SOCIETÀ TOSCANA
DI
Scienze Naturali
RESIDENTE IN PISA

ATTI
DELLA
SOCIETÀ TOSCANA
DI
SCIENZE NATURALI

MEMORIE • SERIE A • VOLUME CXXIX • ANNO 2022

Edizioni ETS

Atti Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A, 129 (2022)
pagg. 81-88; figg. 9; tabb. 3; *doi: 10.2424/ASTSN.M.2022.08*
CC-BY 4.0

Carlo Rapetti †(1), Franco Rapetti (2)

EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE E BILANCIO IDRICO-CLIMATICO DEL SUOLO A BOSCOLUNGO NELL'ALTO BACINO DEL TORRENTE LIMA (APPENNINO TOSCO-EMILIANO, ITALIA) (1927-2021)

Abstract - C. Rapetti, F. Rapetti, *Potential evapotranspiration and water balance of soil at Boscolungo in the upper basin of the River Lima (Tuscan-Emilian Apennines, Italy (1927-2021).*

The upper basin of the River Lima (tributary of the River Serchio), partially close to the main ridge of the Apennines between the regions of Tuscany and Emilia, stands out for the amount of snow that falls here and for its remarkable total rainfall, which, in Tuscany, are second only to the ones recorded in the Apuan Alps. This entails constant soil moisture also in the summer time and in the early autumn, as the values of potential evapotranspiration, actual evapotranspiration and soil water balance, along with the climate types of Boscolungo, clearly show (1927-2021). The analysis of the water balance was carried on using the calculation procedures suggested by the American hydrologist and climatologist C.W. Thornthwaite. The average annual values of potential evapotranspiration and actual evapotranspiration were 539,7 mm and 510,9 mm respectively; moisture deficit and surplus were 28,2 mm and 1977,1 mm respectively, and the global moisture index reached the value of 362,2 units. The climate formula of the period under examination is: *A* C_2' *r* b_2' (perhumid climate, second mesothermic, water deficit zero or negligible, summer concentration of thermal efficiency between 56,3 and 61,6%). This area of the Apennines is known to host postglacial relict flora, e.g. the native forest of *Picea abies* (L.) H. Karst. of Campolino, in the upper valley of the River Sestaione (tributary of the River Lima) which is regarded as very close to the southern limit of its diffusion area: such survival must have been entailed by the high quantity of snow and soil moisture and moderate air temperatures, even during summer hottest months.

Key words - evapotranspiration, water balance, climate classification, Thornthwaite's method, Boscolungo, River Lima, Tuscan-Emilian Apennines, Italy

Riassunto - C. Rapetti, F. Rapetti, *Evapotraspirazione potenziale e bilancio idro-climatico del suolo a Boscolungo nell'alto bacino del T. Lima (Appennino Tosco-Emiliano, Italia) (1927-2021).*

L'alto bacino del Torrente Lima (tributario del Fiume Serchio) contiguo per un breve tratto al crinale principale dell'Appennino tra Toscana ed Emilia, si distingue per l'alta nevosità e per le notevoli precipitazioni totali, inferiori in Toscana solo a quelle delle Alpi Apuane. Ne deriva una costante umidità del suolo anche nei mesi dell'estate e del primo autunno, come dimostrano i valori dell'evapotraspirazione potenziale e reale, del bilancio idrico del suolo e i tipi climatici della stazione di Boscolungo (1927-2021). Lo studio del bilancio idrico è stato condotto con le procedure di calcolo dell'idrologo e climatologo statunitense C.W. Thornthwaite. I valori medi annuali dell'evapotraspirazione potenziale e reale sono stati di 539,7 e 510,9 millimetri, il deficit e l'eccedenza idrica hanno segnato 28,2 e 1977,1 millimetri, l'indice di umidità globale ha raggiunto il valore di 362,2 unità. La formula climatica del periodo ha la forma: *A* C_2' *r* b_2' (clima perumido, secondo mesotermico, deficit idrico nullo o trascurabile, concentrazione estiva dell'efficienza termica compresa tra 56,3 e 61,6%). Questa area dell'Appennino è nota per la presenza di una flora relitta postglaciale considerata presso il limite meridionale del proprio areale naturale, come la foresta autoctona di *Picea abies* (L.) H. Karst. di Campolino nell'alta valle del Torrente Sestaione (tributario del Torrente Lima): è da ritenere che la sua conservazione sia stata favorita dall'elevata nevosità, dalla costante umidità del suolo e dalle temperature dell'aria moderate anche in estate.

Parole chiave - evapotraspirazione, bilancio idro-climatico, classificazione del clima, metodo Thornthwaite, Boscolungo, Torrente Lima, Appennino Tosco-Emiliano, Italia

Introduzione

L'alto bacino del T. Lima, contiguo allo spartiacque dell'Appennino Settentrionale tra Toscana ed Emilia, è un'area di eccezionale interesse naturalistico, per una singolare combinazione di condizioni fisiche e biologiche, pressoché uniche nell'Appennino. Per gli aspetti botanici è da ricordare la presenza di flore relitte postglaciali considerate al limite meridionale del proprio areale naturale, quali la foresta autoctona di Abete rosso di Campolino (Chiarugi, 1936) nell'alta valle del Torrente Sestaione, affluente del Torrente Lima. La singolarità climatica dell'alta valle del Lima deriva dalla elevata nevosità, maggiore di 250 centimetri annuali (Ministero Lavori Pubblici - Servizio Idrografico, 1973), dalle notevoli precipitazioni totali, inferiori in Toscana solo a quelle delle Alpi Apuane, e dalle temperature dell'aria moderate anche in estate; condizioni che assicurano un'ampia disponibilità idrica del suolo anche nei periodi di siccità meteorologica.

Lo ricerca si propone di determinare i valori dell'evaporazione potenziale e reale, del bilancio idrico-climatico del suolo e definire la classificazione del clima a Boscolungo (1.360 m s.l.m.), frazione dell'Abetone posta lungo la SS 12 dell'Abetone e del Brennero a breve distanza dall'omonimo passo appenninico (Fig. 1). L'area è contigua alla linea dello spartiacque principale

(1) Già Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa
(2) Già Università di Pisa
Corresponding author: Franco Rapetti (rapettifranco42@gmail.com

fra la Toscana e l'Emilia, che si svolge con un ampio arco, toccando in successione, da occidente a oriente, le cime Alpe Tre Potenze (1.940 m s.l.m.), M. Gomito (1.892 m), M. Libro Aperto (1.937 m), M. Corno alle Scale (1.945 m), M. Orsigna (1.655 m).

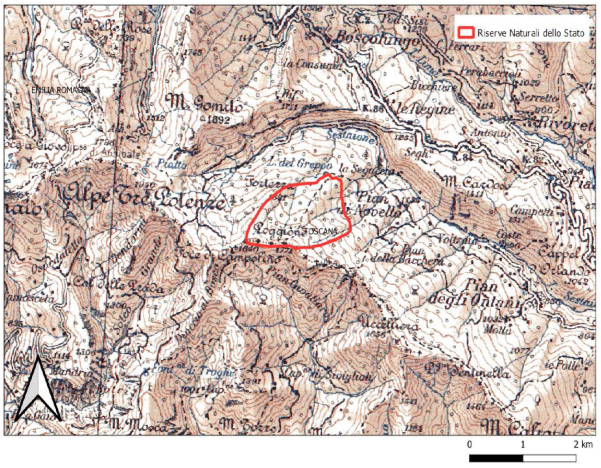

Figura 1. Topografia dell'area di studio: in primo piano l'alta valle del Torrente Sestaione dove figurano i confini della pecceta relitta postglaciale di Campolino e, presso il limite settentrionale della carta, la località di Boscolungo, sede della stazione meteorologica del Servizio Idrologico Regionale della Toscana (SIR).

Fonte dei dati

A Boscolungo, dal 1921 è in funzione una stazione meteorologica che fino al 1996 ha fatto parte della rete idrometeorologica del Servizio Idrografico Nazionale (Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa); dopo tale data le competenze in materia furono trasferite al Centro Funzionale Monitoraggio Meteo Idrologico e Idraulico della Toscana (CFR) e da questo al Settore Idrologico e Geologico Regionale (SIR). Dall'inizio delle osservazioni al 1996 la stazione era posta presso la sede del Corpo Forestale dello Stato di Boscolungo, quando fu spostata in un luogo poco distante e dotata di apparecchiature elettroniche (pluviometro riscaldato, nivometro ad ultrasuoni, termoigrometro) in teletrasmissione dei dati via UHF agli Uffici regionali competenti (Fig. 2). La misura delle precipitazioni ebbe inizio nel 1921, quella delle temperature dell'aria nel 1927: il catalogo delle temperature dell'aria presenta interruzioni nel 1930, dal 1944 al 1947 e dal 2005 al 2018 (i dati termometrici dal 1997 al 2004 utilizzati nella ricerca sono inediti e conservati presso il SIR di Pisa); la serie pluviometrica ha l'unica interruzione dal 1944 al 1946. I dati termopluviometrici raccolti fino al 1996 sono pubblicati nella Parte Prima degli Annali Idrologici dell'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa; quelli degli anni successivi sono disponibili nel sito web del Servizio Idrologico della Regione Toscana. Le interruzioni nel rilevamento delle misure, e in particolare delle temperature dell'aria, rendono le serie frammentate, tali da non garantire la completa valutazione della "omogeneità non climatica" e delle condizioni di aleatorietà ed indipendenza dei dati di osservazione (Cortemiglia, 2002).

Figura 2. Stazione meteorologica di Boscolungo nella nuova collocazione dal 1996 (1.360 metri s.l.m.; 44° 08' 20,2" N, 10° 40' 26,1" E) (foto Fabio Rapetti, agosto 2022).

L'acqua del suolo

I processi morfoclimatici sono fortemente influenzati dalle condizioni di aridità o di umidità delle coltri di alterazione dei substrati rocciosi, mentre la stessa esistenza delle formazioni vegetali è strettamente dipendente dal contenuto di acqua del suolo, la cui misura diretta si effettua con il lisimetro a pesata, mentre i metodi indiretti forniscono solo stime approssimate, come alcune formule climatiche: tra le prime apparse si ricorda il "pluviofattore" di Lang (1915), ricavato dal rapporto tra le precipitazioni annuali e la temperatura media annuale; la più evoluta è quella di Penman (1963), eccellente in campo agronomico, così da essere raccomandata dalla Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO), ma inadatta alla scala geografica per i numerosi parametri meteorologici necessari alla sua risoluzione, disponibili solo in poche stazioni sperimentali.
Fino dal 1931 C.W. Thornthwaite (1889-1963), attingendo alle sue esperienze di idrologo delle piante coltivate, sposta l'attenzione dagli elementi del clima (temperatura dell'aria e precipitazioni), che pure costituiscono parte integrante del suo sistema, al bilancio idrico del suolo, introducendo il concetto di evapotraspirazione potenziale (*PE*) (Thornthwaite, 1948), che consiste nella quantità di acqua che dal suolo e dalla vegetazione passa all'atmosfera nell'unità di tempo (giorno, mese, anno) per evaporazione dalla superficie del suolo e dalla traspirazione stomatica, ed anche dal-

le strutture vegetali quando sono bagnate dalla pioggia o coperte dalla neve (*interception loss*) (Loustau *et al*., 1992). La *PE* è anche definita come la richiesta evapotraspirativa dell'atmosfera in un dato luogo e in date condizioni meteorologiche. Le relazioni proposte da Thornthwaite per la sua determinazione sono le seguenti (1948):

$$e = 16 \cdot (10\ T/I)^a$$
$$i = (T/5)^{1,514}\ ;\ I = \sum T/5)^{1,514}$$
$$a = 6{,}75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7{,}71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1{,}79 \cdot 10^{-3} \cdot I + 0{,}49$$
$$PE = 16 \cdot (10\ T/I)^a \cdot K\ (\phi, \text{month})$$

e = evapotraspirazione potenziale mensile non corretta (mm), *T* = temperatura media mensile dell'aria (°C), *i* = indice calorico mensile, I = indice calorico annuale (sommatoria dei valori mensili).

L'evapotraspirazione potenziale si ricava dal prodotto tra l'evapotraspirazione potenziale non corretta (*e*) e un fattore di perequazione relativo alla latitudine della stazione (durata del dì) e alla diversa durata dei mesi. I parametri necessari per lo sviluppo del bilancio idrico del suolo sono di natura geografica, pedologica e climatica, quali la latitudine, l'altitudine, la temperatura media mensile dell'aria, le precipitazioni mensili, la capacità di ritenzione idrica del suolo (*ST*) (*storage*) (Thornthwaite & Mather, 1957).

Considerazioni sul metodo di Thornthwaite

Il metodo di Thornthwaite è stato sottoposto ad una rigorosa analisi da studiosi di diverso indirizzo culturale: criticato dagli agronomi per le modalità di calcolo della *PE*, ma generalmente apprezzato dai climatologi per la classificazione dei climi. Le critiche degli agronomi non sono prive di fondamento, poiché l'evapotraspirazione potenziale, oltre che essere funzione dalla temperatura dell'aria, è strettamente correlata alla temperatura del suolo, alla radiazione solare, alla velocità del vento, alla tensione di vapore del sistema suolo-vegetazione-atmosfera. Altri rilievi mossi al metodo hanno riguardato i bisogni idrici delle diverse specie vegetali, ma anche i bisogni degli individui della stessa specie nelle varie fasi della vita vegetativa, in relazione alla variazione della profondità degli apparati radicali durante l'accrescimento (Gentilli, 1953). Nella versione più aggiornata la scuola di Thornthwaite ha elaborato una tabella per la stima della capacità di ritenzione idrica del suolo per le diverse combinazioni suolo-vegetazione, con valori minimi e massimi compresi tra 50 mm (terriccio con sabbia fine in coltivazioni a radici corte) e 400 mm (terriccio siltoso in foresta naturale) (Thornthwaite & Mather, 1957).
Nell'ambito geografico il sistema di Thornthwaite fornisce risposte ritenute adeguate per la classificazione dei climi (Pinna & Vittorini, 1976; Pinna, 1977), con limitazioni per alcune fasce di latitudine, come riconosciuto dallo stesso Autore quando afferma di non aver potuto "collaudare" adeguatamente il sistema per lo studio dei climi intertropicali e delle alte latitudini (Pinna, 1977).

Evapotraspirazione potenziale e reale a Boscolungo

L'evapotraspirazione potenziale (*potential evapotranspiration*) (*PE*) annuale del periodo è stata di 539,7 mm, con il campo di variazione dei valori compreso tra 479,8 mm (1980) e 631,9 mm (1961) e lo scarto quadratico medio (σ) di 28,9 mm. Oltre la metà della *PE* annuale è dovuta all'estate (301,7 mm, 55,9%), seguita dall'autunno (128,4 mm; 23,8%), dalla primavera (103,2 mm, 19,1%) e dall'inverno (6,3 mm, 1,2%).
L'evapotraspirazione reale (*actual evapotranspiration*) (*AE*) corrisponde alla quantità di acqua trasferita dal sistema suolo-vegetazione all'atmosfera nelle reali condizioni di umidità del suolo (*soil water content*): alla capacità di campo del suolo, presente quando i micropori sono saturi di acqua e i macropori di aria (*field water capacity*), vale la relazione *AE* = *PE*. Il valore medio annuale della *AE* è stato di 510,9 mm, con il campo di variazione compreso tra 479,8 mm (1980) e 603,8 mm (1966) (σ = 36,5 mm). Nei valori medi del periodo, le differenze tra *AE* e *PE* sono risultate nulle o trascurabili da ottobre a febbraio; dalla primavera sono aumentate debolmente per raggiungere il valore di 10,8 mm in luglio (Tab. 1). Tale andamento mostra che il contenuto idrico del suolo a Boscolungo si discosta di poco dalla capacità di campo, anche nei periodi di siccità meteorologica, così da assicurare il migliore rifornimento idrico alla vegetazione (Fig. 3).

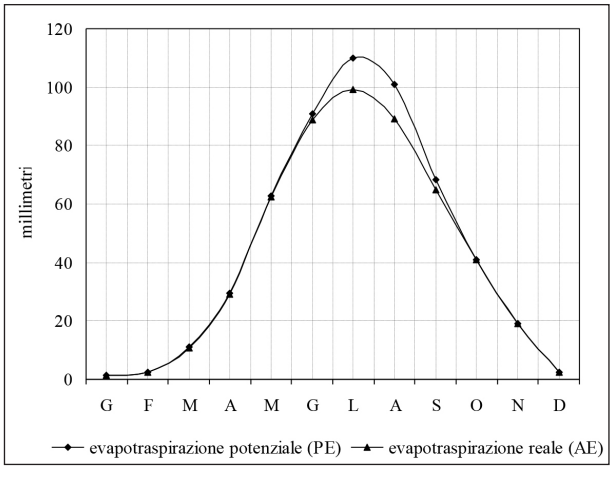

Figura 3. Regime annuale dell'evapotraspirazione potenziale (*PE*) e reale (*AE*) a Boscolungo (1927-2021).

Gli andamenti interannuali dell'evapotraspirazione potenziale (*PE*) e reale (*AE*) mostrano rispettivamente una lieve tendenza all'aumento e alla diminuzione, da considerarsi tuttavia con l'opportuna cautela per le interruzioni presenti nei rilevamenti della temperatura dell'aria e delle precipitazioni (Fig. 4).

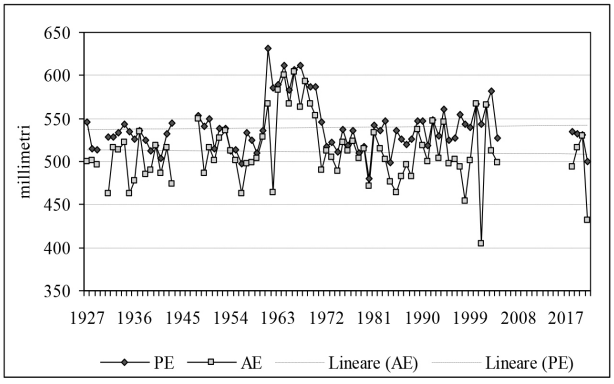

Figura 4. Andamento interannuale dell'evapotraspirazione potenziale (*PE*) e reale (*AE*) a Boscolungo (1927-2021).

Deficit ed eccedenza idrica del suolo

Il deficit idrico annuale del periodo ($D = PE - AE$) è stato di 28,2 mm, con il campo di variazione compreso tra 0,0 mm (1954, 1968) e 138,6 mm (2001). Il regime medio annuale mostra la presenza di deficit da maggio a settembre, ma i valori sono stati trascurabili anche in luglio (11,0 mm) e agosto (11,7 mm).
L'eccedenza idrica (*S*), che è presente quando la riserva idrica del suolo è alla capacità di campo e le precipitazioni sono maggiori dell'evapotraspirazione potenziale, ha avuto il valore medio annuale di 1.980,9 mm, con il campo di variazione compreso tra 897,6 (1938) e 3.430,5 mm (1960); il regime annuale ha presentato il massimo principale in novembre (344,4 mm), per ridursi nei mesi successivi fino a toccare il minimo in luglio (6,9 mm), per poi subire un repentino aumento fino a raggiungere il valore massimo di novembre (Fig. 5).

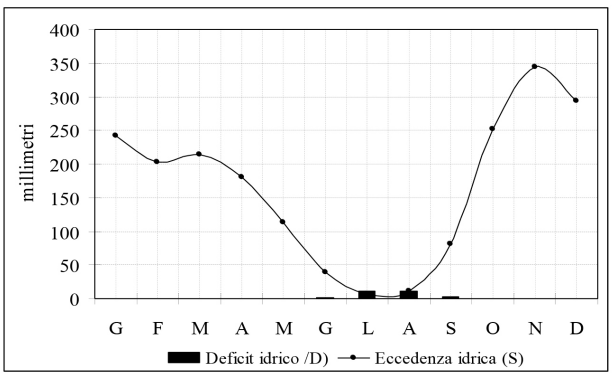

Figura 5. Regime annuale del deficit idrico (*D*) e dell'eccedenza idrica (*S*) a Boscolungo (1927-2021).

La tendenza alla diminuzione dell'eccedenza idrica è sensibile, stimabile in 23,0 mm/10 anni; tale valore è peraltro di entità paragonabile a quello riscontrato presso l'Abbazia di Vallombrosa nel Pratomagno (1872-2017) (Rapetti, 2019).

Bilancio idrico del suolo

Nei bacini idrografici, il bilancio idrico del suolo è descritto dalla seguente relazione:

$$AE = P \pm \Delta ST + Af - R - D$$

AE = evapotraspirazione reale; *P* = afflussi idrometeorici; $\pm \Delta ST$ variazione della riserva idrica del suolo; *Af* = apporti di falda; *R* = ruscellamento; *D* = infiltrazione e percolazione (tutte le grandezze sono espresse in millimetri)

I suoli dell'alto bacino del Torrente Lima sono tali da favorire i deflussi superficiali a scapito dei fenomeni di infiltrazione e di percolazione; si producono perciò piene fluviali frequenti, improvvise e intense, anche per le caratteristiche pluviometriche dell'area. Il substrato roccioso è, infatti, costituito dal Macigno della Falda Toscana, caratterizzato da una netta stratificazione di banchi di composizione quarzoso-feldspatica di potenza compresa tra 50/100 cm fino a 4/5 metri, nei quali è evidente la facies gradata di origine torbiditica, con interstrati sottili di natura argilloso-siltosa al tetto del banco. La formazione non è di facile degradabilità, tuttavia la dissoluzione del cemento calcareo-argilloso libera sabbia silicea mista ad argillite, che i processi pedogenetici trasformano in suoli generalmente poco profondi e poco strutturati, mentre l'acqua circolante nei meati del terreno ha pH compreso tra 4,1 e 5,7 e il valore medio stimato di 4,72 ± 0.44 (Vergari Si *et al.*, 2021).

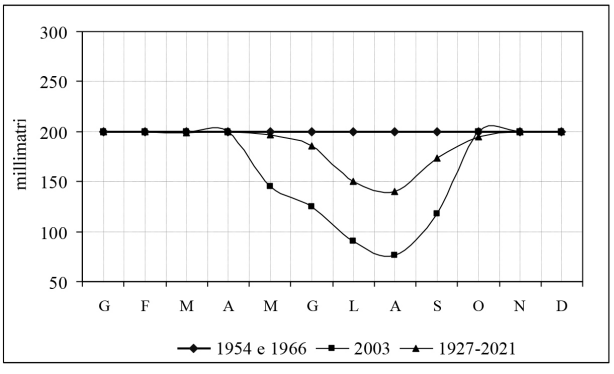

Figura 6. Regime annuale del contenuto idrico del suolo a Boscolungo negli anni 1954 e 1966 (umidità meteorologica estiva), nel 2003 (elevata aridità meteorologica estiva), nell'anno medio 1927-2021.

Nel periodo delle osservazioni, gli elementi del bilancio idrico del suolo a Boscolungo hanno registrato differen-

ze poco rilevanti: nel 2003, ricordato per le temperature estive molto elevate (Rapetti, 2004), il suolo si mantenne alla capacità di campo da ottobre ad aprile; da maggio ebbe inizio la progressiva riduzione della riserva che si protrasse fino ad agosto, quando si raggiunse il livello idrico minimo di 77 mm (il valore minimo del periodo è stato di 45,4 mm e fu raggiunto nell'agosto 2001); nel mese di settembre ebbe inizio la ricarica che si completò entro la fine dello stesso mese. Negli anni 1954 e 1966, le abbondanti piogge estive, rispettivamente di 421,0 e di 287,2 mm, mantennero il suolo costantemente alla capacità di campo. Il deficit idrico dell'anno medio fu circoscritto ai mesi di luglio e di agosto, mentre l'eccedenza idrica annuale raggiunse 1977,1 mm (Tab. 2, Fig. 6).

Tabella 1. Regime annuale del campo di variazione e dei valori medi dell'evapotraspirazione potenziale e reale (millimetri) a Boscolungo (1927-2021).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
*PE*min	0,0	0,0	0,0	7,8	36,7	68,6	92,4	84,0	42,4	12,4	0,0	0,0	479,8
data	vari	vari	vari	1929	1984	1933	1948	1976	1974	1974	1998	vari	1980
*PE*max	10,6	17,1	32,4	51,6	85,7	124,8	130,7	126,0	87,6	56,6	33,4	12,1	631,9
data	1974	1966	1948	1971	2003	2003	1983	2003	1961	1969	1963	1939	1961
*PE*med	1,3	2,5	11,0	29,3	62,9	90,7	110,0	101,0	68,4	40,9	19,1	2,6	539,7
*AE*min	0,0	0,0	0,0	7,8	36,7	68,6	58,0	37,4	42,4	12,4	0,0	0,0	479,8
data	vari	vari	vari	1929	1984	1933	1931	1957	1974	1974	1998	vari	1980
*AE*max	10,6	17,1	29,9	51,6	80,3	110,2	123,3	114,7	83,9	55,5	33,4	12,1	603,8
data	1974	1966	1948	1971	1969	2002	1952	1992	1987	1967	1963	1932	1966
*AE*med	1,2	2,5	10,7	29,3	62,3	88,6	99,2	89,0	65,1	40,9	19,0	2,6	510,9

Tabella 2. Regime annuale degli elementi del bilancio idrico-climatico di Thornthwaite a Boscolungo: in ordine i valori del 2003, del 1954 e dell'anno medio del periodo 1927-2021.

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T	-2,1	-3.4	3,0	3,0	13,6	19,2	18,7	20,8	11,6	4,7	3,3	-0,5	7,7
PE	0,0	0,0	14,2	15,6	85,7	124,6	122,2	126,0	59,4	21,2	12,3	0,0	581,3
P	125,6	43,6	120,8	209,6	21,4	94,8	56,6	94,2	100,2	417,8	620,2	331,8	2.236,6
AE	0,0	0,0	14,2	15,6	76,4	114,9	91,5	107,4	59,4	21,2	12,3	0,0	513,0
ST	200	200	200	200	145	125	90	77	118	200	200	200	
Δ *ST*	0,0	0,0	0,0	-55,0	-20,1	-34,9	-13,2	40,8	82,4	0,0	0,0	0,0	
Δ	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	9,7	30,7	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0	68,5
S	125,6	43.6	106,0	194,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	314,2	607,9	331,8	1.723,7
T	-5,4	-4,5	1,1	3,3	6,8	12,5	12,7	12,5	12,1	6,9	4,8	1,5	5,4
PE	0,0	0,0	9,5	26,3	54,7	92,7	94,6	86,2	72,7	41,4	25,7	9,2	513,1
P	141,4	244,2	369,8	185,4	250,2	129,6	122,4	169,0	73,6	210,6	225,8	264,6	2.386,6
AE	0,0	0,0	9,5	26,3	54,7	92,7	94,6	86,2	72,7	41,4	25,7	9,2	513,1
ST	200	200	200	200	200	200	200,0	200	200	200	200	200	
Δ *ST*	0,0	0,0	0,0	0,,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Δ	0,0	0,0	0,0	0,,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S	141,4	244.2	360,3	159,1	195,5	36,9	27,8	82,6	0,9	169,2	200,1	255,4	1.874,3
T	-1.4	-0.9	1.6	4.5	8.9	13,0	15.9	15.8	12.1	7.6	3.1	-0.2	6,7
PE	1,3	2,5	11,0	29,3	62,9	90,7	110,0	101,0	68,4	40,9	19,1	2,6	539,7
P	245,7	218,7	225,2	211,5	170,5	114,1	69,1	85,4	178,0	301,4	373,4	309,2	2.505,2
AE	1,2	2,5	10,7	29,3	62,3	88,6	99,2	89,0	65,1	40,9	19,0	2,6	510,9
ST	200	200	200	200	200	200	163	151	200	200	200	200	
Δ *ST*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-37,2	-12,3	49.5	0,0	0,0	0,0	
Δ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,8	11,0	31,7	3,2	0,1	0,0	0,0	28.2
S	245,7	218,7	214,4	181,3	106,9	23,0	0,0	0,0	59,7	260,2	358,0	309,2	1977,1

Tipi climatici a Boscolungo

L'indice di umidità globale ($Im = 100 \cdot (S - D)/PE$) è il primo indicatore del sistema di classificazione dei climi di Thornthwaite: i valori positivi dell'indice rappresentano i climi umidi, secondo la seguente scala di umidità decrescente: A ($Im > 100$), B_4 ($100 > Im > 80$), B_3 ($80 > Im > 60$), B_2 ($60 > Im > 40$), B_1 ($40 > Im > 20$), C_2 ($20 > Im > 0$); i valori negativi definiscono invece i climi aridi C_1 ($0 > Im > -33{,}3$), D ($-66{,}6 < Im < -33{,}3$), E ($Im < -66{,}6$). L'Im del periodo segna il valore di 362,2 unità, con il campo di variazione compreso tra 163,1 (1938) e 638,3 (1960). La tendenza dell'indice presenta una flessione di 5,0 unità/10 anni, che conferma la moderata riduzione dell'umidità idro-climatica in tutto l'Appennino Toscano, per l'effetto combinato dell'aumento tendenziale della temperatura dell'aria e la diminuzione delle precipitazioni, che sono state più sensibili dalla metà dagli anni Ottanta del secolo scorso (Fig. 7) (Rapetti, 2017).

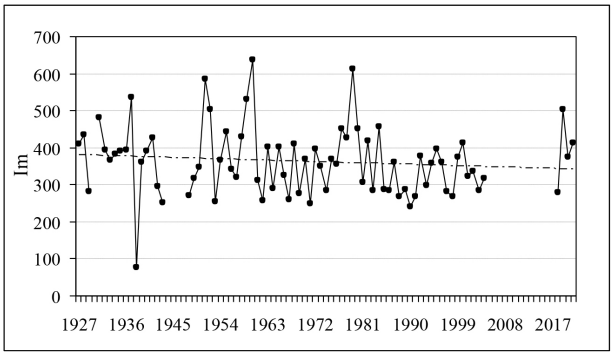

Figura 7. Andamento interannuale dell'indice di umidità globale (*Im*) a Boscolungo (1927-2021).

I tipi climatici sono indicati da Thornthwaite con una formula costituita da quattro elementi così ordinati: indice di umidità globale (*Im*), evapotraspirazione potenziale annuale (*PE*), indice di aridità o di umidità ($Ia = D/PE \cdot 100$, $Ih = S/PE \cdot 100$), valore percentuale dell'evapotraspirazione potenziale dei mesi estivi in rapporto a quella annuale (*CEET*) (Thornthwaite, Mather, 1957). I tipi di clima che si sono susseguiti a Boscolungo presentano sette varianti del tipo "perumido" ($Im > 100$ unità). Tra i perumidi sono stati nettamente prevalenti i tipi $A\ C_2'\ r\ b_3'$ (42,9%) e $A\ C_2'\ r\ b_2'$ (40,3%), che differiscono solo per la classe della concentrazione estiva dell'efficienza termica (*CEET* < 48 (*a'*) (climi megatermici equatoriali); 48,0-51,9 (b_4'); 51,9-56,3 (b_3'); 56,3-61,6 (b_2'); 61,6-68,0 (b_1'); 60,0-76,3 (c_2'); 76,3-88,0 (c_1'); > 88 (*d'*) (climi del gelo); seguono due tipi nettamente subordinati (quattro anni) e quattro presenti un solo anno (Tab. 3).

Il regime annuale delle precipitazioni, dell'evapotraspirazione reale e potenziale dell'anno medio definisce i campi dell'eccedenza idrica (S), della diminuzione della riserva e del suo ripristino fino alla capacità di campo. L'eccedenza è stata presente dalla metà di settembre all'inizio di giugno, con i valori più elevati in novembre (358,0 mm) e dicembre (309,2 mm), quando ha avuto inizio una lenta diminuzione che ha portato il contenuto idrico del suolo sotto la soglia di 200 mm, in luglio (-37,2 mm) e in agosto (-39,5 mm) (Fig. 8).

La rilevante eccedenza idrica annuale che si registra a Boscolungo (1.977,1 mm) si ripartisce tra infiltrazione, percolazione e scorrimento superficiale; tali processi, con caratteristici sfasamenti di tempo, alimentano il deflusso della rete fluviale del Torrente Lima. Nella stazione idrometrografica di Fabbriche di Casabasciana, che delimita un bacino di 263 km^2 (65,7% del bacino del Lima), la portata media annuale del periodo è stata di 10,9 m^3 s^{-1}, a cui corrisponde il contributo

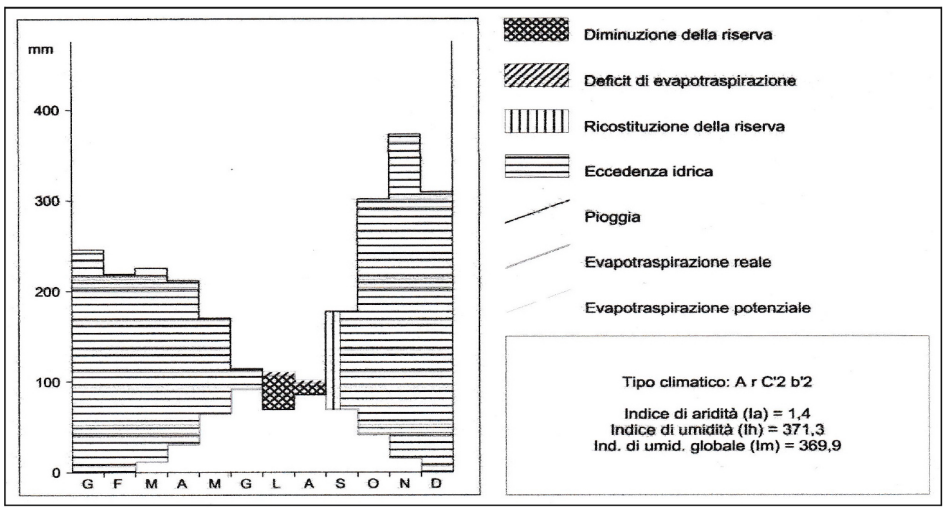

Figura 8. Regime annuale dell'eccedenza idrica (*S*), della diminuzione e della ricostituzione della riserva idrica del suolo a Boscolungo (1927-2021) (Bigi, Rustici, 1984).

Tabella 3. Tipi climatici a Boscolungo (1927-2021).

Formula	N°	%	Im	PE	Ia	CEET (%)
$A\ C_2'\ r\ b_3'$	33	42,9	> 100	427-570	0,0-16,7	51,9-56,3
$A\ C_2'\ r\ b_2'$	32	40,3	> 100	427-570	0,0-16,7	56,3-61,6
$A\ C_2'\ r\ b_4'$	4	5,2	> 100	427-570	0,0-16,7	48,0-51,9
$A\ B_1'\ r\ b_4'$	4	5,2	> 100	570-712	0,0-16,7	48,0-51,9
$A\ C_2'\ r\ b_1'$	2	2,6	> 100	427-570	0,0-16,7	61,6-68,0
$A\ C_2\ s\ b_2'$	1	1,3	> 100	427-570	16,7-33.3	56,3-61,6
$A\ B_1'\ r\ b_1'$	1	1,3	> 100	570-712	0,0-16,7	61,6-68,0

specifico al deflusso di 45,1 litri s^{-1} km^2 (1953-19789) (Annali Idrologici, Parte Seconda). I regimi annuali dell'eccedenza idrica (S), ricavato dallo sviluppo del bilancio idrico-climatico, e del contributo unitario al deflusso, ottenuto da sistematiche misure delle portate liquide, messi a confronto, e considerati gli opportuni rapporti di scala, mostrano andamenti poco difformi (Fig. 9), peraltro riscontrati in altra ricerca (Rapetti & Vittorini, 1993)

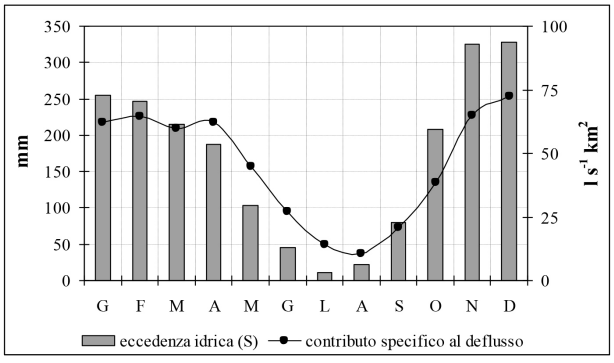

Figura 9. Regime annuale dell'eccedenza idrica (*S)* a Boscolungo e del contributo specifico al deflusso presso la stazione idrometrografica di Fabbriche di Casabasciana (Torrente Lima) (1953-1978).

Considerazioni finali

Lo sviluppo del bilancio idrico-climatico a Boscolungo ha mostrato che l'acqua del suolo si è mantenuta alla capacità di campo per gran parte dell'anno, con l'eccezione dei mesi estivi e di parte di settembre, quando è iniziata la fase di ricarica che si è conclusa entro la fine del mese. Nella fase "arida" non si sono tuttavia raggiunti livelli tali da determinare una grave carenza idrica per la vegetazione, mentre nei mesi "umidi" si è resa disponibile una rilevante quantità di acqua, che ha alimentato le portate liquide del Torrente Lima, di cui sono noti i valori (Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa, Annali Idrologici, Parte Seconda).

L'elevata umidità idroclimatica del suolo è da ritenere peculiare di questo settore dell'Appennino, grazie alla posizione rispetto alle linee di transito delle perturbazioni primaverili e autunnali di origine atlantica e alla breve distanza dal Golfo di Genova, sede di frequenti depressioni dinamiche sottovento alle Alpi (Urbani, 1956), spesso sinergiche ai moti depressionari della circolazione generale. Il potente effetto orografico generato dalle Alpi Apuane e dalla dorsale appenninica completa il quadro che dà spiegazione della potenzialità pluviometrica dell'alto bacino del Lima, attestata dalle eccezionali precipitazioni mensili e annuali a Boscolungo: le prime in due occasioni hanno superato la soglia di 1.000 mm, come nel novembre 2000 (1.070,8 mm) e nel gennaio 2014 (1.004,2 mm), mentre le seconde nel 1960 hanno sfiorato 4.000 mm (3.958,7 mm). La conservazione nell'alto bacino del Torrente Lima di specie relitte postglaciali, considerate al limite meridionale del loro areale naturale, si ritiene possa essere stata favorita dalle temperature dell'aria moderate anche in estate, dall'elevata nevosità e piovosità annuale, che si è tradotta nella pressoché costante umidità del suolo; non è tuttavia da escludere il fatto che l'impervietà di alcune valli secondarie del Lima, quali la vallècola che culmina a Foce di Capolino nell'alta valle del Torrente Sestaione dove si conserva il popolamento relitto di *Picea abies*, abbia posto ostacolo nei secoli passati allo sfruttamento forestale, quando in altre aree dell'Appennino il taglio indiscriminato dei boschi ha cancellato pressoché dovunque e per sempre la vegetazione naturale (Pilla, 1954; Rapetti, 2020).

BIBLIOGRAFIA

Bigi L., Rustici L., 1984. *Regime idrico dei suoli e tipi climatici in Toscana.* Regione Toscana, Dipartimento Agricoltura e Foreste: 1-51.

Chiarugi A., 1936. Ricerche sulla vegetazione dell'Etruria marittima. III - L'indigenato della "Picea excelsa" LK. Nell'Appennino Etrusco. *Nuovo Giornale Botanico Italiano* 43(1): 131-166.

CORTEMIGLIA G.C., 2002. Messa a punto di una procedura per l'analisi climatica delle serie termopluviometriche storiche italiane con relativa applicazione esemplificativa alla serie storica di Genova (1833-2001). *Quaderno N. 3. Dipartimento Studio Territorio e sue Risorse dell'Università di Genova*: 1-162.

GENTILLI J., 1953. Une critique de la méthode de Thornthwaite pour la classification des climats. *Annales de Géographie* 62(331): 180-185.

LANG R., 1915. Versuch einer exakten Klassifikation der Boden in klimatischer und geologischer Hinsicht. *International Mitteilingen Bodenkunde* (5): 312-346.

LOUSTAU D., BERBIGIER P., GRANIER A., 1992. Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. II. An application of Gash's analytical model of interception. *Journal of Hidrology* 138(3-4): 469-485.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI – SERVIZIO IDROGRAFICO, 1973. La nevosità in Italia nel quarantennio 1921-1960, a cura di T. Gazzolo, M. Pinna. *Istituto Poligrafico dello Stato* 26: 1-216.

PENMAN H.L. 1963. *Vegetation and hydrology*. Technical Communication 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, 125 pp.

PILLA C., 1954. Campagna toscana del '700. *Monti e Boschi* 5: 195-202.

PINNA M., 1977. *Climatologia*. Unione Tipografico-Editrice Torinese (UTET), Torino, 442 pp.

PINNA M., VITTORINI S., 1976. *Evapotraspirazione potenziale e bilancio idrico. Atlante d'Italia*. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto Geografico De Agostini, Novara.

PRESIDENZA CONSIGLIO MINISTRI - UFFICIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO DI PISA (vari anni). *Annali Idrologici, Parte Prima e Parte Seconda*. Roma, 1985.

RAPETTI F. 2004. Tendenze attuali del clima termico invernale ed estivo a Lucca (1929-2003). *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie A* 109: 85-95.

RAPETTI F., 2019. Tendenze ultracentenarie degli elementi del bilancio idrico climatico del suolo presso l'Abbazia di Vallombrosa in rapporto alla vegetazione presente (Toscana, Italia) (1872-2017). *L'Italia forestale e montana* 74(2): 93-113.

RAPETTI F. (2020). *Il clima della Garfagnana*. In: Narducci R, Verdigi F. (a cura di), Le ricchezze della Garfagnana, il territorio, le acque, la natura e le tradizioni. Ambiente e popolazioni in equilibrio tra risorse ed ecosostenibilità: 33-47. Tipografia Tommasi, Capannori (LU).

RAPETTI F., VITTORINI S., 1993. Confronto fra i deflussi misurati e quelli calcolati con il metodo di Thornthwaite in due piccoli bacini della Valle del Gesso (Alpi Marittime). *Geografia Fisica Dinamica Quaternaria* 16: 183-191.

URBANI M., 1956. Sulla ciclogenesi nel Mediterraneo durante l'inverno. *Rivista di Meteorologia Aeronautica* 16(1): 1-7.

THORNTHWAITE C.W., 1943. Problems in the classification of climates. *Geographical Review* 33(2): 233-255.

THORNTHWAITE,C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38(1): 55-94.

THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1955. *The water balance*. Publications in Climatology, Centerton (NJ), 104 pp.

THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance*. Publications in Climatology, Centerton (NJ), 311 pp.

VERGARI SI., GIANNA DONDINI G., IACOPO NEROZZI I., SABATINI F., GIACOMO SABATINI G., VERGARI SE., 2021. Fruit production by *Vaccinium* species in the Tuscan-Emilian Apennines and a new *Vaccinium vitis-idaea L.* site in the area. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie, Serie B* 128: 107-111.

(ms. pres. 29 settembre 2022; ult. bozze 12 dicembre 2022)