidati e nuovi per i sei Criteri di GFS. L'insieme di Criteri e Indicatori di GFS è stato applicato a livello di popolamento/unità di gestione, quindi alla scala operativa della selvicoltura. Ci si è quindi mossi a un livello complementare a quello ufficiale, attivando confronti incrociati tra le principali opzioni di gestione e i loro effetti sulla sostenibilità valutata in maniera integrata a scala operativa di popolamento/unità di gestione. La disponibilità di Indicatori appropriati a livello di popolamento consente di certificare la sostenibilità fino dalla unità di gestione, per poi da questo livello risalire a quella di foresta e di paesaggio.

Circa la sostenibilità delle differenti opzioni gestionali, secondo i risultati ed il quadro di riferimento del progetto, il ceduo in evoluzione naturale dimostra riscontri ambientali positivi (il ruolo della foresta nel ciclo del carbonio), mentre il ceduo tradizionale determina effetti positivi di tipo economico e sociale.

In termini di sostenibilità complessiva, l'opzione della conversione all'alto fusto merita di essere considerata con attenzione: essa combina nel tempo alti valori di massa in piedi e la possibilità di utilizzazione periodica parziale con i diradamenti, con impatti positivi di tipo ambientale (ciclo del carbonio, diversità specifica, energia dai residui di utilizzazione) e socio-economici (reddito netto e funzioni ricreative).

I decisori politici e gestori a livello UE, nazionale e regionale, devono quindi tenere in considerazione che lasciare i cedui alla evoluzione naturale è una opzione che rafforza il ruolo che le foreste rivestono nel ciclo globale del carbonio. Tale opzione, data l'assenza completa di utilizzazioni forestali, comprime però le funzioni produttive e socio-economiche e, in parte, anche quelle ambientali (recupero di energia dal legno e scarti legnosi). D'altra parte, un incremento della ceduzione e della conversione ad alto fusto (le soluzioni attive), anche in modo prudenziale, determina effetti positivi sugli aspetti produttivi (prodotti legnosi e non legnosi), su quelli socio-economici (reddito netto, valori ricreativi) e, in certa misura, su quelli ambientali (recupero di energia dal legno e scarti legnosi).

Dato che ciascuna delle opzioni di gestione considerate promuove alcuni aspetti della sostenibilità, la loro coesistenza e contiguità, fino dalla scala locale ed in proporzione variabile secondo le condizioni ambientali specifiche e il contesto socio-economico, è fortemente raccomandata. E' dall'esistenza a scala territoriale di un mosaico delle tre opzioni che derivano alti livelli di sostenibilità complessiva.

Ai decisori politici, gestori, tecnici e pianificatori è quindi offerta una 'cassetta degli attrezzi' con opzioni alternative e/o complementari capaci di produrre i risultati attesi e differenziati in funzione delle priorità assegnate dal contesto ambientale, socio-economico e dai vari portatori di interesse. Un approccio quindi di natura adattativa, di fatto sempre più auspicabile con l'avanzare dei cambiamenti ambientali. Tanto più nell'ambito dei boschi cedui che complessivamente rivestono un ruolo strategico in quanto (i) contributori di energia rinnovabile sostitutiva dei combustibili fossili, nonché (ii) sistema con elevate capacità adattative al cambiamento climatico, date le qualità intrinseche, e che perciò meritano massima attenzione da parte dei decisori politici, dei pianificatori e dei gestori.

Quanto sopra rappresenta quindi un contributo al conseguimento degli obiettivi 2020 della EU Forest Strategy, con particolare riferimento al rafforzamento della GFS delle foreste europee, in particolare di quelle di origine agamica, e alla individuazione delle opzioni gestionale in grado di assicurarne le molteplici funzioni.

LIFE FutureForCoppiceS per punti

- LIFE FutureForCoppiceS ha dimostrato che gli Indicatori di GFS, sia consolidati che nuovi, sono uno strumento robusto per valutare la sostenibilità del governo a ceduo.
- I seguenti Indicatori sono risultati particolarmente adatti a caratterizzare la sostenibilità delle diverse opzioni di gestione: (i) Stock di carbonio, (ii) Massa in piedi, (iii) Biomassa epigea totale, (iv) Copertura del sottobosco, (v) Reddito netto, (vi) Energia, (vii) Accessibilità per fini ricreativi.
- L'applicazione di Indicatori consolidati e nuovi, tarati sul ceduo, ha consentito di valutare in maniera integrata la sostenibilità delle diverse opzioni di gestione (ceduo tradizionale, in evoluzione naturale, in conversione ad alto fusto).
- Il ceduo tradizionale privilegia le funzioni produttive e quelle socio-economiche; il ceduo in evoluzione naturale ha effetti positivi sugli aspetti ambientali, come sottolineato dal contributo dato al ciclo del carbonio; la conversione ad alto fusto promuove sia aspetti ambientali (stock di carbonio, biodiversità, energia da residui) che quelli di natura socio-economica.
- Dato che ciascuna delle opzioni di gestione analizzate promuove aspetti diversi della sostenibilità, la loro coesistenza e contiguità, alle varie scale, è la soluzione fortemente raccomandata, tanto più in un contesto di cambiamenti globali.
- Le proporzioni ed il bilanciamento tra le diverse opzioni di gestione devono essere attentamente valutate e pianificate a partire dalla scala locale fino a quella regionale/nazionale, tenendo conto delle specifiche condizioni ambientali e del contesto socio-economico di riferimento.
- Dati e statistiche specifiche sui boschi di origine agamica e sulle principali opzioni gestionali sono essenziali per la gestione sostenibile di questo tipo di boschi, che rappresentano più del 10% della superficie forestale europea.
- I decisori politici ai livelli UE, nazionale e regionale, sono fortemente incoraggiati a sostenere la raccolta sistematica di dati e la creazione di statistiche sui cedui, oggi spesso carenti o mancanti.
- Incoraggiando e promuovendo la GFS dei boschi cedui e la loro multifunzionalità, il progetto LIFE FutureForCoppiceS ha contribuito al perseguimento degli scopi della EU Forest Strategy.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione assicurata nella realizzazione del progetto Anna Barbati, Davide Bettini, Federico Zuliani, Martina Pollastrini, Luca Marchino, Maurizio Piovosi, Cristina Baldoni, Chiara Perugini. Siamo inoltre grati a Marco Ferretti per aver contribuito allo sviluppo concettuale della proposta e per i preziosi consigli nel corso della realizzazione del progetto.

Bibliografia

- Aragón G., Martínez I., Izquierdo P., Belinchón R., Escudero A., 2010. Effects of forest management on epiphytic lichen diversity in Mediterranean forests. *Appl. Veg. Sci.* 13: 183–194.
- Bagella S., Bertini G., Brotzu R., Brunialti G., Calderisi M., Filigheddu R., Frati L., Landi S., Padovan F., Pisu D., 2017. Report on status and trends of traditional and newly tested SFM Criterion 4 at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 53.
- Bagella S., Brotzu R., Brunialti G., Filigheddu R., Frati L., Ferretti M., Landi S., Padovan F., Pisu D., 2016. Diversità di piante vascolari, licheni epifiti, funghi lignicoli e uccelli come indicatori di gestione forestale sostenibile a scala locale: manuale di rilevamento. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 39.
- Barbati A., Marchetti M., Chirici G., Corona P. 2014. European Forest Types and FOREST EUROPE SFM indicators: tools for monitoring progress on forest biodiversity conservation. *Forest Ecology and Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.004>
- Baskent E.Z., Keles S., Kadogullar A.I., Bingol O. 2011. Quantifying the effects of forest management strategies on the production of forest values: timber, carbon, oxygen, water, and soil. *Environmental modeling & assessment*, 16: 2,145-152.
- Beatty S.W. 2003. Habitat heterogeneity and maintenance of species in understory communities. In: Gilliam, F.S., Roberts, M.R. (Eds.), *The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America*. Oxford University Press, New York, pp. 177–197.
- Bernetti I, Ciampi C, Fagarazzi C, Sacchelli S (2009) I comparti forestale e di prima trasformazione del legno. In: AA.VV. *Stima della potenzialità produttiva delle agrienergie in Toscana*, Manuale ARSIA, Firenze, pp 43–70.
- Bertini G., Chianucci F., Cutini A., Fabbio G., Fratini R., Di Salvatore U., Marchino L., Piovosi M., Riccioli F. 2018. Report on status and trend of SFM Criterion 3 indicators at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, 27 pp.
- Bertini G., Chianucci F., Cutini A., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G., 2016. Misura del rapporto tra incremento legnoso e utilizzazioni, del legno tondo prodotto e della produzione di funghi eduli commerciabili. Guida per studi in campo. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, 28 pp.
- Bertini G., Chianucci F., Cutini A., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G., 2016. Misura dell'accrescimento, della biomassa arborea epigea complessiva, dell'efficienza di accrescimento e

della mortalità. Guida per studi in campo. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.1, 26 p.

- Bertini G., Di Salvatore U., Chianucci F., Ferrara C., Cutini A., Piovosi M., Marchino L., Calderisi M., Fabbio G., 2016. Report on status and trend of indicators related to SFM Criterion 1 at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 75.
- Bishop R.C., Romano D. (1998), Environmental resource valuation. Kluwer Academic Publisher.
- Brun F., Furlan G. (2000), Interventi di valorizzazione dei boschi cedui: convenienza economica e ricadute dell'utilizzo delle faggete in Piemonte Grugliasco 2000.
- Brunialti G., Frati L., Ravera S., 2015. Ecology and conservation of the sensitive lichen *Lobaria pulmonaria* in Mediterranean old-growth forests. In: Old-Growth Forests and Coniferous Forests. Ecology, habitat and conservation, Weber R.P. (Ed.), Nova Publisher, New York. Chapter 1: 1-20.
- Brunialti G., Ravera S., Frati L., 2013. Mediterranean old-growth forests: the role of forest type in the conservation of epiphytic lichens. *Nova Hedwigia*, 96 (3-4): 367-381. IF: 0,81.
- Campioli M., Vicca S., Luysaert S., Bilcke J., Ceschia E., Chapin III F. S., Ciais P., Fernández-Martínez M., Malhi Y., Obersteiner M., Olefeldt D., Papale D., Piao S. L., Peñuelas J., Sullivan P. F., Wang X., Zenone T., Janssens I.A. 2015. Biomass production efficiency controlled by management in temperate and boreal ecosystems. *Nature Geoscience*, Volume 8, 843–846.
- CEC (Commission of the European Communities), 2002. Towards a thematic strategy for soil protection. In: Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 16 April 2002, Brussels, p. 35.
- Chianucci, F. (2016). A note on estimating canopy cover from digital cover and hemispherical photography. *Silva Fennica*, 50(1), 1-10.
- Chianucci F., Bertini G., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G, Cutini A., Landi S., 2016. Campionamento per la stima della copertura del piano di vegetazione arboreo superiore, inferiore, arbustivo e delle briofite, dello spessore della lettiera e della regimazione idrica. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 19.
- Chianucci, F., Cutini, A., Corona, P. and Puletti, N., 2014a. Estimation of leaf area index in understory deciduous trees using digital photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198, pp. 259-264.
- Chianucci F., Ferrara C., Bertini G., Piovosi M., Marchino L., Fabbio G, Landi S., Cutini A., 2017. Report on status and trend of indicators related to SFM Criterion 5 at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 42.
- Chianucci, F., Puletti, N., Venturi, E., Cutini, A. and Chiavetta, U., 2014b. Photographic assessment of overstory and understory leaf area index in beech forests under different management regimes in Central Italy. *Forestry Studies*, 61(1), pp. 27-34.
- Chianucci F., Salvati L., Giannini T., Chiavetta U., Corona P., Cutini A. 2016. Long-term response to thinning in a beech (*Fagus sylvatica* L.) coppice stand under conversion into high forest in central Italy. *Silva Fennica* 50 (3):1-9.
- Ciais P., Schelhaas M.J., Zaehle S., Piao S. L., Cescatti A., Liski J., Luysaert S., Le-Maire G., Schulze E.-D., Bouriaud O., Freibauer A., Valentin iR., Nabuurs G. J. 2008. Carbon accumulation in European forests. *Nature Geoscience* volume 1, pages 425–429.

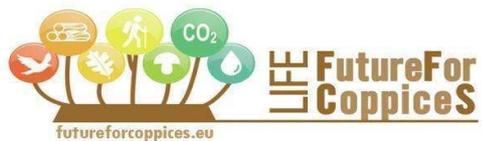
- Ciancio, O., Corona, P., Lamonaca, A., Portoghesi, L., & Travaglini, D. (2006). Conversion of clearcut beech coppices into high forests with continuous cover: A case study in central Italy. *Forest Ecology and Management*, 224(3), 235-240.
- Corradini S, Chianucci F, Gottardini E, Cristofori A Cutini A., 2018. Report. Data harmonization and project database. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 20.
- Cutini A., Gottardini E., Amici V., Bagella S., Bertini G., Brunialti G., Caddeo C., Calderisi M., Chianucci F., Ciucchi B., Corradini S., Cristofolini F., Cristofori A., Di Salvatore U., Fabbio G., Ferrara C., Frati L., Fratini R., Landi S., Riccioli F., Rocchini D., Roggero P.P., Seddaiu G., Tattoni C., 2019. Sintesi dei risultati di progetto per sito. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS.
- De Feudis, M., Cardelli, V., Massaccesi, L., Lagomarsino, A., Fornasier, F., Westphalen, D.J., Cocco, S., Corti, G., Agnelli, A., 2017. Influence of Altitude on Biochemical Properties of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) Forest Soils. *Forests*, 8, 213.
- Dettori S. Marone E., Portoghesi L. 2009. filiera delle produzioni forestali non legnose: produzione e raccolta tra sostenibilità e tracciabilità. In: Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Firenze pp. 742-751.
- EEA, European Environment Agency 2017.
- Eichhorn J., Roskams P., 2013. Assessment of Tree Condition, in: Ferretti, M., Fischer, R. (Eds.), *Forest Monitoring. Methods for Terrestrial Investigations in Europe with an Overview of North America and Asia*. Developments in Environmental Science, Elsevier, UK, pp. 139-167.
- Espelta JM., Sabaté S., Retana J. 1999. Resprouting dynamics. In: Roda F., Retana J., Gracia CA., Bellot J. (eds). *Ecology of the Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies vol. 137. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 61-71.
- Evans JR, Poorter H (2001) Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant Cell Environ* 24:755–767.
- Fabbio G. 2016. Coppice forests, or the changeable aspect of things, a review. *Annals of Silvicultural research*, vol. 40(29): 108-132.
- Fabbio G. 2018. Il ceduo presente e futuro: quali opportunità? Workshop 'Il governo a ceduo e la selvicoltura in Sardegna'. Nuoro, 30-31 ottobre 2018.
- Fabbio G., Cutini A. (2017), Il ceduo oggi: quale gestione oltre le definizioni? *Forest@* 14: 257-274. <http://www.sisef.it/forest@/pdf/?id=efor2562-014>.
- Fagarazzi C., Fratini R., Riccioli F. (2006), Stima della funzione paesaggistica delle fustaie transitorie di cerro: il caso delle Colline Metallifere, *Annali Istituto Sperimentale per la selvicoltura di Arezzo*, Vol. XXXIII.
- Ferretti M., Cutini A., Gottardini E., 2016. Linee Guida per una preparazione coerente delle indagini e dei dati "Guidelines for a consistent and harmonized preparation of surveys and data". Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS. pp. 22.
- FOREST EUROPE, 2015: State of Europe's Forests 2015. www.foresteurope.org
- FOREST EUROPE, UNECE and FAO 2011: State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe

- Fratini R., Marone E., Riccioli F., C. (2016). Indicatori socio-economici per la valutazione a livello locale del Criterio 6 della Gestione Forestale Sostenibile. Una guida per la loro misura, valutazione e interpretazione. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp.36
- Fratini R., Riccioli F., Marone E. (2017). Report on status and trend of SFM Criterion 6 indicators at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp.41.
- Garson, J., Aggarwal, A., Sarkar, S., 2002. Birds as surrogates for biodiversity: an analysis of a data set from southern Quebec. *J. Biosci.* 27, 347–360.
- Gasparini P., Tabacchi G. (a cura di). 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, pp.653
- Gillam S., Tomter S., Edwards D., Kastenholz E., Lebedys A., Pepke E., Solberg B., Steierer F., Whiteman A., 2011. Criterion 6: Maintenance of Other Socio-Economic Functions and Conditions. In *FOREST EUROPE, UNECE and FAO 2011: State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe.*
- Gilliam F.S. 2007. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *Bioscience* 57, 845–858.
- Giordani P., Brunialti G., Nascimbene J., Gottardini E., Cristofolini F., Isocrono D., Matteucci E., Paoli L., 2006. Aspects of biological diversity in the CONECOFOR plots. III. Epiphytic lichens. *Ann. Ist. Sper. Selv.*, Vol. 30: 43-50.
- Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Pollastrini M., Ferretti M., 2016. Misura della fluorescenza della clorofilla a, contenuto di clorofilla e tratti fogliari: campionamento, raccolta e misurazioni. Guida per studi in campo. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.2, pp. 34. <http://www.futureforcoppices.eu/en/documents/manuals.html>
- Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Pollastrini M., Ferretti M., 2016. Misura della fluorescenza della clorofilla a, contenuto di clorofilla e tratti fogliari: campionamento, raccolta e misurazioni. Guida per studi in campo. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.2, pp. 34.
- Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Roggero PP., Seddaiu G. 2018. Report on status and trend of SFM Criterion 2 at the project sites. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, Azione B.2, pp. 122.
- Grenyer, R., Orme, C.D.L., Jackson, S.F., Thomas, G.H., 2006. Global distribution and conservation of rare and threatened vertebrates. *Nature* 444, 93–96.
- Gustafsson L., Appelgren L., Jonsson F., Nordin U., PERSSON A., et al. 2004. High occurrence of red-listed bryophytes and lichens in mature managed forests in boreal Sweden. *Basic. Appl. Ecol.* 5: 123–129.
- Gustafsson, L., De Jong, J., Noréng, M., 1999. Evaluation of Swedish woodland key habitats using red-listed bryophytes and lichens. In *Biodiversity and Conservation* 8: 1101. <https://doi.org/10.1023/A:1008934526658>

- Holisova P., Pietras J., Darenova E., Novosadova K., Pokorny R. 2015. Comparison of assimilation parameters of coppice and non-coppiced sessile oak. Coppice forests: past, present and future. International Conference, Brno, April 9-11, 2015. http://coppice.eu/conference_en.html
- Islam R., Siwar C., Ismail S. M., Chamhuri N.H., 2010. Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management in Malaysia. *American Journal of Environmental Sciences* 6 (3): 212-218
- Jolls CL. 2003. Populations of and threats to rare plants of the herb layer: More challenges and opportunities for conservation biologists. Pages 105–162 in Gilliam FS, Roberts MR, eds. *The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America*. New York: Oxford University Press.
- Kalaji HM, Schansker G, Ladle RJ et al. (2014) Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. *Photos Res* 122:121–158.
- Kermavnar, J., Eler, K., Marinšek, A., Kutnar, L. (2019) Initial understory vegetation responses following different forest management intensities in Illyrian beech forests. *Applied Vegetation Science*, early view, doi: 10.1111/avsc.12409
- Konstantinidis P., Tsiourlis G., Kofis P. 2006. Effect of fire season, aspect and pre-fire plant size on the growth of *Arbutus unedo* L. (strawberry tree) resprouts. *Forest Ecology and Management* 225 (1-3): 359-367.
- Lassere B., Chirici G., Chiavetta U., Garfi V., Drigo R. 2011. Assessment of potential bioenergy from coppice forests through the interpretation of remote sensing and field survey. *Biomass and bioenergy*, vol. 35 (1): 716-724.
- Levin DA, Wilson AC. 1976. Rates of evolution in seed plants: Net increase in diversity of chromosome numbers and species numbers through time. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 73: 2086–2090.
- Lonsdale D., Pautasso M., Holdenrieder O., 2008. Wood-decaying fungi in the forest: conservation needs and management options. *European Journal of Forest Research* 127 (1), 1-22.
- Lopez BC., Gracia CA., Sabaté S., Keenan T. 2009. Assessing the resilience of Mediterranean holm oaks to disturbance using selective thinnings. *Acta Oecologica* 35: 849-854.
- Macfarlane C., Bond C., White D.A., Grigg A.H., Ogden G.N., Silberstein R., 2010. Transpiration and hydraulic traits of old and regrowth eucalypt forest in southwestern Australia. *Forest Ecology and Management*, Volume 260, Issue 1, Pages 96-105.
- Marchetti M., Motta R., Pettenella D., Sallustio L., Vacchiano G., 2018. Le foreste e il sistema foresta-legno in Italia: verso una nuova strategia per rispondere alle sfide interne e globali. *Forest@* 15: 41-50. – doi: 10.3832/efor2796-015 [online 2018-05-03]
- Marinelli A., Bernetti I., Casini L., Cateni A., Fratini R., Romano D., Romano S., Rosato C., 1990. La valutazione economica della ricreazione all'aperto: il caso del Parco Naturale dell'Orecchiella (Lucca), Firenze
- Mendoza G.A., Prabhu R., 2000a. Multiple criteria decision making approaches to assessing forest sustainability using criteria and indicators: A case study. *Forest Ecology and Management* 131(1-3):107-126.
- Merlo M., and Croitoru L., Editors, *Valuing Mediterranean Forests: Towards Total Economic Value*, CABI International, Wallingford UK/Cambridge MA (2005) 406 pp.

- Mevik B.H., Wehrens R., Liland K.H., 2016. R Package: 'pls': Partial Least Squares and Principal Component regression. R Package version 2.50
- Muller RN, Bormann FH. 1976. Role of *Erythronium americanum* Ker. In energy flow and nutrient dynamics of a northern hardwood forest ecosystem. *Science* 193: 1126–1128.
- Mullerová J., Hédli R., Szabò P., 2015. Coppice abandonment and its implications for species diversity in forest vegetation. *Forest Ecology and Management*, Volume 343, Pages 88-100.
- Nascimbene J., Marini L., NIMIS P.L. 2007. Influence of forest management on epiphytic lichens in a temperate beech forest of northern Italy. *Forest Ecol. Manag.* 247: 43–47.
- Neufeld HS, Young DR. 2003. Ecophysiology of the herbaceous layer in temperate deciduous forests. Pages 38–90 in Gilliam FS, Roberts MR, eds. *The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America*. New York: Oxford University Press.
- Nilsson S.G., Arup U., Baranowski R., Ekman S., 1995. Tree-dependent lichens and beetles as indicators in conservation forests. *Conserv. Biol.* 9: 1208–1215.
- Pietras J., Stojanovic M., Knott R., Pokorny R. 2016. Oak sprouts grow better than seedlings under drought stress. *iForest (early view)* doi: 10.3832/ifor1823-009
- Piussi P., 1982 - Il trattamento a ceduo di alcuni boschi toscani dal XVI al XX secolo, *Dendronatura*, n° 1, Trento.
- Piussi P., Stiavelli S., 1986. Dal documento al terreno. *Archeologia del bosco delle Pianora (Colline delle Cerbaie, Pisa)*. Quaderni storici, Vol. 21, No. 62 (2), *Aristocrazie europee dell'Ottocento; Boschi: storia e archeologia* 2, pp. 445-466
- Piussi P., Zanzi Sulli A. 1997. Selvicoltura e storia forestale. *Annali AISF*, Firenze 46: 25-42.
- Pra A., Pettenella D. 2016 - Consumption of wood biomass for energy in Italy: a strategic role based on weak knowledge. *L' Italia Forestale e Montana/Italian Journal of Forest and Mountain Environments* 71 (1): 49-62.
- Qian H., Kissling W. D.. 2010. Spatial scale and cross-taxon congruence of terrestrial vertebrate and vascular plant species richness in China. *Ecological Society of America, Ecology*, 91(4), pp. 1172–1183
- Roberts M., Gilliam F. 1995. Patterns and mechanisms of plant diversity in forested ecosystems – implications for forest management *Ecological Applications* 5, 969-977.
- Romano D., Carbone F. (1993) La valutazione economica dei benefici ambientali: un confronto fra approcci non di mercato, *Rivista di Economia Agraria* 48(1), 19-62.
- Rose F., 1992. Temperate forest management: its effects on bryophyte and lichen floras and habitats. – In: Bates, J.W., A.M. Farmer (eds.): *Bryophytes and lichens in a changing environment*: 211–233. – Clarendon Press, Oxford.
- Rovira, P., Vallejo, V.R., 2003. Physical protection and biochemical quality of organic matter in Mediterranean calcareous forest soils: a density fractionation approach. *Soil Biol. Biochem.* 35, 245–261.
- Santopuoli G., Ferranti F., Marchetti M., 2015. Implementing Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management in a Decentralized Setting: Italy as a Case Study. *Journal of Environmental Policy & Planning*, Volume 18. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2015.1065718>

- Seddaiu, G., Porcu, G., Ledda, L., Roggero, P.P., Agnelli, A., Corti, G., 2013. Soil organic matter content and composition as influenced by soil management in a semi-arid Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 167, 1-11.
- Signorello G. (1990) La stima dei benefici di tutela di un'area naturale: un'applicazione della "Contingent Valuation", *Genio Rurale* n.9, 55-66.
- Splichalova M. 2015. Aspects of oak (*Quercus* sp.) management in Spain and its application. Coppice forests: past, present and future. International Conference, Brno, April 9-11, 2015. http://coppice.eu/conference_en.html
- Springer N. Kaliyan N., Bobick B., Hill J. 2017. Seeing the forest for the trees: How much woody biomass can the Midwest United States sustainably produce? *Biomass and Bioenergy*, Volume 105, October 2017, Pages 266-277.
- Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K., & Verhoest, N. E. (2006). Spatial variability and temporal stability of throughfall water under a dominant beech (*Fagus sylvatica* L.) tree in relationship to canopy cover. *Journal of hydrology*, 330(3-4), 651-662.
- Tattoni C, Rocchini D, 2018 Report Spatial models implementation and maps. Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 28.
- Tempesta T. (1996) Criteri e metodi di analisi del valore ricreativo del territorio, Unipress, Padova.
- Timmermann V., Potočić N., Sanders T.G.M., Schmitz A., 2017. Tree crown condition in 2016. In: Michel A, Seidling W, editors (2017) *Forest Condition in Europe: 2017 Technical Report of ICP Forests*. Report under the UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). BFW Dokumentation 24/2017. Vienna: BFW Austrian Research Centre for Forests. 128 p.
- Unrau A., Becker G., Spinelli R., Lazdina D., Magagnotti N., Nicolescu V.N., Buckley P., Bartlett D., Kofman P.D. (Eds.) 2018. *Coppice Forests in Europe*. Freiburg i. Br., Germany: Albert Ludwig University of Freiburg. <https://www.eurocoppice.uni-freiburg.de/>
- Vild, O., Roleček, J., Hédli, R., Kopecký, M., Utinek, D., 2013. Experimental restoration of coppice-with standards: response of understorey vegetation from the conservation perspective. *For. Ecol. Manage.* 310, 234-241.
- Vilen T. 2012. Reconstructed forest age structure in Europe 1950-2010. *Forest Ecol. Management* 286, 203-218.
- Vockenhuber E.A., Scherber C., Langenbruch C., Meißner M., Seidel D., Tschardt T. 2011. Tree diversity and environmental context predict herb species richness and cover in Germany's largest connected deciduous forest. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 13, 111–119.
- Vrška T., Motta R., Mosseler A., 2015. Coppice forests: past, present and future. *Conferenza Internazionale di Brno* (<http://www.sisef.it/iforest/archive/?action=collection&arg=COPCZ>).



Shaping future forestry for sustainable coppices in southern Europe:
the legacy of past management trials

