



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE FORESTALI ED AMBIENTALI (L25)

**Caratteri dendrocronologici e dendroclimatici
del tasso (*Taxus baccata* L.) nelle Marche**

*Dendrochronological and dendroclimatic features
of European yew (*Taxus baccata* L.) in the Marche region*

TIPO TESI: SPERIMENTALE

Tesi di:

ELENA BAROCCI

Relatore:

PROF. CARLO URBINATI

Correlatore:

DOTT. ENRICO TONELLI

ANNO ACCADEMICO 2022-2023
SESSIONE OTTOBRE 2023

Sommario

1.INTRODUZIONE	3
1.1 Contesto e obiettivi dello studio	3
1.2 <i>Taxus baccata</i>: caratteristiche morfologiche, biogeografiche ed ecologiche	5
1.3 <i>Taxus baccata</i> nelle Marche	8
2. MATERIALI E METODI	12
2.1 Caratterizzazione delle popolazioni di <i>Taxus baccata</i> campionate	12
2.1.1 Macchia delle Tassinete.....	12
2.1.2 Bosco dell'Internone.....	12
2.1.3 Alpe della Luna.....	13
2.1.4 Caratterizzazione climatica delle popolazioni di <i>Taxus baccata</i> campionate.....	14
2.2 Raccolta e preparazione dei campioni legnosi	16
2.3 Misurazione e analisi degli anelli legnosi	18
2.4 Analisi statistiche e delle relazioni clima-accrescimento	19
3. RISULTATI	23
3.1 Caratteristiche delle cronologie medie di <i>Taxus baccata</i>	23
3.2 Dinamismi di accrescimento e sensibilità climatica di <i>Taxus baccata</i>	24
3.2.1 Analisi delle serie di accrescimento	24
3.2.2 Effetti delle temperature	28
3.2.3 Effetti delle precipitazioni.....	31
3.2.4 Effetti della siccità (indice SPEI).....	32
4. CONCLUSIONI GENERALI	37
5. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	39

1.INTRODUZIONE

1.1 Contesto e obiettivi dello studio

Il tasso (*Taxus baccata* L.) è una conifera sempreverde appartenente alla famiglia delle *Taxaceae*, quindi all'ordine *Pinales*. Si tratta di una specie di particolare interesse per alcune caratteristiche che la differenziano da altre gimnosperme, quali ad esempio l'assenza di canali resiniferi, l'eccezionale longevità e l'importanza bioecologica che assume specialmente nel territorio marchigiano (**Fig. 1.1.1**).

In passato, nel Terziario, le diverse specie appartenenti al genere *Taxus* (tra cui *Taxus baccata*), erano fortemente diffuse in ogni foresta temperata a carattere oceanico dell'emisfero boreale.

Attualmente invece, *Taxus baccata* e altre specie dello stesso genere sono confinate in areali molto più ristretti, dove sono garantite le condizioni ecologiche necessarie alla loro sopravvivenza. La successione delle glaciazioni del Quaternario ha avuto una profonda influenza sulla diffusione della flora e della fauna comportando l'estinzione di molte specie e la frammentazione di altre.

Il tasso è una delle specie che è stata soggetta nel corso del tempo a una forte frammentazione del suo areale originario, proprio per questo motivo viene ad oggi considerata un 'relietto' dell'epoca del Terziario (Bagnara, 2012).



Figura 1.1.1 – Esempio di *Taxus baccata* di età molto avanzata, Berti (2021)

Le attività antropiche hanno fortemente contribuito all'ulteriore riduzione dell'habitat di questa specie, più anticamente utilizzata per la costruzione di utensili di diversa tipologia e in periodi più

recenti densamente sfruttata per le proprietà del legname, oltre che essere stata ridotta nel tempo come conseguenza dell'eliminazione di estese superfici boscate sostituite da pascoli.

Le proprietà del legno di tasso, pesante ma elastico, assieme alla caratteristica di non essere dotato di canali resiniferi, lo hanno reso infatti storicamente importante. Nel Medioevo veniva utilizzato per una vasta gamma di oggetti, e il legno era così richiesto che i popolamenti di tasso vennero intensamente sfruttati fin quasi a raggiungere l'estinzione della specie in gran parte dell'Europa.

Nel corso del tempo, a causa di tale riduzione, il tasso è stato soggetto a un graduale isolamento delle popolazioni, il che ha portato alla rispettiva riduzione del flusso di geni e quindi alla costruzione di patrimoni genetici differenti tra i popolamenti dei diversi siti (González-Martínez et al., 2010).

Successivamente, si è verificata una ricolonizzazione spontanea del bosco in campi e pascoli abbandonati, la quale ha contribuito alla ricomparsa di *Taxus baccata* in diverse aree, ma ciò non ha ugualmente permesso un vero e proprio recupero di tutto l'areale potenziale della specie, e oltretutto si è verificata una perdita della capacità competitiva con le altre piante forestali, che ha costretto il tasso a vegetare ormai solo nei piani dominati dei boschi di latifoglie (Waller & Hamilton, 2000).

A differenza di altre specie forestali, il tasso è caratterizzato da esigenze particolari e da un lento accrescimento tali da comportare spesso situazioni di rischio per la sopravvivenza della specie, e da rendere difficoltosa la 'ripresa' su diversi territori. La graduale regressione del tasso nelle parti più meridionali del suo areale è oggi divenuta ancor più rapida e grave a causa probabilmente dell'aumento di stress fisiologico dovuto alla crescente carenza d'acqua per periodi estremamente prolungati e ad altri fattori concomitanti legati al riscaldamento globale di origine antropica. Il tasso quindi soccombe a condizioni di stress intenso e ricorrente, che sono diventate ormai permanenti a causa del riscaldamento del clima, nonostante possieda una buona tolleranza alla siccità, che gli deriva dalla capacità di chiudere rapidamente gli stomi se manca l'acqua, ma questo solo per brevi periodi di tempo. Il tasso tollera moderatamente bene anche le alte temperature, purché, come nel caso precedente, si presentino sporadicamente e non siano persistenti per periodi troppo prolungati (Ghelardini et al., 2019).

Attualmente, con l'obiettivo di permettere la conservazione di questa specie e degli habitat in cui si presenta, sono stati investiti fondi con lo scopo di finanziare progetti LIFE appositi. Ad esempio, tra alcuni dei più importanti, è stato avviato il progetto LIFE "Conservazione della faggeta con *Taxus* e *Ilex* nell'Appennino centrale" ha interessato alcune aree in Abruzzo e Lazio che ospitano consociazioni forestali dominate dal faggio con il tasso e talvolta agrifoglio (Riserva di Morino, Parco dei Monti Simbruini e Riserva di Pettorano sul Gizio) (Berti, 2021).

Anche il D3A dell'Università Politecnica delle Marche ha dedicato parecchi studi al tasso e alla sua particolare ecologia, concentrandosi su alcune delle popolazioni di *Taxus baccata* più rappresentative del territorio marchigiano e sull'analisi genetica e dendroclimatica di ciascuna di queste, al fine di evidenziarne eventuali differenze o correlazioni interessanti tra le stesse. Con questa tesi si è cercato di verificare se l'accrescimento radiale di tasso negli ultimi decenni sia stato influenzato dai principali fattori climatici in tre rappresentativi siti nelle Marche: due nella dorsale di Cingoli (Macchia delle Tassinete e Internone) e una nella dorsale appenninica (Alpe della Luna). Il tasso è un albero adatto alle analisi dendrocronologiche per l'elevata longevità, la durabilità del legno e per il modello di crescita (che risponde rapidamente ai cambiamenti ambientali), di conseguenza può quindi essere considerata una specie bioindicatrice e quindi estremamente utile nello studio dei cambiamenti climatici attuali (Ghelardini et al., 2019). Pertanto si è proceduto: i) ad aggiornare e sincronizzare le cronologie di ampiezza degli anelli di tasso dei tre siti, equilibrandone anche il numero di alberi campione; ii) ad individuare eventuali anni caratteristici nelle serie di accrescimento delle tre popolazioni, iii) a costruire e confrontare i profili dendroclimatici del tasso nei tre siti attraverso il calcolo delle relazioni clima-accrescimento utilizzando serie storiche di temperature e precipitazioni mensili degli ultimi decenni.

1.2 *Taxus baccata*: caratteristiche morfologiche, biogeografiche ed ecologiche

Morfologia

Il tasso è una conifera principalmente dioica, presenta quindi sia coni maschili che femminili (**Tab. 1.2.1 e Fig. 1.2.1**). Solo in alcuni casi si hanno esemplari monoici, o situazioni intermedie di transizione (Barrett, 2021), e questi consistono generalmente in branche sessualmente separate (Benham et al., 2016). Nonostante le proprietà benefiche del taxolo, principio attivo estraibile dalla pianta, di ormai largo impiego farmaceutico nella cura contro i tumori, il tasso è da ritenersi estremamente tossico, a causa delle elevate concentrazioni di taxina presenti all'interno dei rami, delle foglie e dei semi della pianta stessa (assente unicamente nella polpa carnosa dell'arillo). La taxina, infatti, è una miscela di alcaloidi ad azione cardiottossica sia per gli uomini che per gli animali (non a caso spesso ci si riferisce al Tasso come 'Albero della morte') (Taffetani, 2022).

Tabella 1.2.1 – Caratteristiche morfologiche di *Taxus baccata* (Fiori, 1923; Pignatti, 1982)

	Forma	Colore	Disposizione
Foglie	Aghiformi, lamina appiattita	Pagina sup. verde scuro, pagina inf. giallo-verde opaco	Spiralate in due filari attorno allo stelo
Coni	M: piccoli globuli	Verdi	Sotto germogli dell'anno precedente
	F: arilli carnosi	Prima verdi, poi rosso scarlatto a maturità	Attorno al seme

Semi	Piccolo, ovoide	Nero	Avvolto dall'arillo
Corteccia	Liscia, sottile	Bruno-rossiccia inizialmente, grigiastra negli anziani	Tende a staccarsi a placche o a strisce longitudinali



Figura 1.2.1 – a) Disposizione spiralata delle foglie aghiformi di *Taxus baccata*, b) Esempio di *Taxus baccata* adulto, c) Arillo maturo contenente il seme

Biogeografia

Il Tasso è nativo della maggior parte dei paesi europei, arrivando ad occupare anche aree in Asia Minore. Si estende infatti dalla Penisola Iberica a nord fino alla Gran Bretagna e alla Scandinavia meridionale, a est fino al Mar Nero, Caucaso, e alle catene montuose nordafricane. In Italia il tasso è presente su tutto il territorio ma raramente è comune allo stato spontaneo (Thomas e Polwart, 2003). (**Fig. 1.2.2 e Fig. 1.2.3**)

La distribuzione di questa specie presenta però alcuni elementi limitanti, in particolare in Nord Europa questi sono rappresentati dalle basse temperature e dagli ambienti stagnanti, mentre a sud dall'aridità e dalle temperature elevate (Brill et al., 2013).

Per queste ragioni nelle situazioni collinari e montuose dell'Europa ritroviamo il tasso relegato prevalentemente ai versanti ombrosi con esposizioni nord-est e nord-ovest in mescolanza con specie decidue che agevolano la formazione di microclimi stagionali a maggior impronta oceanica, come appunto *Abies alba* e *Fagus sylvatica* (Thomas e Polwart, 2003).



Figura 1.2.2 – Areale di distribuzione naturale di *Taxus baccata* in Europa e territori limitrofi, dati da Euforgen ed elaborazioni in QGis

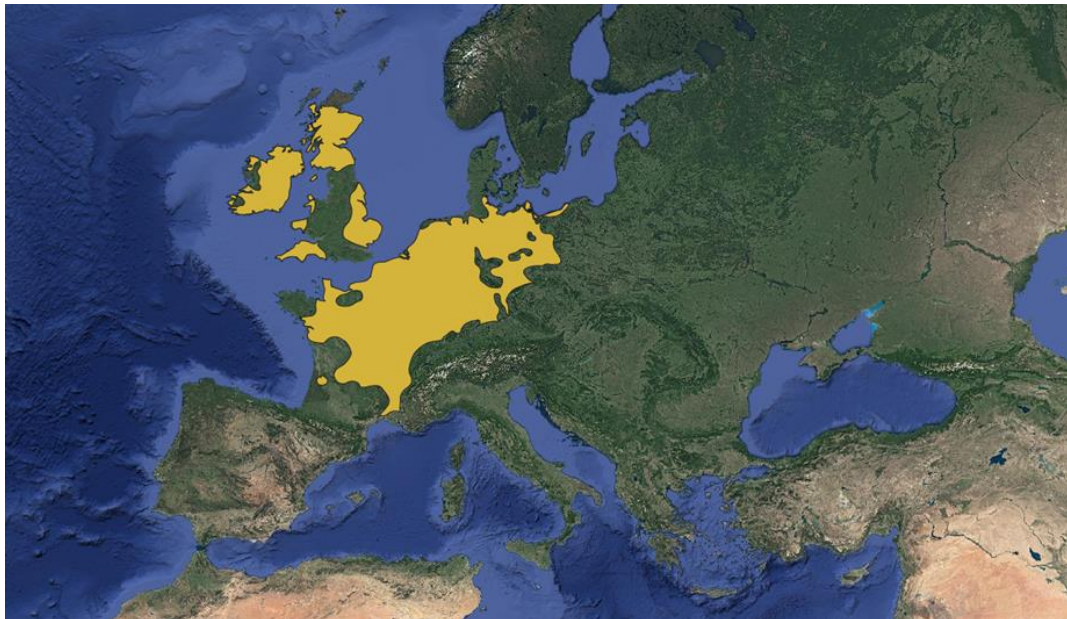


Figura 1.2.3 – Introduzione e successiva naturalizzazione di *Taxus baccata*, dati da Euforgen ed elaborazioni in QGis

L'altitudine a cui è possibile trovare il Tasso aumenta spostandosi da nord a sud a causa della richiesta di maggiore umidità e, nell'area mediterranea, il tasso è di solito limitato alle quote più elevate sulle pendici settentrionali.

Generalmente, le altitudini massime dove è possibile rinvenire la specie risultano essere le seguenti: 2050 m sul Caucaso; 1400-1900 m s.l.m. in Turchia; 1400- 1650 m s.l.m. sui Pirenei; 1600-1900 m s.l.m. nel sud della Spagna; 1950 m s.l.m. nella Grecia centrale; 2000-2500 m s.l.m. nel nord Africa. Per quanto riguarda invece il contesto italiano, qui *Taxus baccata* raggiunge altitudini massime di

1100- 1400 m s.l.m. sulle Alpi; 1400-1500 m s.l.m. sugli Appennini; 1700 m s.l.m. in Sardegna (Piovesan e Presutti Saba, 2006).

Ecologia

Taxus baccata è una specie propria della fascia montana temperata, predilige in particolare climi temperati sub-oceanici, caratterizzati da inverni rigidi ma non gelidi, ed estati relativamente tiepide e umide, la tolleranza di questa specie al gelo e al freddo prolungato varia però a seconda della regione e della stagione (Conti et al., 2005).

È moderatamente tollerante alla siccità e può sopportare allagamenti temporanei, ma è particolarmente suscettibile a condizioni di drenaggio insufficiente a lungo termine. L'intervallo di temperatura ottimale per lo svolgimento della fotosintesi è maggiore rispetto a qualsiasi altra specie europea, consentendo al Tasso di fotosintetizzare anche in inverno quando le latifoglie sono in pieno riposo vegetativo, non a caso il periodo di fioritura va da febbraio ad aprile (Ghelardini et al., 2019). Ciò contribuisce alla sua estrema tolleranza all'ombra, paragonabile a quella dell'abete bianco (*Abies alba*) e del faggio (*Fagus sylvatica*), le due specie arboree maggiormente tolleranti all'ombra in Europa (Pietzarka, 2005).

Taxus baccata è ritenuto quindi una specie prettamente sciafila, vive perciò in boschi ombrosi e predilige suoli calcarei. Tuttavia, la crescita in queste situazioni è fortemente ridotta, mentre aumenta rapidamente in condizioni di apertura del bosco (Iszkuło et al., 2005). Difficilmente forma boschi puri, molto frequentemente si mescola invece al faggio, all'agrifoglio e agli aceri tra 300 e 1600 m s.l.m., tenendosi ai livelli inferiori sulle montagne interne dell'Europa e a quelli superiori nell'area mediterranea (Conti et al., 2005).

Inoltre, un'altra importanza caratteristica dell'ecologia del tasso è data dal suo apparato radicale, che è in grado di penetrare anche i suoli più compattati, e, nonostante questa specie prediliga suoli umidi e profondi, è in grado di sopravvivere anche in condizioni difficili come su terreni rocciosi e ricchi di scheletro, e di crescere su pareti a pendenza molto elevata (Benham et al., 2016).

1.3 *Taxus baccata* nelle Marche

In Italia, la Rete Natura 2000 individua alcune delle Zone Speciali di Conservazione in cui è presente *Taxus baccata*. In particolare, questa specie caratterizza uno dei principali habitat forestali dei rilievi appenninici, il "9210 *Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex*". Si tratta di un habitat considerato prioritario, ovvero un habitat "per la cui conservazione la Comunità ha una responsabilità particolare".

In particolare, tali cenosi sono così definite:

‘Boschi montani misti di latifoglie decidue mesofile, a dominanza di faggio (*Fagus sylvatica*), che si sviluppano su substrati calcarei, calcareo-selciferi e arenacei, ricoperti da suoli mediamente profondi e umificati, in corrispondenza di versanti ad acclività variabile, tra 900-1000 e 1750-1800 m di quota.

Taxus baccata e *Ilex aquifolium* solitamente compaiono negli strati basso-arboreo e alto-arbustivo che caratterizzano l’habitat, principalmente all’interno di faggete basso-montane (macroterme), fino a 1350-1400 m. Invece, lo strato arboreo si arricchisce di tipiche specie collinari, quali *Ostrya carpinifolia*, *Quercus cerris*, *Carpinus betulus* e *Acer opalus subsp. Obtusatum*.’

(E. Biondi et al., 2009).

Inoltre, Rete Natura 2000 nelle Marche afferma che la presenza contemporanea delle due specie nella denominazione dell’habitat è abbastanza rara nelle faggete appenniniche. In particolare, il tasso, nonostante sia da considerarsi di ampia distribuzione sia in Europa che in Italia, è presente però con popolazioni piuttosto esigue e solo là dove si hanno substrati calcarei. L’agrifoglio (*Ilex aquifolium*), al contrario, è una specie maggiormente frequente, soprattutto per quanto riguarda le faggete macroterme.

L’habitat 9210* è tra i più diffusi nella fascia montana dei rilievi umbro-marchigiani, la sua area di distribuzione interessa infatti tutta la catena appenninica e la Sicilia, mentre nelle Marche è presente a partire dal Monte Catria, a Nord, fino ai Monti della Laga, a Sud, con una diffusione pressoché continua. Nonostante questo, la sua attuale area di distribuzione rimane inferiore a quella potenziale, a causa dell’utilizzo antropico delle aree sommitali dei rilievi montani, ricoperti da pascoli riferibili principalmente all’habitat 6210, dinamicamente legati al bosco di faggio.

Sono state redatte apposite misure di conservazione per l’Habitat 9210*, anche se le cenosi afferenti a tale habitat sono state valutate in buono stato di conservazione, finalizzate a mantenere nel tempo le condizioni attuali con interventi di contrasto a possibili minacce. In particolare, tra le misure adottate più significative, si hanno:

- regolamentazione del pascolo in bosco, limitare perciò la brucatura da parte della fauna selvatica sui giovani individui di *Taxus baccata* con l’utilizzo di recinzioni di protezione;
- gestione forestale mirata alla differenziazione della struttura orizzontale e verticale del bosco che tende generalmente ad una progressiva omogeneizzazione;
- monitoraggio delle capacità di rinnovazione e fioritura di specie quali *Taxus baccata*, *Fagus sylvatica* e di *Ilex aquifolium*;

- provvedimento alla propagazione in situ ed/o ex-situ delle specie *Taxus baccata* e *Ilex aquifolium*, per garantirne la conservazione genetica e la produzione di materiale vegetale da utilizzarsi per rimboschimenti in altri siti della Rete Natura 2000 in Regione Marche;
- sperimentazione, in aree adibite, di tipologie di intervento e modelli selvicolturali diversi per poterne valutare a lungo termine i possibili effetti.

L'obiettivo primario di tali misure consiste nell'ottenimento di una diversificazione strutturale orizzontale e verticale, garantendo condizioni bioecologiche e selvicolturali adeguate alla conservazione e mantenimento di *Taxus baccata*, *Ilex aquifolium* e *Fagus sylvatica* (Urbinati et al., 2022).

La Lista Rossa delle specie in pericolo dell'IUCN (*International Union for the Conservation of Nature*), a livello mondiale, assegna il tasso alla categoria delle specie a basso rischio di estinzione (*Lower risk*), sottocategoria "*Least concern*" (minima preoccupazione).

Nonostante ciò, viene ugualmente riservata una particolare attenzione alla tutela degli esemplari di *Taxus baccata* in queste aree. Persino in caso di taglio boschivo, nelle vicinanze di un esemplare di questa specie viene imposta una serie di accortezze per evitare il danneggiamento anche involontario che potrebbe causare lo schianto di un albero nelle immediate vicinanze.

Da precedenti studi volti all'analisi della vocazionalità del tasso nelle Marche (ovvero l'idoneità ecologica dello stesso in relazione a diversi parametri in uno specifico territorio), è stato osservato come effettivamente vi sia una forte corrispondenza tra i popolamenti di tasso esistenti e gli ambiti di vocazione, permettendo quindi di ipotizzare che gli areali a media e elevata *suitability* possano essere realmente indicativi di una presenza potenziale delle cenosi (**Fig. 1.3.1**). Il tasso evidenzia una distribuzione quasi esclusivamente nel piano montano sia della dorsale marchigiana sia appenninica, con la sola eccezione della dorsale cingolana, in cui sono presenti i siti di Macchia delle Tassinete e i boschi dell'Internone.

I parametri considerati nella realizzazione della *suitability analysis* sono:

- intervallo altitudinale ottimale per il tasso, con riferimento alle caratteristiche morfologiche in cui si è stabilizzato all'interno del territorio regionale;
- precipitazioni (media annuale e precipitazioni dei mesi più caldi);
- temperature (medie annuali e temperature dei mesi più freddi);
- adattabilità al pH;
- natura geologica del substrato;
- esposizione e la pendenza alle quali *Taxus baccata* si stabilizza;

- cenosi forestali tipiche in cui *Taxus baccata* è insediato.

Secondo i risultati ottenuti, anche i tre siti oggetto di questo studio rientrano nelle aree a vocazionalità medio-alta, ovvero dove il tasso incontra gran parte dei parametri descritti precedentemente, e risulta perciò ‘idoneo’ in tali zone dal punto di vista ecologico (Berti, 2021).

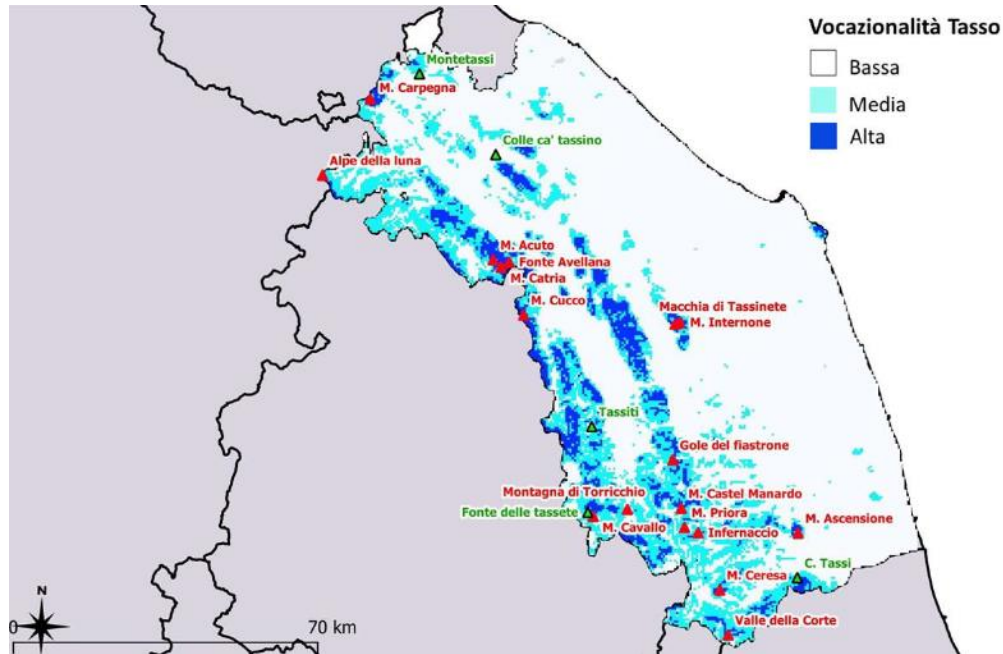


Figura 1.3.1 – Suitability map di *Taxus baccata* nelle Marche, da Berti (2021)

Nelle Marche, tra le numerose aree ZSC/SIC vi sono anche i siti dell’Alpe della Luna (IT5310010) e di Macchia delle Tassinete (IT5330013), oggetti di studio della tesi. Soprattutto per questo secondo sito in realtà, la Carta Regionale dei tipi forestali (IPLA, 2001) le cenosi con tasso sono state attribuite alla categoria forestale degli Orno-ostrieti. La Direttiva Habitat in passato li classificava in particolare come boschi basifili di carpino nero (*Scutellario columnae-Ostryetum carpinifoliae subass. Violetosum reichenbachianae*), ma secondo un aggiornamento (Zitti et al., 2014) questi sono stati definiti ostrieti a tasso (*Taxo baccatae-Ostryetum carpinifoliae*) riferiti all’ordine Fagetalia e quindi, soprattutto nel settore più occidentale, attribuibili all’Habitat 9210* (Urbinati et al., 2022)

2. MATERIALI E METODI

2.1 Caratterizzazione delle popolazioni di *Taxus baccata* campionate

Le popolazioni di tasso studiate in questa tesi sono tra le più rappresentative delle Marche; esse sono: Macchia delle Tassinete (MTA) e Bosco Internone (INT) localizzate nella dorsale Cingolana, in provincia di Macerata e Alpe della Luna (ADL), provincia di Pesaro e Urbino, situata nel gruppo omonimo della dorsale Appenninica fra le regioni Marche, Toscana e Umbria (Tab. 2.1.1).

Tabella 2.1.1 – Coordinate (ESPG 32633) e caratteri topografia delle tre popolazioni

Popolazione (Provincia)	Codice	Coordinate	Quota	Esposizione
Macchia delle Tassinete (MC)	MTA	13.2163, 43.3553	630	NW
Bosco Internone (MC)	INT	12.2105, 43.6237	640	NW
Alpe della Luna (PU)	ADL	13.2092, 43.3594	1005	NW-SE

2.1.1 Macchia delle Tassinete

Il Sito d'importanza Comunitaria "Macchia delle Tassinete" si estende per quasi 200 ha in provincia di Macerata, nel territorio comunale di Cingoli (**Fig. 2.1.2.1**).

Si tratta di un territorio collinare situato a quote comprese fra 450 e 758 m s.l.m., completamente ricoperto da vegetazione forestale (boschi cedui di orniello e carpino nero, talvolta anche di faggio, con una cospicua presenza di agrifoglio e soprattutto tasso, da cui il nome della zona). L'area è di grande importanza fitogeografica per la presenza del tasso, specie quasi ovunque scomparsa, soprattutto nel piano collinare, a causa dell'intervento antropico. L'ente gestore dell'area al momento è l'Unione Montana Alte valli del Potenza e dell'Esino.

Il sito è stato inoltre oggetto di studio del progetto 'Alberi e boschi da seme' del D3A dell'Università Politecnica delle Marche in collaborazione con AMAP (Agenzia per l'Innovazione nel Settore Agroalimentare e della Pesca), nelle annate 2017-2018, volto a conservare e valorizzare le risorse genetiche forestali del territorio marchigiano. I risultati dello studio hanno mostrato come l'area in questione, caratterizzata da grande complessità compositiva nelle specie presenti, abbia un livello di diversità genetica della popolazione di *Taxus baccata* rilevante, e non è risultata essere presente una strutturazione genetica. Nonostante ciò, nello studio è stato comunque evidenziato un certo livello di consanguineità tra gli individui (Urbinati et al., 2022)

2.1.2 Bosco dell'Internone

Il secondo sito rientra nell'area della foresta demaniale di Internone (Cingoli, MC), nei pressi di Tassinete, non incluso tra i Siti di Importanza Comunitaria delle Marche.

In questo caso, la presenza di *Taxus baccata* nel sito è concentrata in particolare in due particelle forestali contigue (n°49 e n°51a del Piano Particolareggiato di Assestamento Forestale delle foreste demaniali di Cingoli e Albacina).

Il substrato geologico della dorsale dei Monti di Cingoli è prevalentemente calcareo marnoso e marnoso con formazioni risalenti dal Miocene al Cretaceo. I principali complessi litologici della dorsale sono: calcareo Massiccio affiorante; calcareo della Maiolica; calcareo della Scaglia Rossa e Bianca; Marne e Fucoidi (Bagnara e Urbinati, 2010).

Analogamente alla “Macchia di Tassinete”, anche il bosco di Internone, sebbene di dimensioni inferiori, può essere considerato come un sistema forestale di un certo interesse bioecologico, principalmente per la presenza di due delle più importanti popolazioni di tasso dell’Italia centrale (**Fig. 2.1.2.1**).

Perciò la dorsale calcarea di Cingoli è distintiva per il territorio marchigiano, in cui, nonostante il modesto dislivello altitudinale e la relativa uniformità del suo substrato geologico, presenta una notevole diversificazione ambientale ed habitat naturali tra i più peculiari dell’Appennino, tra cui proprio quelli oggetto di studio. La morfologia della dorsale, infatti, e l’influsso del bioclimate mediterraneo, soprattutto nei versanti più esposti, favoriscono condizioni microclimatiche particolari che consentono la presenza del tasso, specie a carattere appenninico, e ugualmente allo stesso tempo di tipologie più spiccatamente mediterranee (Berti, 2021).

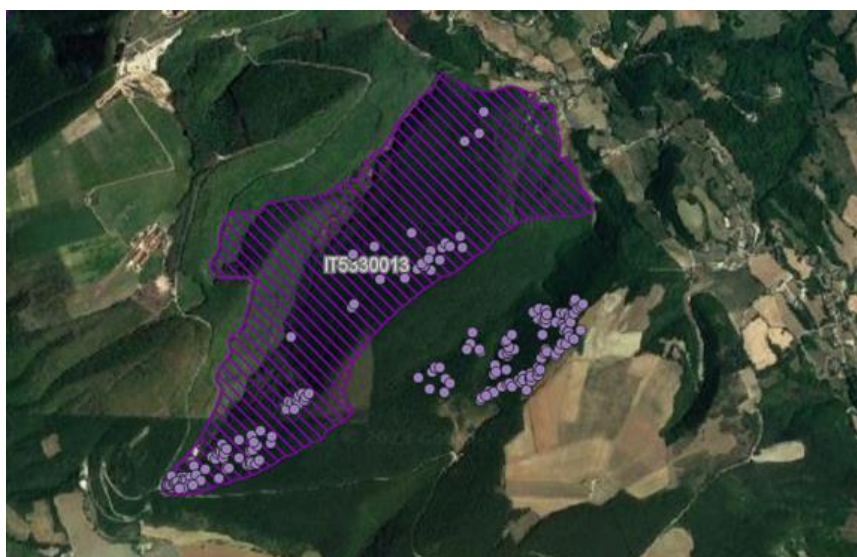


Figura 2.1.2.1 – Posizione degli individui di *Taxus baccata* nel sito della Macchia di Tassinete (MDT), zona ZSC ‘IT5330013’ (area retinata a sinistra) e di Internone (INT) (a destra)

2.1.3 Alpe della Luna

Il Sito d’importanza Comunitaria “Alpe della Luna – Bocca Trabaria” si estende per un’area di 2600 ha circa, in provincia di Pesaro Urbino, al confine con Toscana e Umbria (**Fig. 2.1.3.1**).

L'area è caratterizzata da rilievi montani di tipo arenaceo di modeste dimensioni che raramente superano i 1200 m di quota e che sono coperti da ampie formazioni forestali con specie vegetali di notevole interesse fitogeografico. Il relativo isolamento del sito, privo di grandi strade di comunicazione, ha permesso di mantenere un ambiente per alcuni tratti ancora quasi del tutto inalterato e di grande interesse paesaggistico. Il valico di Bocca Trabaria segna il limite geografico tra Appennino centrale e Appennino settentrionale. Attualmente, l'ente gestore dell'area risulta essere l'Unione Montana Alta Valle del Metauro.

Nell'area sono presenti numerose zone di impluvio che si congiungono col reticolo idrografico principale, primo tra tutti all'interno del SIC quello dell'Auro, che in località Borgo Pace confluisce con il Torrente Meta dando origine al fiume marchigiano con bacino idrografico di dimensioni maggiori, il Metauro (Belli, 2019).

La presenza degli individui di *T. baccata* è concentrata prevalentemente sul piano submontano, litologicamente composto in prevalenza da formazioni marnoso-arenacee (Tartaglia, 2020).

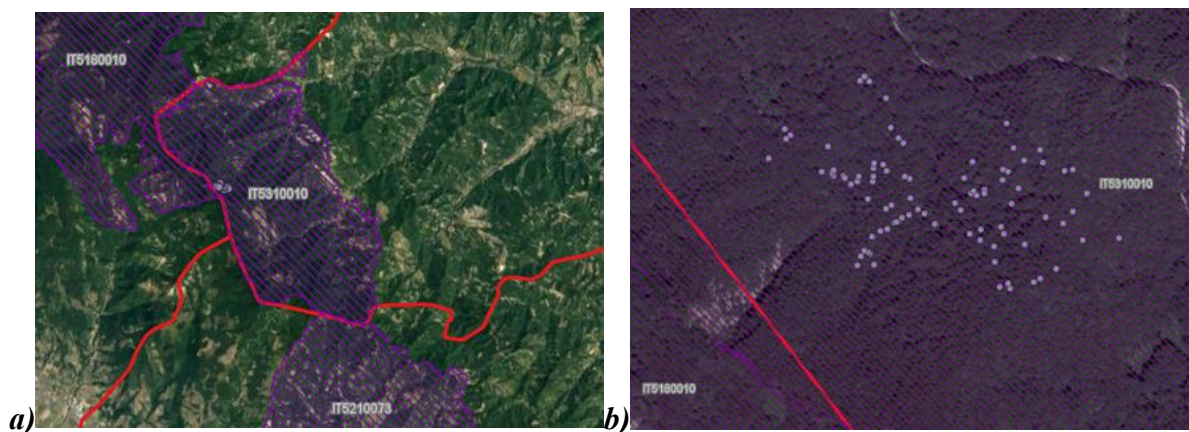


Figura 2.1.3.1 – a) Zona ZSC 'IT5310010' di Alpe della Luna-Bocca Trabaria b) Distribuzione degli individui di *Taxus baccata* nel sito di ADL

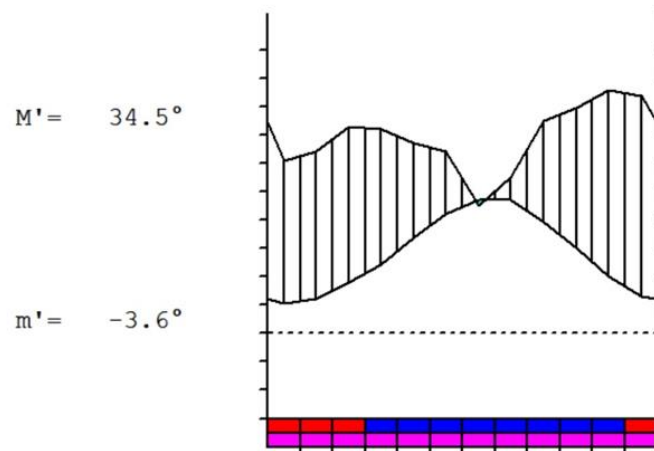
2.1.4 Caratterizzazione climatica delle popolazioni di *Taxus baccata* campionate

Le due aree situate sulla dorsale cingolana, quindi sia MDT che INT, appartengono al Macroclima temperato, Bioclima temperato oceanico (variante sub-mediterranea), Piano Bioclimatico mesotemperato inferiore, Ombrotipo sub-umido superiore (**Fig. 2.1.1**).

L'andamento delle temperature è pressoché regolare, con aumento delle stesse da Gennaio a Luglio e poi con una graduale diminuzione, ma come spesso avviene in stazioni a carattere mediterraneo, generalmente l'effetto di relativa vicinanza al mare 'prolunga' la stagione estiva verso i mesi autunnali, ciò significa che la seconda metà di ogni anno è in media più calda della prima. Tale carattere si manifesta frequentemente nella maggior parte delle stazioni delle Marche (Bagnara, 2012).

Invece, per ciò che riguarda le precipitazioni, nel caso dei siti di INT e MDT non esiste un periodo di aridità significativa (che potrebbe però manifestarsi nelle annate più siccitose), ma tra i mesi di luglio e agosto si nota come la curva delle precipitazioni scenda leggermente al di sotto di quella delle temperature, evidenziando quindi la presenza di un periodo notevolmente più secco rispetto al resto dell'anno. Infatti, si considerano aridi i periodi in cui la curva delle precipitazioni si trova sotto a quella delle temperature, in pratica quando $P < 2T$ (la scala delle temperature è doppia rispetto a quella delle precipitazioni).

Cingoli (EOBS) (Italy)			361 m
P= 834	43° 21'N	13° 15'E	71/71 y.
T= 14.1°	Ic= 18.3	Tp= 1688	Tn= 0
m= 2.0°	M= 8.2°	Itc= 244	Io= 4.9

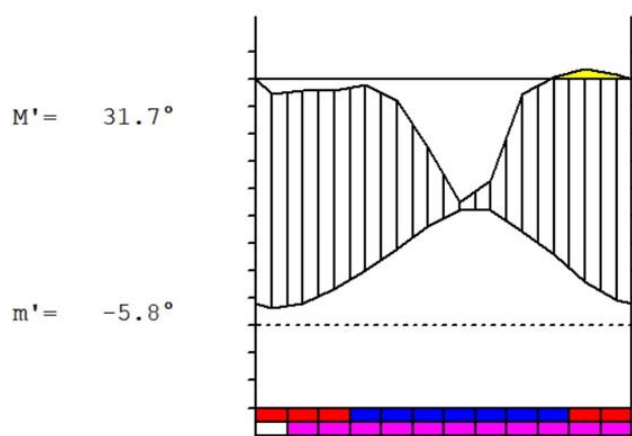


TEMPERATE OCEANIC (SUBMEDITERRANEAN)
LOW MESOTEMPERATE UPPER SUBHUMID

Figura 2.1.1 - Grafico bioclimatico relativo al sito di Tassinete (valido anche per Internone), dati climatici da griglia EOBSv.27.0 (Periodo 1950-2020)

Il sito di ADL, al contrario dei precedenti, è sicuramente più isolato e distante, presenterà di conseguenza alcune sostanziali differenze anche per ciò che riguarda le condizioni bioclimatiche.

Alpe della Luna (EOBS) (Italy)			742 m
P= 1064	43° 37'N	12° 13'E	71/71 y.
T= 11.7°	Ic= 17.7	Tp= 1405	Tn= 0
m= 0.2°	M= 6.4°	Itc= 183	Io= 7.6



TEMPERATE OCEANIC (SUBMEDITERRANEAN)
LOW SUPRATEMPERATE LOW HUMID

Figura 2.1.2 - Grafico bioclimatico relativo al sito di Alpe della Luna, dati climatici da griglia EOBSv.27.0 (Periodo 1950-2020)

Anche ADL è caratterizzata da un Macroclima temperato, con Bioclima temperato oceanico, variante sub-mediterranea. L'area è situata nel Piano Bioclimatico basso-montano (supratemperato inferiore) e presenta Ombrotipo umido inferiore (**Fig. 2.1.2**).

A differenza del caso precedente, qui non si osserva mai la curva delle precipitazioni scendere al di sotto di quella delle temperature, anzi nei primi mesi tra autunno e inverno le precipitazioni superano la soglia dei 100 mm. Ciò significa che questo sito è sicuramente meno secco dei precedenti due, nonostante tutti rientrino nella definizione dello stesso Macrobioclima. Inoltre, come evidenza dell'appartenenza delle popolazioni a due diversi piani altitudinali (nel primo caso piano basso-collinare, nel secondo basso-montano), un'altra differenza si può notare nei valori delle temperature massime e minime riportate nei grafici, che risultano essere di 34,5 C° e di -3.6 C° rispettivamente la massima e la minima per MDT e INT, mentre per ADL i valori scendono a 31.7 C° e -5.8 C°.

2.2 Raccolta e preparazione dei campioni legnosi

Il Treering Lab del D3A era già in possesso di molti dei campioni utilizzati per le analisi di questa tesi, in quanto già raccolti in precedenti studi svolti riguardo *Taxus baccata* nelle tre principali popolazioni individuate nelle Marche. Inoltre, tutti gli individui di tasso di cui si aveva il materiale, erano già stati mappati e contrassegnati numericamente con apposite targhette, così da renderne più semplice l'individuazione in futuro.

È stato comunque necessario tornare in campo per il recupero di alcuni campioni (n. 15) degli individui della popolazione di Macchia delle Tassinete, ed effettuare quindi ulteriori carotaggi per aggiornare le cronologie esistenti (**Fig. 2.2.1**).



Figura 2.2.1 – Campione legnoso di *Taxus baccata* prelevato con trivella di Pressler, in corrispondenza dell'individuo censito, appartenente alla popolazione MDT.

Il campionamento dendrocronologico dei tassi di ciascuna popolazione è stato eseguito conformemente ai metodi standard che prevedono: prelievi a 1.30 m d'altezza di una (o più) carote legnose per ogni soggetto adulto già mappato, con l'utilizzo del succhiello di Pressler (**Fig. 2.2.2**), scegliendo individui o settori del fusto privi di cavità o difetti estesi. Successivamente ciascun campione, dopo essere stato fissato temporaneamente su un supporto in legno con del nastro adesivo, è stato contrassegnato con il nome della specie (quindi *Taxus baccata*), data del campionamento, la popolazione di provenienza (con la rispettiva sigla) e il numero riportato sulla targhetta rispettiva dell'individuo campionato. Oltre a ciò, è stato anche misurato il DBH (Diameter at Breast Height – diametro a petto d'uomo) delle piante carotate tramite l'utilizzo di un metro flessibile (flessuometro). Particolare attenzione è stata riservata alla scelta del punto di prelievo sul fusto, fatta non solo in base alla fisionomia del tronco, al fine di evitare anomalie importanti, ma anche in relazione alla pendenza del terreno, cercando perciò di seguire in maniera parallela le linee di livello durante il carotaggio.



Figura 2.2.2 – Succhiello di Pressler utilizzato per i campionamenti di tasso.

In laboratorio, le carote ottenute sono state fissate stabilmente sui rispettivi supporti in legno utilizzando della colla vinilica, sono state poi lasciate asciugare. Successivamente, per permettere la corretta distinzione e lettura degli anelli legnosi di ciascun campione, le carote sono state levigate utilizzando della carta vetrata abrasiva, infine ripulite dai residui con un'aspirapolvere da laboratorio. Le carote così predisposte sono pronte per la misurazione degli anelli allo stereoscopio.

2.3 Misurazione e analisi degli anelli legnosi

La misurazione degli anelli legnosi richiede un'elevata precisione e una metodologia affidabile. Vi sono diversi dispositivi in uso nei diversi laboratori di dendrocronologia. Al TreeringLab UNIVPM è disponibile il sistema semi -automatico LINTAB (Rinntech, Germany) che trova largo impiego, anche grazie alle caratteristiche di essere particolarmente maneggevole, ergonomico e resistente. Con questo è possibile misurare anelli legnosi sia su rotelle, in sezione trasversale, che su carote montate su supporti appositi, come in questo caso (Rinntech, 2003).

Il sistema LINTAB è stato utilizzato per effettuare le misurazioni degli accrescimenti annuali degli individui campionati di tasso, (**Fig. 2.3.1**). Esso è costituito da un binocolare con crocefilo ed un piano mobile per la disposizione dei campioni, i cui spostamenti, controllati da una manopola e corrispondenti alle ampiezze anulari espresse in 1/100 mm, vengono registrati e memorizzati dal software collegato TSAP. Sono state quindi registrate le ampiezze degli anelli misurati da LINTAB, e restituite le rispettive cronologie individuali, poi è stata effettuata una prima sincronizzazione visiva delle serie ottenute, spostandole alla ricerca di anni caratteristici e di possibili errori nella misurazione. Successivamente sono stati registrati alcuni parametri preliminari, ovvero l'età massima, in anni, dei campioni per ciascuna delle tre aree considerate, l'età media degli stessi, e l'ampiezza media in mm degli anelli per ogni area.

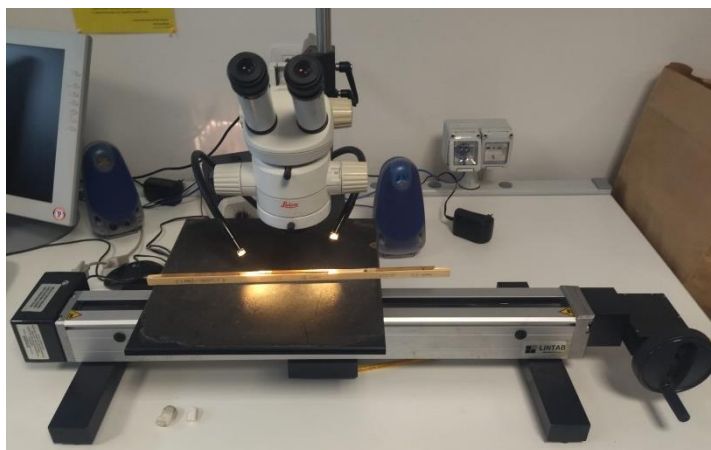


Figura 2.3.1 – Sistema di misurazione anelli legnosi LINTAB del Treering LAB, Area Sistemi Forestali, D3A dell'UNIVPM

2.4 Analisi statistiche e delle relazioni clima-accrescimento

Per le successive analisi, è stato invece utilizzato un ulteriore programma, in grado di valutare la qualità della datazione incrociata e l'accuratezza della misurazione delle serie di anelli dei tassi. Scritto da Richard L. Holmes nel 1982, 'COFECHA' è tutt'ora uno dei più importanti e diffusi programmi utilizzati nell'ambito della dendrocronologia. Il software non serve direttamente per la misurazione degli anelli o per la costruzione delle curve di accrescimento di ciascun individuo, bensì risulta utile per valutare la qualità della datazione incrociata (crossdating) e l'accuratezza delle misurazioni già eseguite. Il software impiegato è quindi un algoritmo specifico utilizzato per l'allineamento e la sincronizzazione delle sequenze di anelli di crescita provenienti da diversi campioni e per la mediazione delle serie cronologiche.

COFECHA utilizza in particolare gli anelli di crescita simili delle diverse cronologie individuali acquisite (negli stessi segmenti temporali in cui le sequenze corrispondono) per allinearle tra loro. Successivamente, le cronologie individuali vengono analizzate per calcolarne le rispettive correlazioni, utilizzando metodi statistici per determinare la forza delle relazioni tra le serie. Tali indici impiegati, sono la sensitività media (MS), l'intercorrelazione seriale (Rbar) e l'autocorrelazione di primo ordine (AC).

La sensitività media è un parametro utilizzato per misurare le differenze relative nell'ampiezza tra due anelli successivi, in pratica fornisce un indice sulle capacità reattive della pianta alle variazioni interannuali delle condizioni ambientali. In genere, all'interno di una stessa stazione, i valori di sensitività media dovrebbero essere simili per tutti gli individui analizzati, a meno che tra questi non siano presenti forti differenze dal punto di vista genetico o semplicemente si trovino in condizioni microstazionali differenti. Una pianta può di conseguenza essere definita compiacente o viceversa

sensitiva, se presenta MS rispettivamente inferiore o superiore al valore soglia, in genere ‘fissato’ intorno a valori di sensitività pari a 0,20 – 0,25.

Perciò, la sensitività media può fornire indicazioni utili alla comprensione dell’adattabilità di una specie a determinate condizioni ambientali, e riguardo anche alla presenza di possibili informazioni ambientali registrate nelle serie (Carrer, 2004).

L’intercorrelazione seriale si riferisce invece alla correlazione tra due diverse serie temporali, riguarda quindi le similitudini tra gli anelli annuali di diversi individui nel tempo, e potrebbe essere considerata per valutare se gli alberi in una determinata area mostrano risposte simili a fattori ambientali comuni. Infine, l’autocorrelazione di primo ordine riguarda la correlazione di una serie temporale con sé stessa in tempi diversi. Ovvero, valuta se ci sono correlazioni tra i valori di una serie temporale in un determinato istante di tempo e i suoi valori in istanti di tempo precedenti o successivi. Questo indice può quindi essere utilizzato per identificare pattern o strutture ripetitive all’interno di una serie temporale, risultato magari dell’effetto di fattori ambientali esterni, e per valutare la coerenza e la regolarità della crescita degli anelli all’interno di uno stesso individuo (Holmes, 1983; Carrer, 2004).

Grazie alle correlazioni calcolate in diverse finestre temporali, COFECHA è in grado di identificare gli anni in cui si sono verificati gli stessi trend di crescita e fornisce suggerimenti riguardo le varie modifiche utili a migliorare l’esatta collocazione temporale della serie cronologica misurata. Si tratta quindi di uno strumento utile per valutare la qualità della datazione e l’accuratezza delle misurazioni eseguite inizialmente.

Per la riduzione del rumore all’interno delle singole serie cronologiche (*detrending*), e la limitazione della presenza di fluttuazioni casuali che possono rendere difficile l’individuazione di modelli significativi, sono state costruite delle funzioni SPLINE con il programma R, in grado di interpolare anche ‘nodi’ mancanti della stessa funzione e creare modelli di crescita continui, basati su modelli statistici già noti. Nello specifico, il detrending delle serie è stato attuato mediante una funzione ‘smoothing spline’ (50% di frequenza di risposta) utilizzando il pacchetto dplR del software R (Bunn 2008). Ogni serie di accrescimento individuale è stata standardizzata dividendo i valori osservati con i valori della funzione, trasformato le serie di incrementi legnosi (serie grezze) in serie indicizzate adimensionali (RWI - Ring Width Index). Tale standardizzazione è stata necessaria per la rimozione dell’autocorrelazione di primo ordine (AC) eliminando quindi la varianza di medio-lungo termine e mantenendo invece quella inter-annuale dovuta alla variabilità del clima.

Infine, le serie di accrescimento indicizzate sono state mediate usando una media “robusta” (*Tukey's biweight robust mean*), in modo da ridurre l'effetto degli *outlier*. In questo modo sono state ottenute tre cronologie diverse, ognuna relativa ad una popolazione (MTA, INT e ADL).

Le tre cronologie medie costruite sono poi state confrontate attraverso una matrice di correlazione (Pearson) nel periodo in comune in cui tutte e tre le cronologie contano almeno 10 serie.

Le analisi dendroclimatiche sono state effettuate per i campioni di tutte e tre le aree considerate, quindi Macchia delle Tassinete, Internone e Alpe della Luna. I fattori climatici presi in considerazione per lo studio delle relazioni clima-accrescimento sono stati i valori delle temperature (massime e minime), delle precipitazioni e dell'indice SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) registrati per i mesi di un anno biologico della specie (Vicente Serrano, 2010) in ciascuno dei siti indicati. I dati climatici sono stati estratti dalla griglia europea E-OBS (v. 27.0) di risoluzione 0.1° (circa 8 km).

La finestra temporale in cui è stata effettuata l'analisi dendroclimatica è quella compresa tra il 1950 (primo anno presente per la griglia delle temperature e delle precipitazioni utilizzata) e il 2018 (anno in cui terminano le serie del sito Alpe della Luna).

La relazione degli accrescimenti con i fattori climatici è stata analizzata con l'utilizzo della funzione di correlazione di Bootstrap tra cronologie residue e variabili climatiche in R, attraverso il pacchetto “treeclim” (Zang e Biondi, 2015).

Tale funzione consiste in una tecnica di campionamento che viene utilizzata per stimare la distribuzione di una determinata misura di interesse, tramite campionamenti ripetuti con sostituzione, in cui vengono creati numerosi campioni dagli stessi dati originali. Successivamente, vengono calcolate le correlazioni tra le cronologie di ciascun campione di bootstrap e viene stimata la distribuzione delle correlazioni. I mesi considerati nell'analisi comprendono il periodo da maggio dell'anno precedente la crescita (t-1) a ottobre dell'anno di crescita corrente (t). Più precisamente, per le analisi sono state calcolate le correlazioni tra le cronologie medie e le serie climatiche. La significatività dei valori di correlazione è stata valutata attraverso il metodo bootstrap, ed è stato considerato un intero anno biologico per la visualizzazione dei risultati. L'anno biologico di una specie corrisponde all'intero ciclo di crescita e sviluppo che l'organismo vegetale segue nel corso di un anno, e nel caso specifico del tasso, è stato considerato un periodo compreso da maggio dell'anno precedente la crescita (t-1) a ottobre dell'ultimo anno di crescita (t).

È stata poi applicata una funzione di correlazione mobile nel periodo compreso tra il 1953 e il 2018, creando finestre di ampiezza di 49 anni, rispettivamente spostate nel tempo di 2 anni l'una dall'altra, per calcolare i coefficienti di correlazione dell'indice SPEI per valutare la persistenza nel tempo della sensibilità climatica.

Lo SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*) è indice di siccità multiscalare che combina dati relativi a precipitazioni ed evapotraspirazione. Si tratta di un indicatore che utilizza il bilancio idrico, ossia il bilancio tra la precipitazione e l'evapotraspirazione, al posto delle sole precipitazioni, per valutare condizioni di siccità. Con questo, si può tenere conto dell'influenza della temperatura sulla domanda di acqua dei suoli e delle specie vegetali, che può intensificare gli eventi siccitosi (Vicente Serrano, 2010). In questo studio, è stato utilizzato un indice SPEI con scala temporale di 3 mesi.

3. RISULTATI

3.1 Caratteristiche delle cronologie medie di *Taxus baccata*

In questo studio, sono stati misurati e sincronizzati un totale di 249 campioni di *Taxus baccata*, nello specifico 80 per i siti di Macchia delle Tassinete ed Alpe della Luna, mentre ben 89 per Internone (**Tabella 3.1.1**). Dalle prime analisi è stato possibile osservare che la popolazione di MDT è quella delle tre caratterizzata da una maggiore anzianità degli individui, in quanto oltre a presentare l'individuo con età superiore tra tutti i campioni misurati, di ben 162 anni, anche l'età media è la più elevata tra tutte. A seguire, sia le popolazioni di INT che di ADL presentano un'età media degli individui abbastanza simile, così come per le ampiezze medie degli incrementi annuali.

Invece, in questo caso, la popolazione di Tassinete presenta ampiezza media degli incrementi e relativa deviazione standard leggermente più basse.

Tabella 3.1.1 – Alcune caratteristiche delle serie cronologiche dei tre siti

Codice sito	N° campioni	Periodo massimo (anni)	Lunghezza media (anni)	Ampiezza media (mm) $\pm \sigma$	MS	Rbar	AC
MTA	80	1860-2022	105.7	0.98 \pm 0.54	0.304	0.417	0.692
INT	89	1899-2022	73.0	1.19 \pm 0.80	0.321	0.495	0.719
ADL	80	1883-2022	75.6	1.14 \pm 0.69	0.259	0.385	0.803

Le altre statistiche considerate durante l'analisi, sono la sensitività media (MS), l'intercorrelazione seriale (Rbar) e l'autocorrelazione di primo ordine (AC). Nella tabella, i valori di MS delle tre aree non sono particolarmente elevati, si presentano inoltre molto simili tra loro. Tuttavia, considerando un valore soglia di sensitività pari a 0.20-0.25, come accennato nel precedente capitolo, si può affermare che sia MDT che INT e ADL presentano MS superiore a questo e le rispettive medie cronologiche possono definirsi quindi sensitive.

Inoltre, dalle analisi la popolazione di Internone presenta il valore di MS più elevato, pari 0.321, si tratta quindi della popolazione apparentemente più 'sensitiva' tra le tre, la più sensibile alle variazioni ambientali. La popolazione di Alpe della Luna risulta essere invece quella più compiacente per il minor valore di MS, mentre Macchia delle Tassinete ha valore intermedio tra i tre, ma comunque più simile a INT che ad ADL.

Allo stesso tempo, Alpe della Luna presenta un valore di autocorrelazione più elevato rispetto alle altre due popolazioni, che hanno invece autocorrelazione inferiore. Infatti, in una serie dendrocronologica con una più bassa sensitività, gli anelli di anni adiacenti tenderanno ad essere più correlati, cioè ci saranno minori differenze tra i rispettivi accrescimenti, perché bassi valori di MS stanno ad indicare la presenza di una debole risposta a fattori climatici (e ambientali) che cambiano

di anno in anno. Quindi, tendenzialmente, al diminuire dei valori di MS crescono quelli dell'autocorrelazione e viceversa.

Invece, dai valori di intercorrelazione seriale ottenuti risulta che la popolazione di Internone è quella con indice Rbar più elevato, ovvero qui sono presenti maggiori similitudini tra le risposte adattative di individui diversi ai fattori ambientali dell'area rispetto alle altre due popolazioni (specialmente Alpe della Luna), anche se nel complesso non sembrano esserci grossi scostamenti tra i risultati ottenuti per ciascun sito.

3.2 Dinamismi di accrescimento e sensibilità climatica di *Taxus baccata*

3.2.1 Analisi delle serie di accrescimento

I campioni analizzati per il sito di Macchia delle Tassinete si sono rivelati presenti in numero consistente già dal 1900, anche se la datazione ha rivelato che alcuni esemplari risalgono a periodi precedenti, arrivando sino al 1860. Dall'andamento della media degli accrescimenti si può osservare un lieve aumento degli incrementi intorno al 1950 e poi al 1960 (probabilmente dovuto a tagli selvicolturali), ed anche un ulteriore picco poco prima del 1980. Negli anni subito successivi, si ha un abbassamento abbastanza repentino, fino alla manifestazione di una forte ed evidente ripresa degli incrementi tra 1990 e 2000 (Fig. 3.2.1.1). Infine, dopo il 2000, la diminuzione della media è ben visibile, e si mantiene fino agli ultimi anni delle misurazioni.

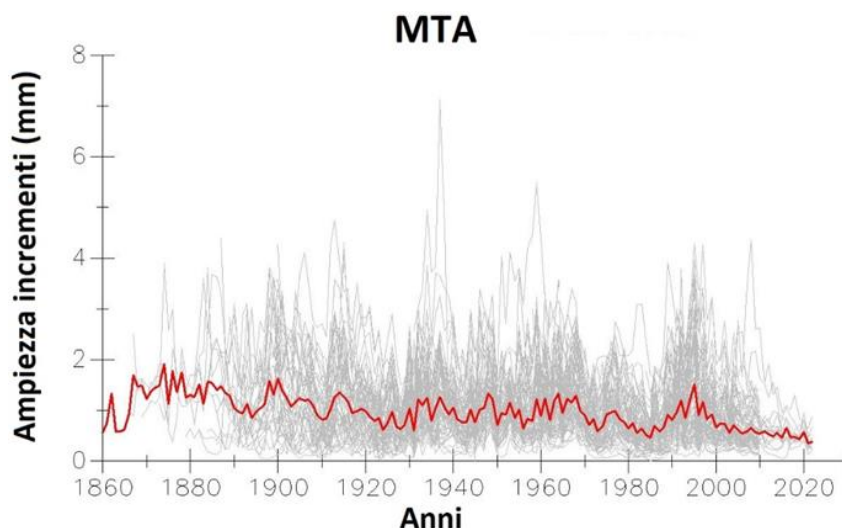


Figura 3.2.1.1 - Serie di accrescimento individuali (grigio) e medie (rosso) in mm nel sito MTA

Per quanto riguarda il secondo sito, Internone, in questo caso si hanno campioni solo a partire dal 1900, ma anche qui la media nei primi anni non è molto attendibile a causa della scarsità dei dati a disposizione, le osservazioni diventano invece più numerose dopo il 1920. Tra il 1940 e il 1950 si notano degli aumenti dell'ampiezza degli incrementi, che diminuiscono negli anni 60 per riprendere

poi nel periodo seguente. A differenza dei risultati ottenuti per la popolazione precedente, non si notano accrescimenti particolari nel 1990, anzi questi si mantengono piuttosto bassi fino agli anni più recenti dell'ultimo decennio (**Fig. 3.2.1.2**).

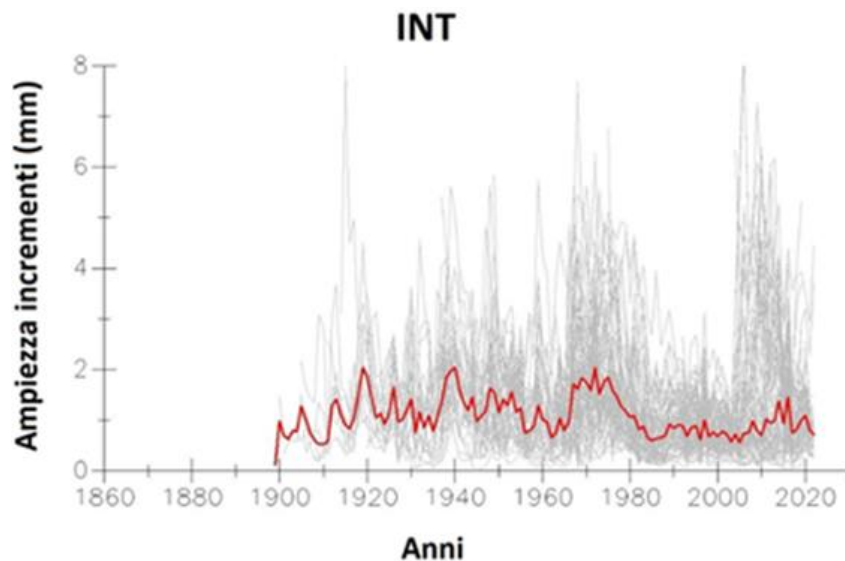


Figura 3.2.1.2 - Serie di accrescimento individuali (grigio) e medie (rosso) nel sito INT in mm.

Infine, ad Alpe della Luna, le misurazioni si infittiscono solo dopo il 1940. Le ampezze degli incrementi annuali procedono in maniera pressochè uniforme fino agli anni che precedono il 1980, dove è possibile notare un evidente aumento degli accrescimenti medi, questi tendono poi a diminuire gradualmente fino a raggiungere medie decisamente inferiori dopo il 2000.

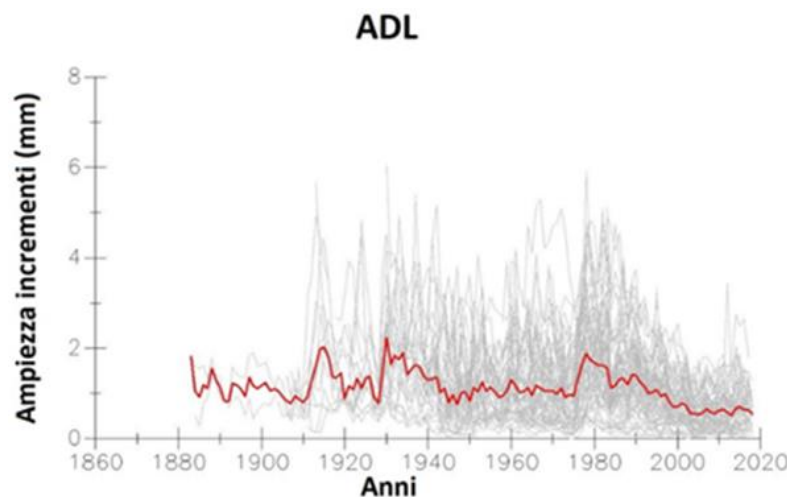


Figura 3.2.1.3 - Serie di accrescimento individuali (grigio) e medie (rosso) nel sito ADL in mm.

Sono poi state calcolate gli indici di correlazione di Pearson tra le cronologie medie appena analizzate, ottenendo un buon risultato tra Tassinete e Internone, e tra Alpe della Luna e Tassinete, popolazioni

che risultano quindi ben correlate tra loro ($\alpha=0.01$). Invece, tra Internone e Alpe della Luna il coefficiente di correlazione è più basso, ma comunque significativo ($\alpha=0.05$) (Tab. 3.2.1.1).

Tabella 3.2.1.1 – Matrice di correlazione di Pearson tra le cronologie medie standard delle tre popolazioni ($\alpha=0.01$, * $\alpha=0.05$), periodo 1913-2018.**

	TATB	INTB	VMTB
TATB	1		
INTB	0.513***	1	
VMTB	0.451***	0.228*	1

Oltre alle serie di accrescimento analizzate sopra, sono state costruite in R, con la funzione ‘smoothing spline’, le rispettive serie indicizzate. L’indice usato per la standardizzazione, l’RWI, normalizza le serie cronologiche eliminando l’autocorrelazione di prim’ordine (varianza di medio lungo-termine) e focalizzando l’attenzione sulle variazioni inter-annuali. Non essendo utile rappresentare direttamente le ampiezze assolute degli anelli, influenzate dal semplice effetto geometrico dato dal graduale aumento di circonferenza degli alberi, vengono indicati direttamente gli incrementi (o decrementi) relativi anno per anno rispetto alla media. Un RWI superiore a 1 indica un aumento dell’accrescimento, minore di 1 una diminuzione rispetto alla media (Martin-Benito et al., 2009). I grafici riportati sotto rappresentano quindi le cronologie medie dei tre siti dopo la standardizzazione con RWI, in grigio è riportato invece il numero di campioni disponibili per l’analisi effettuata. Per la popolazione di MDT, rispetto alla serie media non indicizzata, qui è ancor più evidente l’aumento repentino degli incrementi negli anni ‘90, effetto dovuto alla ceduzione avvenuta in loco qualche anno prima (Bagnara, 2012). Inoltre, sono confermati dei lievi aumenti degli accrescimenti intorno al 1950 e poi al 1960, ed anche in corrispondenza degli anni compresi tra il 1975 e il 1980 circa, poco prima del taglio di ceduzione indicato sopra. All’inizio del 2000, gli incrementi sembrano invece fermarsi e trasformarsi in decrementi (relativi), fino alla ripresa degli ultimi anni di campionamento, dove però è necessario ricordare la presenza di un numero notevolmente inferiori di misurazioni e di conseguenza la possibilità che la cronologia media sia molto più influenzata dalle variazioni individuali.

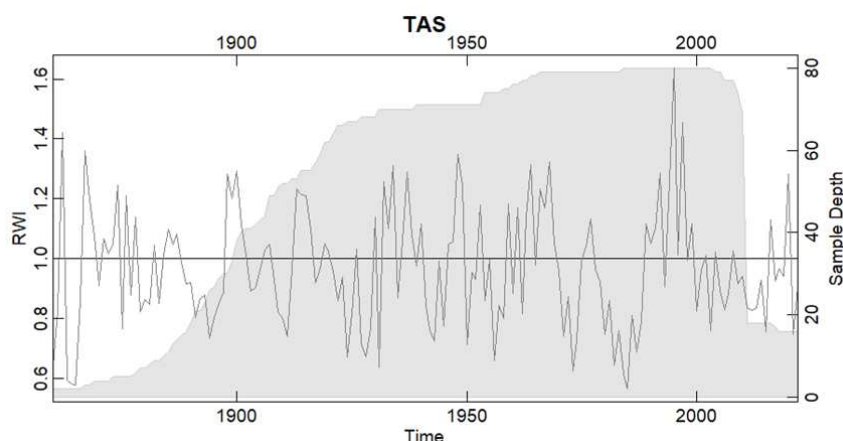


Figura 3.2.1.4 - Cronologia media standardizzata di MDT e numero di campioni utilizzati per costruirla (sample depth).

Anche per la popolazione di Internone sembrano essere caratteristici gli anni compresi tra 1975 e 1980, prima della diminuzione abbastanza visibile che si ha anche qui intorno al 1985. Subito dopo segue una veloce ripresa, non paragonabile però al forte aumento avuto nello stesso periodo a MDT a seguito dei tagli effettuati. Anche qui nei primi anni del 2000 si verifica una importante diminuzione degli incrementi, ripresa poi negli ultimi anni.

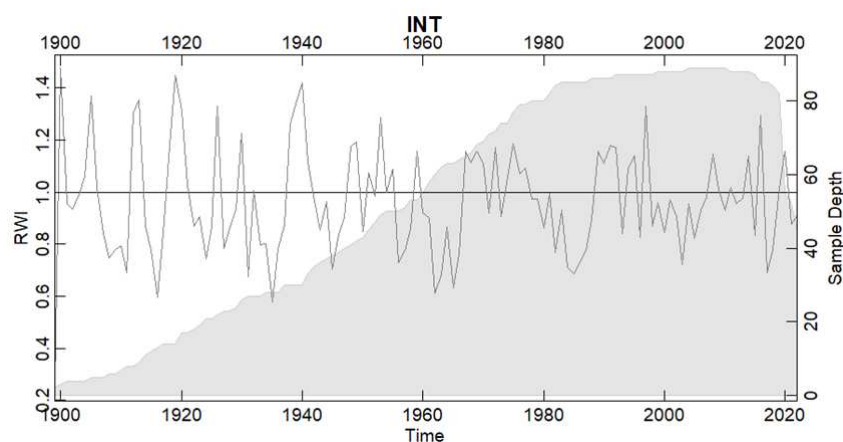


Figura 3.2.1.5 - Cronologia media standardizzata di INT e numero di campioni utilizzati per costruirla (sample depth).

La cronologia media di Alpe della Luna mostra dei forti decrementi nel 1945, presenti ma non così evidenti nelle altre popolazioni e anche nella cronologia media non indicizzata, lo stesso si può osservare anche in corrispondenza del 1975 circa, in questo caso subito seguito da un picco degli accrescimenti poco nel 1980. Infine, anche qui si verifica un forte decremento negli anni 2000, specialmente durante il 2003.

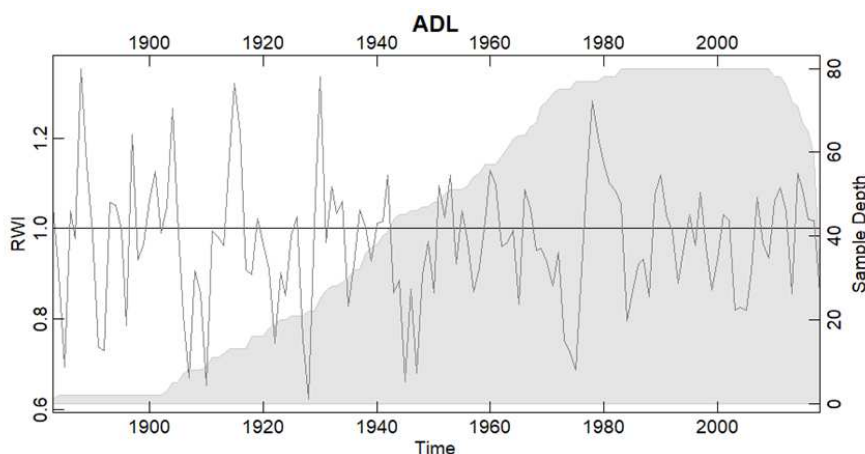


Figura 3.2.1.6 - Cronologia media standardizzata di ADL e numero di campioni utilizzati per costruirla (sample depth).

In tutti e tre i casi, si nota come, dopo l'aumento, più o meno intenso, degli incrementi tra 1975 e 1980, si hanno forti ribassi degli stessi. Anche se, come già detto, nel caso di MDT ciò è dovuto ad un taglio selvicolturale, sembra esserci un comportamento simile che accomuna tutte le popolazioni. Inoltre, anche nei primi anni del 2000, tutte e tre rivelano marcate diminuzioni degli accrescimenti, ciò sembra riguardare in particolar modo l'annata del 2003.

3.2.2 Effetti delle temperature

In relazione alle temperature massime e minime, registrate durante i mesi estivi (maggio, giugno, luglio, agosto) di ogni anno dal 1950 al 2022, è stato possibile ricavare dei grafici che mostrino l'andamento di queste nell'arco di tempo riportato (Fig. 3.2.2.1, 3.2.2.2).

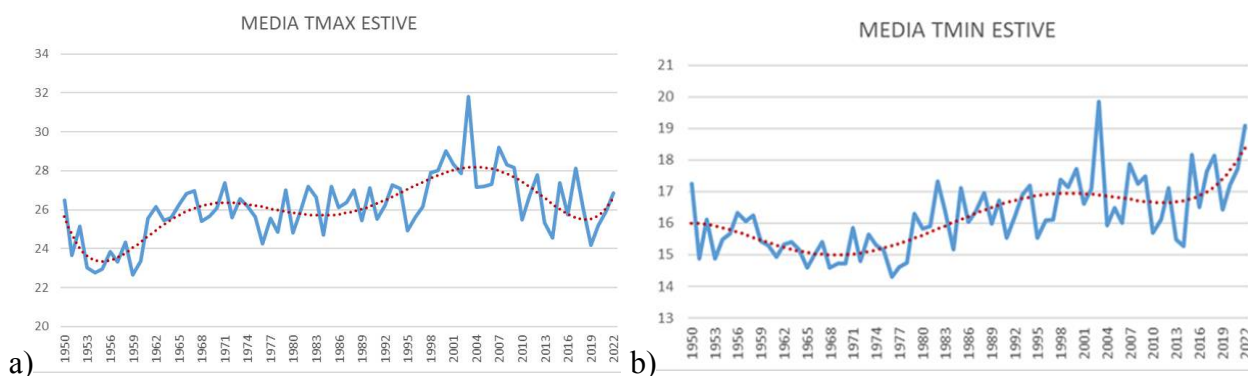


Figura 3.2.2.1 – Andamento della media delle temperature massime (a) e minime (b) dei mesi estivi dal 1950 al 2022, relativo a MDT e INT, dati climatici da griglia EOBSv.27.0 (Periodo 1950-2020)

Dagli andamenti delle temperature massime e minime nei siti di INT e MDT nei primi anni del 1950, si può osservare che effettivamente in questo periodo entrambe le medie degli accrescimenti delle due popolazioni si sono mantenute più basse rispetto agli anni successivi. Subito dopo infatti si è assistiti a un aumento graduale delle stesse per tutti gli anni '70, leggermente più contenuto negli anni

'80, e ripreso con più forza dopo il 1990, raggiungendo un picco nei primi anni 2000, seguito da ulteriori incrementi della temperatura (specialmente della minima) negli anni più recenti.

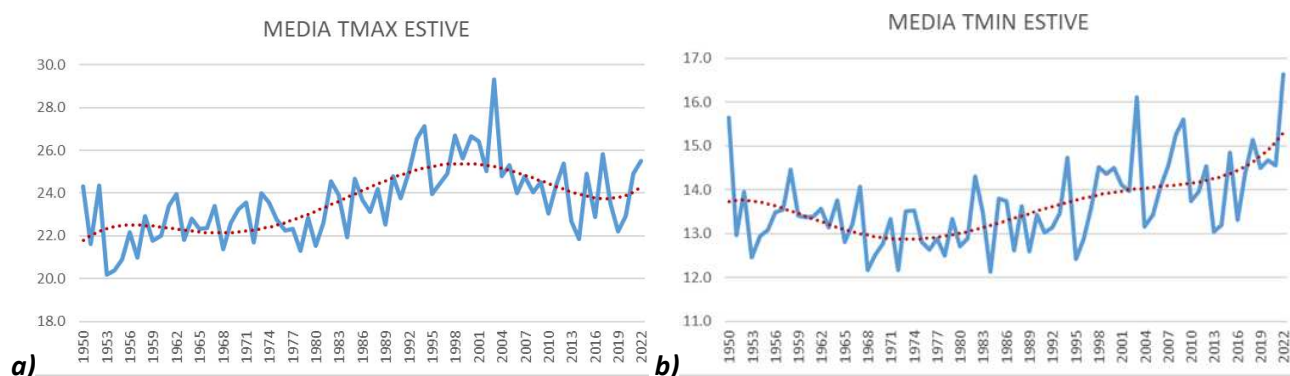


Figura 3.2.2.2 – Andamento della media delle temperature massime(a) e minime (b) dei mesi estivi dal 1950 al 2022, relativo a ADL, dati climatici da griglia EOBSv.27.0 (Periodo 1950-2020)

In ciascun caso, si nota un innalzamento graduale della linea di tendenza che rappresenta l'andamento delle medie delle temperature massime e minime estive, tale aumento è visibile specialmente dagli anni '90 in poi, raggiungendo dei massimi tra gli anni 2001 e 2004 (infatti, dai report climatici italiani l'annata del 2003 è risultata essere stata una delle più calde di sempre). Comunque, in ogni grafico è evidente l'incremento, talvolta anche di qualche grado centigrado, delle medie estive minime e massime tra il primo e l'ultimo anno registrati. In particolare, per i siti di Internone e Tassinete, l'incremento totale è stato di circa mezzo grado centigrado per le temperature massime, e di un grado e mezzo per le minime. Invece, ad Alpe della Luna, è stato registrato un incremento di due gradi per le massime e sempre di un grado e mezzo per le minime. Per quanto riguarda i risultati ottenuti dalle analisi dendroclimatiche nei tre siti (**Fig. 3.2.2.3**), i mesi in cui le relazioni Tmax-accrescimento possono essere considerate significative per ADL sono sei. In particolare, i mesi di luglio e agosto sia dell'ultimo anno che del precedente, hanno correlazione negativa, mentre nei mesi di febbraio e marzo (del nuovo anno) la correlazione è positiva. Ciò significa che le temperature alte nei mesi estivi risultati significativi hanno influito negativamente sull'incremento radiale degli anelli legnosi, mentre temperature massime elevate durante i mesi di febbraio e marzo hanno influito positivamente sugli accrescimenti. Nel caso delle temperature minime invece, sono significativi solo febbraio e marzo (sempre dell'anno corrente). Da considerare che mentre in alcuni casi per la popolazione di ADL si hanno risultati significativi anche durante certi mesi del precedente anno, per MTA e INT la significatività si ha solo durante mesi dell'ultimo. Per quanto riguarda invece MTA, si ha una buona significatività sempre nei mesi di febbraio e marzo per le temperature massime, mentre per le minime si ha buona correlazione (negativa) per luglio e agosto.

Infine, la popolazione di INT presenta correlazioni significative per le Tmax nei mesi di febbraio, marzo ed agosto, e per le Tmin si hanno febbraio, luglio e agosto. I mesi di febbraio e marzo presentano sempre valori di correlazione positiva, mentre nei mesi estivi interessati (luglio ed agosto) la correlazione è sempre negativa.

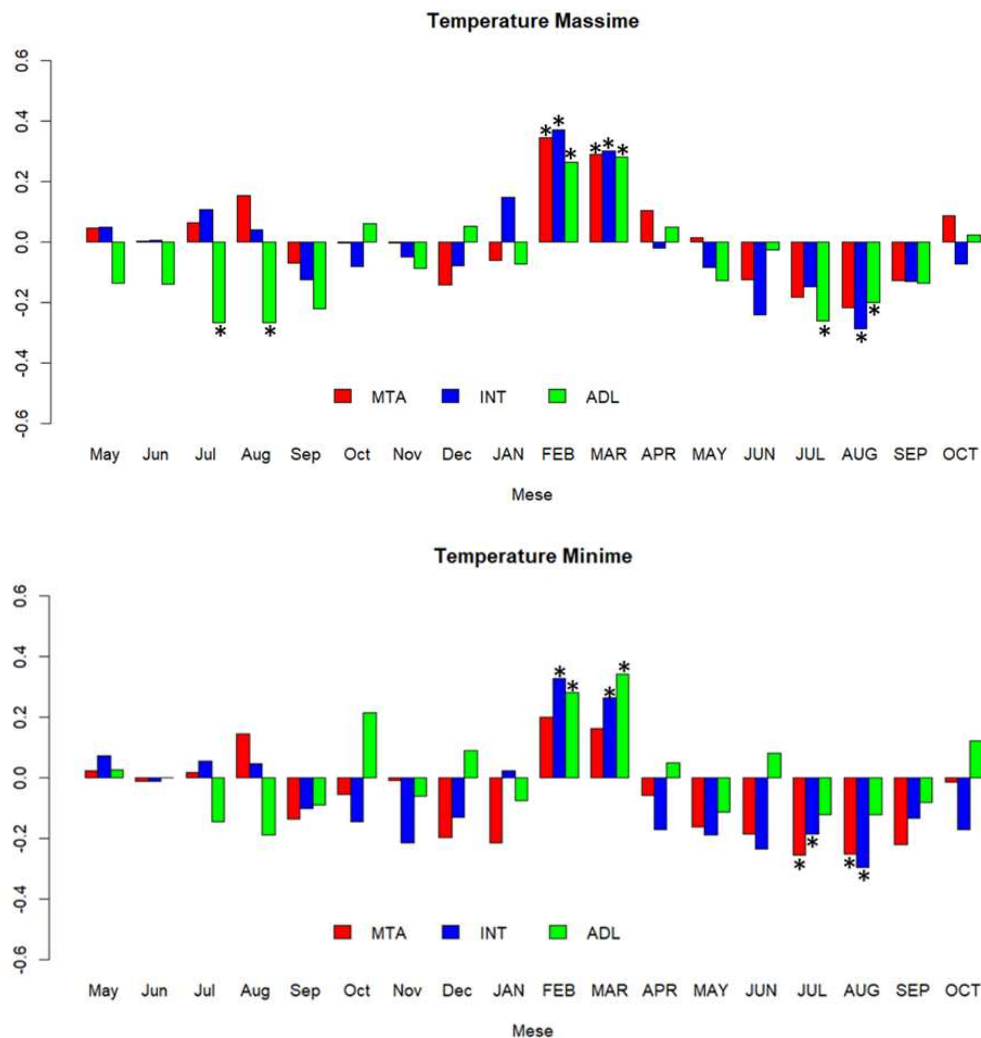


Figura 3.2.2.3 - Correlazione temperature massime -accrescimento (sopra) e temperature minime-accrescimento (sotto). Sulle ascisse sono presenti i mesi dell'anno biologico, in minuscolo quelli riferiti all'anno precedente ($t-1$) e in maiuscolo quelli dell'anno in corso (t) mentre sulle ordinate il valore di correlazione. La significatività del valore di correlazione misurato attraverso il metodo bootstrap è indicato con il simbolo '*' quando superiore al 95%.

Quindi, l'accrescimento di *Taxus baccata* in queste popolazioni sembra particolarmente favorito dalle temperature dei mesi che precedono la stagione primaverile, poco prima della ripresa vegetativa delle latifoglie, e sfavorito invece da quelle dei mesi estivi.

3.2.3 Effetti delle precipitazioni

Per ciò che riguarda le precipitazioni medie durante i mesi estivi, quindi considerando sempre maggio, giugno, luglio e agosto, sono stati ottenuti i seguenti grafici per le stazioni di Cingoli e Alpe della Luna (Fig. 3.2.3.1).

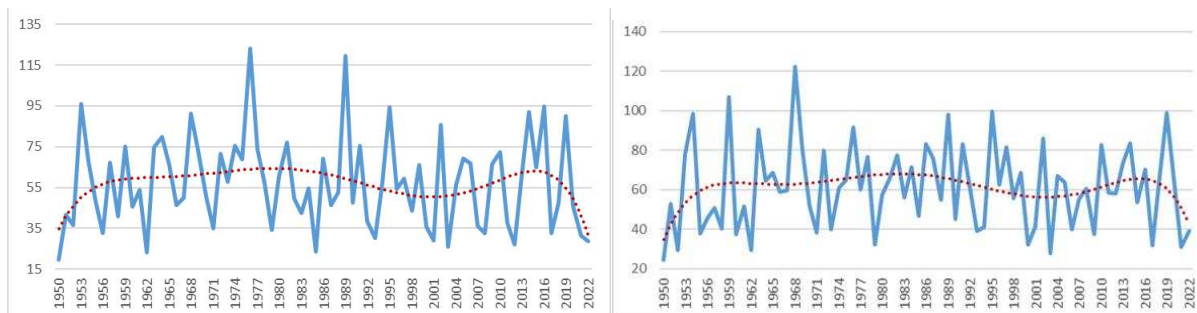


Figura 3.2.3.1 – Andamento delle precipitazioni medie dei mesi estivi dal 1950 al 2022, relativo a MDT e INT a sinistra, e ad ADL a destra, dati climatici da griglia EOBSv.27.0 (Periodo 1950-2020)

A differenza dei grafici precedenti, in questo caso non si nota una variazione particolare dei valori delle precipitazioni estive, solo una lieve diminuzione, non troppo pronunciata nei primi anni del 2000 ed anche nei più recenti, sia per le misurazioni della stazione di Cingoli che di Alpe della Luna. Le analisi delle relazioni tra accrescimento di *Taxus baccata* e precipitazioni durante l'anno biologico considerato mostrano una buona significatività delle correlazioni (positive) nei mesi estivi, specialmente nel caso di MTA per giugno, luglio e agosto, mentre per INT sono giugno e agosto e per ADL solamente luglio. Invece, si ha correlazione negativa nel mese di marzo esclusivamente per la popolazione di MTA (Fig. 3.2.3.2).

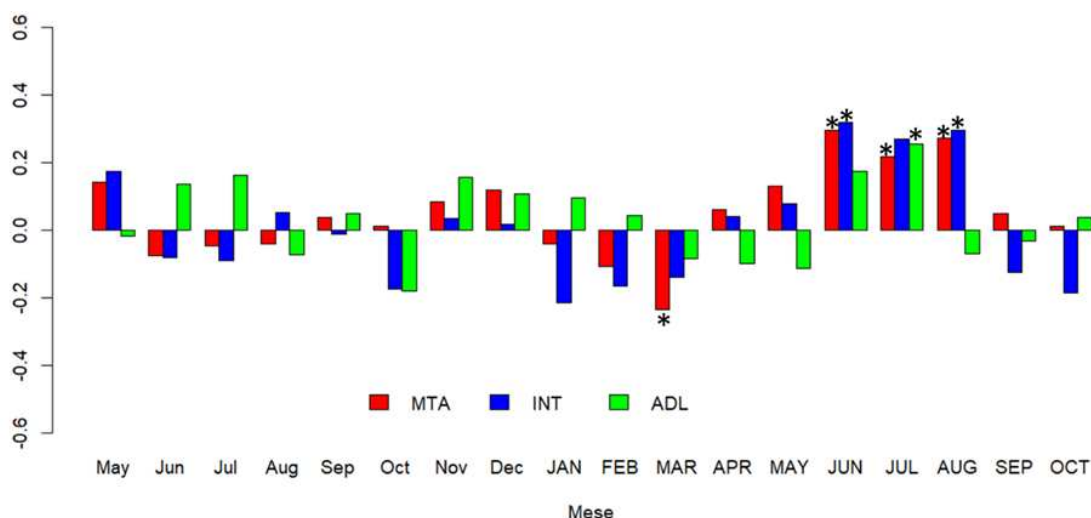


Figura 3.2.3.2 – Correlazioni tra precipitazioni e accrescimenti nel corso di un anno biologico

Importante notare come tutti i valori di correlazione significativa si sono ottenuti durante i mesi dell'ultimo anno, e non del precedente. Ciò significa che le tre popolazioni, specialmente MTA e INT, sono risultate molto sensibili alle precipitazioni dei mesi estivi, che ne hanno favorito l'accrescimento, viceversa invece per le precipitazioni di marzo per MTA.

3.2.4 Effetti della siccità (indice SPEI)

Dall'analisi della correlazione tra indice SPEI e accrescimento, i mesi più significativi specialmente per MTA sono stati marzo e aprile con una correlazione negativa, ed anche tutti i mesi estivi, da giugno a settembre, con correlazione positiva. Una situazione simile si è osservata per INT, dove, rispetto alla popolazione precedente, solamente aprile non risulta essere influente.

ADL si differenzia dalle altre due popolazioni, avendo correlazione significativa (positiva) solamente nel mese di agosto (Fig. 3.2.4.1).

Carattere comune a tutti e tre i siti invece è l'assenza di valori significativi durante tutti i mesi del precedente anno.

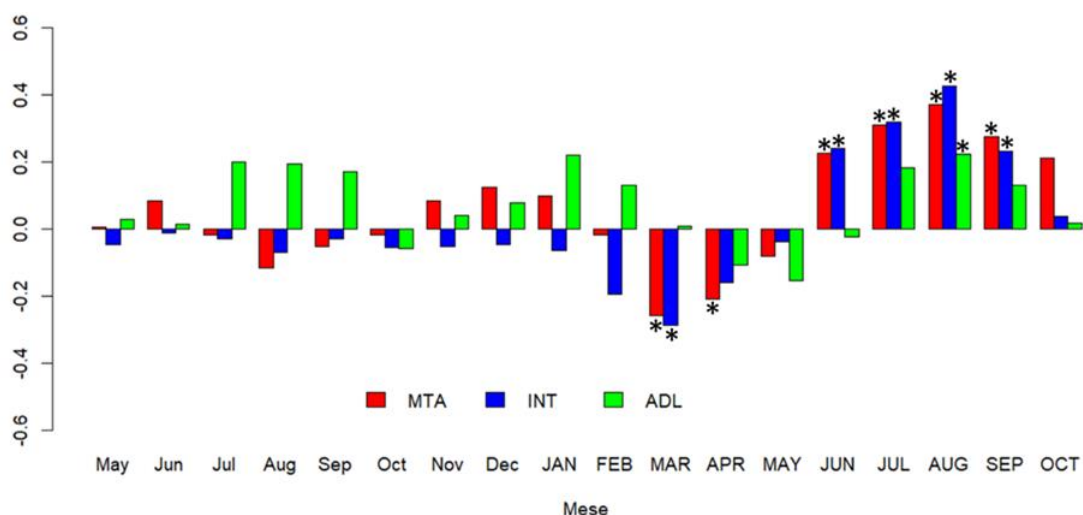


Figura 3.2.4.1 – Correlazioni tra indice SPEI (scala temporale di 3 mesi) e accrescimenti nel corso di un anno biologico. Valori positivi di tale indice stanno a indicare condizioni di siccità, viceversa si hanno periodi piovosi.

Sono state inoltre condotte ulteriori analisi riguardo le relazioni SPEI-accrescimenti, nell'arco temporale compreso tra 1953 e 2018, con l'utilizzo di funzioni di correlazioni mobili dotate di finestre ampie 49 anni, distanti ciascuna 2 anni dalla successiva e quindi parzialmente sovrapposte.

MTA presenta per tutte le finestre mobili considerate i mesi di luglio e agosto significativi, mentre settembre è significativo solo prima del 2004 e giugno invece solo dopo il 1959. Come osservato nei

grafici precedenti, si hanno correlazioni positive nei mesi estivi citati (**Fig. 3.2.4.2**). Marzo invece presenta correlazione sempre positiva, e con valori significativi per tutte le finestre.

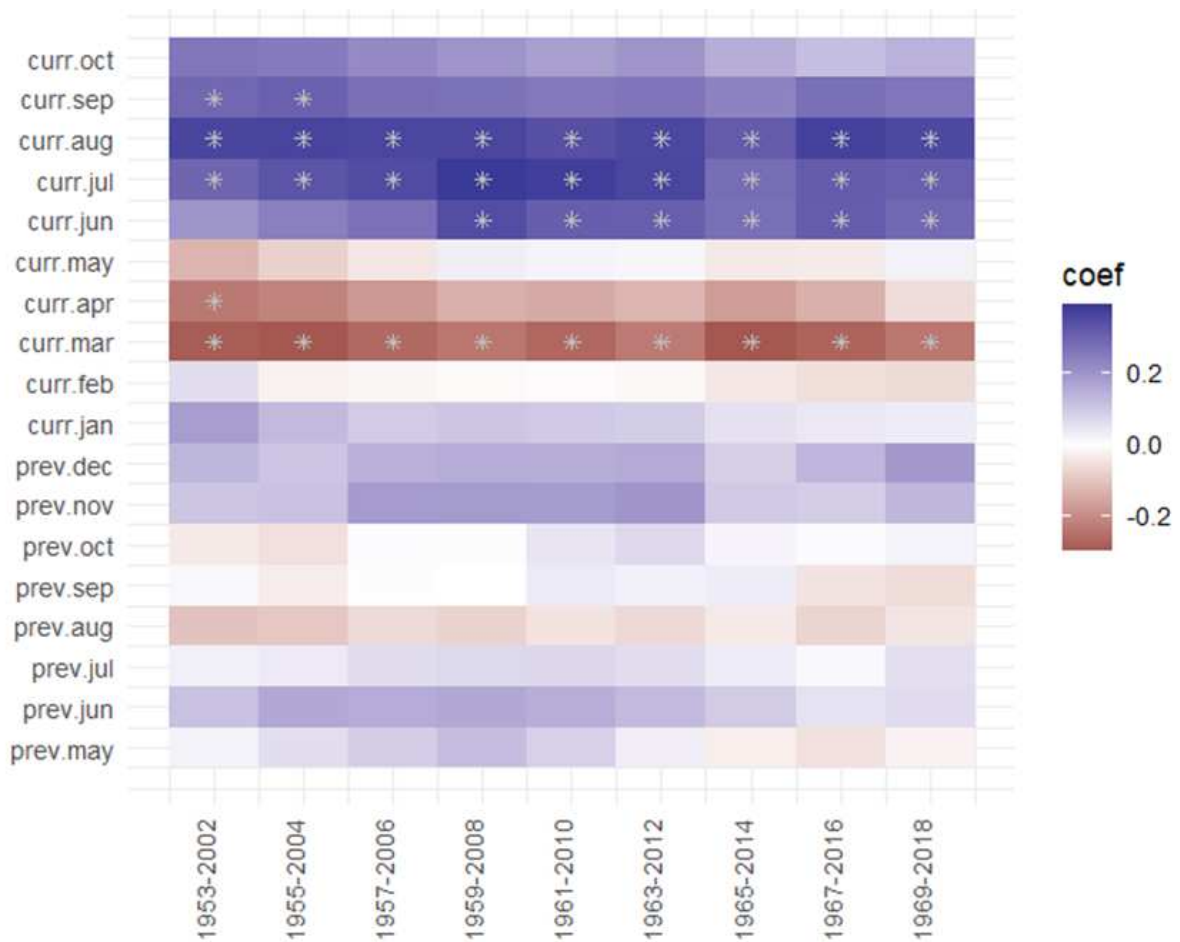


Figura 3.2.4.2 – Correlazioni su finestre mobili tra SPEI e accrescimento nella popolazione MTA. I valori di correlazione positivi sono indicati con sfumature rosse, mentre i negativi con sfumature blu, inoltre le caselle più scure e indicate da un asterisco indicano correlazioni significative ($\alpha=0.05$).

Nel sito di INT, a differenza del precedente, tra i mesi estivi solo agosto rimane sempre significativo, con correlazione positiva, mentre i mesi di giugno e luglio sono significati solo per le ultime tre finestre temporali (**Fig. 3.2.4.3**). Come MTA, anche qui marzo è da considerarsi una mese rilevante durante quasi tutto il periodo considerato, per la correlazione negativa tra SPEI e accrescimenti.

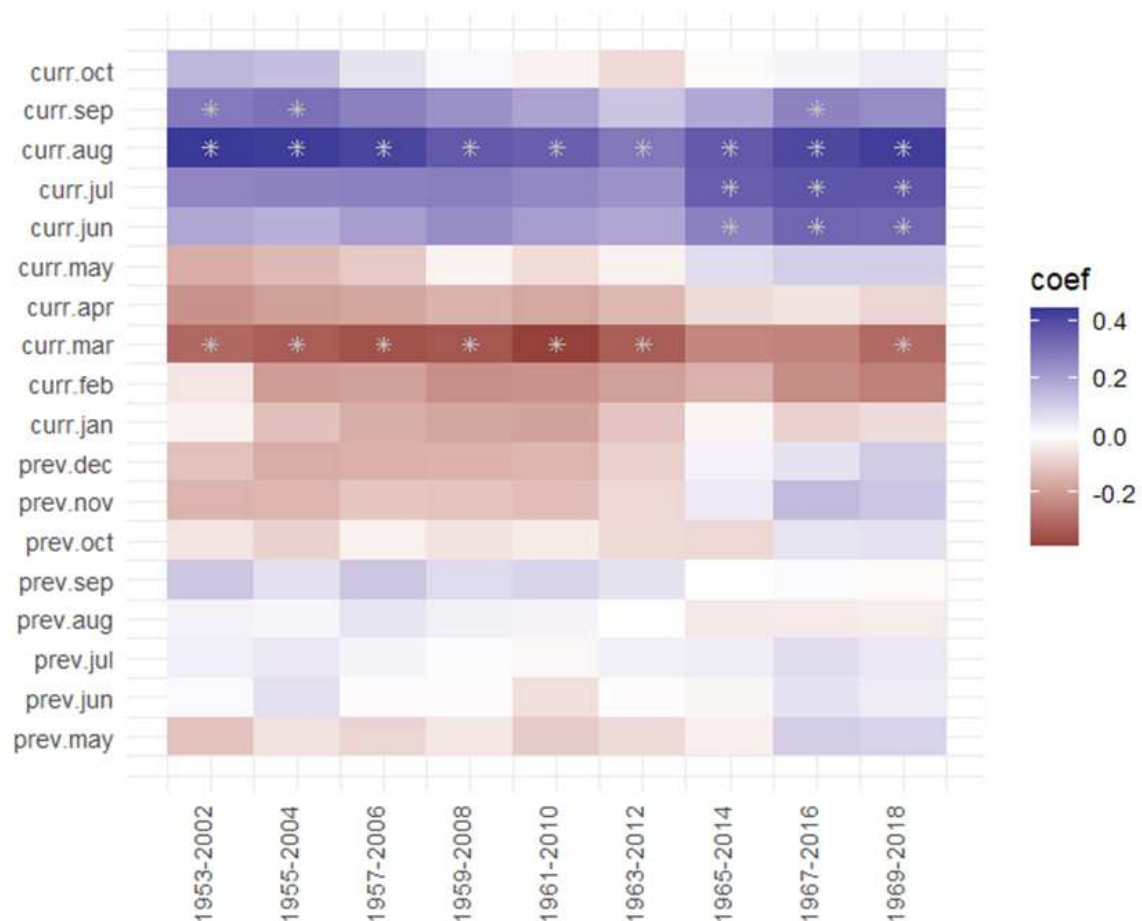


Figura 3.2.4.3 – Correlazioni su finestre mobili tra SPEI e accrescimento nella popolazione INT

ADL è la popolazione tra le tre che presenta complessivamente correlazioni più deboli, inoltre si differenzia dai risultati precedenti in quanto, oltre ai mesi di agosto e luglio, anche gennaio ha valori significativi di correlazione positiva, specialmente durante il primo periodo analizzato. Questo risultato non era intuibile dai grafici di correlazione precedentemente analizzati dato che questi consideravano solo l'ultimo anno biologico (**Fig. 3.2.4.4**). Infine, anche luglio del precedente anno ha correlazione positiva, pur se debole, nell'ultima finestra.



Figura 3.2.4.4 – Correlazioni su finestre mobili tra SPEI e accrescimento nella popolazione ADL

Già da studi precedenti svolti dal FORECOLAB del D3A UNIVPM con AMAP sono emersi alcuni risultati interessanti riguardanti le dinamiche di accrescimento delle popolazioni di tasso trattate, poste anche in relazione con le condizioni climatiche delle rispettive aree. In particolare, si è osservato che le due popolazioni della dorsale cingolana (Macchia delle Tassinete e Internone) risultano abbastanza simili, probabilmente a causa di una convergenza demografica, ovvero un'appartenenza alla medesima popolazione, condizione confermata dall'analisi genetica dello studio. La popolazione di Alpe della Luna invece oltre ad essere composta da individui significativamente più giovani, è risultata discostarsi maggiormente rispetto alle precedenti in risposta ai diversi fattori climatici (Urbinati et al., 2022). Le analisi dendroclimatiche eseguite in passato sui siti citati hanno confermato come il tasso rappresenti una specie sensibile in particolar modo alle temperature e alle precipitazioni dei mesi estivi e invernali/primaverili, che dunque rappresentano i fattori climatici principali in grado di influenzare significativamente le dinamiche di accrescimento delle diverse popolazioni di *Taxus baccata* (Tartaglia, 2020). Anche altri studi, condotti in Gran Bretagna (Moir, 1999), Iran (Parsapajouh et al., 1986), and Ucraina (Iszkuło et al., 2011, Cedro, 2012), hanno indicato determinanti simili della crescita annuale di *Taxus baccata*, ovvero le precipitazioni del periodo febbraio-luglio e le temperature nei mesi di gennaio e febbraio. Tali risultati sono in parte in linea con questo, specialmente per ciò che riguarda le precipitazioni del mese di luglio e le temperature di

febbraio. I fattori climatici del mese di gennaio non sono risultati invece particolarmente determinanti per i tre siti marchigiani, solamente ADL ha mostrato buona correlazione degli accrescimenti in relazione all'indice SPEI durante i mesi di gennaio solamente nel periodo antecedente al 2006. Le osservazioni fatte sembrano inoltre concordare con la maggior parte dei risultati ottenuti da Tartaglia (2020), per le aree di MDT e INT (peraltro su un numero limitato di campioni), ad eccezione del mese di maggio dove nel sito Internone appariva un'ulteriore correlazione negativa tra temperature massime e accrescimenti, risultato trovato anche negli individui maschi di tasso in Ucraina occidentale (Iszkulo et al., 2011) ma non nelle analisi svolte in questa tesi.

4. CONCLUSIONI GENERALI

Questa ricerca, contribuisce all'ampliamento della comprensione della presenza del tasso nell'Appennino Marchigiano e dei principali fattori che ne favoriscono la diffusione. È stato possibile osservare il comportamento simile degli accrescimenti delle tre principali popolazioni della regione Marche, più evidente per Internone e Macchia delle Tassinete, accomunate entrambe da una probabile convergenza demografica, come già ipotizzato da Tartaglia (2020). La popolazione di Alpe della Luna presenta alcune differenze lievi nella risposta ai diversi fattori climatici, ma riconducibili comunque agli stessi risultati ottenuti negli altri siti. Confrontando i grafici che mostrano l'andamento degli incrementi annuali del tasso e quelli riguardanti temperature e precipitazioni dei mesi estivi, si nota come gli andamenti delle temperature osservati nei mesi estivi potrebbero essere in parte associati alle caratteristiche degli accrescimenti di MTA, infatti gli spazi temporali in cui si verificano lievi abbassamenti delle T max e min sembrano corrispondere ai periodi, spostati in avanti di pochi anni, durante i quali le popolazioni di *Taxus baccata* hanno seguito accrescimenti più elevati, e viceversa (es: diminuzione delle temperature nel periodo 1950-55, successivo incremento delle ampiezze anulari nel 1960; aumento delle temperature nel 2003, accrescimenti diminuiti notevolmente fino al 2020). Inoltre, potrebbe esserci un collegamento tra l'abbassamento lieve delle temperature (sia massime che minime) negli anni 70 e il successivo aumento degli incrementi legnosi nei primi anni 80. Quindi, i probabili effetti delle alte temperature sugli incrementi legnosi non si notano immediatamente, bensì sembrano influenzare le dinamiche di accrescimento del tasso nei periodi subito successivi. Per quanto riguarda invece le precipitazioni, è caratteristico il periodo tra 1974 e 1977 per MTA e INT, durante il quale precipitazioni estive più abbondanti sembrano corrispondere a maggiori incrementi anulari degli stessi anni. La stessa osservazione può essere fatta per il periodo del 1988- 1990, ma in questo caso evidente solo in MTA. Questi risultati in parte confermano quelli preliminari (Tartaglia, 2020), in cui erano stati individuati alcuni anni caratteristici per l'area di Cingoli quali il 1948-1975-1976. Invece, nel sito di ADL, le maggiori corrispondenze riscontrate riguardano i primi anni del 2000, durante i quali l'ampiezza degli incrementi anulari diminuisce drasticamente, in concomitanza con un lieve calo delle precipitazioni estive nello stesso periodo. Inoltre, l'analisi delle relazioni clima-accrescimento mostra come, specialmente nei mesi di luglio e agosto e marzo, valori elevati di temperature e precipitazioni risultino determinanti per l'accrescimento degli individui di *Taxus baccata* delle tre popolazioni. Infine, le relazioni dell'indice SPEI con la crescita di *Taxus baccata* rispecchiano quelle attese dall'osservazione degli altri fattori climatici considerati, ma evidenzia la risposta differente di ADL in cui compare anche gennaio tra i mesi più significativi, non presente negli altri siti.

Con studi più mirati e approfonditi si potrebbero verificare e completare i risultati ottenuti in questa tesi, concentrando maggiormente l'attenzione sui fattori climatici dei mesi invernali/primaverili da gennaio a marzo, oltre che per la stagione estiva. Questo approfondimento consentirebbe di comprendere meglio i meccanismi ecologici che influenzano la crescita e la sopravvivenza di *Taxus baccata* durante le diverse stagioni dell'anno.

Migliorare le conoscenze riguardo all'ecologia del tasso potrebbe rappresentare un importantissimo tassello nello studio dei cambiamenti climatici e di come i boschi dell'Appennino reagiscano a questi ultimi. L'Appennino è una regione di grande valore ecologico, caratterizzata da una ricca biodiversità e da una vasta presenza di boschi, e comprendere come gli alberi di tasso si adattano e rispondono alle variazioni climatiche potrebbe fornire importanti informazioni sul futuro della biodiversità e sull'adattamento degli ecosistemi agli scenari climatici in continua evoluzione.

5. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Allegrezza M., (2023). Appunti corso di ecologia forestale, UNIVPM.
- Bagnara L., (2012). *Assetto strutturale-funzionale e capacità di rinnovazione del Tasso (Taxus baccata L.) nella Macchia delle Tassinete (MC)*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Agrarie – UNIVPM
- Bagnara L., Urbinati C., (2010). *Progetto per la Conservazione e la Valorizzazione ambientale dell'area floristica n. 51 "Macchia delle Tassinete"*. Regione Marche - UNIVPM.
- Belli L. (2019) *Caratterizzazione genetica di due popolazioni di tasso (Taxus Baccata L.) nelle Marche*. Tesi Magistrale in FORESPA-UNIVPM.
- Benham S. E., Houston Durrant T., Caudullo G., De Rigo D., (2016). *Taxus baccata in Europe: distribution, habitat, usage and threats*. In European Atlas of Forest Tree Species. Office of the European Union, Luxembourg. Research Gate.
- Berti, (2021). *Il tasso (Taxus baccata L.) nei boschi delle Marche: presenza potenziale e reale*. Tesi Triennale in SFA-UNIVPM.
- Carrer M., (2003/2004). Appunti per il corso 'Struttura e dinamismo delle cenosi forestali'.
- Cedro A., Cedro B. (2014). *Growth-climate relationships at yew and wild service trees on the eastern edge of their range in Europe*, Forest Systems.
- Conti F., Abbate G., Alessandrini A., Blasi C., 2005. *An annotated checklist of the Italian vascular flora*, Acta Plantarum.
- Fiori A., (1923). *Nuova Flora Analitica d'Italia*, vol. 1- pg. 57.
- Garbarino M., Urbinati C., Weisberg P.J., (2015). *Sex-related spatial segregation along environmental gradients in the dioecious conifer, Taxus baccata*. Forest Ecology and Management 358: 122-129.
- Ghelardini L., Matteucci D., Capretti P., Morelli E., (2019). *Un tasso racconta: tra cambiamenti culturali e cambiamenti climatici* - pp. 83-88. Firenze University Press.
- Holmes, R. L. (1983). *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*, Research Gate.
- Iszkuło G., Jasińska A. K., Sobierajska K., (2011). *Dendroecological differences between Taxus baccata males and females in comparison with monoecious Abies alba*. Dendrobiology, Vol. 65, 55–61.
- Martin-Benito, (2009). *Erratum to: Growth response to climate and drought in Pinus nigra Arn. trees of different crown classes*.
- Moir A. K., (1999). *The dendrochronological potential of modern yew (Taxus baccata) with special reference to yew from Hampton Court Palace, UK*.

- Pignatti S., (1982). *Flora d'Italia*, vol. 1 - pg. 86.
- Piovesan e Presutti Saba, (2006). *Monitoraggio e gestione di faggete con tasso (Taxus baccata L.) nell'Appennino centrale* – pp. 19-22.
- Spencer C.H. Barrett, (2021). *Plant sex: Best to be bisexual when mates are scarce*, Research Gate.
- Taffetani F., Zitti S., Giannangeli A., (2004) *Vegetazione e paesaggio vegetale della dorsale di Cingoli (Appennino Centrale, Dorsale Marchigiana)*., Research gate, Fitosociologia vol. 41 (2) suppl.1: 83-161.
- Taffetani F., (2022). *Appunti corso di botanica sistematica forestale*, UNIVPM.
- Tartaglia F., (2020). *Accrescimento radiale e sensibilità climatica del tasso (Taxus baccata L.) in tre popolazioni delle Marche*. Tesi Triennale in SFA-UNIVPM.
- Thomas P. A., Polwart A., (2003). *Taxus baccata L.*, Journal of Ecology, vol. 91 (3), 489-524.
- Tutin, T.G., (1993) - *Flora Europaea, second edition*, Research Gate.
- Urbinati C., (2022). *Studi e valutazioni su alberi e boschi da seme delle Marche*. Relazione finale: Novembre 2022.
- Vicente-Serrano, Begueria and Lopez-Moreno, (2010). *A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*. Journal of Climate, 23: 1696–1718.
- Zang C. e Biondi F., (2015). *Treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships*.

SITOGRAFIA

Areale di *Taxus baccata L.*

<https://www.euforgen.org/species/taxus-baccata/>

Elaborazioni in QGIS

<https://www.qgis.org/it/site/>

Rete Natura 2000 nella Regione Marche

https://www.regione.marche.it/natura2000/pagina_basef5f5.html?id=1660

Progetto Actaplantarum, 2023

https://actaplantarum.org/flora/flora_info.php?id=207

IUCN Red List of Threatened Species

<https://www.iucnredlist.org/species/42546/117052436>

Plant sex: Best to be bisexual when mates are scarce - ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982221000543>

Repertorio della flora italiana protetta, Ministero dell'Ambiente

<https://www.mase.gov.it/pagina/repertorio-della-flora-italiana-protetta>