



Obiettivi e motivazioni dello studio

Luigi Mariani¹, Simone Gabriele Parisi¹, Francesco Rech²

*¹Università degli Studi di Milano
DISAA - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali*

*²Servizio Meteorologico - Teolo (PD)
ARPAV, Dipartimento Regionale Sicurezza del Territorio*



Come nasce l'Atlante Climatico

Nel corso del 2009 l'Unità di Progetto Foreste e Parchi della Regione del Veneto ha incaricato l'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione dell'Ambiente del Veneto (ARPAV) dell'esecuzione dello studio dal titolo: "Analisi delle correlazioni fra cambiamenti climatici e dinamiche evolutive del bosco nell'areale montano della Regione Veneto".

L'attività è stata finalizzata, in primo luogo, al reperimento, ordinamento ed analisi dei dati termopluviometrici di lungo periodo in grado di caratterizzare il clima regionale con particolare riferimento alle aree a vocazione forestale.

Si sono ricercate, quindi, risposte a quesiti del tipo: il clima della regione sta cambiando?, in che misura?, con quali effetti sull'ambiente e sui popolamenti forestali? Per affrontare queste domande è stato necessario dapprima reperire in formato cartaceo e poi digitalizzare, trasferendole da formato cartaceo al formato elettronico, le serie di osservazioni meteorologiche di lungo periodo (1950-2010) che erano state prevalentemente effettuate dall'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia e riportate negli Annali Idrologici o nei Bollettini Idrologici. In tali pubblicazioni sono disponibili, principalmente, dati giornalieri di temperatura massima, minima e di precipitazione, mentre le misure di altre variabili meteorologiche sono estremamente rare.

L'acquisizione dei dati storici, che risulta essere estremamente laboriosa, era già stata avviata da ARPAV - Servizio Meteorologico di Teolo nell'ambito di una precedente iniziativa, finanziata dalla Regione Veneto - Direzione Regionale Agroambiente e Servizi per l'Agricoltura, tramite il progetto: "Indagine regionale per il monitoraggio dei cambiamenti meteo-climatici e delle loro ripercussioni nel settore agricolo", che ha portato alla redazione, nel 2010, del "Atlante Agroclimatico del Veneto - Temperature", il cui testo è disponibile e scaricabile presso il sito internet di ARPAV all'indirizzo: <http://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/approfondimenti/atlante-idroclimatico-veneto>. Al suo interno è contenuto un approfondito studio delle temperature sul territorio veneto e della loro variabilità nel periodo 1961-2008.

Con il presente lavoro si è proseguito lo studio indagando approfonditamente la climatologia delle precipitazioni mediante analisi statistiche e rappresentazioni cartografiche. Sono stati considerati, inoltre, i determinanti termo-pluviometrici del bilancio idrico e della produttività forestale. Poiché le indagini climatiche a scopo forestale hanno l'obiettivo di valutare la vocazione territoriale alla selvicoltura, sono state definite, in termini quantitativi, le risorse climatiche a livello di:

- risorse idriche (riserva idrica presente nel terreno), descritte per mezzo di modelli di bilancio idrico territoriale che considerano tanto gli apporti precipitativi che le perdite evapotraspirative;
- risorse termiche indagate per mezzo di appositi indici;
- risposta produttiva del sistema descritta attraverso l'indice di Paterson.

Il concetto di clima

Il vocabolo clima deriva dal greco *klima* (κλίμα) inclinazione, con riferimento all'effetto che ha la latitudine, e quindi l'**inclinazione** dei raggi solari sulla superficie terrestre, nel determinare i diversi climi terrestri.

Alcune definizioni di clima di una regione possono essere tratte dai padri della moderna climatologia. Alexander von Humboldt, nel trattato "Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung" del 1845, con una visione geografica, scrive che il clima nel suo significato più ampio considera tutte le variazioni dell'atmosfera in grado di interferire sensibilmente con le condizioni fisiche degli esseri viventi. Julius von Hann nel suo "Handbuch der Klimatologie" del 1883 definisce il clima come: "somma di tutti i fenomeni meteorologici che caratterizzano la condizione media

dell'atmosfera in ogni luogo della superficie terrestre" ed afferma che lo scopo della climatologia è quello di "farci conoscere le condizioni medie dell'atmosfera nelle differenti zone della superficie terrestre e nel contempo di informarci di ogni allontanamento da queste condizioni che possa capitare, in una data zona, nel corso di lunghi intervalli di tempo". Wladimir Köppen, con studi condotti tra il 1884 ed il 1936, propone un sistema di classificazione climatica basato sull'analisi combinata dei valori medi di temperatura e di precipitazione e definisce il clima come "andamento abituale del tempo atmosferico in una data regione".

Secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) il clima è: "la sintesi delle condizioni del tempo atmosferico in una determinata area, caratterizzate dalle statistiche di lungo periodo delle variabili di stato dell'atmosfera in quell'area"¹.

La definizione dell'OMM, a cui di qui in avanti ci atterremo, è anzitutto interessante perché contrappone il concetto di clima a quello di tempo atmosferico o tempo meteorologico che può essere definito, invece, come lo stato dell'atmosfera in un determinato luogo o territorio ed in un determinato e limitato periodo temporale.

Il clima, quindi è un'astrazione statistica frutto dell'analisi di lungo periodo di serie storiche di variabili atmosferiche quali temperatura, precipitazione, umidità, pressione atmosferica, radiazione solare, vento e altre misure meteorologiche.

Il termine **sintesi** utilizzato dall'OMM è certamente associabile al concetto di media statistica e, infatti, una definizione ricorrente di clima è proprio quella di "stato medio, nel lungo periodo, del tempo atmosferico" (tale definizione è riscontrabile per esempio in wikipedia.it alla voce clima), ma può essere convenientemente esteso allo studio della variabilità intorno alla media e delle frequenze di accadimento dei valori più o meno estremi delle diverse variabili meteorologiche, al punto che una più complessa definizione di clima potrebbe essere: "sintesi delle distribuzioni di probabilità dei fenomeni meteorologici, misurabili mediante la determinazione delle frequenze degli eventi progressi".

Sempre dalla definizione OMM emerge il concetto di **statistica di lungo periodo** che nella "Guide to Climatological Practices", WMO n. 100 edizione 1983, viene meglio dettagliato introducendo il concetto di **normale climatica**, calcolata su periodi di almeno trent'anni (più precisamente si parla di 3 periodi consecutivi di almeno 10 anni). In tale sede viene anche introdotto il concetto di **normale climatica standard**, definita come media di dati climatologici calcolata per i periodi di 30 anni consecutivi: 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990, ecc. Questo insieme di definizioni ha determinato varie discussioni tra gli esperti di climatologia circa la questione se sia più corretto utilizzare, quale riferimento per definire il clima, la normale climatica del trentennio 1961-90, da usarsi fino al completamento del trentennio 1991-2020, oppure la normale climatica del trentennio più prossimo al periodo attuale (1981-2010). Risulta anche controversa l'opportunità di utilizzare periodi di riferimento diversi dai trent'anni per definire il clima.

Aspetti climatici analizzati

In questo lavoro riguardante la pluviometria, si è operata la scelta di analizzare le normali climatiche per i trentenni 1951-1980, 1961-1990, 1971-2000 e 1981-2010. A livello cartografico si è focalizzata l'attenzione sul periodo 1961-1990, in quanto normale climatica standard e sul periodo 1981-2010, in quanto trentennio più recente e quindi rappresentativo della situazione pluviometrica in essere. L'intero periodo 1951-2010 è stato infine considerato soprattutto ai fini dell'analisi di trend.

Il principio generale da considerare è che la climatologia opera su serie di osservazioni meteorologiche di durata almeno trentennale per il fatto che il

¹ Definizione tratta dalla "Guide to Climatological Practices", WMO n. 100. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva - Switzerland, 1983. e dall'"International Meteorological Vocabulary", WMO n. 182. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva - Switzerland, 1966.

campione di dati oggetto di studio dev'essere statisticamente significativo, in modo che eventuali andamenti estremi non ne influenzino l'analisi.

Le principali variabili climatiche studiate sono la precipitazione e la temperatura per le quali si dispone di svariate serie storiche di dati, ma l'analisi climatologica può riguardare tutti gli elementi che caratterizzano il tempo atmosferico.

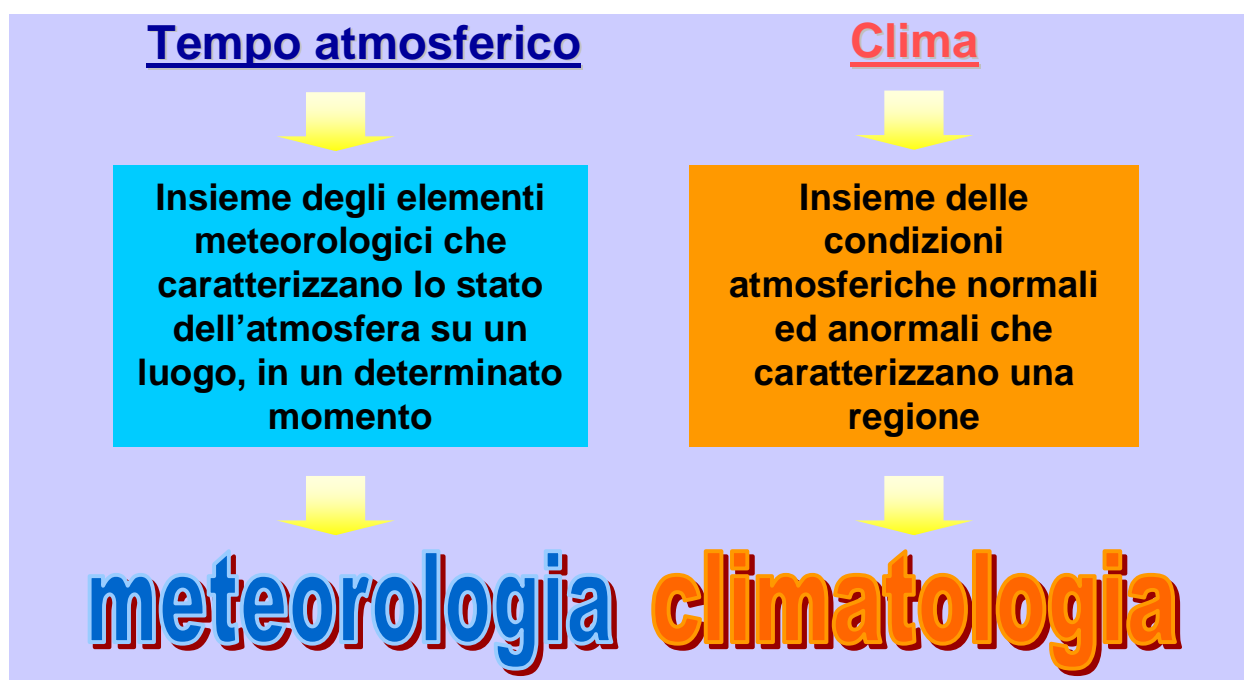


Fig. 1 – Definizioni di tempo atmosferico e clima tratte dal Nuovo Dizionario della Lingua Italiana Zingarelli - XI^a Edizione (1991).

Infine è opportuno soffermarci sul concetto, espresso nella definizione di clima dell'OMM, per cui l'analisi delle variabili atmosferiche deve essere riferita ad una "**determinata area**". Le indagini climatologiche devono trovare sempre una contestualizzazione geografica ben determinata, ma, più in particolare, i fenomeni climatici devono essere suddivisi secondo scale spaziali caratteristiche; in **tabella 1** si riporta lo schema di classificazione cui ci si è attenuti nel corso di questo lavoro e che è frutto di considerazioni desunte soprattutto dal libro "Introduzione all'agroclimatologia, parte prima - le basi della climatologia" del professor Ezio Rosini (1988).

Tipo	Definizione	Dimensione spaziale orientativa	Esempio
Macroclima	Clima di grandi porzioni della superficie del globo coperta da terre su cui agiscono i fattori generatori a macroscale (fattori astronomici, geografici, circolazione generale)	1000 km e oltre	Clima oceanico dell'Europa centro-occidentale (clima Cfb di Koeppen), clima mediterraneo (clima Csa di Koeppen)
Mesoclima	Clima intermedio fra macroclima e clima locale	50-1000 km	Clima padano, clima prealpino, clima del lago di Garda
Clima locale	Clima dell'areale per cui è rappresentativa una stazione meteorologica installata per scopi climatologici	1-50 km	Clima di un versante collinare, clima di una piccola valle
Microclima	Clima frutto dell'interazione dei fattori generatori del clima con le coperture del suolo	< 1 km	Clima di un campo coltivato, clima di un piccolo bosco, di una piccola area urbana

Tab. 1 – Classificazione dei fenomeni climatici secondo scale spaziali (Rosini, 1988).

In proposito si evidenzia che questo lavoro ha operato secondo le seguenti scale:

- a livello di macroclima, nel capitolo 2, è stata effettuata la descrizione delle caratteristiche generali del clima regionale, inquadrandolo nel contesto europeo e riferendolo alle principali strutture circolatorie atmosferiche caratteristiche dell'Europa centro-meridionale;
- a livello di mesoclima e di clima locale, nei capitoli 3, 4 e nelle schede monografiche dedicate alle aree montane (allegati), sono stati evidenziati i tratti climatici salienti che caratterizzano il territorio regionale, principalmente dal punto di vista pluviometrico ma valutando anche le caratteristiche termo-pluviometriche e i loro effetti sulla vocazione forestale del territorio regionale.

Il livello di microclima è invece stato appena sfiorato in quanto se è vero che il dettaglio delle elaborazioni cartografiche e del modello digitale del terreno ad esse associato presenta una risoluzione inferiore al km, occorre precisare che per analizzare adeguatamente i microclimi occorrerebbe calarsi all'interno delle coperture vegetali apprezzando aspetti quali la variabilità delle diverse variabili atmosferiche (temperature, umidità, venti, ecc.) all'interno delle canopy vegetali boschive colte in differenti stati vegetativi e di sviluppo (novellame, bosco giovane, bosco maturo, ecc.), il che va chiaramente oltre gli obiettivi del presente lavoro.

Questa tipologia di analisi climatica va oltre le possibilità offerte da una rete di osservazioni meteorologiche tradizionale, con una densità di stazioni che, mediamente, è dell'ordine di 1 stazione ogni 100 km²; conseguentemente nelle cartografie prodotte risulta arduo il tracciamento di linee nette di separazione fra territori a differente vocazione agro-forestale, scopo per il quale viene tipicamente condotta l'analisi microclimatica.

Con riferimento al concetto di scala occorre considerare infine che le precipitazioni sono una variabile meteorologica complessa alla cui distribuzione nello spazio cooperano una serie di processi che avvengono alle diverse scale (dalla macroscale alla microscale). Ciò rende la disponibilità di dati provenienti da reti climatologiche di adeguata fittezza un requisito essenziale per apprezzare la variabilità spazio-temporale di tale grandezza.

Importanza della climatologia regionale

La climatologia è importante, per la realtà regionale, in quanto:

- consente di pianificare l'uso del territorio in funzione delle risorse e delle limitazioni climatiche
- consente, in sede di progettazione di opere o di pianificazione dell'uso delle risorse ambientali, di valutare la probabilità che si verifichino eventi meteorologici estremi in grado di compromettere la funzionalità dei sistemi.
- consente di capire se un evento meteorologico in corso, in un determinato luogo, presenta caratteristiche di eccezionalità o se rientra nel campo di variabilità della media o se è comunque assimilabile a fenomeni già verificatisi nel passato.

I fattori meteo-climatici agiscono direttamente sull'ambiente ed in particolar modo sulle attività produttive del settore primario che sono pesantemente condizionate da siccità, alluvioni, eventi estremi, andamenti termici anomali. Più in generale essi influenzano le attività umane quali il turismo, i trasporti, la produzione e il consumo di energia, l'edilizia e le attività all'aperto, la pesca, fino ad intervenire direttamente sulla salute umana (si pensi agli effetti sulla morbilità delle ondate di calore o di freddo) e sulla disponibilità delle risorse idriche (siccità) ed alimentari (carestie).

Il crescente interesse di cittadini, media, amministratori e tecnici per la climatologia è determinato proprio dalla percezione degli impatti che il clima ha sull'uomo, sull'ambiente e sulle attività produttive.

Interazioni tra clima e foreste

I sistemi forestali non si limitano a subire gli effetti del clima ma agiscono direttamente sull'atmosfera e sul clima stesso:

- assorbendo ed immobilizzando negli alberi e nell'humus il biossido di carbonio, che è uno dei gas ad effetto serra;
- contribuendo alla produzione di biocombustibili e di legname (risorse rinnovabili) con conseguente riduzione dell'impiego di combustibili fossili.

Secondo vari studi della FAO, le foreste del pianeta assorbono in totale più di un trilione di tonnellate di carbonio, il doppio di quello che si stima si trovi nell'atmosfera. A livello mondiale la conservazione delle foreste esistenti, la lotta alla deforestazione, l'uso razionale e sostenibile delle foreste e la ri-forestazione delle aree disboscate sono temi fondamentali anche per gli effetti che ne derivano sul clima.

Si consideri, inoltre, che le formazioni forestali, grazie all'azione schermante di fusti e di chiome e all'attività di traspirazione, modificano le condizioni microclimatiche all'interno del bosco rispetto agli ambienti aperti, creando, soprattutto nelle zone più estreme degli areali, condizioni favorevoli alla rinnovazione delle specie forestali.

D'altra parte il clima ha rilevanti effetti sulla vegetazione. L'areale delle specie vegetali dipende in larga misura dalle temperature e dalle precipitazioni e, dato che i cambiamenti climatici potrebbero modificare profondamente entrambe le variabili, è probabile che ne risulti un riassetto della distribuzione delle specie arboree. In particolare l'aumento delle temperature tende a far traslare gli areali della vegetazione verso latitudini maggiori o verso altitudini maggiori.

Più in generale le variazioni del clima hanno effetti non necessariamente negativi sulle produzioni forestali, sull'evoluzione delle fitopatologie, sulla diffusione di danni da gelo e sui danni da siccità. Per esempio, l'aumento delle temperature potrebbe determinare incrementi di produttività nei popolamenti forestali delle zone montane.

Oltre agli effetti diretti vanno poi considerati gli effetti indiretti del clima; per esempio l'aumento delle temperature, l'eventuale decremento (o la diversa distribuzione) delle precipitazioni e/o la variazione dei regimi anemometrici, costituiscono dei fattori in grado di modificare la frequenza e la gravità degli incendi forestali. Anche l'estremizzazione degli eventi atmosferici, determinata dall'aumento delle temperature, che si concretizza nella maggior frequenza di piogge di elevata intensità, o di nevicate intense o di fenomeni meteorici di particolare violenza può avere effetti negativi (es. schianti da neve, da vento) sui popolamenti forestali e sulle attività del settore.

Il concetto di cambiamento climatico

Il cambiamento climatico per un determinato sito o territorio può essere definito in due modi diversi e, per molti aspetti, complementari, ovvero:

- come variazione significativa negli indici statistici che caratterizzano una o più variabili meteorologiche;
- come variazione significativa nella frequenza e persistenza dei tipi di tempo atmosferico.

Tali variazioni possono essere "forzate" e cioè indotte da modifiche intervenute nei fattori naturali o antropici del clima (es. cambiamenti nell'uso del suolo, modificazione nella composizione atmosferica, ecc.) oppure "non forzate" e cioè frutto della variabilità interna al sistema climatico che, essendo un sistema turbolento ed intrinsecamente caotico, è soggetto a tali fenomeni.

Per "variazione degli indici statistici" si intendono sia cambiamenti nei cosiddetti momenti di primo ordine (valori medi) sia cambiamenti nei momenti di secondo ordine (deviazioni standard) (**fig 2**).

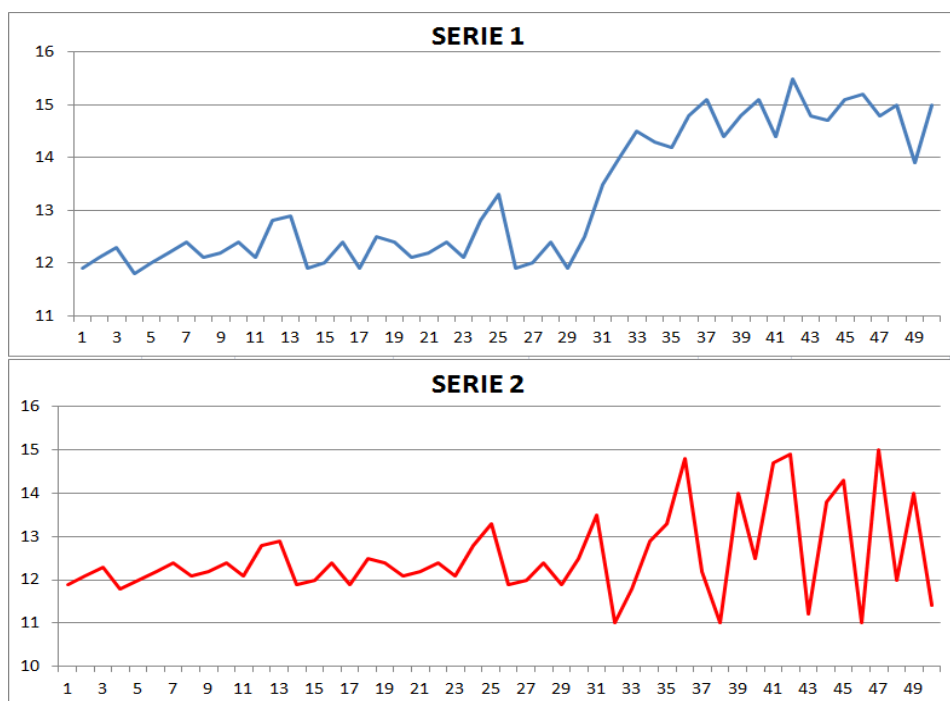


Fig. 2 – La serie numerica 1, composta da 50 valori, rappresenta una netta variazione dei valori medi con persistenza della deviazione standard, mentre la serie numerica 2 rappresenta una netta variazione della deviazione standard con la media che rimane sostanzialmente costante.

Il concetto di "variazione nella frequenza e persistenza dei tipi di tempo atmosferico" deriva dalla constatazione che il clima è determinato in misura rilevante dagli effetti della circolazione atmosferica che, alle medie latitudini, si traducono spesso in modifiche nella frequenza e persistenza delle masse d'aria (artica, polare e subtropicale) che interessano un certo territorio. Da questo punto di vista occorre ricordare che, a partire dagli anni '30 del XX secolo, i climatologi, sulla scorta degli studi condotti dalla scuola norvegese di Bergen, ed in particolare da Thor Bergeron, hanno iniziato a concepire una *climatologia dinamica sinottica* basata sia sulla classificazione delle masse d'aria sia su quella dei tipi circolatori (tipi di tempo). In questo ambito l'Italia ha prodotto una serie di interessanti sistemi di classificazione quali quello di Filippo Eredia e quello di Sergio Borghi e Mario Giuliacci.