

F. RAPETTI (*)

L'INFLUENZA DEL BOSCO MEDITERRANEO SUL CLIMA 2 – LA PINETA DI MARINA DI CECINA (TOSCANA CENTRALE)

Riassunto - Si analizzano e si confrontano i dati meteorologici di due stazioni poste a breve distanza l'una dall'altra, sul lobo meridionale del delta del F. Cecina: la prima situata all'interno della pineta litoranea di M.^{na} di Cecina, la seconda in piena campagna. L'intento è di definire le condizioni meteorologiche e climatiche del bosco rispetto a quelle di stazioni viciniori prive di soprassuolo forestale. L'opportunità di analizzare dati ormai vecchi di molti decenni – le osservazioni furono effettuate fra il 1932 e il 1943 – risiede nel fatto che in quell'area della Toscana essi costituiscono l'unico esempio di raccolta sistematica di dati meteorologici, protratta senza interruzioni per oltre un decennio, specificamente orientata alla definizione delle caratteristiche meteo-climatiche di luoghi a diversa copertura vegetale. Le stazioni furono equipaggiate con strumenti registratori per la misura della temperatura dell'aria, di quella del suolo alla profondità di 20 centimetri, delle precipitazioni, dell'umidità relativa dell'aria e della velocità del vento; le misure della temperatura del suolo alle profondità di 50-75-100 centimetri e dell'evaporazione furono effettuate invece con strumenti a lettura diretta.

La temperatura media dell'aria all'interno della pineta è risultata di poco inferiore a quella della stazione di campagna ($\Delta t = 0,2$ °C), mentre maggiori differenze si sono riscontrate per la ventosità e per l'evaporazione. Riguardo alla stima della quantità di pioggia che ha raggiunto il suolo nella stazione interna alla pineta è opportuno considerare che l'afflusso in arrivo al limite superiore del bosco (*pioggia incidente*) ha subito un frazionamento: una parte, che costituisce la frazione misurata, ha raggiunto direttamente il suolo per gocciolamento dalle foglie e dai rami (643,6 mm; 75,3%), una parte, stimata mediante l'applicazione di un'opportuna equazione, lo avrebbe raggiunto per scorrimento lungo i tronchi (26,8 mm; 3,1%), mentre la frazione rimanente sarebbe stata intercettata dalla vegetazione e restituita all'atmosfera per evaporazione (183,6 mm; 21,5%). Nel complesso il suolo avrebbe ricevuto una quantità di precipitazione pari a 670,4 mm, corrispondente al 78,5% della pioggia incidente, che è stata di 854,5 mm. Tale fatto ha determinato la maggiore aridità edafica della stazione interna alla pineta rispetto a quella di campagna, come risulta dallo sviluppo del bilancio idrico-climatico di Thornthwaite & Mather: secondo tale sistema di calcolo i due siti ricadono, infatti, rispettivamente nella classe C_1 (*clima subarido*) e C_2 (*clima subumido*). L'applicazione di altre formule e indici (Köppen, De Martonne, Ivanow, Rivas-Martinez) conferma soprattutto la maggiore aridità climatica della stazione posta all'interno della pineta.

Parole chiave - bosco mediterraneo, clima, pineta litoranea, Toscana Centrale.

Abstract - *The influence of the Mediterranean wood upon climate. II - The pinewood of M.^{na} di Cecina (Central Tuscany)*- Meteorological data collected in the years 1932-1943 from two Tuscan stations are analysed and compared:

both stations used to be situated on the south side of the river Cecina delta, at short distance from each other, the former in the thick of the coastal pinewood of Marina di Cecina, the latter in the open country. The aim of the research is to compare meteorological and climatic conditions in the wood to the ones of neighbouring uncovered stations. What makes these comparatively old data useful is the fact that the observations, lasting over ten years, are the only ones so complete and systematic, expressly designed to define meteorological and climatic conditions of sites with different green covering. The two stations were equipped with recording instruments to gauge air and soil temperature (to a depth of 20 centimetres), precipitations, air relative moisture and wind speed; soil temperature to a depth of 50, 75, 100 centimetres, as well as evaporation were measured by direct reading instruments. The average air temperature in the wood was slightly lower than in the open country site ($\Delta t = 0.2$ °C), while wind and evaporation showed major differences.

In the thick of the bush, the measurement of precipitations showed that the rain falling over the tree-line (*gross rainfall*) afterwards split up, following different routes: part of it reached the ground by throughfall, that is by dripping from leaves and boughs (643.6 mm, 75.3%), another one, reckoned by means of an appropriate equation, by stemflow (26.8 mm, 3.1%), while the rest has possibly been intercepted by the plants and returned to the atmosphere through evaporation (183.6 mm, 21.5%). So, total precipitation that reached the ground was equal to 670.4 mm, that is 78.5% of gross rainfall. This accounts for the fact that the station situated in the thick of the bush had a higher soil dryness than the one in the open country, as is shown in the development of Thornthwaite's and Mather hydro-climatic balance. In fact the global moisture indexes of the two sites, according to Thornthwaite's and Mather climatic system, belong respectively to the C_1 (*subarid climate*) e C_2 (*subhumid climate*) classes. The application of a few other climatic indexes (Köppen, De Martonne, Ivanow, Rivas-Martinez) confirms the fact that in the wood the climate was dryer.

Key-words - mediterranean wood, climate, coastal pinewood, Central Tuscany.

INTRODUZIONE

Nel nostro Paese gli studi sull'influenza meteorologica e climatica del bosco, specialmente per gli aspetti riguardanti l'azione d'intercettazione delle piogge da parte della vegetazione, non sono stati sviluppati come in altri Paesi (Aussenac, 1968; Rutter, 1963; Leonard, 1961). Un merito importante in questo settore dell'ecologia forestale deve essere riconosciuto alla Regia Stazione Sperimentale di Selvicoltura di Firenze che, fra il 1932 e il 1943, in collaborazione con la Sezione

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via S. Maria 53, Pisa.
Lavoro eseguito con i fondi di Ateneo (ex 60%) (Resp.: P.R. Federici)

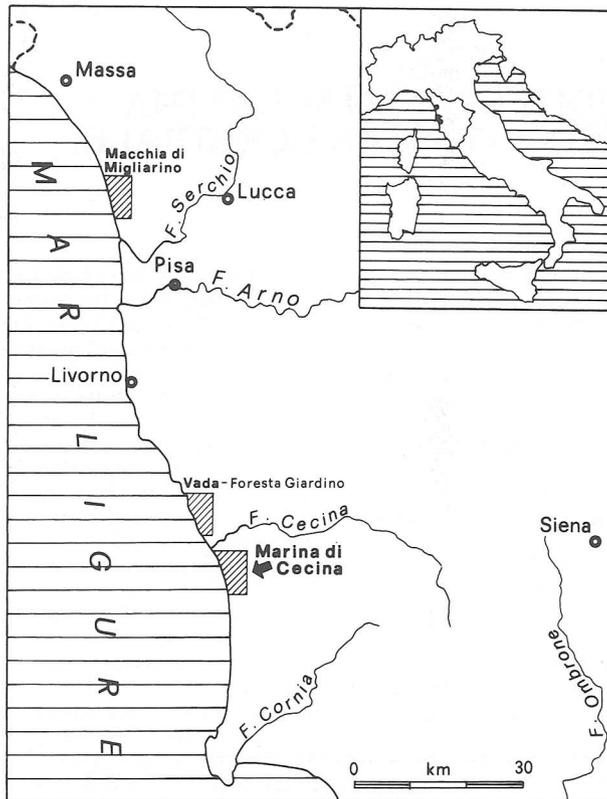


Fig. 1 - Inquadramento geografico del litorale della Toscana Centrale con l'indicazione dell'area studiata.

Idrografica del capoluogo toscano, istituì una rete di stazioni meteorologiche in tre aree costiere della Regione, con l'obiettivo di definire l'influenza del bosco mediterraneo sull'andamento degli elementi meteorologici (Fig. 1). Le aree prescelte furono la Macchia di Migliarino, costituita da numerosi elemen-

ti caratteristici del bosco e del sottobosco mediterraneo; il *tombolo* meridionale del delta del F. Cecina, sostanzialmente privo di sottobosco e coperto di *Pinus pinea* e di *Pinus pinaster*, e la zona di Riparbella, dove il soprassuolo vegetale è costituito da un bosco ceduo di *Quercus ilex* (Foresta Giardino). In queste aree campione furono impiantate in totale nove stazioni meteorologiche complete (Min. LL.PP. 1932-1943). Una prima interessante analisi dei dati raccolti, specialmente riferita alla relazione fra la temperatura dell'aria e gli spostamenti delle masse d'aria fra il bosco e le aree ad esso limitrofe, era stata compiuta da Filippo Eredia nel 1938, quando le osservazioni meteorologiche erano ancora in corso (Eredia, 1938).

In una precedente nota chi scrive ha confrontato il microclima della stazione che era stata posta all'interno della Macchia di Migliarino (Litorale Pisano) con quello di un sito limitrofo di campagna (Rapetti, 1997). Nella presente ricerca si considerano i dati meteorologici relativi alle stazioni situate sul tombolo meridionale del delta del F. Cecina: quella più occidentale situata all'interno della pineta litoranea; l'altra in piena campagna, su terreno pianeggiante coperto da una rada vegetazione erbacea.

CARATTERI CLIMATICI DELLA FASCIA COSTIERA DELLA TOSCANA CENTRALE

La pianura costiera di M.^{na} di Cecina è orlata verso l'interno del continente da un allineamento quasi meridiano di basse colline, distanti 10-12 km dalla linea di costa, che culminano ai 619 m l.m.m. di P.^{sio} al Pruno (Fig. 2).

I caratteri termici della fascia costiera tirrenica sono fortemente influenzati dall'azione di regolazione esercitata dal Mar Tirreno. Nel mese di gennaio la temperatura della superficie marina non scende infatti sotto i 14°C (Zancla & D'Andrea, 1970), mentre quella delle aree pianiziali del continente, lungo la direttrice foce del Cecina-Siena-Arezzo, diminuisce dai 7,5° della

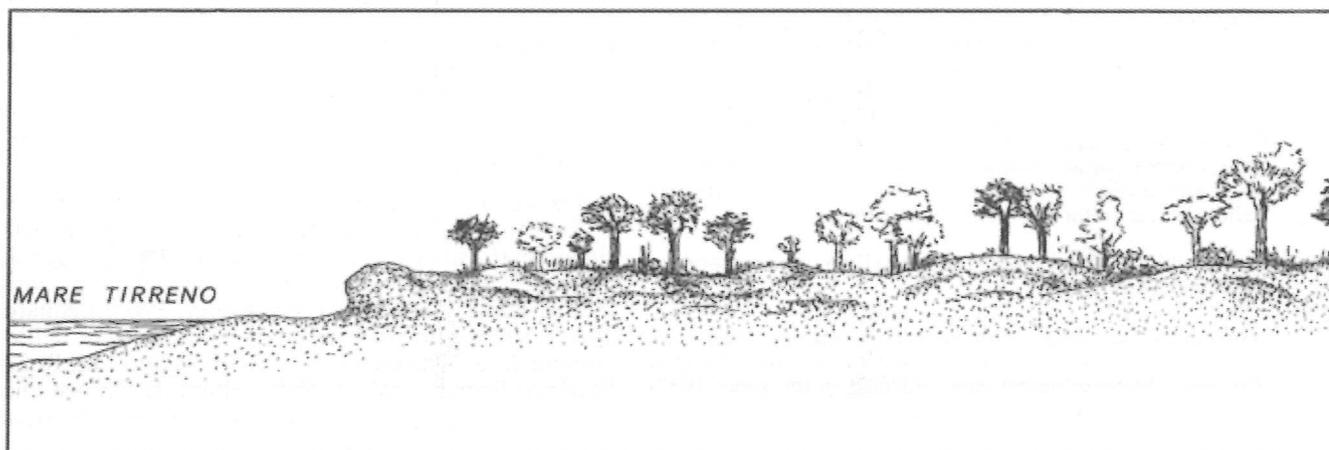


Fig. 2 - Profilo trasversale della pineta di M.^{na} di Cecina. In scala è indicata la posizione delle stazioni meteorologiche.

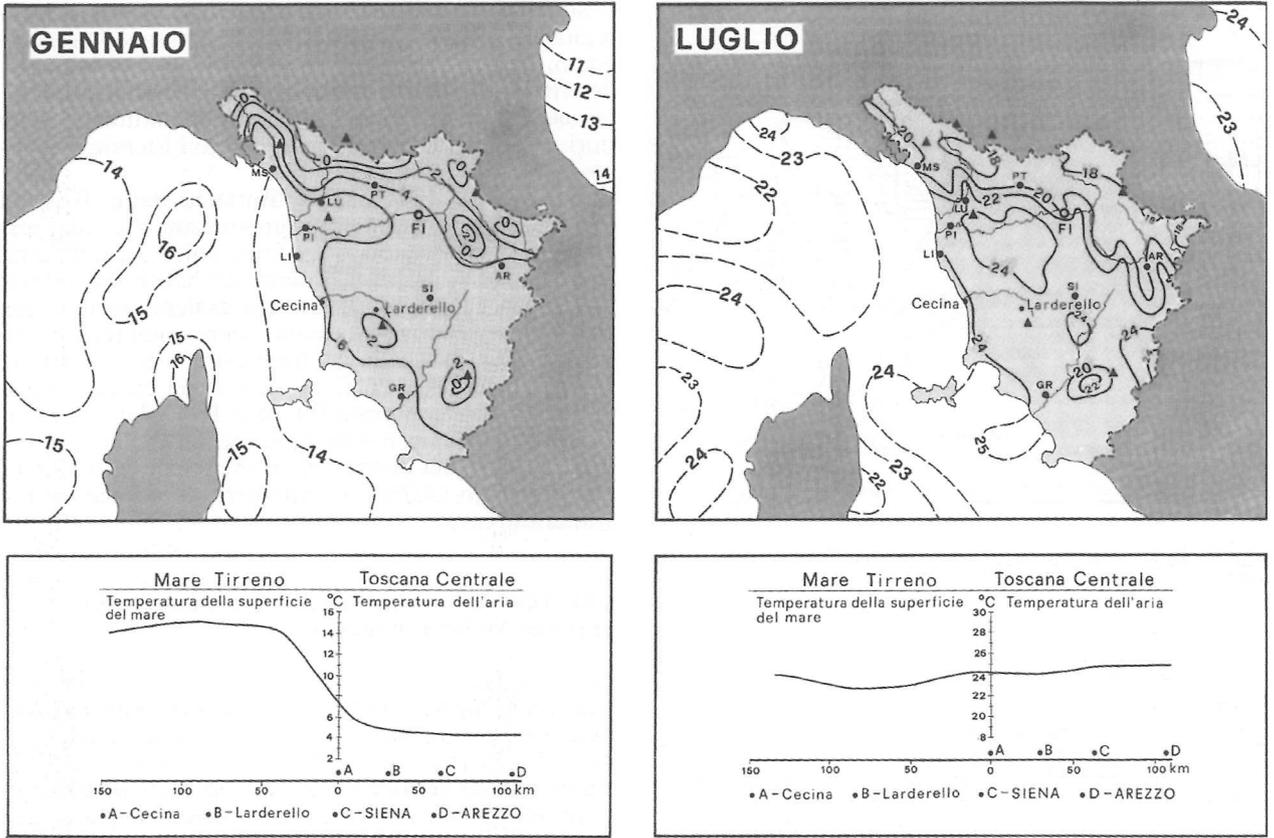
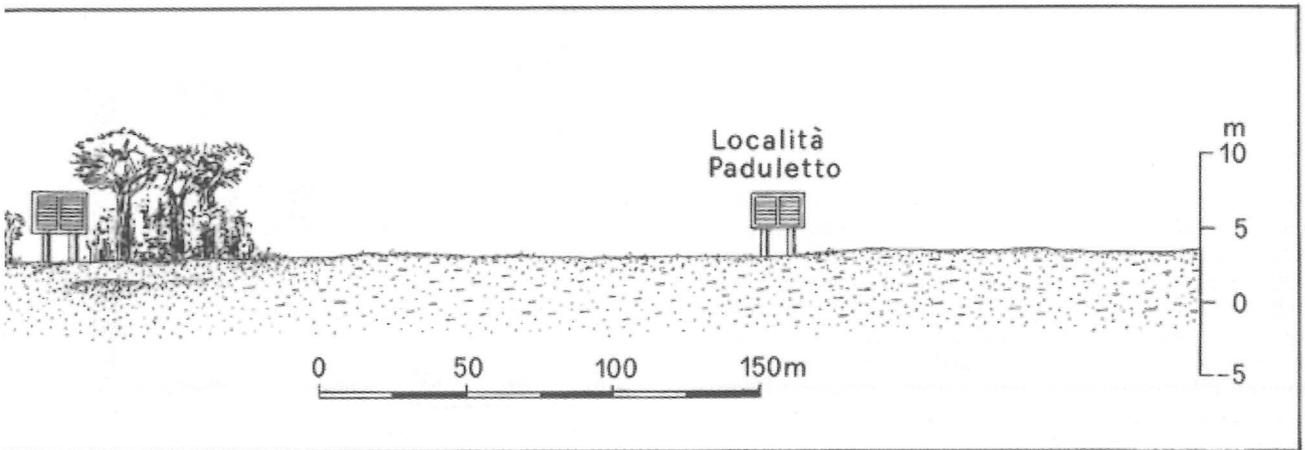


Fig. 3 - Distribuzione della temperatura della superficie del mare e di quella dell'aria nella Toscana Centrale in gennaio e in luglio (°C).

costa ai 5,3° delle zone interne, determinandosi così un salto di oltre 7°C. Tale diversa condizione dello stato termico delle due superfici fa sì che le masse d'aria di provenienza marina apportino calore al continente, mitigando le temperature dell'inverno. Nei mesi estivi lo squilibrio tra l'ambiente marino e quello terrestre è

nei valori medi invece molto ridotto (Fig. 3); questo fatto naturalmente non impedisce che in tali mesi occorra un accentuato squilibrio termico mare/continente in conseguenza del ciclo diurno della temperatura, che è causa del regime di brezze che interessa tutta la fascia costiera tirrenica. In quest'area è invece mol-



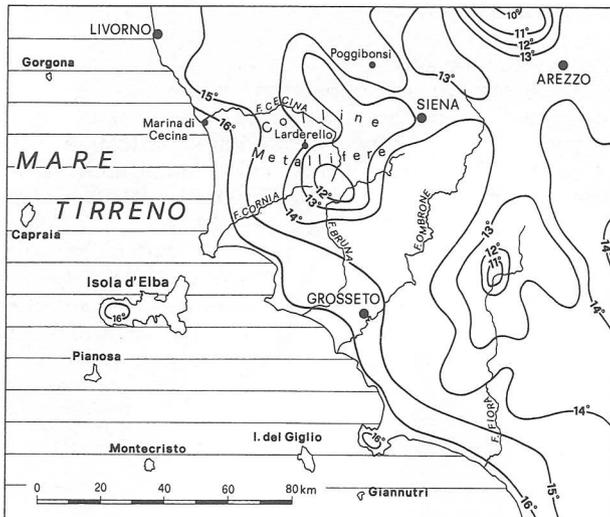


Fig. 4 - Isotherme medie annue della Toscana Centrale (°C) (1926-1955).

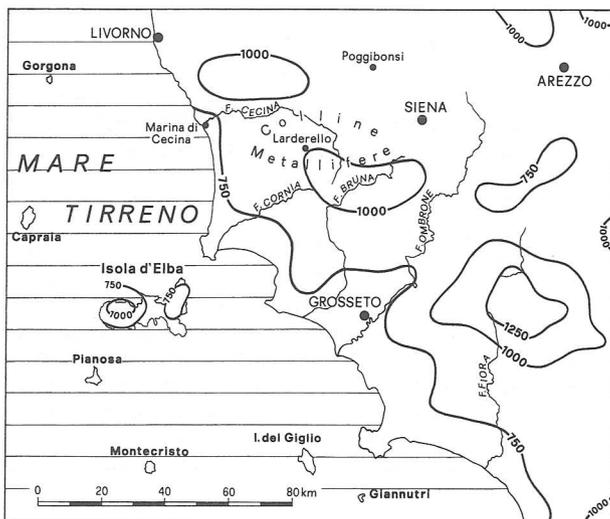


Fig. 5 - Isoiete medie annue della Toscana Centrale (mm) (1921-1950).

to scarso l'effetto orografico determinato dai rilievi che orlano la pianura, poiché essi, oltre che essere distanti dal mare oltre dieci chilometri, presentano versanti poco acclivi e altitudini troppo modeste per innescare un significativo incremento delle precipitazioni. Sotto il profilo dell'influenza esercitata dalla circolazione generale sullo stato del tempo atmosferico in questo tratto di costa, rispetto a quella che riguarda la parte nord-occidentale della Regione, si può osservare che non esitano significative differenze, poiché nelle stagioni intermedie entrambe le aree subiscono l'azione dei cicloni delle medie latitudini, quasi con la stessa intensità. Nei riguardi delle *depressioni sottovento* alle Alpi che si sviluppano sul Golfo di Genova, la Toscana Centrale, rispetto a quella Settentrionale, per

la sua maggiore distanza da tale centro depressionario regionale ne subisce invece gli effetti in modo più attenuato. L'insieme dei fattori geografici e meteorologici determina nelle aree costiere della Toscana Centrale afflussi meteorici di alcune centinaia di millimetri inferiori a quelli che si verificano lungo il litorale pisano-versiliese.

Il mesoclima della fascia litoranea della Toscana Centrale, per ovvi motivi di sincronismo con i dati elaborati in questo studio, è descritto sulla base degli elementi registrati nei primi decenni del XX (Frosini 1961; Gazzolo & Pinna, 1969). La temperatura media annua dell'aria ha fatto registrare un valore compreso fra 16 e 17°C (Fig. 4), quella dei mesi estremi tra 7 e 8°C in gennaio e tra 24 e 26°C in luglio, con un'escursione termica annua compresa fra 16 e 18°C. Le precipitazioni medie annue si sono aggirate intorno ai 750 mm (Fig. 5), con una distribuzione stagionale di tipo *sub-mediterraneo* (AIPE), caratterizza da un'accentuata aridità estiva.

UBICAZIONE E CARATTERISTICHE AMBIENTALI DELLE STAZIONI METEOROLOGICHE

In questo tratto della costa toscana la profondità della pineta non supera i 450 metri e i pini, di impianto artificiale relativamente recente, hanno una densità per unità di superficie stimabile in cinquecento alberi per ettaro, tale da lasciare fra le chiome qualche lembo di cielo aperto, attraverso il quale, specialmente in primavera-estate e nelle ore centrali del dì, una frazione della radiazione diretta può raggiungere il suolo senza essere intercettata.

Le stazioni meteorologiche furono impiantate sul lobo

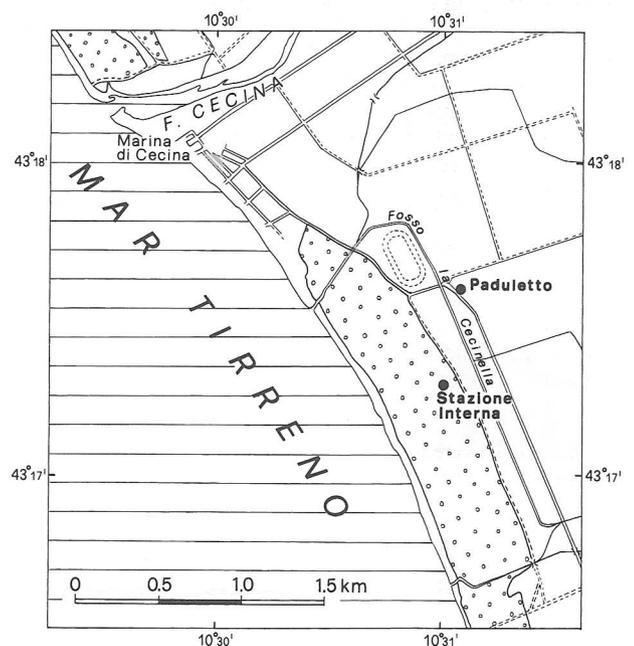


Fig. 6 - Topografia del lobo meridionale del delta del F. Cecina.

meridionale del delta del F. Cecina, in un'area distante circa due chilometri dall'abitato di M.^{na} di Cecina (Fig. 6):

– la stazione interna alla pineta litoranea fu posta a circa 260 metri dalla battigia e a 42 metri dal margine orientale del bosco, lungo il sistema di tomboli che orla la linea di riva (6 m l.m.m.; Lat. 43°17' 10", Long. 10° 30' 30"); in quel tratto la pineta, costituita da un impianto puro di *Pinus pinea* sostanzialmente priva di sottobosco, aveva in quegli anni una profondità di circa 400 metri;

– la stazione posta al margine orientale del bosco (non considerata in questa ricerca) era distante dalla prima circa 65 metri (4 m l.m.m.; Lat. 43° 17' 14", Long. 10° 30' 35");

– la stazione ubicata in zona di aperta campagna, sopra sedimenti palustri e di colmata (località Paduletto), era distante in linea d'aria circa 620 metri dalla stazione situata nel bosco (3 m l.m.m., Lat. 43° 17' 32", Long. 10° 30' 38") e 200 metri dal limite orientale della pineta.

PERIODO DELLE OSSERVAZIONI, STRUMENTI E MODALITÀ DELLE MISURE

L'acquisizione dei dati meteorologici ebbe inizio nel 1932 e si protrasse, solo con qualche lieve interruzione non determinante ai fini della continuità delle osservazioni, fino al 1943, per essere definitivamente interrotta a causa della guerra. Le stazioni furono equipaggiate con strumenti registratori settimanali per la misura della temperatura dell'aria, della temperatura del suolo alla profondità di 20 centimetri, delle precipitazioni, dell'umidità relativa dell'aria e della velocità del vento; la misura della temperatura del suolo, alle profondità di 50-75-100 centimetri, e dell'evaporazione fu invece effettuata con strumenti a lettura diretta. Tutti gli strumenti, per garantire il massimo allineamento fra di essi e la massima precisione delle misure, erano sottoposti ad attento controllo e periodicamente tarati. I dati raccolti, che appaiono negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico di Firenze e di Pisa, furono tabulati secondo medie decadiche e mensili dei valori massimi e minimi, con l'indicazione anche dei valori estremi e delle escursioni dei diversi parametri meteorologici (Annali Idrologici, 1932-1943 – Parte II).

Considerata la quasi identica distanza dal mare e dal rilievo delle due stazioni, le differenze meteo-climatiche osservate potranno essere attribuite esclusivamente all'effetto che la pineta esercita sull'andamento degli elementi che determinano il clima.

LA TEMPERATURA DELL'ARIA

Nella stazione interna alla pineta, ad eccezione del mese di ottobre, le temperature medie delle minime, sia pure di pochi decimi di grado, sono state maggiori di quelle della stazione esterna. Più significativa risulta invece la differenza tra i valori medi annui delle temperature massime dei due luoghi ($\Delta t = 0,6^\circ\text{C}$), attribuibile all'azione di parziale assorbimento e di schermo esercitata dalla volta fogliare sulla radiazione solare. Nei valori medi tuttavia le differenze fra i due siti risultano nel complesso trascurabili, poiché sono inferiori alla precisione degli strumenti. Nella stazione interna alla pineta si sono registrati due mesi con temperatura media maggiore di $20,0^\circ$, contro i tre osservati in quella di campagna; le escursioni medie diurne sono risultate rispettivamente di $7,9$ e di $8,6^\circ\text{C}$ (Tab. 1; Fig. 7 a, b).

I VALORI ESTREMI DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA

Gli eventi estremi della temperatura, seppure isolati e di breve durata, forniscono tuttavia indicazioni utili, sia per una più completa definizione del clima locale, sia per i possibili fini applicativi (Tab. 2).

I valori minimi assoluti sono stati registrati rispettivamente il 29 dicembre 1941 ($-5,2^\circ\text{C}$) nella stazione interna alla pineta e il 27 dicembre 1940 ($-6,0^\circ\text{C}$) in quella di campagna. I valori massimi assoluti nei due siti sono caduti nello stesso giorno (30 luglio 1938), rispettivamente con $32,5$ e $33,8^\circ\text{C}$. Molto significative sono le temperature sotto lo zero e quelle maggiori di $30,0^\circ$, che costituiscono elementi di notevole interesse per la biologia delle cenosi vegetali e animali. L'analisi del numero di *giorni con gelo* ($t_{\min} \leq 0^\circ$), di quelli *tropicali* ($t_{\max} \geq 30^\circ$) e del numero di giorni con $t_{\max} \geq 35^\circ$ è infatti senz'altro idonea a mettere in rilievo l'influenza del bosco sulle temperature estreme (Tab. 3).

Le differenze più marcate riguardano il numero di giorni tropicali, poiché nella stazione interna alla pineta se ne sono contati in media appena 2,8 per anno, contro i 5,0 giorni osservati nella stazione di campagna. Il numero dei giorni con gelo è stato invece molto simile, con una leggera prevalenza fatta segnare dalla stazione interna alla pineta. I giorni con temperatura maggiore di 35° sono stati infine completamente assenti, sia all'interno della pineta, sia nella stazione di campagna, certamente per l'estrema vicinanza delle stazioni al mare.

Tab. 1 - Temperature medie mensili e annue ed escursione annua dell'aria ($^\circ\text{C}$) (1933-1943).

Stazioni		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno	Esc.
Staz. interna	min	3,9°	4,3°	5,9°	7,8°	11,1°	14,9°	17,3°	17,5°	15,4°	11,9°	8,5°	5,2°	10,3°	13,6°
	max	10,3°	11,8°	14,0°	16,1°	19,4°	23,7°	26,6°	26,7°	23,8°	19,6°	15,3°	11,5°	18,2°	16,4°
	med	7,1°	8,1°	10,0°	12,0°	15,3°	19,3°	22,0°	22,1°	19,6°	15,8°	11,9°	8,4°	14,3°	15,0°
Staz. esterna	min	3,7°	4,2°	5,8°	7,7°	11,0°	14,8°	17,1°	17,2°	15,4°	12,0°	8,5°	4,8°	10,2°	13,5°
	max	10,8°	12,4°	14,4°	16,7°	20,1°	24,2°	27,2°	27,1°	24,7°	20,4°	16,3°	11,7°	18,8°	16,4°
	med	7,3°	8,3°	10,1°	12,2°	15,6°	19,5°	22,2°	22,2°	20,1°	16,2°	12,4°	8,3°	14,5°	14,9°

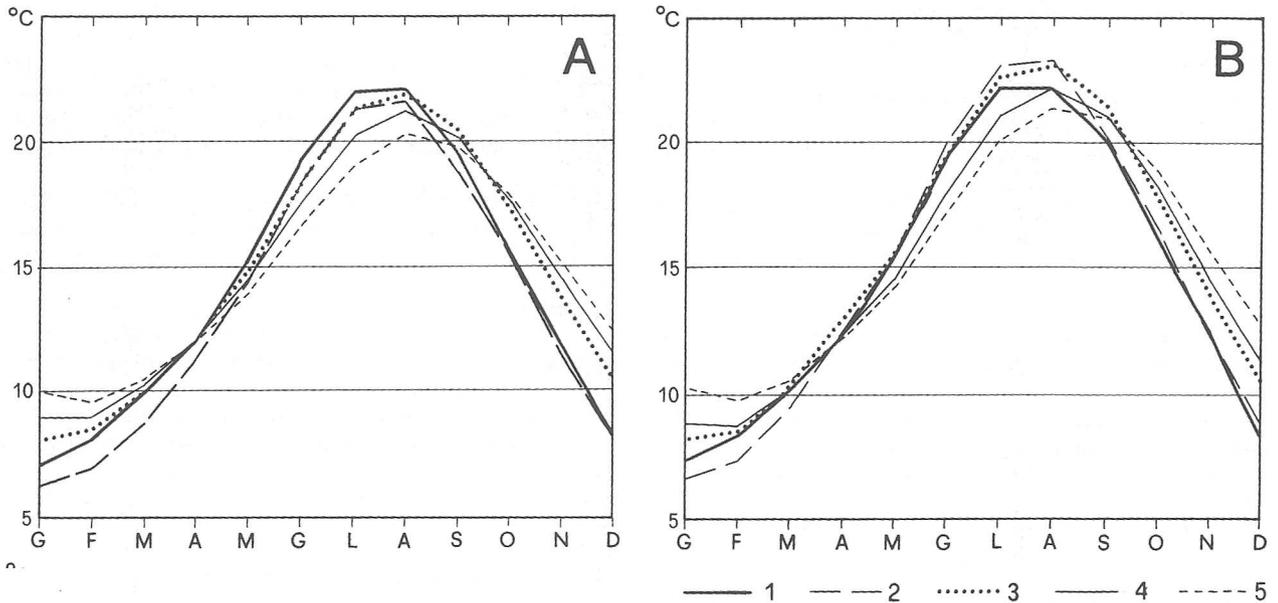


Fig. 7 - Regime della temperatura dell'aria, del suolo alla profondità di 20 cm, di 50 cm, di 75 cm, di 100 cm nelle stazioni interne alla pineta (A) e in quella esterna (B) (1933-1943), 1- temperatura dell'aria; 2 - temperatura del suolo a 20 cm di profondità; 3 - temperatura del suolo a 50 cm di profondità; 4 - temperatura del suolo a 75 cm di profondità; 5 - temperatura del suolo a 100 cm di profondità.

Tab. 2 - Temperature minime e massime assolute dell'aria (°C) (1933-1943).

Stazioni	Valori	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Staz. interna	min	-4,6°	-4,8°	-3,8°	0,0°	4,0°	9,8°	12,3°	11,8°	8,8°	1,2°	1,0°	-5,2°
	data	07/38	15/40	16/39	vari	06/41	04/40	28/39	17/34	29/39	28/39	24/39	29/41
	max	16,7°	18,0°	20,4°	23,0°	28,0°	30,0°	32,5°	32,0°	28,0°	24,8°	22,2°	17,0°
	data	17/39	18/35	05/38	30/34	28/37	15/37	30/38	13/35	05/36	08/41	12/41	vari
Staz. esterna	min	-5,0°	-4,2°	-5,8°	-0,6°	3,6°	9,2°	11,9°	11,3°	7,4°	2,2°	0,8°	-6,0°
	data	06/38	15/40	16/39	01/35	06/41	04/40	28/39	18/34	19/31	28/39	24/39	27/40
	max	17,6°	19,8°	21,0°	23,8°	30,0°	32,8°	33,8°	33,2°	29,1°	25,8°	22,8°	19,2°
	data	21/36	18/35	vari	30/34	28/37	28/35	30/38	18/35	01/35	vari	06/40	06/34

Tab. 3 - Numero medio dei giorni con gelo e dei giorni tropicali (1933-1941).

Stazioni	Valori	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Staz. interna	gg. gelo	4,9	3,8	2,0	0,3	-	-	-	-	-	-	-	3,8	14,8
	gg. trop.	-	-	-	-	-	0,1	1,5	1,2	-	-	-	-	2,8
Staz. esterna	gg. gelo	4,6	3,4	2,1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	4,0	14,3
	gg. trop.	-	-	-	-	0,1	0,8	2,4	1,7	-	-	-	-	5,0

LA TEMPERATURA DEL SUOLO ALLA PROFONDITÀ DI 20 CENTIMETRI

Le differenze termiche riscontrate nel suolo alla profondità di 20 centimetri sono notevolmente più elevate di quelle osservate nell'aria, poiché ammontano a 1,1°C. Nella stazione interna l'escursione termica annua, pari a 15,3°, è stata di poco superiore a quella dell'aria (15,0°), mentre nella stazione di campagna la differenza tra i due mezzi è salita a 1,8°. In tutti i mesi le tem-

perature medie delle minime e delle massime della stazione interna sono state inferiori a quelle registrate nella stazione di campagna, con le maggiori differenze riscontrate nei mesi estivi, quando è stato misurato uno scarto di 1,8°C (luglio). Le escursioni medie diurne sono risultate di 0,8° nella stazione interna alla pineta e di 0,6° in quella esterna (Tab. 4; Fig 7 a, b). Andamenti dello stesso tipo si ricavano dall'esame delle temperature minime e massime estreme: è stato infatti osservato che a questa profondità le temperature del

Tab. 4 - Temperature medie mensili e annue ed escursione annua del suolo alla profondità di 20 centimetri (°C) (1933-1943).

Stazioni	Valori	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno	Esc.
Staz. interna	min	5,9°	6,6°	8,4°	10,9°	13,9°	17,9°	20,9°	21,2°	18,5°	15,2°	11,2°	7,8°	13,2°	15,3°
	max	6,6°	7,4°	9,2°	11,7°	14,9°	18,8°	21,7°	21,9°	19,2°	15,9°	11,9°	8,5°	14,0°	15,3°
	med	6,3°	7,0°	8,8°	11,3°	14,4°	18,3°	21,3°	21,6°	18,8°	15,6°	11,5°	8,2°	13,6°	15,3°
Staz. esterna	min	6,4°	7,0°	9,2°	12,1°	15,2°	19,5°	22,7°	22,9°	20,4°	16,3°	12,2°	8,5°	14,4°	16,5°
	max	6,9°	7,6°	9,7°	12,7°	15,8°	20,4°	23,6°	23,7°	21,1°	16,9°	12,7°	9,0°	15,0°	16,8°
	med	6,6°	7,3°	9,4°	12,4°	15,5°	20,0°	23,1°	23,3°	20,3°	16,6°	12,4°	8,8°	14,7°	16,7°

suolo della stazione interna sono risultate costantemente inferiori a quelle di Paduleto, con le differenze più marcate nei mesi estivi. In agosto lo scarto fra le temperature massime dei due siti ha raggiunto infatti il valore di 4,0°, mentre nei mesi invernali le differenze si sono ridotte a pochi decimi di grado (Tab. 5).

Negli strati più profondi del suolo le temperature medie della stazione interna al bosco sono risultate costantemente inferiori di circa 0,5° rispetto a quelle registrate al Paduleto; si è inoltre osservato che alla profondità di 100 centimetri i valori medi delle minime e delle massime sono stati raggiunti in febbraio e in agosto, rispettivamente con 9,6 e 20,3 °C, mentre nella stazione di campagna i valori sono stati di 9,7 e di 21,4 °C, cui corrispondono le escursioni medie annue di 10,7 e 11,7 °C (Tab. 6).

PROFILO TERMICO VERTICALE E SFASAMENTI TEMPORALI

Per un'analisi accurata del profilo termico suolo-aria è necessario disporre di un gran numero di sensori, distribuiti con la massima fittezza nell'intorno dell'interfac-

cia fra questi due mezzi, dove le variazioni della temperatura sono più rapide ed intense. Con i dati disponibili il profilo termico risulta piuttosto lacunoso, pur fornendo alcune interessanti indicazioni (Fig. 8):

– la variazione media mensile della temperatura, dalla profondità di un metro a quella di cinquanta centimetri, sia nella stazione interna alla pineta, sia in quella di campagna, è quasi lineare: in netto aumento nel mese di luglio, in netta diminuzione nel mese di gennaio e di ottobre, di entità molto modesta in aprile;

– la temperatura media alla profondità di venti centimetri è in tutti i mesi poco diversa da quella dell'aria all'altezza di centocinquanta centimetri sul piano di campagna;

– nella stazione di campagna lo squilibrio termico fra la temperatura del suolo alla profondità di un metro e quella dell'aria in capannina ha raggiunto il valore più elevato in dicembre ($\Delta t = +4,5^\circ$) e quello più basso in aprile ($\Delta t = 0,0^\circ$), con il suolo risultato più caldo da settembre ad aprile;

– lungo il profilo verticale le temperature medie della stazione di campagna sono state sempre maggiori di quelle della stazione interna alla pineta, con le differenze più sensibili osservate in luglio e in agosto ($\Delta t = +1,1^\circ$).

Tab. 5 - Temperature minime e massime assolute del suolo alla profondità 20 centimetri (°C) (1934-1943).

Stazioni	Valori	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Staz. interna	min	1,1°	2,3°	4,5°	7,0°	9,5°	13,1°	17,6°	17,6°	13,8°	8,4°	7,0°	1,6°
	data	06/38	12/35	17/39	23/38	01/38	01/39	01/37	31/38	30/39	31/41	30/37	28/40
	max	11,0°	11,1°	12,6°	15,3°	20,6°	24,0°	25,0°	25,0°	22,9°	20,0°	16,5°	12,4°
	data	17/36	23/36	29/36	30/34	27/34	30/35	20/35	12/35	01/42	05/42	01/42	02/35
Staz. esterna	min	2,1°	3,0°	5,8°	8,4°	11,5°	14,0°	18,5°	19,6°	15,6°	10,0°	8,8°	2,9°
	data	07/38	14/35	10/40	01/39	01/38	01/39	01/40	29/40	30/36	30/36	25/34	28/40
	max	11,1°	11,4°	14,0°	16,5°	21,0°	26,1°	27,4°	29,0°	25,0°	22,8°	17,8°	12,6°
	data	01/36	23/36	29/35	29/35	31/37	30/35	22/43	20/43	05/36	05/42	06/42	02/35

Tab. 6 - Temperature medie mensili del suolo alla profondità 50 di 75 e di 100 centimetri (°C) (1933-1934).

Stazioni	Profond.	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno	Esc.
Staz. interna	-50 cm	8,1°	8,5°	10,0°	12,2°	14,9°	18,4°	21,2°	21,9°	20,4°	17,3°	13,8°	10,5°	14,8°	13,8°
	-75 cm	9,0°	9,0°	10,3°	12,1°	14,5°	17,5°	20,2°	21,2°	20,2°	17,7°	14,5°	11,5°	14,8°	12,2°
	-100 cm	10,0°	9,6°	10,5°	12,0°	13,9°	16,6°	19,0°	20,3°	19,8°	17,9°	15,2°	12,4°	14,8°	10,7°
Staz. esterna	-50 cm	8,2°	8,5°	10,3°	12,9°	15,5°	19,3°	22,6°	23,1°	21,5°	17,9°	13,9°	10,5°	15,3°	14,9°
	-75 cm	8,8°	8,7°	10,1°	12,3°	14,6°	18,0°	21,1°	22,2°	21,1°	18,2°	14,6°	11,3°	15,1°	13,5°
	-100 cm	10,2°	9,7°	10,5°	12,2°	14,2°	17,2°	20,1°	21,4°	21,0°	18,9°	15,8°	12,8°	15,3°	11,7°

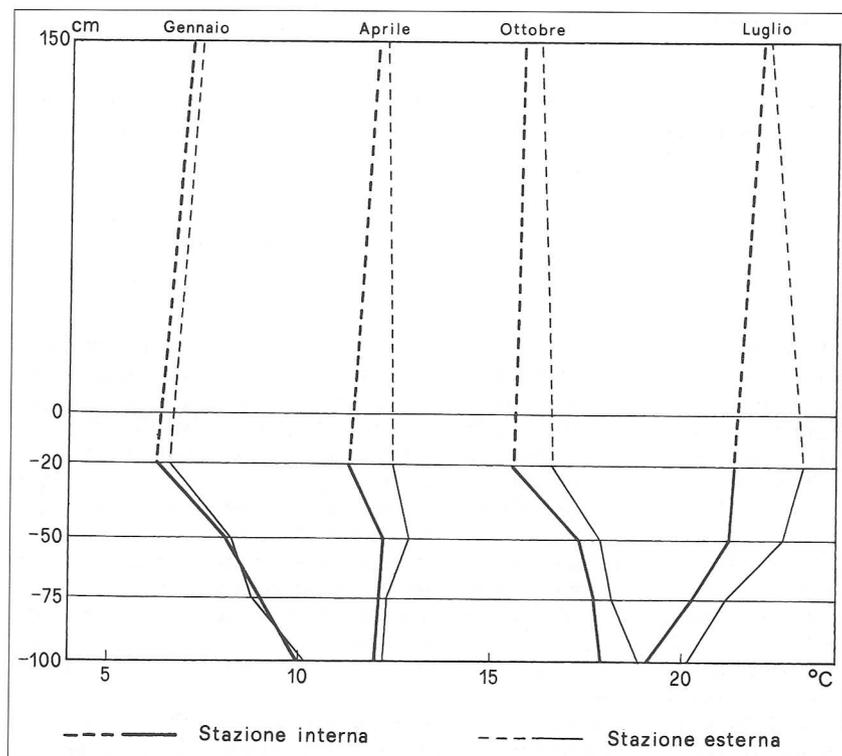


Fig. 8 - Termotautocrone dei mesi di aprile, luglio e ottobre nella stazione interna alla pineta e in quella di campagna (1933-1943).

L'effetto della copertura vegetale sulla temperatura dell'aria rispetto a quella del suolo è ben evidenziato dalle Figure 7 a, b, dalle quali risulta che nella stazione interna alla pineta la temperatura dell'aria è maggiore di quella del suolo alle varie profondità da aprile ad agosto, mentre in quella di campagna gli andamenti sono più complessi, poiché in estate negli strati più superficiali del suolo è stata registrata una temperatura maggiore di quella dell'aria.

LE PRECIPITAZIONI

Nelle aree forestali la misura diretta delle precipitazioni che giungono al suolo è molto complessa, poiché la *pioggia incidente*, cioè quella in arrivo al limite superiore del bosco (*gross rainfall*), nell'impatto con le chiome degli alberi si fraziona seguendo percorsi diversi. Una parte giunge alla superficie del terreno per

attraversamento diretto della chioma e per gocciolamento dalle foglie e dai rami (*throughfall*); una frazione, dopo essere stata intercettata dalla chioma, raggiunge il suolo per scorrimento lungo i rami e il tronco (*stemflow*); infine una porzione bagna le strutture vegetali e viene restituita direttamente all'atmosfera per evaporazione (*interception loss*).

La capacità di intercettazione del soprassuolo vegetale è variabile in relazione all'*habitus* delle piante, alla densità della copertura vegetale, al suo stato fenologico, al regime e all'intensità delle piogge, alla presenza del vento durante l'afflusso, alle condizioni di evaporazione. La frazione misurabile con il pluviometro posto sotto le chiome risulta dalla somma dell'acqua penetrata direttamente più quella gocciolata, mentre la frazione che raggiunge il suolo per scorrimento lungo il tronco è di difficile determinazione sperimentale. Tali frazionamenti riguardano naturalmente la stazione interna, dove il pluviometro era collocato sotto le chio-

Tab. 7 - Precipitazioni medie mensili e annue (mm), numero dei giorni piovosi, intensità e regime delle precipitazioni, percentuale delle precipitazioni della stazione interna rispetto a quella esterna (1934-1943).

Stazioni	Valori	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno	Regime
Staz. interna	mm	56,0	52,8	51,1	39,8	46,1	37,3	11,2	29,4	61,1	107,7	79,9	71,2	643,6	AIPE
	g. p.	7,5	6,4	5,9	4,7	6,8	3,2	1,0	2,1	5,0	8,4	8,8	9,4	69,2	-
	mm/g.p.	7,5	8,2	8,7	8,5	9,6	11,7	11,2	14,0	12,2	12,8	9,1	7,6	9,3	-
Staz. esterna	mm	73,6	67,9	66,0	52,0	64,3	50,2	14,1	43,1	80,3	139,9	102,1	101,0	854,5	AIPE
	g. p.	8,6	8,0	7,2	6,1	7,9	4,2	1,2	2,6	6,1	10,0	10,5	11,2	83,6	-
	mm/g.p.	8,6	8,5	9,2	8,5	8,1	12,0	11,8	16,6	13,2	14,0	9,7	9,0	10,2	-
R int./est.	%	76,1	77,8	77,4	76,5	71,7	74,3	79,4	68,2	76,1	77,0	78,3	70,5	75,3	-

me di *Pinus pinea*, mentre le piogge registrate nella stazione esterna non erano soggette in questo senso ad alcun disturbo (Tab. 7).

Considerata la sostanziale equivalenza di condizione delle due stazioni rispetto ai fattori che regolano la distribuzione areale delle precipitazioni, il rapporto percentuale fra i valori annui della stazione interna e di quella esterna, risultato pari a 75,3%, trova quasi esclusiva spiegazione nei meccanismi di ripartizione appena descritti, relativi alla diversa copertura vegetale dei due siti. Alla scala mensile i valori del rapporto sono piuttosto omogenei, con il minimo e il massimo osservati rispettivamente in agosto (68,2%) e in luglio (79,4%) (Fig. 9).

Per un realistico sviluppo del bilancio idrologico del bosco è necessario dunque considerare sia la frazione gocciolata, sia quella che giunge al suolo per scorrimento lungo i tronchi. A questo proposito dalle ricerche di Rapp & Ibrahim, eseguite su un popolamento di *Pinus pinea* L. presso la stazione francese di Petit-Saint-Jean negli anni 1975, 1976 e 1977, è risultato che il 70,1% delle piogge annue incidenti ha raggiunto il suolo per gocciolamento diretto e indiretto dalla chioma, il 2,3% lo avrebbe raggiunto per scorrimento, mentre il 27,6% sarebbe stato intercettato e restituito all'atmosfera per evaporazione: in quella ricerca solo il 72,4% delle precipitazioni annue incidenti avrebbe dunque raggiunto effettivamente il suolo. Lo studio statistico della ripartizione delle diverse frazioni della pioggia sulla base dei singoli eventi ha condotto però gli Autori a risultati con elevati indici di dispersione, mentre l'analisi riferita all'intero campione delle misure ha consentito di determinare le equazioni delle rette della regressione tra la pioggia incidente, la frazione gocciolata dalla chioma (a), quella di scorrimento lungo il tronco (b) e quella intercettata (c), che mostrano invece coefficienti di determinazione piuttosto elevati (Rapp & Ibrahim, 1978):

$$P_{\text{di gocciolamento}} = 0,735 \times P_{\text{incidente}} - 1,175 \quad r^2 = 0,978 \quad (a)$$

$$P_{\text{di scorrimento}} = 0,0316 \times P_{\text{incidente}} - 0,229 \quad r^2 = 0,808 \quad (b)$$

$$P_{\text{intercettata}} = 84,56 \times P_{\text{incidente}} - 0,330 \quad - \quad (c)$$

Nella pineta di M.^{na} di Cecina, assumendo le precipitazioni incidenti al limite superiore della pineta come identiche a quelle misurate nella stazione di campagna per i motivi che sono stati detti, l'applicazione delle equazioni (a), (b), (c) ha consentito di calcolare la frazione intercettata, quella gocciolata e quella che secondo la stima avrebbe raggiunto il suolo per scorrimento lungo il tronco.

Frazioni	P. incidente	P. misurata	P. calcolata	Scorrimento	P. misurata + scorrimento	P. intercettata
mm	845,5	643,6	620,3	26,8	670,4	184,1
%	100%	75,3%	73,4%	3,1%	78,4%	21,5%

La percentuale dei valori misurati del gocciolamento (75,3%) è poco diversa da quella ottenuta con la (a) (73,4%), dimostrando la sostanziale applicabilità della relazione indicata al nostro caso, come già si era potu-

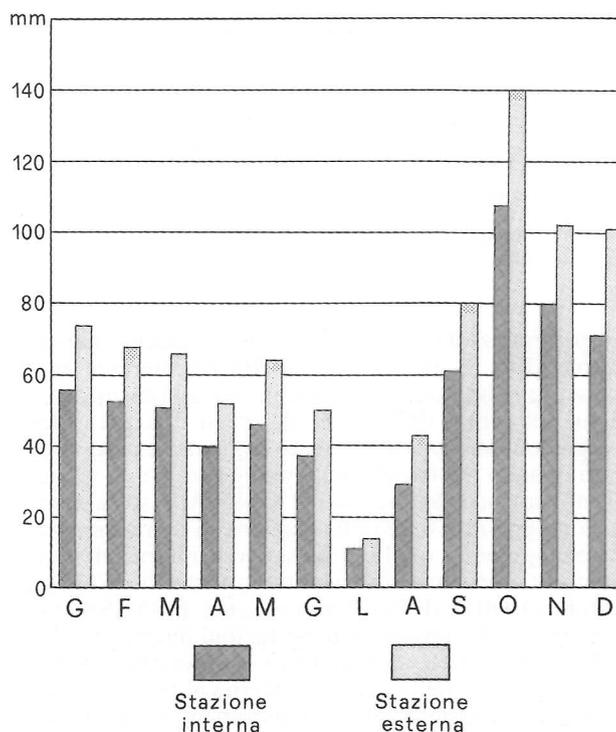


Fig. 9 - Precipitazioni mensili nella stazione interna alla pineta e in quella di campagna (1933-1943).

to osservare in altro studio (Rapetti, 1997). Aggiungendo all'afflusso misurato (643,6 mm) quello calcolato dello scorrimento lungo il tronco degli alberi (26,8 mm) si è potuta stimare la quantità complessiva d'acqua che sarebbe giunta al suolo (*net rainfall*), ammontata a 670,4 mm, pari al 78,5% della pioggia incidente. Per differenza si ricava che 184,1 mm, pari al 21,5% della pioggia incidente, sarebbero stati intercettati e restituiti all'atmosfera in forma di vapore acqueo, quindi sottratti al bilancio idrologico della pineta (Fig. 10).

Molto significativo risulta anche il confronto fra il numero dei giorni piovosi registrati nelle due stazioni, che passano da 69,2 giorni del sito interno alla pineta a 83,6 giorni del Paduletto. La differenza media di ben 14,4 giorni l'anno deve essere attribuita in modo preponderante all'azione di intercettazione esercitata dal

bosco, specialmente sulle precipitazioni di bassa intensità, che in alcuni casi, specialmente nella stagione estiva, sono completamente intercettate e restituite all'atmosfera.

Tab. 8 - Precipitazioni minime e massime mensili e massime diurne (mm) (1933-1941).

Stazioni	Valori	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Staz. interna	min	14,2 ('34)	5,4 ('39)	6,5 ('38)	0,0 ('40)	9,2 ('33)	0,0 ('35)	0,0 ('38)	0,0 ('33)	20,8 ('40)	39,4 ('33)	27,7 ('40)	10,6 ('40)
	max	100,2 ('41)	137,2 ('41)	113,2 ('34)	90,6 ('36)	99,0 ('41)	99,0 ('33)	61,7 ('37)	87,4 ('39)	113,4 ('39)	211,7 ('35)	156,8 ('35)	134,4 ('42)
	gior.	26,0 ('35)	34,2 ('34)	39,0 ('34)	27,8 ('41)	30,6 ('40)	41,0 ('36)	33,5 ('37)	43,8 ('39)	36,6 ('37)	140,8 ('35)	28,5 ('35)	49,6 ('37)
Staz. esterna	min	19,0 ('34)	9,8 ('39)	10,8 ('38)	1,0 ('40)	15,6 ('33)	0,2 ('35)	0,2 ('34)	0,0 ('33)	28,8 ('35)	58,4 ('41)	40,0 ('39)	24,2 ('41)
	max	129,4 ('41)	185,2 ('41)	143,0 ('37)	106,8 ('41)	110,6 ('40)	110,6 ('33)	70,9 ('37)	143,8 ('39)	169,4 ('39)	261,0 ('40)	188,5 ('35)	189,2 ('39)
	gior.	31,2 ('35)	52,0 ('41)	47,0 ('35)	39,0 ('38)	42,8 ('40)	54,4 ('38)	38,8 ('37)	69,4 ('39)	45,2 ('39)	129,4 ('34)	37,0 ('35)	50,0 ('34)

Le precipitazioni estreme, e in specie quelle massime diurne (Tab. 8), presentano un elevato interesse applicativo, poiché sono responsabili dei fenomeni di erosione del suolo, delle piene dei corsi d'acqua e degli allagamenti cui possono essere soggette le aree di pianura quando l'intensità delle piogge supera la velocità di infiltrazione dell'acqua nel suolo. Alla scala mensile le piogge massime della stazione di campagna sono state maggiori di quelle della stazione interna alla pineta, con valori massimi rispettivamente di 261,0 mm (ottobre 1940) e di 211,7 mm (ottobre 1935). Singolari sono invece le massime precipitazioni diurne, poiché il loro valore più elevato, di 140,8 mm (ottobre 1935), è stato registrato nella stazione interna al bosco, contro i 129,4 mm (ottobre 1934) registrati nella stazione di campagna. Una possibile spiegazione di tale fatto, a meno di errori di misura o di raccolta dei dati, su cui oggi non è più possibile indagare per l'irreperibilità dei registri originali, potrebbe trovarsi nella circostanza che singoli eventi pluviometrici, anche relativi ad un'area molto ristretta, come è quella considerata, possono presentare intensità molto diverse.

Il regime delle precipitazioni è stato in entrambe le stazioni di tipo *submediterraneo* (AIPE), con una sensibile prevalenza delle precipitazioni autunnali su quelle invernali e una netta siccità estiva, considerando che appena il 12% del totale annuo è caduto in questa stagione.

L'UMIDITÀ RELATIVA DELL'ARIA

Nelle zone costiere l'umidità relativa dell'aria presenta generalmente un solo minimo e un solo massimo diurno e un'escursione non elevata. Nelle stazioni considerate si sono registrati i seguenti valori (Tab. 9). Nella stazione di campagna i valori medi dell'umidità relativa minima sono risultati inferiori a quelli della

stazione interna, mentre quelli massimi hanno superato di poco il 90%, senza differenze sensibili nel corso dell'anno; qui vi è stata registrata perciò un'umidità di poco inferiore a quella della stazione interna, nei valori medi annui pari ad appena tre punti percentuali.

IL VENTO

I caratteri anemologici della costa di Cecina, in assenza di misure dirette effettuate in questo tratto del litorale toscano, possono essere ricavati dai dati dall'Accademia Navale di Livorno (1968-1972), dove la frequenza più elevata, con il 13,6% delle osservazioni, ha riguardato l'ENE, seguito dal NE (13,3%), dal SW (10,3%) e dall'WSW (6,1%); i venti dominanti sono risultati il SW, che può talvolta superare i 100 km/h, e l'WSW, se si considera che oltre il 60% dei venti con velocità superiore a 50 km/h è stato totalizzato da queste due direzioni (Rapetti & Vittorini, 1974). La relazione tra i movimenti delle masse d'aria e il regime termico del bosco e delle aree ad esso adiacenti prive di copertura arborea è stata analizzata da Eredia (1938), utilizzando i dati raccolti nelle stazioni della Macchia di Migliarino, del lobo meridionale del delta del Cecina e quelli relativi alle stazioni della Foresta Giardino (Vada), integrati da misure eseguite con piccoli palloni sonda, frenati a diverse altezze sul piano di campagna, cui erano stati applicati strumenti per la misura della temperatura dell'aria, della pressione atmosferica e dell'umidità relativa. L'Autore ha proposto un modello del sistema di «brezze», che potremo qui definire *brezze di foresta*, che si instaura fra il bosco e le aree limitrofe, come risposta al differente assorbimento della radiazione solare di superfici con valori diversi dell'albedo.

I dati raccolti dalla Regia Stazione Sperimentale di Selvicoltura di Firenze offrono solo i valori della velo-

Tab. 9 - Valori minimi, massimi, medi mensili e annui dell'umidità relativa dell'aria (%) (1933-1943).

Stazioni	%	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Staz. interna	min	47	41	43	46	49	48	45	45	47	50	52	55	47
	max	91	91	90	90	90	92	91	91	92	93	92	92	91
	med	69	66	67	68	70	70	68	68	69	71	72	74	69
Staz. esterna	min	40	37	36	40	44	39	36	35	40	44	46	46	40
	max	93	93	93	92	92	91	91	90	91	93	93	93	92
	med	66	65	64	66	68	65	63	63	66	69	70	69	66

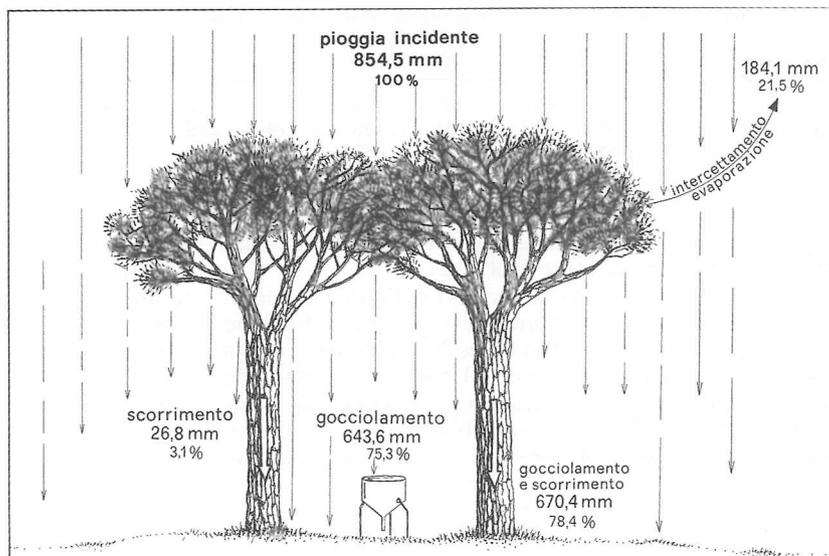


Fig. 10 - Schema del frazionamento delle piogge incidenti nella stazione interna alla pineta di M.^{na} di Cecina.

cià, mentre purtroppo nessuna indicazione risulta negli Annali circa la direzione del vento. Le velocità all'interno della pineta sono ridotte rispetto a quelle misurate nella stazione di campagna secondo il rapporto medio annuo di 1:2; quello massimo e minimo rispettivamente di 1:2,54 registrato in agosto e di 1:1,54 in dicembre (Tab. 10).

I valori più elevati della velocità si sono verificati in autunno e in inverno e quelli minimi in giugno e in agosto. Nella stazione interna al bosco la massima velocità media mensile è stata registrata nel febbraio 1934 con 14,3 km/h; quella relativa alla stazione esterna nel marzo 1937 con 19,8 km/h. Differenze dello stesso segno si ottengono considerando la distribuzione annua della frequenza del numero di giorni con velocità media fino a 15 km/h, da 15 a 20 km/h, e superiore a 20 km/h. Nella stazione interna alla pineta

la percentuale relativa alla prima classe ha superato il 94% dei casi, mentre nella stazione di campagna non si è arrivati all'80%. Per la seconda e la terza classe di velocità gli scarti sono stati ancora più marcati, poiché nella stazione interna si sono raggiunti rispettivamente il 3,81 e l'1,93% delle osservazioni, contro il 10,47% e il 10,30% della stazione di campagna (Tab. 11).

L'EVAPORAZIONE

L'evaporazione dalla superficie del terreno è regolata dal rapporto fra la tensione del vapore acqueo nell'atmosfera e quella nei meati del suolo. Per la misura di questo parametro le stazioni meteorologiche sperimentali furono equipaggiate di evaporimetri di progettazione della Sezione Autonoma del Genio Civile di Firenze: si trattava di apparecchi a lettura diretta che,

Tab. 10 - Velocità del vento (km/h) nelle stazioni interna ed esterna alla pineta (1933-1940).

Stazioni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Media
Staz. interna	7,0	7,7	6,6	5,7	4,7	4,4	4,5	3,8	4,4	5,3	5,9	7,7	5,7
Staz. esterna	13,4	12,7	12,6	10,7	11,2	9,2	10,2	9,6	9,9	11,8	12,4	11,8	11,3
R est./int.	1,91	1,64	1,91	1,87	2,40	2,10	2,27	2,54	2,28	2,23	2,09	1,54	1,98

Tab. 11 - Distribuzione percentuale di frequenza del vento per classi di velocità (km/h) (1934-1941).

Stazioni	Classi	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Staz. interna	V < 15	7,49	6,69	8,10	8,12	8,99	6,85	8,68	8,55	8,22	8,59	7,10	6,81	94,19
	15 < V < 20	0,97	0,45	0,58	0,25	0,12	0,04	0,12	0,08	0,29	0,21	0,12	0,58	3,81
	V > 20	0,24	0,54	0,29	0,29	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,10	0,39	1,93
Staz. esterna	V < 15	5,49	6,25	6,29	6,77	7,28	7,77	7,97	7,72	6,64	6,71	5,03	5,29	79,21
	15 < V < 20	1,39	0,46	0,95	0,72	0,92	0,16	0,45	0,58	0,87	1,21	1,56	1,20	10,47
	V > 20	1,73	1,33	1,24	0,72	0,48	0,21	0,29	0,25	0,58	0,98	1,33	1,16	10,30

Tab. 12 - Valori dell'evaporazione della stazione interna alla pineta e di quella esterna (1933-1943).

Stazioni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Staz. interna	71	70	85	99	97	122	158	150	92	55	47	34	1080
Staz. esterna	119	113	153	188	174	249	320	353	226	125	78	66	2164
R est./int.	1,68	1,61	1,80	1,90	1,79	2,04	2,02	2,35	2,46	2,27	1,66	1,94	2,00

esposti alla libera atmosfera, fornivano valori dell'evaporazione in unità relative (Tab. 12).

Il rapporto medio annuo tra i valori delle due stazioni, pari a 1:2, trova spiegazione nella minore radiazione solare, nella minore ventosità e nella maggiore umidità degli strati di aria a contatto del suolo della stazione posta all'interno della pineta. Nei mesi da giugno a settembre il rapporto è stato sensibilmente maggiore di due, mentre i valori più bassi sono stati registrati nel semestre freddo.

IL BILANCIO IDRICO-CLIMATICO

Per superare i limiti dei sistemi di classificazione non idonei a discriminare climi locali poco dissimili (Köppen, 1936), come sono quelli della stazione interna ed esterna alla pineta, si è ritenuto opportuno di utilizzare un metodo che possiede un elevato potere di definizione. Per la sua relativa facilità di impiego, ma soprattutto per l'idoneità a rappresentare le esigenze idriche della vegetazione, è stato applicato quello proposto da Thornthwaite (1948) e perfezionato da Thornthwaite & Mather nel 1957. Con opportuni sviluppi di calcolo applicati alle temperature e alle precipitazioni mensili di una qualsiasi località è possibile determinare il bilancio idrico-climatico e la formula climatica, costituita da quattro lettere. I parametri fondamentali di tale bilancio sono le precipitazioni (P), l'evapotraspirazione potenziale (EP), l'evapotraspirazione reale (AE), il deficit (D), l'eccedenza (S), e il deflusso (RO). Alcune relazioni proposte dagli Autori consentono di determinare l'indice di umidità (I_h), quello di aridità (I_a) e l'indice di umidità globale (moisture index), che risulta dalla relazione: $I_m = I_h - I_a = 100 \times (S - D) / EP$. I valori positivi dell'indice di umidità globale sono indicativi dei climi umidi, mentre i valori negativi sono rappresentativi dei climi aridi. Altro elemento fondamentale per lo sviluppo del bilancio è la riserva idrica del suolo (ST), indicante la massima quantità di acqua suscettibile di essere trasformata in vapore, che il suolo, in relazione alla sua struttura granulometrica e alla natura del soprasuolo vegetale che sostiene, può contenere. La riserva idrica del suolo della pineta, considerando la natura sabbiosa del substrato e la presenza di alberi di alto fusto, è stata stimata di 150 millimetri, mentre quella del suolo della stazione di campagna, costituito da frazioni più fini, quali limi e argille, più idonei a trattenere una maggiore quantità d'acqua, di 200 millimetri.

Nella stazione interna alla pineta l'evapotraspirazione potenziale annua ha raggiunto il valore di 761,0 mm, con estremi in gennaio (15,8 mm) e in luglio (133,5

mm). L'evapotraspirazione reale è stata di 553,1 mm; il deficit è iniziato in aprile e si è protratto fino a settembre, mentre il suo regime indica che in questi mesi, per ripristinare le condizioni di saturazione del suolo, sarebbe servito un apporto di 207,9 mm di acqua, corrispondente a 2079 m³/ha (Fig. 11).

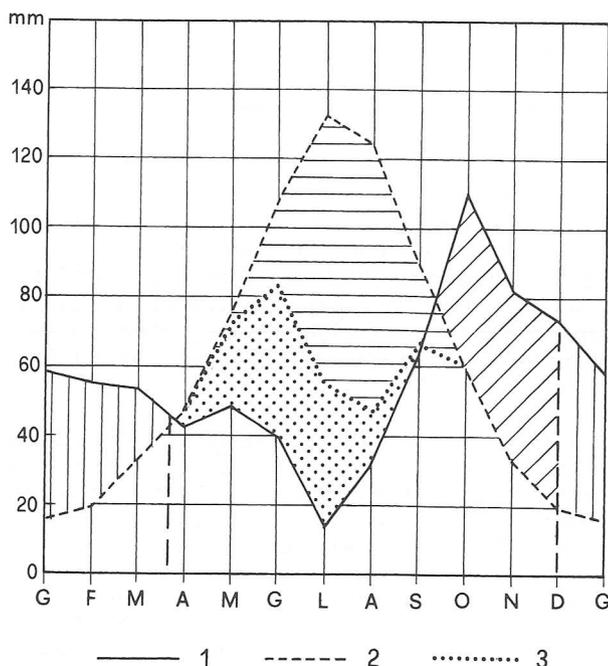


Fig. 11 - Diagramma del bilancio idrico-climatico della stazione interna alla pineta (1933-1943). 1- precipitazioni; 2 - evapotraspirazione potenziale; 3 - evapotraspirazione reale. Tratteggio verticale: surplus; tratteggio obliquo: ricostituzione della riserva; tratteggio orizzontale: deficit.

Il mese con il deficit più elevato è stato luglio con 78,6 mm, pari al 37,8% di quello annuo; il surplus, che è ammontato a 117,9 mm, si è verificato da dicembre a marzo. Il deflusso non si è mai interrotto, pur raggiungendo valori trascurabili nei mesi da giugno a novembre (Tab. 13).

Nella stazione esterna alla pineta l'evapotraspirazione annua è stata di 769,4 mm, con estremi di 16,0 e di 134,7 mm verificatisi rispettivamente in gennaio e in luglio. L'evapotraspirazione reale è stata di 634,3 mm; il deficit è iniziato in maggio e si è protratto fino a settembre, mentre il suo regime indica che in questi mesi, per ripristinare le condizioni di massima umidità edafica, sarebbe stato necessario un apporto di 135,1 mm, corrispondente a 1351 m³/ha.

Tab. 13 - Bilancio idrico-climatico della stazione interna alla pineta secondo Thornthwaite & Mather (1933-1943).

ST = 150 mm

Valori	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T	7,1°	8,1°	10,0°	12,0°	15,3°	19,3°	22,0°	22,1°	19,6°	15,8°	11,9°	8,4°	14,3°
P*	58,2	55,0	53,3	42,0	48,3	39,5	13,4	31,6	63,3	109,9	82,1	73,4	670,0
EP	15,8	19,2	32,9	47,2	76,5	109,3	133,5	124,0	90,1	60,0	33,3	19,0	761,0
ST	150,0	150,0	150,0	144,9	120,0	75,4	33,8	18,3	15,3	65,2	113,9	150,0	-
AE	15,8	19,2	32,9	47,1	73,1	84,2	54,9	47,2	66,3	60,0	33,3	19,0	553,1
D	0,0	0,0	0,0	0,1	3,4	25,2	78,6	76,9	23,8	0,0	0,0	0,0	207,9
S	42,4	35,8	20,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,3	117,9
RO	26,1	30,9	25,7	12,8	6,4	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	9,7	117,9

P*: le precipitazioni di questa stazione sono state corrette per considerare anche la quantità di acqua che si stima sia giunta al suolo per scorrimento lungo i rami e il tronco dei pini.

Tab. 14 - Bilancio idrico-climatico della stazione esterna alla pineta secondo Thornthwaite & Mather (1933-1943).

ST = 200 mm

Valori	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T	7,3°	8,3°	10,1°	12,2°	15,6°	19,5°	22,2°	22,2°	20,1°	16,2°	12,4°	8,3°	14,5°
P	73,6	67,9	66,0	52,0	64,3	50,2	14,1	43,1	80,3	139,9	102,1	101,0	854,5
EP	16,0	19,3	32,6	47,5	77,7	110,1	134,7	124,3	92,9	61,5	34,7	18,1	769,4
ST	200,0	200,0	200,0	200,0	187,0	138,6	75,9	50,6	47,5	125,9	193,2	200,0	-
AE	16,0	19,3	32,6	47,5	77,3	98,6	76,9	68,4	83,4	61,5	34,7	18,1	634,3
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	11,5	57,8	55,9	9,5	0,0	0,0	0,0	135,1
S	57,6	48,6	33,4	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,1	220,2
RO	47,9	48,2	40,8	22,7	11,3	5,7	2,8	1,4	0,7	0,4	0,2	38,1	220,2

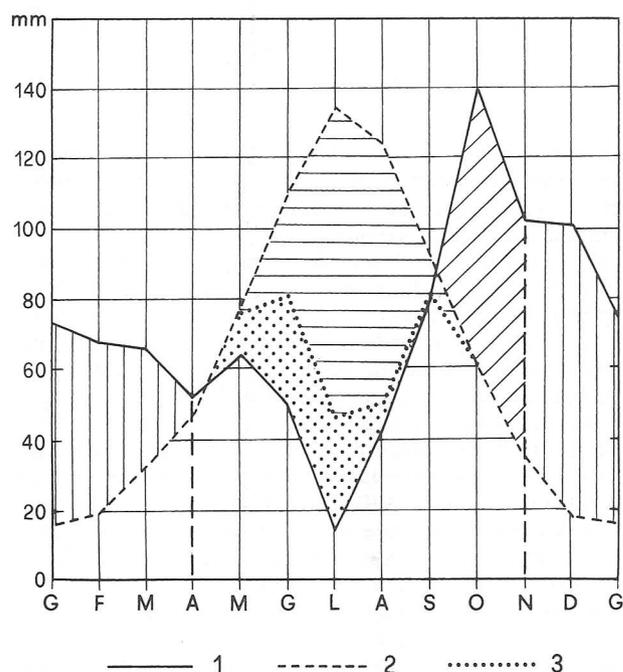


Fig. 12 - Diagramma del bilancio idrico-climatico della stazione di campagna (1933-1943).

Il deficit più elevato è stato registrato in luglio con 57,8 mm, pari al 42,8% di quello annuo; il surplus, che è ammontato a 220,2 mm, si è verificato nei mesi da dicembre ad aprile, mentre il deflusso ha assunto i

valori più elevati da dicembre a maggio (Tab. 14; Fig. 12).

Il confronto tra i parametri più significativi del bilancio idrico-climatico della stazione interna e di quella esterna alla pineta indica che le maggiori differenze riguardano le precipitazioni, il surplus, l'indice di umidità (I_h) e l'indice di umidità globale (I_w), mentre di modesta entità sono gli scarti relativi all'evapotraspirazione potenziale, a quella reale, all'indice di aridità (I_a) e alla concentrazione estiva dell'efficienza termica ($CEET$), che rappresenta la percentuale dell'evapotraspirazione potenziale estiva rispetto a quella annua (Tab. 15).

Come si rileva l'effetto della pineta sul bilancio idrico-climatico è piuttosto sensibile, tanto da spostare il valore dell'indice di umidità globale dalla classe C_2 ($0 < I_w < 20$) della stazione di campagna, che è legittimo considerare rappresentativa della fascia costiera di Cecina priva di soprassuolo boschivo, alla classe C_1 ($0 > I_w > -33$) della stazione interna alla pineta. A questo andamento concorrono le temperature e le precipitazioni del bosco, queste ultime con un effetto ben più marcato. Sulla base dello sviluppo del bilancio idrico-climatico le due località hanno la seguente formula climatica:

Stazione interna: $C_1 B'_2 s b'_4 \Rightarrow$ clima subarido, del secondo mesotermico, con deficit idrico in estate e media concentrazione estiva dell'efficienza termica

Stazione esterna: $C_2 B'_2 s a' \Rightarrow$ clima subumido, del secondo mesotermico, con deficit idrico in estate e media concentrazione dell'efficienza termica

Tab. 15 - Quadro riassuntivo dei parametri del bilancio idrico-climatico della stazione interna e della stazione esterna alla pineta secondo Thornthwaite & Mather (1933-1943).

Stazione	P	EP	AE	D	S	Ih	Ia	Im	CEET	Formula climatica
Staz. interna	670,0	761,0	553,1	207,9	117,9	15,5	27,3	-11,8	48,2	$C_1 B_1^2 s b_1^4$
Staz. esterna	854,5	769,4	634,3	135,1	220,2	28,6	17,6	11,1	48,0	$C_2 B_2^2 s a^4$

I bilanci riportati rappresentano tuttavia la media del periodo, mentre per considerare i loro effettivi andamenti è opportuno prendere in esame i valori assunti dai diversi parametri idrico-climatici nell'anno di massima aridità, verificatosi nel 1938, e in quello di massima umidità, occorso nel 1934. Nell'anno di massima aridità e in quello di massima umidità l'indice di umidità globale della stazione interna alla pineta ha assunto i valori di -35,9 e di 7,6, rispettivamente corrispondenti al tipo D (*semiarido*) e al tipo C_2 (*subumido*), mentre nella stazione di campagna esso ha oscillato fra -39,2 e 32,8, rispettivamente corrispondenti ai tipi D (*semiarido*) e B_1 (*umido*) (Tab. 16).

mm, contro 278,1 mm calcolati per la stazione di campagna. Effetti meteorologici rilevanti si sono registrati anche sulla velocità del vento, che nella stazione di campagna è risultata doppia rispetto a quella misurata nella stazione interna alla pineta, e sull'evaporazione. Per una migliore definizione del clima dei due siti è opportuno applicare alcuni altri indici empirici, come ad esempio l'indice di aridità di De Martonne (1941), l'indice di continentalità di Ivanow, l'indice di termicità di Rivas-Martines (1995), che sono stati confrontati con le formule climatiche di Köppen e di Thornthwaite & Mather (Tab. 17).

Tab. 16 - Elementi caratteristici del bilancio idrico-climatico negli anni estremi (1933 e 1937).

Stazione	Anno	P	EP	AE	D	S	Ih	Ia	Im	CEET	Formula climatica
Staz. interna	1938	480,2	749,5	480,2	269,0	0,0	0,0	35,9	-35,9	49,7	$D B_2^2 d b_1^4$
	1934	824,4	766,0	568,4	197,6	256,0	33,4	25,8	7,6	46,4	$C_2 B_2^2 s a^4$
Staz. esterna	1938	456,0	749,5	456,0	293,5	0,0	0,0	39,2	-39,2	46,7	$D B_1^2 d b_1^4$
	1934	1049,4	790,0	628,7	161,3	420,7	53,3	20,4	32,8	46,7	$B_1 B_2^2 s a^4$

CONCLUSIONI

Le temperature medie dell'aria all'interno della pineta e nella stazione di campagna sono risultate molto simili, infatti lo scarto è stato di 0,2 °C, quindi inferiore alla precisione dei termografi, tanto da doversi trascurare. Le differenze più marcate hanno riguardato invece le piogge che hanno raggiunto il suolo e gli indici climatici che da esse dipendono. Le chiome, i rami e i tronchi dei pini presenti nella stazione interna avrebbero intercettato infatti una quantità di pioggia pari al 21,5% di quella incidente, che sarebbe stata restituita all'atmosfera per evaporazione, e quindi sottratta al bilancio idrologico della pineta. Questo fatto ha avuto un riflesso diretto e importante sull'umidità del suolo, non compensato dalla minore evapotraspirazione potenziale annua che quivi si determina, soprattutto per le minori temperature estive ($\Delta EP = 8,4$ mm/anno). Il diverso regime idrico del suolo dei due ambienti è, ad esempio, opportunamente indicato dai valori medi annui del surplus, che nella stazione interna ha raggiunto 116,3

Questi concorrono a fornire un quadro più completo dei caratteri climatici delle due stazioni: la differenza più marcata riguarda l'indice di De Martonne, che è funzione diretta delle piogge.

Dopo aver tentato di valutare l'influenza della superficie boscata sulle condizioni meteo-climatiche è opportuno considerare l'effetto legato alla dimensione del bosco. Riguardo agli afflussi meteorici la capacità d'intercettazione della vegetazione, almeno in una prima approssimazione, non dipende dall'estensione del bosco, ma dalla densità delle chiome degli alberi. Ben maggiore è invece l'influenza esercitata dall'estensione forestale sull'andamento della temperatura dell'aria, sull'umidità relativa e sulla velocità del vento, poiché, per il formarsi di un microclima forestale significativamente diverso da quello di un sito limitrofo di campagna, è necessario che la dimensione del bosco superi un certo valore critico. La modesta dimensione trasversale della pineta di M.^{na} di Cecina, favorendo un'agevole mobilità delle masse d'aria fra l'interno e l'esterno, determina infat-

Tab. 17- Confronto fra alcuni indici climatici delle stazioni interna ed esterna alla pineta (1933-1943).

Stazioni	Thornthwaite	Köppen	De Martonne	Ivanow	Ind. termicità
Staz. interna	$C_1 B_1^2 s b_1^4$	Csa	21,9	102,7	285
Staz. esterna	$C_2 B_2^2 s a^4$	Csa	27,6	107,2	290

Tab. 18 - Confronto fra i rapporti di alcuni parametri meteorologici fra le stazioni interne e le stazioni esterne al bosco nell'area della Macchia di Migliarino e della pineta di M.^{na} di Cecina (1933-1943).

Stazioni	R% = T (est./int.)	R% = P (est./int.)	Intercettamento	R = U (est./int.)	R = Evap. (int./est.)	R = V (est./ int.)
Macchia di Migliarino	+7,4%	+140,6	23,1%	-7,1%	+232,4%	+502,%
Pineta di M. ^{na} di Cecina	+1,4%	+127,5	21,5%	-4,3%	+200,4%	+200,0%

ti un notevole livellamento termico fra i due ambienti. A questo proposito è interessante mettere a confronto i risultati della presente ricerca con quelli emersi dallo studio della Macchia di Migliarino (Rapetti, 1997).

La Macchia di Migliarino, dal mare al limite orientale del bosco, ha una profondità di circa 5 chilometri, mentre la profondità della pineta di M.^{na} di Cecina non supera i 450 metri. È opportuno considerare inoltre che la stazione meteorologica posta all'interno della Macchia di Migliarino (località Poggio Grosso) era distante circa 2 chilometri dal mare e oltre 3 chilometri dal margine orientale del bosco, trovandosi così nel folto del bosco, mentre a M.^{na} di Cecina la stazione interna si trovava rispettivamente ad appena 260 metri dalla spiaggia e 42 metri dal margine orientale della pineta. Anche le stazioni di piena campagna si trovavano a distanze molto diverse dal margine continentale delle rispettive superfici boscate: a 2,8 chilometri quella relativa alla Macchia di Migliarino (località il Capannone) e a 200 metri quella della pineta di M.^{na} di Cecina (località Paduletto).

Tali differenze di consistenza delle superfici forestali e di posizione delle stazioni rispetto ai confini del bosco hanno prodotto nelle due aree studiate significative differenze tra le condizioni climatiche dell'interno e dell'esterno del bosco (Tab. 18). Particolarmente significative risultano le differenze tra i rapporti riguardanti la temperatura dell'aria e la velocità del vento, mentre, sia pure attenuate, sono non trascurabili quelle relative all'umidità dell'aria e all'evaporazione.

Queste indicazioni consentono di prevedere che la distruzione dei grandi boschi, oppure, al contrario, i grandi rimboschimenti, producono nel sito e nell'intorno dell'area interessati al cambiamento d'uso del suolo una consistente modificazione del bilancio della radiazione solare, cui corrisponde una decisa variazione della temperatura dell'aria. L'effetto del bosco sulla ventosità è invece più complesso poiché per un aspetto esso determina un'attenuazione della velocità delle masse di aria della circolazione generale e locale per *effetto barriera*, mentre si producono brezze di bassa

intensità fra l'interno e l'esterno del bosco per la modificazione locale del bilancio della radiazione.

BIBLIOGRAFIA

- Aussenac, G., 1968. Interception des précipitations par la couvert forestier. Ann. Soc. forest., 25: 135-156.
- Eredia, F., 1938. Le correnti aeree ai margini dei boschi. Riv. di meteor. aeron., 1, 4: 28-38.
- Ettehad, R., Lossaint, P., Rapp, M., 1973. Recherches sur la dynamique et le bilan de l'eau des sols de deux écosystèmes méditerranéens à chêne vert. Écologie du Sol, Recherche coopérative sur programme n° 40, C.N.R.S., Paris, 3: 198-288.
- Frosini, P., 1961. La carta della precipitazione media annua in Italia per il trentennio 1921-1950. In: Min. LL. PP., Servizio Idrografico, Pubbl. n° 24, Fasc. 12: 47.
- Köppen, W., 1936. Das Geographische System der Klimate. Vol. di W. Köppen e R. Geiger, «Handbuch der Klimatologie», Bd 1, Teil C, Berlin.
- Leonard, L.E., 1961. Net precipitation in a northern hardwood forest. J. Geophys. Res., 66: 2417-2421.
- Martonne, E., 1941. Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. La Météorologie, 1: 3-20.
- Ministero LL. PP., 1932-1943. Annali Idrologici, Parte I e II. Servizio Idrografico di Firenze e di Pisa.
- Pinna, M., Gazzolo, T., 1969. La distribuzione della temperatura in Italia nel trentennio 1926-1955. In: Min. LL. PP., Servizio Idrografico, Pubbl. n° 21, 12a Ed., Fasc. 4, Roma: 116.
- Rapetti, F., Vittorini, S., 1974. Osservazioni sulle variazioni dell'ala destra del delta dell'Arno. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem. Ser. A, 81: 25-88.
- Rapetti, F., 1997. L'influenza del bosco mediterraneo sul clima. I - La Macchia di Migliarino (Litorale Pisano). Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Ser. B, 104: 73-90.
- Rapp, M., Ibrahim, M., 1978. Égouttement, écoulement e interception des précipitations par un peuplement de Pinus pinea L.. Oecol. plantarum, 13, 4: 321-330.
- Rivas-Martinez, S., 1995. Clasificación bioclimática de la Tiera. Folia botanica Madritensis, 16: 1-25.
- Rutter, A.J., 1963. Studies on the water relations of Pinus silvestris in plantation conditions. J. Écol., 51: 191-203.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Review, 38: 55-94.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology, 10 (3): 186-311.
- Zancla, A., D'Andrea, M., 1970. Isoterme dei mari italiani per il triennio 1967-1969, I semestre. Riv. di meteor. aeron., 30, 3: 67-77.
- Zancla, A., D'Andrea, M., 1970. Isoterme dei mari italiani per il triennio 1967-1969, II semestre. Riv. di meteor. aeron., 30, 4: 37-45.

