



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI
CORSO DI LAUREA IN VALORIZZAZIONE E
TUTELA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO
MONTANO

RELAZIONI CLIMA-ACCRESIMENTO IN BOSCHI
DI ABETE ROSSO DELLA VALLE CAMONICA

Relatore: Prof. Giorgio Vacchiano

Elaborato finale di: Damiano Massoli

Matricola: 871867

Anno accademico: 2018-2019

INDICE:

| | |
|--|----|
| 1. Riassunto..... | 3 |
| 2. Introduzione..... | 4 |
| 2.1 Climate change..... | 4 |
| 2.2 Problematiche <i>Picea abies</i> | 15 |
| 2.3 Dendrocronologia..... | 17 |
| 3. Obiettivo..... | 21 |
| 4. Materiali e Metodi..... | 21 |
| 4.1 Area di studio..... | 21 |
| 4.2 Inquadramento Territoriale..... | 22 |
| 4.3 Inquadramento Geologico..... | 22 |
| 4.4 Inquadramento Pedologico..... | 23 |
| 4.5 Inquadramento Climatico..... | 24 |
| 4.6 Rilevazioni in campagna..... | 25 |
| 4.7 Operazioni a Tavolino..... | 26 |
| 5. Risultati..... | 31 |
| 6. Discussione..... | 45 |
| 7. Conclusioni..... | 49 |
| 8. Bibliografia..... | 52 |

RIASSUNTO

Il clima in tutte le sue sfaccettature influisce sulla vita di tutti gli esseri viventi, comprese le piante. In questo studio si è cercato di rilevare come le anomale condizioni climatiche, nei parametri di temperatura e precipitazioni influiscono sugli accrescimenti di un bosco di Abete rosso (*Picea abies*) situato al limitare superiore del bosco in Vallecamonica. Si è utilizzato lo strumento della dendrocronologia per misurare e datare gli anelli presenti all'interno del fusto di 50 abeti suddivisi in 3 classi diametriche 1) <35cm, 2) 35-50cm, 3) >50cm. I dati rilevati sono stati analizzati tramite software dendrocronologici dai quali si è ottenuta una analisi climatica sulle basi degli accrescimenti annuali. In generale si può affermare che le 3 classi hanno risposto con un andamento simile, più marcato nelle classi più grandi rispetto che in quella più piccola, ciò significa che gli individui più giovani hanno risposto meno agli stimoli climatici dei parametri considerati, dimostrando un maggior adattamento rispetto agli individui più vecchi. Le analisi climatiche svolte hanno evidenziato un incremento delle temperature durante tutto l'anno, con risposte negative registrate a luglio e agosto, valori di coefficiente di funzioni di risposta che variano da -0.10 a -0.20. Le stesse temperature che sembrano limitanti nei mesi estivi, favoriscono invece il rifornimento idrico nei mesi primaverili attraverso la fusione della neve accumulata. Nel mese di marzo in classe 2 si rileva coefficiente delle funzioni di risposta di +0.21 che dimostra un'ottima dipendenza della grandezza dell'anello dalle precipitazioni, che hanno la tendenza a calare, ci si aspetta quindi in futuro un minor accrescimento su questo mese. Queste informazioni unite ai coefficienti delle temperature di maggio (+0.15 < coeff. < +0.21), indicano una buona risposta dell'Abete alle nuove condizioni climatiche, con sensibilità positive in primavera e negative in estate.

2. INTRODUZIONE

Quello degli effetti di un aumento della temperatura del pianeta sull'accrescimento delle piante è uno degli argomenti più interessanti e discussi, gli ecosistemi forestali di alta quota sono stati largamente studiati per comprendere le ragioni per cui gli alberi sono incapaci di sopravvivere al di sopra di una certa altitudine. Questi ambienti, inoltre, stanno assumendo una notevole importanza perché vengono considerati validi indicatori di possibili cambiamenti climatici (Pisaric et al. 2003), sono inoltre ritenuti molto sensibili all'aumento della temperatura, in particolar modo di quella durante il periodo vegetativo (Callaghan et al. 1998). Inoltre, tutte le zone ecotonali (in prossimità del limite della vegetazione), appaiono indicatori attendibili di possibili cambiamenti ambientali dato che rappresentano la manifestazione fisica del limite di sopravvivenza delle specie (Luckman et al. 1998). Il limite del bosco, quindi, può essere considerato zona di elezione per l'individuazione dei cambiamenti ambientali e per la definizione dei possibili effetti sulla vegetazione.

2.1. CLIMATE CHANGE

2.1.1. Clima

Il clima riveste un ruolo basale per la sopravvivenza di tutti gli esseri viventi. Il clima non è costante nel tempo, ma è soggetto a costanti variazioni, se queste variazioni avvengono in un lasso di tempo molto breve, possiamo parlare di cambiamento climatico. Il clima è influenzato da diversi fattori: i primi fattori da considerare sono cosmici (e quindi non controllabili) e riguardano il sistema solare. L'attività solare è fondamentale sia per l'apporto di energia luminosa, che permette la fotosintesi, ma anche per la frequenza e l'intensità delle sue radiazioni che incidono direttamente sulla temperatura e sull'effetto serra. Abbiamo inoltre una serie di fattori che ci riguardano molto più da vicino, che sono interni alla terra. Il primo tra tutti è la composizione atmosferica, in secondo luogo la distribuzione dei continenti rispetto all'acqua, che si ripercuote inesorabilmente sulle correnti oceaniche, le quali sono fondamentali per l'andamento climatico a livello

mondiale. Le correnti tramite la variazione di temperatura sono in grado di influenzare gli spostamenti di grandissime masse di aria, dando origine a tutti i fenomeni climatici perturbativi. Tra gli altri fattori interni al pianeta, negli ultimi 3000 anni si è aggiunto anche quello antropico, l'uomo da quando ha iniziato a modificare ciò che gli sta attorno per comodità, ha intrapreso un ruolo fondamentale anche per quanto riguarda la situazione climatica. Partendo dall'agricoltura, fino a arrivare alle grandissime emissioni di CO₂, collocabili a partire dal 1750 dove si ipotizza ci fosse una concentrazione di circa 280ppm, ma di molto incrementate negli ultimi 50 anni come rilevato da NOAA che nel 1960 registrava 320ppm, mentre nel 2015 erano già a 400ppm. La crescente concentrazione di CO₂ infatti viene riconosciuta come la principale causa dei cambiamenti climatici in atto.

2.1.2. Effetto serra

“I numeri non mentono, stiamo ancora emettendo troppo. Gli ultimi anni hanno visto un'enorme crescita delle rinnovabili, ma dobbiamo ora raddoppiare gli sforzi per garantire che le nuove tecnologie a basse emissioni di carbonio siano in grado di prosperare, abbiamo già molte delle soluzioni per affrontare questa sfida. Ci vuole ora la volontà politica globale e un nuovo senso di urgenza. Il tempo è prossimo a scadere. E riguarda tutti noi, nessuno escluso.” (Erik Solheim, responsabile dell'ambiente delle Nazioni Unite)

L'effetto serra è fondamentale per la vita sulla terra, senza di esso la temperatura sul nostro pianeta sarebbe troppo bassa per lo sviluppo della vita, nello specifico l'acqua non riuscirebbe a raggiungere la temperatura di fusione, restando quindi indisponibile. Gran parte dei raggi solari che penetrano la nostra atmosfera vengono trattenuti per assorbimento da tutte quelle superfici che risultano colorate, ovvero che assorbono le lunghezze d'onda di tutti gli altri colori, riflettendo quelle del colore visibile. Queste superfici inoltre rilasciano delle radiazioni infrarosse, che però essendo deboli, vengono trattenute ad opera di gas quali H₂O, CO₂, CH₄, O₃ che mitigano quindi la temperatura terrestre. Questo sistema si trova in un equilibrio molto precario, ed il fattore antropico è la principale causa della sua instabilità, l'uomo con le sue molteplici attività (soprattutto in campo industriale) produce grandi immissioni di gas serra, contemporaneamente al fatto

che agisce negativamente (deforestando) sul fattore regolatore di queste emissioni, cioè le foreste (Fig.1). (IPCC, 2018)

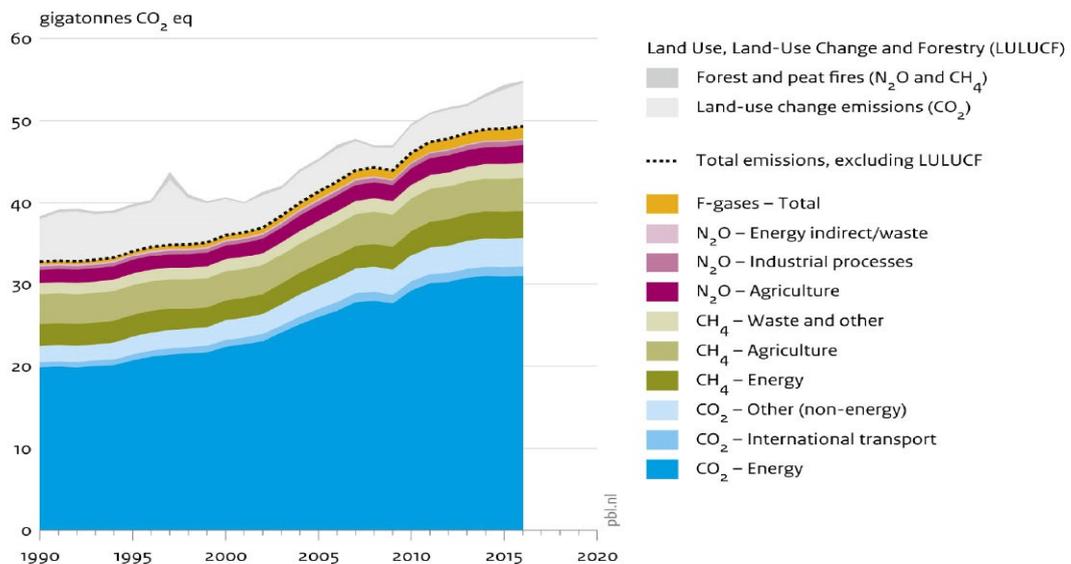


Figura 1 trend delle emissioni totali di gas ad effetto serra (EDGAR emissions database)

Come possiamo notare, la CO₂ rappresenta quasi il 70% delle emissioni totali di gas ad effetto serra, per lo più derivanti dalla produzione di energia, per questo viene utilizzata come punto di riferimento per la rilevazione dell'effetto serra, infatti la temperatura media globale cresce in modo proporzionale rispetto alla CO₂ presente in atmosfera.

Nel 2017 il livello di CO₂, misurata in ppm (parti per milione) era a 402ppm (Fig.2), ad oggi siamo già saliti sopra le 414ppm (Williet et al. 2019), queste concentrazioni di CO₂ non si registravano sul nostro pianeta da oltre 2 milioni di anni (NOAA. 2018),

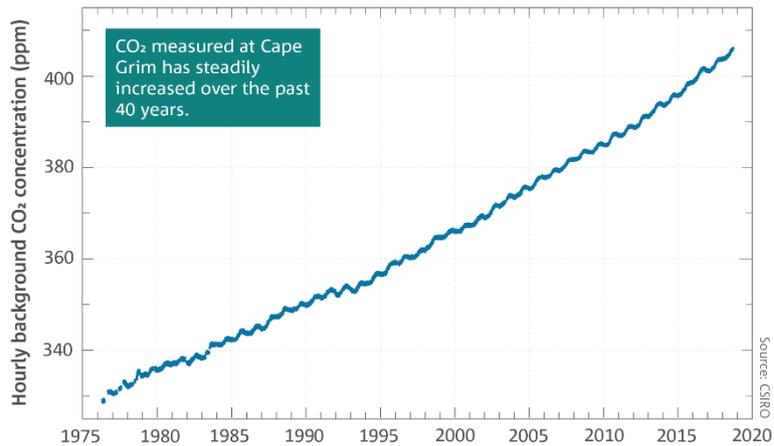


Figura 2 Rilevazioni CO₂ in ppm a Cape Grim (AUS) (CSI RIO, 2016)

Il CH₄ (metano) ha anch'esso raggiunto un record nel 2016, ovvero 1.853 ppb (parti per miliardo), una concentrazione pari al +257% rispetto i livelli preindustriali (NOAA, 2016)

Ed anche per quanto riguarda il diossido di azoto (N₂O), siamo testimoni di una crescita del 122% rispetto ai livelli preindustriali, con un valore di 328,9 ppb. L'N₂O contribuisce all'assottigliamento dello strato di ozono. (NOAA, 2016)

2.1.3. Aumento Temperature

I gas a effetto serra, producono a cascata una serie di effetti sul nostro pianeta a partire dall'aumento delle temperature medie, le quali sono costantemente monitorate e rilevate, nello specifico negli ultimi 150 anni la temperatura media globale è salita di circa 1,5°C (Fig.3)

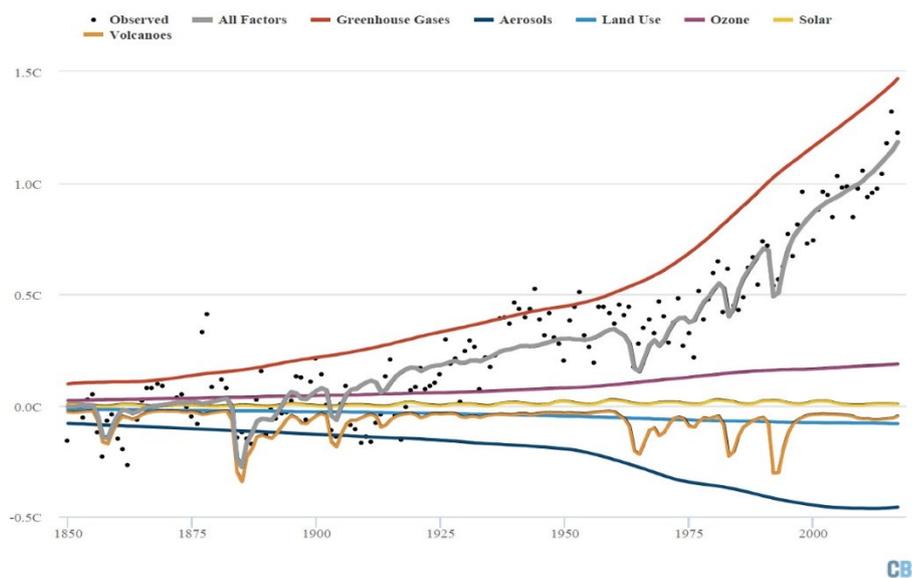


Figura 3 Temperatura media superficiale globale i puntini sono le rilevazioni, la linea grigia la tendenza (CarbonBrief)

L'aumento delle temperature ha un impatto enorme sulle specie vegetali, le quali si sono adattate nel corso di milioni di anni a sopravvivere in una certa condizione, questa condizione corrisponde all'areale di distribuzione di queste piante. Le piante si distribuiscono quindi in base alle condizioni climatiche, che in Italia possono essere così schematizzate(Fig.4):

| Zona climatica | temperatura media: (°C) | | |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------|-----------------|
| | Annua | mese più freddo: | mese più caldo: |
| Alpinetum | < 2° | < -20° | > 10° |
| Picetum | 3°/6° | > -6° | > 15° |
| Fagetum | 6°/12° | > -4° | - |
| Castanetum | 10°/15° | > -1° | - |
| Lauretum-(sottozona medio-fredda) | 12°/18° | > 3° | - |
| Lauretum-(sottozona calda) | 15°/23° | > 7° | - |

Figura 4 Zone fitoclimatiche (Pavari. 1916)

Le fasce climatiche hanno un range di temperature medie annue molto vicino tra di loro, il cambiamento climatico imposto nell'ultimo secolo ha come conseguenza il fatto che le specie che rientrano all'interno di una fascia climatica tenderanno a crescere di quota per seguire il trend di temperature più vicino alla loro esigenza, mezzo grado corrisponde a circa 100 m di quota (Bernetti. 2007), pertanto con un innalzamento atteso delle

temperature tra i 2 e i 5°C nell'arco alpino nel prossimo secolo (NOAA. 2016), ci si attende una crescita di quota di 400m nel più roseo degli scenari. Non solo, le specie oltre a spostarsi verso l'alto, hanno anche la tendenza a spostarsi verso latitudini maggiori, dove le radiazioni solari arrivano con un angolo ben più acuto, ed intensità molto minore rispetto alla zona equatoriale.

2.1.4. Scenario futuro in italia

l'Italia insieme al tutto il mediterraneo è una delle zone che più risentono del cambiamento climatico (Giorgi. 2006). Queste zone hanno influenze sia dalle correnti continentali che arrivano dal nord Europa, sia dalle correnti ben più calde provenienti dal nord dell'africa, che uniti alla variabilità orografica rendono molto vario il clima nei nostri territori (Bucchignani et al.2015) svariati rapporti stilati da IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) espongono proiezioni elaborate da EURO-CORDEX (un'iniziativa europea volta a fornire proiezioni future le più precise possibili riguardo il cambiamento climatico) con il fine di attuare velocemente misure atte a evitare scenari drastici. Seguono 2 scenari futuri italiani RCP4.5 e RCP8.5, centrati su temperature e precipitazioni, per comprendere meglio la situazione nella quale potranno trovarsi le specie vegetali nei prossimi 30 anni. Le proiezioni climatiche impiegate, sono state realizzate con il modello RCM COSMO CLM (Rockel et al. 2008) nella configurazione ottimizzata dal CMCC sull'Italia (Zollo et al. 2016) seguendo due dei quattro scenari pronosticati (Representative Concentration Pathways RCP) dalla comunità scientifica internazionale con i rapporti IPCC. i 2 scenari presi in considerazione (Fig. 5/6) rappresentano rispettivamente valori di emissioni medi (con incremento delle temperature di 2°C entro fine secolo, scenario 1) e alti (con incremento pari a 4°C entro fine secolo, scenario 2), che sono i due più comunemente utilizzati, per un periodo dal 2021 al 2050, rispetto ai dati di riferimento dal 1981 al 2010.

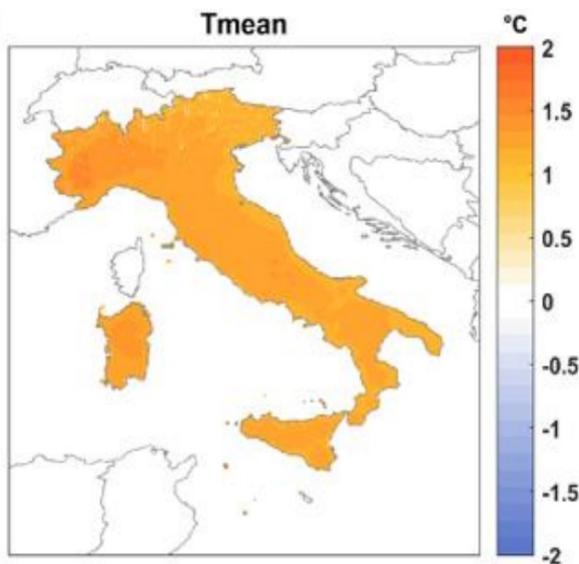


Figura 5 Temperatura media scenario 1(IPCC 2017)

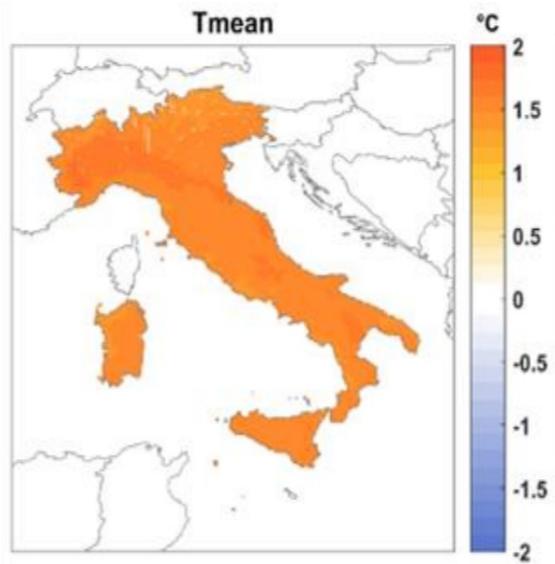


Figura 6 Temperatura media scenario 2(IPCC 2017)

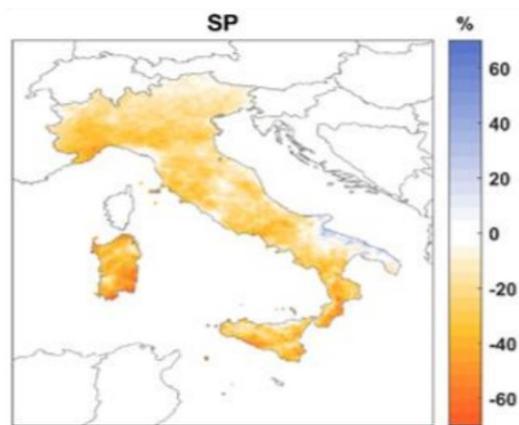
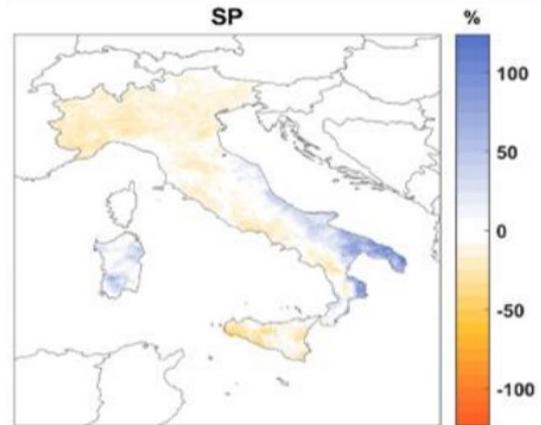


Figura 7 Precipitazioni estive scenario 1(IPCC. 2017)



scenario 2

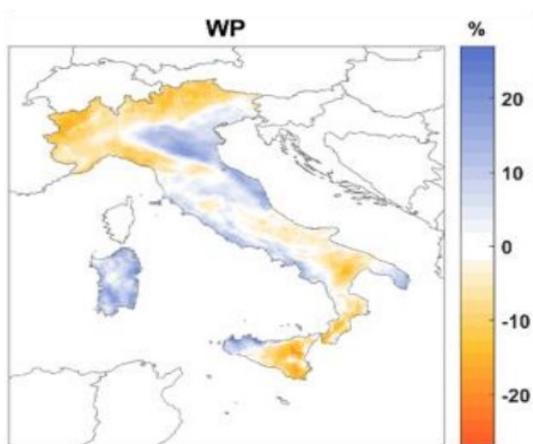
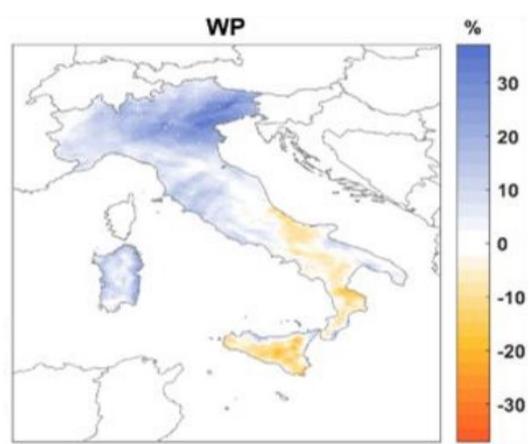


Figura 8 Precipitazioni invernali scenario 1(IPCC. 2017)



scenario 2

Questi pronostici sono allarmanti dal punto di vista delle temperature, in aumento esponenziale su tutta la penisola, in rialzo di circa 1 °C nello scenario più morbido, e di quasi 2 °C nello scenario più drastico, anche se si riscontrano pronostici ben più interessanti nei modelli delle precipitazioni (Fig.7,8.) i quali evidenziano nello scenario 1 una diminuzione delle precipitazioni durante tutto l'anno nella regione alpina, con cali fino al 20% durante l'estate, mentre durante l'inverno "solamente" del 10%. Nello scenario 2 invece troviamo, durante la stagione estiva, la quantità annua di pioggia abbastanza invariata, contrapposta a una stagione invernale che ne evidenzia un incremento fino al 20%. (Mercogliano et al. 2016)

2.1.5 Lombardia

Temperature:

Dal 1901, i valori mostrano un incremento della temperatura media annuale di circa 2.2°C (Fig.9): un aumento non costante ma con alcune differenze. Infatti, mediamente si evidenzia un incremento di circa 0.3°C/decennio, ma - se si considerano gli anni successivi al 1961 - si osserva un aumento fino a 0.4°C/decennio. Questo incremento, evidenziato su base stagionale è maggiore in inverno sugli estremi massimi (+0.5°C/decennio) e in estate sugli estremi minimi (+0.5°C/decennio). Riguardo all'analisi di alcuni indici climatici, ci si avvicina a un raddoppio del numero di notti tropicali (durante le quali la temperatura non scende al di sotto dei 20°C): nel periodo 1991-2018 sono state 50-60/anno, mentre tra il 1961-1990 se ne sono rilevate annualmente una trentina. Considerazioni analoghe anche per il numero di giorni di gelo, che al contrario calano: nell'ultimo periodo il loro numero varia tra 0 e 10 all'anno, con un trend di diminuzione di circa 5gg/10 anni dal 1951.

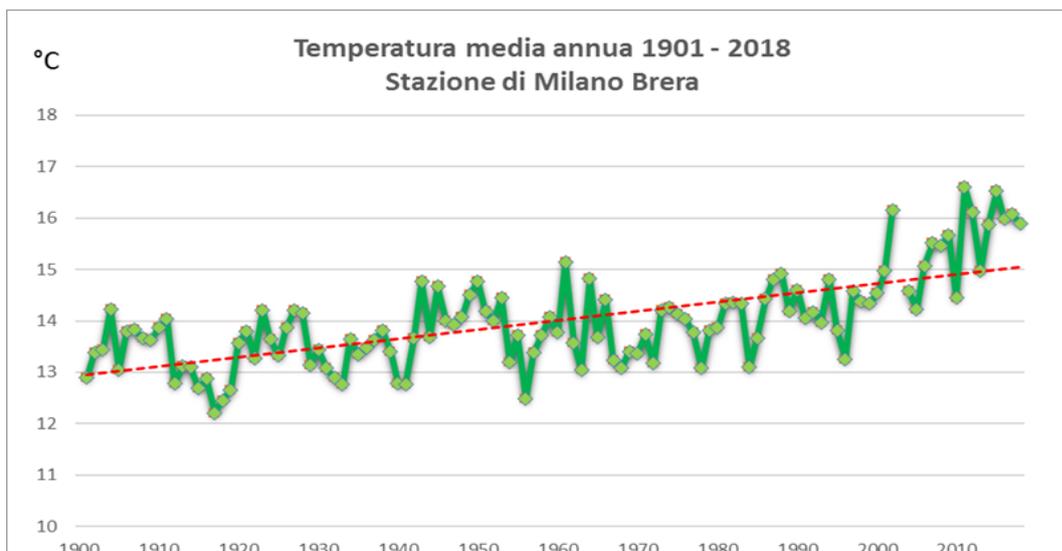


Figura 9 Temperature medie annue registrate a Milano (ARPA Lombardia)

Precipitazioni:

Molto più complessa la valutazione sul trend delle precipitazioni. Analizzando i dati di precipitazione cumulata annuale si nota, sempre a partire dal 1900, una lieve diminuzione. Un segnale poco evidente che trova riscontro soprattutto osservando i valori cumulati nella sola stagione estiva.

A sostegno di questo dato, che numericamente può essere espresso nell'ordine dei -12 mm/ decennio, si osserva che, a partire dal 1951, il massimo numero di giorni consecutivi senza precipitazioni in estate è raddoppiato con maggiore frequenza dopo il 1990. (ARPA Lombardia)

2.1.6. Livello globale

Ma come si sta muovendo la comunità internazionale? A livello mondiale si è presa coscienza formalmente di questo fatto con il summit di rio (1992) (prima conferenza mondiale sui cambiamenti climatici) che però non poneva alcun vincolo di emissioni. Segue il protocollo di Kyoto, stilato nel 1997 e sottoscritto da 160 paesi, Europa ed Italia nel 2001. Ma che entra effettivamente in vigore nel 2005 quando anche la Russia sottoscrive il trattato arrivando così al minimo richiesto dal trattato stesso: 50% di emissioni tra paesi sottoscrittenti e il totale delle emissioni globali. Questo trattato internazionale prevede l'obbligo di riduzione del 5,2% (Europa 8%) di gas serra fra il 2008 e il 2012 rispetto ai

parametri del 1990. C'è inoltre un secondo obiettivo per il periodo 2013-2020 che prevede un'ulteriore riduzione di emissioni dei gas effetto serra del 18% (Europa 20%) (sempre rispetto ai livelli preindustriali), esclusi USA, che non hanno mai sottoscritto il trattato, e Russia che non ha preso parte alla seconda parte del trattato. Esclusi poi i paesi non ancora industrializzati perché ritenuti molto penalizzati dal punto di vista economico. L'ultimo in ordine dei trattati internazionali sul clima è stato l'accordo di Parigi (2015) che stabilisce (art. 2) un impegno a mantenere la temperatura globale ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali con la formazione di 2 organi, uno con il compito di governare sull'effettiva attuazione delle disposizioni di ogni singolo stato ed eventualmente anche di sanzionare gli stati trasgressori (Enhanced Transparency Framework o "aumentata cornice di trasparenza"), l'altro ha il compito di valutare e controllare i resoconti riguardanti le manovre attuative atte a ridurre le emissioni che tutti gli stati sottoscrittori devono presentare ogni 5 anni. Un secondo grande obiettivo è stato quello di mettere a disposizione, da parte dei paesi industrializzati, risorse finanziarie sempre maggiori per sostenere lo sviluppo tecnologico dei paesi in via di sviluppo così da raggiungere il valore massimo di emissioni a livello globale, per attuare rapide riduzioni in seguito. (art. 4). Il terzo punto riguarda invece l'efficienza delle azioni volte alla riduzione di emissioni. In pratica l'accordo sancisce (come derivata del "Clean Development Mechanism" già introdotto nel protocollo di Kyoto) che si possono ridurre le emissioni anche investendo nella riduzione delle emissioni di un altro paese, questo meccanismo fa guadagnare certificati di riduzione di emissioni, che possono essere compra-venduti in un mercato che si inizia a intravedere proprio con questo accordo, unito al fatto che i CER (certificati riduzione emissioni) vengono assegnati anche per la riduzione di emissioni tramite la salvaguardia delle foreste che incide fino al 15% sulle emissioni globali. Nonostante molte nazioni si stiano impegnando nella conversione da energia non rinnovabile in energia "green", la quantità di emissioni a livello globale continua a salire (Fig.10). I trattati finora stilati sono più "morbidi" nei confronti dei paesi in via di sviluppo (Art.4), tra i quali troviamo Cina e India, due tra i paesi più popolati al mondo, che con l'avvento dell'industrializzazione stanno di molto contribuendo alle emissioni di gas serra. (Fig.11)

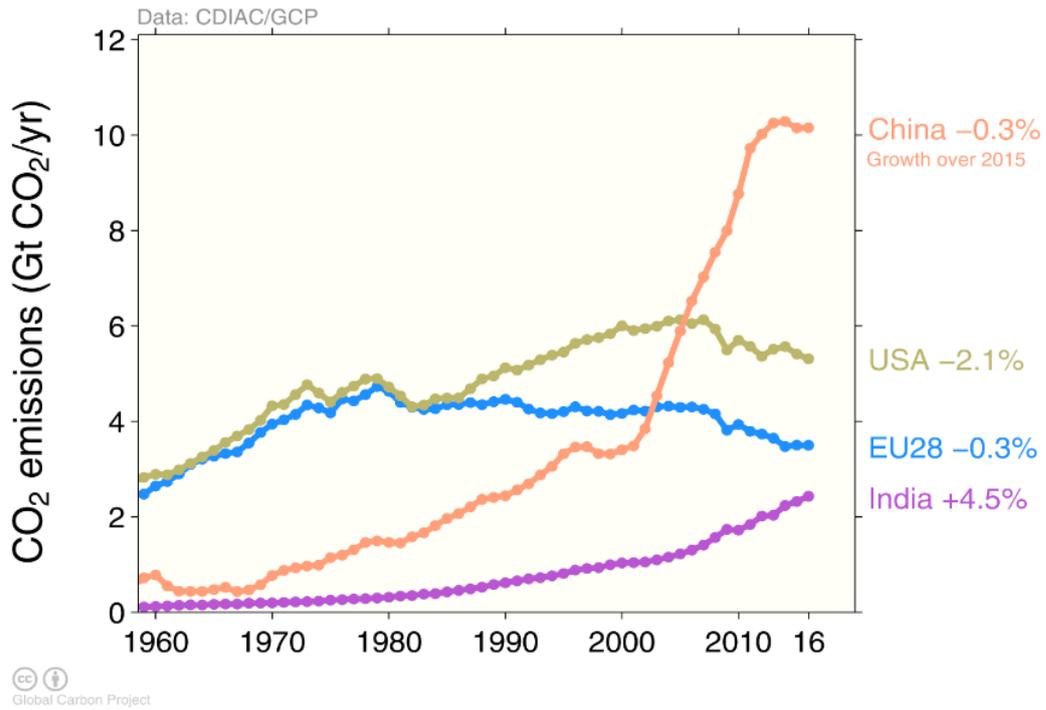


Figura 10 Emissioni di CO₂ di Europa, USA, India e Cina in Gton (CDIAC)

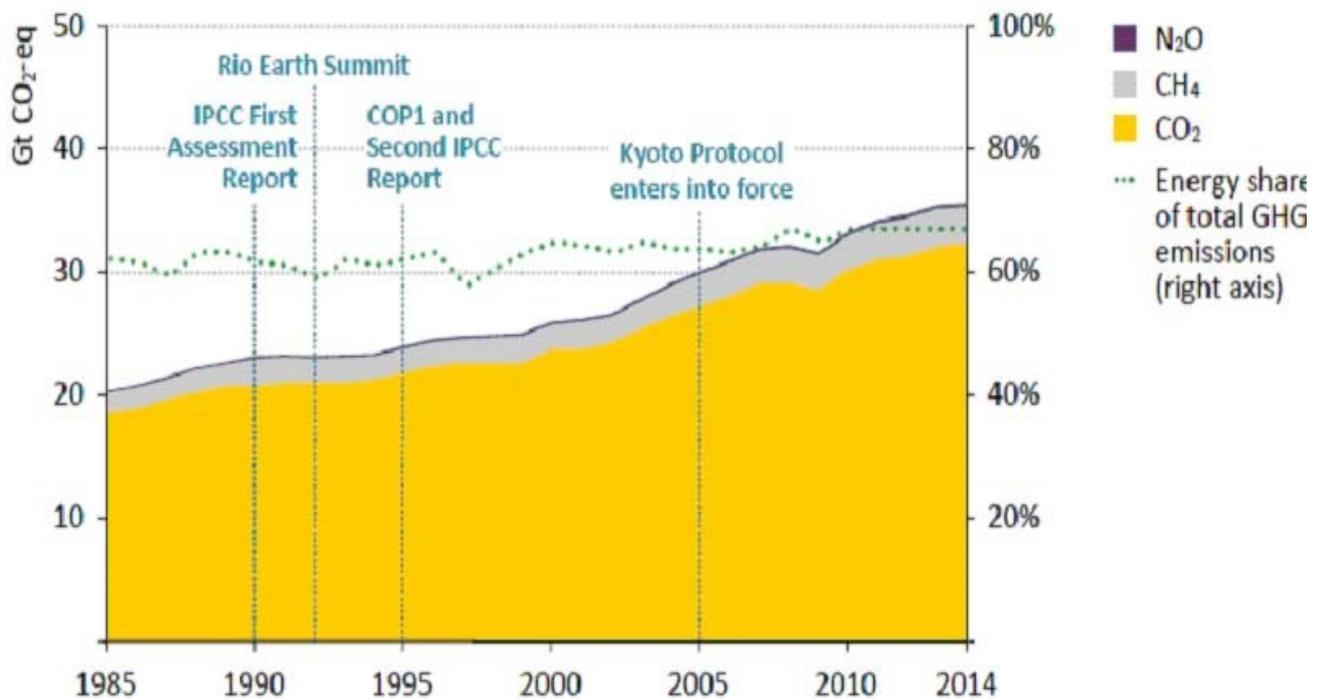


Figura 11 Emissioni principali gas serra dal settore energia, in evidenza i principali summit a livello mondiale con tema ambientale (EDGAR emissions database)

“Se il gap non viene annullato o ridotto in modo significativo entro il 2020, la chance di molte delle opzioni per limitare l'aumento della temperatura ad un target inferiore a +1,5°C sarà nulla, ed aumenterà ulteriormente la necessità di ricorrere ad eccezionali e rapidi aumenti dell'efficienza energetica o all'uso “carbon negative” delle biomasse con la cattura e stoccaggio del carbonio” (comitato scientifico internazionale 2013)

2.2. PROBLEMATICHE *Picea abies*

2.2.1. Problematiche abiotiche

In Italia, *Picea abies* è la pianta forestale dominante sulle Alpi. L'area naturale dell'Abete rosso è la fascia con clima a temperatura media annua di 4-7°C ed elevata continentalità, condizioni queste che si presentano sul versante italiano soltanto a 1500-1700 m. Qui la pedogenesi conduce verso un substrato acido, tendenzialmente con pochi nutrienti, questa condizione unita ai cambiamenti climatici, pesa sull'accrescimento dell'Abete rosso. La graduale diminuzione delle precipitazioni estive favorisce di molto un clima siccitoso, questa condizione si manifesta con una diminuzione della superficie fogliare che può arrivare in caso di assenza di acqua fino al 33%, (Christiansen et al. 1990) nell'anno in corso. È stato inoltre misurato un aumento degli individui che presentano una chioma gialla nell'anno successivo alla carenza idrica estiva (Solberg. 2004) che nei casi più gravi (unito all'effetto di patogeni che preferiscono sempre piante sofferenti) sfociava nella morte dell'individuo. L'acqua è basale per qualsiasi attività cellulare all'interno delle piante, in quanto tutte le sostanze utilizzate vengono trasportate, sia a livello cellulare ma soprattutto sistemico, disciolte in acqua. L'acqua risulta fondamentale anche nei processi di fotosintesi e quindi di guadagno energetico. È importante anche per lo scambio gassoso in quanto mantiene le cellule di guardia turgide (Event et al. 2013). Insomma dall'acqua dipende la vita stessa della pianta. C'è quindi un rapporto che risulta proporzionale tra la

quantità di acqua disponibile alla pianta e l'accrescimento che essa sviluppa. Non solo, come già premesso le piante possiedono una certa capacità di adattamento, se si prende come caso di studio un sito storicamente secco, le piante risponderanno in maniera differente che in un sito tendenzialmente più umido rispetto al fattore siccità. Infatti in siti aridi, le piante di Abete rosso risentono della carenza idrica, ma solo nei mesi che intercorrono tra maggio e agosto, con indici di correlazione negativa riferiti alla variabilità di crescita dell'anello che non superano -0.39 , mentre in siti più umidi, le piante, meno abituate, stanno rispondendo in maniera ben più drastica rispetto alla carenza idrica, soffrono questa condizione dimostrando accrescimenti limitati sia nella prima fase di crescita, e quindi influenzati dalle condizioni dell'anno precedente nei mesi autunnali, sia nella seconda fase di accrescimento, e quindi influenzati dall'anno in corso nei mesi da aprile a settembre con dei picchi ad agosto di -0.72 (Levesque et al. 2013).

L'abete soffre quindi moltissimo la carenza idrica soprattutto nel periodo estivo, ma anche nei periodi tardo primaverili dell'anno precedente la formazione dell'anello (Levasque et al. 2013) (Ježík et al. 2015), con gravissime conseguenze sulla salute e quindi sull'accrescimento radiale. In Italia purtroppo la tendenza del clima è proprio quella di andare verso estati sempre più calde e secche in perfetto contrasto con le condizioni ottimali per la crescita dell'Abete rosso.

2.2.2. Problematiche biotiche

Il cambiamento climatico in atto modifica il funzionamento degli ecosistemi, è quindi di vitale importanza anche per l'areale di distribuzione del patogeno principale dell'Abete rosso, cioè un coleottero scolitide: *Ips typographus*, l'aumento delle temperature minime invernali e la variazione di intensità ed areale di distribuzione delle precipitazioni condiziona una migrazione di questo insetto verso zone alle quali prima accedeva difficilmente, questi areali comprendono per gran parte zone colonizzate da Abete rosso.

Il bostrico tipografo (*Ips typographus*) è uno degli insetti più dannosi alle foreste di Abete rosso (Salvadori et al. 2008) i cui attacchi sono favoriti dalla siccità primaverile, nelle Alpi fino a circa 1.000-1.200 m l'insetto può completare due generazioni (Bernardelli 2008) Si teme che i cambiamenti climatici (alte temperature primaverili) gli permetteranno presto di completare tre generazioni in un anno. Le variazioni climatiche possono avere effetti

diretti importanti anche agendo per esempio sulla sopravvivenza di alcuni stadi di sviluppo degli insetti forestali. La mortalità invernale del bostrico è strettamente dipendente dalle temperature minime invernali ma anche dallo stadio di sviluppo considerato, l'aumento delle temperature registrate incide quindi sia sugli stadi larvali, che sull'insetto adulto in modo molto positivo per il suo proliferare.

La vulnerabilità di popolamenti di questo tipo, cioè coetanei e prevalentemente monospecifici si manifesta in particolare a seguito di eventi climatici estremi, come tempeste, gelo e siccità, dopo i quali si verificano spesso attacchi d'insetti o funghi patogeni (Faccoli. 2009), tali perturbazioni sono in realtà componenti normali degli ecosistemi forestali naturali e ne indirizzano l'evoluzione in base alla loro resilienza (Holling. 1973), questa resilienza però è messa in discussione dagli stessi cambiamenti climatici che agiscono non solo sul patogeno, ma anche sull'individuo, la combinazione di questi fattori sembra essere un pessimo indice per il futuro.

2.3. DENDROCRONOLOGIA

Parola che deriva dal greco: dendron = albero; kronos = tempo; logos = discorso

Definizione di dendrocronologia nel dizionario italiano:

Sistema di datazione di piante fossili o secolari, attraverso l'esame dei loro anelli di accrescimento annuali, che permette anche di situare cronologicamente mutamenti climatici, fenomeni geologici, giacimenti archeologici e sim.

- La dendrocronologia è un sistema di datazione a scala fluttuante messo a punto dall'americano Andrew Ellicott Douglass nel 1906, che stava studiando un ciclo di macchie solari, Douglass riteneva che le macchie solari giocassero un ruolo fondamentale sul clima del nostro pianeta.

Ci sono però scritti ben più antichi riguardo la relazione tra i fattori climatici e gli anelli visibili all'interno delle piante arboree, che risalgono al 1729 ad opera di un matematico e naturalista francese: Georges-Louis Leclerc de Buffon che sosteneva che il clima è un fattore fondamentale riguardo la crescita delle piante.

Nelle regioni a clima temperato le piante con accrescimento secondario quali le piante arboree, sono in grado di svilupparsi non solo in altezza, ma anche radialmente (verso l'esterno). Le condizioni di accrescimento dipendono da moltissimi fattori tra cui: quota rispetto al livello del mare, latitudine, longitudine ed esposizione rispetto al sole, tutti i fattori climatici tra i quali: stagione, temperatura, umidità relativa, tipo di suolo; ed i fattori biologici tra i quali l'età della pianta, la posizione sociale e la specie. Tra i fattori climatici, quello per noi interessante è proprio la stagione, che influenza il comportamento delle specie vegetali nella sintesi delle loro cellule:

-stagione vegetativa(marzo-novembre): durante la stagione vegetativa, la pianta è impegnata nella produzione di carboidrati strutturali a pieno regime, ha quindi bisogno di un sistema di trasporto in grado di sostenere il flusso di fotosintati dalle foglie verso le radici e viceversa il flusso di acqua verso le foglie per mantenere un livello di umidità alto nei pressi degli stomi fogliari e per tutti gli altri processi cellulari; come reazione a questa serie di fattori la pianta sintetizza delle cellule xilematiche molto grosse diametralmente parlando, queste cellule sono riconoscibili all'interno dei tronchi perché presentano un colore più chiaro e una consistenza molto più "morbida"(sono molto scalfibili)

-stagione "tardo-estiva": verso la fine della stagione vegetativa la pianta inizia a prepararsi per la stagione invernale, e modifica la sintesi delle sue cellule in relazione alla minor necessità di trasportare soluti all'interno della pianta, ma si orienta verso un potenziamento della sua struttura, sintetizzando cellule più piccole rispetto a quelle primaverili ma con la parete cellulare più spessa, queste cellule si distinguono rispetto a quelle sopra citate sia per colore, più scuro sia per consistenza perché sono molto più "dure".

-stagione invernale: fino a quando le temperature restano sopra gli 0°C la pianta è in grado di fotosintetizzare e quindi ricavare energia, sotto gli 0°C la fotosintesi è pressoché nulla e la pianta entra in riposo vegetativo o latenza invernale.

Questa alternanza tra i 2 tipi di cellule prodotte, si manifesta sotto forma di due tipi di legno, ci permette di vedere, in alcune specie (tra cui Abete rosso) anche a occhio nudo l'alternarsi degli anelli di accrescimento. La larghezza degli anelli in condizioni da laboratorio sarebbe sempre costante, ma in una situazione in continuo mutamento non

sarà assolutamente così, infatti il clima con i suoi fattori influenza lo spessore dei suddetti anelli, i fattori climatici che contribuiscono a queste variazioni sia positive che negative sono principalmente l'acqua, la temperatura e l'irraggiamento. "La crescita dei vegetali è determinata dall'elemento che è presente in quantità minore rispetto ai fabbisogni" (Liebig, 1840) oltre al concetto di fattore limitante però, bisogna considerare il fatto che le piante possiedono una certa capacità di adattarsi a condizioni climatiche avverse: "Ogni organismo di fronte ai fattori ambientali ha un intervallo di tolleranza compresi tra un minimo e un massimo entro cui si colloca il suo optimum ecologico" (legge della tolleranza o legge di Shelford). La dendrocronologia è la scienza che studia queste variazioni, mettendo in relazione delle misurazioni su diversi alberi della stessa specie situati nello stesso areale, e attraverso l'utilizzo di diversi programmi statistici traduce le informazioni in rappresentazioni grafiche. Così da poterne evidenziare le variazioni comuni, e trarne conclusioni sull'andamento climatico sia sul breve, ma anche sul medio-lungo periodo.

2.3.1. Banche dati

Esistono sia a livello nazionale, che mondiale, diverse banche dati per diverse specie vegetali, tra cui Abete rosso, Abete bianco, Larice, Quercia, Faggio e Pino sp. (il genere *Quercus* è quello con la cronologia più lunga a livello europeo, si parla di 10'000 anni correttamente cross-datati).

Queste informazioni sono il frutto di ricostruzioni climatiche sempre più antiche cross-datate, ovvero confrontate e concatenate per fornire una cronologia climatica affidabile che viene presa come riferimento. Queste cronologie sono definite "cronologie standard" sono disponibili su un database internazionale degli anelli: l'International Tree Ring Data Bank (ITRDB).

Le cronologie anulari possono essere quindi ampliate con ulteriori dati sia precedenti che sovrapponibili, tutto ciò contribuisce a formare, un trend biologico a lungo termine che rappresenta una specie in un sito. Questo trend biologico permette di analizzare le situazioni di stress comuni a una popolazione e catalogarle in base alla loro entità sul metabolismo della pianta (e quindi sul suo accrescimento), se si purifica questo trend da eventi catastrofici naturali documentati e rilevabili ad esempio con anelli assenti o falsi anelli, ottengo come risultato un trend basato solo sull'andamento del clima.

Anello assente: gli anelli assenti sono difficilmente individuabili senza avere una cronologia standard, rappresentano una stagione vegetativa mancata per la pianta in seguito a un fattore di stress, di solito rappresentato da un attacco patogeno, il patogeno che può, se l'infezione è grave, far "saltare" un anello all'Abete rosso è un coleottero scolitide: *ips typographus* o bostrico dell'Abete rosso.

Falso anello: i falsi anelli invece sono la conseguenza di un periodo di stress, solitamente climatico, per la pianta che differenzia per un breve periodo cellule tardo estive durante la stagione vegetativa, creando così un sottile strato di cellule che può essere scambiato per un anello annuale.

È importantissimo iniziare da una serie dendrocronologica affidabile, la serie è affidabile quando rappresenta in modo significativo una stima media dell'accrescimento annuale di una determinata specie in un determinato ambiente. Per rendere queste serie affidabili è necessario un gran numero di campioni tutti sistematicamente cross-datati.

Gli studi dendrocronologici si possono riferire a svariati aspetti tra i quali:

climatologia

ecologia

geomorfologia

archeologia

architettura e storia dell'arte

è proprio grazie a queste applicazioni che possiamo ricostruire la nostra storia climatica, i pezzi di antiquariato in legno risultano analizzabili e collocabili all'interno di un periodo storico ben preciso. Una volta inquadrato il periodo storico, attraverso il cross-dating vengono concatenate le varie cronologie disponibili per comporre una cronologia che rappresenti al meglio il periodo storico analizzato.

3. OBIETTIVO

lo Scopo di questo studio è stato la caratterizzazione delle dinamiche di crescita con particolare riferimento all'influenza dei fattori climatici su un popolamento di Abete rosso (*Picea abies*) nelle alpi centro-meridionali, in Vallecamonica, nello specifico vicino ad uno dei suoi limiti superiori cioè il passo del Tonale. Si è cercato di verificare come le diverse classi diametriche si sono comportate nel corso dell'anno nei confronti di temperatura e precipitazioni, cercando di stilare una tendenza per il futuro sulla base dei dati raccolti.

4. MATERIALI E METODI

4.1. AREA DI STUDIO

L'elaborato finale rappresenta la conclusione di un lavoro di tirocinio, svolto per quanto riguarda la parte pratica in Vallecamonica, in particolare ai suoi limiti superiori a ridosso del passo del Tonale. La parte di analisi dati invece è stata svolta in parte a Milano in laboratorio, in parte a Edolo.



Figura 12 Cartina Geografica Lombardia, in evidenza l'area di studio (GeoPortale Lombardia)

4.2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area presa in esame è una particella forestale situata nel comune di Ponte di Legno, nei pressi di Passo del Tonale, alle coordinate 45° 15' N; 10° 32' E, ci troviamo quindi in prossimità di un passo con esposizione Sud/Sud-Ovest, dal quale si distende a Est la Val di Sole, verso Ovest troviamo la Vallecamosca, verso Sud si trova il massiccio montuoso dell'Adamello, più precisamente il ghiacciaio del Pisgana, che si distende formando la val Sozzine, mentre a nord troviamo il monte "Tonale Occidentale"(2694 m) che divide la valle delle messi dal passo. L'area di studio è situata tra i 1650 e i 1750 m, Siamo quindi in un contesto di Pecceta altimontana-subalpina Si tratta nel complesso di boschi nettamente dominati dall'Abete rosso, cui si affiancano soprattutto il larice e l'abete bianco (nelle aree più umide) (Ducoli, 2012), la struttura del bosco è riconducibile a un bosco monoplano e coetaneo.

4.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La nostra particella si trova esattamente a cavallo della linea Insubrica, una faglia che divide la placca europea da quella africana. Questa faglia si estende per tutta la Valtellina, la parte finale della Vallecamosca, e prosegue verso la Val di sole e quindi verso Bolzano fino ad arrivare in Slovenia. A Nord di questa faglia, troviamo terreni morenici, parliamo quindi di terreni detritici formati da ghiacciai, nello specifico il ghiacciaio che si estendeva fino a quel punto era il ghiacciaio della Sforzellina, oggi limitato a una piccolissima porzione vicino al passo del Gavia. A Sud invece si hanno terreni dell'unità tettonica delle alpi meridionali, composte da rocce scistose subalpine, e catalogate da Salomon nel 1908 come scisti di Edolo.

4.4. INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

Carta dei suoli della Lombardia - scala 1:250.000

WRB (2006)

- AR - ARENOSOLS
- CL - CALCISOLS
- CM - CAMBISOLS
- CP - CAMBISOLS caratteri spodici
- CV - CAMBISOLS caratteri vertici
- VR - VERTISOLS
- GL - GLEYSOLS
- LV - LUVISOLS
- LP - LEPTOSOLS
- HS - HISTOSOLS
- FL - FLUVISOLS
- PZ - PODZOLS
- PH - PHAEZOEMS
- AL - ALISOLS
- RG - REGOSOLS
- UM - UMBRISOLS

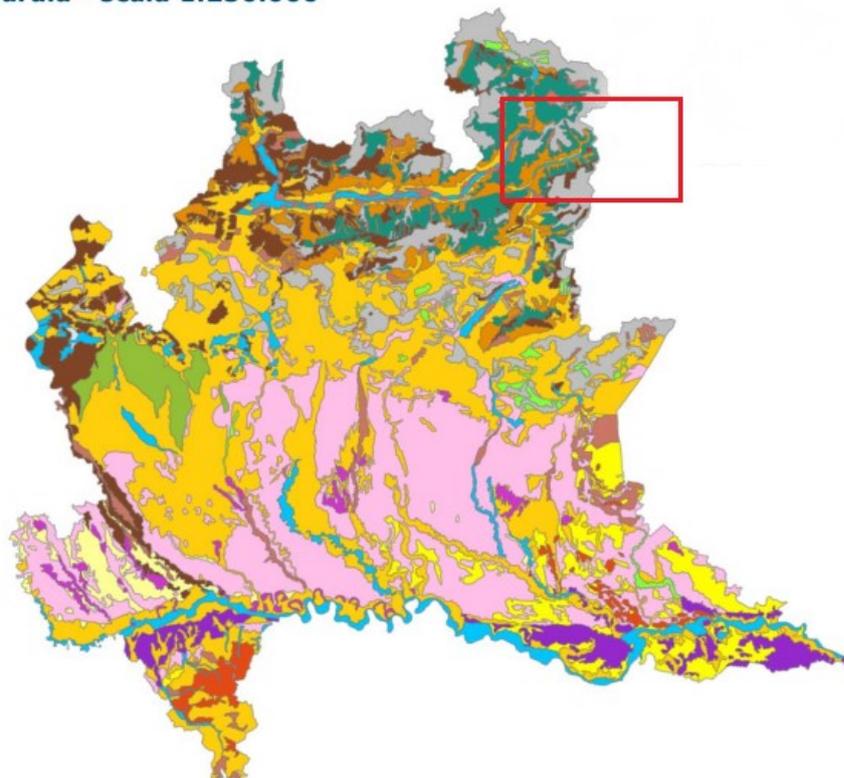


Figura 13 Carta dei suoli Regione Lombardia (ERSAF)

Come evidenziati dalla cartina dei suoli della Lombardia, ci troviamo in un'area caratterizzata prevalentemente dalla presenza di podzol, con sporadici cambisols verso fondovalle come conseguenza dell'azione di trasporto del fiume Oglio. Il podzol è caratterizzato dalla presenza di conifere e da suoli in genere acidi (ph. circa 6), con il terreno sbiancato e privato di molte delle sostanze nutritive, che si vanno a depositare nell'orizzonte sottostante che prende il nome di orizzonte spodico. I podzol ben sviluppati di solito presentano un orizzonte Bs ad una profondità variabile tra i 20 e i 40 cm, cementato da ossidi di Ferro, Silice e Alluminio, solitamente difficilmente attraversato dall'apparato radicale e difficilmente permeabile.

4.5. INQUADRAMENTO CLIMATICO

Premetto che non essendoci uno storico di dati climatici per il tonale, si fa riferimento ai dati climatici della vicina Ponte di legno, per le precipitazioni i dati sono assolutamente compatibili, mentre per quanto riguarda le temperature, vanno modificate in difetto di circa 2°C in quanto l'area di studio si trova 400m più a monte rispetto alla stazione considerata.

Ponte di legno presenta un clima temperato. Le precipitazioni sono in generale ben distribuite con dei picchi durante la stagione estiva e tardo primaverile, da aprile a ottobre (Fig. 14). La piovosità annuale media è di 741 mm. Anche se abbiamo quasi la metà delle precipitazioni totali, attestate sui 90mm medi al mese, da metà giugno a metà settembre. Ci sono poi da considerare le precipitazioni nevose, che restano pressochè costanti nel periodo tra dicembre e marzo con cifre di 21 mm di acqua equivalente (da 5 a 10 volte se si parla di neve).

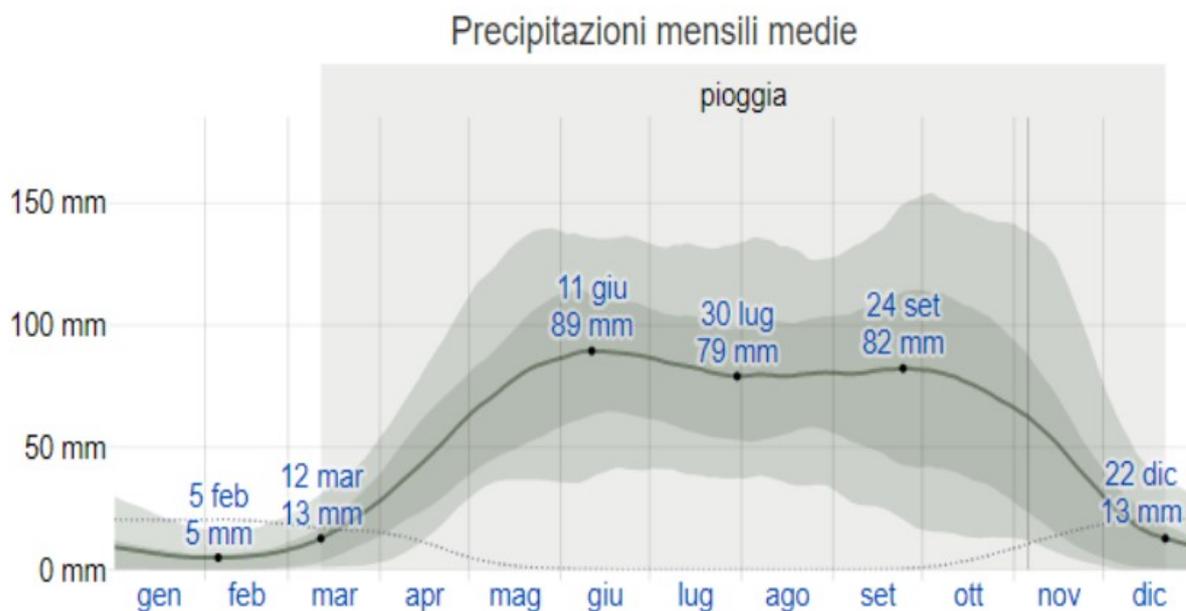


Figura 14 Precipitazioni medie mensili a Ponte di legno con finestra di 31 giorni fissata sul giorno in questione. (escluse le nevicate)

Per quanto riguarda le temperature invece abbiamo il mese mediamente più caldo in luglio (15.5°C) mentre quello mediamente più freddo è gennaio (-2.9°C). distinguiamo una

stagione invernale che va da circa metà novembre a circa metà marzo con temperature medie giornaliere costantemente sotto i 3°C, ed una stagione estiva con temperature ben più miti con massime sempre superiori a 14°C. (Fig.15)

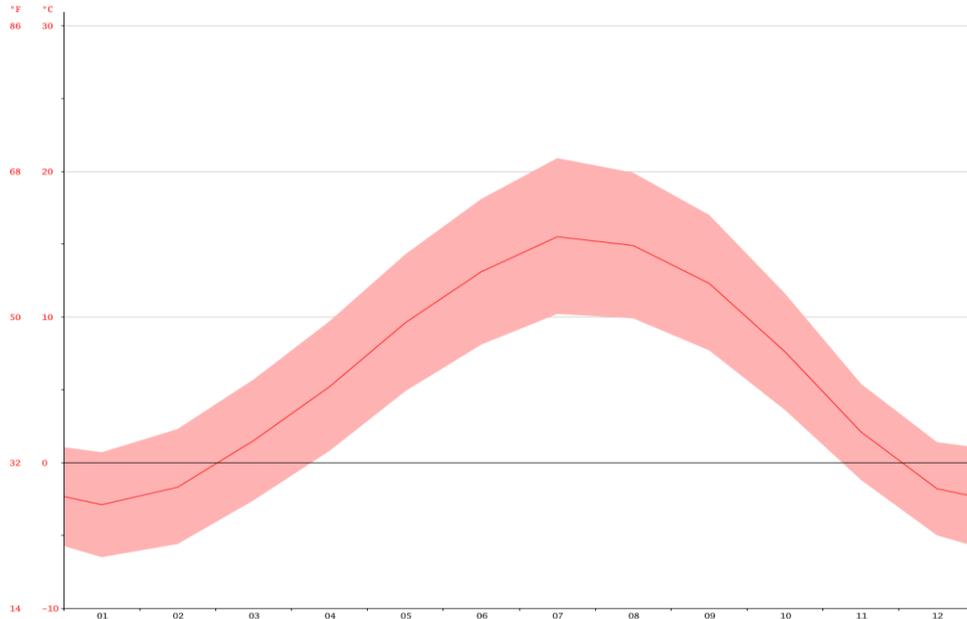


Figura 15 Andamento temperature medie a Ponte di legno

4.6. RILEVAZIONI IN CAMPAGNA

4.6.1. raccolta dati

La raccolta dei dati in campagna è stata effettuata su un'unica specie: Abete rosso, per quanto riguarda invece la scelta degli individui da campionare, il criterio seguito è stato, prima di tutto quello di scegliere 3 classi diametriche, rispettivamente di 20-35 cm; 35-50 cm; 50-65 cm, all'interno di ogni classe diametrica sono state selezionate 15 piante, per rappresentare al meglio la popolazione. In secondo luogo si è cercato di scegliere individui non dominati (almeno per le classi diametriche più piccole) in quanto si voleva ottenere un campione non influenzato dalla competizione per la luce solare, bensì il più possibile dipendente da acqua e temperatura.

4.6.2. Carotaggio e cavallettamento

Il cavallettamento è stato effettuato con un sostituto di un cavalletto dendrometrico, in pratica un metro con misura già convertita da circonferenza a diametro.

$$\text{Diametro} = \text{Circonferenza} / \pi$$

Oltre alla pianta campionata sono state anche cavallettate le piante nei 5m di raggio della stessa per provare a stabilire se oltre a una carenza idrica, l'individuo fosse anche dominato da piante più alte che quindi potevano impedirne l'accesso alla luce.

Il campionamento si è svolto tramite la trivella o succhiello di Pressler, uno strumento a forma cilindrica, composto da un manico, che si incastra perpendicolarmente rispetto alla "trivella" vera e propria, composta da un cilindro forato, filettato nei primi 2-3cm verso la pianta per facilitarne l'inserimento all'interno del fusto, all'interno della "trivella" si inserisce uno stiletto dentato che permette di agganciare un cilindretto di legno chiamato "carotina". Le carotine venivano poi riposte delicatamente all'interno di cannuce di plastica per evitare rotture o danneggiamenti durante il trasporto, durante questa fase sono state anche presi alcuni dati inerenti all'individuo, tra i quali altezza sul livello del mare, diametro, latitudine e longitudine e densità del bosco. Il campionamento è stato effettuato secondo le seguenti modalità: prima carotina (carotina x) a monte rispetto alla pianta, a petto d'uomo (ovvero circa 130cm da terra), e una seconda carotina (carotina y) necessaria per fare una prima correlazione parziale sullo stesso albero, estratta a circa 100° dalla prima, mantenendo la stessa altezza dal suolo.

4.7. OPERAZIONI A TAVOLINO

4.7.1. Preparazione campioni

Le carotine preparate sul campo, venivano poi portate in laboratorio per l'analisi dei campioni, ogni carotina veniva quindi tolta dal suo supporto temporaneo per essere incollata sul suo supporto finale, rappresentato da un travetto di legno scanalato al centro per permettere l'alloggio della carotina, la scanalatura è stata poi riempita di colla vinilica e le carotine sono state fissate temporaneamente per permettere l'asciugatura della colla

con dello scotch. In questo passaggio si è posta particolare attenzione a fissare il campione con le sue fibre poste in modo perpendicolare rispetto al piano di appoggio, per migliorare la visibilità delle cellule degli anelli legnosi. A questo punto si è dovuto procedere alla levigatura dei campioni, ogni campione, già fissato con la colla e una volta rimosso lo scotch, veniva bagnato per ammorbidirlo temporaneamente, e subito “limato” con una affilatissima lametta da carpentiere, questo passaggio molto delicato è fondamentale per tutti i passaggi che seguono perché dalla qualità della superficie del campione dipende inevitabilmente la qualità dell’immagine che andremo a scannerizzare. Una volta asciutte, le carotine venivano ripassate con del gesso bianco, che veniva assorbito dalla superficie del legno e lo rendeva molto più in contrasto rispetto ai suoi due tipi di legno (primaverile e autunnale). Le carotine a questo punto erano pronte per essere scannerizzate in qualità minima di 1200 pixel per pollice, tramite uno scanner. Da questo momento si è lavorato solo in formato digitale. Alcune delle carotine non erano scannerizzabili in un'unica scansione, pertanto si è reso necessario l’utilizzo di un programma per unire tali immagini, rappresentato da GIMP (software per elaborazione immagini)

4.7.2. Analisi dati

Il passaggio successivo è stato procedere alla conta degli anelli, ma soprattutto alla loro misurazione tramite Coorecorder. Questo programma, appositamente studiato per la dendrocronologia, permette di segnare e registrare una serie di coordinate da un’immagine di base, ed in questo caso restituite in (mm). Veniva quindi impostato come ultimo anno (verso la corteccia) il 2018 e a ritroso venivano contati e misurati tutti gli anelli. In questa fase è molto importante essere precisi nel segnare i punti, l’anello va sempre misurato perpendicolarmente rispetto alla sua direzione di crescita (non sempre, anzi, le piante crescono in modo costante e lineare a causa dei diversi agenti biotici e abiotici), questo primo passaggio dà come risultato una cronologia elementare, riferita a una sola carota. Per dare più affidabilità al campione, sono state prelevate 2 carote da ogni albero, questo modo di operare ci ha permesso di ridurre di molto gli errori riferiti alla cronologia semplice, in quanto le 2 carote di ogni pianta sono state confrontate tra di loro tramite un altro programma che lavora insieme a Coorecorder, e cioè Cdendro.

Cdendro permette di confrontare le cronologie fornite da CooRecorder, confrontandole tra di loro a coppie o a gruppi, il confronto tra 2 carote dello stesso albero restituisce una cronologia dell'individuo preso in considerazione, molto più precisa rispetto a quella semplice in quanto risultato della media delle variazioni di quella pianta. Le singole cronologie sono state quindi confrontate tra di loro, in un primo momento solo visivamente tramite il grafico derivante da Cdendro, per correggere subito eventuali anelli sfalsati tra di loro per l'eventuale presenza di anelli assenti, mentre in un secondo momento analiticamente sempre tramite le analisi statistiche di Cdendro, che confronta tra di loro le 2 carotine (cross-datazione) tramite un valore identificabile nella T di student, la T restituisce un valore numerico, più è alto il valore più le carote sono simili tra di loro. La T dipende oltre che dalle due serie confrontate, anche dalla loro estensione nel tempo, (più una serie è lunga, più la T sarà elevata). Una volta ottenute tutte le cronologie individuali di tutti gli alberi, si è quindi, attraverso l'utilizzo di Rstudio, proceduto alla creazione sia di una cronologia media rappresentante tutto il sito, sia di una cronologia media specifica per ogni classe diametrica rilevata, mediando e sincronizzando a loro volta le cronologie individuali tra di loro.

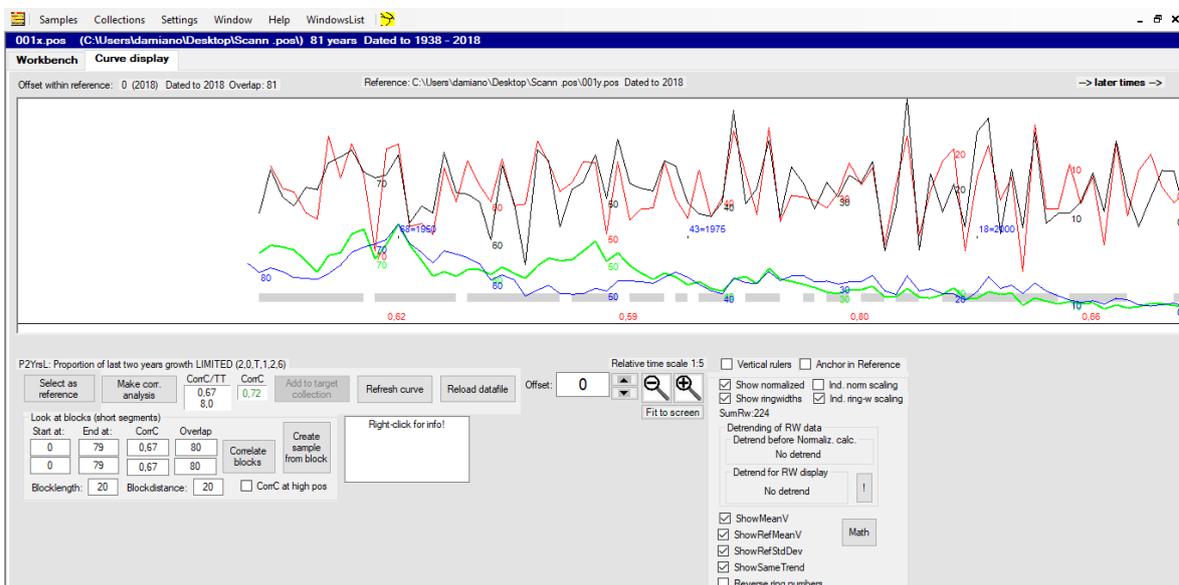


Figura 16 Creazione cronologia semplice con Cdendro

Sono state quindi prese singolarmente le cronologie stazionali e per prima cosa è stato fatto un sintetico report statistico sulle cronologie. Si sono ottenute quindi delle statistiche riguardo: il numero di serie, il numero di misurazioni, la lunghezza media delle serie, il

range, la durata, l'intercorrelazione e l'autocorrelazione. L'intercorrelazione permette di confrontare tutte le coppie di piante tra di loro, mentre l'autocorrelazione (globale ACF o parziale PACF) confronta la stessa pianta, in due intervalli temporali differenti.

4.7.3. Detrending e costruzione cronologia media

Il detrending non è altro che una correzione rispetto alle differenti velocità alle quali la pianta cresce, infatti nella prima fase di vita la pianta deve guadagnare la dominanza apicale, per questo cresce molto più velocemente rispetto a quando si avvicina alla senescenza. Si è quindi purificato il dato dell'accrescimento tramite un detrend esponenziale negativo in un primo momento, e in seguito un detrend con linea flessibile (spline). In seguito si sono calcolati altri parametri di correlazione: in primis si è calcolato R_{bar} , che non è altro che la correlazione media tra tutte le coppie di cronologie individuali. Expressed population signal (EPS), invece misura l'affidabilità di una cronologia, cioè la probabilità che gli elementi della serie appartengano tutti alla stessa popolazione. Signal to noise ratio (SNR) invece è il rapporto tra il segnale climatico e la variabilità di incremento non dovuta al clima (rumore), restituisce quindi un valore che rappresenta quanto la componente climatica sia preponderante su quella non climatica rispetto all'accrescimento. (fattori biologici e pedologici)

4.7.4. Analisi climatica

A questo punto si è iniziata l'analisi climatica, l'analisi è stata svolta con l'utilizzo di un dataset climatico: cru ts 3.1 della University of Anglia (UK) per il periodo 1915-2018, questo database fornisce dati sulle medie mensili di temperature e precipitazioni per tutta l'Europa, tramite l'utilizzo di Rstudio sono state isolate le coordinate del nostro sito e sono stati mediati i valori di temperatura e precipitazioni in un raggio di 0.05° .

Dapprima i risultati calcolati sono stati confrontati con i dati climatici (temperature e precipitazioni) mediante il metodo delle funzioni di risposta (FR). Le funzioni di risposta (Blasing et al. 1984) sono ampiamente utilizzate per calcolare i rapporti dendrocronologici con le variabili climatiche e consistono in stime di funzioni lineari di Pearson (univariate). I

calcoli sono stati effettuati secondo il metodo bootstrap (Politis et al. 1994). I risultati forniti dal programma consistono nelle funzioni di risposta, significative al 95%. Le variabili climatiche mensili sono state organizzate in modo da coprire l'intervallo di tempo che intercorre tra il giugno e il settembre dell'anno precedente a quello di formazione dell'anello e da gennaio a settembre dell'anno in corso, per un totale di 13 mesi. Così facendo si può valutare l'effetto che ha il clima delle stagioni precedenti sulla formazione dell'anello. Si evita di prendere in considerazione i mesi dell'autunno ed inverno in corso poiché in questo periodo la pianta non presenta accrescimento. A questo punto sono state calcolate le funzioni di risposta mobile (FRM) su finestre temporali di 30 anni di ampiezza con offset (o slittamento rispetto all'inizio della serie precedente) di 1 anno.

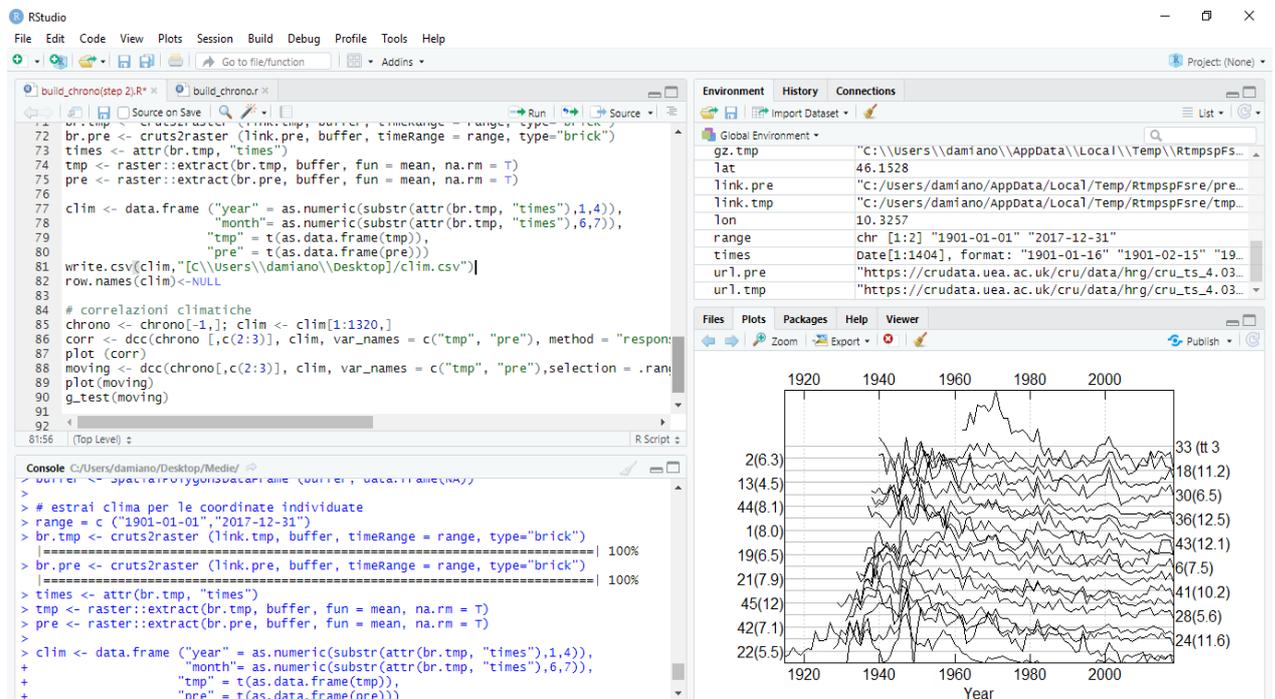


Figura 17 analisi climatiche con Rstudio

5. RISULTATI

Nel sito PTONAL sono state quindi carotate un totale di 50 piante in 3 classi diametriche (Tab.1), che presentano cronologie stagionali da 104 anni nella classe diametrica maggiore, a 89 per quella minore, con l'inizio della serie che risale al 1915 per la classe diametrica più grande.

| DATI: | CLASSE 1 | CLASSE 2 | CLASSE 3 | TOT |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| numero di serie | 14 | 18 | 18 | 50 |
| numero di misurazioni | 970 | 1464 | 1497 | 3931 |
| lunghezza media della serie | 69,286 | 81,333 | 83,167 | 77,929 |
| Range | 89 | 93 | 104 | 95 |
| Durata | 1930 - 2018 | 1926 - 2018 | 1915 - 2018 | |
| intercorrelazione | 0,461 | 0,557 | 0,562 | 0,527 |
| autocorrelazione | 0,844 | 0,840 | 0,812 | 0,832 |

Tabella 1 Riassunto generale dei dati misurati, diviso per serie, misurazioni, lunghezza della serie, range, durata intercorrelazione e autocorrelazione

I valori di intercorrelazione sono per la CLASSE 1 abbastanza bassi (0.46) ma essendo la classe diametrica più piccola ci si aspetta che le piante siano meno correlate con le altre rispetto alla classe 2 (0.55) e classe 3 (0.56), i valori di autocorrelazione invece sono ben più alti, da 0.84 a 0.81, registrando un trend non climatico abbastanza importante, perché dimostra una grande dipendenza dell'anello in analisi, dall'ampiezza dall'anello precedente.

5.0.1. Cronologie stagionali:

Partendo da questi dati, si è estratto un primo grafico rappresentante una cronologia stagionale sempre per classe diametrica. È interessante notare come nella prima fase di accrescimento, le piante dimostrano una crescita molto più veloce anche se non costante rispetto alla loro fase di "invecchiamento". Si possono notare anche alcuni anni

particolarmente significativi per la crescita di questa popolazione, si notano di più in classe 3 (Fig.20), ma in alcuni casi sono visibili anche nelle altre 2 classi, ad esempio il 2001.

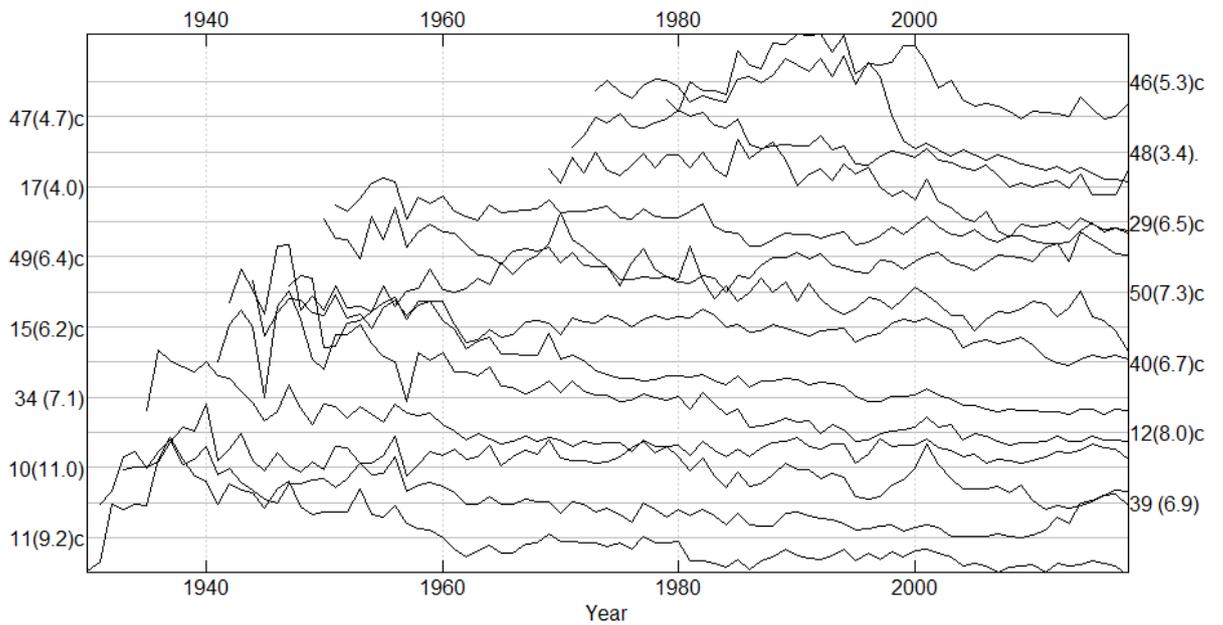


Figura 18 classe 1 Cronologie stagionali, in alto e in basso troviamo gli anni, a sinistra e a destra il numero assegnato alle carote in fase di operazioni in campo

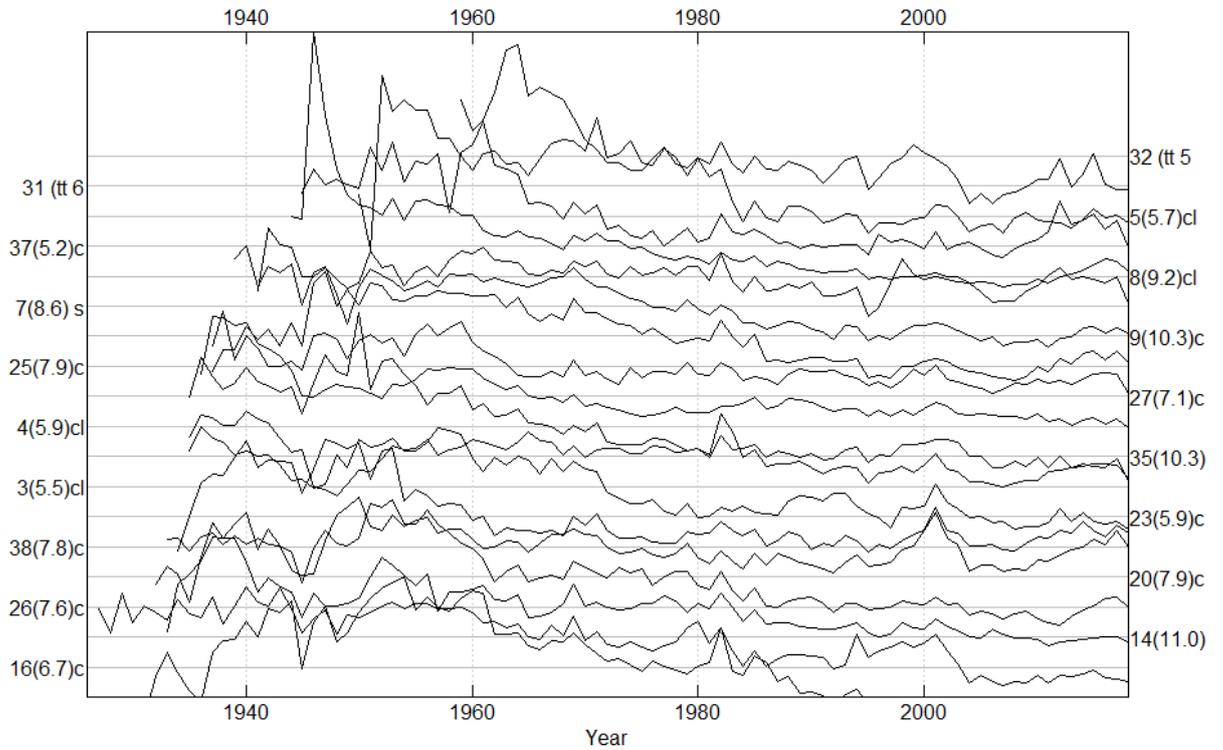


Figura 19 classe 2 serie Cronologie stagionali, in alto e in basso troviamo gli anni, a sinistra e a destra il numero assegnato alle carote in fase di operazioni in campo

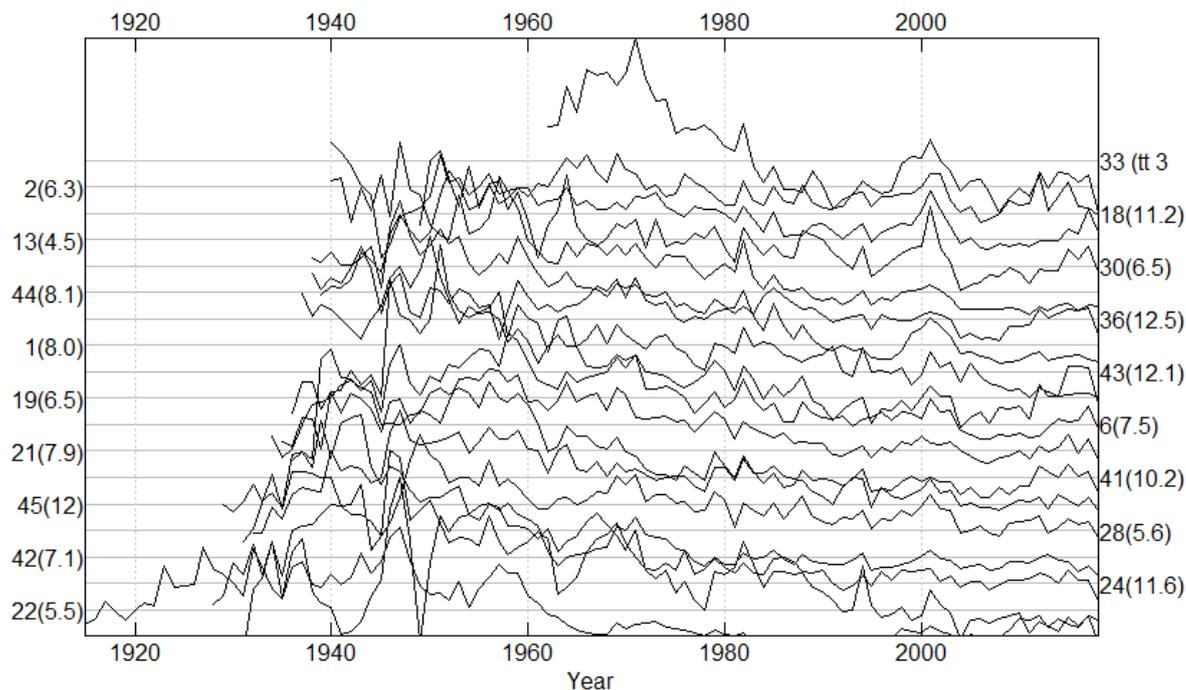


Figura 20 classe 3 Cronologie stagionali, in alto e in basso troviamo gli anni, a sinistra e a destra il numero assegnato alle carote in fase di operazioni in campo

Partendo dalle cronologie stagionali, abbiamo ottenuto altri valori (Tab.2), per quanto riguarda R_{bar} , i valori sono relativamente bassi, soprattutto nella classe 1 che risulta poco correlata in seguito a fattori di crescita “giovani”, le classi 2 e 3 invece sono leggermente più correlate con entrambi i valori attorno a 0.35. eps conferma però l’affidabilità della serie utilizzata con valori vicini a 0.90 per le classi 2 e 3, mentre risulta poco attendibile la classe 1 con 0.76. snr invece rappresenta quanto il fattore climatico incide sull’accrescimento, i valori più alti riscontrati sono in classe 2 e 3 che sembrano più soggetti al clima rispetto alla classe 1, e quindi più utili per l’analisi clima-accrescimento.

| | classe 1 | classe 2 | classe 3 |
|------|----------|----------|----------|
| rbar | 0,227 | 0,348 | 0,349 |
| eps | 0,762 | 0,893 | 0,885 |
| snr | 3,206 | 8,388 | 7,710 |

Tabella 2 statistiche cronologia stagionale per rbar, eps e snr

5.0.2. Cronologie medie

per quanto riguarda le cronologie medie, partono dal 1930 con un numero massimo di campioni a partire dal 1979 per la classe 1(Fig.21), mentre per quanto riguarda la classe 2(Fig.22) i rilevamenti partono dal 1926 con un numero massimo di campioni dal 1959. La classe 3(Fig.23) invece parte dal 1915 ed il numero di campioni completo si ha nel 1962, con la due terzi dei dati concentrati però prima del 1940. Le serie sono meno precise più le si ripercorre a ritroso in quanto non sono presenti i dati di tutte le piante campionate.

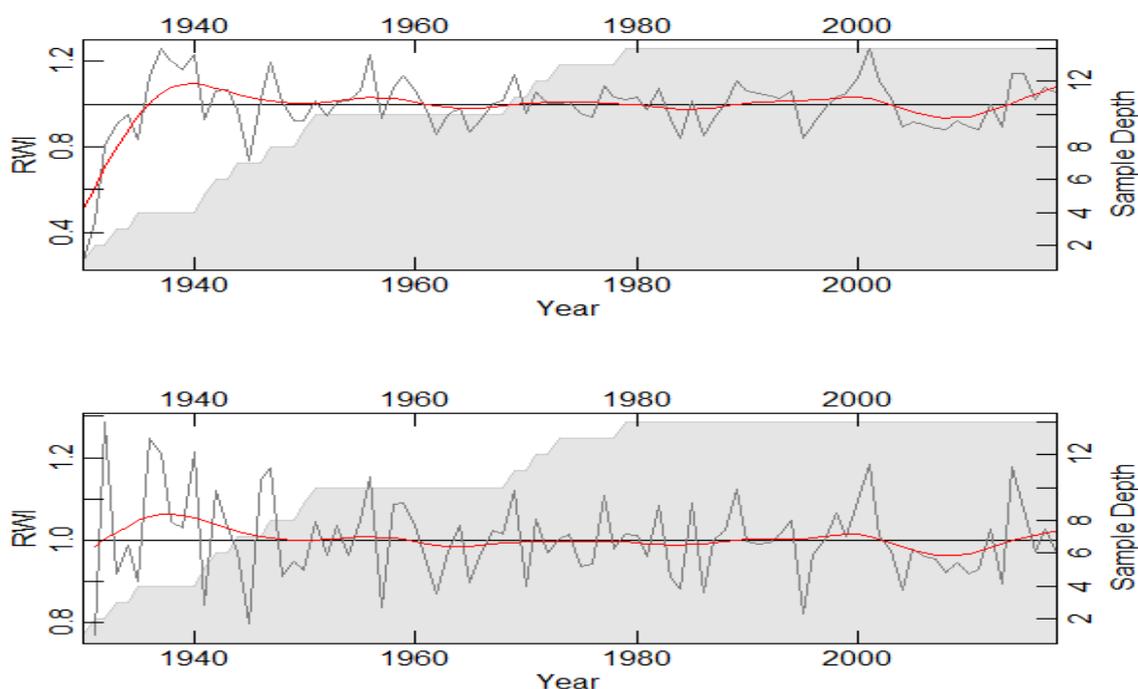


Figura 21 CLASSE1, cronologia media standard (in alto) ovvero dopo l'applicazione del detrending e residua (in basso) ovvero dopo l'eliminazione dell'autocorrelazione. In grigio sullo sfondo il numero di carote nel tempo, in nero troviamo i dati rilevati, mentre In rosso un ammorbidimento della serie.

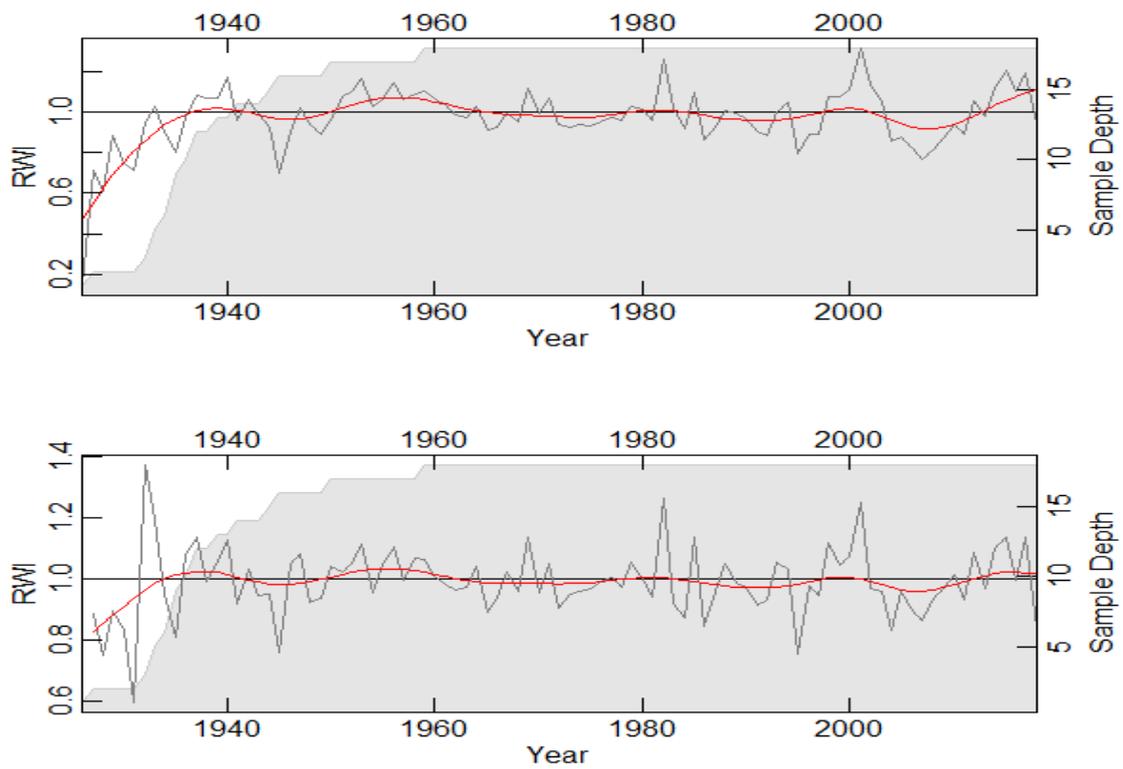


Figura 22 classe2, cronologia media standard (in alto) ovvero dopo l'applicazione del detrending e residua (in basso) ovvero dopo l'eliminazione dell'autocorrelazione. In grigio sullo sfondo il numero di carote nel tempo, in nero troviamo i dati rilevati, mentre in rosso un ammorbidimento della serie.

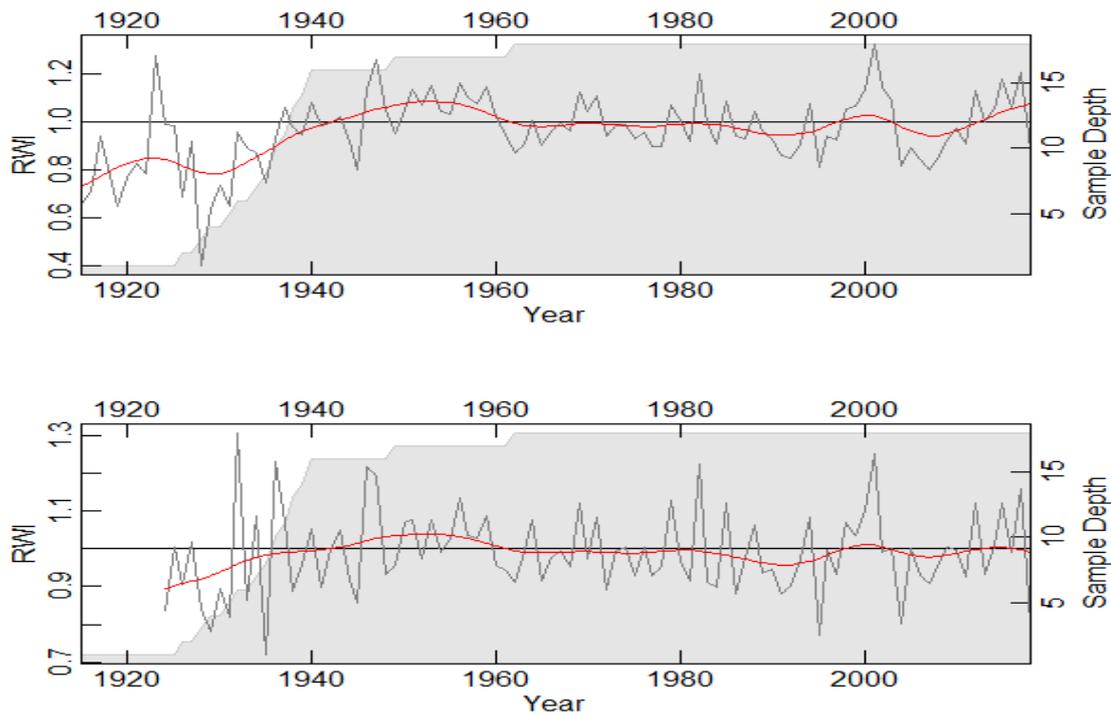


Figura 23 classe3, cronologia media standard (in alto) ovvero dopo l'applicazione del detrending e residua (in basso) ovvero dopo l'eliminazione dell'autocorrelazione. In grigio sullo sfondo il numero di carote nel tempo, in nero troviamo i dati rilevati, mentre in rosso un ammorbidimento della serie.

5.0.3. ACF-PACF

ACF mostra l'autocorrelazione a livello globale (Fig.24,25,26), ovvero se un anello è correlato con un altro anello qualsiasi, questa situazione è significativa solo a Lag-1, ovvero gli anelli analizzati dipendono significativamente dall'anello precedente. PACF rappresenta invece la correlazione che c'è tra un anello e l'anello precedente solo a condizione che sia verificato ACF. viene quindi in genere ritenuto più affidabile rispetto a quest'ultimo, anche se una volta rimosso il trend di ACF a Lag-1 non sono rilevate altre autocorrelazioni significative (Fig. 27,28,29.).

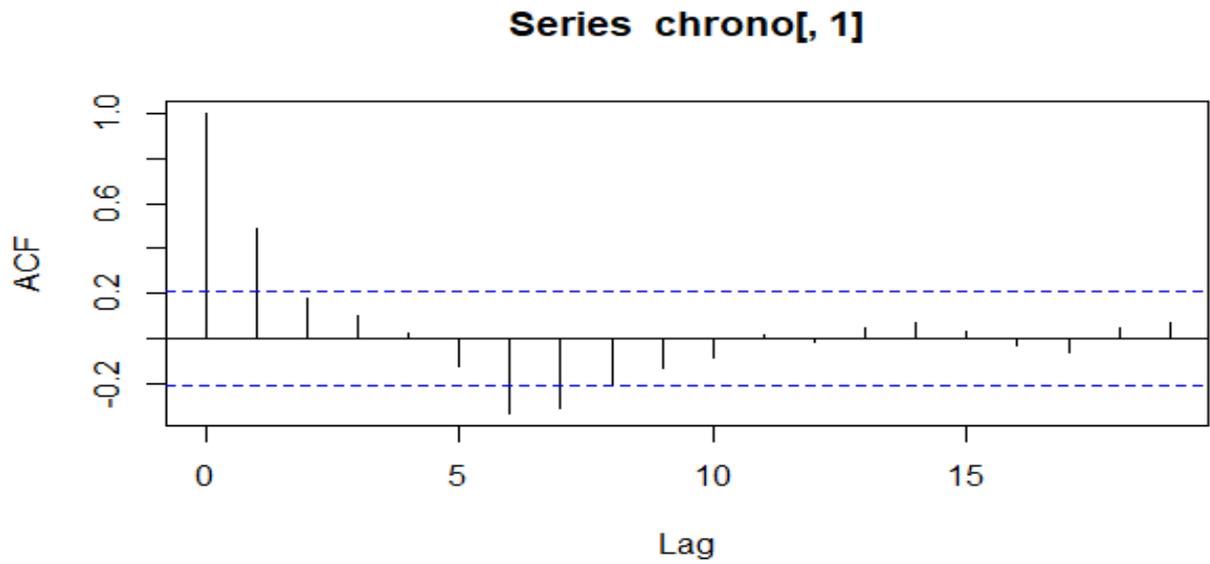


Figura 24 indice di correlazione globale per la classe1, le linee azzurre rappresentano la soglia di significatività

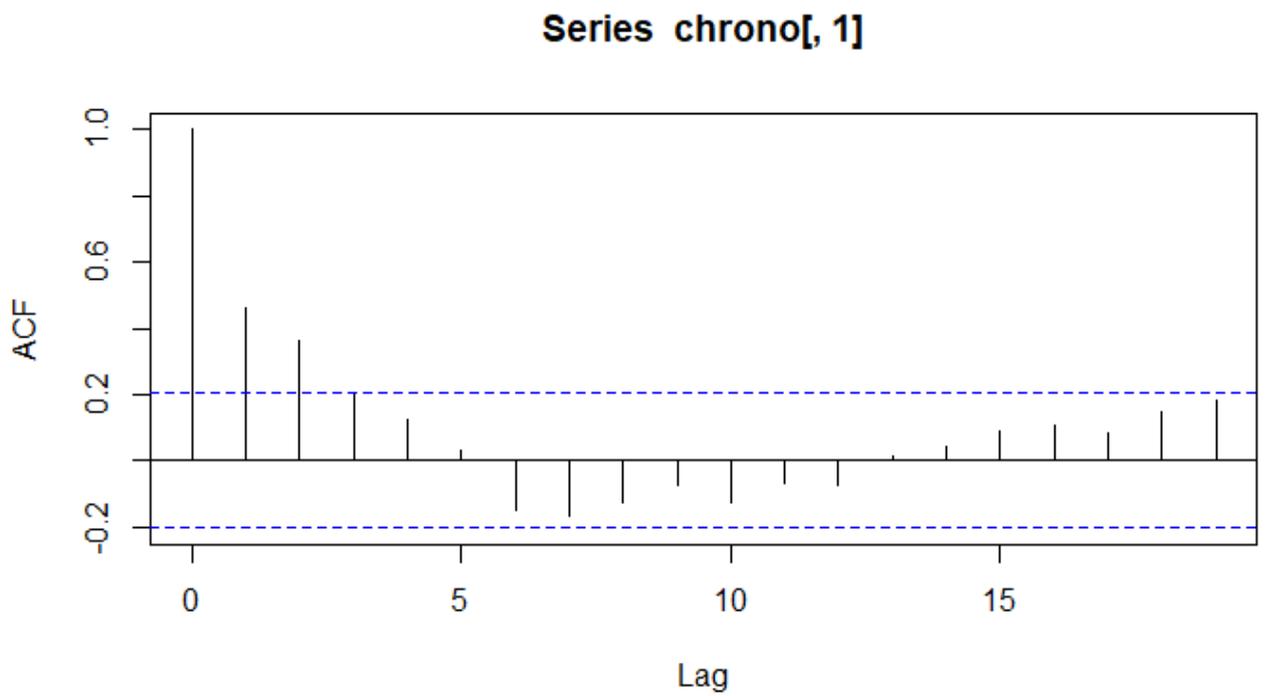


Figura 25 indice di correlazione globale per la classe2, le linee azzurre rappresentano la soglia di significatività

Series chrono[, 1]

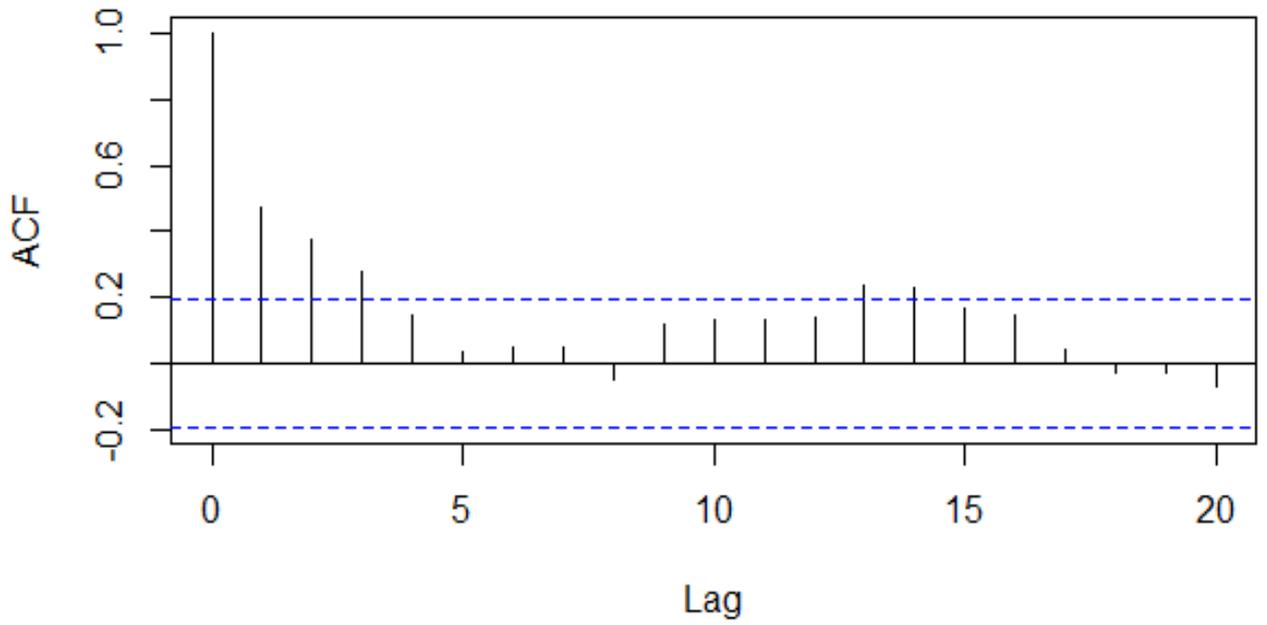


Figura 26 indice di correlazione globale per la classe3, le linee azzurre rappresentano la soglia di significatività.

Series chrono[, 1]

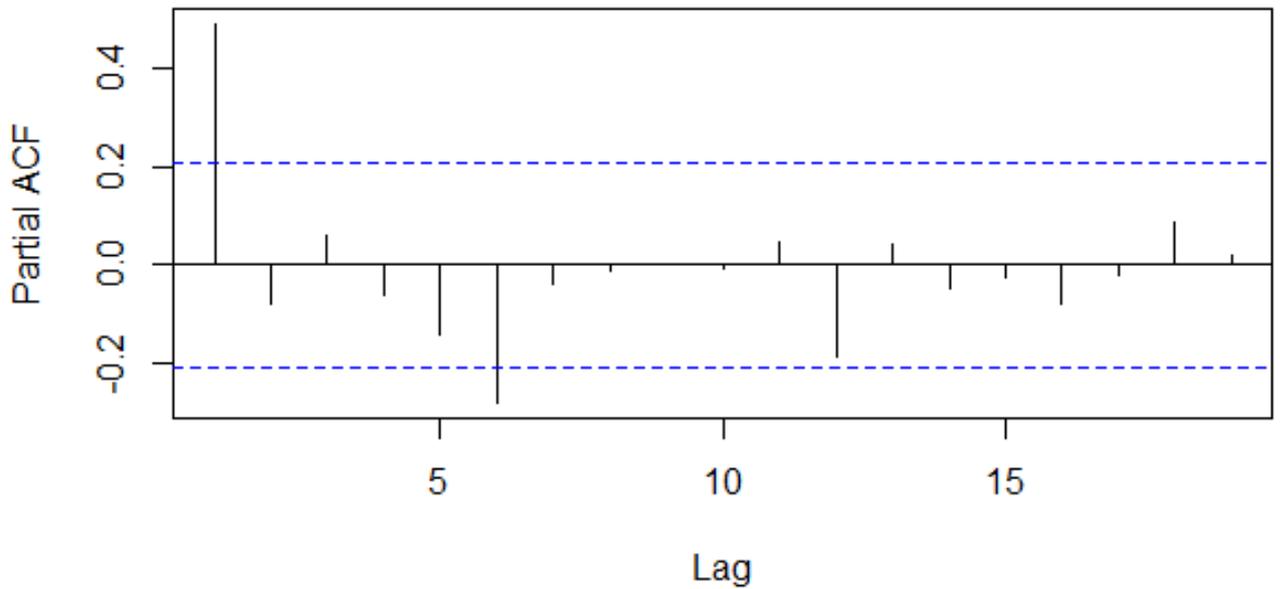


Figura 27 indice di correlazione parziale in CLASSE1 ovvero la correlazione di un anello con gli anelli precedenti, uno per volta. le linee azzurre rappresentano la soglia di significatività del dato.

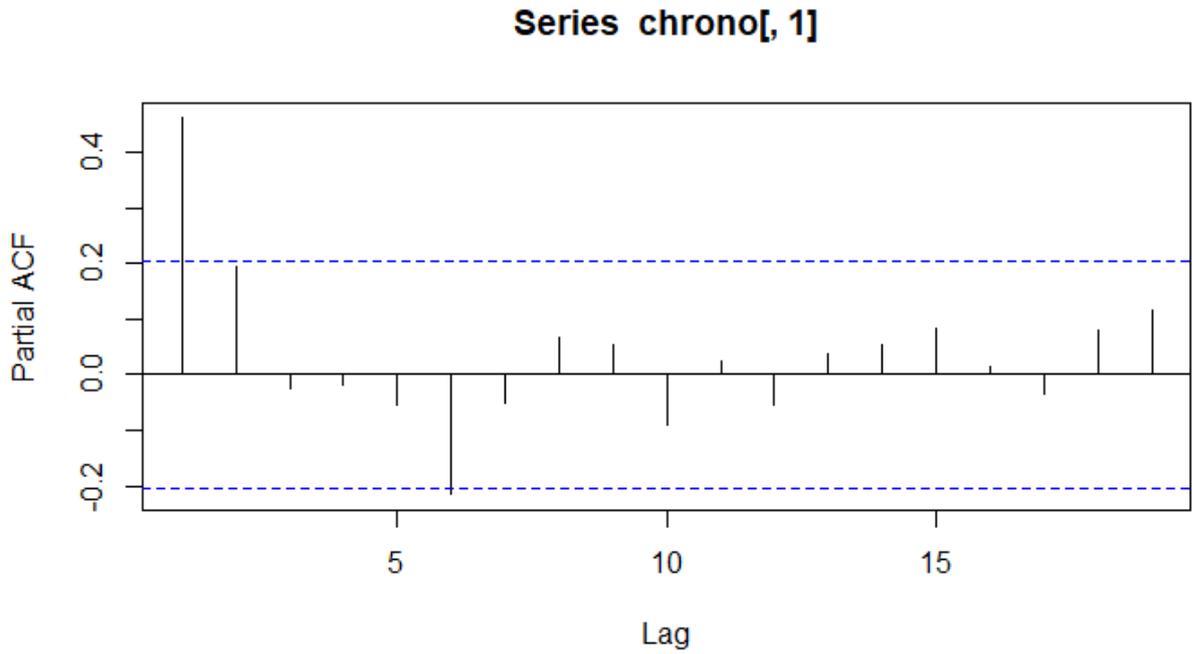


Figura 28 indice di correlazione parziale in CLASSE2 ovvero la correlazione di un anello con gli anelli precedenti, uno per volta. le linee azzurre rappresentano la soglia di significatività del dato.

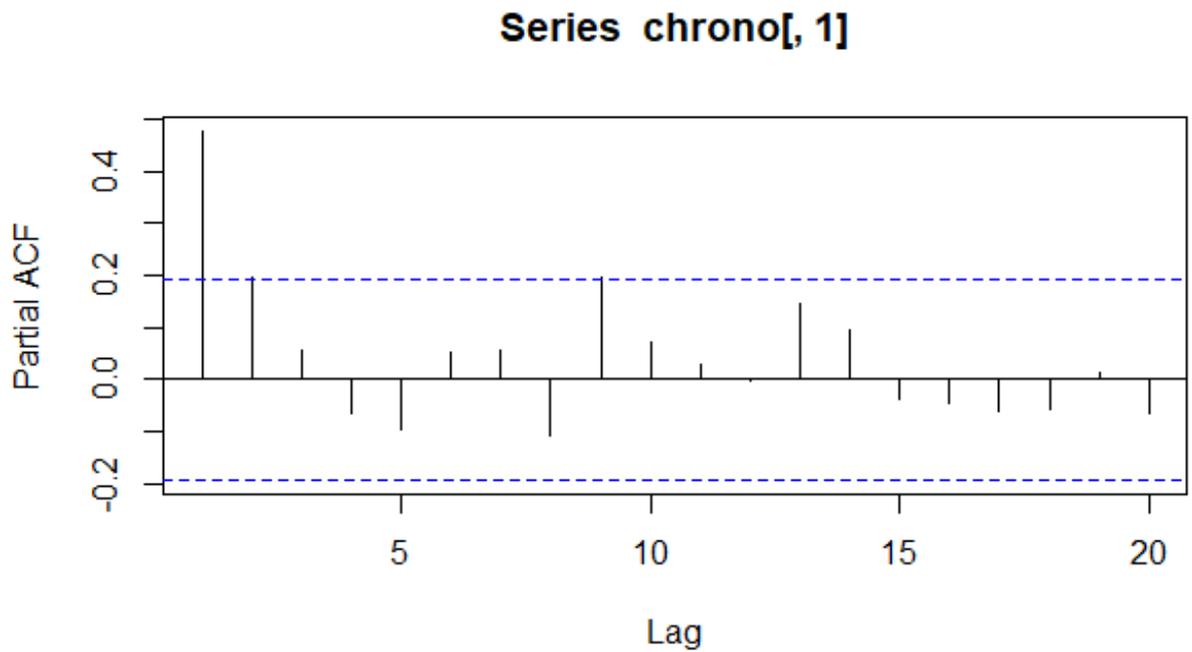


Figura 29 indice di correlazione parziale in CLASSE3 ovvero la correlazione di un anello con gli anelli precedenti, uno per volta. le linee azzurre rappresentano la soglia di significatività del dato.

5.0.4. Funzioni di risposta

Se prese singolarmente, le analisi per classe diametrica presentano correlazioni negative solo per quanto riguarda la temperatura per la classe 1 in agosto dell'anno precedente. presentano inoltre correlazioni positive per le precipitazioni a maggio dell'anno in corso in classe 3 e correlazioni sulle precipitazioni, sempre positive in classe 2 nei mesi di marzo e giugno dell'anno in corso. È anche interessante notare però alcuni dati che non sono significativi, ma ci si avvicinano molto con coefficienti medi tra 0.1 e 0.2 (Fig.30,31,32). Si è quindi predisposto un riassunto (Tab.3) dove osserviamo un quadro generale, che evidenzia funzioni di risposta negative nei mesi estivi in relazione alle temperature in tutte le classi diametriche. La temperatura risulta inoltre scarsamente rilevante in modo negativo anche nel mese di giugno dell'anno in corso nelle classi 1 e 2, in contrapposizione al dato di maggio che invece risponde positivamente in tutte e 3 le classi. Le precipitazioni invece risultano poco rilevanti positivamente in luglio e agosto dell'anno precedente rispettivamente per le classi 2 e 1 ed in dicembre entrambe. Mentre nell'anno in corso risultano quasi significativi in modo positivo i dati di giugno e luglio dell'anno in corso in classe 1.

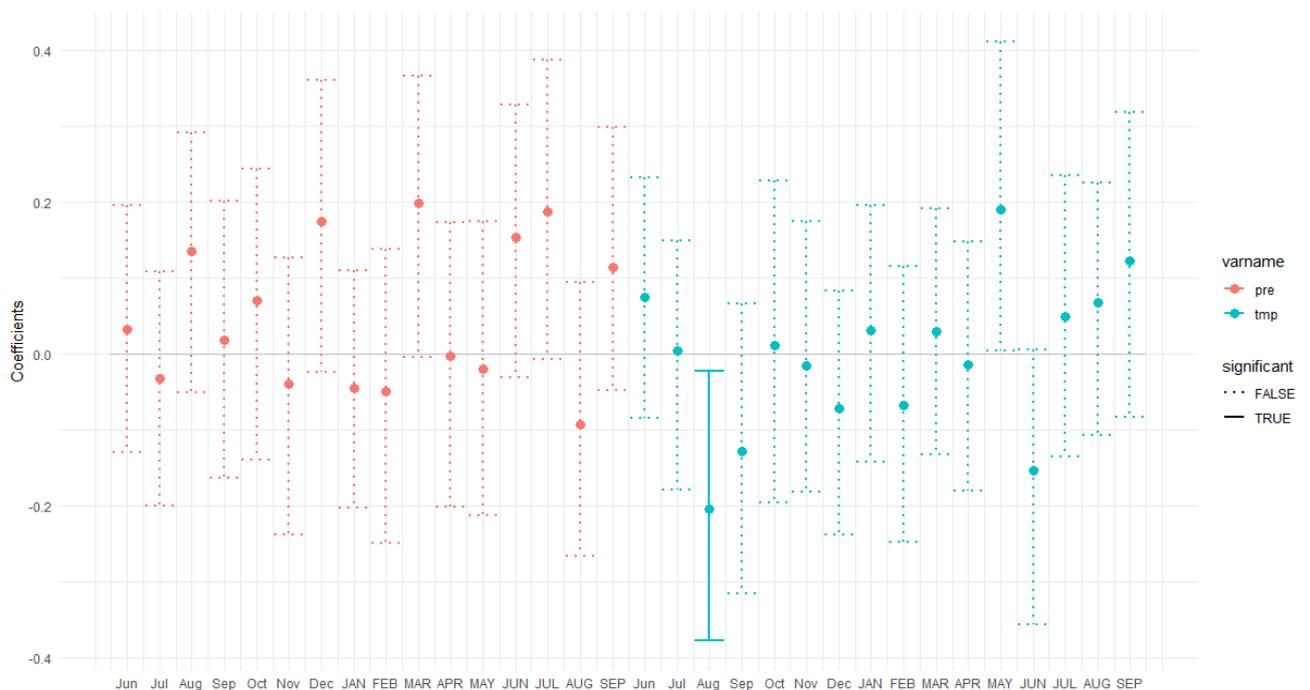


Figura 30 funzioni di risposta calcolate mediante regressione lineare multipla. Nel grafico troviamo le precipitazioni (rosso) e le temperature medie (blu) da giugno dell'anno precedente a settembre dell'anno in corso in CLASSE1. Le linee continue esprimono correlazioni significative ($p < 0,05$)

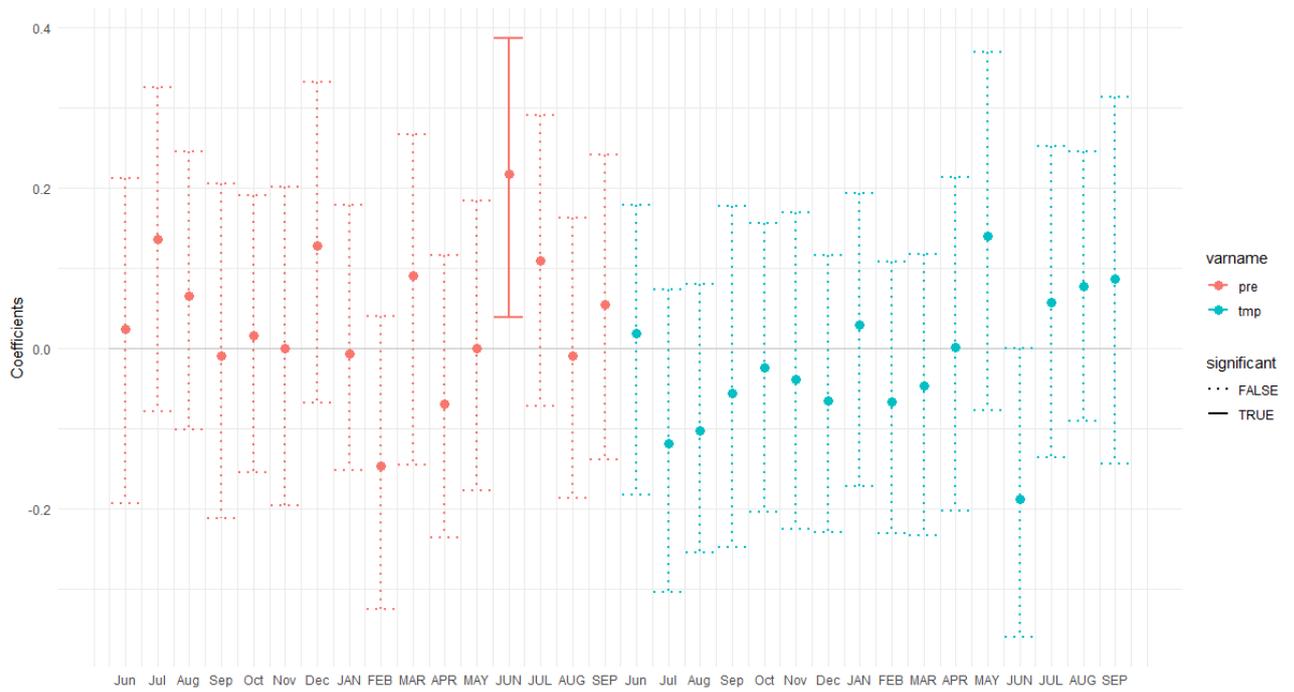


Figura 31 funzioni di risposta calcolate mediante regressione lineare multipla. Nel grafico troviamo le precipitazioni (rosso) e le temperature medie (blu) da giugno dell'anno precedente a settembre dell'anno in corso in CLASSE2. Le linee continue esprimono correlazioni significative ($p < 0,05$)

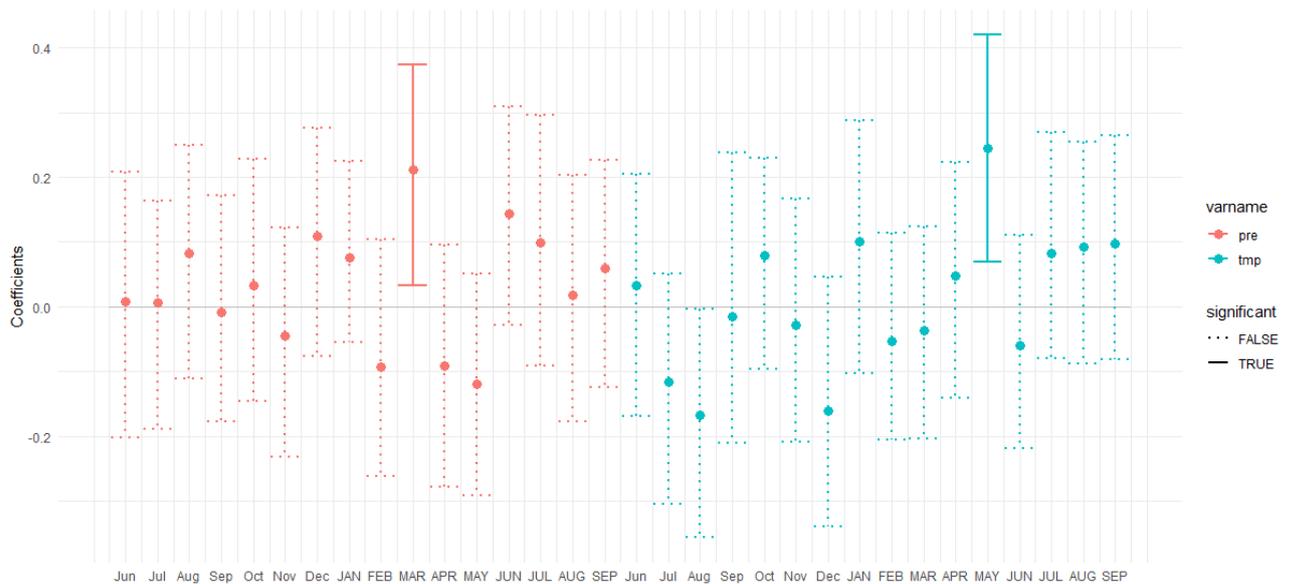


Figura 32 funzioni di risposta calcolate mediante regressione lineare multipla. Nel grafico troviamo le precipitazioni (rosso) e le temperature medie (blu) da giugno dell'anno precedente a settembre dell'anno in corso in CLASSE3. Le linee continue esprimono correlazioni significative ($p < 0,05$)

TAB RIASSUNTIVA:

| | | TEMPERATURA | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | g | l | a | s | o | n | d | G | F | M | A | M | G | L | A | S |
| CLASSE1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLASSE2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLASSE3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | PRECIPITAZIONI | | | | | | | | | | | | | | |
| CLASSE1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLASSE2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLASSE3 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 3 Riassunto schematico delle correlazioni con relativa significatività maggiore con l'aumentare dell'intensità del colore a seconda del coefficiente di correlazione: In arancio1(0.05<coeff<0.15), arancio2(0.15<coeff<0.2) e rosso(coeff>0.2) le correlazioni negative, in azzurro(0.05<coeff<0.15), blu(0.15<coeff<0.2) e verde(coeff>0.2) quelle positive.

5.0.5. Funzioni di risposta mobili

Le funzioni di risposta mobili di Pearson mostrano come primo dato il fatto che nel luglio precedente abbiamo un dato negativo e fortemente significativo in tutte e 3 le classi diametriche (Fig.33,34,35) per quanto riguarda la temperatura, inoltre i dati di inizio secolo mostrano invece valori neutri/positivi, c'è stato quindi un cambio di direzione dell'effetto. Risulta inoltre che ad agosto sempre dell'anno precedente, le funzioni di risposta con le temperature non sono sempre significative, ma sono sempre negative per tutte e 3 le classi e per tutta la lunghezza della serie. Sempre per quanto riguarda le temperature, troviamo un intervallo di tempo comune con accrescimenti negativi tra il 1939 e il 1986 nel mese di febbraio, la serie di questo mese prosegue poi verso un accrescimento più positivo. Mentre le temperature di giugno dell'anno in corso sono rilevanti negativamente fino al 1990 soprattutto in classe 1 (Fig.33), per poi invertire la tendenza fino a una positività rilevata dal 2000 ad oggi. Troviamo anche dei periodi con funzioni di risposta negative sulle precipitazioni in tutte e 3 le classi nel periodo compreso tra 1945 e 2000 nei mesi di maggio e aprile dell'anno corrente.

Per quanto riguarda le funzioni positive sulle temperature invece: si nota subito un dato positivo, e significativo in tutte le classi e per quasi tutta la durata della serie nei mesi di

maggio e luglio dell'anno in corso. Le precipitazioni invece mostrano in agosto dell'anno in corso un cambio di tendenza da negativa verso il positivo che in classe 3 (Fig.35) diventa significativa a partire circa dal 1970. Si nota altresì una tendenza sempre positiva nel mese di marzo dell'anno precedente in relazione alle precipitazioni. Ed in fine funzioni positive fino al 1970 in tutte le classi per i mesi di giugno e luglio dell'anno precedente.

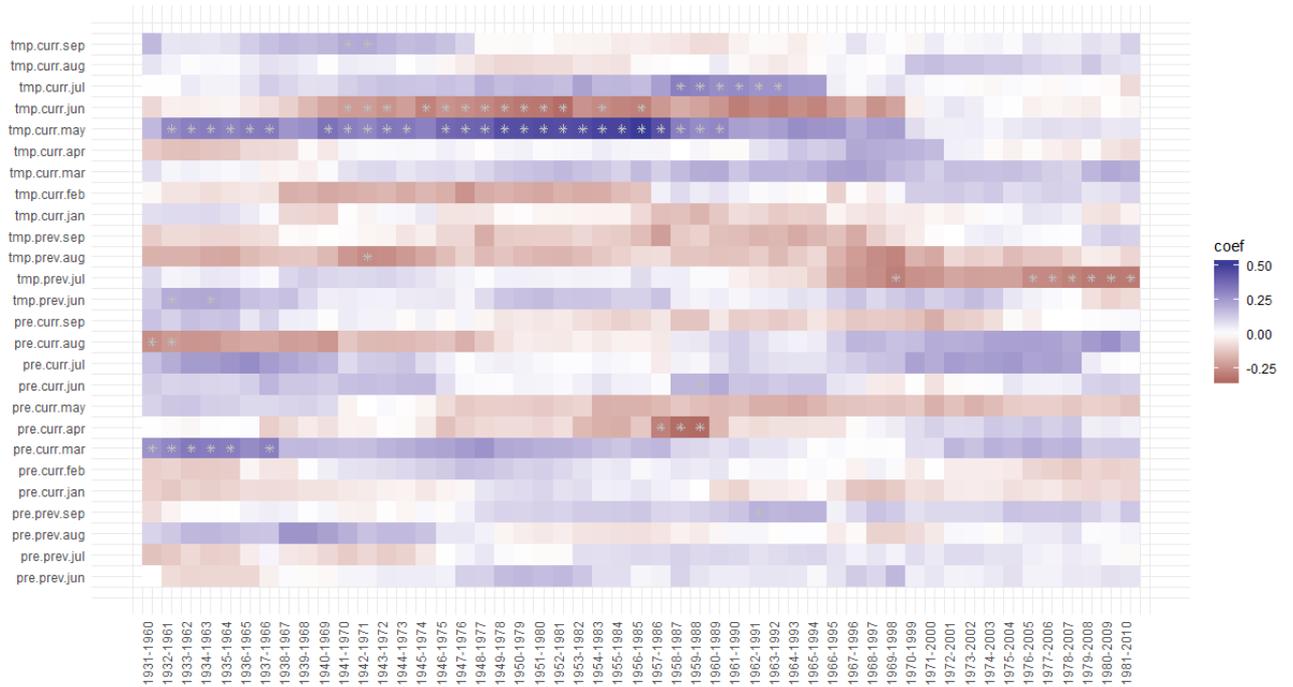


Figura 33 funzione di risposta mobile di Pearson tra la cronologia stagionale di CLASSE1 e le variabili climatiche mensili considerate, su una finestra mobile di 30 anni con offset o slittamento di 1 anno. In rosso sono indicate le correlazioni negative, in blu quelle positive e gli asterischi indicano le correlazioni significative ($p < 0,05$)

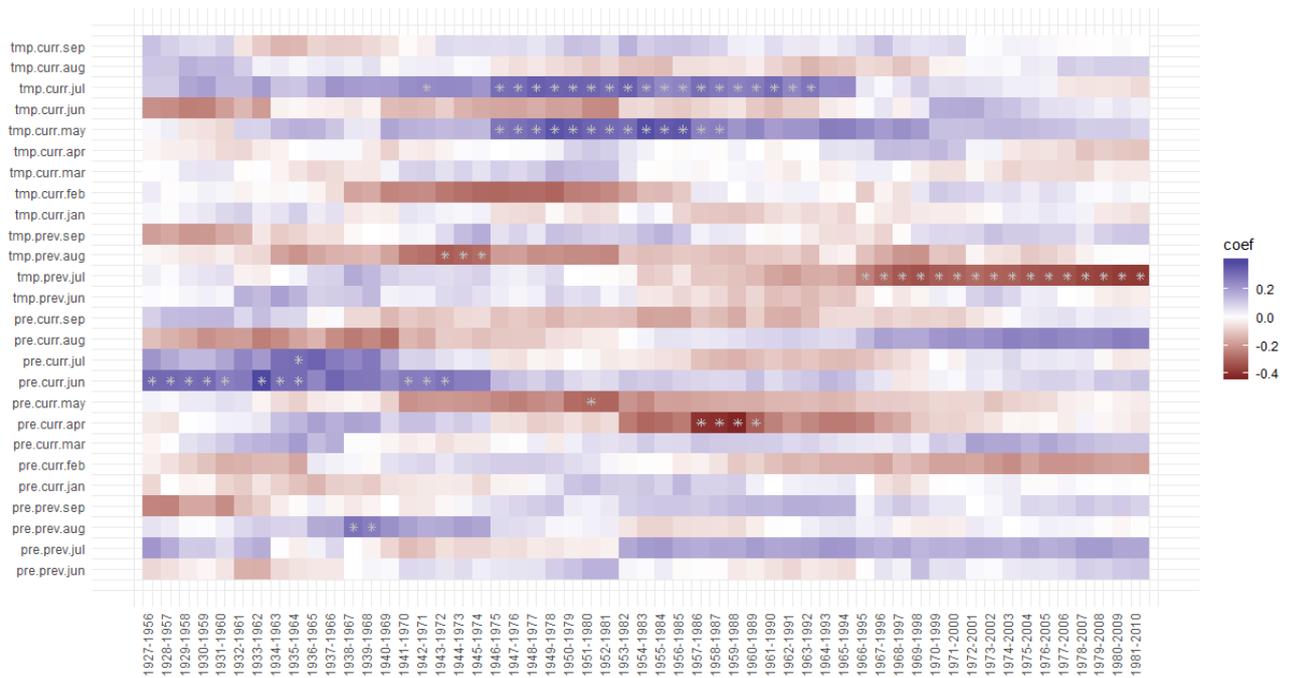


Figura 34 funzione di risposta mobile di Pearson tra la cronologia stagionale di CLASSE2 e le variabili climatiche mensili considerate, su una finestra mobile di 30 anni con offset o slittamento di 1 anno. In rosso sono indicate le correlazioni negative, in blu quelle positive e gli asterischi indicano le correlazioni significative ($p < 0,05$)

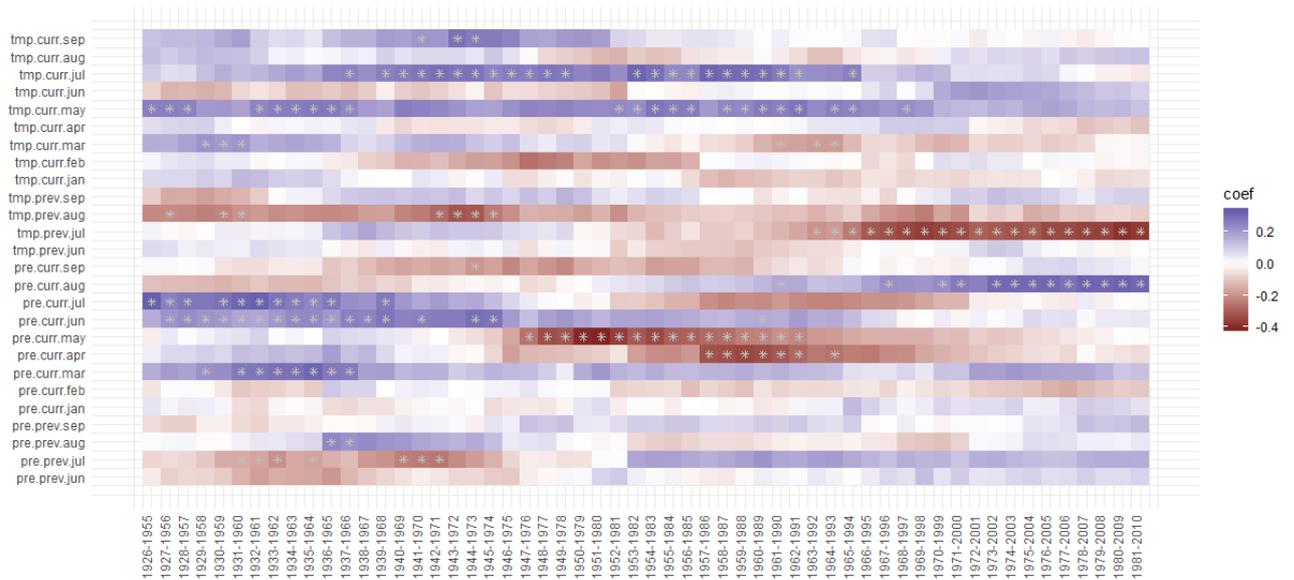


Figura 35 funzione di risposta mobile di Pearson tra la cronologia stagionale di CLASSE3 e le variabili climatiche mensili considerate, su una finestra mobile di 30 anni con offset o slittamento di 1 anno. In rosso sono indicate le correlazioni negative, in blu quelle positive e gli asterischi indicano le correlazioni significative ($p < 0,05$)

6. DISCUSSIONE:

Dal grafico che riassume le funzioni di risposta delle piante rispetto a temperatura e precipitazioni (Tab.3) emerge subito un dato comune ed interessante riguardo le temperature nei mesi di luglio e agosto dell'anno precedente alla formazione dell'anello, tutte le classi diametriche risultano penalizzate in questo senso, probabilmente anche perché trovandoci al limitare del bosco, le piante sono meno adattate alle temperature record che si toccano sempre più spesso durante i mesi più caldi, Infatti nelle correlazioni mobili questo dato negativo emerge per tutte e 3 le classi solo nella seconda parte del secolo. Questo dato è spiegato dall'aumento costante delle temperature nel mese di luglio, con un trend in ascesa di circa 2 gradi nell'ultimo secolo. (Fig.36)

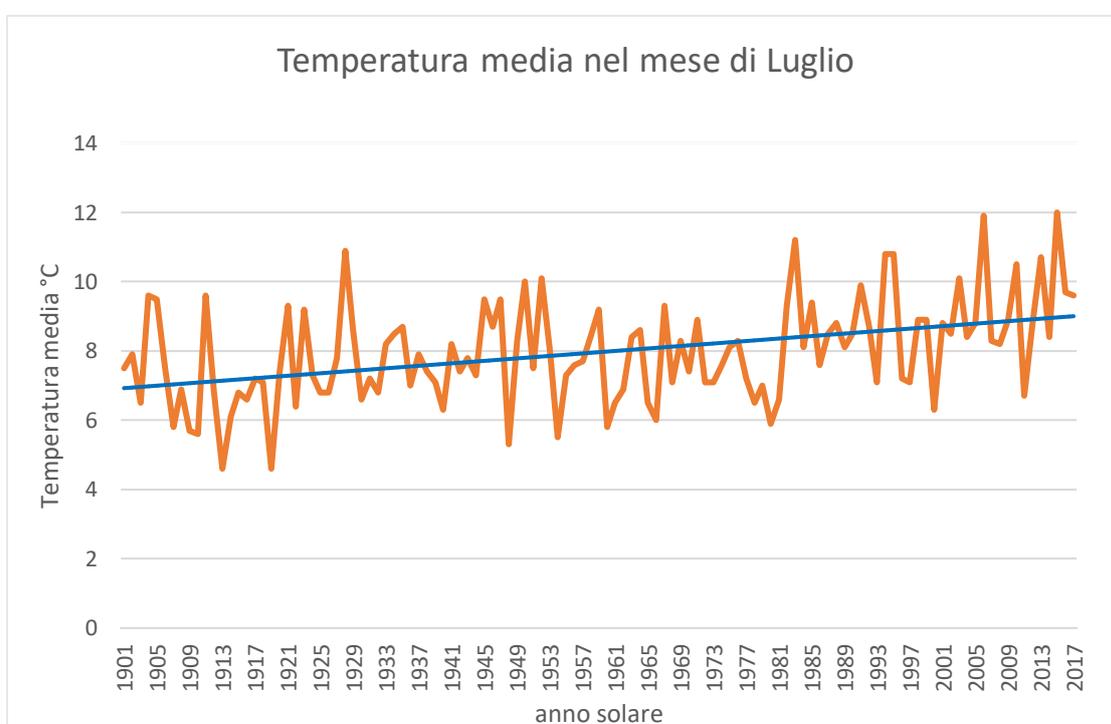


Figura 36 Trend delle temperature medie nel mese di agosto sulle coordinate di riferimento dell'area di studio

Sempre in relazione alla temperatura, un altro dato interessante è il fatto che a maggio il coefficiente di correlazione con l'accrescimento sia positivo. Sembra che il periodo di sensibilità della pianta alle condizioni climatiche tenda a spostarsi più verso il periodo tardo primaverile piuttosto che in quello estivo, in questo periodo l'abete dovrebbe essere ancora in una condizione di crescita limitata (Rossi. 2007), invece grazie alle temperature elevate, sembra iniziare precocemente a differenziare cellule cambiali, in ragion del fatto che ha già messo a disposizione le riserve accumulate durante la stagione vegetativa

precedente e iniziato a fotosintetizzare, e quindi a fissare il carbonio. Troviamo anche correlazioni positive riguardo le precipitazioni nei mesi di marzo e giugno in classe 2 soprattutto. Per quanto riguarda il mese di giugno il dato è in linea con la tendenza delle precipitazioni, che toccano in questo mese valori di 180mm medi (Fig.37), ed il dato si conferma abbastanza stabile osservando la classe 1 che risulta favorita dalle precipitazioni nei mesi di giugno e luglio.

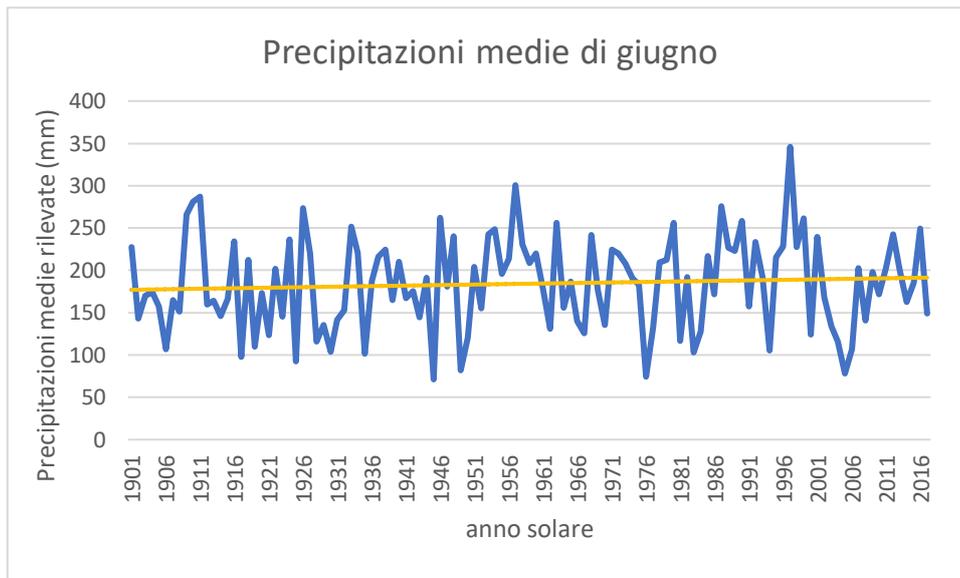


Figura 37 Trend delle precipitazioni medie nel mese di giugno sulle coordinate di riferimento dell'area di studio

Il dato di marzo invece è ben più preoccupante, in quanto in questo mese le funzioni di risposta mobili segnano una grande dipendenza dalle precipitazioni, che però sono in decrescita rispetto a inizio secolo (Fig.38), in marzo l'abete sostenuto dalle temperature più miti inizia la sua stagione vegetativa, una carenza idrica in questo mese condiziona gran

parte della ripresa vegetativa. Attualmente però le precipitazioni sembrano essere ben sostenute dall'acqua accumulata sotto forma di neve durante la stagione invernale.

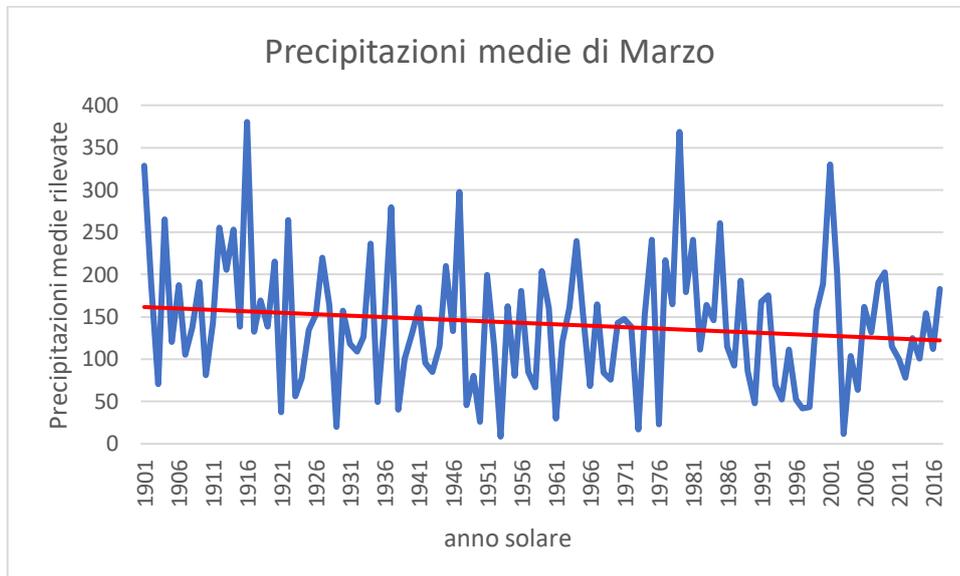


Figura 38 Trend delle precipitazioni medie nel mese di marzo sulle coordinate di riferimento dell'area di studio

Altro dato interessante ma trascurabile in quanto non particolarmente marcato è quello di dicembre e gennaio per quanto riguarda le precipitazioni, in questi mesi la pianta è in riposo vegetativo, però le precipitazioni nevose contribuiscono al rifornimento idrico della primavera successiva, dimostrando correlazioni leggermente positive, ciò significa che le precipitazioni nevose sono in leggero aumento, come pronosticato dallo scenario RCP8.5

Non si notano grosse differenze nelle funzioni di risposta sulle 3 classi, in generale sembra che i periodi "critici" siano abbastanza comuni in tutte le classi diametriche, però è evidente il fatto che la classe1 risponde in maniera molto minore agli stimoli climatici rispetto alla classe2 e alla classe3 che invece sembrano avere più problemi di accrescimento in relazione alle condizioni climatiche. Sembra quindi che la classe1 in questo sito sia dipendente da altri fattori, che si possono individuare o nella crescita giovanile, oppure nel fatto che la crescita stessa, non abbia come fattore limitante la temperatura o le precipitazioni bensì, ad esempio, la luce.

Per quanto riguarda le funzioni di risposta mobili di Pearson invece, il primo valore da analizzare è quello di luglio dell'anno precedente in relazione alle temperature, già

riscontrato nelle funzioni di risposta, che risulta significativo in modo negativo a partire circa dagli anni '60 in tutte le classi diametriche. Questo valore inverte la tendenza rispetto alla prima metà del secolo, dove le temperature erano leggermente positive in relazione all'accrescimento. Questa inversione di tendenza sembra essere un chiaro esempio di difficile adattamento da parte dell'abete alle nuove condizioni climatiche in atto. Il mese successivo (agosto dell'anno precedente) risulta scarsamente correlato per tutta la durata della serie, questo valore indica che l'abete negli ultimi 100 anni è sempre in deficit in relazione alle temperature di agosto, ma mai significativo. La funzione di risposta mobile di questo mese però unita ai dati di luglio fa pronosticare il fatto che anche agosto se la situazione non varia nei prossimi anni, anche in base ai "pronostici" italiani (Fig.7,8) che mostrano un innalzamento delle temperature fino a 2°C, potrebbe iniziare a patirne gli effetti in modo significativo. Se osserviamo però le precipitazioni dello stesso periodo, in luglio dell'anno precedente, queste sono positive soprattutto in classe 2 e 3, sembra quindi che attualmente il deficit imposto dalle temperature venga compensato dall'ottimo rifornimento idrico che infatti si dimostra il più alto di tutta la stagione proprio nei mesi di giugno luglio e agosto. (Fig.39)

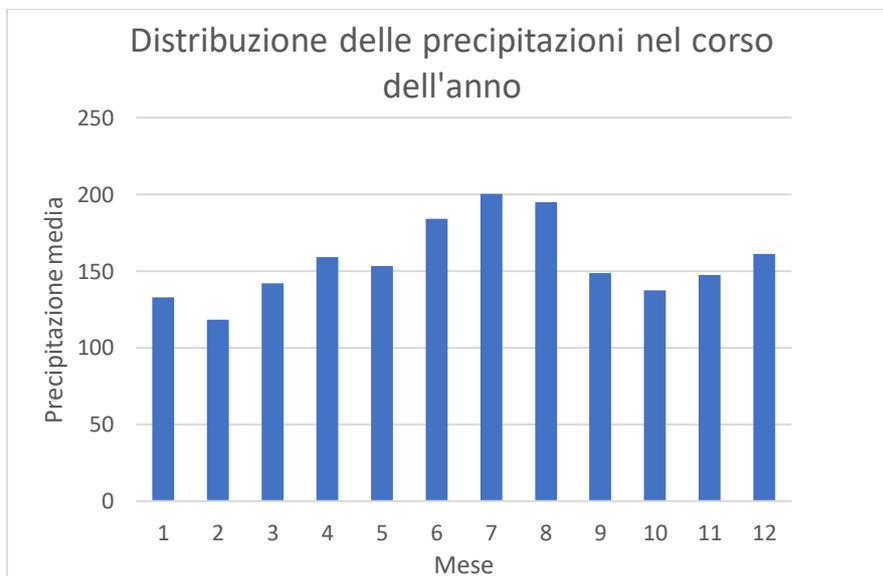


Figura 39 Distribuzione delle precipitazioni nel corso dell'anno sulle coordinate di riferimento dell'area di studio

Se parliamo invece il luglio dell'anno in corso rispetto alla formazione dell'anello, notiamo come le funzioni di risposta mobili sono positive e significative in tutte e 3 le classi diametriche fino al 1966, da dove i valori tendono sempre più a smorzarsi dal positivo significativo verso il neutro e nelle ultimissime finestre in ordine temporale addirittura verso il negativo. In questo caso però il deficit che sembra presentarsi non è sostenuto dalle precipitazioni, che invece sembrano influire positivamente in tutte le classi nel mese successivo (agosto). Le temperature dei mesi caldi risultano quindi sempre più significative con l'avanzare degli anni, ci si aspetta che la velocità di accrescimento in questi ambienti di treeline sia proporzionale alla temperatura, e che quindi l'abete sviluppi un accrescimento più rapido attorno a metà luglio, proprio in relazione alla temperatura, unita al fotoperiodo (Rossi. 2007). Invece in questo caso la temperatura sembra essere il primo effetto limitante nell'Abete rosso proprio nel mese che dovrebbe essere il più importante per lo spessore complessivo dell'anello. Si può quindi affermare che le temperature dei mesi più caldi dell'anno (luglio e agosto) nell'Abete rosso, almeno per quanto riguarda questo sito, sono cruciali per lo sviluppo dell'anello sia dell'anno in corso, ma soprattutto dell'anno precedente. Una riduzione di incremento legnoso proprio nel periodo nel quale l'abete presenta una crescita esponenziale. Ovvero nel periodo tra il 175° giorno dell'anno (circa inizio giugno) e il 225° (circa fine luglio) (Rossi et al. 2007). Si può inoltre affermare che le precipitazioni abbondanti nei mesi estivi tendono a tamponare questo deficit indotto dalle temperature, in un suolo (podzol) che difficilmente trattiene acqua.

7. CONCLUSIONI

Con questo studio si è cercato di caratterizzare delle dinamiche di crescita con particolare riferimento all'influenza dei fattori climatici su un popolamento di Abete rosso (*Picea abies*), al termine del lavoro sono stati campionati 50 individui suddivisi in 3 classi diametriche, le analisi sono state svolte con le stesse modalità su tutte e 3 le classi.

Le analisi climatiche si sono concentrate principalmente sui fattori di Temperatura e Precipitazioni, le prime analisi hanno riscontrato una blanda relazione tra clima e

accrescimento, nonostante ciò durante la fase finale sono emersi dati interessanti che lasciano spunto a qualche riflessione.

Il dato principale si rileva nelle temperature di luglio e agosto in ascesa, questa mutata condizione costringe l'abete a incrementi legnosi minori durante questa stagione. Questa situazione sembra all'attualità essere ben sostenuta dalle precipitazioni, che compensano l'altissimo livello di traspirazione imposto dal caldo. Emerge anche dai dati di marzo sulle precipitazioni, che la crescita dell'Abete rosso si sta spostando verso la primavera all'interno dell'anno solare, il fatto è spiegato dall'innalzamento delle temperature, che attivano precocemente i processi fotosintetici, ma contemporaneamente contribuiscono a sciogliere più velocemente lo strato nevoso presente a queste quote. L'acqua disciolta viene così resa disponibile alle radici, che sono in grado di iniziare a mobilitare riserve. Unito allo scioglimento della neve nel mese di marzo, abbiamo il dato delle temperature di maggio, che influiscono in modo molto positivo. La crescita maggiorata di questo mese, unita a tutti i dati precedentemente esposti, dimostrano un ottimo adattamento dell'abete alle nuove condizioni imposte.

Si specifica che quelle tratte sono solo ipotesi, che dipendono strettamente dalla temperatura e dalle precipitazioni, contemporaneamente a molti altri fattori che non sono stati analizzati nel dettaglio. Incrociando i dati ottenuti con i possibili scenari presentati da IPCC proviamo a formulare qualche ipotesi per quanto riguarda il futuro, è assodato che le temperature influenzano in modo significativo tutta la stagione vegetativa dell'abete, durante l'estate in modo negativo, mentre in primavera in modo positivo. Nei prossimi 30 anni lo scenario più mite prevede un aumento ulteriore delle temperature medie di circa 1°C, unito ad una diminuzione delle precipitazioni estive di circa il 20% ed invernali del 10%, ci si aspetta quindi una sempre minore copertura nevosa invernale, unita ad un decremento proprio di quelle precipitazioni che attualmente sembrano sostenere le temperature troppo elevate, lo scenario per gli abeti, soprattutto a questa quota, sembra essere abbastanza drastico. Analizzando invece l'ipotesi successiva, quello con aumento delle temperature di circa 2°C, che ritengo successivo, anche se calcolato sullo stesso lasso di tempo, mostra una sostanziale differenza nelle precipitazioni, soprattutto nel periodo invernale, questa condizione potrebbe quindi ripercuotersi sugli accumuli nevosi, ma in

modo positivo, unito all'aumento stesso della temperatura però condizionerà in modo sempre maggiore il precoce inizio della stagione vegetativa già rilevato in queste analisi nel mese di marzo.

In conclusione emerge che questo popolamento di Abete rosso situato in una zona di tree-line, si dimostra molto sensibile alle nuove condizioni climatiche in atto e sembra in una fase di adattamento proprio in relazione ad esse. La risposta principale rilevata come sintomo di adattamento sta nella modifica del periodo della stagione vegetativa, rappresentato da un arretramento verso i mesi primaverili rispetto a quelli estivi come conseguenza del drastico aumento delle temperature, si possono inoltre ipotizzare delle future modifiche per la parte di stagione vegetativa che riguarda l'autunno, dove le stesse temperature sono più miti rispetto all'estate. (non rilevate in questo studio ma plausibili, se supportate dalle precipitazioni)

Le condizioni climatiche sono però in costante mutamento, non si può infatti affermare con certezza alcuna delle ipotesi formulate. È certo però che questo aumento delle temperature influisce non solo sull'Abete rosso, ma su tutte le specie vegetali contemporaneamente. Siamo quindi di fronte ad una costante guerra tra tutte le specie per guadagnare una condizione di benessere, intaccata dai mutamenti climatici, imposti principalmente dall'uomo.

L'uomo è la causa dei cambiamenti climatici, ora deve diventarne anche la cura. Abbiamo le conoscenze tecnologiche necessarie per ridurre i livelli di emissione, quando decideremo di utilizzarli?

8.BIBLIOGRAFIA:

ANFODILLO T., 1992. Osservazione sullo stato idrico invernale di Pinus cembra L. e Picea abies (L.) Karst. in alta montagna. Monti e boschi, n. 2, 45-52.

ANFODILLO T., URBINATI C., 2001. Foreste di alta quota in ambiente alpino: fisionomia, ecologia e possibili dinamismi. Monti e boschi, n.52, 31-39

BERNARDELLI.,2008. Risk mapping per attacchi di bostrico tipografo nei boschi del friuli venezia giulia. Dipartimento di Biologia e Protezione delle Piante, Università degli Studi di Udine, p 261.

BERNETTI G., (2007b). Riscaldamento dell'atmosfera e fasce di vegetazione. In: "Botanica e Selvicoltura". Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Italy, pp. 121-125

BLASING TJ, SOLOMON AM, DUVICK DN ,1984. Response Functions Revisited. Tree-Ring Bull 44:1–15.

BUCCHIGNANI E, MONTESARCHIO M, ZOLLO AL, MERCOGLIANO P (2016) High-resolution climate simulations with COSMO-CLM over Italy: performance evaluation and climate projections for the 21st century. Int J Climatol 36:735–756. doi: 10.1002/joc.4379

CALLAGHAN TV, KÖRNER CH, HEAL OW, LEE SE, CORNELISSEN JHC (1998). Scenarios for ecosystem responses to global change. In Global change in Europe's cold regions (Heal et al. ed). European Commission, Ecosystem research project n. 27, 137pp

CSI RIO,2016. state of the climate australian government. ISBN: 978-0-642-70678-2

DUCOLI A., 2012. modelli di gestione forestale per il parco dell'adamello. Tipografia Brenese (Breno - BS) Prima Edizione

EDGAR database for global atmospheric research.
<https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=432>

FACCOLI, M., 2009. Effect of weather on *Ips typographus* (Coleoptera, Curculionidae) phenology, voltinism, and associated spruce mortality in the southeastern Alps. *Environ. Entomol.* 38, 307-316.

GCP global carbon project:

<http://www.comitatoscientifico.org/temi%20CG/clima/datiglobali.htm>

GIORGI F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.* 33: L08707, doi

HOLLING CS. 1973 Resilience and stability of ecological systems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 4, 1-23

IPCC, 2017 - Intergovernmental Panel on Climate Change. Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici. P 22.

https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/documento_pnacc_luglio_2017.pdf

JEŽÍK M., MIROSLAV BLAŽENEC, MATTHEW G. LETTS, LUBICA DITMAROVÁ, ZUZANA SITKOVÁ AND KATARÍNA STŘELCOVÁ, 2015, Assessing seasonal drought stress response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) by monitoring stem circumference and sap flow

LARCHER W., 1985 – Winter stress in high mountains. In: Establishment and tending of Subalpine Forest: Research and Management. – 3rd IUFRO Workshop P1.07-00, Anst. forstl. Versuchswes., Berlin, 11-19

LEVESQUE M, SAURER M, SIEGWOLF R, EILMANN B, BRANG P, BUGMANNH, RIGLING A. 2013. Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway spruce and European larch. *Glob. Chang. Biol.* 19 (10): 3184-3199.

LUCKMAN BH, KAVANAGH TA (1998). Documenting the effects of recent climate change at treeline in the Canadian Rockies. In: *The Impacts of Climate Change on Forests* (Beniston M, Innes JL eds). Lecture Notes in Earth Sciences Springer Verlag, pp. 121-144

MERCOGLIANO P. (CMCC, CIRA), BARBATO G. (CMCC), GUIDO R. (CMCC), ZOLLO A. (CMCC), 2017. Analisi della condizione climatica attuale e futura, Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC) p. 22

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, <https://www.climate.gov/>

NOAA, 2018 state of the climate, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201813>

PAVARI A., 1916. Studio preliminare sulla coltura di specie forestali esotiche in Italia. I. Parte Generale. ANNALI R. Istit. Sup. For. Naz., 1.: 1914–15.

PIGNATTI G., (2011), la vegetazione forestale di fronte ad alcuni scenari di cambiamento climatico in Italia. Forest@: 1–12.

PISARIC M.F.J., HOLT C., SZEICZ J.M., KARST T., SMOL J.P., 2003. Holocene treeline dynamics in the mountains of northeastern British Columbia, Canada, inferred from fossil pollen and stomata. Holocene, 13: 161-173.

ROCKEL B, GEYER B (2008) The performance of the regional climate model CLM in different Climate regions, based on the example of precipitation. Meteorol Zeitschrift 17:487–498. doi: 10.1127/0941-2948/2008/0297

ROSSI S., DESLAURIERS A., 2007. Temporal scale of the action of temperature and photoperiod on the xylogenesis at the treeline. Forest@ Vol. 4»pp. 6-10

ROSSI S., A. DESLAURIERS, T. ANFODILLO AND V. CARRARO. 2007. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. Oecologia 152. P 1-12

SALOMON W., 1908- L'origine degli scisti sericitici in valle Camonica. Comm. At. Brescia per l'a. 1907, Brescia.

SALVADORI C., STERGULC F., 2008. indirizzi selvicolturali per il contenimento dei danni da bostrico tipografo nelle foreste delle alpi orientali. In: riassunti III congresso nazionale di selvicoltura (ciancio o ed) taormina(italy) 16-19 ottobre 2008 p. 114

SCHMITT U., JALKANEN R., ECKSTEIN D., 2004 – Cambium dynamics of *Pinus sylvestris* and *Betula* spp. in the northern boreal forest in Finland. *Silva Fennica*, 38: 167-178

SOLBERG S., 2004. Summer drought: a driver for crown condition and mortality of Norway spruce in Norway. *For Pathol* 34:93-104

STATE OF THE CLIMATE 2018.

<https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/publications/bulletin-of-the-american-meteorological-society-bams/state-of-the-climate/>

Redazione QualEnergia.it, (2019), Clima, sempre più CO2: a luglio 2019 siamo a 414 ppm, <https://www.qualenergia.it/articoli/clima-sempre-piu-co2-a-luglio-2019-siamo-a414-ppm/>

ZEBISCH M TAPPEINER U ELMI M HOFFMANN C NIEDRIST G PEDOTH L PINZGER S PISTOCCHI A TASSER E, 2011, Rapporto sul clima alto adige, Publications of the Institute for Earth Observation

ZOLLO AL, RILLO V, BUCCHIGNANI E, ET AL (2016) Extreme temperature and precipitation events over Italy: assessment of high-resolution simulations with COSMO-CLM and future scenarios. *Int J Climatol* 36:987–1004. doi: 10.1002/joc.4401

DATARING:<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>