UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO TESAF

Corso di Laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali

Tesi di Laurea

SCENARI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO E FUTURO DELLE FORESTE IN PROVINCIA DI BELLUNO

Relatore:

Prof. Augusto Zanella

Antonio Cordella
Matr: 2105003

Anno accademico 2024/2025

Riassunto

La presente tesi si propone di esplorare le potenziali traiettorie evolutive delle foreste nella provincia di Belluno di fronte al cambiamento climatico, con un orizzonte temporale fino al 2100. L'obiettivo centrale è la costruzione di scenari climatici futuri per quattro fasce altitudinali, il piano basale costituito dal fondo valle della Valbelluna, il piano sub-montano dai 400 agli 800 m s.l.m., il piano montano inferiore nell'intervallo dagli 800 ai 1200 m s.l.m. e il piano montano superiore fra i 1200 e i 1400 m s.l.m., al fine di formulare ipotesi sulla futura composizione forestale.

La metodologia si basa sull'utilizzo delle proiezioni climatiche della piattaforma Clima Nord-Est sviluppata da ARPAV-ARPAFV, applicando diversi scenari di emissione (RCP) per delineare le possibili condizioni di temperatura e precipitazioni future. Questi dati climatici sono stati interpretati attraverso il sistema delle fasce fitoclimatiche di Pavari, utilizzate come riferimento per definire l'areale potenziale della vegetazione in un clima mutato.

I risultati non si limitano a descrivere una semplice traslazione delle fasce fitoclimatiche verso quote maggiori. Vengono formulate ipotesi sul destino di foreste che si troveranno a crescere in condizioni climatiche non più ottimali, creando una situazione di sfasamento fra clima e vegetazione. L'aumento della vulnerabilità a stress biotici e abiotici (es. siccità, patogeni, eventi estremi), già presenti attualmente avranno un ruolo importante nell'evoluzione a venire.

In conclusione, questo studio non fornisce risposte definitive, ma piuttosto un quadro ipotetico e una serie di riflessioni sulle dinamiche che andranno a crearsi.

Abstract

This thesis aims to explore the potential evolutionary trajectories of forests in the province of Belluno under climate change, with a time horizon extending to 2100. The main objective is to construct future climate scenarios for four altitudinal belts: the basal level corresponding to the Valbelluna valley floor, the sub-montane level (400-800 m a.s.l.), the lower montane level (800–1200 m a.s.l.), and the upper montane level (1200–1400 m a.s.l.), in order to develop hypotheses on future forest composition.

The methodology relies on climate projections from the *Clima Nord-Est* platform developed by ARPAV–ARPAFV, applying different Representative Concentration Pathways (RCPs) to outline possible future temperature and precipitation conditions. These climatic data were interpreted using Pavari's phytoclimatic classification system as a reference to define the potential vegetation distribution under changed climate conditions.

The results go beyond a simple upward shift of phytoclimatic zones. Hypotheses are proposed regarding forests that will grow under increasingly suboptimal climatic conditions, leading to a mismatch between vegetation and climate. The rising vulnerability to biotic and abiotic stresses (e.g. drought, pathogens, extreme events), already observable today, will play a significant role in future forest dynamics.

In conclusion, this study does not offer definitive answers but rather an exploratory framework and a set of reflections on the dynamics that are likely to unfold in the coming decades.

Sommario

1. Introduzione 1
   1.1 Foreste e cambiamenti climatici 1
2. La provincia di Belluno e il suo territorio 2
   2.1 Morfologia e idrologia 2
   2.2 Il clima 4
   2.3 La vegetazione forestale 6
3. Le Fasce Fitoclimatiche Pavari 11
4. Materiali e metodi 17
   4.1 Piattaforma Clima Nord-Est ARPAV-ARPAFV 17
   4.2 Selezione dei dati climatici 20
5. Risultati 21
   5.1 Piano Basale 200-400 m 22
      5.1.1 Scenario di Forte Mitigazione (RCP 2.6) 22
      5.1.2 Scenario di Media Mitigazione (RCP 4.5) 23
      5.1.3 Scenario Senza Mitigazione (RCP 8.5) 23
   5.2 Piano sub-montano 400-800 m 24
      5.2.1 Scenario con Forte Mitigazione (RCP 2.6) 24
      5.2.2 Scenario Intermedio (RCP 4.5) 25
      5.2.3 Scenario Senza Mitigazione (RCP 8.5) 25
   5.3 Piano montano inferiore 800-1200m 26
      5.3.1 Scenario di Forte Mitigazione (RCP 2.6) 26
      5.3.2 Scenario di Media Mitigazione (RCP 4.5) 27
      5.3.3 Scenario Senza Mitigazione (RCP 8.5) 27
   5.4 Piano montano superiore 1200-1400 28
      5.4.1 Scenario di Forte Mitigazione (RCP 2.6) 28
      5.4.2 Scenario di Media Mitigazione (RCP 4.5) 29
      5.4.3 Scenario Senza Mitigazione (RCP 8.5) 29
   5.5 Assegnazione delle fasce Fitoclimatiche 30
      5.5.1 Piano Basale 30

5.5.2 Piano Sub-Montano 31
5.5.3 Piano Montano Inferiore 31
5.5.4 Piano Montano Superiore 32
5.6 Le foreste potenziali degli scenari futuri 34
5.6.1 Piano basale 34
5.6.2 Piano sub-montano 35
5.6.3 Piano montano inferiore 36
5.6.4 Piano montano superiore 36
6. Discussione 40
7. Bibliografia e sitografia 43

1. Introduzione

1.1 Foreste e cambiamenti climatici

Il cambiamento climatico rappresenta una delle sfide più importanti del XXI secolo, consolidandosi come tema centrale sia per la comunità scientifica globale che per le istituzioni politiche. L'enorme mole di evidenze scientifiche a supporto è inequivocabile: il Sesto Rapporto di Valutazione (AR6) dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) attesta un aumento della temperatura media globale di 1,09 °C rispetto all'era pre-industriale (1850-1900), e di 1,59°C considerando solo la terraferma. Secondo il WMO (Organizzazione Meteorologica Mondiale), il 2024 è stato l'anno più caldo mai registrato, con le temperature medie globali superiori di circa 1,55 °C (± 0,13 °C) rispetto al periodo 1850–1900. Analogamente, il Servizio Copernicus (C3S) ha stimato che nel 2024 la temperatura globale media è stata 1,60°C superiore all'era preindustriale. La scienza è unanime nell'attribuire tale riscaldamento, in modo preponderante, alle attività umane e alle conseguenti emissioni di gas serra, in particolare anidride carbonica (CO2) e metano (CH4).

Le foreste coprono il 31% delle terre emerse e sono vitali nel mantenimento dell'equilibrio del pianeta (FAO-FRA 2020). Per la loro capacità di immagazzinare carbonio attraverso la fotosintesi, immagazzinandolo nella biomassa e nel suolo sono considerate tra le più importanti "soluzioni climatiche naturali" per ridurre la CO2 atmosferica e mitigare il riscaldamento globale.

Nonostante il loro ruolo mitigatore, le foreste sono fortemente minacciate dal rapido ritmo del cambiamento climatico. L'aumento delle temperature e la crescente frequenza di eventi estremi, come siccità prolungate, incendi, tempeste e focolai di insetti patogeni, possono innescare una mortalità diffusa, compromettendo ampie aree forestali.

2. La provincia di Belluno e il suo territorio

2.1 Morfologia e idrologia

La Provincia di Belluno si trova nell'angolo nord-orientale della Regione Veneto. È un territorio quasi interamente montuoso e prealpino a bassa densità di popolazione.

Come si può vedere in figura 1 i suoi confini toccano stati, regioni e province diverse. A nord l'Austria, a ovest il Trentino-Alto Adige (Trento e Bolzano), a est il Friuli Venezia Giulia e a sud le province venete di Vicenza e Treviso, facendo da ponte fra l'ambiente alpino e la pianura veneta.

Figura 1: Posizione geografica della provincia di Belluno (Wikimedia.org-18/10/2025)

La forma del territorio bellunese è fortemente segnata dalle Alpi, che ne caratterizzano la sua identità. La parte settentrionale è definita dalle Dolomiti, un gruppo montuoso facente parte del Patrimonio Mondiale UNESCO. Queste montagne sono costituite principalmente di roccia calcarea e dolomia, che ne conferisce l'aspetto unico conosciuto in tutto il mondo. Tra le vette più alte, che superano i 3000 metri di altitudine, si ricordano il Monte Civetta (3040m), il monte Pelmo (3168m), il monte

Antelao (3142m), il monte Cristallo (3008m), le Tofane (3238m) la Marmolada (3343m).
Spostandosi verso sud, il paesaggio cambia. Troviamo la Val Belluna ed il feltrino, le aree più popolate della provincia. Anche qui sono presenti rilievi importanti che circondano e caratterizzano il paesaggio dell'area, le Prealpi Bellunesi. Queste montagne raggiungono quote minori rispetto alle Dolomiti, ma comunque significative, e fungono da barriera verso la pianura. Da est verso ovest troviamo il Col Nudo (2472m), l'altopiano del Cansiglio e il Piancavallo, il monte Pizzoc (1565m), il Col Visentin (1768m), il monte Cesen (1570m) ed infine il monte Grappa (1775m). Questa complessa struttura di rilievi rende ogni parte del territorio diversa dall'altra.
Il sistema idrico della provincia trova la sua maggiore identità attorno al Fiume Piave.
Il Piave nasce in Comelico, vicino al monte Peralba, e attraversa tutta la provincia. È l'elemento vitale e storico del Bellunese, importante sia per il passato (trasporto di legname) che per il presente (produzione di energia idroelettrica). Per questo motivo, lungo il suo corso si trovano diverse dighe e laghi artificiali, come il Lago di Pieve di Cadore.
Il fiume riceve l'acqua da numerosi affluenti, come il Cordevole in Agordino e il Boite, in Cadore. Questi fiumi minori hanno un forte dislivello, tipico dell'ambiente montano. Oltre alla rete fluviale, c'è il grande Lago di Santa Croce nell'Alpago, uno dei laghi naturali più grandi del Veneto. A causa delle forti piogge e della pendenza, tutta questa zona è molto sensibile al rischio di frane e alluvioni.

2.2 Il clima

Riassumiamo qui di seguito i caratteri generali del clima come presentati dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto [1].

In generale il Veneto è influenzato da masse d'aria provenienti da diverse regioni sorgente ognuna con specifiche peculiarità. Tra le principali si ricorda il Mar Mediterraneo, fonte di aria umida e mite, l'oceano Atlantico che produce perturbazioni tra l'autunno e la primavera oltre che fenomeni temporaleschi in estate, l'area continentale Euroasiatica sorgente di aria secca e molto fredda. Influenza arrivano anche dalla zona oltre il Circolo Polare Artico, e dalla fascia intertropicale con aria che si umidifica transitando sul mediterraneo.

La provincia di Belluno è caratterizzata dalla distanza dal mare e dalla presenza di importanti rilievi alpini. In questa area è possibile distinguere due mesoclimi, quello prealpino e quello alpino, ognuno con peculiarità termiche e pluviometriche differenti.

Nel mesoclima prealpino è l'elevata piovosità a contraddistinguerlo.

L'abbondanza delle precipitazioni è notevole, con valori medi annui che oscillano tra i 1200 e i 1500 mm, e massimi che possono toccare i 2000 mm circa. Il regime pluviometrico presenta i massimi in primavera e soprattutto in autunno.

Particolarmente intensi sono quelli autunnali, quando i forti flussi perturbati meridionali incontrano la barriera prealpina.

L'inverno è la stagione mediamente più secca, caratterizzata anche da una certa serenità del cielo rispetto alla pianura padana.

Differentemente, d'estate, la vicinanza ai rilievi crea fenomeni convettivi che si traducono in una maggiore nuvolosità e precipitazioni soprattutto nelle ore pomeridiane.

Le temperature medie annue nel mesoclima prealpino si attestano su valori di poco inferiori a quelli della pianura, intorno ai 12 °C circa. Tuttavia, la continentalità è più rilevante.

Un fattore determinante nella variabilità termica è l'effetto dei rilievi, che influenzano le temperature in base all'altitudine, la giacitura, con il fenomeno dell'inversione termica e l'esposizione dove i versanti esposti a sud sono termicamente più caldi rispetto a quelli esposti a nord. Analogamente i pendii esposti a ovest sono favoriti rispetto a quelli esposti a est.

Il Mesoclima Alpino interessa la parte centro-settentrionale delle Dolomiti.

Rispetto alla fascia prealpina, le precipitazioni sono ancora elevate ma tendenzialmente inferiori e si presentano distribuite con maggiore uniformità nell'arco dell'anno. I massimi stagionali si registrano solitamente in tarda primavera, inizio estate e autunno.

Anche in quest'area l'inverno è la stagione mediamente meno piovosa. Durante i mesi freddi, le precipitazioni assumono frequentemente carattere nevoso, anche fino al fondovalle. L'estate, in modo simile alle zone prealpine, è caratterizzata dalla convezione diurna favorita dai rilievi, con conseguenti annuvolamenti e rovesci locali, specialmente nelle ore pomeridiane.

Le temperature rappresentano la differenza più netta con la fascia prealpina, registrando valori inferiori, con medie annue intorno ai 7-8 °C. I valori medi mensili scendono stabilmente sotto lo zero durante i mesi invernali.

2.3 La vegetazione forestale

La vegetazione forestale del Bellunese si presenta con una notevole varietà di tipologie, che riflettono la diversità altitudinale, pedologica e microclimatica del territorio [2]. Le formazioni vegetali sono spesso influenzate dalle condizioni locali e dall'impatto antropico storico. In questo capitolo descriverò la vegetazione presente nelle zone considerate dallo studio affrontato in questa tesi, ovvero lungo il corso del fiume Piave e lungo i torrenti Maè, Cordevole e Boite fino ai 1400 m di altitudine.

Orno-Ostriei e Querceti

Le formazioni di Orno-Ostrieto con Tiglio sono un esempio di vegetazione relitto. Si riscontrano tra i 400 e 800 metri di altitudine, prevalentemente nelle esposizioni a sud, su suoli ricchi di scheletro e terra fine in alcune vallate del Bellunese.

- Specie principali: Fraxinus ornus, Ostrya carpinifolia, Tilia cordata.
- Altre specie: Quercus pubescens, Sorbus torminalis, Tilia platyphyllos, Acer pseudoplatanus, Fraxinus excelsior, Ulmus glabra, Ulmus minor.

Queste formazioni possono evolvere verso l'Acero-Tiglieto con Carpino nero in assenza di ceduazione e in condizioni di minore aridità.

Nel basso Bellunese è presente l'Ostrio-Querceto, sebbene le formazioni risultino spesso impoverite a causa dell'introduzione della vite e della robinia.

- Specie principali: Quercus pubescens, Ostrya carpinifolia, Fraxinus ornus.
- Altre specie: Carpinus betulus, Castanea sativa, Ulmus minor, Sorbus torminalis.

Si segnala inoltre l'Ostrieto di forra nelle valli laterali del Cordevole e del Mis. Questa vegetazione risale lungo le forre, insediandosi nella fascia potenziale della faggeta submontana ed associandosi spesso a Abete rosso (Picea abies), Sorbo degli uccellatori (Sorbus aucuparia) e Frassino maggiore (Fraxinus escelsior).

Carpineti e Boschi Misti

Il Carpineto tipico a prevalenza di Carpino bianco (Carpinus betulus) è localizzato in alcune aree della Valbelluna, spesso inframezzato a colture agrarie.

- Specie accessorie: Acer campestre, Prunus avium, Acer pseudoplatanus, Fraxinus ornus, Quercus petraea, Tilia cordata, Quercus pubescens.

Aceri-Frassineti

L'Aceri-Frassineto con Carpino nero è una formazione ampiamente diffusa tra i 500 e 1000 metri di quota. Queste formazioni sono considerate relativamente stabili grazie all'elevata capacità competitiva delle specie che le compongono.

- Specie principali: Acer pseudoplatanus, Fraxinus excelsior, Ostrya carpinifolia.
- Altre specie: Tilia cordata, Tilia platyphyllos, Fraxinus ornus, Carpinus betulus, Fagus sylvatica, Ulmus glabra, Taxus baccata, Acer platanoides, Picea abies.

Un'altra tipologia è l'Aceri-Frassineto con Ontano bianco (Alnus incana), localizzato nella fascia montana inferiore (fino a 1000 m), in particolare su pendii esposti a nord nel basso Agordino. Si tratta di formazioni in evoluzione su ex prati pingui, dove si prevede una progressiva riduzione dell'Ontano bianco.

Faggete

La Faggeta submontana con carpino nero (Ostrya carpinifolia) si sviluppa in ambienti di transizione tra l'area prealpina e le valli interne a clima più continentale, lungo i versanti ripidi delle valli laterali del Piave (es. Cordevole). Le due specie coesistono ai limiti della propria distribuzione naturale, con alternanza di dominanza.

- Specie principali: Fagus sylvatica, Ostrya carpinifolia.

- Altre specie: Fraxinus ornus, Quercus pubescens, Taxus baccata, Tilia cordata, Abies alba.

A quote maggiori nel piano montano, si riscontrano la Faggeta montana con Abete bianco (Abies alba), e la Faggeta altimontana tipica o su suoli decalcificati, dove compaiono il Sorbo degli uccellatori (Sorbus aucuparia), il Larice (Larix decidua) e l'Abete rosso (Picea abies). La diffusione del Faggio in questo piano è stata storicamente influenzata dalle passate attività legate alla produzione di carbone riducendone pesantemente la presenza.
Tra i 900 e 1600 metri si trovano i Piceo-Faggeti, formazioni miste fortemente influenzate dall'attività antropica, che ha permesso anche la presenza del Larice.

Pinete ed Abieteti
Tra i 700 e 900 metri, in ambienti difficili come macereti o accumuli alluvionali, si trovano le Pinete mesalpiche di Pino silvestre (Pinus sylvestris). Nel tratto tra Perarolo e Longarone è presente un sottotipo di pineta con Pino nero (Pinus nigra), caratterizzato da maggiore umidità atmosferica e minore continentalismo. In queste aree, orniello e carpino nero mostrano una buona risposta come specie pioniere secondarie.
Nel distretto mesalpico (tra 900 e 1300 m) sono diffuse Pinete con o senza Abete rosso anche su suoli evoluti ma poveri in nutrienti.

Un esempio specifico di Abieteto è segnalato nel piano submontano della Val del Grisol (laterale del torrente Maè), caratterizzato da suoli evoluti e forte ristagno di umidità atmosferica.

- Specie dominante: Abies alba.
- Specie accessorie: Ulmus glabra, Fraxinus ornus, Ostrya carpinifolia.

Peccete

Tra i 1000 e 1500 metri è molto diffusa la Pecceta dei suoli xerici, dominata da Abete rosso (Picea abies). Il Faggio e l'Acero montano sono presenti solo in modo sporadico. Queste formazioni sono tipiche di suoli asciutti ricchi di humus e con abbondante lettiera indecomposta. La rinnovazione è difficoltosa e avviene solo in microstazioni con condizioni ambientali favorevoli. Altre peccete sono presenti a quote maggiori, dove la presenza di Larice è più significativa.

Qui sotto, riporto in tabelle le specie arboree forestali principali e secondarie organizzate nei piani altitudinali in cui generalmente viene suddiviso il territorio alpino (Tabelle 1- 4) [3].

Tabella 1: Alberi forestali del piano basale

PIANO BASALE (0_400 m)	
Specie principali	**Specie secondarie**
Carpinus betulus	Acer campestre
Ostrya carpinifolia	Prunus avium
Fraxinus ornus	Acer pseudoplatanus
Quercus pubescens	Tilia cordata
	Quercus petraea
	Castanea sativa
	Ulmus minor
	Sorbus torminalis

Tabella 2: Alberi forestali del piano sub-montano

PIANO SUB-MONTANO (400-800 m)	
Specie principali	**Specie secondarie**
Ostrya carpinifolia	Quercus pubescens
Fraxinus ornus	Sorbus torminalis
Tilia cordata	Tilia platyphyllos
Acer pseudoplatanus	Ulmus glabra
Fraxinus escelsior	Ulmus minor
Fagus sylvatica	Sorbus aucuparia
	Carpinus betulus
	Taxus baccata
	Piace abies

Tabella 3: Alberi forestali del piano montano inferiore

PIANO MONTANO INFERIORE (800-1200 m)	
Specie principali	**Specie secondarie**
Fagus sylvatica	Alnus incana
Picea abies	Abies alba
	Sorbus aucuparia
	Larix decidua
	Pinus sylvestris
	Fraxinus escelsior
	Acer pseudoplatanus

Tabella 4: Alberi forestali del piano montano superiore

VEGETAZIONE PIANO MONTANO SUPERIORE (1200-1600 m)	
Specie principali	**Specie secondarie**
Picea abies	Fagus sylvatica
	Acer pseudoplatanus
	Pinus sylvestris
	Larix decidua

3. Le Fasce Fitoclimatiche Pavari

Una zona fitoclimatica identifica un'area geografica in cui le condizioni climatiche, in particolare temperatura e precipitazioni, determinano la presenza di una specifica associazione vegetale. In altre parole, piante con esigenze climatiche simili tendono a raggrupparsi, formando comunità vegetali omogenee [3,4]. La classificazione del territorio in queste zone si fonda quindi sul principio che aree geograficamente distinte, per latitudine o altitudine, possono ospitare vegetazioni analoghe se condividono regimi termici e pluviometrici simili. L'autore del modello di classificazione più utilizzato e ancora attuale in Italia è Aldo Pavari.

Nato a Roma il 16 agosto 1888, fu un noto forestale italiano [5]. Dopo la laurea nel 1910 alla scuola superiore di agricoltura di Milano, frequentò l'Accademia forestale di Tharand in Sassonia dove ottenne la specializzazione. Durante la guerra, nel 1916, presso il comando supremo, fu ufficiale forestale addetto all'approvvigionamento dei legnami. Durante questo anno pubblicò il suo lavoro più conosciuto, *Studio preliminare sulla coltura delle specie forestali esotiche in Italia*. L'espandersi dell'agricoltura a discapito del bosco e l'insufficienza di produzione legnosa portò Pavari a considerare l'utilizzo di specie esotiche in grado di soddisfare le esigenze di legname del paese. Lo sviluppo di fasce climatico-vegetazionali fu il presupposto per collocare le nuove specie secondo il principio delle 'analogie climatiche'. Pavari, nel suo lavoro, partendo dal modello proposto da Mayr (1906), individuò cinque ambienti differenti definiti da limiti termici, e in parte pluviometrici, ai quali attribuì un nome latino indicativo [6]:

Lauretum, Castanetum, Fagetum, Picetum, Alpinetum

Il *Lauretum [6]* che prende il nome dall'Alloro (Laurus nobilis), si estende su buona parte del territorio italiano, dalle coste fino agli ambienti collinari, e corrisponde alla zona più calda delle cinque descritte da Pavari. Considerando il regime termico si suddivide in tre sottozone [6] (Tab. 5):

Tabella 5: Parametri climatici del Lauretum

Parametri climatici		Sottozone		
		Calda	Media	Fredda
Temperatura media	dell'anno	15-23°C	14-18°C	12-17°C
	del mese più freddo	>7°C	>5°C	>3°C

Inoltre ad ogni sottozona può corrispondere un regime pluviometrico differente definito in tre tipi: Lauretum del 1° tipo con piogge uniformi, Lauretum del 2° tipo con siccità estiva, Lauretum del 3° tipo senza siccità estiva.

La sottozona calda, tipica delle zone più meridionali e costiere, è la zona delle sugherete, delle leccete, delle pinete di Pinus pinea, Pinus pinaster e Pinus halepensis, qui si coltivano gli agrumi, il carrubo, il fico d'india e le palme. Fra le piante arboree più diffuse troviamo Quercus suber, Quercus ilex, Ceratonia siliqua, Olea europaea fra le latifoglie. Per quanto riguarda le conifere invece Pinus pinea, Pinus halepensis, Pinus pinaster e molte piante del genere Cupressus. In particolari microclimi tuttavia è possibile trovare altre specie dei generi Populus, Ulmus, Fraxinus, Alnus, Acer, Salix. Spostandosi nella sottozona fredda, presente in quasi tutta la penisola, a nord la si trova nelle zone mitigate dal mare e dai grandi laghi come il Lago di Garda, si diffondono anche specie come Quercus cerris, Quercus pubescens, Carpinus betulus, Juglans, Oleae europaea, ma sono sempre presenti anche i lecci, i cipressi, l'alloro.

Il *Castanetum [6]* è la zona che si estende fra il Lauretum e il Fagetum. Prende il nome dal Castagno ed occupa circa un terzo del territorio nazionale. Anche questa zona si suddivide in sottozone, calda e fredda, a sua volta distinte dal regime pluviometrico come in tabella 6.

Tabella 6: Parametri climatici del Castanetum

Parametri climatici		Sottozona calda		Sottozona fredda	
		1° tipo senza siccità estiva	2° tipo con siccità estiva	1° tipo piogge >700mm	2° tipo piogge <700mm
Temperatura media	dell'anno	10-15°C		10-15°C	
	del mese più freddo	>0°C		> -1°C	

Considerando l'altitudine la distribuzione cambia a seconda della latitudine (Tab. 7).

Tabella 7: Distribuzione altitudinale in Italia del Castanetum

Regione	Limite inferiore	Limite superiore
Italia insulare	700-800 m	1300-1500 m
Italia meridionale	600 m	1200 m
Italia centrale	300-500 m	900 m
Italia settentrionale	0-200 m	900 m

Si estende dalla pianura Padana alle zone collinari. Spostandosi verso sud raggiunge altitudini maggiori. Le specie tipiche di questa zona sono le latifoglie decidue come i castagneti, i querceti, i frassineti, i pioppeti e i saliceti.

La sottozona calda può sovrapporsi alla sottozona fredda del Lauretum avendo delle similitudini, in particolare per il secondo tipo con siccità estiva.

Il *Fagetum [6]*, che prende il nome dal Faggio (Fagus Sylvatica), è la zona tipica del piano montano generalmente fra gli 800-1200 m s.l.m. nel settentrione. Sugli appennini la quota aumenta fino al limite della vegetazione arborea. Nel meridione e sulle isole lo si può trovare fino a 1700m s.l.m. Questa zona è caratterizzata da abbondanti piogge ed elevata umidità atmosferica che, quindi, non rappresenta un limite allo sviluppo della vegetazione (Tab. 8). Le temperature invece si fanno più rigide, soprattutto d'inverno, e costituiscono un limite alla crescita di alcune specie. Oltre al faggio è presente Picea abies, Abies alba, Acer platanoides, Acer pseudoplatanus, Betula pendula, Pinus sylvestris.

Tabella 8: Parametri climatici del Fagetum

Parametri climatici		
Temperatura media	dell'anno	6-12°C
	del mese più freddo	> -4°C

Il Picetum [6], dal nome dell'Abete rosso (Picea abies), è la zona della fascia alpina compresa fra i (1200) 1500 e 2000 m s.l.m. Qui la stagione vegetativa si riduce a pochi mesi all'anno, mentre la neve è presente al suolo per un lungo periodo (Tab. 9). Le specie più diffuse in questa fascia sono conifere come il già citato Picea abies, il Larix decidua, Abies alba, Pinus sylvestris

Tabella 9: Parametri climatici del Picetum

Parametri climatici		
Temperatura media	dell'anno	3-6°C
	del mese più freddo	> -6°C

L’Alpinetum [6], la fascia più fredda, va dai (1500) 1700 m s.l.m. fino al limite superiore della vegetazione (Tab. 10). Le specie di riferimento sono Larix decidua, Pinus cembra, Pinus mugo. La vegetazione è rada, le nevicate abbondanti e la stagione vegetativa si accorcia ulteriormente rispetto al Picetum.

Tabella 10: Parametri climatici dell’Alpinetum

Parametri climatici		
Temperatura media	dell'anno	< -2°C
	del mese più freddo	> -20°C

4. Materiali e metodi

4.1 Piattaforma Clima Nord-Est ARPAV-ARPAFV

Le Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) e del Friuli Venezia Giulia (ARPAFV) hanno messo a punto uno strumento che permette ai cittadini di stimare il cambiamento climatico sul territorio delle due regioni. L'applicazione disponibile in rete si chiama Piattaforma Clima Nord-Est o anche Barometro del Clima (https://clima.arpa.veneto.it). La prima pagina si apre con la seguente domanda: *La temperatura misurata in Veneto e Friuli Venezia Giulia e le proiezioni per il futuro. Dove stiamo andando?* E la risposta viene fornita subito con una figura che illustra i dati attuali e le proiezioni per il futuro per le due regioni (Fig. 2).

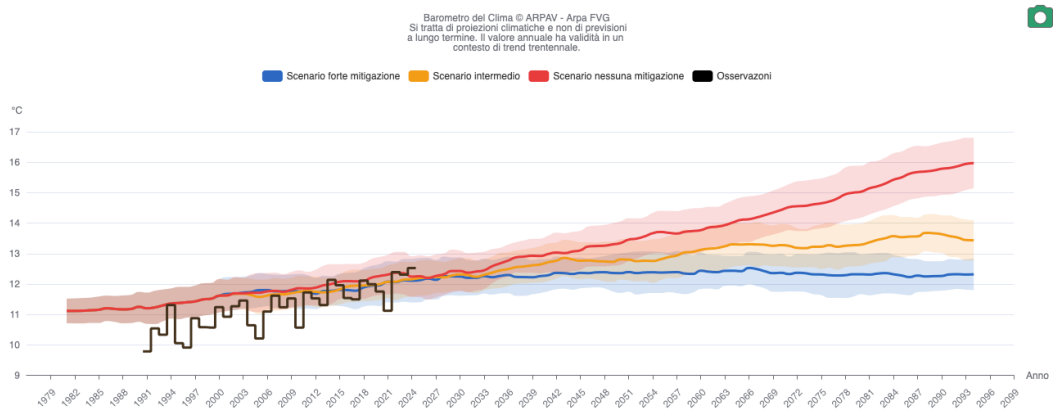

Figura 2: Proiezioni climatiche per le regioni del Veneto e del Friuli Venezia Giulia

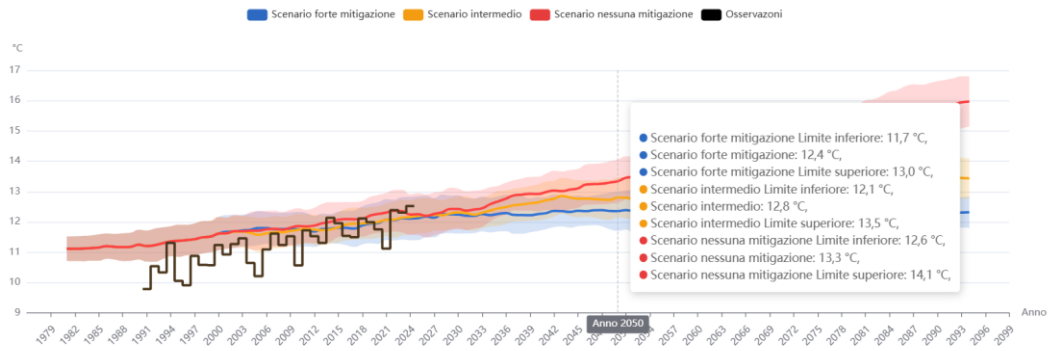

Figura 3: Barometro del Clima. Immagini dello schermo all'apertura della Piattaforma Clima del Nord-Est. Sopra: insieme delle proiezioni fino al 2099, con i

colori di 3 scenari: blu se si attuano politiche di forte mitigazione del clima; arancione con una moderata reazione al cambiamento; rosso se si va avanti senza reagire, senza mitigare l'andamento constatato con le misure reali riportate in nero. Sottp: piazzando il cursore sull'asse delle X, è possibile conoscere i valori delle temperature nei tre scenari (min, medio e max) nell'anno voluto (nella figura il 1950).

La Piattaforma permette di visualizzare proiezioni climatiche nel passato e nel futuro, con versioni di utilizzo Semplice e Avanzata. In questa tesi, utilizzerò la versione Avanzata, che mi permette di ottenere più dati utili (Fig. 4a e 4b).

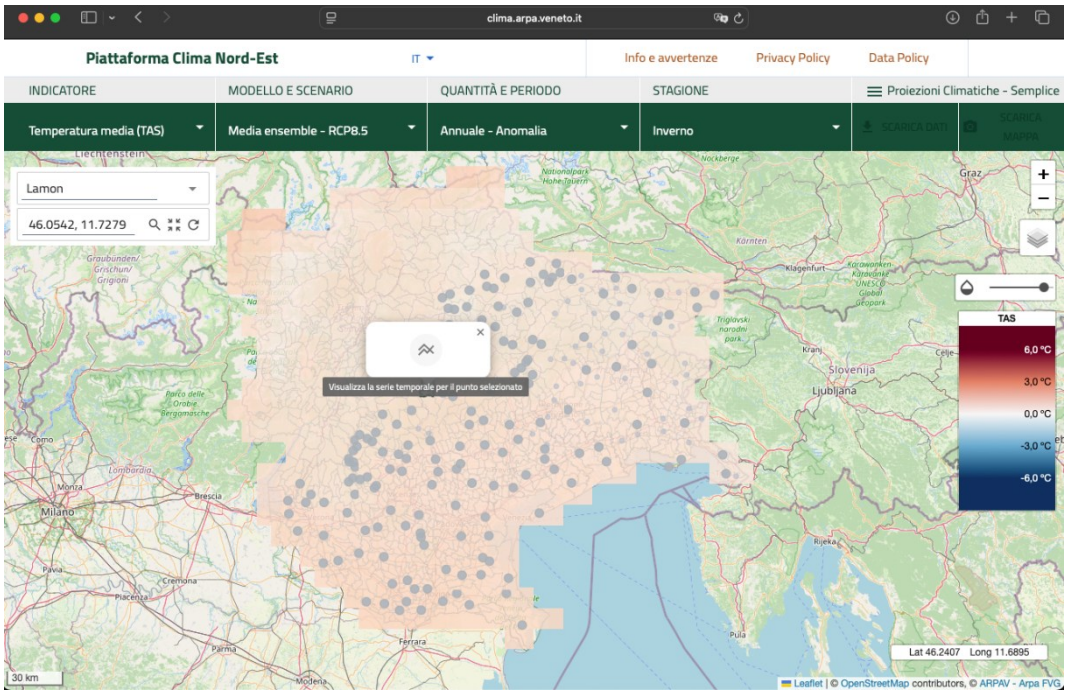

Figura 4a: Barometro del Clima. Piattaforma Clima del Nord-Est. Proiezioni climatiche – Semplice. In grigio i comuni. Cliccando su un punto, si possono generare le proiezioni climatiche per quel comune.

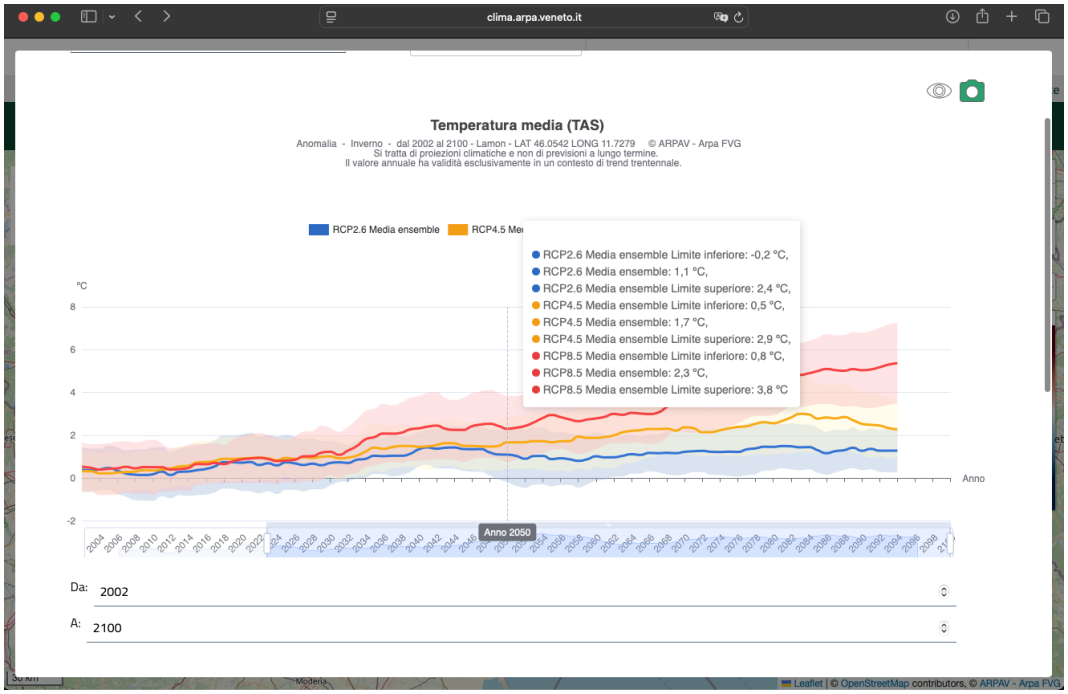

Figura 5b: Barometro del Clima. Piattaforma Clima del Nord-Est. Proiezioni climatiche – Semplice. Temperatura media (TAS). Abbiamo preso come esempio il comune di Lamon (comune scelto cliccando sul triangolino, sotto TAS). Il colore rosa della mappa si interpreta usando il riferimento sulla destra (TAS). Per avere l'andamento si deve cliccare su "Visualizza le temperature per il punto (= Comune) selezionato". Sotto: Il grafico dell'andamento delle temperature nel periodo 2025-2050, nei tre scenari per il comune di Lamon. Si sceglie il periodo spostando con il mouse gli estremi della barra azzurra che copre gli anni sull'asse delle X. Poi posizionando il puntatore del mouse sopra un anno specifico si possono ottenere i valori per quell'anno, nella figura il 2050.

4.2 Selezione dei dati climatici

Nella scelta dei dati da utilizzare ai fini della ricerca ho ricercato delle località dislocate nella provincia di Belluno che rappresentassero tre fasce altitudinali. Per ogni fascia ho raccolto i dati relativi a sei punti di interesse che fornissero una consistenza di dati sufficiente e lineare.
Lo storico fornito dalla piattaforma offre la media annua e del mese più freddo (gennaio) relativi al trentennio 1991-2020, quindi valori già interessati dal cambiamento climatico in atto, rappresentativi della situazione attuale.

Per quanto riguarda le proiezioni future, per ogni punto di interesse, ho raccolto i dati relativi ai tre scenari RCP di riduzione di gas serra per gli anni 1950, 1975 e 1999 con filtro LOESS di smussamento del diagramma di dispersione (*locally estimated scatterplot smoothing)*. La misura della temperatura media annua è fornita direttamente dalla piattaforma, mentre per la temperatura media del mese più freddo viene fornito solamente il dato dell'anomalia invernale rispetto al periodo di riferimento. Considerando l'incertezza di circa ± 1°C dei dati forniti ed in generale della previsione a lungo termine, ho ritenuto attendibile il valore che ho poi sommato alla media di gennaio del periodo di riferimento 1991-2020 ottenendo il valore proiettato al futuro.

La fascia basale, che copre un'altitudine tra i 200 e i 400 metri sul livello del mare, è rappresentata dal fondovalle della Valbelluna. Per questa zona, ho analizzato i dati relativi agli abitati di Feltre, Lentiai, Santa Giustina, Sedico, Belluno e Ponte nelle Alpi.

Salendo Lungo i rilievi ho suddiviso la fascia montana in inferiore, tra gli 800 e 1200 metri sopra il livello del mare, e superiore tra i 1200 e i 1400 metri sopra il livello del mare. Per la prima i punti di interesse che ho scelto sono Cibiana di Cadore, Pieve di Cadore, Auronzo, Forno di Zoldo, Alleghe, Rivamonte Agordino. Mentre le località selezionate per rappresentare la fascia superiore sono Salesei di Sotto, Cortina d'Ampezzo, Zoldo Alto, Selva di Cadore, Danta di Cadore, Comelico Superiore.

5. Risultati

In questo capitolo vengono esposti i dati raccolti tramite la piattaforma Clima Nord-Est ARPAV-ARPAFV suddivisi nelle varie fasce altitudinali selezionate per lo studio.

Per ciascuna area, tramite tabelle, vengono elencati i seguenti elementi:

- Punto di interesse corrispondente ad una località
- Quota altitudinale espressa in m s.l.m.
- Media annua relativa al periodo 1991-2020 espressa in °C
- Media del mese più freddo relativa al periodo 1991-2020 espressa in °C
- Anni 2050, 2075, 2099 utilizzati nell'indagine
- Media annua futura (°C)
- Media mese più freddo futura (°C)
- Scenari di mitigazione RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5

Per completezza di informazione, prima di affrontare i prossimi capitoli, riporto alcuni dati sugli indicatori climatici estrapolati dai report annuali di ARPAV che riguardano la piovosità, i periodi secchi, ed i giorni di gelo. Tendenzialmente le precipitazioni annuali tenderanno a mantenere i valori attuali in provincia, con un aumento significativo nel periodo invernale. I dati estivi sono contrastanti, ma emergono dati che indicano un forte aumento dei fenomeni estremi che concentreranno le precipitazioni in poche ore. I giorni secchi consecutivi anche sono in aumento e potrebbero superare periodi di 30 giorni, creando una breve stagione secca. Questi due fenomeni combinati renderebbero inoltre più difficile l'assorbimento dell'acqua da parte del suolo aggravando la situazione.

I giorni di gelo, seguendo la tendenza attuale, sono in netto calo e di conseguenza le precipitazioni nevose potrebbero azzerarsi fino al piano montano modificando drasticamente le caratteristiche dell'ecosistema montano. Passiamo quindi ora in rassegna uno ad uno i diversi piani altitudinali ed i corrispondenti scenari.

5.1 Piano Basale 200-400 m

I dati analizzati rivelano una diversa risposta in funzione dei tre scenari RCP considerati, significativa è la differenza per le temperature medie annue e del mese più freddo. Il punto di riferimento per l'analisi è il trentennio 1991-2020 (Tab. 11).

Tabella 11: Proiezioni climatiche relative al fondovalle della Valbelluna.

PIANO BASALE										
Luogo	Quota m s.l.m.	Media annua °C 1991-2020	Media mese più freddo °C 1991 - 2020	Anno	Media anno °C			Media mese più freddo °C		
					RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Felltre	274	10,5	-0,9	2050	13,4	13,8	14,4	0,2	0,8	1,5
				2075	13,4	14,4	15,8	0,4	1,4	3,0
				2099	13,3	14,5	17,4	0,4	1,6	4,7
Sedico	317	10,9	0,3	2050	13,3	13,8	14,4	1,4	2,0	2,7
				2075	13,3	14,3	15,8	1,6	2,7	4,2
				2099	13,2	14,5	17,5	1,6	2,9	6,1
Belluno	389	10,5	0,0	2050	12,9	13,4	13,9	1,1	1,7	2,4
				2075	12,9	13,9	15,4	1,3	2,4	3,9
				2099	12,8	14,1	17,0	1,4	2,6	5,8
Lentiai	257	11,0	0,1	2050	13,5	14,0	14,5	1,2	1,8	2,4
				2075	13,5	14,5	15,9	1,3	2,4	3,7
				2099	13,4	14,6	17,5	1,3	2,5	5,4
Ponte nelle Alpi	397	10,7	0,5	2050	12,6	12,7	12,6	1,7	2,4	3,1
				2075	13,1	13,6	13,8	1,8	2,9	4,3
				2099	13,6	15,0	16,8	1,9	3,0	6,2
Santa Giustina	313	10,4	-0,4	2050	13,5	14,0	14,5	0,7	1,3	1,9
				2075	13,5	14,5	15,9	0,8	1,9	3,2
				2099	13,4	14,6	17,5	0,8	2,0	4,9
Media		10,7	-0,1	2050	13,2	13,7	14,2	1,1	1,7	2,3
				2075	13,2	14,2	15,7	1,2	2,3	3,7
				2099	13,1	14,4	17,3	1,2	2,4	5,5

5.1.1 Scenario di Forte Mitigazione (RCP 2.6)

Lo scenario che prevede una forte mitigazione delle emissioni (RCP 2.6, colonna azzurra, tab. 11) mostra un aumento delle temperature che culmina entro la metà del secolo (prossimi 25 anni). Successivamente, la curva tende ad assestarsi e a manifestare una regressione, seppur minima, verso la fine del secolo.

- Temperatura Media Annua: Si prevede un aumento di 2,5°C arrivando a 13,2°C nel 2050. Questo livello termico si manterrà sostanzialmente costante fino alla fine del secolo.

- Temperatura del mese più freddo (gennaio): L'incremento atteso è di 1,2°C, con la temperatura che rimane pressoché invariata per il periodo successivo.

5.1.2 Scenario di Media Mitigazione (RCP 4.5)

Lo scenario a media mitigazione (RCP 4.5, colonna arancione, tab. 11) evidenzia un aumento termico più significativo e prolungato, con il picco di crescita che si estende fino al 2075, dopodiché la curva comincia ad appiattirsi.

- Temperatura Media Annua: Partendo da 10,7°C, si raggiungeranno i 13,7°C nel 2050 (un aumento di 3,0°C rispetto al trentennio di riferimento e mezzo grado in più rispetto all'RCP 2.6). La temperatura continuerà a salire, raggiungendo i 14,2°C nel 2075. Nel periodo finale, si assisterà a un aumento molto contenuto, pari a soli 0,2°C tra il 2075 e la fine del secolo.
- Temperatura del Mese più Freddo: Rispetto al periodo di riferimento (-0,1°C) l'aumento sarà di 1,8°C nel 2050, per poi incrementare ulteriormente, toccando i 2,4°C nel 2075 e quindi assestarsi.

5.1.3 Scenario Senza Mitigazione (RCP 8.5)

Lo scenario in assenza di politiche di mitigazione dei gas serra (RCP 8.5, colonna rossa, tab. 11) proietta la traiettoria di riscaldamento più estrema, caratterizzata da un incremento continuo e accelerato, senza alcun appiattimento della curva di tendenza.

- Temperatura Media Annua: La crescita cumulativa è stimata in 6,6°C entro la fine del secolo, portando la media annua a un valore di 17,3°C.
- Temperatura del Mese più Freddo: L'incremento previsto per la temperatura media del mese più freddo è di 5,6°C a fine secolo.

5.2 Piano sub-montano 400-800 m

L'analisi delle proiezioni climatiche per il piano sub-montano rivela un marcato trend di riscaldamento, in linea con quanto osservato per il piano basale. Il periodo di riferimento 1991-2020 presenta una temperatura media annua di 8,9°C e una temperatura media del mese più freddo di 1,2°C.

Le curve di proiezione, basate sui tre scenari di emissione (RCP), mostrano significative variazioni a seconda delle politiche di mitigazione adottate (Tab. 12).

Tabella 12: Proiezioni climatiche relative al piano sub-montano

PIANO SUB-MONTANO										
Luogo	Quota m s.l.m.	Media annua °C 1991-2020	Media mese più freddo °C 1991-2020	Anno	Media anno °C			Media mese più freddo °C		
					RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Agordo	601	8,8	-1,8	2050	10,9	11,4	12,0	-0,7	-0,2	0,7
				2075	10,9	11,9	13,5	-0,5	0,5	2,2
				2099	10,8	12,1	15,2	-0,4	0,7	4,2
Perarolo di Cadore	532	8,6	-1,3	2050	10,8	11,2	11,8	-0,2	0,4	1,1
				2075	10,8	11,8	13,3	0,0	1,0	2,7
				2099	10,7	11,9	15,0	0,1	1,2	4,7
Longarone	473	10,0	-1,4	2050	11,2	11,6	12,2	-0,2	-0,7	1,1
				2075	11,2	12,2	13,7	-0,1	1,0	2,6
				2099	11,1	12,3	15,4	0,1	1,2	4,5
Sospirolo	447	9,3	-0,1	2050	12,7	13,2	13,8	1,0	1,6	2,3
				2075	12,7	13,7	15,2	1,2	2,3	3,8
				2099	12,6	13,9	16,9	1,2	2,5	5,7
Domegge di cadore	775	8,3	-1,4	2050	10,1	10,6	11,2	-0,3	0,2	1,0
				2075	10,2	11,1	12,7	-0,2	0,8	2,5
				2099	10,0	11,3	14,4	0,0	1,0	4,5
Cencenighe Agordino	773	8,4	-1,3	2050	9,6	10,1	10,7	-0,2	0,3	1,0
				2075	9,6	10,6	12,2	-0,1	0,9	2,6
				2099	9,5	10,8	14,0	0,0	1,0	4,5
Media		8,9	-1,2	2050	11,0	11,4	12,0	-0,1	0,3	1,2
				2075	11,0	12,0	13,5	0,1	1,1	2,7
				2099	10,9	12,1	15,2	0,2	1,3	4,7

5.2.1 Scenario con Forte Mitigazione (RCP 2.6)

Nello scenario più ottimistico di forte mitigazione (RCP 2.6, colonna azzurra, tab. 12), si osservano i seguenti andamenti:

- Temperatura media annua: Entro i prossimi 25 anni, la media annua raggiungerà gli 11,0°C. Successivamente, si stabilizzerà, mostrando un lieve decremento verso la fine del secolo.

- Temperatura media del mese più freddo: La media del mese più freddo (tipicamente gennaio) si avvicinerà agli 0°C.

5.2.2 Scenario Intermedio (RCP 4.5)

Lo scenario intermedio (RCP 4.5, colonna arancione, tab. 12) prevede un riscaldamento continuo fino al 2075:

- Temperatura media annua: Si superano gli 11°C a metà secolo, raggiungendo i 12,0°C nel 2075, per poi mantenersi costante.
- Temperatura media del mese più freddo: La media di gennaio aumenta inizialmente di circa 2,0°C entro il 2075, con un ulteriore lieve aumento di 0,2°C entro il 2100, arrivando a 1,3°C.

5.2.3 Scenario Senza Mitigazione (RCP 8.5)

Lo scenario più critico, che non prevede significative misure di mitigazione (RCP 8.5, colonna rossa, tab. 12), mostra gli aumenti termici più drastici nell'arco di tutto il secolo:

- Temperatura media annua: Si registrano incrementi consistenti che portano la temperatura media annua a raggiungere, rispettivamente, 12,0°C nel 2050, 13,5°C nel 2075 e 15,2°C a fine secolo (2100). L'aumento totale rispetto al periodo di riferimento è di ben 6,3°C.
- Temperatura media del mese più freddo: Allo stesso modo, la media del mese più freddo subisce un aumento complessivo di circa 6,0°C rispetto al valore attuale, raggiungendo i 4,7°C entro il 2100.

5.3 Piano montano inferiore 800-1200m

Anche per queta fascia altitudinale vale lo stesso comportamento delle tre curve analizzate nei casi precedenti. Le medie di riferimento del trentennio 1991-2020 sono di 7,4°C quella annuale, mentre quella del mese più freddo, anche qui gennaio, è -2,3°C (Tab. 13).

Tabella 13: Proiezioni climatiche relative al piano montano inferiore

PIANO MONTANO INFERIORE										
Luogo	Quota m s.l.m.	Media annua °C 1991-2020	Media mese più freddo °C 1991-2020	Anno	Media anno °C			Media mese più freddo °C		
					RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Cibiana di Cadore	985	7,7	-1,4	2050	9,3	9,7	10,3	-0,2	0,3	1,0
				2075	9,3	10,3	11,8	-0,1	0,9	2,6
				2099	9,2	10,4	13,6	0,0	1,1	4,6
Pieve di Cadore	878	7,5	-1,7	2050	10,1	10,5	11,1	-0,6	-0,1	0,7
				2075	10,1	11,1	12,7	-0,5	0,5	2,2
				2099	10,0	11,2	14,4	-0,3	0,7	4,2
Auronzo	900	7,4	-3,5	2050	9,1	9,6	10,2	-2,4	-2,0	-1,2
				2075	9,1	10,1	11,7	-2,3	-1,4	0,4
				2099	9,0	10,3	13,5	-2,2	-1,2	2,3
Forno di Zoldo	848	7,9	-2,6	2050	9,4	9,9	10,5	-1,5	-0,9	-0,2
				2075	9,5	10,5	12,0	-1,3	-0,2	1,4
				2099	9,3	10,6	13,7	-1,2	-0,1	3,4
Alleghe	979	7,4	-2,3	2050	8,5	8,9	9,5	-1,3	-0,8	-0,1
				2075	8,5	9,5	11,1	-1,2	-0,3	1,3
				2099	8,4	9,6	12,8	-1,1	-0,1	3,2
Rivamonte Agordino	1136	6,7	-2,5	2050	9,6	10,1	10,7	-1,4	-0,9	0,0
				2075	9,6	10,6	12,2	-1,2	-0,2	1,5
				2099	9,5	10,8	13,9	-1,1	0,0	3,5
Media		7,4	-2,3	2050	9,3	9,8	10,4	-1,2	-0,7	0,0
				2075	9,4	10,4	11,9	-1,1	-0,1	1,6
				2099	9,2	10,5	13,7	-1,0	0,1	3,5

5.3.1 Scenario di Forte Mitigazione (RCP 2.6)

Questo scenario, che prevede una rapida e drastica riduzione delle emissioni, limita in modo significativo l'incremento termico nel lungo periodo.

- Temperatura Media Annua: L'aumento di temperatura previsto entro il 2050 sarà di circa 2,0°C per poi assestarsi. La temperatura sarà quindi di 9,3°C.
- Temperatura del mese più freddo (gennaio): L'incremento atteso è di 1°C entro il 2050 e poi continuerà un lieve aumento portandola a -1°C a fine secolo.

5.3.2 Scenario di Media Mitigazione (RCP 4.5)

Lo scenario intermedio (stabilizzazione delle emissioni dopo il picco nel 2075) comporta un riscaldamento più prolungato rispetto all'RCP 2.6.

- Temperatura Media Annua: La temperatura sarà di 9,8°C nel 2050 e 10,4°C entro il 2075 per poi stabilizzarsi.
- Temperatura del Mese più Freddo: La temperatura sarà di -0,7°C entro il 2050 e di circa 0°C per il resto del periodo.

5.3.3 Scenario Senza Mitigazione (RCP 8.5)

Lo scenario *business-as-usual* (nessuna mitigazione significativa) prevede come previsto un aumento termico accelerato.

- Temperatura Media Annua: Rispetto al periodo di riferimento con temperatura di 7,4°C l'aumento sarà importante raggiungendo rispettivamente i 10,4 nel 2050, gli 11,9 nel 2075 e i 13,7°C a fine secolo.
- Temperatura del Mese più Freddo: Le temperature raggiungeranno rispettivamente nei tre momenti 0°C, 1,6°C ed infine 3,5°C.

5.4 Piano montano superiore 1200-1400

L'analisi delle proiezioni climatiche per il Piano Montano Superiore (altitudine 1200-1400 m s.l.m.) conferma il trend di riscaldamento lungo tutto l'arco altitudinale (Tab. 14).

I valori climatici medi di riferimento per il trentennio 1991-2020 si attestano a:

- Temperatura media annua: 5,9°C
- Temperatura media del mese più freddo: -2,6°C.

Tabella 14: Proiezioni climatiche relative al piano montano superiore

PIANO MONTANO SUPERIORE										
Luogo	Quota m s.l.m.	Media annua °C 1991-2020	Media mese più freddo °C 1991-2020	Anno	Media anno °C			Media mese più freddo °C		
					RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Salesei di sotto	1400	6,0	-2,9	2050	7,3	7,7	8,3	-1,9	-1,4	-0,7
				2075	7,3	8,3	9,9	-1,8	-0,9	0,7
				2099	7,2	8,4	11,6	-1,7	-0,7	2,5
Cortina D'ampezzo	1224	6,5	-2,1	2050	7,8	8,2	8,8	-1,0	-0,6	0,1
				2075	7,8	8,7	10,4	-1,0	-0,1	1,6
				2099	7,7	8,9	12,1	-0,9	0,1	3,5
Zoldo Alto	1301	5,1	-2,7	2050	7,1	7,6	8,2	-1,6	-1,1	-0,3
				2075	7,1	8,1	9,7	-1,5	-0,4	1,2
				2099	7,0	8,3	11,4	-1,4	-0,3	3,2
Selva di Cadore	1347	4,7	-4,1	2050	7,5	7,9	8,6	-3,1	-2,6	-1,9
				2075	7,5	8,5	10,1	-3,0	-2,1	-0,5
				2099	7,4	8,6	11,8	-2,9	-1,9	1,4
Danta di Cadore	1339	5,8	-3,7	2050	8,1	8,5	9,2	-2,6	-2,2	-1,4
				2075	8,1	9,1	10,7	-2,5	-1,5	0,1
				2099	8,0	9,2	12,4	-2,4	-1,4	2,1
Comelico Superiore	1241	5,9	-2,4	2050	8,4	8,8	9,4	-1,3	-0,9	-0,1
				2075	8,4	9,3	10,9	-1,2	-0,2	1,4
				2099	8,2	9,5	12,7	-1,1	-0,1	3,4
Media		5,9	-2,6	2050	7,7	8,1	8,8	-1,9	-1,5	-0,7
				2075	7,7	8,7	10,3	-1,8	-0,9	0,8
				2099	7,6	8,8	12,0	-1,7	-0,7	2,7

5.4.1 Scenario di Forte Mitigazione (RCP 2.6)

Lo scenario più ottimistico, che implica una rapida e drastica riduzione delle emissioni, riesce a limitare l'aumento termico e a mantenere condizioni climatiche relativamente stabili nel lungo periodo.

- Temperatura media annua: si raggiungeranno i 7,7°C nel 2050 (un incremento di 1,8°C). Successivamente, il riscaldamento si stabilizza

per il resto del secolo, attestandosi a 7,7°C nel 2075 e a 7,6°C nel 2100.

- Temperatura media del mese più freddo: La media di gennaio sale a -1,9°C nel 2050 e rimane prossima a questo valore fino a fine secolo. Questo indica che il regime di gelo persiste in inverno, sebbene con un incremento di circa 0,8°C rispetto al periodo di riferimento.

5.4.2 Scenario di Media Mitigazione (RCP 4.5)

Lo scenario intermedio (stabilizzazione delle emissioni) comporta un riscaldamento più intenso e prolungato rispetto all'RCP 2.6.

- Temperatura media annua: La raggiunge gli 8,1°C nel 2050 e continua a salire fino a toccare gli 8,7°C nel 2075. A fine secolo, la temperatura media si attesta a 8,8°C per un incremento totale di 2,9°C rispetto al trentennio 1991-2020.
- Temperatura media del mese più freddo: La temperatura sale a -1,5°C nel 2050. Entro il 2075, il valore si avvicina allo zero, attestandosi a -0,9°C per poi stabilizzarsi.

5.4.3 Scenario Senza Mitigazione (RCP 8.5)

Lo scenario senza mitigazione significativa prevede gli incrementi termici più rapidi, alterando il clima del Piano Montano Superiore.

- Temperatura media annua: L'aumento è estremamente marcato nel corso del secolo:
    - 2050: Raggiunge gli 8,8°C (incremento di 2,9°C).
    - 2075: Raggiunge i 10,3°C (incremento di 4,4°C).
    - 2099: Culmina a 12,0°C per un aumento totale di 6,1°C rispetto al periodo di riferimento.
- Temperatura media del mese più freddo:
    - 2050: La temperatura raggiunge -0,7°C.
    - 2075: Supera la soglia di gelo, salendo a 0,8°C
    - 2099: La temperatura media del mese più freddo si attesta a 2,7°C con un aumento complessivo di 5,3°C.

5.5 Assegnazione delle fasce Fitoclimatiche

In questo capitolo vengono assegnate per ogni fascia altitudinale, seguendo i risultati ottenuti, le fasce fitoclimatiche di Pavari corrispondenti ai valori termici indicati nelle tabelle precedenti. Ad ogni fascia è stato assegnato un colore come indicato in tabella 15.

Tabella 15: Fasce fitoclimatiche e relativi colori assegnati ad ognuna di esse.

Alpinetum		
Picetum		
Fagetum		
Castanetum freddo	Castantum caldo	
Lauretum freddo	Lauretum medio	Lauretum caldo

5.5.1 Piano Basale

Nel piano basale la zona fitoclimatica attuale è il Castanetum sottozona fredda, anche se rientra in questa fascia di un solo decimo di grado, bisogna specificare che il trentennio 1991-2020 è già soggetto ad un riscaldamento delle temperature, quindi tipicamente si può affermare che la Valbelluna rientra in questa sottocategoria del Castanetum (Tab.16).

Tabella 16: Fasce fitoclimatiche relative al piano basale (200-400m)

PIANO BASALE					
		Anno	Fascia fitoclimatica		
			RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Trentennio 1991/2020	Castanetum / freddo	2050	Castanetum / caldo	Castanetum / caldo	Castanetum / caldo
		2075	Castanetum / caldo	Castanetum / caldo	Lauretum / freddo
		2099	Castanetum / caldo	Castanetum / caldo	Lauretum / medio

In tutti gli scenari si ha un immediato passaggio alla sottozona calda del castanetum entro il 2050, ovviamente in modo più marcato in caso di nessuna mitigazione. A determinarne il passaggio è la temperatura media del mese più freddo dal momento in cui supera gli zero gradi. Si manterrà tale nel corso del secolo nei due scenari con forte e media mitigazione, mentre in caso di nessuna mitigazione ci sarà uno spostamento di fascia fitoclimatica verso il Lauretum sottozona fredda già nel 2075 e, a fine

secolo, si entrerà nella sottozona media. Considerando che le precipitazioni resteranno abbondanti e distribuite durante tutto l'anno il sottotipo di Lauretum sarà il primo.

5.5.2 Piano Sub-Montano

Nel piano sub-montano attualmente ci troviamo nella fascia del Fagetum con temperatura media annua di circa 9°C e la media di gennaio appena inferiore ad 1°C sotto lo zero. È doveroso specificare che qui il regime termico è molto vicino al limite inferiore del Castanetum, essendo una fascia di transizione fra le due zone fitoclimatiche (Tab. 17).

Tabella 17: Fasce fitoclimatiche relative al piano sub-montano (400-800m)

PIANO SUB-MONTANO					
		Anno	Fascia fitoclimatica		
			RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Trentennio 1991/2020	Fagetum	2050	Castanetum/ freddo	Castanetum/ caldo	Castanetum/ caldo
		2075	Castanetum/ caldo	Castanetum/ caldo	Castanetum/ caldo
		2099	Castanetum/ caldo	Castanetum/ caldo	Lauretum/ freddo

In tutti e tre gli scenari si ha uno spostamento di fascia già entro metà secolo. Nello scenario di forte mitigazione si entra nel Castanetum prima freddo, e poi Castanetum caldo. A determinarne il passaggio in questo caso è determinante la temperatura media annua nel momento in cui supera i 10°C. Per i due scenari con mitigazione si rimane in questa zona per tutto il secolo mentre per lo scenario peggiore risulta un ulteriore sfasamento, finendo nella zona del Lauretum freddo, a fine secolo. In questa fascia altitudinale si ha quindi uno scostamento di due zone fitoclimatiche, rientrando abbondantemente nel Lauretum sottozona fredda di tipo con precipitazioni distribuite durante tutto l'anno.

5.5.3 Piano Montano Inferiore

Fascia altimetrica tipica del faggio nel nord Italia. I dati qui raccolti confermano che ci troviamo pienamente nel Fagetum (Tab.18).

Tabella 18: Fasce fitoclimatiche relative al piano montano inferiore (800-1200m)

PIANO MONTANO INFERIORE					
		Anno	Fascia fitoclimatica		
			RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Trentennio 1991/2020	Fagetum	2050	Fagetum	Fagetum	Castanetum/ caldo
		2075	Fagetum	Castanetum/ freddo	Castanetum/ caldo
		2099	Fagetum	Castanetum/ caldo	Lauretum/ freddo

Nello scenario RPC 2,6 non vengono mai superati i 10°C medi annui né il grado sotto lo zero, questo fa sì che ci si mantenga nel Fagetum ma in una situazione molto simile a quella presente nel piano sub montano, quindi di transizione verso il Castanetum. Decisamente diverso è lo scenario intermedio, dove entro 50 anni è previsto il superamento dei 10°C medi annui e per fine secolo potrebbe essere superata anche la soglia dello zero termico, facendo rientrare il piano montano inferiore prima nel Castanetum freddo, poi in quello caldo. Nello scenario peggiore, dove l'aumento delle temperature è quasi esponenziale, entro fine secolo si prevede uno sfasamento di due fasce fitoclimatiche. In questo caso la temperatura media del mese più freddo si prevede possa superare il 3°C determinando così il passaggio nel Lauretum zona fredda o comunque in zona di transizione con il Castanetum caldo considerando che la media annua si manterrà sotto i 14°C.

5.5.4 Piano Montano Superiore

Alle quote maggiori considerate in questo lavoro è l'abete rosso a dominare il territorio. Questo fatto è confermato, anche se di pochi decimi di grado, dai dati raccolti validi per il trentennio 1991-2020. Come già ricordato, il periodo di riferimento è già influenzato da un certo aumento di temperature (Tab.19).

Tabella 19: Fasce fitoclimatiche relative al piano montano superiore (1200-1400m)

PIANO MONTANO SUPERIORE					
		Anno	Fascia fitoclimaticha		
			RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 8,5
Trentennio 1991/2020	Picetum	2050	Fagetum	Fagetum	Fagetum
		2075	Fagetum	Fagetum	Castanetum/ caldo
		2099	Fagetum	Fagetum	Castanetum/ caldo

In tutti gli scenari si ha uno scostamento di fascia entro metà secolo, in modo più o meno marcato si rientrerà nei valori del Fagetum. Sia con RCP 2,6 che 4.5, si prevede che non vengano mai superati i 9°C medi annui, e nemmeno gli 0°C. Come per gli altri piani, con RCP 8.5, risulta uno scostamento di due fasce già entro 50 anni da ora, ma forse in modo più accelerato risultando un salto diretto dal Fagetum al Castanetum caldo, perché nel momento in cui vengono superati i 10°C limite le medie del mese più freddo previste sono già abbondantemente sopra lo zero, sfiorando i 3°C a fine secolo, zona di transizione verso il Lauretum di tipo freddo.

5.6 Le foreste potenziali degli scenari futuri

Lo scostamento delle fasce fitoclimatiche dovute al cambiamento climatico modificherà inevitabilmente l'areale potenziale delle varie specie, espandendo le zone tipicamente più calde e riducendo quelle tipiche montane non avendo quote superiori dove spostarsi. Questo non implica un cambio di vegetazione netto, in quanto i tempi sono troppo brevi per permettere ad un ecosistema di modificarsi, in questo caso parliamo di meno di un secolo, considerando anche l'impossibilità di una qualsiasi specie arborea di riprodursi e proliferare a decine di chilometri di distanza.

In questo capitolo mi limiterò ad indicare alcune delle principali specie che potrebbero prevalere nelle condizioni previste di fine secolo alle varie altitudini e negli scenari studiati nella tesi, andando a modificare così la composizione delle formazioni attuali. Indicherò inoltre alcune delle specie potenziali che potrebbero essere introdotte.

Queste conclusioni hanno un valore relativo, in quanto basate principalmente sui regimi termici, mentre per comprendere a fondo l'evoluzione di una formazione è necessaria una conoscenza più profonda delle caratteristiche di ogni stazione presa in considerazione, capendone le caratteristiche del suolo, della sua evoluzione, della vegetazione, sia erbacea che arbustiva, dell'irraggiamento e dell'esposizione, dell'umidità ed in generale delle condizioni edafiche del terreno.

5.6.1 Piano basale

Per il piano basale si ha perlopiù un passaggio dalla sottozona fredda a quelle calda del Castanetum, dove i tipi forestali sono simili ma in uno prevalgono specie più termofile, nell'altro specie più mesofile. Per le querce della sottozona calda il leccio e il farnetto, con il cerro e la roverella che si presentano solo nelle stazioni più fresche. Nella sottozona fredda le prime due tendono a scomparire sostituiti dalle querce più mesofile e caducifoglie compresa la farnia e il rovere. Discorso simile vale per i frassini, dove il meridionale che può vegetare nella sottozona calda viene sostituito dal maggiore in quella fredda.

Nello scenario a RCP 8,5 si prevede un ulteriore scostamento di fascia passando per il Lauretum freddo fino a quello medio. Il primo mostra ancora molte similitudini con il Castanetum caldo tranne per le temperature invernali più miti che permettono l'introduzione anche di specie più mediterranee. Questa tipologia la si può trovare in Veneto nella zona del lago di Garda. La zona media si sposta ulteriormente verso un clima mediterraneo. Va però considerato che le precipitazioni in provincia di Belluno sono abbondanti e che i dati prevedono che non ci sarà una modifica del regime pluviometrico annuale, se non per l'aumento di periodi di secca e la concentrazione delle piogge in eventi estremi localizzati a livello temporale.

Questi dati creano incertezza nell'identificare correttamente quale potrà essere il sottotipo della fascia fitoclimatica. In un contesto naturale si può pensare che alcune specie più termofile e competitive già presenti possano affermarsi gradualmente nella nuova rinnovazione se le condizioni edafiche lo permettono. Il carpino bianco ed alcune querce come il rovere ne sono un esempio, anche l'orniello ed alcuni tigli potrebbero essere favoriti senza considerare il ruolo di specie alloctone ed invasive come la robinia. Altre essenze potrebbero essere invece favorite dall'uomo. A fine secolo le condizioni permetterebbero l'introduzione del leccio, tipica quercia caducifoglia e termofila, del frassino meridionale, e dell'olivo con scopi produttivi.

5.6.2 Piano sub-montano

Attualmente si trova in una zona di transizione tra il Castanetum e il Fagetum, dove prevalgono gli orno ostrieti, gli aceri frassineti, e le faggete con ostria. I dati mostrano che ci si sposterà rapidamente nel Castanetum sottozona calda, e addirittura nel Lauretum freddo nello scenario peggiore a fine secolo. La media del mese più freddo sarà superiore allo zero in tutti gli scenari segnando un netto cambio delle condizioni che permettono l'attuale presenza del faggio. Questo trovandosi già al limite del suo areale naturale potrebbe subire la dominanza da parte del carpino nero, dove già

ora c'è un avvicendarsi di uno o dell'altro a seconda della stazione in cui si trovano.
Altre formazioni come gli aceri frassineti, considerati comunque molto stabili, potrebbero gradualmente modificarsi nella composizione favorendo alcune specie al momento relegate come accessorie. Nelle zone più a valle è già presente il carpino bianco, il tiglio nostrano e la roverella che potrebbero spostarsi anche gradualmente a quote maggiori.

5.6.3 Piano montano inferiore

Fascia tipica del faggio, ma in provincia, a queste quote, è molto presente anche l'abete rosso. Le attività antropiche hanno da sempre interferito sulla distribuzione di queste specie, limitando in particolar modo il faggio utilizzato per esempio per la produzione di carbone.
Nello scenario di forte mitigazione dei gas serra le proiezioni mostrano un aumento di temperature relativamente contenuto mantenendosi nel range del Fagetum, molto simile però a quello che si può trovare nel piano sub montano, quindi favorevole all'orno-ostrieti, formazione che attualmente arriva solo a sfiorare questo piano altitudinale. È quindi ipotizzabile una permanenza del faggio ed una riduzione dell'abete rosso, con la possibilità di vedere introdotti l'orniello e l'ostria, in modo particolare su versanti esposti a sud. Anche gli acero-frassineti continuerebbero a trovarsi in condizioni termiche a loro favorevoli.

Diversa è la situazione negli scenari più severi. In questo caso lo scostamento di fascia è netto entrando nel Castanetum sottozona calda, e addirittura nel Lauretum freddo a fine secolo. In queste condizioni le specie potenziali, come il carpino bianco ed alcune querce, potrebbero essere introdotte tramite rinnovazione artificiale.

5.6.4 Piano montano superiore

Fascia dominata dall'abete rosso, qui compare anche il Larice, spesso favorito in passato dall'attività antropica considerato il pregio del suo legno. In questo caso negli scenari RCP 2,6 e 4,5 lo scostamento previsto è di una fascia spostandosi nelle condizioni termiche tipiche del Fagetum.

Attualmente il faggio non è presente a queste quote se non in esemplari sporadici che potrebbero essere favoriti dalla gestione forestale come piante portaseme. Considerando che in questi due scenari le temperature andrebbero a stabilizzarsi nel corso del secolo è auspicabile favorire il faggio ed altre specie come l'acero montano ed il frassino maggiore creando nuovi equilibri per le formazioni del futuro.

Nettamente più drastico e di difficile interpretazione è il caso dello scenario RCP 8.6, dove lo scostamento sarà di due fasce fitoclimatiche, passando dal Picetum al Castanetum caldo. In questo caso le peccete, come sta già sta succedendo attualmente, sarebbero sottoposte a ulteriori stress sia biotici che abiotici che potrebbero stravolgerne completamente il paesaggio. Eventi estremi sempre più frequenti ne favorirebbero gli schianti, e l'attacco di agenti patogeni ne aumenterebbero la mortalità. La resilienza delle specie a questi cambiamenti è ancora oggetto di studio, mentre l'ipotesi di introdurre specie mediterranee in ambiente alpino potrebbe non rivelarsi una strategia vincente.

Figura 6: Simboli specie

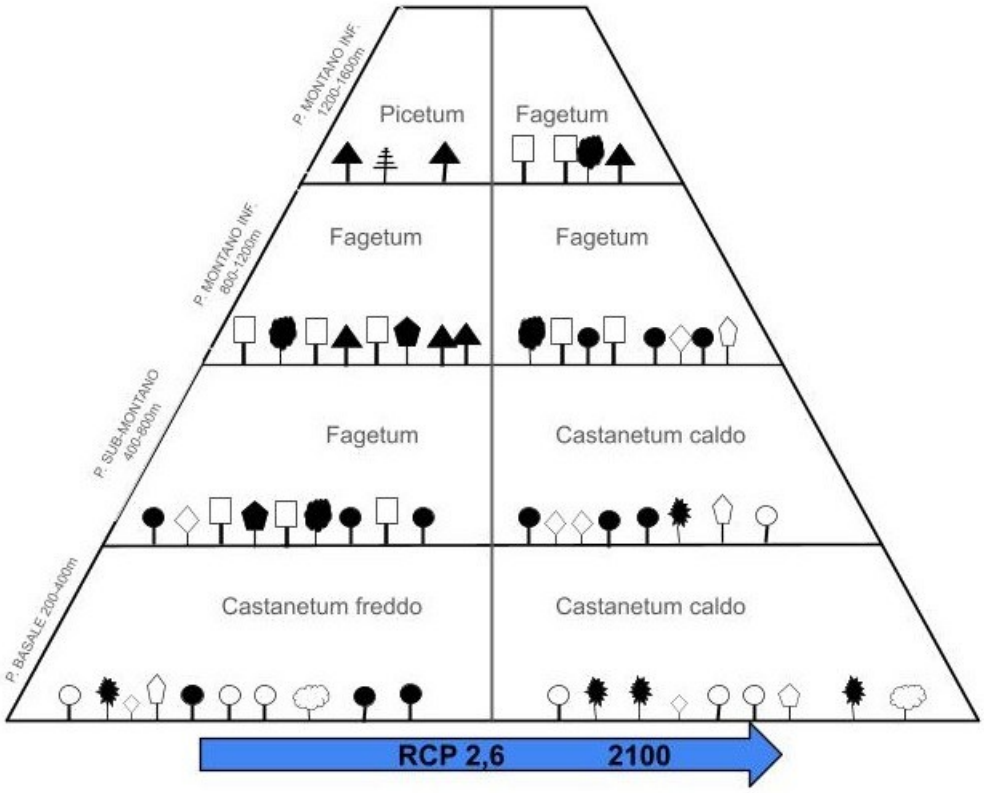

Figura 7: Transizione vegetazione con RCP 2,6

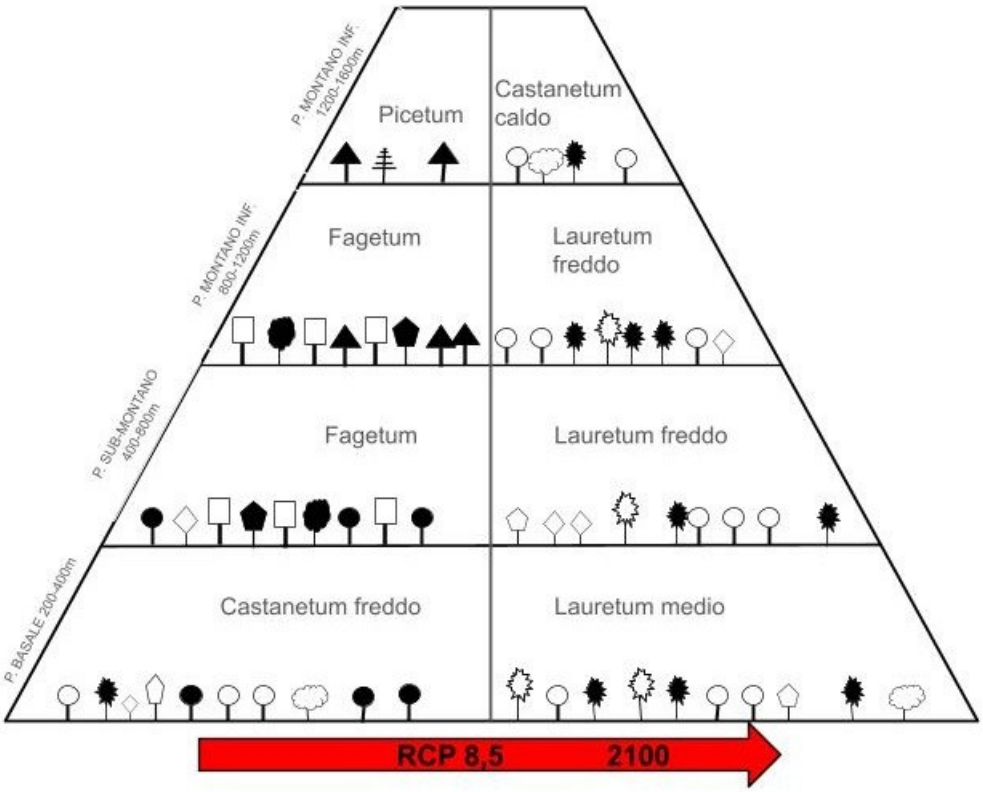

Figura 8: Transizione vegetazione con RCP8,6

6. Discussione

Una foresta è sempre soggetta a mutamenti, o fluttuazioni, nel tempo. La foresta è un ecosistema complesso composto da elementi biotici, quali animali, piante, funghi e microorganismi, ed elementi abiotici. Questi elementi interagiscono tra loro influenzandosi a vicenda. Perturbazioni di qualunque tipo che vanno a modificare l'ecosistema possono innescare processi evolutivi verso più direzioni. Il cambiamento climatico produce effetti di disturbo non solo dal punto di vista dello stress termico, ma può generare incendi, frane, forti venti e piogge, e periodi di siccità con conseguenti infezioni parassitarie.

L'innalzamento delle temperature che si sta registrando nel corso di questi decenni, sta procedendo ad una velocità mai registrata prima. La foresta può adattarsi al mutare repentino delle condizioni in cui vegeta? Molte ricerche affermano che non è possibile. Secondo Begon (Marco Paci, 2006), le foreste delle regioni temperate settentrionali si stanno ancora riprendendo dall'ultima glaciazione. Oppure lo studio effettuato da Fastovich *et al.* 2025 [7] sul polline fossile, che copre un periodo di 600.000 anni, ha dimostrato come la vegetazione ha risposto ai cambiamenti climatici su una scala temporale da centinaia a decine di migliaia di anni, ma non su scale temporali inferiori a 150 anni. Questo studio è molto interessante e merita una più approfondita rendicontazione che riporto qui di seguito:

I ricercatori hanno voluto capire con quale rapidità la vegetazione (piante e foreste) possa cambiare al variare del clima e se gli ecosistemi siano in grado di tenere il passo con il rapido riscaldamento globale.

Per farlo, hanno utilizzato dati pollinici fossili degli ultimi 600.000 anni, applicando una analisi spettrale, un metodo che consente di individuare come i fenomeni variano su diverse scale temporali (da secoli a decine di migliaia di anni).

Ecco che cosa hanno scoperto:

1) Vegetazione e clima cambiano spesso insieme, ma solo a determinate scale temporali. Le piante seguono le variazioni climatiche che avvengono nell'arco di centinaia o decine di migliaia di anni. Ciò significa che, nel lungo periodo, gli ecosistemi riescono in una certa misura a "seguire" i cambiamenti climatici.

2) Su scale temporali brevi (meno di circa 150 anni), invece, la vegetazione non riesce a tenere il passo con il cambiamento del clima.
Le foreste e le comunità vegetali rispondono troppo lentamente rispetto alla rapidità del riscaldamento attuale. Questa "disconnessione" implica che ci si può aspettare ritardi o squilibri tra la vegetazione e le nuove condizioni climatiche.

3) A volte la vegetazione cambia bruscamente, anche se il clima varia solo leggermente. In corrispondenza di alcuni cicli millenari, le comunità vegetali hanno mostrato transizioni improvvise, segno di processi non lineari o di soglia: piccoli cambiamenti climatici possono innescare grandi trasformazioni ecologiche.

4) La risposta dipende anche dalla latitudine. La vegetazione nelle regioni tropicali è più stabile e meno sensibile ai cambiamenti climatici, mentre alle latitudini più elevate (zone temperate e polari) risulta più variabile e reagisce in modo più marcato alle variazioni di temperatura.

In sintesi
La vegetazione segue il clima su lunghi periodi;
reagisce lentamente o per nulla ai cambiamenti climatici rapidi e
talvolta può cambiare in modo improvviso e imprevedibile.

Questo significa che l'attuale riscaldamento globale di origine antropica sta avvenendo molto più velocemente di quanto gli ecosistemi possano naturalmente adattarsi, e che molte foreste e comunità vegetali rischiano di trovarsi in squilibrio con il nuovo clima per secoli a venire.

È noto che la migrazione degli alberi avviene ad una velocità di pochi chilometri al secolo [8].

Il futuro dipenderà molto dagli sforzi che saranno messi in atto per diminuire l'emissione di componenti ad effetto serra. In uno scenario di forte mitigazione, secondo i dati ottenuti, gli effetti sugli ecosistemi sarebbero fortemente contenuti, le temperature si stabilizzerebbero già da metà secolo, e le nuove condizioni porterebbero certamente la vegetazione al limite del loro areale naturale, ma forse ancora entro la loro capacità di adattamento.
Nello scenario peggiore invece lo scostamento sarebbe di due fasce fitoclimatiche, costringendo la vegetazione ad affrontare condizioni completamente al di fuori del loro areale naturale di cui ancora non si conoscono gli effetti.

Aiutare le foreste ad adattarsi può essere una pratica utile? Un articolo pubblicato su Bordeaux Science Agro nel 2025 [9], si interroga se una migrazione assistita sia una soluzione auspicabile. Secondo quanto afferma, spostare una foresta mediterranea nelle regioni alpine potrebbe peggiorare il bilancio energetico ed essere dannoso per la lotta al riscaldamento globale. Suggerisce invece che sarebbe opportuna una migrazione assistita intraspecifica attraverso *flusso genetico assistito.* Questo comporterebbe il reperimento di provenienze, sotto forma di semi, in regioni più calde e secche, pur rimanendo all'interno dell'areale nativo della specie, e l'introduzione di queste in una miscela con provenienze più locali, aumentando così la diversità genetica.

Rimangono aperte però ancora molte domande sugli effetti del cambiamento climatico. Inoltre le attuali conoscenze sulle strategie di adattamento degli alberi in risposta a condizioni climatiche estreme, prossime ai loro limiti fisiologici, risultano ancora parziali.
Il raggiungimento degli obiettivi dell'accordo di Parigi si prospetta come l'unica soluzione che potrebbe preservare intatti gli ecosistemi come li conosciamo oggi.

7. Bibliografia e sitografia

1. ARPAV. Clima e cambiamenti climatici in Veneto. Report di aggiornamento sullo stato dei lavori nell'ambito di: Accordo di collaborazione interistituzionale ex art. 15 della Legge n. 241/1990 e ss.mm.ii. per attività propedeutiche alla elaborazione della Strategia Regionale sui Cambiamenti Climatici. 2022 Dec.
2. Del Favero R, Lasen C. La vegetazione forestale del Veneto. Padova, Italy: Libreria Progetto; 1993. Available: https://opac.bncf.firenze.sbn.it/bncf-prod/resource?uri=BVE0053574&v=l
3. Susmel L, Viola F. Principi di ecologi. Fattori ecologici, ecosistema, applicazioni. Padova, Italy: CLEUP; 1990.
4. Pavari A. Lineamenti di selvicoltura comparata su basi ecologiche. Atti della R Accademia dei Georgofili, Quinta serie. 1932;XXIX: 1–31.
5. Paci M. Aldo Pavari. Treccani, Dizionario Biografico degli Italiani. istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani; 2014.
6. Paci M. Ecologia forestale. Elementi di conoscenza dei sistemi forestali applicati alla selvicoltura. 3rd ed. Edagricole Calderini; 2011. Available: https://www.amazon.it/forestale-conoscenza-forestali-applicati-selvicoltura/dp/8850653239#detailBullets_feature_div
7. Fastovich D, Meyers SR, Saupe EE, Williams JW, Dornelas M, Dowding EM, et al. Coupled, decoupled, and abrupt responses of vegetation to climate across timescales. Science (1979). 2025;389: 64–68. doi:10.1126/science.adr6700
8. Lazarus ED, McGill BJ. Pushing the Pace of Tree Species Migration. PLoS One. 2014;9: e105380. doi:10.1371/journal.pone.0105380
9. Carcaillet C, Lenoir J, Decocq G, Michalet R, Domec J, Delerue F. Planter des arbres venus de régions sèches : la « migration assistée », une fausse bonne idée ? In: The Conversation. L'expertise universitaire, l'exigence journalistique [Internet]. 25 Jan 2024 [cited 6 Nov 2025]. doi:10.64628/AAK.xyhcr64tq