



Gli antichi rifugi glaciali degli alberi forestali nell'Appennino settentrionale

di Fulvio Ducci⁽¹⁾

(1) Dottore forestale - Sezione CAI di Arezzo - Comitato Scientifico Regionale Toscana

Riassunto: Le popolazioni relitte appenniniche di molte specie oggi diffuse in Europa settentrionale sono ciò che rimane di quelle che durante l'ultimo massimo glaciale avevano trovato rifugio, ritirandosi dalle latitudini più alte, nella nostra penisola. Queste popolazioni oggi marginali o periferiche hanno trovato rifugio dal riscaldamento post-glaciale in prossimità di aree appenniniche un tempo ospitanti calotte glaciali più meno grandi che hanno conservato climi relativamente adatti alla loro sopravvivenza. Queste popolazioni vanno tutelate e conservate in quanto possono essere portatrici di caratteri adattati utili per far fronte agli effetti del rapido cambiamento climatico di origine antropogenica. Se ne illustrano le caratteristiche con particolare riferimento all'area dell'Appennino tosco-emiliano ricostruendone il passato ancestrale e le caratteristiche attuali.

Abstract: The ancient glacial shelters of forest trees in Northern Apennines.

The Apennine relict populations of many species, now widespread in northern Europe, are what remains of those that during the last glacial maximum, retreating from the higher latitudes, had found refuge in our peninsula. These populations, now marginal or peripheral, have found refuge from post-glacial warming in the vicinity of Apennine areas once hosting smaller ice caps that have preserved climates relatively suitable for their survival. These populations must be protected and conserved as they can have adaptive characters useful for coping with the effects of rapid climate change of anthropogenic origin. Their characteristics are illustrated with reference to the area of the Tuscan-Emilian Apennines, reconstructing their ancestral past and current characteristics

Introduzione

Lo spostamento delle fasce climatiche è in generale la causa principale della migrazione di habitat ed ecosistemi verso ambienti più favorevoli (Pinna 1970) ed è alla base delle dinamiche che interessano la distribuzione e la struttura genetica delle specie forestali (Fady et al. 2026). Fino a ora le oscillazioni di cicli glaciali e interglaciali hanno determinato alternativamente espansioni e contrazioni delle calotte glaciali e di conseguenza dei diversi tipi di clima alle diverse latitudini. Questo è avvenuto anche durante l'ultima glaciazione del Quaternario, terminata progressivamente tra 12.000 e 20.000 anni fa, a causa della quale, per quanto riguarda il nostro emisfero, si erano sviluppate calotte e ghiacciai anche a latitudini minori, sulle maggiori catene montuose come Alpi ed Appennini (Fig 1; Jaunsproge, 2013).

In questi contesti le basse temperature avevano spinto gli habitat forestali di clima temperato a latitudini e quote minori, dove si potevano trovare combinazioni più favorevoli dei fattori ambientali (Birks e Willis 2008) trovandovi rifugio con il loro corredo di diversità biologica.

Oltre alla discesa in latitudine e di quota delle isoterme durante i periodi glaciali occorre considerare anche l'abbassamento delle linee di costa, provocato dall'immagazzinamento dell'acqua nelle calotte glaciali che, modificando la geografia, ha favorito la migrazione e i contatti tra popolazioni animali e vegetali. Un noto esempio è il bacino padano-adriatico, che in quel periodo non era coperto dal mare almeno fino all'attuale Abruzzo (Goutney et al. 2015) e ha permesso a molte specie vegetali di scambiarsi informazione genetica e di insediarsi nella nostra penisola.

La zona di nostro interesse, precisamente quella dell'Appennino tosco-emiliano e delle Alpi Apuane (Fig. 1a e 1b), come altre aree appenniniche ha ospitato in quelle ere ghiacciai, anche se di non grandi dimensioni rispetto a quelli delle calotte alpine; questi tuttavia, pur frazionati, hanno superato il n. di 100 per una estensione complessiva di almeno 260 km² e con un volume di ghiaccio stimato di circa 9 km³. Questi ghiacciai erano posti al di sopra dei 1200 m di altitudine nelle esposizioni a Nord e a

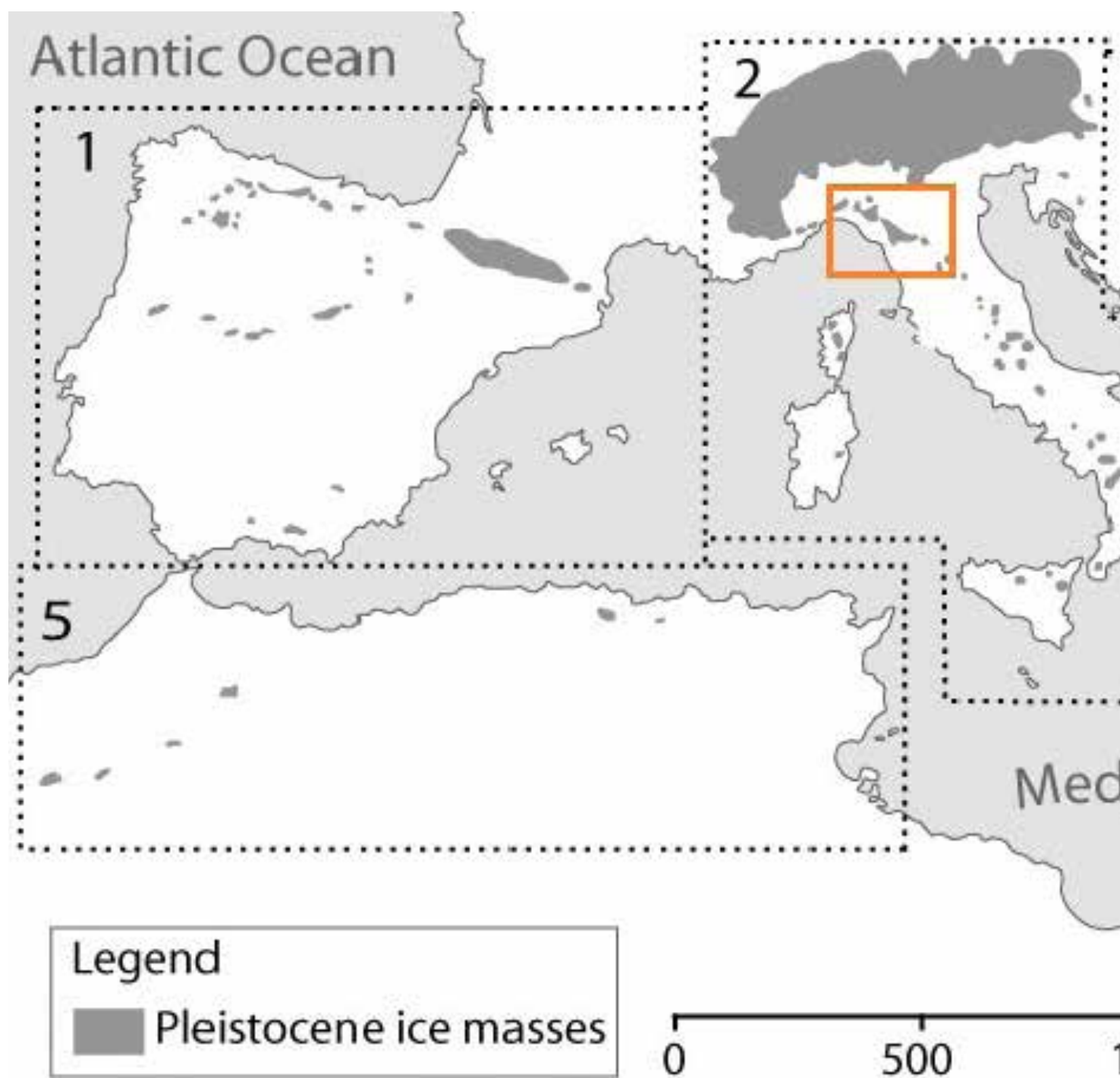
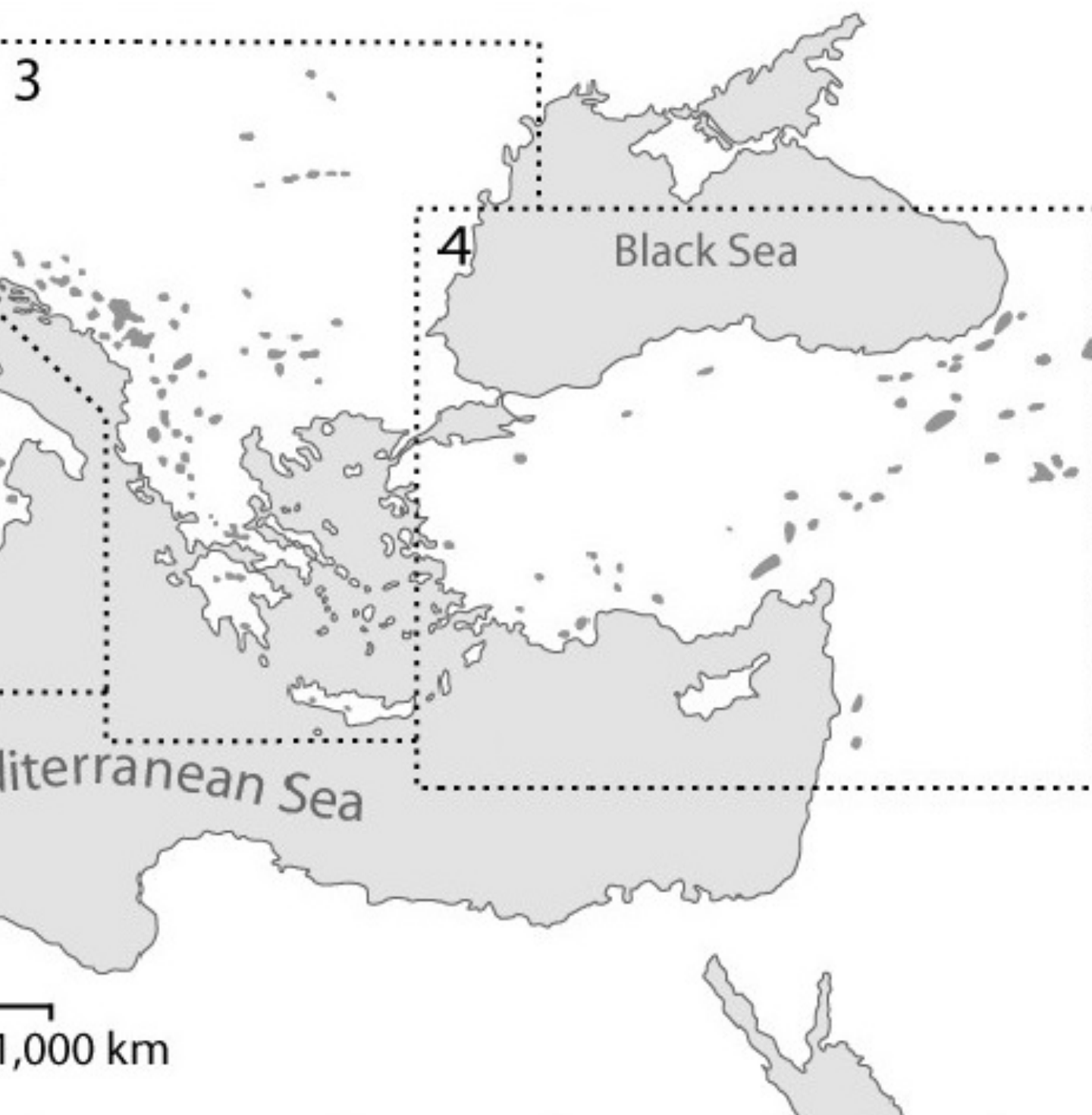


Figura 1a - La distribuzione delle calotte glaciali nella regione mediterranea durante l'ultimo periodo glaciale (In: Adamson et al. 2013,



modificato), il rettangolo rosso individua le Alpi Apuane e l'Appennino settentrionale

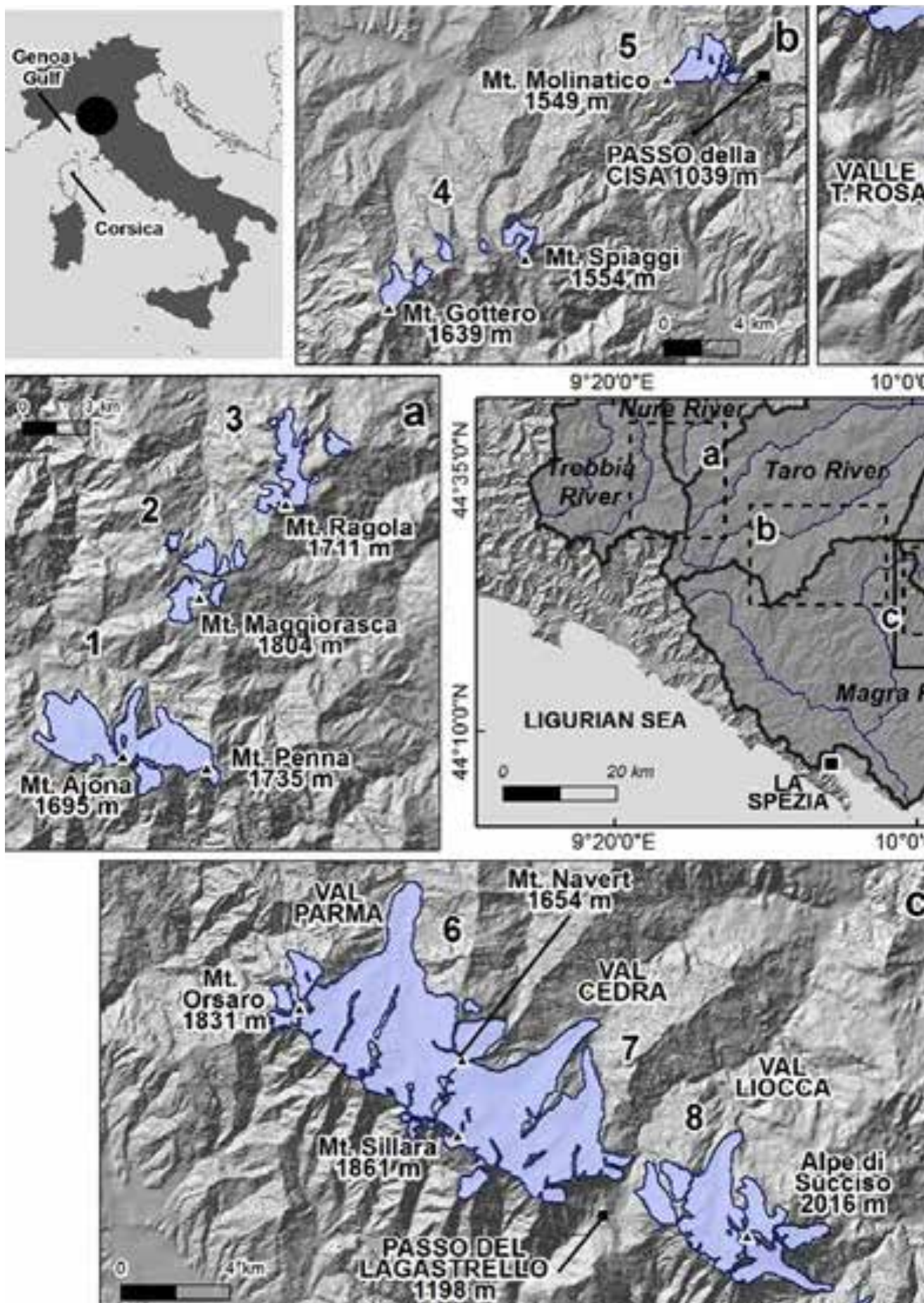
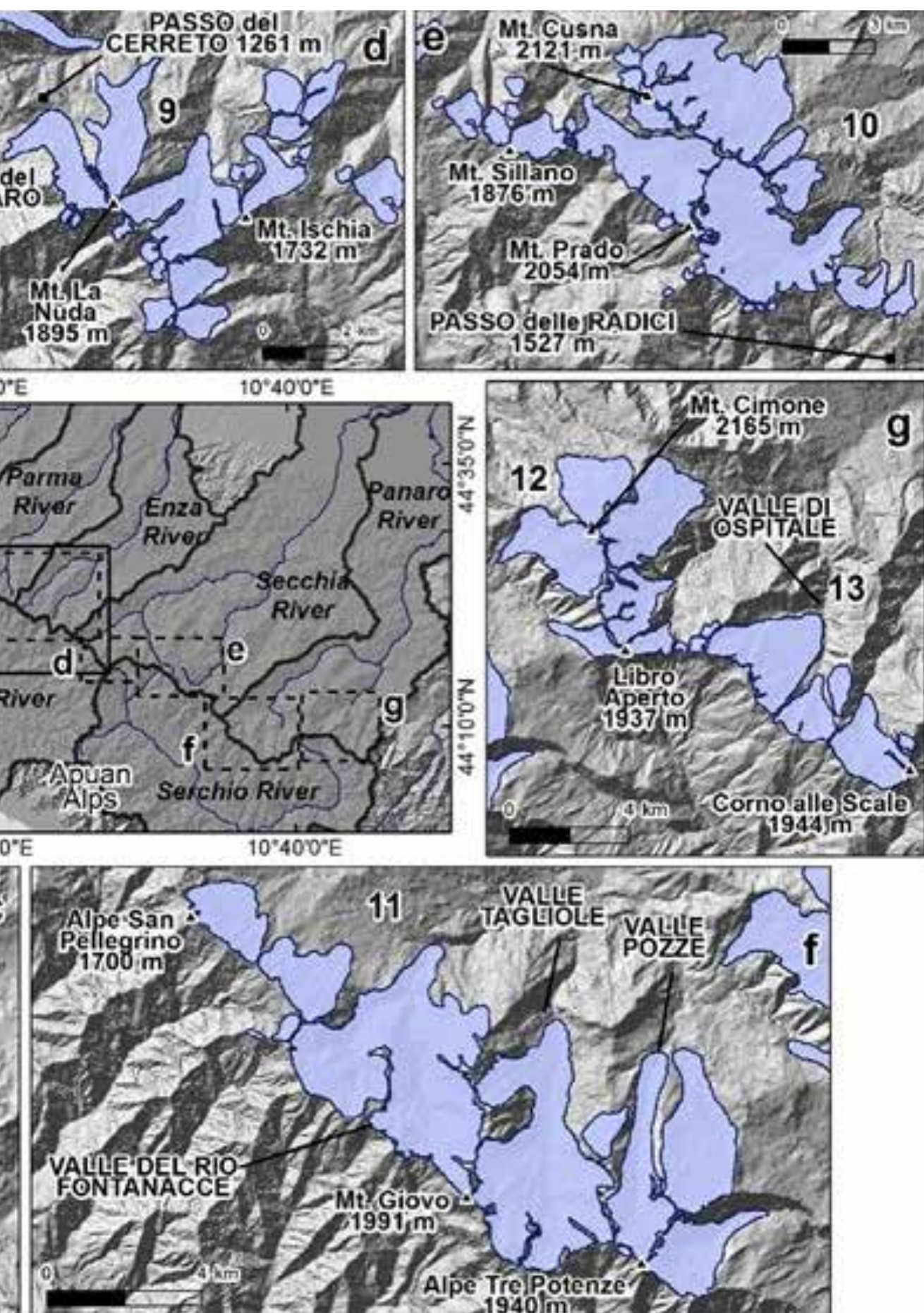


Figura 1b - Una ricostruzione della distribuzione e dell'estensione delle calotte glaciali locali nell'Appennino



settentrionale (da Baroni et al. 2018)

partire da circa 1650 m in quelle a sud (Baroni et al. 2018). Almeno per quanto riguarda il nostro continente, tre furono le maggiori aree geografiche rifugio: la penisola iberica, quella italiana e quella balcanica. Qui le diverse specie, migrate da nord, hanno potuto sopravvivere in popolazioni più o meno estese che, nel corso di molte generazioni, si sono adattate a condizioni locali talvolta spingen-

dosi a differenziarsi in nuove specie e arricchendo la biodiversità di queste aree. Non a caso, queste tre regioni sono oggi riconosciute come hot-spot di diversità biologica e genetica (Fig. 4c, Myers et al. 2000) e proprio da molti di questi rifugi è ripartita la colonizzazione post-glaciale dell'Europa.

Anche in Europa centrale, tuttavia, popolazioni di alcune specie hanno trovato rifugio durante l'ultimo

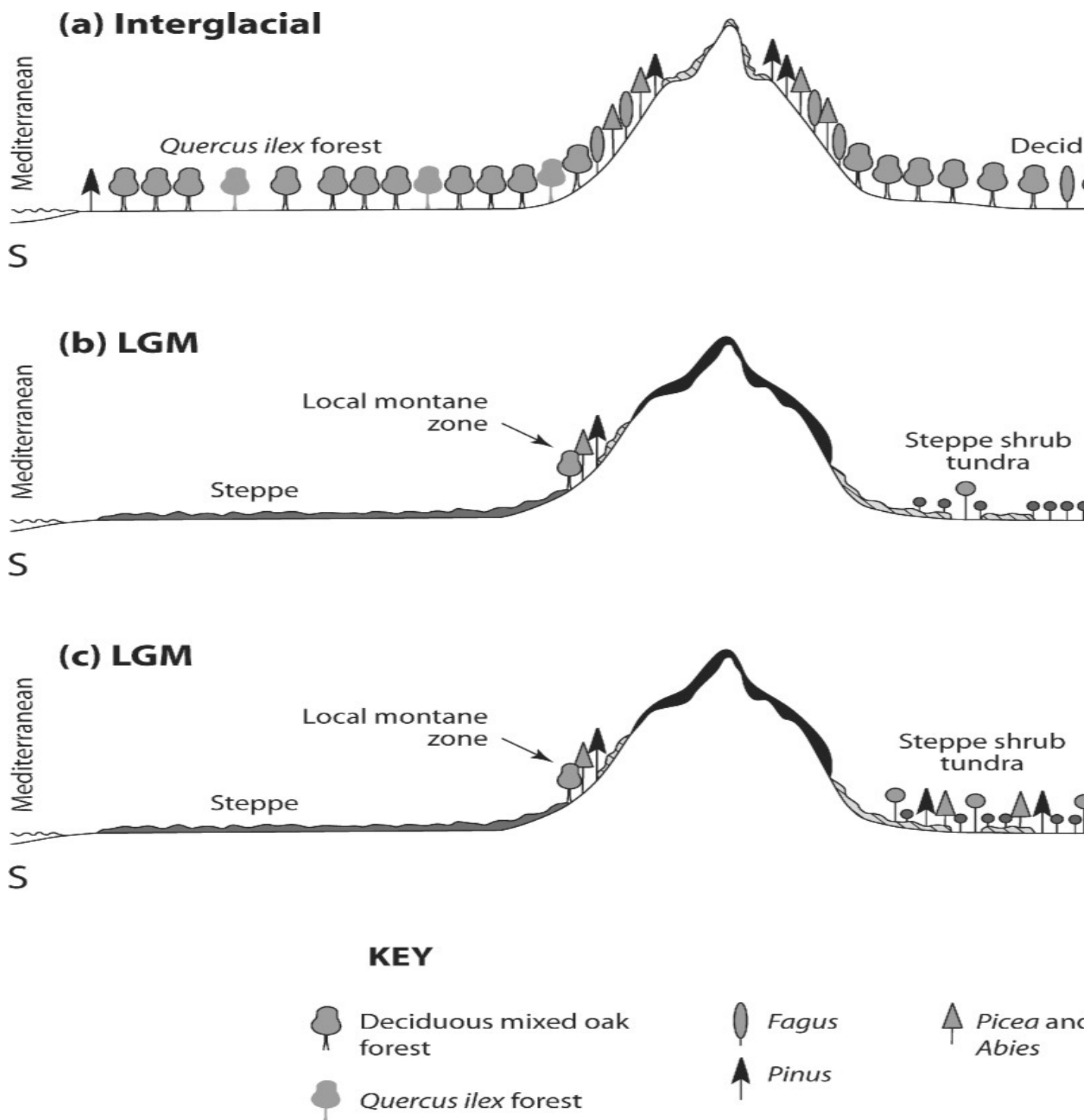
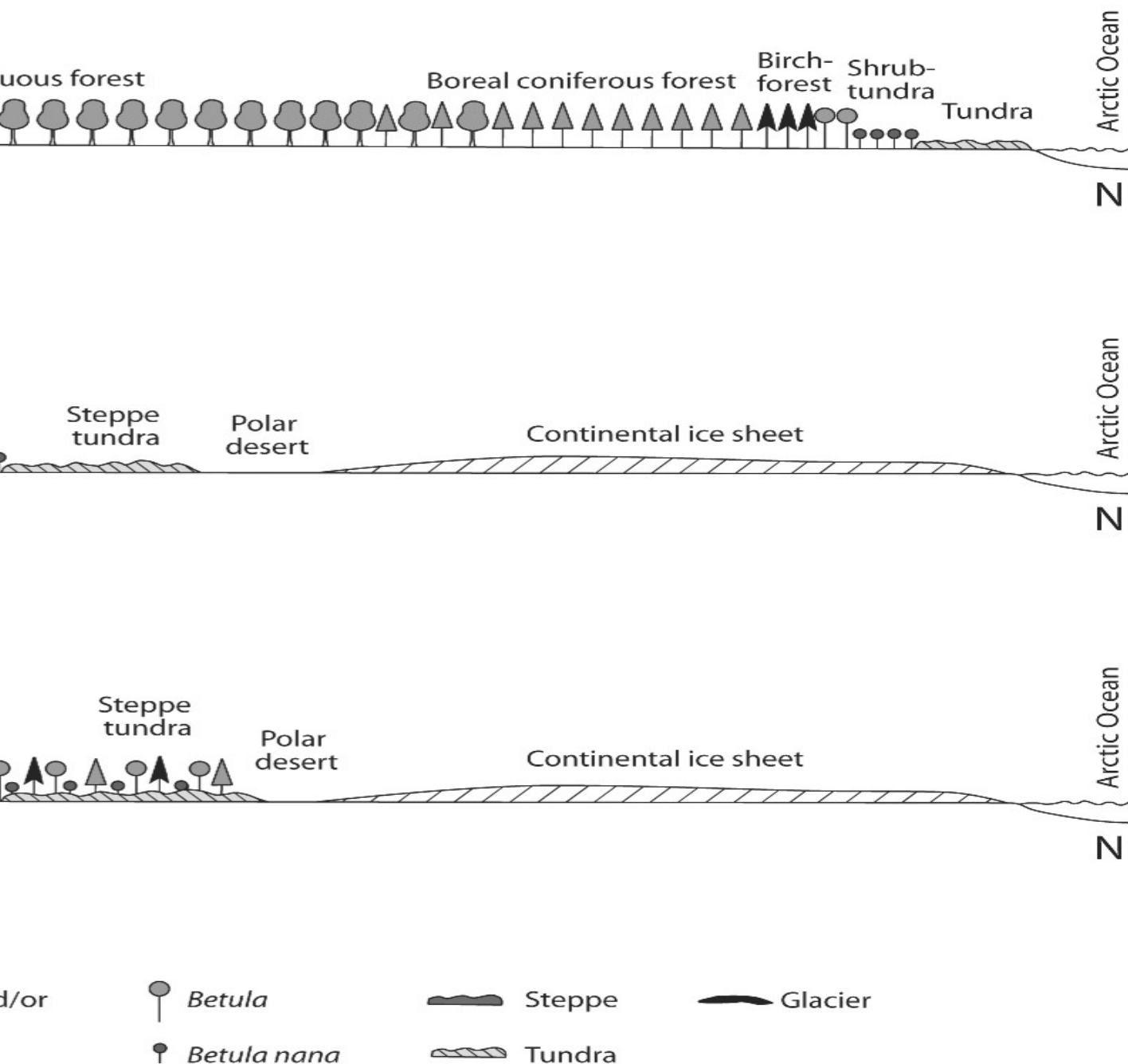


Figura 2. Principali tipi di vegetazione e alberi forestali lungo un ipotetico transetto dal Mediterraneo all'Oceano Artico durante un periodo 2008 modificato da: Van der Hammen et al. 1971

massimo glaciale (LGM) in aree relativamente ristrette, dove i microclimi locali erano rimasti compatibili con le loro esigenze ecologiche. Birks e Willis (2008), riprendendo un lavoro di Van der Hammen et al. (1971), hanno rappresentato efficacemente come le diverse specie si sono di volta in volta ricollocate a livello locale nelle loro migrazioni attraverso l'Europa durante il periodo del massimo glaciale

(Fig. 2 b), in un periodo intermedio (Fig. 2c) e nei periodi interglaciali come l'attuale (Fig. 2 a).

In un arco temporale di circa 12 000 anni a partire dall'inizio della conclusione della glaciazione quaternaria, la tundra e la taiga boreali si sono ritirate a nord e progressivamente la foresta temperata ha potuto espandersi e occupare nuovamente l'Europa centrale. A sud, alle basse latitudini, gli ecosistemi



interglaciale (a), e il modello classico dei rifugi, determinati da intensità termiche diverse durante l'LGM in Europa (b e c) – Birks e Willis

forestali di clima temperato-fresco, dominati da faggio abeti e altre specie a temperamento mesofilo, hanno infine trovato rifugio alle quote più elevate, dove temperature più basse e maggiori precipitazioni ne hanno consentito l'insediamento (Fig. 3).

Ma, alle nostre latitudini, quale è stata la dinamica delle popolazioni forestali durante questi periodi? Durante la glaciazione habitat ed ecosistemi con il relativo corredo di specie che li caratterizzavano sono stati sospinti verso sud in seguito allo spostamento delle isoterme per loro necessarie. Intere comunità si sono spostate, talvolta sovrapponendosi a quelle più termofile già presenti alle latitudini minori, altre volte distribuendosi a macchia di leopardo se-

condo il variare delle condizioni ambientali. Queste migrazioni di specie e sovrapposizioni di ecosistemi, interagendo con l'orografia e la geografia dei continenti, hanno fatto sì che in certe regioni, a certe latitudini, si siano originate concentrazioni di elevata diversità biologica, di biodiversità.

È in questo modo che si sono formati gli «hotspot» di diversità sopra citati (Meyers et al 2000, Marchese 2015), diversità non solo di specie ma anche genetica (Gentili et al. 2015) (Fig. 4).

La migrazione dai rifugi glaciali verso le latitudini settentrionali iniziò a partire da 15.000-13.000 anni fa per attenuarsi, con varie oscillazioni, circa 10.000 fa (Huntley e Birks 1983), portando gradualmente

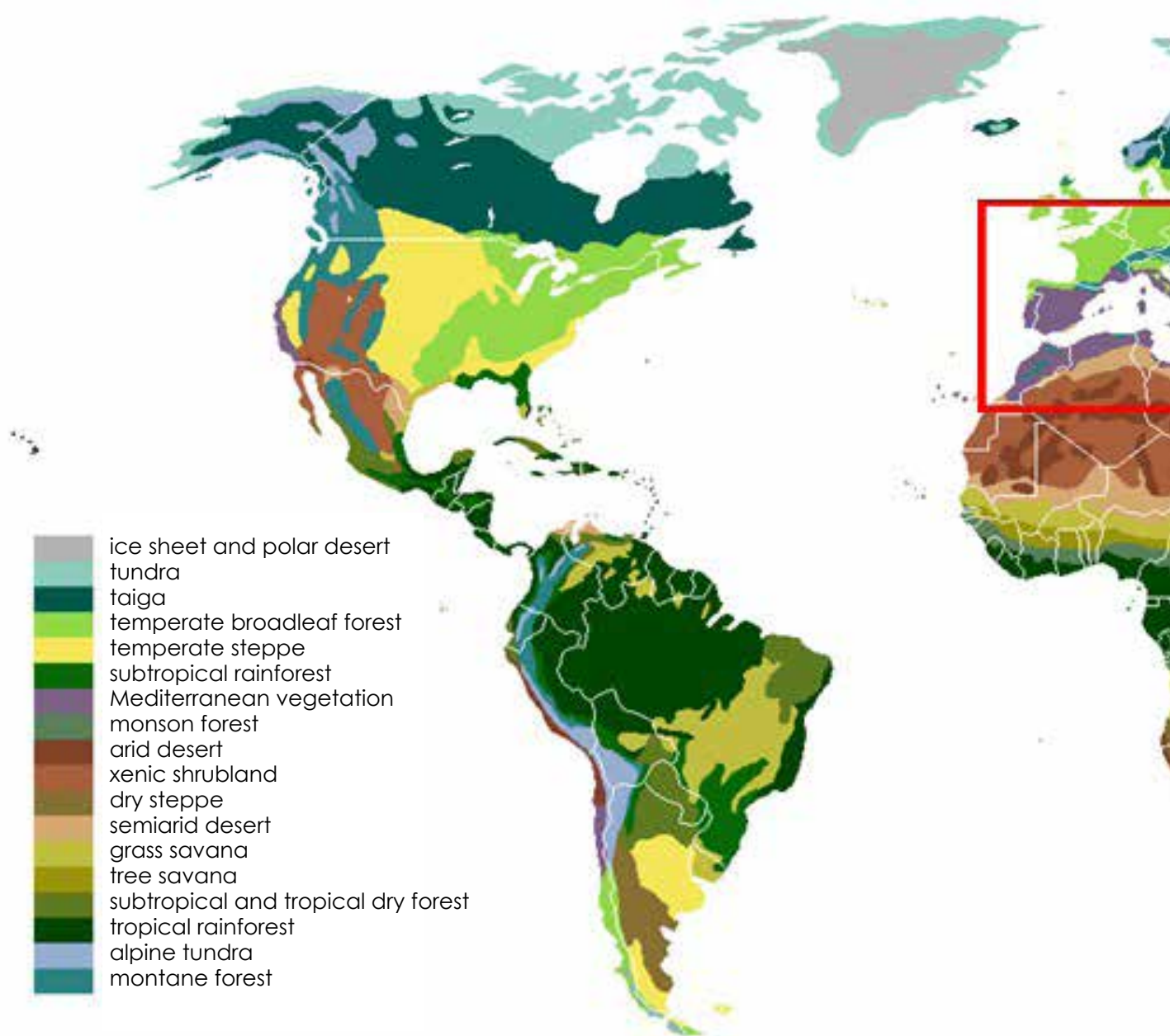


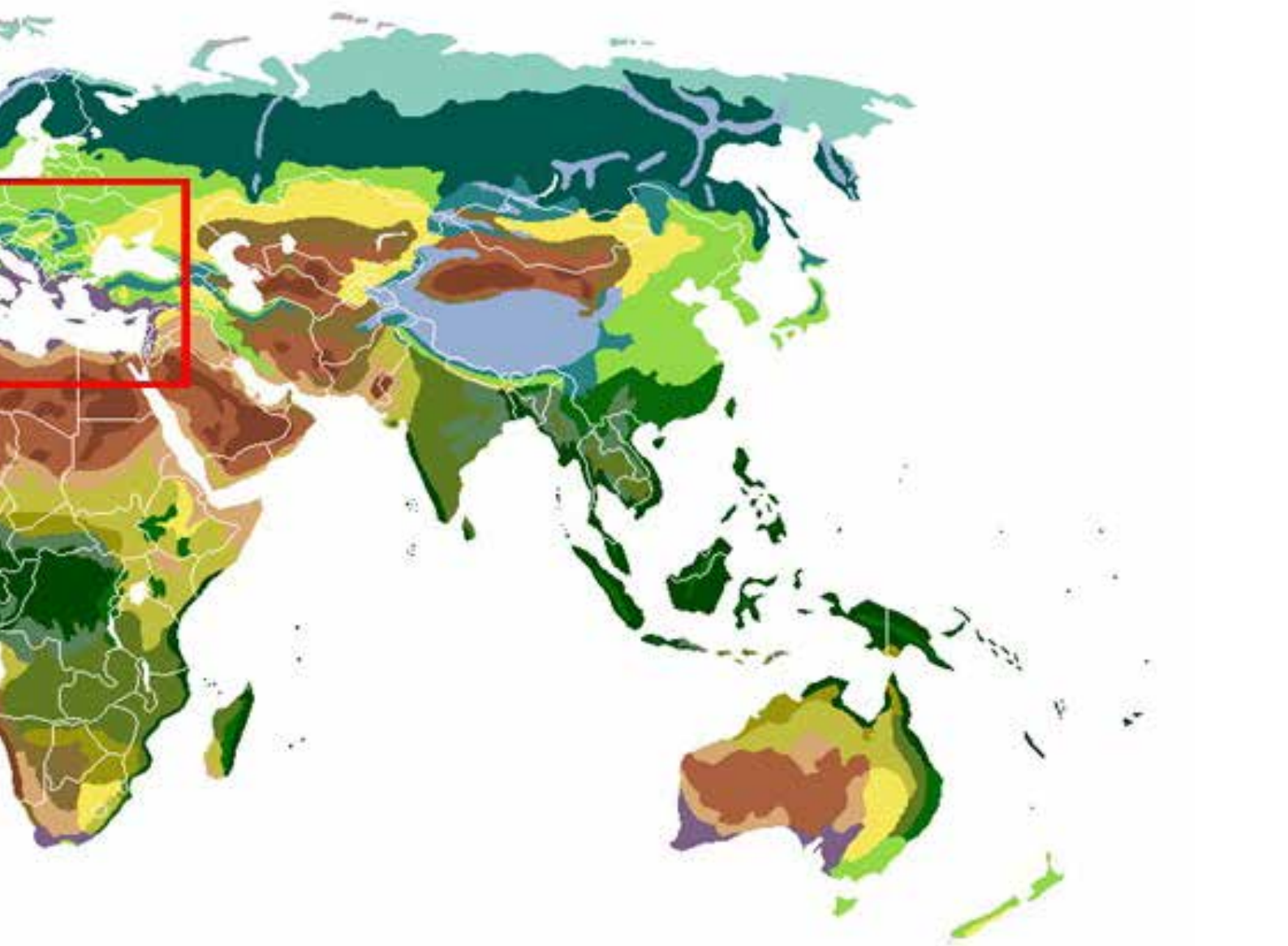
Figura 3. L'attuale distribuzione potenziale della vegetazione - (modificato da <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vegetation.png#/media/File:Vegetation.png>)

all'assetto attuale (Fig. 5). Le aree montuose e soprattutto quelle più elevate, interessate dagli antichi bacini glaciali del bacino mediterraneo, sono rimaste sino a oggi sufficientemente fresche e piovose da consentire la sopravvivenza in quota di molte delle antiche popolazioni rifugio delle specie forestali di clima temperato fresco, abeti, faggio, querce e altre latifoglie.

L'Appennino settentrionale e le Alpi Apuane (Fig. 6), per la loro particolare conformazione e collocazione geografica, sono una di queste zone, ricche di endemismi che testimoniano l'antica presenza di rifugi glaciali e l'attuale funzione di popolazioni "marginali di retroguardia" di cui si tratterà più sot-

to. I parametri climatici sono rimasti infatti ancora particolarmente favorevoli, con precipitazioni medie annue che possono oscillare, secondo l'altitudine e l'orientamento tra 1600 e oltre 2000 mm e temperature medie annue minori di 10,5° C (Rapetti e Vittorini 2011).

Partendo dal mare alle vette più alte, in pochissimi chilometri si passa dalle fasce fitoclimatiche di tipo mediterraneo a quelle di tipo oceanico, centro-europeo e alpino con pecceta e i vaccinieti (Benatti et al. 2019). Queste aree, dove le specie più esigenti di fresco si sono ricollocate in seguito al riscaldamento post-glaciale, hanno oggi la funzione di "rifugi interglaciali".



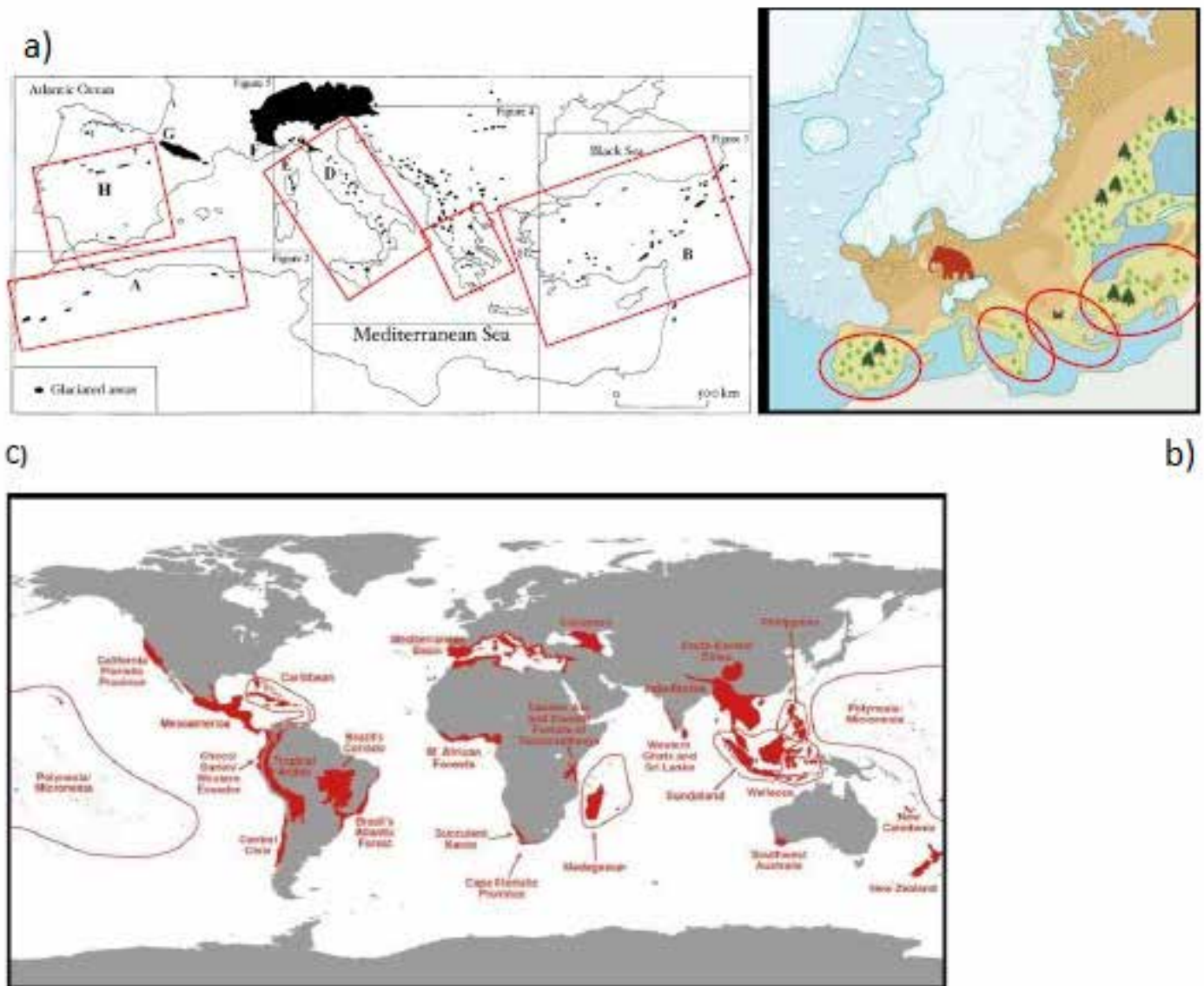


Figura 4. a) Distribuzione stimata delle calotte glaciali e b) e c) degli hotspot biologici formati nella regione mediterranea e altre zone del mondo durante l'ultimo periodo glaciale [modificati da Kathryn et al. 2013, Hugues et al 2006, Jaunsproge 201]

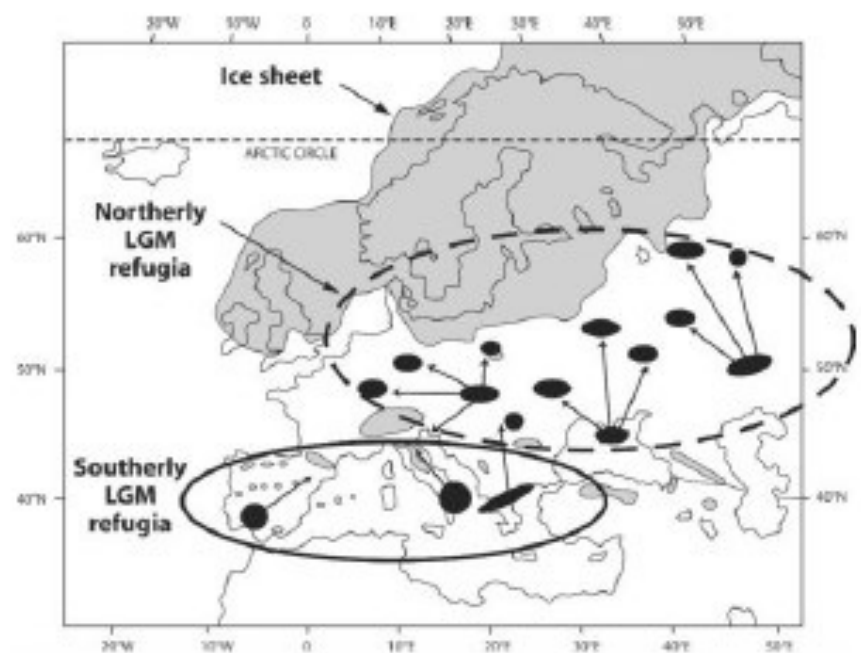


Figura 5. Idee attuali sulla posizione generale dei rifugi durante l'ultimo massimo glaciale per gli alberi e sulle direzioni approssimative di diffusione degli alberi all'inizio dell'Olocene. (Birks e Willis 2008, basato su una figura in Bhagwat e Willis 2008)



Figura 6. La zona di interesse per questo articolo [Di Terra (EOS AM-1)] satellite - Alps.A2007072.1010.250m.jpg, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1896921>

Alcuni modelli di specie delle foreste temperato-fresche che hanno trovato rifugio nella Penisola e in Appennino settentrionale

La coorte di specie arboree, arbustive ed erbacee che hanno trovato rifugio nel post-glaciale alle quote più elevate è amplissima e per motivi di spazio non è possibile prenderle tutte in considerazione (Ferrarini 1970, Benatti et al. 2019, Bedini et al. 2022), per cui si rimanda alla letteratura specializzata; tuttavia, si prendono ad esempio alcuni degli alberi più emblematici delle vicende climatiche di que-

sta zona: l'abete rosso (*Picea abies* Karst.), l'abete bianco (*Abies alba* Mill.), il pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), il faggio (*Fagus sylvatica* L.) e la betulla (*Betula pendula* Roth.). È sottinteso che a corredo e in accompagnamento a queste ce n'è un'infinità di altre specie che costituiscono e caratterizzano i rispettivi ecosistemi a cui appartengono.

Abete rosso, peccio (*Picea abies* Karst.)

- **Temperamento:** specie continentale, microterma, che può tollerare ai limiti meridionali del suo areale fino a un massimo di 65 gg con $T^{\circ}C > 24^{\circ}C$ (http://germoplasma.regione.toscana.it/MESI_Menu/Elemento.php?ID=289).
- **Altitudine:** 2.000 – 800 m
- **Piuvosità minima annua:** 600 mm, necessarie precipitazioni primaverili.
- **Clima di tipo alpino:** Riserva di Campolino, Lago Verde.

La distribuzione dell'abete rosso in Italia è prevalentemente alpina e copre in totale 586 082 ettari. Tuttavia, sia piantato che naturale, è presente anche in alcuni siti appenninici in Toscana con 1.445 ettari e in Emilia-Romagna con 4.046 ettari (INFC 2005).

I siti fossiliferi di Lajone, Agraie, Lagdei, Prato Spilla e Massaciuccoli mostrano testimonianze, datate con Carbonio 14 ($14C$), dell'antica presenza del peccio in questa zona degli Appennini settentrionali (Ravazzi et al. 2002).

Oggi la popolazione più meridionale in Italia si trova a Campolino (PT), ma altre ve ne sono a Lago Pranda e Lago Verde. Analisi genetiche condotte con marcatori molecolari hanno dimostrato che le popolazioni del Lago Verde e di Campolino (Fig.8) hanno una marcata differenziazione dalle popolazioni alpine.

Queste due popolazioni hanno in pratica avuto il tempo di avere un percorso evolutivo proprio che le ha portate a differenziarsi, mentre la popolazione di Lago Pranda potrebbe essere di origine artificiale, mostrando una composizione genetica simile a quelle delle popolazioni alpine, geneticamente più recenti e omogenee tra loro.

Fino a oggi queste popolazioni sono sopravvissute alle quote più elevate, ma il cambiamento del clima locale e dei suoi parametri, che potrebbero non corrispondere più ai requisiti della specie, ne mettono a rischio l'esistenza. Infine, la particolarità genetica di questo importante relitto glaciale sembra minacciata a Campolino da ettari di piantagioni artificiali realizzate in prossimità.

Oggi si sta affacciando anche un altro gravissimo pericolo per l'abete rosso di Campolino, in parte connesso con gli effetti del cambiamento climatico e lo stress a cui la specie è sottoposta: analogamente a quanto sta avvenendo in molte parti d'Europa si sta diffondendo il bostrico (*Ips typographus* L.), un coleottero scolitide, un tarlo, che attacca e colonizza le cortecce delle conifere per deporvi le uova e che può distruggere intere popolazioni (<https://www.fao.org/forestry/13568-0c-9837808189190c6fd765acfc9e573bc.pdf>). In relazione a questo le superfici indicate potrebbero subire una notevole contrazione.



Figura 7 A - Caratteri salienti dell'abete rosso: strobili, aghi a forma di spazzola, fiori femminili (rosso) e maschili (verde)



Figura 7 B - Areale di distribuzione dell'abete rosso (Caudillo et al - 2017)



Figura 8 - Riserva di Campolino – ph A. Piotti

Pino silvestre, pino di Scozia (*Pinus sylvestris*)

- **Temperamento:** specie microterma, eliofila e xerofila, continentale. Tollerata aridità e terreni acidi.
- **Altitudine:** dai 1600 m in giù secondo il microclima locale, fino ai 300 m nell'Appennino settentrionale.
- **Piuvosità minima annua:** 600 mm.
- **In Appennino settentrionale:** Tizzano Val Parma (PR) - Monte Fuso, Neviano degli Arduini (PR) - Molino Tocca, Castelnovo ne' Monti (RE) - Monte Duro, Marzabotto, Grizzana Morandi e Monzuno (BO) - Monte Sole, Casina (RE) - Vezzano sul Crostolo, Ceriana - Carpe (IM).

L'areale naturale di questa specie in Italia è essenzialmente alpino mentre nell'Appennino è limitato a poche popolazioni nel versante emiliano (Fig. 10a). L'analisi genetica (Belletti et al. 2012) ha confermato la presenza di consistenti livelli di variabilità interna le diverse popolazioni, con l'eccezione di quelli della pianura (Ticino, TIC e Olgelasca, OLG) e, soprattutto, di quella appenninica di Vezzano sul Crostolo (CRO), nel quale è evidente un avanzato processo di erosione genetica.



Figura 9 A - Caratteri salienti del pino silvestre: aghi appaiati, fiore maschile, strobili e fiore femminile (rosso sotto)

Tali situazioni sono spiegabili a seguito delle ridotte dimensioni delle popolazioni e del loro marcato e lungo isolamento.

Tuttavia, a conferma della tesi degli effetti dell'isolamento, il popolamento appenninico di Vezzano sul Crostolo e i due dell'alta pianura padana (Ticino e Olgelasca) sono geneticamente più differenziati degli altri. Crostolo ha avuto in passato scambi di materiale genetico con le popolazioni prealpine (Fig. 10b).

Oggi il pino silvestre, che in Italia si trova ai margini occidentali e meridionali del suo immenso areale, può risentire degli effetti negativi di due fattori principali, dei quali uno è la competizione da parte di altre specie, meno eliofile, più aggressive e adattabili al mutare delle condizioni microambientali, l'altro è connesso con le attività selvicolturali, spesso sospese, che dovrebbero essere orientate a scoprire il terreno periodicamente per mantenere attive le dinamiche demografiche della specie affinché si rinnovi naturalmente.

Il pino silvestre occupa oggi una superficie di circa 152 000 ettari, di cui circa 1100 in Toscana e 4000 in Emilia-Romagna (INFC 2005).



Figura 9 B - Una bella popolazione di pino silvestre





Figura 9 C - L'areale di distribuzione del pino silvestre (Caudullo et al 2017)

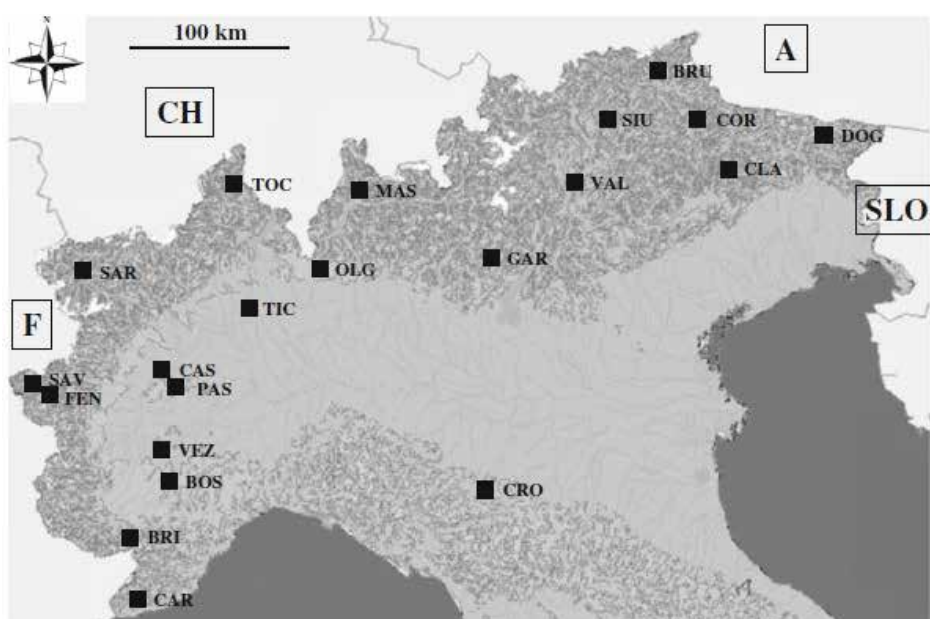


Figura 10 A - Distribuzione delle popolazioni italiane di pino silvestre studiate (Belletti et al 2012)

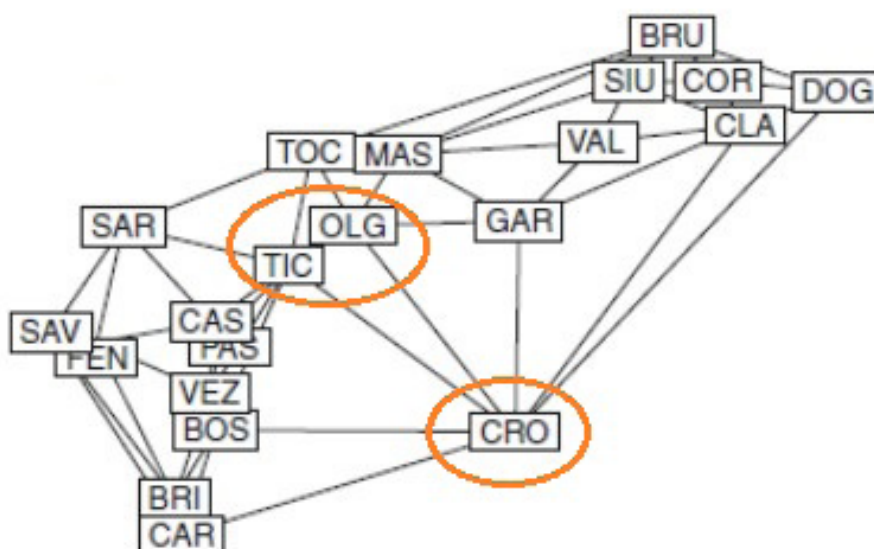


Figura 10 B - Relazioni genetiche tra le popolazioni italiane di pino silvestre (Belletti et al 2012)

Abete bianco (*Abies alba* Mill.)

- **Temperamento:** esigente di umidità e terreni freschi e fertili, necessita di climi temperato freddi e umidi, non troppo miti come quelli oceanici. Si associa al faggio con cui tende ad alternarsi e parzialmente, in ambiente alpino, all'abete rosso. È caratterizzato da una forte sciafilia, è infatti tollerante dell'ombreggiamento, che gli consente di sopravvivere sottoposto per molti decenni nelle faggete dense.
- **Altitudine:** 1800 - 800 m
- **Temperature medie annue:** 6°C sono il limite per la diffusione dell'abete.
- **Temperature medie del mese più freddo:** > -3°C sono il limite termico inferiore per la sua diffusione.
- **Precipitazioni:** 800 - 1500 mm

Moltissime popolazioni disgiunte, in genere di piccole dimensioni, vegetano lungo la catena degli Appennini (Fig. 12a) e sono localizzate generalmente in zone sufficientemente fresche e umide e spesso prossime ad aree che hanno ospitato manifestazioni glaciali.

L'abete bianco domina in Italia su circa 70000 ettari a cui si aggiungono faggete miste ad abete. Di questa specie circa 4500 ettari si trovano in Toscana e altri 3000 circa in Emilia-Romagna (INFC 2005). Queste popolazioni, che in passato sono state spesso

coltivate e ampliate grazie al loro valore economico, necessitano di una selvicoltura appropriata, che ne consenta una equilibrata alternanza con il faggio, molto più aggressivo dell'abete.

La storia ancestrale dell'abete nella nostra penisola è particolarmente interessante, essendo geneticamente diviso in due gruppi di popolazioni (Belletti et al. 2017, Piotti et al. 2017), dei quali uno è meridionale, dall'Abruzzo meridionale fino alla Calabria e la Sicilia, che ha avuto una storia evolutiva propria e che ha avuto in ere glaciali relazioni con le popolazioni balcaniche, e l'altro che interessa l'Appennino settentrionale, di cui fanno parte anche le abetine toscane (Fig. 13).

Le analisi genetiche (Piotti et al. 2017) hanno permesso di riconoscere un grande gruppo di popolazioni esteso dalle Marche alle Alpi fino ai Carpazi settentrionali caratterizzato da maggiore diversità, di cui fanno parte anche quelle dell'Appennino Tosco-Emiliano (Fig. 14).

Si ritiene dunque che anche l'area rifugio dell'Appennino Tosco-Emiliano sia stata alle origini delle popolazioni di abete bianco di mezza Europa (dall'Appennino settentrionale ai Carpazi orientali in Ucraina) e questo ne attesta, oltre al significato ecologico locale, il valore di riserva originale di geni dell'abete europeo, da salvaguardare con estrema attenzione.



Figura 12 A - Distribuzione dell'abete bianco (modificato da Rovelli) in Italia

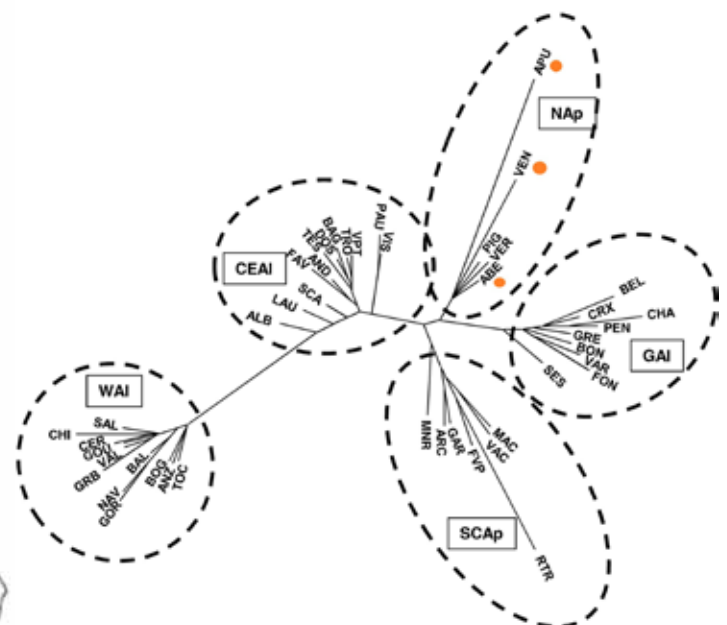


Figura 13 - Relazioni genetiche (linee continue) tra le popolazioni italiane di abete bianco (Belletti et al. 2017). I cerchi tratteggiati evidenziano le popolazioni di una regione geografica condivisa: WAI (Alpi occidentali), CEAI (Alpi centrali e orientali), NAP (Appennino settentrionale), GAI (Alpi Graie), SCAp (Appennino centrale e meridionale)



Figura 12 B - L'areale di distribuzione dell'abete bianco (Caudullo et al. 2017)

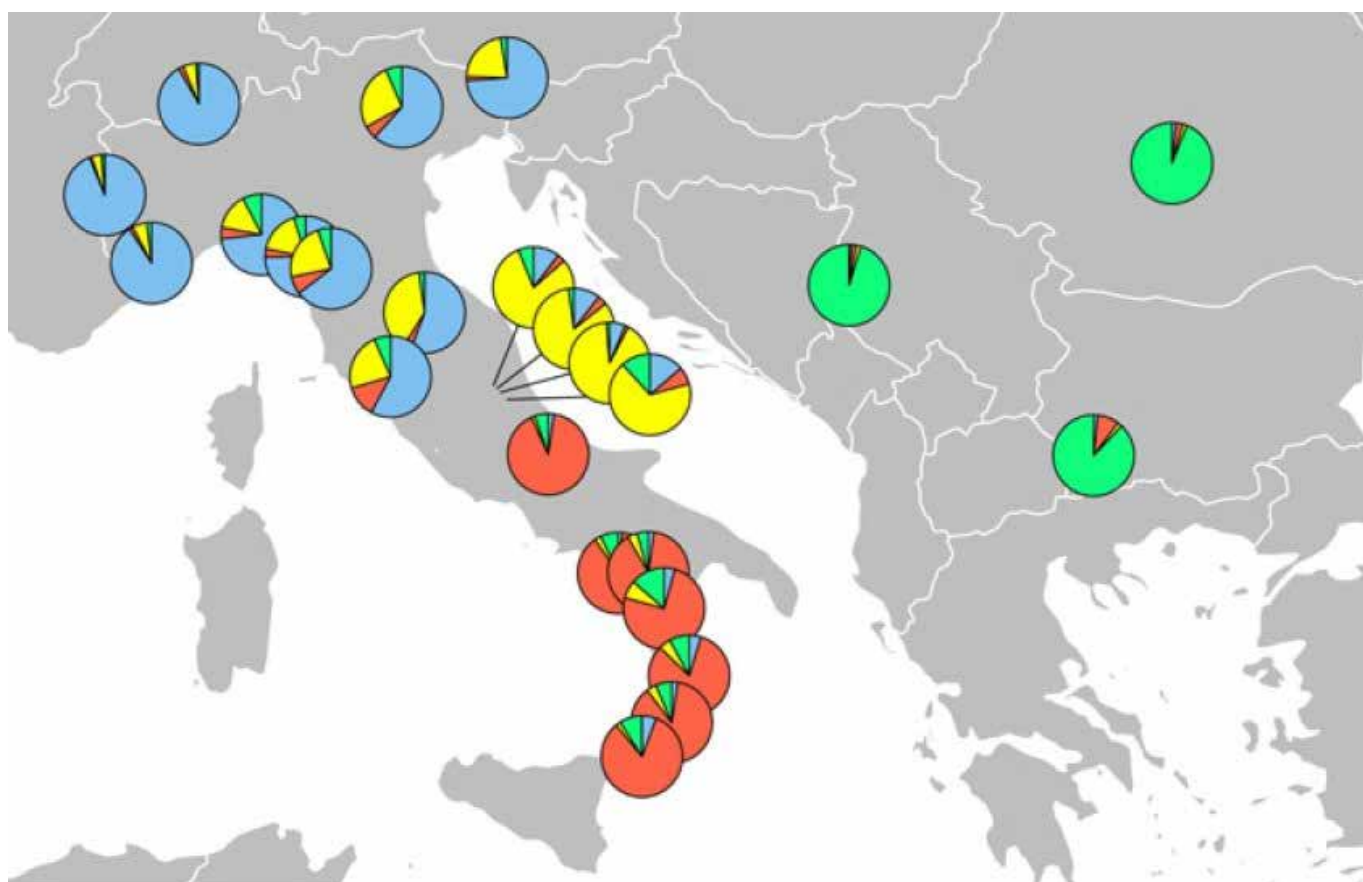


Figura 14 - Struttura genetica e diversità dell'abete bianco in Italia e relazioni con le popolazioni balcaniche - (Piotti et al. 2017)

Faggio (*Fagus sylvatica* L.)

- **Temperamento:** specie marcatamente oceanica, di climi temperati-freddi e umidi
- **Altitudine in Appennino:** dai 900 ai 1800-2000 m secondo i versanti
- **Temperature medie annue:** > 5-6°C, 13°C in G-L-A
- **Temperature medie del mese più freddo:** > -4°C media mese più freddo (-30°C)
- **Precipitazioni:** 800 - 1000 mm con piogge estive ed elevata umidità dell'aria

A oggi il faggio copre in Italia 1 035 103 ettari, di cui 72 260 ettari in Toscana e 100 863 ettari in Emilia-Romagna, (IFNC 2005) e forma estese e spesso bellissime foreste in tutto l'Appennino fino alla Sicilia, ad una altitudine media di circa 1600 m s.l.m. con limiti variabili tra 800 e i 2000 m. Il suo limite altitudinale superiore, soprattutto in Appennino, è molto inferiore alle potenzialità della specie a causa di una complessa interazione tra i fattori climatici, specialmente l'effetto dei periodi di siccità estiva e la millenaria pressione antropica, esercitata attraverso la pastorizia transumante o le utilizzazioni per legname da opera e combustibile. Questo è evidente in Appennino settentrionale sulle Alpi Apuane dove il limite superiore si aggira mediamente attorno ai 1450 m, come anche in quello centrale, nei massicci del Gran Sasso, del Velino-Sirente e dei Sibillini e in quello meridionale, soprattutto sul Pollino. Altri massicci, come i Monti della Laga, i Simbruini e l'Orso-marso sembrano meno influenzati da perturbazioni di origine antropica (Bonanomi et al. 2020).

In Europa sono stati identificati tre maggiori gruppi genetici e per il faggio appenninico, che deriva da rotte migratorie peninsulari partite dal meridione, sembra che vi siano stati scambi anche con popolazioni balcaniche. In realtà la popolazione di faggi dell'Italia meridionale si è diffusa verso Nord sugli Appennini, ma sembra che non abbia mai raggiunto l'Italia a Nord della pianura padana. Sembra che le Alpi italiane siano state colonizzate da popolazioni delle Alpi orientali-Slovenia-Istria, che si sono espanse rapidamente e vigorosamente all'inizio del periodo postglaciale, e si sono estese verso Ovest lungo il versante settentrionale della catena alpina fino ai Vosgi e oltre, fino all'Inghilterra (Fig. 17). Sembra che la migrazione delle popolazioni dell'Italia centrale abbiano raggiunto l'Appennino settentrionale solo durante la seconda metà dell'Olocene (Magri et al 2006), quindi il faggio vi sarebbe arrivato relativamente tardi rispetto ad altre specie, quando il clima stava già cominciando lentamente a cambiare, fatto che collima con il suo temperamento di tipo "oceanico". Questo temperamento ha permesso al faggio di sopravvivere all'ultimo periodo glaciale in aree rifugio distinte in Europa centrale e mediterranea, spesso in alternanza nel tempo e nello spazio con l'abete bianco, che riesce a so-

pravvivere per molti decenni all'ombra delle faggete per poi affermarsi non appena la copertura delle chiome viene meno. Per queste sue capacità le catene montuose non hanno costituito barriere geografiche per il faggio ma ne hanno facilitato la diffusione durante più cicli glaciali-interglaciali.

Le popolazioni appenniniche, sempre secondo Magri et al. (2006), non avrebbero contribuito alla colonizzazione dell'Europa centro-settentrionale ma avrebbero avuto solo un'espansione limitata agli Appennini e in parte alle Alpi occidentali e sicuramente le popolazioni toско-emiliane hanno funzionato da ponte per questa migrazione.

Questi risultati sono confermati e resi più precisi da Postolache et al. (2021), secondo cui il faggio in Europa è suddiviso in tre gruppi principali relativamente ben separati (Fig. 18). Uno domina l'Europa settentrionale (area verde), mentre un altro prevale in Europa occidentale (l'area rossa). Questi gruppi sono separati da un confine genetico che dalla costa tirrenica settentrionale arriva fino all'Inghilterra meridionale, dove vi è mescolanza. Le popolazioni dell'Appennino sono affini a quelle della penisola balcanica e dei Carpazi, formando il gruppo dell'Europa meridionale (area blu), che ospita gli antichi rifugi glaciali di faggio nell'Europa sud-orientale. Questa distribuzione geografica collima con i risultati di studi precedenti genetici e paleoecologici, per i quali queste popolazioni meridionali si espansero solo fino all'Appennino settentrionale e ai Carpazi centrali (Leonardi e Menozzi 1995,). Le popolazioni appenniniche toско-emiliane sono dunque al margine occidentale del gruppo genetico meridionale che ha, o ha avuto, connessioni con quelle del gruppo nord-occidentale.

Oggi il faggio appenninico corre seri rischi di vedere contrarsi il suo areale in relazione agli effetti del cambiamento del clima e per questo sono in corso ricerche miranti a monitorarne i comportamenti e individuare migliori forme di selvicoltura adattativa (Jump et al. 2006, Marchi e Ducci 2018).



Figura 15 - Faggeta appenninica in abito invernale

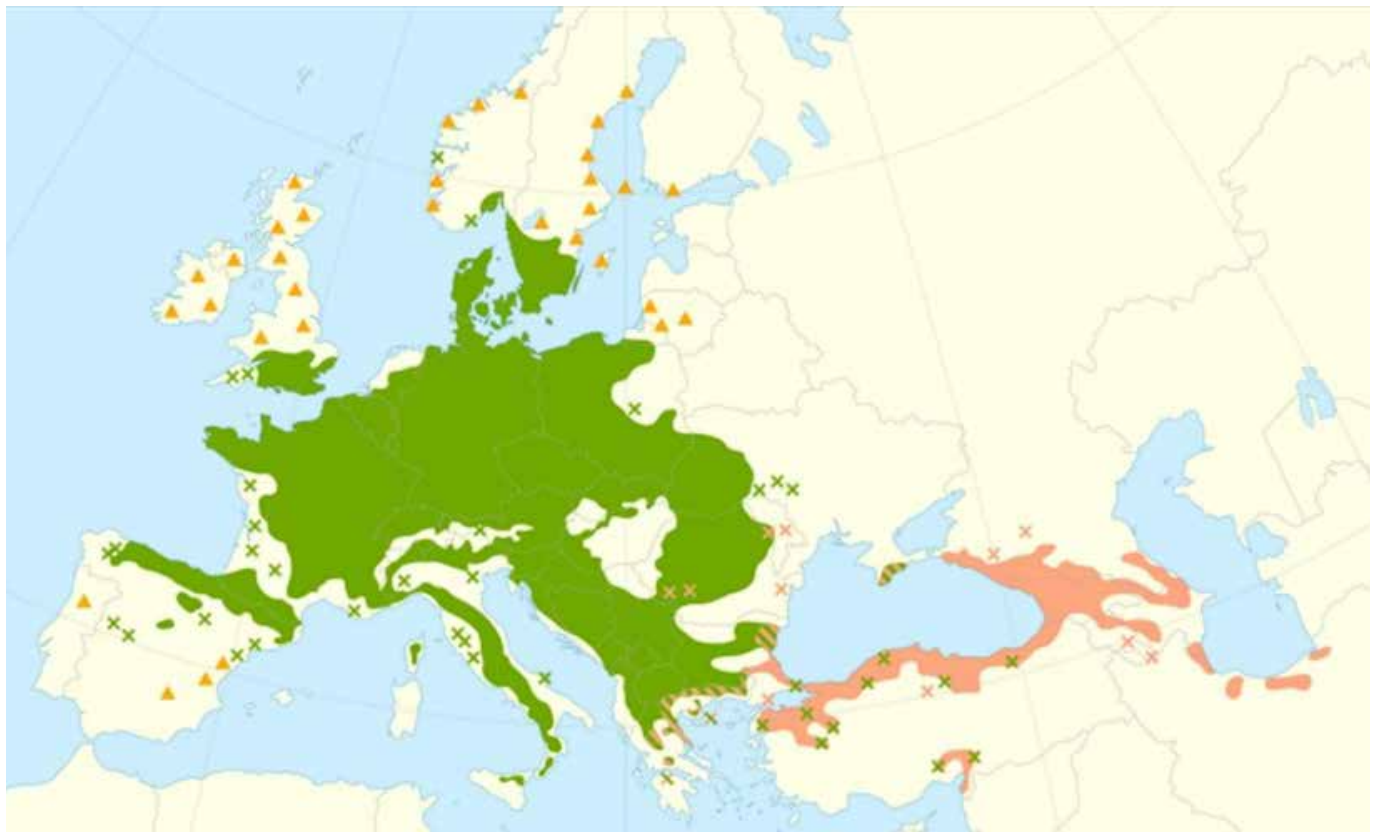


Figura 16 - L'areale del faggio in Europa (Caudullo et al. 2017)

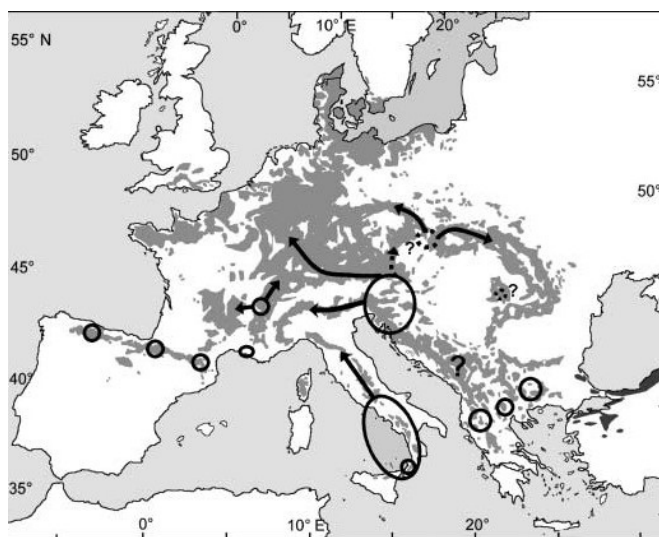
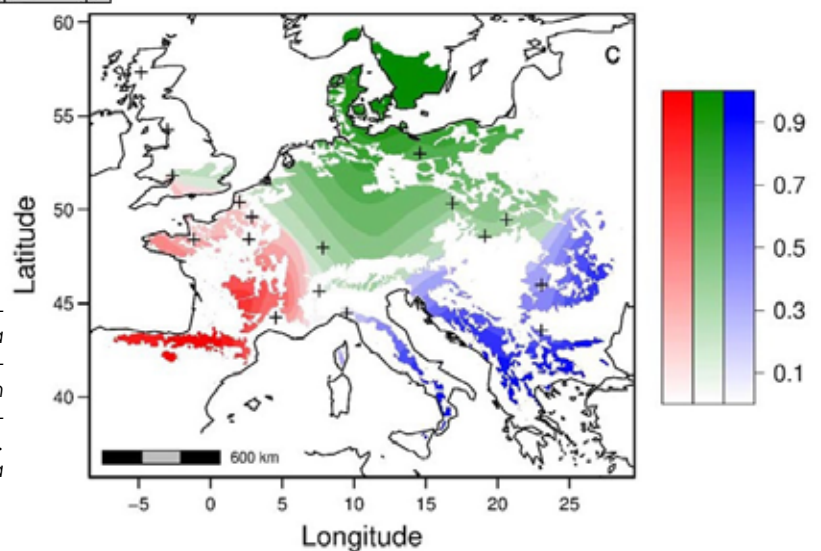


Figura 17 - Principali aree rifugio glaciali e rotte di espansione post-glaciali (Magri et al. 2006). I cerchi rappresentano le aree rifugio glaciali e le frecce indicano le presunte migrazioni seguite a partire da quei rifugi glaciali. Gli Appennini sono stati colonizzati da sud mentre le Alpi preminentemente da est. L'interrogativo dei Balcani è stato poi risolto da Postolache et al. (2021)

Figura 18 - Ipotesi di strutturazione in tre gruppi principali del faggio in Europa. Ogni colore corrisponde a un gruppo geneticamente affine e l'intensità del colore indica la probabilità delle popolazioni presenti in quella zona di appartenere a un gruppo. Sono considerate solo le aree appartenenti all'areale del faggio. Le croci indicano popolazioni miste, non assegnate a un singolo cluster (da Postolache et al. 2021)



Betulla bianca (*Betula pendula* Roth.)

- **Temperamento:** Specie marcatamente continentale, di climi temperato-continentali e continentali. Si adatta a suoli anche particolarmente acidi, un esempio ne è la popolazione che prospera nella caldera sulfurea di Manziana (Roma) a 350 m di altitudine.
- **Altitudine in Appennino:** dai 300 ai 2000 m secondo i versanti
- **Requisiti climatici:** simili a quelli dell'abete rosso
- **Temperature medie annue:** resiste bene ai venti freddi
- **Precipitazioni:** > 600 mm

La betulla (*Betula pendula* Roth) è un albero eliofilo, monoico, impollinato dal vento, con piccoli semi e un'ottima capacità pollonifera che le permettono di colonizzare rapidamente aree aperte, anche lontane, che presentano suoli decapitati come frane o scarpate. Il suo areale copre l'Europa centrale, i Balcani e il Nord Europa, dove la distribuzione è pressoché continua in foreste pure e miste.

A sud, nell'Appennino e nei Rodopi meridionali (Grecia settentrionale) la distribuzione è più irregolare e per piccolissime popolazioni isolate poste principalmente ad altitudini più elevate (Vakkari, 2009). Le piante di betulla possono rimanere anche per decenni isolate in foreste miste per poi creare rapidamente piccole e dense popolazioni disseminando non appena il suolo si scopre.

De Dato et al. (2020), grazie ad analisi genetiche condotte su popolazioni appenniniche, alpine e balcaniche, hanno mostrato che in Appennino c'è minore diversità genetica intra-popolazione e maggiore differenziazione inter-popolazione, grazie forse all'isolamento determinato da barriere geografiche e genetiche intorno a questi siti. Queste caratteristiche non sono state invece rilevate in Grecia dove evidentemente i flussi di geni sono assicurati con le aree alpine e balcaniche più settentrionali. Inaspettatamente, anche le popolazioni dell'Italia meridionale hanno mostrato legami con l'area greca e le alpi centro-occidentali (Fig. 22).



Figura 19 - La popolazione di betulla di Manziana (Roma)



Figura 20 - L'areale della betulla bianca (Caudullo et al. 2017)

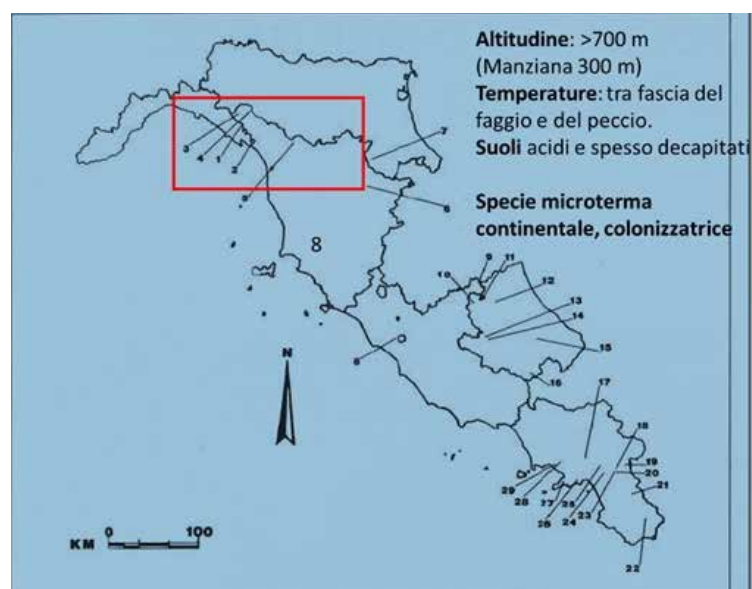
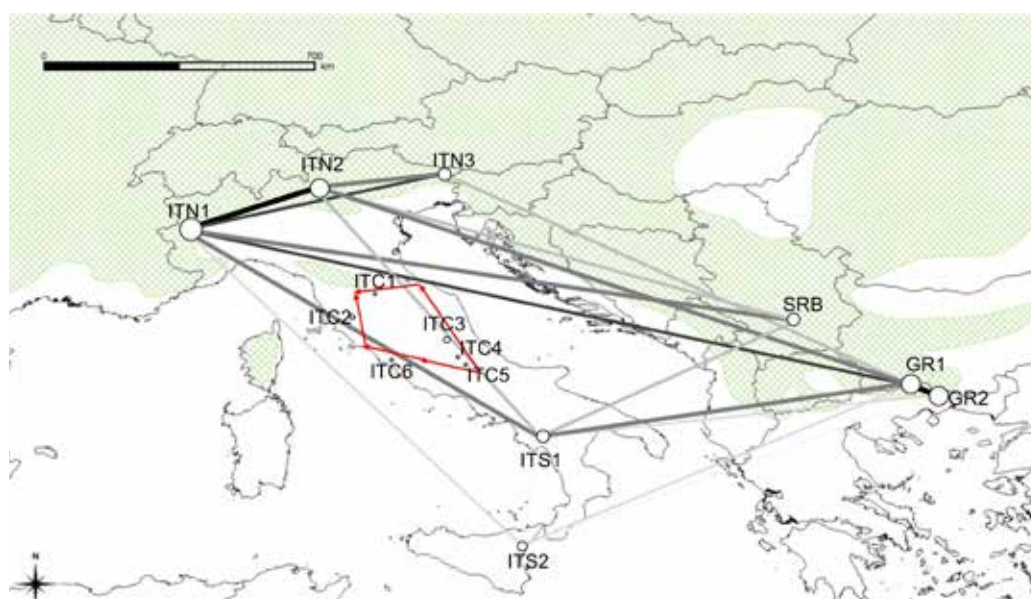


Figura 21 - L'areale della betulla in Italia peninsulare (modificato da Plini e Tondi 1989)

Popolazioni censite in Toscana:

- 1,2,3 Liguria orientale
- 4, Monte Orsaro
- 5, Torrente Gordana
- 6, Preappennino lucchese/pistoiese
- 7, Pratomagno
- 8, Belagaio

Figura 22 - Mappa delle relazioni tra popolazioni greche, balcaniche, appenniniche e alpine. Lo spessore e i colori delle linee sono proporzionali all'intensità del legame genetico tra le popolazioni mentre la dimensione del nodo rotondo è proporzionale al numero di collegamenti che ciascun nodo ha con le altre popolazioni. Le frecce rosse indicano la posizione delle barriere al flusso genico che nel nostro caso corrispondono ai versanti appenninici (de Dato et al. 2020). Le popolazioni dell'Appennino settentrionale ITC1 e ITC2 hanno parzialmente contribuito alla costituzione di quelle alpine occidentali fungendo da ponte per le migrazioni dal versante tirrenico meridionale.



Prospettive per le odierne aree rifugio interglaciali

Il rapido evolversi del clima alle nostre latitudini sta determinando un evidente spostamento delle isoterme a latitudini minori e ad altitudini più elevate. A questo proposito, Isaak et al. (2013) hanno evidenziato alcune principali assunzioni, utili a comprendere gli effetti dei cambiamenti in atto:

- La velocità del cambiamento climatico è legata alla velocità con cui le isoterme si spostano nel paesaggio e le stime indicano che si spostano a monte a 0,13–1,3 km/decennio nei pendii con 2–10% di pendenza e 1,3–25 km/decennio in pianura.
- I modelli matematici prevedono che le isoterme si spostino con valori, molto variabili secondo le caratteristiche locali, tra 1,5 e 43 km/decennio, con un innalzamento delle temperature medie di circa 0,6°C, velocità che potrebbe aumentare a 5–143 km nella prima metà di questo secolo, se si verificassero scenari con incrementi di circa 2°C della temperatura media dell'aria.
- La distribuzione delle specie si sta già spostando lentamente verso aree più fresche (quote più elevate e verso i poli) in risposta al cambiamento climatico. Questo ultimo assunto è molto importante perché evidenzia i rischi per l'esistenza di popolazioni che oggi sono ai margini o alla periferia dell'area di distribuzione ma che un tempo sono state la fonte di variabilità genetica da cui le foreste europee si sono originate dopo l'ultimo massimo glaciale. Se nel periodo glaciale queste periferie furono rifugi per la specie, oggi sono rifugi interglaciali che possono ospitare una diversità genetica che ha potuto evolversi per millenni in ambienti sempre più difficili e di margine, sviluppando in molti casi capacità adattative che le popolazioni più recenti, che crescono nell'ottimo ambientale, non hanno potuto sviluppare. È necessario quindi cercare di preservare queste popolazioni (Lesica e Allendorf 1995, Channel 2005), perché potrebbero essere fonte di variazione genetica adattativa utile per la sopravvivenza della specie (Fady et al. 2016). Il problema è che se le isoterme salissero troppo in altitudine e troppo rapidamente, queste popolazioni non avrebbero più spazio per migrare e superando limiti ambientali propri della specie finirebbero con l'estinguersi (Lindner et al. 2014).

In questo lavoro sono stati richiamati frequentemente i concetti di *perifericità* e *marginalità* (Hamppe e Petit 2005, Fady et al. 2016, Fig. 23 e Fig. 24) che in ambiente scientifico servono per dare le seguenti definizioni:

- Una popolazione è "periferica" quando si trova ai limiti dell'areale della specie e vive in condizioni ambientali stressanti e sub-ottimali per la

riproduzione, quasi al limite di tolleranza della specie.

- Una popolazione si dice "marginale" quando si trova all'interno dell'areale della specie ma in un ambiente dove uno o più parametri ambientali sono alterati, ostacolando e compromettendo la sopravvivenza della popolazione.
- Nell'areale di una specie, avendone in mente il passato migratorio post-glaciale, si possono distinguere convenzionalmente popolazioni di retroguardia (*rear edge*), ovvero quelle lasciate indietro durante la progressiva migrazione, popolazioni di avanguardia (*leading edge*), costituite da piante pioniere sul fronte di avanzamento della migrazione. In questi margini, solitamente, la variabilità genetica è ridotta sia per effetto dell'erosione genetica o perché esistono pochi individui per lo più adattati a condizioni speciali. Si distingue infine il nocciolo (*core*), il cuore della specie, costituito dalla maggioranza degli individui che gode di condizioni ambientali ottimali e che si trova nelle zone centrali dell'areale della specie, queste sono chiamate appunto popolazioni "centrali"; in esse, di solito, si ha una variabilità genetica molto elevata grazie ai più flussi di geni ma minore differenziazione tra boschi.

Più in dettaglio, nel caso dell'Appennino Tosco-Emiliano, le popolazioni locali descritte si possono definire come segue (Ducci e Donnelly 2018):

- marginali geograficamente perché crescono ai margini dell'areale geografico. Queste popolazioni possono essere propriamente marginali, ovvero poste ai margini geografici dell'areale centrale (*core*) senza soluzione di continuità (faggio), oppure possono essere in parte disgiunte (alcune popolazioni di abete bianco per es.) con rari periodici scambi di polline o semi (Kremer et al. 2012).
- periferiche (es. abeti, pino silvestre e betulla) perché sono isolate e via via potrebbero prendere una loro direzione, differenziandosi e talvolta con fenomeni di deriva genetica.
- alcune sono interessate anche da marginalità ecologica in quanto alcuni parametri ecologici per loro necessari si stanno modificando verso i limiti di tolleranza.
- molte sono le popolazioni altitudinalmente marginali, sotto forma di gruppi di alberi poco sviluppati e malformati alle quote più elevate. Tuttavia queste, con il mutare delle condizioni climatiche, potrebbero invece ben riprodursi e con individui ben adattati.
- anche all'interno delle popolazioni geograficamente marginali, possono essere identificate sotto-popolazioni di *leading* e *trailing edge*.

Prospettive per le odierne aree rifugio interglaciali

Il rapido evolversi del clima alle nostre latitudini sta determinando un evidente spostamento delle isoterme a latitudini minori e ad altitudini più elevate. A questo proposito, Isaak et al. (2013) hanno evidenziato alcune principali assunzioni, utili a comprendere gli effetti dei cambiamenti in atto:

- La velocità del cambiamento climatico è legata alla velocità con cui le isoterme si spostano nel paesaggio e le stime indicano che si spostano a monte a 0,13–1,3 km/decennio nei pendii con 2–10% di pendenza e 1,3–25 km/decennio in pianura.
- I modelli matematici prevedono che le isoterme si spostino con valori, molto variabili secondo le caratteristiche locali, tra 1,5 e 43 km/decennio, con un innalzamento delle temperature medie di circa 0,6°C, velocità che potrebbe aumentare a 5–143 km nella prima metà di questo secolo, se si verificassero scenari con incrementi di circa 2°C della temperatura media dell'aria.
- La distribuzione delle specie si sta già spostando lentamente verso aree più fresche (quote più elevate e verso i poli) in risposta al cambiamento climatico. Questo ultimo assunto è molto importante perché evidenzia i rischi per l'esistenza di popolazioni che oggi sono ai margini o alla periferia dell'area di distribuzione ma che un tempo sono state la fonte di variabilità genetica da cui le foreste europee si sono originate dopo l'ultimo massimo glaciale. Se nel periodo glaciale queste periferie furono rifugi per la specie, oggi sono rifugi interglaciali che possono ospitare una diversità genetica che ha potuto evolversi per millenni in ambienti sempre più difficili e di margine, sviluppando in molti casi capacità adattative che le popolazioni più recenti, che crescono nell'ottimo ambientale, non hanno potuto sviluppare. È necessario quindi cercare di preservare queste popolazioni (Lesica e Allendorf 1995, Channel 2005), perché potrebbero essere fonte di variazione genetica adattativa utile per la sopravvivenza della specie (Fady et al. 2016). Il problema è che se le isoterme salissero troppo in altitudine e troppo rapidamente, queste popolazioni non avrebbero più spazio per migrare e superando limiti ambientali propri della specie finirebbero con l'estinguersi (Lindner et al. 2014).

In questo lavoro sono stati richiamati frequentemente i concetti di *perifericità* e *marginalità* (Hamppe e Petit 2005, Fady et al. 2016, Fig. 23 e Fig. 24) che in ambiente scientifico servono per dare le seguenti definizioni:

- Una popolazione è "periferica" quando si trova ai limiti dell'areale della specie e vive in condizioni ambientali stressanti e sub-ottimali per la

riproduzione, quasi al limite di tolleranza della specie.

- Una popolazione si dice "marginale" quando si trova all'interno dell'areale della specie ma in un ambiente dove uno o più parametri ambientali sono alterati, ostacolando e compromettendo la sopravvivenza della popolazione.
- Nell'areale di una specie, avendone in mente il passato migratorio post-glaciale, si possono distinguere convenzionalmente popolazioni di retroguardia (*rear edge*), ovvero quelle lasciate indietro durante la progressiva migrazione, popolazioni di avanguardia (*leading edge*), costituite da piante pioniere sul fronte di avanzamento della migrazione. In questi margini, solitamente, la variabilità genetica è ridotta sia per effetto dell'erosione genetica o perché esistono pochi individui per lo più adattati a condizioni speciali. Si distingue infine il nocciolo (*core*), il cuore della specie, costituito dalla maggioranza degli individui che gode di condizioni ambientali ottimali e che si trova nelle zone centrali dell'areale della specie, queste sono chiamate appunto popolazioni "centrali"; in esse, di solito, si ha una variabilità genetica molto elevata grazie ai più flussi di geni ma minore differenziazione tra boschi.

Più in dettaglio, nel caso dell'Appennino Tosco-Emiliano, le popolazioni locali descritte si possono definire come segue (Ducci e Donnelly 2018):

- marginali geograficamente perché crescono ai margini dell'areale geografico. Queste popolazioni possono essere propriamente marginali, ovvero poste ai margini geografici dell'areale centrale (*core*) senza soluzione di continuità (faggio), oppure possono essere in parte disgiunte (alcune popolazioni di abete bianco per es.) con rari periodici scambi di polline o semi (Kremer et al. 2012).
- periferiche (es. abeti, pino silvestre e betulla) perché sono isolate e via via potrebbero prendere una loro direzione, differenziandosi e talvolta con fenomeni di deriva genetica.
- alcune sono interessate anche da marginalità ecologica in quanto alcuni parametri ecologici per loro necessari si stanno modificando verso i limiti di tolleranza.
- molte sono le popolazioni altitudinalmente marginali, sotto forma di gruppi di alberi poco sviluppati e malformati alle quote più elevate. Tuttavia queste, con il mutare delle condizioni climatiche, potrebbero invece ben riprodursi e con individui ben adattati.
- anche all'interno delle popolazioni geograficamente marginali, possono essere identificate sotto-popolazioni di *leading* e *trailing edge*.

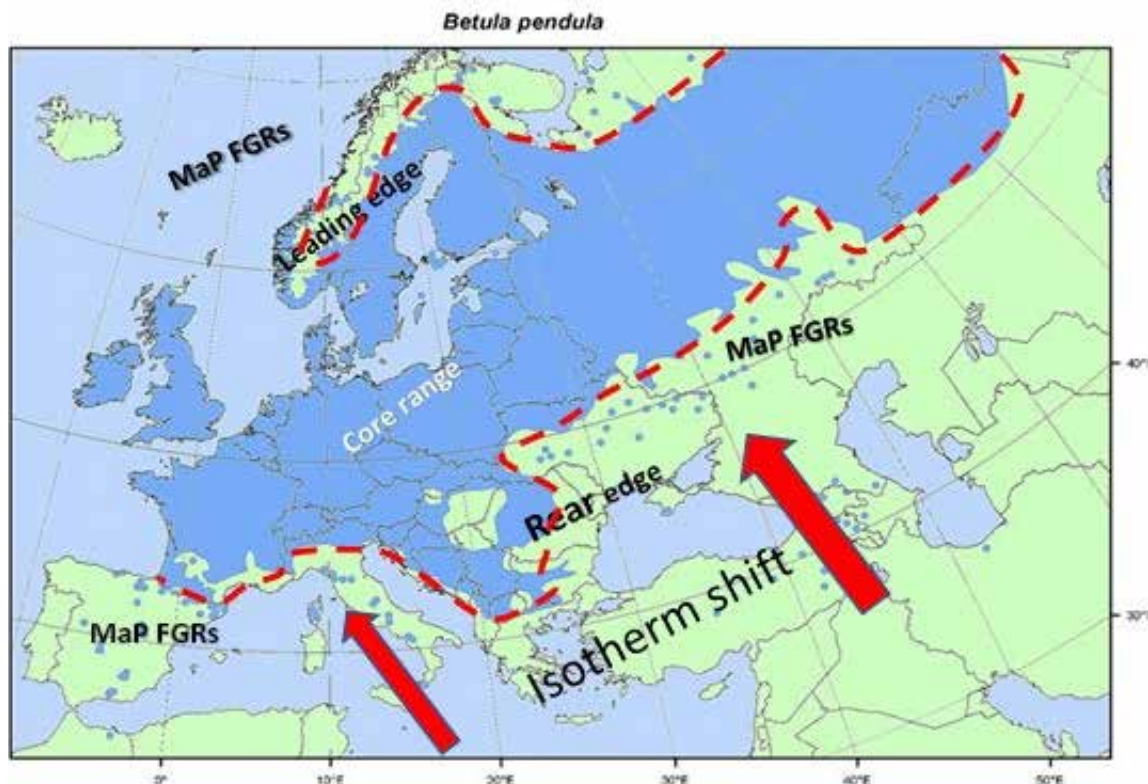


Figura 23 - Esempio schematico degli effetti di traslazione latitudinale delle fasce climatiche verso Nord in seguito al riscaldamento globale post-glaciale sull'areale della betulla, si notino le popolazioni relitte rimaste isolate dai margini meridionali durante la migrazione e oggi possibile fonte di variabilità adattativa (modificato da P. Vakkari 2009, Euforgen).

Secondo questo modello esemplificativo (Fig. 23) con il riscaldamento post-glaciale le isoterme, traslando progressivamente verso nord, hanno fatto sì che l'areale della betulla sia migrato verso fattori climatici ottimali per la sopravvivenza della specie. A settentrione il fronte di avanzamento è stato più omogeneo, attestandosi più o meno all'altezza del circolo polare nelle zone più continentali, con poche popolazioni pioniere, relativamente, più avanzate. A sud invece l'areale appare più sfrangiato e meno lineare, a causa della presenza di molte catene montuose che hanno consentito la persistenza di condizioni adatte anche a minori latitudini. Molte popolazioni sono sopravvissute rimanendo isolate a quote e/o esposizioni favorevoli. È il caso del Ponto e del Caucaso a est e della penisola italiana e di quella iberica a ovest.

Lo stesso fenomeno si è verificato e si verifica in senso altimetrico (Fig. 24). Con il riscaldamento le isoterme si spostano in quota e le diverse specie devono ridistribuirsi di conseguenza. Per quelle più termofile, come querce e castagno, il problema è relativo perché hanno spazio per risalire le valli e i fianchi delle montagne ricollocandosi abbastanza agevolmente, mentre per le specie più microterme, come ad esempio faggio, abeti, pini montani e larici, il problema si fa più grave perché la loro nicchia climatica può andare a collocarsi sulle creste sterili o ben oltre la cima delle montagne, ponendo queste piante in condizioni di grave rischio per non poter migrare.

Un fenomeno del genere è documentato nel parco dell'Adamello, dove entro i prossimi 50 anni circa si prevede la ridistribuzione e in qualche caso la sostituzione nelle diverse fasce climatiche attuali da parte di specie più termofile (rovere, castagno, faggio ecc.) che risalgono le valli e si espandono a scapito di quelle più microterme (Gerosa et al. 2013).

Gli strumenti tecnologici e statistici odierni consentono di riconoscere popolazioni con caratteristiche di marginalità, grazie alla possibilità di realizzare grandi database internazionali georeferenziati (Fady et al. 2021) e di lavorare su grandi scale geografiche (Picard et al. 2022). I ricercatori possono così monitorare nel tempo e nello spazio gli effettivi cambiamenti e anche simulare possibili futuri scenari e quindi suggerire azioni per la conservazione o il salvataggio di queste popolazioni.

A questo proposito Marchi e Ducci (2018) hanno effettuato stime di come potrebbe contrarsi la nicchia climatica necessaria a specie temperate come faggio e abete bianco nel loro areale italiano in relazione a due scenari climatici di intensità crescente del riscaldamento (medie annue di 2°C e 4°C) di qui ai prossimi 50 anni (Fig. 25). Gli areali, soprattutto quello del faggio, si frazionerebbero sempre più dando origine a popolazioni disgiunte di cui molte, rimaste isolate, di abete soprattutto, andrebbero incontro a una intensa erosione genetica e dovrebbero migrare rapidamente a quote maggiori per non estinguersi.

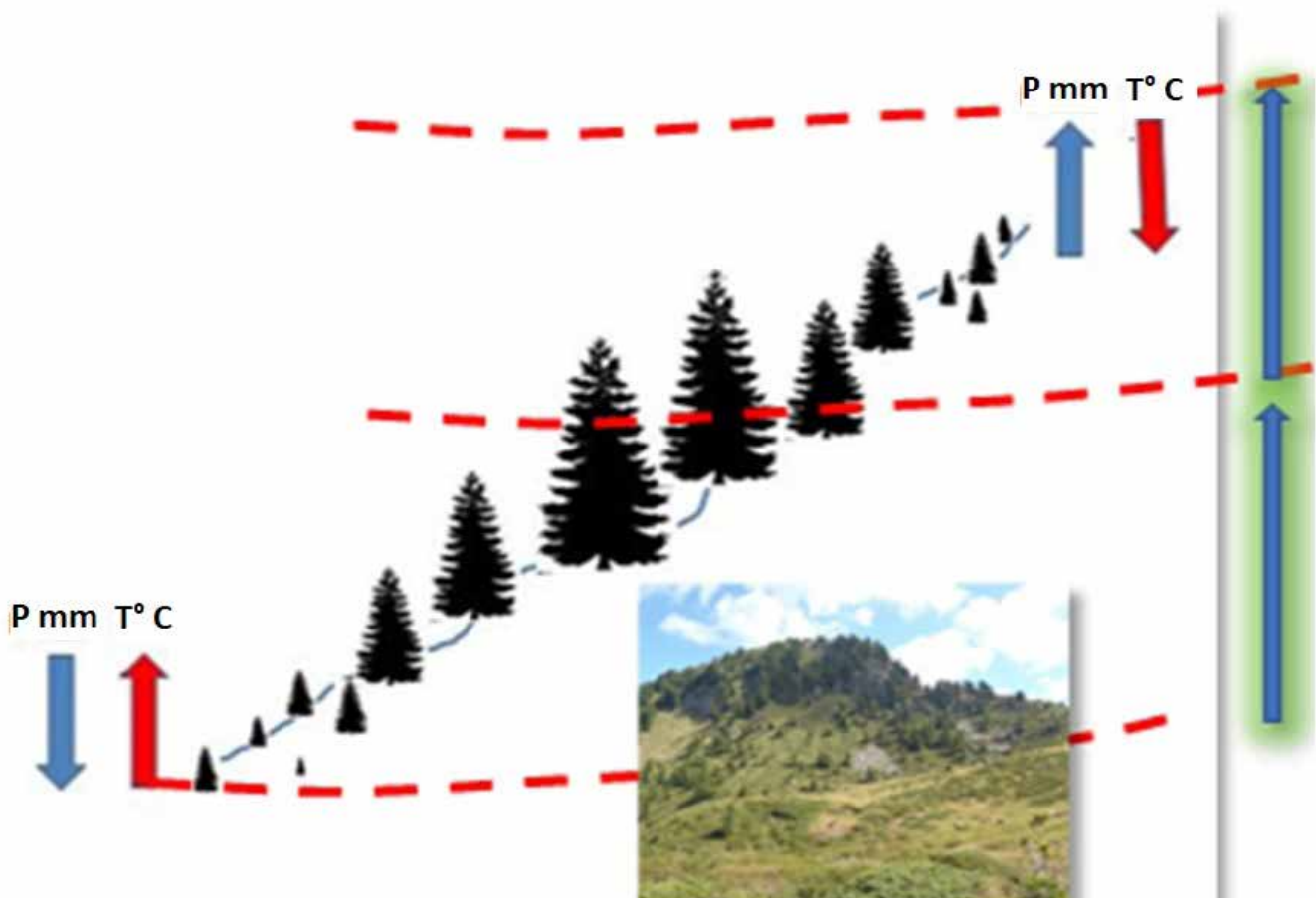


Figura 24 - Esempio schematico della struttura di una popolazione di abete in altitudine sottoposta all'effetto della traslazione delle isoterme per lei utili. A monte la popolazione pioniera in fase di avanzamento (leading edge), al centro la popolazione che ancora si trova in condizioni ottimali, a valle la popolazione in ritirata (rear edge), progressivamente erosa da peggiori condizioni

Le popolazioni forestali possono reagire ai cambiamenti ambientali utilizzando in situ le capacità adattative individuali e di popolazione oppure, se i limiti ecologici della specie non sono superati in maniera troppo veloce, possono migrare. Questo, avviene, secondo la specie, utilizzando diverse strategie di dispersione di polline e semi attraverso il vento o usando gli animali come vettori.

La velocità di migrazione dipende dalla strategia di dispersione, dal peso del seme (Boisvert-Marsh et al. 2022), dalla frequenza di annate di maggior produzione di seme e dalla combinazione di tutto questo con fattori microambientali più o meno favorevoli alla germinazione e alla sopravvivenza delle nuove piantine. Si può comprendere quindi quanto sia difficile trovare la congiunzione favorevole di tutte queste variabili.

Nonostante tutto, una specie arborea può migrare. In letteratura si trovano valori medi dei tassi o velocità di migrazione per le specie forestali stimati nell'ordine di qualche centinaio di metri in latitudine ad anno e di alcuni metri in altitudine. Feurdean et al. (2013) hanno stimato velocità di migrazione post-glaciale dai rifugi più settentrionali in Europa intorno a 60–260 m/anno, inferiori rispetto a quelli stimati ipotizzando la migrazione dai rifugi meridionali di 115–550 m/anno. Secondo gli Autori gli alberi

caratteristici delle prime fasi di colonizzazione (specie più pioniere) sembra migrassero più velocemente di quelli tipici delle fasi ecologiche più tardive e mature.

Se compariamo queste velocità di migrazione con quelle di traslazione delle attuali isoterme di 11,5 m/anno in altitudine e 3000 m/anno in latitudine stimate in uno scenario climatico futuro che preveda un innalzamento delle temperature medie di 2°C in 35 anni (Mátyás 2007) si può comprendere che molte popolazioni non avranno via di scampo nel prossimo futuro. Si stima che nell'emisfero settentrionale circa il 66% del limite superiore del bosco abbia avuto in generale un incremento di quota, mentre il 34% non ne ha mostrati (Hansson et al. 2021, Lu et al., 2021). Nonostante questa capacità di reazione, tuttavia, l'avanzamento medio del limite del bosco in altitudine è stato stimato in meno di mezzo metro per anno, troppo poco per tenere dietro alla velocità imposta dal riscaldamento climatico (Lu et al., 2021). Non è detto quindi che tutte le specie siano in grado di seguire abbastanza velocemente il rapido ritiro verso nord e in altitudine delle isoterme, alcune avranno tempi di reazione troppo lenti (Boisvert-Marsh et al. 2020).

Cosa potrebbe accadere nel nostro Appennino? La capacità del limite superiore del bosco di risalire è

condizionata da molteplici fattori ambientali quali la durata dell'inverno e del manto nevoso, l'umidità del suolo, le temperature, l'evaporazione, ecc. che variano moltissimo secondo il regime climatico dominante e, localmente, in funzione della quota, dell'esposizione, della disposizione degli strati geologici, delle caratteristiche pedologiche e moltissimo dei fattori antropici. Di conseguenza, i limiti della foresta non avranno un fronte continuo e omogeneo, ma saranno compositi dove si alterneranno micro-siti più o meno favorevoli all'insediamento degli alberi (Holtmeier e Broll 2005).

In molte aree montane del Mediterraneo, con alte montagne prossime al mare, Beloiu et al. (2022) non hanno registrato per ora variazioni significative nella quota del limite superiore del bosco, nonostante l'aumento della temperatura e la ridu-

zione di precipitazioni; questo fenomeno sembra compensato abbastanza bene dall'esposizione topografica, dalla distanza dal mare e dai venti dominanti. Pertanto il ritardo temporale nella risposta del limite superiore del bosco al riscaldamento globale potrebbe essere spiegato da una combinazione di fattori topografici e microclimatici. La distanza dal mare può essere un fattore di sopravvivenza importante perché connessa con il verificarsi di precipitazioni occulte capaci di compensare le ridotte precipitazioni meteoriche.

Per gli Appennini, come per la maggior parte delle montagne mediterranee, non è facile stabilire dei modelli che descrivano e seguano l'evolversi del limite del bosco, essendo questo molto influenzato dall'effetto antropico, per cui si possono solo ipotizzare modelli potenziali (Pezzi et al. 2007 - Vitali

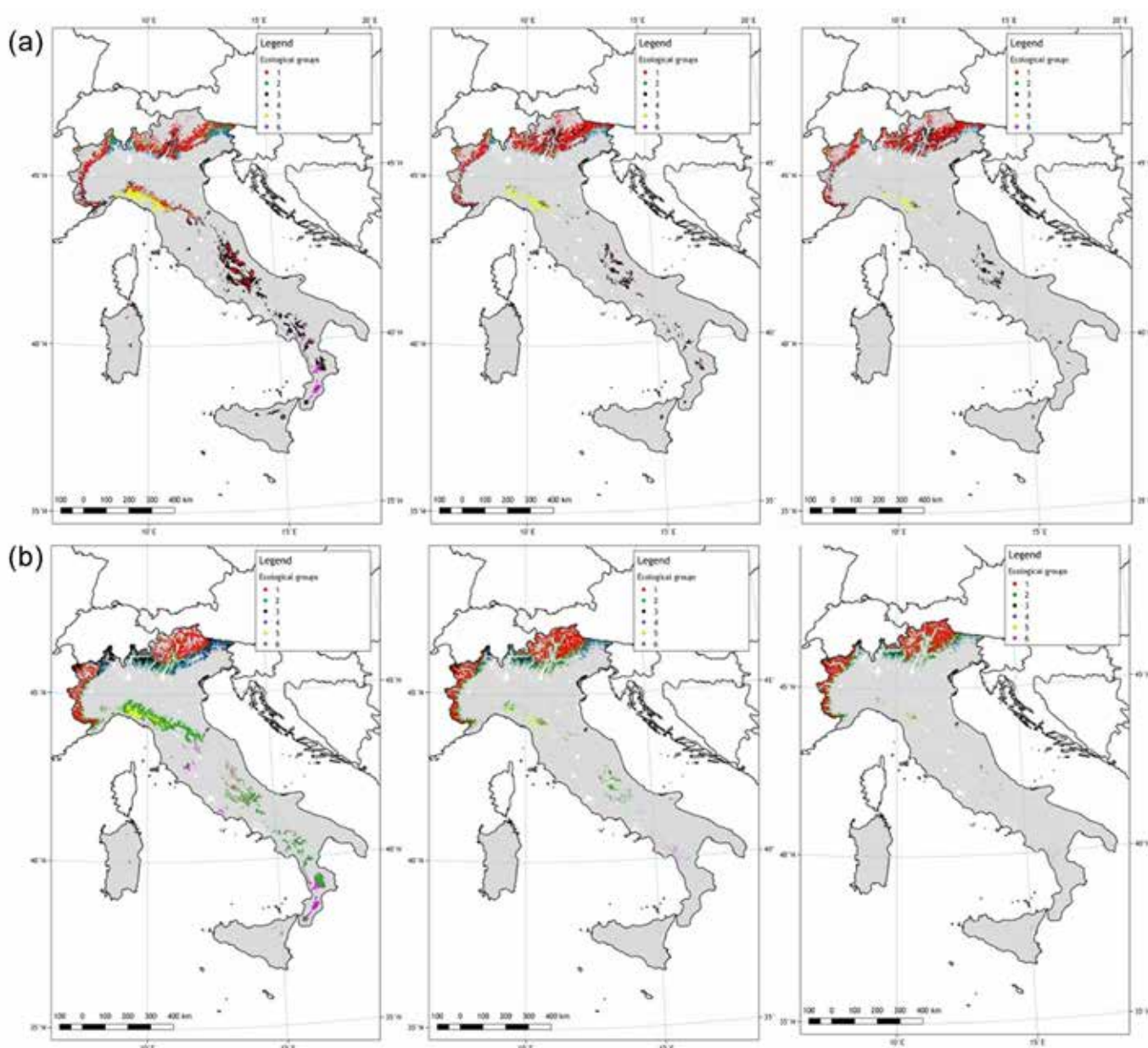


Figura 25 - Ipotesi sulla possibile contrazione degli areali di distribuzione del faggio (a) e dell'abete bianco (b) in Italia in relazione allo spostamento altimetrico e latitudinale delle isoterme secondo scenari ipotizzati con due livelli di incremento della temperatura media annua (da Marchi e Ducci 2018)

et al. 2018). Prendendo a riferimento il faggio anche per le nostre montagne Gallucci et al. (2010) hanno evidenziato come nel breve periodo non sia possibile rilevare una risposta delle popolazioni con uno spostamento altitudinale in relazione al riscaldamento climatico, mentre si evidenziano segni di sofferenza in condizioni climatiche con progressivo inaridimento. Nell'area Prado-Cusna il limite altitudinale del bosco è localizzato tra i 1538 e i 1804 m e nella loro approssimazione i dati mostrano una prevalente stabilità del limite altitudinale del bosco (Pezzi et al. 2007).

Conclusioni

Quanto è stato evidenziato mostra la grande complessità delle interazioni che le diverse specie hanno sviluppato nel corso di ere e che adesso devono confrontarsi con un ambiente in rapido evolversi come quello mediterraneo.

Dobbiamo essere consapevoli che quelli che noi chiamiamo correntemente rifugi glaciali, sono in realtà oggi dei rifugi interglaciali, ovvero luoghi in cui le specie arboree di clima temperato-fresco e quelle più microterme hanno trovato rifugio dopo che, terminata l'ultima grande glaciazione, hanno dovuto migrare adattandosi per quanto possibile per trovare condizioni locali compatibili con le proprie caratteristiche biologiche.

Come abbiamo visto, le comunità forestali delle Alpi Apuane e dell'Appennino tosco-emiliano hanno fatto parte e sono parte di un sistema complesso molto più ampio, che è stato ponte importante per le migrazioni glaciali e post-glaciali di interi ecosistemi. Oggi sono importanti tessere del mosaico della diversità naturale che con il loro corredo di alberi, arbusti ed erbe, hanno trovato rifugio alle quote più elevate e sono purtroppo sotto la minaccia dell'eccessivamente rapida ed intensa risalita in quota delle fasce climatiche. Troppo rapida perché le specie possano con le loro dinamiche reagire adattandosi o migrando.

Fortunatamente il mondo scientifico sta percorrendo molte strade per comprendere i fenomeni in atto e cercare soluzioni per salvaguardare queste popolazioni di valore. Una di queste è senz'altro quella, ormai praticata da tempo, di percorrere a ritroso la storia delle specie e dei climi attraverso studi di dendrocronologia sugli anelli degli alberi. Questi studi permettono di capire le dinamiche climatiche e delle specie arboree del passato. L'altra è quella di organizzare un monitoraggio delle popolazioni forestali, condiviso e organizzato su grandi scale per cogliere le variazioni temporali degli effetti del cambiamento del clima. Vari esempi se ne possono trovare in Europa e in altri continenti, pur-troppo però il lasso di tempo preso in esame è ancora troppo breve e le reazioni registrate per molte specie non sono ancora ben chiare.

Inoltre non sono ancora sempre ben chiare le idee e i metodi per gestire in situ le popolazioni e per sostenere azioni più pragmatiche come il trasferimento di quelle di maggior valore e più a rischio.

Occorre anche tener conto del fatto che i metodi nel nostro settore non sono mai generalizzabili: ogni ecosistema, ogni bosco è una cosa a sé con caratteristiche proprie, che richiedono adattamenti, metodi e tecniche modulati secondo le esigenze locali e la struttura genetica della popolazione. Si può quindi comprendere quanto sia complesso trovare delle soluzioni per conservare queste importanti risorse biologiche.

Mentre la scienza progredisce rapidamente in questo settore, cosa si può fare da parte nostra? Sicuramente migliorare e approfondire la formazione di tecnici e di coloro che devono prendere decisioni è importantissimo; devono essere infatti prese decisioni rapide, su base scientifica e soprattutto consapevoli delle conseguenze che possono verificarsi in ecosistemi che non hanno i tempi di noi umani ma quelli della natura.

Dall'altro lato anche l'educazione del pubblico e la sua partecipazione e il sostegno a quanto viene fatto possono essere altrettanto fondamentali. In questo il Club Alpino Italiano, con la sua estesa platea, può realmente svolgere un'azione significativa dal punto di vista pedagogico e formativo supportando la diffusione di una visione corretta delle azioni che devono essere intraprese, intensificando gli scambi con il mondo scientifico e correggendo le distorsioni che talvolta un ambientalismo sentimentale può portare nella visione del mondo naturale.

Nello stesso tempo è importante far conoscere queste popolazioni e la loro importanza per il futuro, in maniera che l'opinione pubblica sia sempre più consapevole dell'importanza che questi relitti hanno avuto e potranno avere: non è un caso, infatti, che molti paesi settentrionali chiedano ai nostri servizi di procurare seme da molte di queste popolazioni da provare a latitudini più alte per i loro programmi di mitigazione.

Bibliografia

- ADAMSON K.R., HUGHES P.D., WOODWARD J.C., 2013. *Pleistocene glaciation of the Mediterranean mountains*. Quaternary Newsletter Vol. 131 October 2013: 3
- BARONI C., GUIDOBALDI G., SALVATORE M.C., CHRISTL M., IVY-OCHS S., 2018. *Last glacial maximum glaciers in the Northern Apennines reflect primarily the influence of southerly storm-tracks in the western Mediterranean*. Quaternary Science Reviews, 197: 352 - 367
- BEDINI, G., ANSALDI, M., GARBARI, F., 2007. *Mapping and demography of endangered plants in the Apuan Alps, NW Tuscany, Italy – Boccone 21: 27-44*. ISSN 1120-4060
- BELLETTI P., FERRAZZINI D., PIOTTI A., MONTELEONE I., DUCCI F., 2012. *Genetic variation and divergence in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) within its natural range in Italy*. Eur. J. Forest Res. (2012) 131: 1127–1138. (DOI 10.1007/s10342-011-0584-3
- BELLETTI P., FERRAZZINI D., DUCCI F., DE ROGATIS A., MUCCIARELLI M., 2017. *Genetic diversity of Italian populations of *Abies alba**. Dendrobiology 77:147-159. DOI: 10.12657/denbio.077.012
- BELOIU M., POURSANIDIS D., TSAKIRAKIS A., CHRYSOULAKIS N., HOFFMANN S., LYMBERAKIS P., BARNIAS A., KIENTLE D., BEIERKUHNLEIN C., 2022. *No treeline shift despite climate change over the last 70 years*. Forest Ecosystems, Volume 9,100002, ISSN 2197-5620, <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2022.100002>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2197562022000021>)
- BENATTI A., BAL M., ALLÉE P., BOSI G., MERCURI A.M., 2019. *Plant landscape reconstruction above the current timberline at the Monte Cimone and Corno alle Scale Mountain areas (Northern Apennines, Italy) during the Late Holocene: The evidence from soil charcoal*. The Holocene: 1–15. DOI: 10.1177/0959683619862033.
- BOISVERT-MARSH L., PEDLAR J. H., DE BLOIS S., LE SQUIN A., LAWRENCE K., MCKENNEY D. W., WILLIAMS C., & AUBIN I., 2022. *Migration-based simulations for Canadian trees show limited tracking of suitable climate under climate change*. Diversity and Distributions, 00, 1–19. <https://doi.org/10.1111/ddi.13630>
- BIRKS H.J.B., WILLIS K.J., 2008. *Alpine trees, and refugia in Europe*, Plant Ecology & Diversity, 1:2, 147-160, DOI: 10.1080/17550870802349146 To link to this article: <https://doi.org/10.1080/17550870802349146>
- BONANOMI G., ZOTTI M., MOGAVERO V., CESARANO G., SAULINO L., RITA A., TESEI G., ALLEGREZZA M., SARACINO A., ALLEVATO E., 2020. *Climatic and anthropogenic factors explain the variability of *Fagus sylvatica* treeline elevation in fifteen mountain groups across the Apennines Forest Ecosystems*, 7: 5 <https://doi.org/10.1186/s40663-020-0217-8>
- CAUDULLO G., WELK E., SAN-MIGUEL-AYANZ J., 2017. *Chorological maps for the main European woody species*. Data in Brief 12, 662-666. DOI: 10.1016/j.dib.2017.05.007 . Da-ta: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5110768>
- CAUDULLO G., WELKE E., SAN-MIGUEL-AYANZ J., 2017. *Chorological maps for the main European woody species*. Data in Brief 12, 662-666. DOI: 10.1016/j.dib.2017.05.007, Da-ta: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5101144>
- CHANNELL R., 2005. *The conservation value of peripheral populations: the supporting science*. Proc. Species at Risk 2004, Pathways to Recovery Conference. 6 March 2–6, 2004, Victoria, B.C.: 1- 17. (<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.608.6225&rep=rep1&type=pdf>)
- DE DATO G.D., TEANI A., MATTIONI C., ARAVANOPOULOS F., AVRAMIDOU E.V., STOJNIC S., GANOPOULOS I., BELLETTI P., DUCCI F., 2020. *Genetic Analysis by nuSR Markers of Silver Birch (*Betula pendula* Roth) Populations in Their Southern European Distribution Range*. Front. Plant Sci. 11:310.
- DUCCI F., DONNELLY K., 2018. *Forest tree Marginal Populations in Europe - Report on the state of knowledge on forest tree marginal and peripheral populations in Europe*. Annals of Silvicultural Research - 41 (3), 2017: 1 – 12. <http://dx.doi.org/10.12899/asr-1586>
- FADY B., ARAVANOPOULOS F.A., ALIZOTI P., MÁTYÁS C., VON WÜHLISCH G., WESTERGREN M., BELLETTI P., CVJETKOVIC B., DUCCI F., HUBER G., KELLEHER C. T., KHALDI A., DAGHER KHARRAT M. B., KRAIGHER H., KRAMER K., MÜHLETHALER U., PERIC S., PERRY A., ROUSI M., SBAY H., STOJNIC S., TIJARDOVIC M., TSVETKOV I., VARELA M. C., VENDRAMIN G. G., ZLATANOV T., 2016. *Evolutionbased approach needed for the conservation and silviculture of peripheral forest tree populations*. Forest Ecology and Management 375: 66–75
- FADY B., BOI G., DUCOUSSO A., BERTHOLD H., ELIADES N.-G., SBAY H., BALLIAN D., GÖMÖRY D., KELLEHER C., LADIER J., DANUSEVICIUS D., DUCCI F., BOU DAGHER KHARRAT M., MARKIEWICZ P., MALVOLI M.E., DAVID-SCHWARTZ R., WESTERGREN M., VENDRAMIN G.G., MYKING T.,...FIORELLA V., 2021. *A dataset of 577 marginal and peripheral forest tree populations in Europe [Data set]*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4767651>
- FERRARINI E., 1970. *Considerazioni sull'origine della Flora e sull'oscillazione dei piani di vegetazione delle Alpi Apuane*. Biogeographia - The Journal of Integrative Biogeography: 68 - 87. DOI: 10.21426/B61110512
- FEURDEAN A., BHAGWAT S.A., WILLIS K. J., BIRKS H.J.B., LISCHKE H., ET AL., 2013. *Tree Migration-Rates: Narrowing the Gap between Inferred Post-Glacial Rates and Projected Rates*. PLoS ONE 8(8): e71797. doi:10.1371/journal.pone.0071797
- GALLUCCI V., ALLEGREZZA M., URBINATI C., 2010. *Dinamismi spazio-temporali e sensibilità climatica. Uno studio su fagete del limite superiore nell'Appennino centrale*. Sherwood Foreste e Alberi Oggi. 164. 11-15
- GAUTNEY J.R., TRENTON W., 2015. *A New Estimations of Habitable Land Area and Human Population Size at the Last Glacial Maximum*. Article in Journal of Archaeological Science ·DOI: 10.1016/j.jas.2015.03.028
- GENTILI R., BACCHETTA G., FENU G., COGONI D., ABELI T., ROSSI G., SALVATORE M.C., BARONI C., CITTERIO S., 2015. *From cold to warm stage refugia for boreo-alpine plants in southern European and Mediterranean mountains: the last chance to survive or an opportunity for speciation?* Biodiversity, 16:4, 247-261, DOI: 10.1080/14888386.2015.1116407

- GEROSA G., FINCO A., OLIVERI S., MARZUOLI R., DUCOLI A., SANGALLI G., COMINI B., PAOLO NASTASIO P., COCCA G., GAGLIAZZI E., 2013. *Case Study: Valle Camonica and the Adamello Park*. In: Cerbu G. A., Hanewinkel M., Gerosa G., Jandl R., editors. *Management Strategies to Adapt Alpine Space Forests to Climate Change Risks* [Internet]. London: IntechOpen; 2013 [cited 2022 Sep 03]. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/45229> doi: 10.5772/56285
- HAMPE A., PETIT R.J., 2005. *Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters*. *Ecology Letters* 8, 461–467
- HANSSON A., DARGUSCH P., SHULMEISTER J., 2021. *A review of modern treeline migration, the factors controlling it and the implications for carbon storage*. *J. Mt. Sci.* 18, 291–306
- HOLTMEIER F.K., BROLL G., 2005. *Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar tree-lines to environmental change at landscape and local scales*. *Global Ecol. Biogeogr.*, 14: 395–410 . DOI: 10.1111/j.1466-822x.2005.00168.x
- HUGHES P.D., WOODWARD J.C., GIBBARD P.L., 2006. *Quaternary glacial history of the Mediterranean mountains*. *Progress in Physical Geography* 30, 3: 334–364
- HUNTLEY B., BIRKS H.J.B., 1983. *An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0–13000 years ago*. Cambridge: University Press, 1983
- INFC 2005 – *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/dati_introa.jsp?menu=3
- ISAAK, DANIEL J.; RIEMAN, BRUCE E., 2013. *Stream isotherm shifts from climate change and implications for distributions of ectothermic organisms*. *Global Change Biology*. 19: 742–751
- JAUNSPROGE M., 2013. *Cross-Media 3D Cartography of 'Europe at the Last Ice Age' Based on Initial Data Compilations*. Master Thesis submitted for the academic degree of Master of Science (M.Sc.) at the Technische Universitat Dresden, Faculty of Environmental Sciences, Institute for Cartography, September 29, 2013: 70 p
- JUMP A.S., HUNT J.M., PEÑUELAS J., 2006. *Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of Fagus sylvatica*. *Global Change Biology* 12, 2163–2174
- KATHRYN R. ADAMSON K.R., PHILIP D. HUGHES P.D., JAMIE C. WOODWARD J.C. 2013. *Pleistocene glaciation of the Mediterranean mountains*. *Quaternary Newsletter* Vol. 131 October 2013: 3
- LEONARDI S., MENOZZI P., 1995. *Genetic variability of Fagus sylvatica L. in Italy: The role of postglacial recolonization*. *Heredity*, 75 (1): 35–44. doi: 10.1038/hdy.1995.101
- LESICA P., ALLENDORF F.W., 1995. *When Are Peripheral Populations Valuable for Conservation?* *Conservation Biology*, 9: 753–760. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1995.09040753.x>
- LINDNER M., FITZGERALD J.B., ZIMMERMANN N.E., REYER C., DELZON S., VAN DER MAATEN E., SCHELHAS MJ, LASCH P, EGGERS J, VAN DER MAATEN-THEUNISSEN M., SUCKOW F., PSOMAS A., BENJAMIN P., HANNEWINKEL M., 2014. *Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management?* *Journal of Environmental Management*: 69–83
- LU X., LIANG E., WANG Y., BABST F., CAMARERO J.J., 2021. *Mountain treelines climb slowly despite rapid climate warming*. *Global Ecol. Biogeogr.* 30, 305–315
- MAGRI D., VENDRAMIN G.G., COMPS B., DUPANLOUP I., GEBUREK T., GÖMÖRY D., LATA LOWA M., LITT T., PAULE L., ROURE J.M., MANTAU J., VAN DER KNAAP O., PETIT R.J., DE BEAULIEU J.-L., 2006. *A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences*. *New Phytologist*, February 2006, doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01740.x
- MARCHESE C., 2015. *Biodiversity hotspots: A shortcut for a more complicated concept*. *Global Ecology and Conservation*, Volume 3: 297–309. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.12.008>
- MARCHI M., DUCCI F., 2018. *Some refinements on species distribution models using tree-level National Forest Inventories for supporting forest management and marginal forest population detection*. *iForest*, 11: 291–299. doi: 10.3832/ifor2441-011
- MÁTYÁS, C. 2007. *What do field trials tell about the future use of forest reproductive material?* In: Ko-skela, J., Buck, A. and Teissier du Cros, E., editors. *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Bioversity International, Rome, Italy. pp. 53–69
- MYERS N., MITTERMEIER R.A., MITTERMEIER C.G., DA FONSECA G.A.B., JENNIFER KENT B.J., 2000. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. *Nature*, Vol. 403, 24: 853 – 85, www.nature.com
- PEZZI G., BITELLI G., FERRARI C., GIRELLI V.A., GUSELLA L., MASI S., MOGNOL A., 2007. *Pattern temporale del limite altitudinale dei boschi di faggio nell'Appennino settentrionale. Un'analisi di dati fotogrammetrici*. *Forest@ 4* (1): 79–87. [online] URL: <http://www.sisef.it/>
- PICARD N., MARCHI M., SERRA-VARELA M.J., MARJANA WESTERGREN M., CAVERS S., NOTIVOL E., PIOTTI A., ALIZOTI P., BOZZANO M., C. GONZALEZ-MARTÍNEZ S.C., GRIVET D., ARAVANOPoulos F.A., VENDRAMIN G.G., DUCCI F., FADY B., ALÍA R., 2022. *Marginality indices for biodiversity conservation in forest trees*. *Ecological Indicators*. Volume 143, October 2022, 109367 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109367>
- PINNA M., 1977. *Climatologia*. UTET, Torino, Italia: 442 p
- PIOTTI A., LEONARDUZZI C., POSTOLACHE D, BAGNOLI F., SPANU I., BROUSSEAU L., URBINATI C., LEONARDI S., VENDRAMIN G.G., 2017. *Unexpected scenarios from Mediterranean refugial areas: Disentangling complex demographic dynamics along the Apennine distribution of silver fir*. *Journal of Biogeography* 44: 1547–1558. DOI: 10.1111/jbi.13011
- PLINI P., TONDI G., 1989. *La distribuzione appenninica della betulla bianca*, *Natura e Montagna*, 36, 3-4: 21–28

- POSTOLACHE D., ODDOU-MURATORIO S., VAJANA E., BAGNOLI F., GUICHOUX E., HAMPE A., LE PROVOST G., LESUR I., POPESCU F., SCOTTI I., PIOTTI A., VENDRAMIN G.G., 2021. *Genetic signatures of divergent selection in European beech (Fagus sylvatica L.) are associated with the variation in temperature and precipitation across its distribution range*. *Molecular Ecology*, 30, 5029– 5047. <https://doi.org/10.1111/mec.16115>
- RAPETTI F., VITTORINI S., 2011. *Carta climatica della Toscana centro-settentrionale & Carta climatica della Toscana centro-meridionale e insulare*, CNR https://it.wikipedia.org/wiki/Clima_della_Toscana#/media/File:Toscana_Thorntwaite.png – Trentennio 1961 – 1990.
- RAVAZZI C., 2002. *Late Quaternary history of spruce in southern Europe*. *Review of Palaeobotany and Palynology* 120: 131-177
- VAKKARI P., 2009. *EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use of Silver Birch (Betula pendula)*. Rome: Bioversity International, 6. Available online at: <http://www.euforgen.org/publications/publication/betula-pendulatechnical-guidelines-for-genetic-conservation-and-use-for-silver-birch/>.
- VITALI A., URBINATI C., WEISBERG P. J., URZA A.K., GARBARINO M., 2018. *Effects of natural and anthropogenic drivers on land-cover change and treeline dynamics in the Apennines (Italy)*. doi: 10.1111/jvs.12598.[<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jvs.12598>]