

La vegetazione forestale di fronte ad alcuni scenari di cambiamento climatico in Italia

Pignatti G

*Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per le Produzioni legnose fuori foresta, v. Valle della Quistione 27, I-00166 Roma. - *Email: Giuseppe Pignatti (giuseppe.pignatti@entecra.it).*

Abstract: *Forest vegetation in view of some scenarios of climate change in Italy.* The study analyses the relationship between the distribution of the main Italian forest vegetation types and the conditions during average temperature of the coldest month, at present and those predicted for scenarios A2a and B2a of the GCM HAD-CM3 until the year 2080. With an increased average temperature of the coldest month up to 4.4 °C in 2080, current temperature values for the main forest species will change greatly, creating favorable preconditions for an increased presence of broadleaved deciduous species in mountain altitudes of the Alps, more thermophilous broadleaved species on those of the Appennines and more Mediterranean species on lower mountains, hills and lowlands of the country. The results are compared with previsional models of tree species distribution due to predicted climate changes, and the possible influence of some ecological factors is discussed.

Keywords: Distribution of forest species, Vegetation belts, Climate change, Climate impacts, Mediterranean species, Temperature of the coldest month, Italy.

Received: Nov 08, 2010; Accepted: Dec 02, 2010

Citation: Pignatti G, 2011. La vegetazione forestale di fronte ad alcuni scenari di cambiamento climatico in Italia. *Forest@* 8: 1-12 [online: 2011-02-17] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>

Introduzione

Il clima esercita il controllo dominante sulla distribuzione dei principali tipi di vegetazione: le fasce di vegetazione, che a partire dalle zone più calde vedono nel nostro paese il passaggio dai boschi sempreverdi mediterranei, a quelli temperati caducifogli, fino a quelli dominati da conifere microterme, sono l'espressione più diretta dei rapporti fra la vegetazione forestale ed il clima (Bernetti 2007a). Su scala regionale e locale, entrano in gioco fattori ecologici di diverso tipo, come quelli edafici o legati alla concorrenza delle specie, che influenzano variazioni "minori" delle comunità boschive (Woodward 1987).

Nell'ultimo trentennio le temperature medie sono cresciute di circa 0.2 °C ogni decade (0.8 °C nell'ultimo secolo), la media attuale oscilla in un intervallo inferiore al grado rispetto al massimo dell'Olocene (avvenuto circa 450.000 anni fa), rendendo possibili sviluppi rapidi ed imprevedibili di cambiamento del clima (Hansen et al. 2006). Si stima che nell'arco del prossimo secolo la temperatura nel bacino del Medi-

terraneo possa crescere fra 2 e 4 °C (Palutikof & Wigley 1996, Gualdi & Navarra 2005), con effetti ecologici importanti, come il cambiamento della distribuzione delle specie o l'aumento del rischio di incendio (Rambal & Hoff 1998, Lindner et al. 2010). Rispetto al primo fenomeno, un aumento della temperatura media di 2-4 °C potrebbe portare ad uno spostamento delle fasce di vegetazione: fra due fasce contigue, infatti, vi sono in media solo tre gradi di differenza, mentre a livello altitudinale, mezzo grado corrisponde a circa 100 m di quota (Bernetti 2007b). Un significativo mutamento si potrebbe avere anche per il limite superiore del bosco, come attestano le fluttuazioni di 200-250 m sulle Alpi (Bortenschlager 1992, Burga & Perret 1998) nel periodo postglaciale a fronte di oscillazioni termiche di soli 1.5 °C.

In conseguenza di rapidi cambiamenti del clima, vengono a modificarsi non solo le condizioni ambientali, ma anche gli obiettivi della gestione forestale, che, al contrario di quanto accadeva in passato, non si trova di fronte ad un quadro di condizioni

ambientali “costanti”, ma deve confrontarsi con eventi imprevedibili in uno scenario di incertezza e di rapido mutamento, non solo climatico, ma anche di habitat, di uso del suolo, di inquinamento, ecc. (Alley et al. 2003, Millar et al. 2007).

La domanda che ci si pone frequentemente è come saranno i nostri boschi da qui alla fine del secolo. Tradotta in termini selvicolturali, si tratta di una domanda centrale, poiché dalla scelta di un determinato trattamento oggi dipende il successo di un individuo arboreo che può vivere molti decenni o addirittura secoli. Come si rifletterà sul territorio un aumento, medio, della temperatura di qualche grado e come sulla distribuzione della vegetazione forestale? Sono ancora validi i “modelli” cartografici-climatici impiegati, rispetto alla scelta delle specie e del trattamento?

In questo lavoro si è partiti dalla relazione temperatura-vegetazione forestale nella situazione attuale, confrontandola con l'evoluzione futura ipotizzata da un modello climatico per due scenari di emissione (A2a e B2a) contemplati dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cubasch & Meehl 2001). L'obiettivo è quello di discutere una “possibile” evoluzione della vegetazione forestale in un contesto di innalzamento termico, evidenziando alcune priorità per le attività di ricerca e di gestione forestale.

Materiali e metodi

La penisola italiana si trova inserita in un'area di media latitudine che, in maniera convergente rispetto ad altri continenti, presenta caratteristiche climatiche di tipo mediterraneo, con inverni miti ed una marcata siccità nella stagione più calda (Peel et al. 2007). Le influenze del clima mediterraneo si mostrano in maniera più netta sulle coste ed in forma più attenuata anche sulle catene prealpine. Sull'Appennino l'elevarsi della quota produce una rapida transizione verso estati meno calde e meno siccitose, mentre sulle Alpi aumenta il carattere di continentalità procedendo verso l'interno (inverni freddi ed estati calde, con conseguenti forti escursioni termiche). La pianura padana, per effetto dell'isolamento prodotto dalla catena appenninica rispetto al mare, presenta un regime termico già continentale. È quindi possibile riconoscere un gradiente climatico dal clima temperato-caldo di carattere mediterraneo a quello temperato-freddo dei rilievi appenninici o prealpini fino ad arrivare al clima freddo e continentale delle Alpi più interne.

Nel sistema di Köppen il limite fra il clima temperato e quello freddo (clima boreale o nivolo-forestale), caratterizzato dal passaggio fra la vegetazione

dominata da specie latifoglie spoglianti e quella da conifere microterme, è segnato dalla temperatura media del mese più freddo di - 3 °C (Köppen 1936, Pott & Hüppe 2007). Un'altra transizione significativa è rappresentata dal passaggio fra le formazioni di latifoglie sempreverdi e quelle spoglianti, che nel nostro paese si realizza intorno alla temperatura media del mese più freddo di +3 °C (De Philippis 1937). La distribuzione dei principali tipi fisionomici di vegetazione (sempreverdi-caducifoglie, latifoglie-conifere microterme) trova una spiegazione, dal punto di vista eco-fisiologico, nella diversa resistenza alle temperature minime delle specie (Larcher 1973, Woodward 1987), condizionata anche dalla struttura delle membrane cellulari.

Spesso il passaggio fra due fisionomie di vegetazione diverse non avviene in maniera brusca. Sulle Alpi, ad esempio, nella fascia montana che termicamente corrisponde a livelli ottimali per il faggio, si trovano anche molte conifere: fra i tipi forestali presenti, ci sono infatti faggete con partecipazione di abete rosso e/o abete bianco, piceo-faggeti, abieteti con faggio ed abete rosso ecc. (Del Favero 2000, Camerano et al. 2004). La presenza del faggio riflette particolari condizioni, legate ad esempio alla quantità delle precipitazioni o a fattori legati al suolo (maggiori precipitazioni spesso favorite dall'esposizione dei versanti, suoli profondi, condizioni della lettiera, ecc.), che influiscono sulla capacità di competere con altre specie (Mayer 1963). Le faggete del Mezzogiorno si trovano in condizioni di temperatura media superiore a quella delle Alpi, in presenza di elevata umidità atmosferica per la vicinanza del mare (Hofmann 1960, Giordano & Scarascia Mugnozza 2009).

Il rapporto fra la vegetazione forestale ed il clima è stato esaminato utilizzando il parametro della temperatura media del mese più freddo (gennaio). Nel sistema di classificazione fito-climatico di Pavari (1916) questo parametro delimita meglio di altri (ad es., temperatura media annua, temperatura del mese più caldo) le diverse zone. Nel lavoro vengono individuate sei zone termiche, contrassegnate da lettere e da una descrizione sintetica (A-molto fredda, B-fredda, ecc.), usata per semplificare la trattazione nel testo. Le zone presentano un'eguale ampiezza di 4 °C, con valori molto prossimi o identici a quelli usati nel sistema di Pavari-De Philippis per le zone più calde (dalla C alla F). Nella Tab. 1 sono riportati i limiti utilizzati ed il confronto con quelli del sistema di Pavari, impiegati da De Philippis (1937) per la carta in scala 1:2.500.000, ancora citata come punto di riferi-

Tab. 1 - Corrispondenza fra valori utilizzati in questo studio (temperatura media del mese più freddo) e le zone fitoclimatiche, con i relativi estremi termici, del sistema di Pavari-De Philippis.

In questo lavoro		Zone sec. Pavari (1916) e De Philippis (1937)				
Temp. mese più freddo	Zona termica	Zona fitoclimatica	annua	Temperatura media		
				mese più freddo	mese più caldo	media dei minimi
< -8°	A - molto fredda	<i>Alpinetum</i>	anche < 2°	< -20°	> 10°	anche < -40°
-8°/-4°	B - fredda	<i>Picetum</i>	3°/6°	> -6°	> 15°	anche < -30°
-4°/0°	C - temperata	<i>Fagetum</i>	6°/12°	> -4°	-	> -25°
0°/4°	D - temperata calda	<i>Castanetum</i>	10°/15°	> -1°	-	> -15°
4°/8°	E - calda	<i>Lauretum</i> - sottozona media e fredda	12°/18°	> 3°	-	> -9°
> 8°	F - molto calda	<i>Lauretum</i> - sottozona calda	15°/23°	> 7°	-	> -4°

mento per la gestione forestale nel nostro paese (Piuksi 1994, Ciancio 2010).

Per l'analisi della distribuzione della vegetazione forestale, in mancanza di una carta della distribuzione reale della vegetazione forestale (disponibile solo per alcune regioni, come carta tipologica - confronta ad esempio: Piemonte, Lombardia, Molise, Basilicata), si è utilizzata la carta della vegetazione naturale potenziale europea in scala 1:2.500.000 (Bohn et al. 2000, Bohn et al. 2005), limitatamente alla porzione ed alle unità comprese nel territorio nazionale (Fig. 1). La vegetazione naturale potenziale (Tüxen 1956) rappresenta il "potenziale biotico attuale", in termini di composizione specifica, che si esprime per effetto delle caratteristiche climatiche, edafiche (nutrienti, condizioni idriche, profondità) e biotiche (flora autoctona) nei diversi paesaggi: si tratta evidentemente di un modello, che evidenzia i suoi limiti soprattutto a grande scala, dove le influenze antropiche sono più evidenti, mentre a piccola scala mostra la sua validità nel rapporto fra comunità biotiche ed ambiente fisico (Zerbe 1998, Ricotta et al. 2002, Blasi 2010).

L'analisi si è ristretta alle unità fisionomico-ecologiche del livello più generale (la carta europea scende al dettaglio dell'associazione vegetale): vegetazione alpina, boschi chiari subalpini ed oro-mediterranei, boschi di conifere montani/altimontani, boschi di conifere xerofitici, faggete, querceti e quercocarpineti mesofitici (includono i querceti acidofili e planiziali del Settentrione), boschi di caducifoglie termofili (includono querceti di roverella, cerro, ostrieti ed altri boschi termofili), boschi meso-mediterranei (leccete, sugherete), boschi termo-mediterranei (boschi e boscaglie più termofile con oleastro ed altre specie xerofile e sempreverdi), vegetazione oroxero-

fitica (arbusti spinosi delle montagne mediterranee), vegetazione delle zone inondate (inclusi boschi lungo i fiumi e delle pianure alluvionali), vegetazione costiera (macchie e arbusteti di piccola taglia).

I dati climatici sono stati ottenuti dalla banca dati WORLDCLIM (Hijmans et al. 2005), utilizzando i dati di temperatura (situazione attuale all'anno 2000 e successive proiezioni) ad una risoluzione spaziale di 30 arc-secondi (anche chiamata 1 km², per un totale di circa 474.000 celle/pixel sul territorio nazionale nel sistema WGS84). Va precisato che la variabilità locale del clima desumibile da questa banca dati dipende da vari fattori (qualità e densità delle osservazioni, efficacia del metodo di interpolazione, ecc.) e quindi è opportuno interpretare i risultati anche alla luce di modelli climatici di tipo regionale.

Per l'analisi dei futuri scenari si è fatto riferimento al modello climatico globale HADCM3 (*Hadley Centre Coupled Model version 3* - Pope et al. 2000), usato nel Terzo e Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC sul cambiamento climatico, affidabile nella simulazione delle condizioni climatiche attuali ed in grado di considerare i cambiamenti del clima in risposta ai fattori naturali e di origine antropica (Stott et al. 2000, Mitchell 2002, Reichler & Kim 2008). Per gli anni 2020, 2050 e 2080 lo scenario A2a prevede una forte espansione demografica, elevato uso di energia, cambiamenti di uso del suolo e bassa innovazione tecnologica, mentre nello scenario B2a le condizioni di crescita sono più moderate per tutte le variabili citate. Come conseguenza, le emissioni di CO₂, N₂O, CH₄, SO₂ per lo scenario A2a superano anche del doppio quelle dello scenario B2a, con temperature che crescono in maniera diversa a seconda dell'intervallo temporale considerato.

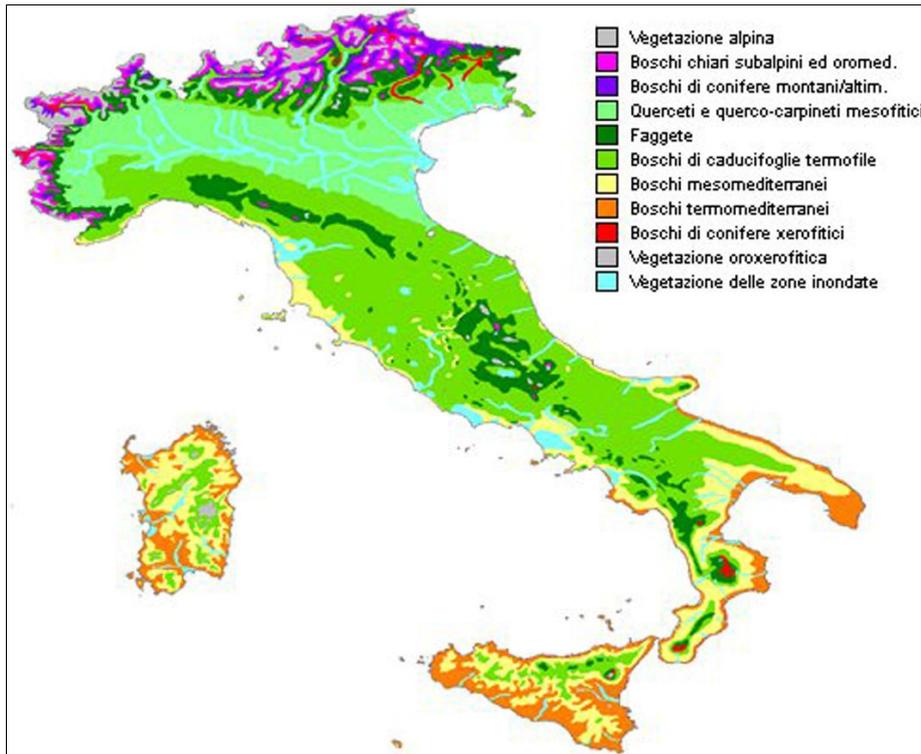


Fig. 1 - Carta della vegetazione potenziale per l'Italia, particolare della carta d'Europa (Bohn et al. 2000).

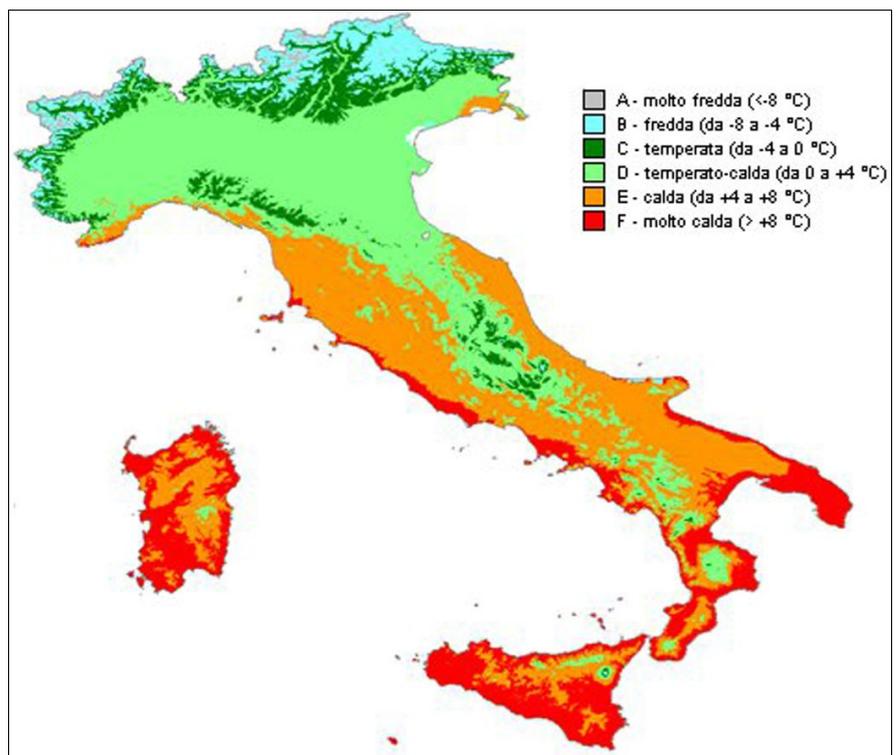
Risultati

La distribuzione attuale della vegetazione forestale

La carta in Fig. 2 riporta la distribuzione delle sei zone termiche sul nostro territorio in base ai dati della temperatura media di gennaio relativi alle condizioni attuali. Questa carta, che per grandi linee ricor-

da quella delle zone fitoclimatiche di Pavari-De Philippis, evidenzia la relazione fra le unità principali della vegetazione naturale potenziale ed il parametro termico considerato: ad esempio, l'estensione della zona molto calda, che riflette la distribuzione dei boschi meso- e termo-mediterranei, ricalca in linea di massima quella del *Lauretum* sottozona calda, mentre

Fig. 2 - La suddivisione in sei zone termiche in base ai dati relativi al 2000 della temperatura media del mese più freddo.



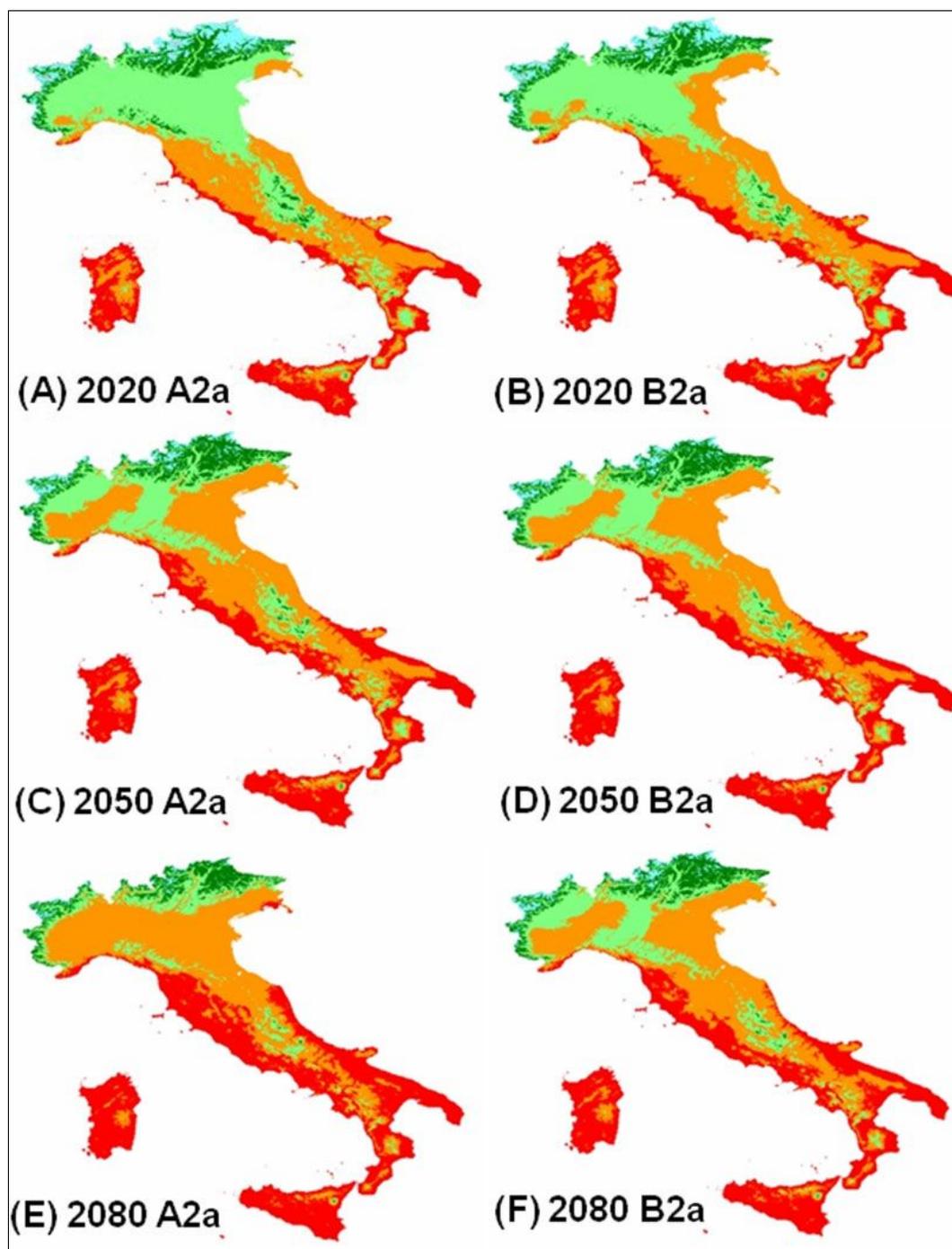


Fig. 3 - Estensione delle sei zone termiche (legenda in Fig. 2) per gli scenari A2a e B2a del modello HADCM3, negli anni 2020 (A-B), 2050 (C-D) e 2080 (E-F).

quella della zona temperata l'estensione del *Fagetum* (confronta: carta in De Philippis 1937).

Nella Tab. 2 è riportata la frequenza delle unità della carta della vegetazione naturale potenziale nelle diverse zone termiche (calcolata sul totale delle celle attribuite ad ogni unità). Si può osservare che il passaggio dalla zona termica temperata a quella fredda (dalla zona C alla B) segna una marcata riduzione della frequenza dei boschi di latifoglie spoglianti (solo 6.2% di faggete nella zona B, mentre la zona A ne è priva), i boschi di latifoglie sempreverdi

(boschi meso- e termo-mediterranei) sono limitati alle zone molto calda e calda (praticamente scompaiono nella zona temperato-calda D), confermando l'importanza del "limite freddo" per i tipi di vegetazione. Al contrario, il "limite caldo" per i diversi tipi di vegetazione è meno netto: i boschi di conifere montani sono presenti anche nella zona temperata (46.2% nella zona C), quelli di latifoglie spoglianti anche nelle zone calda e molto calda (5.2% di faggete nella zona E, 56% di boschi di caducifoglie termofile nella zona E e 2.3% nella zona F).

Tab. 2 - Frequenza (espressa in %) delle unità della vegetazione naturale potenziale nelle sei zone termiche (cfr. Tab. 1), dati di temperatura al 2000 (temperatura media di gennaio).

Vegetazione naturale potenziale	Zone termiche					
	Temperatura media mese più freddo					
	A	B	C	D	E	F
	< -8°	-8°/-4°	-4°/0°	0°/4°	4°/8°	> 8°
Vegetazione alpina	24.4	62.0	12.8	0.7	-	-
Boschi chiari subalpini ed oromediterranei	3.2	62.7	32.8	1.3	-	-
Boschi di conifere montani/altimontani	0.4	50.1	46.2	3.2	-	-
Faggete	-	6.2	42.4	45.7	5.2	0.4
Querceti e quercu-carpineti mesofitici	-	0.1	1.2	96.4	2.4	-
Boschi di caducifoglie termofili	-	0.1	3.5	38.0	56.0	2.3
Boschi mesomediterranei	-	-	-	1.5	49.5	49.0
Boschi termomediterranei	-	-	-	-	3.4	96.5
Boschi di conifere xerofitici	0.1	16.3	39.2	43.0	1.4	0.1
Vegetazione oroxerofitica	-	1.4	2.5	33.7	62.4	-
Vegetazione delle zone inondate	-	-	1.5	47.2	27.5	23.8
Vegetazione costiera	-	-	-	38.9	16.3	44.8

Analizzando alcune unità vegetazionali in dettaglio, si nota che i boschi chiari subalpini ed oromediterranei, così come i boschi di conifere montani/altimontani, sono in gran parte compresi nelle zone termiche B e C (oltre 95% dei pixel ricadono in queste due zone), le faggete nelle zone C e D (circa 88%), i boschi di caducifoglie termofili nelle zone D ed E (oltre 95%), i boschi mesomediterranei nelle zone E ed F (oltre 98%), mentre i boschi termomediterranei sono ristretti praticamente alla zona F (96.5%). Le formazioni di carattere zonale o durevole (vegetazione delle zone inondate, boschi di conifere xerofitici), la cui distribuzione non è condizionata da fattori termici, ma da particolari condizioni stagionali possono presentarsi con frequenze elevate in più zone termiche.

Le zone termiche e gli scenari futuri

L'evoluzione nei prossimi decenni secondo il modello HADCM3 (Fig. 3) vede un cambiamento apprezzabile già nel 2020, con differenze fra i due scenari A2a e B2a. Nel 2020 sarebbe lo scenario B2a ad essere interessato da un aumento maggiore della temperatura media, che si tradurrebbe nell'estensione della zona termica calda E nelle parti interne del Piemonte meridionale e lungo tutto l'arco alto-adriatico assieme ad una generalizzata estensione lungo tutto la penisola, dove avanzerebbe verso l'interno in maniera marcata anche la zona molto calda F. Per lo scenario A2a i mutamenti sarebbero più ridotti, ma, ad esempio, si avrebbe una sensibile riduzione del-

l'estensione della zona temperata C nella parte appenninica, secondo una tendenza che si consoliderebbe nei decenni successivi per entrambi gli scenari.

Nel 2050 i cambiamenti porterebbero ad una situazione molto simile in entrambi gli scenari: ampie porzioni della pianura padana afferirebbero alla zona calda, mentre sull'Appennino la zona C resterebbe ridotta a poche aree circoscritte, al contrario delle Alpi dove si estenderebbe in corrispondenza di aree attualmente riferibili alla zona fredda B. Rispetto alle zone calda e molto calda E ed F, non vi sarebbero differenze apprezzabili fra i due scenari nella parte peninsulare: la zona molto calda diventerebbe prevalente sulle isole maggiori, nella porzione costiera tirrenica ed in larga parte del Sud peninsulare.

Nel 2080 la situazione cambierebbe per effetto della crescita esponenziale prevista nello scenario A2a: in questo caso la zona temperata calda D sarebbe ristretta alla parte prealpina ed aree disgiunte sui maggiori rilievi appenninici, la zona temperata C mancherebbe sull'Appennino, salvo parti ridottissime sulle cime più alte, la pianura padana sarebbe inserita nella zona calda E, mentre sulle Alpi nella parte montana dominerebbe la zona temperata, a sostituire quasi completamente gli spazi attualmente occupati da quella fredda e molto fredda (A e B), mentre le vallate afferirebbero alla zona temperata calda. Nello scenario B2a, la zona temperata calda è presente nella parte occidentale della pianura padana e nelle vallate alpine e frammentata sull'Appennino, mentre la Penisola, come nell'altro scenario, è divisa

fra le zone calda e molto calda, con minore estensione verso l'interno di quest'ultima zona.

Il modello di previsione adottato, relativamente alla situazione italiana, vede per i due scenari un incremento della temperatura media di gennaio variabile a seconda del territorio considerato. In singole porzioni del territorio, si arriverebbe ad un aumento di 4.4 °C nel 2080 per lo scenario A2a. In media, per lo scenario A2a si avrebbe un incremento di 0.5 °C nel 2020, di 1.8 °C nel 2050 e di 3.2 °C nel 2080, mentre per il B2a, rispettivamente, di 1 °C, 1.9 °C e 2.2 °C.

Discussione

Nonostante le difficoltà insite nelle previsioni climatiche per un paese dalla morfologia tormentata come il nostro, al centro del Mediterraneo e in una zona di transizione fra climi di tipo oceanico e continentale, le ipotesi sull'aumento della temperatura considerate nell'analisi presentata sono coerenti con quelle di altri modelli, a diverse scale di analisi. Nel nostro studio, i dati climatici non tengono conto dell'andamento climatico a livello regionale, che risente dell'influenza di fattori locali, come quelli topografici (Beniston 2002), ma recenti studi basati su modelli regionali del clima (RCMs) hanno evidenziato aumenti di temperatura in linea con quanto previsto dal nostro modello (circa 1.8 °C nel 2050, per il nostro paese - Van der Linden & Mitchell 2009). L'aumento della temperatura interesserebbe l'intero continente europeo, mentre la riduzione delle precipitazioni si avrebbe solo nella porzione mediterranea inclusa l'Italia. Anche simulazioni effettuate per il Nord Italia e basate su metodologie di *statistical downscaling* da modelli generali di circolazione dell'atmosfera (GCMs), evidenziano per la fine del secolo, per lo scenario A2, incrementi di 2-2.5 °C nelle temperature minime, 3-5 °C in quelle massime, mentre per lo scenario B2 la tendenza sarebbe analoga, ma l'intensità minore (Tomozeiu et al. 2007).

Rispetto all'andamento futuro delle precipitazioni, recenti studi sottolineano l'importanza della risposta al cambiamento di circolazione dei venti, che, in relazione all'esposizione dei versanti delle principali catene montuose, può produrre per la situazione italiana un incremento, soprattutto nei mesi invernali, della precipitazione nell'area alpina ed appenninica settentrionale (versante tirrenico), mentre lungo i versanti di discesa dei venti (adriatici e Mezzogiorno) si avrebbero incrementi minori o riduzioni (Gao et al. 2006, Giorgi & Lionello 2008, Coppola & Giorgi 2009).

L'analisi della distribuzione delle unità della carta della vegetazione naturale potenziale rispetto alla temperatura del mese più freddo ha confermato nelle linee essenziali una relazione tra la fisionomia della vegetazione e l'andamento del parametro termico considerato. La presenza dei boschi sempreverdi mediterranei si riduce drasticamente con una temperatura media di gennaio intorno a +4 °C, quella dei boschi caducifogli spoglianti intorno a -4 °C. I "limiti caldi" dei diversi tipi di vegetazione sono meno netti e l'ampiezza ecologica, rispetto alle esigenze termiche, comprende un intervallo che si estende su due zone termiche.

La carta nella Fig. 2 ricorda, come si è detto, quella fitoclimatica del sistema Pavari-De Philippis, ma è realizzata con limiti superiori di circa 1° C per alcune zone termiche rispetto alle omologhe fitoclimatiche. La somiglianza potrebbe quindi essere dovuta all'innalzamento della temperatura già in atto nell'ultimo secolo (circa 0.8° C). Resta comunque il fatto che la carta fitoclimatica di De Philippis (1937) fu realizzata con dati relativi ad un periodo limitato (1924-32 per le temperature, 1921-30 per le precipitazioni) ed a poche stazioni per alcune zone (16 per il *Picetum* e 4 per l'*Alpinetum* su un totale di 474), così da apparire non più aggiornata per le condizioni attuali.

Se si considera che ogni zona termica si sviluppa in un intervallo termico di soli 4 °C, si potrebbe ipotizzare uno spostamento della vegetazione dalle zone termicamente più calde verso nord e verso le quote più alte, in analogia a quanto evidenziato graficamente dalle simulazioni (Fig. 3).

Utilizzando la situazione all'anno 2000 come riferimento, i cambiamenti più significativi nelle condizioni termiche della vegetazione del nostro paese entro questo secolo potrebbero riguardare:

1. la parte alpina, con l'estendersi delle zone termiche favorevoli alle formazioni di latifoglie spoglianti, boschi di altre caducifoglie nelle vallate e nelle parti montane inferiori, faggete nelle parti più elevate (oggi occupate da conifere microterme);
2. la pianura padana, dove si realizzerebbero le condizioni termiche per il "potenziale" ingresso di specie mediterranee, ma dove questa eventualità evidentemente si scontra con le oggettive difficoltà di migrazione delle specie in un contesto territoriale caratterizzato da forte frammentazione, scarsa boscosità ed elevata artificialità;
3. la parte peninsulare, per la riduzione marcata delle aree termicamente ottimali per le faggete, mentre sull'Appennino sarebbero presenti in porzioni limitate condizioni termiche comparabili a quelle at-

tualmente riferibili alle faggete della zona temperata calda; alle quote più basse sarebbero prevalenti condizioni favorevoli per boschi meso- e termomediterranei e per boschi caducifogli più termofili;

4. le isole maggiori, per la presenza diffusa di condizioni termicamente riferibili al clima molto caldo, attualmente caratterizzato dalla presenza soprattutto di boschi meso- e termo-mediterranei, e forte riduzione delle condizioni termiche più idonee per le componenti della vegetazione caducifoglia.

Sulle Alpi, secondo queste ipotesi, si potrebbe avere un aumento delle specie caducifoglie nella fascia montana ed in quella subalpina attuale, caratterizzate, soprattutto la seconda, dalla dominanza di conifere. D'altra parte, nelle condizioni attuali, alcune di queste conifere (abete bianco e rosso, pino silvestre, larice) occupano situazioni in cui le latifoglie (in particolare il faggio) sono meno concorrenziali (sulle Alpi Orientali, su suoli superficiali, versanti più aridi o vallate più continentali, ecc.), quindi è difficile prevedere se effettivamente latifoglie esigenti possano avvantaggiarsi di un eventuale "crisi" delle conifere più microterme.

Nella fascia montana dell'Appennino domina in contrasto il faggio, specie poco incline a migrazioni verso l'alto più tipiche di specie colonizzatrici, considerando anche i suoli modificati da decenni o secoli di mancanza di copertura forestale, ma anche estremamente resistente rispetto al possibile ingresso di specie più termofile. In questa situazione potrebbe emergere il vantaggio competitivo di specie dal temperamento più sciafilo (ad esempio il carpino nero, dotato anche di buone capacità pioniere, rispetto al cerro e gli aceri), mentre sopra i limiti del bosco potrebbero rivelarsi competitive specie colonizzatrici eliofile e xerofile come alcuni pini.

Nella parte peninsulare più mediterranea (con forse qualche propaggine nelle zone più calde del Settentrione) ci si potrebbe aspettare un incremento della componente di latifoglie sempreverdi, in particolare del leccio. Questa specie tollera bene l'ombra, è concorrenziale anche in habitat pionieri ed è attualmente diffusa in nuclei anche nella zona delle caducifoglie (fascia supramediterranea e in certi casi, soprattutto nel Mezzogiorno, fino a contatto con le faggete), dai quali potrebbe diffondersi abbastanza rapidamente. L'aumento di fenomeni estremi e di disturbo (siccità, incendi, ondate di calore, ecc.) potrebbero invece favorire altre specie, ad esempio i pini mediterranei.

Le considerazioni esposte non tengono conto del rapporto che potrebbe avere l'interazione fra l'au-

mento della temperatura (che si estende in tutto il paese, sia pure in forma variabile a seconda dello scenario considerato) e il cambiamento delle precipitazioni, che si è detto risentire in maniera marcata dei fattori topografici dei principali sistemi montuosi italiani. In questi termini, le maggiori precipitazioni invernali nei settori alpini ed appenninici settentrionali del versante tirrenico potrebbero favorire specie di impronta più oceanica, limitando in certi casi forse perfino gli effetti degli aumenti termici sulla vegetazione, mentre negli altri settori ed in particolare nel Mezzogiorno all'aumento della temperatura si aggiungerebbe l'effetto della riduzione delle precipitazioni con riflessi ancor più marcati sulle condizioni di crescita della vegetazione forestale. In altri termini, cambiamenti non lineari nell'andamento dei fattori climatici, dovuti a fattori regionali, potrebbero avere un effetto decisivo sul comportamento delle specie forestali su territori più ampi, con risposte diverse di una stessa specie a seconda del contesto considerato.

L'attenzione verso fenomeni di tipo regionale, conduce ad una riflessione sulla "scala di indagine". È noto che la vegetazione in passato si sia potuta conservare relativamente inalterata in habitat di rifugio caratterizzati da condizioni ambientali più stabili, rispetto ad un paesaggio circostante segnato da forti cambiamenti (Petit et al. 2008). Ciò potrebbe accadere anche in futuro, in un contesto generale di innalzamento delle temperature, per situazioni protette di conformazione dei versanti o di particolari caratteristiche dei suoli. Anche un cambiamento termico riscontrato a livello generale, potrebbe indurre localmente a condizioni climatiche particolari, ad esempio per la presenza di una diversa circolazione dei venti o per la maggiore ricorrenza di periodi di nebbia in particolari condizioni di esposizione, che inevitabilmente influenzerebbero la crescita delle formazioni forestali, secondo delle risposte non correlate linearmente all'aumento della temperatura. In altri termini, bisognerebbe considerare l'effetto locale prodotto da un cambiamento di carattere "generale", che spesso influenza la distribuzione della vegetazione forestale su porzioni di territorio limitato. Mancando gli elementi di dettaglio locale, le ipotesi sopra riportate non possono che riferirsi alla distribuzione della vegetazione a scala molto piccola.

Da un certo punto di vista queste ipotesi non appaiono in contraddizione con numerose analisi di tipo modellistico per aree limitrofe o includenti il nostro territorio, sia pure nella varietà di approcci considerati (Wohlgemuth et al. 2006). Per l'area alpina, mo-

delli basati sulle esigenze ecologiche delle singole specie in termini di nicchia ecologica, o *bioclimate envelope* (Pearson & Dawson 2003), hanno evidenziato la possibilità di sensibili cambiamenti della vegetazione forestale sulle Alpi (Brzeziecki et al. 1995), la riduzione delle condizioni climatiche di crescita ottimali per l'abete bianco, il larice, l'abete rosso e il pino silvestre, al contrario del faggio e della rovere (Kölling & Zimmermann 2007), e l'alta vulnerabilità del pino cembro, specie la cui sopravvivenza sarebbe condizionata dalla capacità di migrare verso quote più alte di quelle attuali (Casalegno et al. 2010). Modelli dinamici, basati sulla successione delle specie forestali alpine, hanno evidenziato la possibile invasione della fascia subalpina con latifoglie spoglianti (Kräuchi & Kienast 1993, Kräuchi et al. 2000) e la conseguente migrazione delle conifere microterme nella fascia alpina, in presenza di suoli sufficientemente favorevoli.

Relativamente all'area mediterranea, viene evidenziata la vulnerabilità del leccio rispetto al pino d'Alpe ed al pino silvestre in Spagna (Keenan et al. 2010) e la necessità di considerare l'aumento della produttività dei boschi (conseguente all'incremento di CO₂) come fattore in grado di influenzare i rapporti di concorrenza fra le varie specie. L'aumento di produttività potrebbe interessare soprattutto i boschi montano- e oro-mediterranei (Magnani & Matteucci 2009), in misura minore quelli meso- e supra-mediterranei, mentre per effetto del maggiore stress idrico i boschi termo-mediterranei potrebbero essere più vulnerabili, o quantomeno alcune specie all'interno della medesima comunità (De Dato et al. 2006).

Per altri versi, le ipotesi sul cambiamento devono tener conto di fattori di carattere complesso e imprevedibile. Un ruolo importante nel determinare i cambiamenti della vegetazione forestale in futuro potrebbe essere dovuto a fenomeni di disturbo diretti (periodi di siccità, eventi meteorici eccezionali in grado di determinare schianti su vaste aree di bosco, ecc.), o indiretti (particolari patogeni, inquinamento, incendi, ecc.), con impatti molto rapidi sulla biodiversità e sulla produttività degli ecosistemi forestali. L'estrema siccità estiva del 2003 ha causato, ad esempio, una forte riduzione della produttività e della vitalità dei boschi dell'Europa Centrale (Ciais et al. 2005, Nikolova et al. 2009); un incremento anche modesto dell'intensità del vento può determinare un aumento molto considerevole dei danni prodotti dalle tempeste di pioggia e vento nell'Europa Nord-Occidentale (Dorland et al. 1999), mentre l'incidenza di alcuni patogeni e degli incendi sugli ecosistemi fore-

stali è in crescita (Schelhaas et al. 2003, Bolte et al. 2009). Modelli dinamici che considerano fattori di carattere complesso ed imprevedibile, come la ricorrenza di periodi di siccità e la maggiore frequenza di incendi, prevedono un forte cambiamento della composizione specifica di boschi montani in Svizzera (Schumacher & Bugmann 2006).

La previsione della futura composizione specifica del bosco appare comunque molto complicata, poiché la dinamica a seguito del disturbo può essere estremamente lenta, bloccata dallo sviluppo di comunità erbacee dotate di notevole stabilità ed in grado di rallentare l'insediamento della rinnovazione per molti decenni e di condizionare la successione delle specie forestali (Pontaillet et al. 1997, Krahulec et al. 2001, Fischer et al. 2002, Capitanio & Carcaillet 2008, Kulmala et al. 2009). D'altra parte, anche la maggiore o minore "pressione" delle attività antropiche, combinata con fattori di disturbo biotico ed abiotico riconducibili ad un cambiamento del clima, può condizionare la risposta delle specie che, come è stato osservato per il larice ed il cembro ai limiti superiori del bosco (Motta & Nola 2001), può riflettere le mutate condizioni di competizione. In ambito centro-appenninico, osservazioni dirette sui boschi montani evidenziano la possibile espansione futura sia del pino nero (Piermattei et al. 2010) che del faggio (Van Gils et al. 2008), in contesti di rapido cambiamento delle condizioni socio-economiche del territorio.

In definitiva, molti studi prevedono un cambiamento della vegetazione forestale connesso al mutamento del clima ed all'aumento dell'incidenza di fattori di disturbo collegati, ma restano ampi margini di incertezza su tempi, modalità del cambiamento, vulnerabilità delle varie specie o comunità e composizione specifica futura dei boschi. La dinamica degli ecosistemi rispetto ai cambiamenti prodotti dal clima dipende dalla capacità del sistema a sviluppare nuove strutture o processi (emergenza), dall'interazione fra le varie componenti (adattamento) e dalla tolleranza dei disturbi (resilienza): tre aspetti fondamentali (Heinimann 2009), che la ricerca nel campo dei modelli previsionali deve tenere presente e per i quali appare indispensabile osservare il comportamento di specie e tipi di bosco su aree sufficientemente ampie (areale di specie).

Considerazioni conclusive

A fronte di un innalzamento delle temperature previsto dal modello climatico generale considerato in questo lavoro, ma anche da altri modelli di tipo

regionale, e dell'influenza che questo fenomeno potrebbe avere sulla distribuzione della vegetazione forestale, restano molte incertezze su quale possa essere il futuro assetto dei nostri boschi e sulla velocità dei cambiamenti. Molti fattori in grado di sovrapporsi a quelli climatici nel condizionare le dinamiche della vegetazione, rendono le previsioni particolarmente complesse.

Le carte basate su dati climatici dei decenni passati non sono più aggiornate, col mutare delle condizioni di parametri fondamentali, come la temperatura e la precipitazione. La cartografia forestale, più in generale, potrebbe svilupparsi ulteriormente in senso di maggiore qualità ed omogeneità del prodotto, anche nell'ottica di fornire, per determinate situazioni stagionali, le possibili evoluzioni future della vegetazione in funzione dei cambiamenti del clima.

Previsioni e modelli sono strumenti utili da affiancare all'osservazione dei cambiamenti che realmente avvengono nei boschi. In questo contesto, è importante considerare anche la variabilità delle specie nel proprio areale e quindi la risposta di ecotipi e provenienze rispetto a cambiamenti del clima sia graduali, osservabili lungo un gradiente di altitudine o latitudine, che bruschi, come a seguito di eventi estremi o disturbi.

Ringraziamenti

Ringrazio Paolo Camerano (Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente, Torino), Cesare Lasen (Feltrè), Sandro Pignatti (Roma) per la lettura critica di una prima versione del manoscritto e per le discussioni sull'argomento, e un revisore anonimo per i suggerimenti sul rapporto precipitazioni-temperatura. Lavoro svolto nell'ambito del progetto CRA-FOR-FAR.

Bibliografia

Alley RB, Marotzke J, Nordhaus WD, Overpeck JT, Peteet DM, Pielke RA, Pierrehumbert RT, Rhines PB, Stocker TF, Talley LD, Wallace JM (2003). Abrupt climate change. *Science* 299 (5615): 2005-2010. - doi: [10.1126/science.1081056](https://doi.org/10.1126/science.1081056)

Beniston M (2002). Climate modeling at various spatial and temporal scales: where can dendrochronology help? *Dendrochronologia* 20 (1-2): 117-131. - doi: [10.1078/1125-7865-00012](https://doi.org/10.1078/1125-7865-00012)

Bernetti G (2007a). I nomi delle fasce di vegetazione. In: "Botanica e Selvicoltura". Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Italy, pp. 113-120.

Bernetti G (2007b). Riscaldamento dell'atmosfera e fasce di vegetazione. In: "Botanica e Selvicoltura". Accademia

Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Italy, pp. 121-125.

Blasi C (2010). La vegetazione d'Italia. Palombi Editore, Roma, Italy, pp. 539.

Bohn U, Hettwer C, Gollub G (2005). Anwendung und Auswertung der Karte der natürlichen Vegetation Europas (Application and analysis of the map of the natural vegetation of Europe). Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten, Bonn, vol. 156, pp. 452.

Bohn U, Neuhäusl R, Gollub G, Hettwer C, Neuhäuslová Z, Raus Th, Schlüter H, Weber H (2000). Karte der natürlichen Vegetation Europas (Map of the natural vegetation of Europe). Maßstab / Scale 1: 2 500 000. Landwirtschaftsverlag, Münster, Germany, pp. 656.

Bolte A, Ammer Ch, Löf M, Madsen P, Nabuurs G-J, Schall P, Spathelf P, Rock J (2009). Adaptive forest management in central Europe: climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research* 24: 473-482. - doi: [10.1080/02827580903418224](https://doi.org/10.1080/02827580903418224)

Bortenschlager S (1992). Die Waldgrenze im Postglazial. In: "Palaeovegetational development in Europe and regions relevant to its Palaeofloristic Evolution" (Eder-Kovar J ed). Naturhistorisches Museum, Vienna, Austria, pp. 9-13.

Brzeziecki B, Kienast F, Wildi O (1995). Modelling potential impacts of climate change on the spatial distribution of zonal forest communities in Switzerland. *Journal of Vegetation Science* 6: 257-268. - doi: [10.2307/3236221](https://doi.org/10.2307/3236221)

Burga CA, Perret R (1998). Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott Verlag, Thun, Switzerland, pp. 805.

Camerano P, Gottero F, Terzuolo PG, Varese P (2004). I tipi forestali del Piemonte. Regione Piemonte, Blu Edizioni, Torino, Italy, pp. 204.

Capitanio R, Carcaillet C (2008). Post-fire Mediterranean vegetation dynamics and diversity: a discussion of succession models. *Forest Ecology Management* 255: 431-439. - doi: [10.1016/j.foreco.2007.09.010](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.010)

Casalegno S, Amatulli G, Camia A, Nelson A, Pekkarinen A (2010). Vulnerability of *Pinus cembra* L. in the Alps and the Carpathian mountains under present and future climates. *Forest Ecology and Management* 259: 750-761. - doi: [10.1016/j.foreco.2009.10.001](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.001)

Ciais PH, Reichstein M, Viovy N, Granier A, Ogée J, Allard V (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529-533. - doi: [10.1038/nature03972](https://doi.org/10.1038/nature03972)

Ciancio O (2010). Un retaggio di Aldo Pavari: la selvicoltura naturalistica. *L'Italia Forestale e Montana* 65 (4): 459-469. - doi: [10.4129/ifm.2010.4.10](https://doi.org/10.4129/ifm.2010.4.10)

Coppola E, Giorgi F (2009). An assessment of temperature and precipitation change projections over Italy. *International Journal of Climatology* 30: 11-32. - doi: [10.1002/joc](https://doi.org/10.1002/joc)

1867

- Cubasch U, Meehl GA (2001). Projections of future climate change. In: "Climate Change 2001: The scientific basis" - Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 88.
- De Dato G, Pellizzaro G, Cesaraccio C, Sirca C, De Angelis P, Duce P, Spano D, Scarascia Mugnozza G (2006). Effects of warmer and drier climate conditions on plant composition and biomass production in a Mediterranean shrubland community. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 1: 39-48. - doi: [10.3832/ifor0418-0010039](https://doi.org/10.3832/ifor0418-0010039)
- De Philippis A (1937). Classificazioni ed indici del clima in rapporto alla vegetazione forestale italiana. *Nuovo Giornale Botanico Italiano* 44: 1-169.
- Del Favero R (2000). Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto. Direzione Regionale per le Foreste e l'Economia Montana, Mestre, Italy, pp. 335.
- Dorland C, Tol RSJ, Palutikof JP (1999). Vulnerability of the Netherlands and northwest Europe to storm damage under climate change. A model approach based on storm damage in the Netherlands. *Climate Change* 43: 513-535. - doi: [10.1023/A:1005492126814](https://doi.org/10.1023/A:1005492126814)
- Fischer A, Lindner M, Clemens A, Lasch P (2002). Vegetation dynamics in central European forest ecosystems (near-natural as well as managed) after storm events. *Folia Geobotanica* 37: 17-32. - doi: [10.1007/BF02803188](https://doi.org/10.1007/BF02803188)
- Gao X, Pal JS, Giorgi F (2006). Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophys. Res. Lett.* 33: 1-4. - doi: [10.1029/2005GL024954](https://doi.org/10.1029/2005GL024954)
- Giordano E, Scarascia Mugnozza G (2009). Formazioni forestali potenzialmente vulnerabili ai cambiamenti climatici e strategie di adattamento. Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Italy, pp. 523-528.
- Giorgi F, Lionello P (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63: 90-104 - doi: [10.1016/j.gloplacha.2007.09.005](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005)
- Gualdi S, Navarra A (2005). Scenari climatici nel bacino mediterraneo. *Forest@* 2: 19-30. - doi: [10.3832/efor0250-0020019](https://doi.org/10.3832/efor0250-0020019)
- Hansen J, Sato M, Ruedy R, Lo K, Lea DW, Medina-Elizad M (2006). Global temperature change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103: 14288-14293. - doi: [10.1073/pnas.0606291103](https://doi.org/10.1073/pnas.0606291103)
- Heinimann HR (2009). A concept in adaptive ecosystem management - An engineering perspective. *Forest Ecology and Management* 259: 848-856. - doi: [10.1016/j.foreco.2009.09.032](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.032)
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978. - doi: [10.1002/joc.1276](https://doi.org/10.1002/joc.1276)
- Hofmann A (1960). Il faggio in Sicilia. *Flora et Vegetatio Italica: Monografie sulla flora e sulla vegetazione d'Italia*, Memoria n. 2. Gianasso, Sondrio, Italy, pp. 235.
- Kölling C, Zimmermann L (2007). Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber Klimawandel. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 67: 259 - 268.
- Köppen W (1936). Das geographische System der Klimate. In: "Handbuch der Klimatologie" (Köppen W Geiger G eds). Bornträger, Berlin, Germany, 1-44.
- Keenan T, Serra JM, Lloret F, Ninyero M, Sabate S (2010). Predicting the future of forests in the Mediterranean under climate change, with niche- and process-based models: CO₂ matters! *Global Change Biology* - doi: [10.1111/j.1365-2486.2010.02254.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02254.x)
- Kräuchi N, Brang P, Schönenberger W (2000). Forests of mountainous regions: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management* 132: 73-82. - doi: [10.1016/S0378-1127\(00\)00382-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00382-0)
- Kräuchi N, Kienast F (1993). Modelling subalpine forest dynamics as influenced by a changing environment. *Water Air Soil Pollution* 68: 185-197. - doi: [10.1007/BF00479402](https://doi.org/10.1007/BF00479402)
- Krahulec F, Skálová H, Herben T, Hadincová V, Wildová R, PecháÄková S (2001). Vegetation changes following sheep grazing in abandoned mountain meadows. *Applied Vegetation Science* 4: 97-102. - doi: [10.1111/j.1654-109X.2001.tb00239.x](https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2001.tb00239.x)
- Kulmala L, Pumpanen J, Vesala T, Hari P (2009). Photosynthesis of boreal ground vegetation after a forest clearcut. *Biogeosciences* 6: 2495-2507. - doi: [10.5194/bg-6-2495-2009](https://doi.org/10.5194/bg-6-2495-2009)
- Larcher W (1973). *Ökologie der Pflanzen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Germany, pp. 320.
- Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A, Barbati A, Garcia-Gonzalo J, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolströma M, Lexer MJ, Marchetti M (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698-709. - doi: [10.1016/j.foreco.2009.09.023](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023)
- Magnani F, Matteucci G (2009). Selvicoltura e cambiamenti climatici. Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Italy, pp. 532-535.
- Mayer H (1963). *Tannenreiche Wälder an Südabfall der Mittleren Ostalpen*. BLV Verlagsgesellschaft, München, Germany pp. 259.
- Millar CI, Stephenson NL, Stephens SL (2007). Climate

- change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications* 17 (8): 2145-2151. - doi: [10.1890/06-1715.1](https://doi.org/10.1890/06-1715.1)
- Mitchell JFB (2002). Prediction and detection of anthropogenic climate change. *International Geophysics* 83:152-164. - doi: [10.1016/S0074-6142\(02\)80164-4](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(02)80164-4)
- Motta R, Nola P (2001). Growth trends and dynamics in sub-alpine forest stands in the Varaita Valley (Piedmont, Italy) and their relationships with human activities and global change. *Journal of Vegetation Science* 12: 219-230. - doi: [10.2307/3236606](https://doi.org/10.2307/3236606)
- Nikolova PS, Raspe S, Andersen CP, Mainiero R, Blaschke H, Matyssek R, Häberle K-H (2009). Effects of the extreme drought in 2003 on soil respiration in a mixed forest. *European Journal of Forest Research* 128: 87-98. - doi: [10.1007/s10342-008-0218-6](https://doi.org/10.1007/s10342-008-0218-6)
- Palutikof JP, Wigley TML (1996). Developing climate change scenarios for the Mediterranean region. In: "Climate change and the Mediterranean", vol. 2 (Jeftic L, Keckes S, Pernetta JC eds). Arnold, London, UK, pp. 27-56.
- Pavari A (1916). Studio preliminare sulla coltura di specie forestali esotiche in Italia. Prima parte (generale). *Annali del Regio Istituto Superiore Nazionale Forestale*, vol. I (1913-15), pp. 221.
- Pearson RG, Dawson T (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography* 12: 361-371. - doi: [10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x](https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x)
- Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11: 1633-1644. - doi: [10.5194/hess-11-1633-2007](https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007)
- Petit RJ, Hu FS, Dick ChW (2008). Forest of the past: a window to future changes. *Science* 320: 1450-1451. - doi: [10.1126/science.1155457](https://doi.org/10.1126/science.1155457)
- Piermattei A, Renzaglia F, Urbinati C (2010). Ricolonizzazione di pino nero sopra la treeline. *Sherwood* 166: 5-9.
- Piussi P (1994). *Selvicoltura generale*. UTET, Torino, Italy, pp. 422.
- Pontailleur JY, Faille A, Lemée G (1997). Storms drive successional dynamics in natural forests: a case of study in Fontainebleau forest (France). *Forest Ecology and Management* 98: 1-15. - doi: [10.1016/S0378-1127\(97\)00073-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00073-X)
- Pope VD, Gallani ML, Rowntree PR, Stratton RA (2000). The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model - HadAM3. *Climate Dynamics* 16:123-146. - doi: [10.1007/s003820050009](https://doi.org/10.1007/s003820050009)
- Pott R, Hüppe J (2007). *Spezielle Geobotanik. Pflanze - Klima - Boden*. Springer, pp. 330.
- Rambal S, Hoff C (1998). Mediterranean ecosystems and fire: the threats of global change. In: "Large forest fires" (Moreno JM ed). Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, pp. 187-213.
- Reichler T, Kim J (2008). How well do coupled models simulate today's climate? *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 89: 303-311. - doi: [10.1175/BAMS-89-3-303](https://doi.org/10.1175/BAMS-89-3-303)
- Ricotta C, Carranza ML, Avena G, Blasi C (2002). Are potential vegetation maps a meaningful alternative to neutral landscape models? *Applied Vegetation Science* 5: 271-275. - doi: [10.1658/1402-2001\(2002\)005\[0271:APN-VMA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1658/1402-2001(2002)005[0271:APN-VMA]2.0.CO;2)
- Schelhaas MJ, Nabuurs GJ, Schuck A (2003). Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology* 9: 1620-1633. - doi: [10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x)
- Schumacher S, Bugmann H (2006). The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Global Change Biology* 12: 1435-1450. - doi: [10.1111/j.1365-2486.2006.01188.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01188.x)
- Stott PA, Tett SFB, Jones GS, Allen MR, Mitchell JFB, Jenkins GJ (2000). External Control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings. *Science* 290: 2133-2137. - doi: [10.1126/science.290.5499.2133](https://doi.org/10.1126/science.290.5499.2133)
- Tüxen R (1956). Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angew. Pflanzensoziol.* Stolzenau, Germany 13: 5-42.
- Tomozeiu R, Cacciamani C, Pavan V, Morgillo A, Busuioc A (2007). Climate change scenarios for surface temperature in Emilia-Romagna (Italy) obtained using statistical downscaling models. *Theoretical and Applied Climatology* 90: 25-47. - doi: [10.1007/s00704-006-0275-z](https://doi.org/10.1007/s00704-006-0275-z)
- Van Gils H, Batsukh O, Rossiter D, Munthali W, Liberatoscioli E (2008). Forecasting the pattern and pace of *Fagus* forest expansion in Majella National Park, Italy. *Applied Vegetation Science* 11: 539-546. - doi: [10.3170/2008-7-18568](https://doi.org/10.3170/2008-7-18568)
- Van der Linden P, Mitchell JFB (2009). ENSEMBLES: climate change and its impacts: summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met. Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK, pp. 160.
- Wohlgemuth T, Bugmann H, Lischke H, Tinner W (2006). Wie rasch ändert sich die Waldvegetation als Folge von raschen Klimaveränderungen? *WSL, Birmensdorf, Switzerland, Forum für Wissen*: 7-16.
- Woodward FI (1987). *Climate and plant distribution*. Cambridge studies in ecology. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 177.
- Zerbe S (1998). Potential natural vegetation: validity and applicability in landscape planning and nature conservation. *Applied Vegetation Science* 1: 165-172. - doi: [10.2307/1478945](https://doi.org/10.2307/1478945)