

## LA RICERCA IN ASCOLTO: PRIME RISPOSTE SU SHERWOOD

Compagnia delle Foreste e SISEF, per dare seguito ad una Tavola Rotonda svolta in occasione l'XI Congresso Nazionale SISEF, hanno indetto attraverso la Rivista Sherwood un concorso per giovani ricercatori. Obiettivo dell'iniziativa è stato quello di presentare, attraverso un articolo divulgativo, le ricadute pratiche e applicative di lavori di ricerca per rispondere ad alcune delle richieste di conoscenza espresse da tecnici e operatori del settore in occasione della Tavola Rotonda. I tre articoli che seguono sono quelli considerati ammissibili relativamente allo spirito divulgativo e pratico richiesto dal concorso e che hanno superato l'iter di referaggio a cui vengono sottoposti tutti gli articoli pubblicati su Sherwood. Tra questi una commissione sceglierà quale premiare in occasione del XII Congresso SISEF di Ottobre 2019.

SERVIZI ECOSISTEMICI



# Fruizione futura dei servizi ecosistemici

## Prospettive in funzione dei cambiamenti climatici e della gestione nelle foreste montane

di MARCO MINA, MAXIME CAILLERET, RENZO MOTTA, HARALD BUGMANN



Gli ecosistemi forestali montani forniscono un'ampia gamma di beni e servizi da cui le società umane traggono importanti benefici. L'uso di modelli matematici innovativi e di indicatori specifici è sempre più utilizzato per valutare gli impatti del cambiamento climatico e possibili adattamenti delle strategie gestionali.

**C**irca due quinti del territorio europeo sono classificati come montagna. Oltre ad ospitare più del 20% della popolazione del continente, le regioni montane sono coperte per oltre il 40% da foreste. Questi ecosistemi sono elementi chiave del paesaggio e hanno un ruolo polifunzionale largamente riconosciuto. Essi forniscono materie prime come legno e prodotti forestali non legnosi, offrono habitat per molte specie animali e vegetali, contribuiscono alla regolazione del clima grazie al loro ruolo chiave nel ciclo del carbonio e hanno

un'importante funzione turistico-ricreativa e culturale. Inoltre, le foreste montane proteggono il terreno da fenomeni erosivi e le popolazioni locali, e i frequentatori della montagna, da rischi legati a pericoli naturali quali caduta di massi e valanghe.

Secondo i più recenti rapporti IPCC (IPCC 2014), il cambiamento climatico sta avanzando ad un ritmo senza precedenti, con proiezioni future che prevedono forti aumenti di temperatura (da +1,2 a +6,9 °C di temperatura media estiva del periodo 2071-2100 vs 1961-1990) e variazioni delle quantità di

precipitazioni (da -52 a +28% di precipitazioni estive) soprattutto nelle fasce montane. Negli ultimi decenni sono diventati sempre più evidenti i primi impatti dei cambiamenti climatici sulle strutture, sui processi ecologici e sulla diversità degli ecosistemi forestali montani. Tali impatti possono provocare riduzioni o perdite nella fornitura di servizi ecosistemici nei prossimi decenni.

In questo contributo si riportano in sintesi i risultati di uno studio del gruppo di Ecologia Forestale del Politecnico di Zurigo nell'ambito del progetto ARANGE "Advanced multifunctio-

nal forest management in European mountain RANGES". Il progetto finanziato dall'UE (FP7-KBBE, progetto n. 289437) ha avuto come scopo principale quello di: esaminare i pro e i contro dei differenti approcci alla gestione delle foreste montane europee, analizzare i quadri politici e di *governance* delineando strategie di gestione alternative, modellizzare scenari forestali futuri e definire indicatori quantitativi dei servizi ecosistemici. In particolare in questo articolo si farà riferimento ai risultati di due delle quattro aree di studio indagate. Anche se lo studio non considera nello specifico realtà forestali italiane, sono state analizzate, in regioni confinanti (in Francia, Austria e Slovenia) categorie forestali tra quelle più frequenti anche nelle Alpi italiane in condizioni simili di altitudine, clima e modalità di gestione forestale.

## OBIETTIVI

L'obiettivo del lavoro è quello di valutare le future erogazioni di servizi ecosistemici in diverse foreste montane d'Europa per meglio comprendere i possibili impatti del cambiamento climatico e delle scelte selvicolturali (MINA *et al.* 2017a) per fornire indicazioni pratiche a decisori politici e tecnici forestali supportando i processi decisionali e la realizzazione degli strumenti di pianificazione necessari a ottimizzare le forniture di tali beni e servizi.

Tra le sette regioni montane considerate in ARANGE, sono state selezionate quattro aree di studio rappresentative delle principali categorie forestali delle catene montuose dell'Europa centro-meridionale (Figura 1, Tabella 1). Per incorporare il maggior numero di condizioni di mescolanza di specie, struttura arborea, regimi selvicolturali e caratteristiche topografiche, in ciascuna area di studio sono stati selezionati cinque Tipi di Particelle Rappresentative (TPR) con informazioni dettagliate sulla struttura forestale (densità, diametri, specie, ecc.), fattori abiotici (disponibilità di azoto, ritenzione idrica

del suolo, ecc.), serie climatiche storiche (1961-1990 da stazioni meteorologiche) e cinque scenari di cambiamento climatico. Questi ultimi si estendono da oggi al 2100 e derivano da simulazioni di modelli climatici regionali elaborati nell'ambito del progetto EU-FP6 ENSEMBLES (HEWITT e GRIGGS 2004) basati sullo scenario A1B di emissioni di gas serra (NAKIĆENOVIĆ *et al.* 2000). Questi scenari, sono stati adattati a ciascuna area di studio in base ad altitudini, pendenze, esposizioni (BUGMANN *et al.* 2017, TRUJHETZ 2013) e infine classificati in base all'aumento di temperatura media annua (da CC1, il più mite, a CC5, il più estremo).

## SIMULAZIONI DI DINAMICA FORESTALE

Il previsto cambiamento climatico di fatto rende inutilizzabili i modelli empirici costruiti sulla base dei dati raccolti nel passato. L'utilizzo di modelli matematici dinamici è un supporto importante per affrontare questo problema ed è divenuto

sempre più frequente, grazie anche al fatto che tali modelli consentono di fare previsioni a lungo termine. In questo studio è stato utilizzato il modello FORCLIM per simulare le dinamiche di vegetazione a scala di particella forestale. Tale modello è stato inizialmente sviluppato per le foreste dell'arco alpino (BUGMANN 1996) ed è stato validato in numerosi studi dimostrando buona affidabilità nel riprodurre strutture, dinamiche e interventi selvicolturali nelle foreste Europee (MINA *et al.* 2017b). FORCLIM si basa su specifici principi ecologici per cogliere l'influenza del clima e dei processi ambientali per modellizzare rinnovazione, crescita e mortalità delle singole specie forestali. Essendo un modello relativamente versatile e generalizzabile, se accuratamente calibrato con dati raccolti in campo (HUBER *et al.* 2018) può essere applicato anche ai boschi italiani consentendo di riprodurre un'ampia gamma di trattamenti selvicolturali come il taglio a raso, tagli successivi, taglio saltuario, diradamenti, ecc..

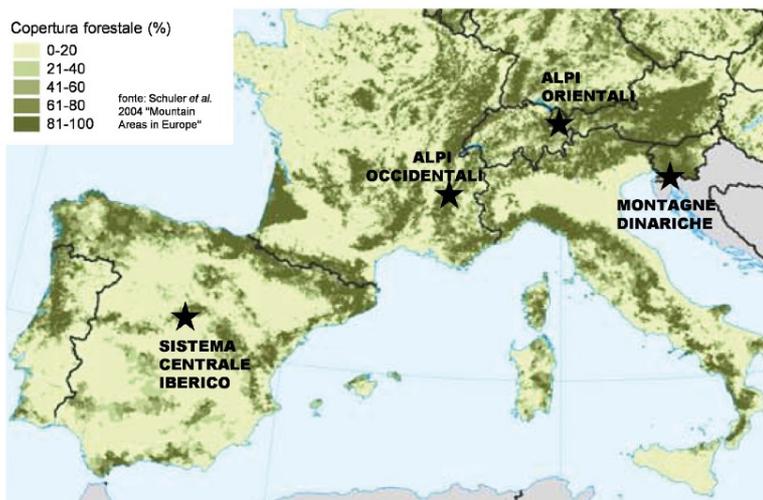


Figura 1 - Ubicazione geografica delle aree di studio.

	Sistema Centrale Iberico	Alpi occidentali	Alpi orientali	Montagne Dinariche
Nome della regione	Valsain	Vercors	Montafon	Snežnik
Paese	Spagna	Francia	Austria	Slovenia
Coordinate	40°50'N, 4°01'W	45°10' N, 5°32'E	47°04' N, 9°50'E	45°34' N, 14°24'E
Area (km²)/ foresta (%)	100/90	500/55	75/90	50/97
Gradiente altitudinale (m s.l.m.)	1.200-2.000	600-1.900	600-2.000	600-1.500
Temperatura media annua (°C)	10,3	5,9	4,5	3,8
Precipitazione annuale (mm)	1.116	1.482	1.448	1.927
Specie forestali	<i>Pinus sylvestris</i> , <i>Quercus pyrenaica</i> , <i>Quercus ilex</i>	<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Abies alba</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Acer pseudoplatanus</i>

Tabella 1 - Caratteristiche delle aree studio. Temperature e precipitazioni per un'altitudine di 1200 m s.l.m. in base a serie climatiche 1961-1990. Specie forestali in ordine di abbondanza.



Con questo modello, è stato quindi simulato lo sviluppo forestale in ogni TPR delle quattro aree di studio per i cinque diversi scenari di cambiamento climatico e tre scenari gestionali: non-intervento, regime attuale (*Business-As-Usual*, BAU) e un regime alternativo. Quest'ultimo è stato adattato da BAU per perseguire obiettivi simili o diversi in base alle richieste di beni e servizi specifici in ogni area studio (KLOPČIČ *et al.* 2013). In Tabella 2 è possibile approfondire gli scenari gestionali proposti nelle due aree di studio Alpine, selezionati per motivi di spazio e scelte perché più vicine alle realtà italiane. I regimi selvicolturali sono stati definiti da selvicoltori in cooperazione con i responsabili di ARANGE delle aree di studio. Tale approccio, basato su dati ed esperienza di forestali locali, è stato scelto per poter esplorare interventi potenzialmente applicabili al fine di fornire raccomandazioni chiare ai tecnici forestali nelle diverse regioni.

Per quantificare i servizi ecosistemici, abbiamo utilizzato una serie di algoritmi che forniscono una quantificazione imparziale e accurata della fornitura di beni e servizi a partire dagli *output* del modello (BUGMANN *et al.* 2017). Tramite un'analisi fattoriale si è ridotto a cinque il numero di indicatori esprimenti i servizi ecosistemici comuni (indici descritti in MINA *et al.* 2017a):

1. produzione di legname (volume legname raccolto, m<sup>3</sup>/ha/anno);
2. stoccaggio di carbonio (biomassa del soprassuolo, t/ha);
3. conservazione di biodiversità/habitat (volume legno morto, m<sup>3</sup>/ha);
4. protezione da caduta massi;
5. protezione da caduta valanghe.

### SERVIZI ECOSISTEMICI FUTURI

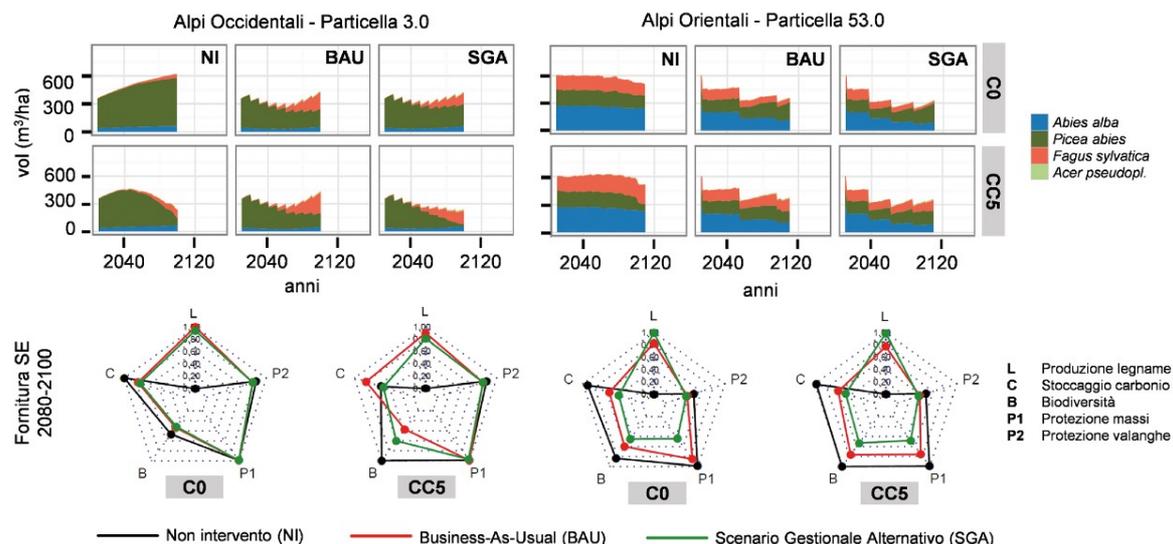
I risultati delle simulazioni hanno dimostrato un impatto molto eterogeneo dei cambiamenti

climatici sulla erogazione di servizi ecosistemici. Tale variabilità è dovuta anche alle diverse strutture iniziali dei popolamenti e a differenze tra i regimi climatici locali. I maggiori impatti del cambiamento climatico tra le quattro aree indagate dal progetto, sono stati identificati nei popolamenti forestali delle Alpi Occidentali e delle Montagne Dinariche, soprattutto con i più severi scenari di cambiamento climatico (per es. vedi Particella 3.0 in Figura 2).

Qui il cambio del clima sarebbe in grado di indurre riduzioni allo stoccaggio di carbonio e in parte alle funzioni di protezione da caduta massi a causa di un incremento della mortalità dell'abete rosso e bianco dovuta all'aumento di eventi siccitosi. Nelle Alpi Orientali, tuttavia, anche con lo scenario climatico più severo sono stati osservati solo minimi cambiamenti, come un leggero aumento dell'indice di biodiversità (aumento della necromassa dovuto

	Alpi Occidentali	Alpi Orientali
Regime attuale ( <i>Business-As-Usual</i> , BAU)	<b>Fustaie disetanee trattate a taglio saltuario</b> Prelievo per piede d'albero con periodo di curazione di 8-10-12 anni (variabile in base alla particella) con prelievi dal 15 al 20% dell'area basimetrica del popolamento. Prelievo dal 50 all'80% di individui al di sopra di un diametro predefinito. Specie arboree prelevate in proporzione alla loro quota nel popolamento, con abete rosso favorito in particelle pubbliche.	<b>Fustaie disetanee a taglio saltuario per gruppi</b> Selezione per gruppi effettuato con tecniche di taglio a strisce mediante l'uso di teleferiche mobili (IRAUSCHEK <i>et al.</i> 2015). Periodo di prelievo di 42 anni con rimozione successiva in lotti irregolari sulla linea delle gru a cavo. Ciclo di rinnovo dell'intera superficie forestale di 250 anni.
Scenario gestionale alternativo	Taglio saltuario. Prelievo sia per piede d'albero che per selezione a gruppi ( <i>patch cut</i> ) con periodo di curazione di 8-10-12 anni (variabile) e prelievi dal 15 al 20% dell'area basimetrica. Riduzione del diametro minimo di prelievo ma conservazione di alberi di grandi dimensioni ad ogni intervento.	Aumento della frequenza degli interventi selvicolturali. Interventi consecutivi ogni 25 anni con prelievi su 25, 25, 25, 15, 15, 15% di superficie forestale in lotti irregolari sulla linea delle gru a cavo. Ciclo di rinnovo dell'intera superficie forestale di 150 anni.

**Tabella 2** - Descrizione dei regimi selvicolturali di due della quattro aree di studio indagate, con indicazione degli interventi culturali per le particelle forestali selezionate in questo studio. Ulteriori dettagli e descrizioni per le altre aree di studio in MINA *et al.* (2017a). Per una panoramica sui sistemi di gestione, valutazioni della loro efficienza e raccomandazioni su possibili miglioramenti dei regimi di gestione nell'ambito del progetto ARANGE vedi KLOPČIČ *et al.* 2015.



**Figura 2** - Esempi di simulazioni dell'evoluzione della vegetazione secondo il modello FORCLIM in due particelle forestali delle due aree di studio considerate in questo articolo in condizioni climatiche attuali (C0) e cambiamento climatico (CC5). I diagrammi radar determinano le proiezioni future dei cinque servizi ecosistemici per i regimi gestionali considerati.

a sporadici episodi di mortalità arborea) e una lieve riduzione della protezione da caduta massi (Figura 2, Particella 53.0). Ciò indica che le foreste montane e subalpine delle Alpi orientali non sarebbero significativamente influenzate dai cambiamenti climatici, a meno che non si considerino disturbi naturali come schianti da vento e infestazioni di scolitidi.

Analizzando le relazioni tra coppie di servizi ecosistemici (Figura 2), si rilevano più correlazioni positive (sinergie) che negative (*trade-offs*). Per esempio, la sinergia tra funzioni protettive e stoccaggio di carbonio conferma il ruolo chiave della copertura forestale e della necromassa legnosa per ridurre il rischio di pericoli naturali come cadute massi e valanghe (WEHRLI *et al.* 2006). Si è inoltre visto che le relazioni tra coppie di servizi ecosistemici variano significativamente tra le aree studio mentre solo alcune si sono dimostrate sensibili ai regimi gestionali (per es. produzione di legname vs protezione da valanghe) e agli scenari di cambiamento climatico (per es. carbonio vs biodiversità).

Lo scenario di non intervento comporta spesso più alte forniture dei servizi ecosistemici di regolazione, come protezione e biodiversità. Anche se non gestire può essere un'opzione valida in alcune particelle per motivi di conservazione ambientale o più semplicemente per scarsa accessibilità, questo non implica alcuna produzione di legname che continua ad essere percepita come uno tra i più importanti servizi ecosistemici. Non essendo applicabile alla maggioranza delle particelle selezionate, tale scenario non è stato perciò considerato tra le possibili strategie di gestione forestale multifunzionale del progetto ARANGE.

## CONSEGUENZE E PROSPETTIVE PER LA GESTIONE

Considerando l'insieme delle particelle forestali delle quattro aree di studio del progetto, le differenze tra gli indicatori dei servizi ecosistemici sono maggiori tra gli scenari selvicolturali che tra quelli climatici. Ciò porta a concludere **che la scelta dei regimi gestionali ha un impatto maggiore sulla fornitura di servizi ecosistemici rispetto agli effetti diretti del cambiamento climatico**. Questi ultimi risultano assai variabili nelle diverse regioni montane europee dipendono da proprietà del popolamento forestale, piani altitudinali e condizioni climatiche. Generalmente, gli effetti negativi del cambiamento climatico sembrano essere circoscritti ai popolamenti a quote medio-basse (sotto i 1.000 m s.l.m.), specialmente nelle peccete a causa del possibile aumento della siccità stagionale. A quote più elevate invece,



Foreste di abete rosso e bianco delle Prealpi del Vercors (Francia)



Le foreste montane della valle del Montafon (Austria) viste dallo Hochjoch (2.520 m s.l.m.)

l'aumento della temperatura potrebbe comportare addirittura effetti positivi e condizioni più favorevoli per rinnovazione ed incremento dei popolamenti forestali.

In alcuni casi l'applicazione di regimi gestionali alternativi può essere una possibilità concreta per mantenere forniture adeguate di determinati servizi ecosistemici, ma in altri, come mostrato in alcune proiezioni, non sembra esserci l'urgente necessità di modificare radicalmente i regimi attuali. Nella maggior parte dei casi, adattamenti e modifiche ai regimi attuali possono essere sufficienti per mantenere forniture di beni e servizi plurimi, dato che spesso essi agiscono in modo sinergico (per es. stoccaggio

di carbonio e conservazione della biodiversità). Per esempio, nelle Alpi Orientali interventi di prelievo più frequenti migliorerebbero la fornitura di legname senza compromettere troppo lo stoccaggio di carbonio e funzioni protettive mentre nelle Alpi Occidentali la riduzione del diametro minimo di prelievo combinata al rilascio di alberi di grandi dimensioni aumenterebbe la conservazione della biodiversità senza nuocere a funzioni di protezione e di produzione di legname.

Confrontando i tre scenari gestionali, **raccomandare un unico approccio generale di gestione forestale multifunzionale nelle foreste montane europee non è né**



**appropriato né ragionevole.** Infatti, nessuna strategia gestionale sembra essere adeguata a massimizzare tutti i servizi ecosistemici. Lo scenario di gestione più vantaggioso in termini di erogazione di servizi ecosistemici dipende chiaramente dalle esigenze specifiche nelle diverse regioni e pertanto interventi selvicolturali e di pianificazione necessitano di adeguamenti a livello locale. Tuttavia, è bene non trarre conclusioni troppo ottimistiche poiché una delle questioni chiave nella gestione futura delle foreste di montagna è legata all'intensificazione dei regimi di disturbo come incendi, tempeste, invasioni biologiche (SEIDL *et al.* 2017). Essi non sono stati rappresentati nelle simulazioni del progetto ARANGE, perciò ulteriori studi di modellistica integrata e a scala spaziale multipla sono necessari per valutare ulteriori scenari.

Nel corso dei secoli passati, l'uomo ha fortemente semplificato le strutture delle foreste europee con strategie gestionali tipicamente guidate da singoli intenti, senza porsi ulteriori obiettivi sulla fornitura di altri servizi o presumendo spesso che essi sarebbero stati forniti in un modo o nell'altro (PETTENELLA e ROMANO 2010). Oggigiorno, la crescente domanda per una più ampia gamma di servizi ecosistemici, associata all'incertezza dovuta a rapidi cambiamenti su scala locale e globale e al riconoscimento degli ecosistemi forestali come sistemi complessi adattativi, fa sì che non si possa più basare le pratiche forestali su modelli predefiniti e sulle condizioni sociali, gestionali e ambientali passate.

Effettuare valutazioni su diverse scale spaziali (per es. da particella a paesaggio), utilizzare nuovi strumenti di modellistica e esaminare un ampio ventaglio di scenari futuri sono azioni necessarie per valutare opzioni di gestione per le foreste montane e non solo (MESSIER *et al.* 2016). L'approccio quantitativo qui presentato basato su modelli dinamici e indicatori può essere utile per valutare pagamenti e valorizzazioni dei servizi ecosistemici da foreste europee e italiane, e quindi per far rientrare i boschi nella contabilità ambientale integrando tutti i beni e i servizi che erogano alle società, e non solo la produzione di legname.

## Bibliografia

- BUGMANN H.K.M., 1996 - **A Simplified Forest Model to Study Species Composition Along Climate Gradients.** *Ecology*, 77(7): 2055-2074.
- BUGMANN H., CORDONNIER T., TRUHEZ H., LEXER M.J., 2017 - **Impacts of business-as-usual management on ecosystem services in European mountain ranges under climate change.** *Regional Environmental Change*, 17(1): 3-16.
- HEWITT C.D., GRIGGS D.J., 2004 - **Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts.** *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 85(52): 566-566.
- HUBER N., BUGMANN H., LAFOND V., 2018 - **Global sensitivity analysis of a dynamic vegetation model: Model sensitivity depends on successional time, climate and competitive interactions.** *Ecological Modelling*, 368: 377-390.
- IPCC, 2014 - **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** IPCC Geneva, Switzerland.
- IRAUŠČEK F., RAMMER W., LEXER M.J., 2015 - **Can current management maintain forest landscape multifunctionality in the Eastern Alps in Austria under climate change?** *Regional Environmental Change*: 1-16.
- KLOPCIC M., BONCINA A., ENACHE A., LEXER M.J., 2015 - **Component of ARANGE Deliverable D5.2 - Recommendations for multifunctional forest management strategies.** University of Ljubljana, Slovenia.
- KLOPCIC M., LEITNER T., PARDOS M., BARKA I., CALAMA R., CORDONNIER T., MAROSČEK M., WILHEMSSON T., HLASNY T., ZLATANOV T., LEXER M.J., 2013 - **Component of ARANGE Deliverable D1.3 - Current and historical forest management in the case study areas.** University of Ljubljana, Slovenia.
- MESSIER C., PUETTMANN K., FILOTAS E., COATES D., 2016 - **Dealing with Non-linearity and Uncertainty in Forest Management.** *Current Forestry Reports*, 2(2): 150-161.
- MINA M., BUGMANN H., CORDONNIER T., IRAUŠČEK F., KLOPCIC M., PARDOS M., CAILLERET M., 2017a - **Future ecosystem services from European mountain forests under climate change.** *Journal of Applied Ecology*, 54(2): 389-401.
- MINA M., BUGMANN H., KLOPCIC M., CAILLERET M., 2017b - **Accurate modeling of harvesting is key for projecting future forest dynamics: a case study in the Slovenian mountains.** *Regional Environmental Change*, 17(1): 49-64.
- NAKIČENOVIC N., ALCAMO J., DAVIS G., DE VRIES B., FENHANN J., GAFFIN S., GREGORY K., GRÜBLER A., JUNG T.Y., KRAM T., LEBRE LA ROVERE E., MICHAELIS L., MORI S., MORITA T., PEPPER W., PITCHER H., PRICE L., RIAHI K., ROEHL A., ROGNER H.H., SANKOVSKI A., SCHLESINGER M., SHUKLA P., SMITH S., SWART R., VAN ROOIJEN S., VICTOR N., DADI Z., 2000 - **IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES).** Cambridge University Press.
- PETTENELLA D., ROMANO D., 2010 - **Selvicoltura: Politiche forestali e ambientali.** L'Italia Forestale e Montana, 65(2): 163-173.
- SEIDL R., THOM D., KAUTZ M., MARTIN-BENITO D., PELTONIEMI M., VACCHIANO G., WILD J., ASCOLI D., PETR M., HONKANENIEMI J., LEXER M.J., TROTSIUK V., MAIROTA P., SVOBODA M., FABRIKA M., NAGEL T.A.,

REYER C.P.O., 2017 - **Forest disturbances under climate change.** *Nature Climate Change*, 7: 395.

TRUHEZ H., 2013 - **Component of ARANGE Deliverable D1.4 - Climate Change Scenarios for Case Study Regions, Wegener Center for Climate and Global Change.** University of Graz, Graz, Austria.

WEHRLI A., DORREN L.K.A., BERGER F., ZINGG A., SCHONENBERGER W., BRANG P., 2006 - **Modelling long-term effects of forest dynamics on the protective effect against rockfall.** *Forest Snow and Landscape Research*, 80(1): 57-76.

## INFO . ARTICOLO

**Autori:** Marco Mina, Centro per la Ricerca Forestale, Università del Québec a Montréal.

E-mail [marco.mina@alumni.ethz.ch](mailto:marco.mina@alumni.ethz.ch)

Maxime Cailleret, Istituto Federale di Ricerca WSL, Birmensdorf. E-mail [maxime.cailleret@wsl.ch](mailto:maxime.cailleret@wsl.ch)

Renzo Motta, Università degli Studi di Torino. E-mail [renzo.motta@unito.it](mailto:renzo.motta@unito.it)

Harald Bugmann, Politecnico Federale di Zurigo ETH. E-mail [harald.bugmann@env.ethz.ch](mailto:harald.bugmann@env.ethz.ch)

**Parole chiave:** Servizi ecosistemici, gestione forestale, cambiamento climatico, foresta montana, modello dinamico della vegetazione

**Abstract:** *Future ecosystem services from European mountain forests under climate change. Adverse climate change effects might compromise the future provision of crucial ecosystem services (ES) from European mountain forests. Using a forest dynamic model, we evaluated the future supply of ES - as well as synergies and trade-offs - in case study areas of four mountain regions under multiple management and climate change scenarios. Impacts of climate change on the provision of ES were found to be highly heterogeneous and to depend on the region, site and future climate. Although in some cases alternative management may be more suitable than current regimes, adaptation options must be evaluated locally due to the highly different magnitude of the climate change impacts in different regions and along elevation gradients.*

**Keywords:** *Forest management, climate change scenarios, mountain forests, ecosystem services, forest dynamic modelling.*

## RINGRAZIAMENTI

Ringraziamo i gestori forestali e i responsabili delle aree studio nell'ambito del progetto ARANGE per aver gentilmente fornito i dati relativi agli scenari gestionali. Un ringraziamento anche al consorzio di ricerca ARANGE e al coordinatore del progetto MANFRED J. LEXER. Per maggiori informazioni [www.arange-project.eu](http://www.arange-project.eu)

Questo contributo è basato sul lavoro di tesi di dottorato di MARCO MINA al Politecnico Federale di Zurigo (Svizzera): MINA M., 2016 - **Forest dynamics, management and ecosystem services: the future of European mountain forests in an era of climate change.**

Per informazioni dettagliate sullo studio qui presentato vedi anche MINA *et al.* (2017a).

Le foto sono prese da Pixabay (immagini libere da copyright per uso commerciale, Creative Commons CC0).