

F. RAPETTI (*)

L'INFLUENZA DEL BOSCO MEDITERRANEO SUL CLIMA I - LA MACCHIA DI MIGLIARINO (LITORALE PISANO)

Riassunto - Si analizzano e si confrontano i dati meteorologici di due stazioni poco distanti l'una dall'altra situate rispettivamente all'interno della Macchia di Migliarino e in piena campagna (Litorale Pisano), nel tentativo di definire l'influenza del bosco mediterraneo sulle condizioni meteorologiche e climatiche dei due ambienti. L'opportunità di analizzare dati relativamente antichi - le osservazioni furono effettuate tra il 1933 e il 1943 - risiede nel fatto che da allora in quell'area non sono più stati condotti rilievi così sistematici e completi. Le stazioni erano equipaggiate con strumenti registratori per la misura della temperatura dell'aria, di quella del suolo alla profondità di 0,20 m, delle precipitazioni, dell'umidità relativa e della velocità del vento; la misura della temperatura del suolo alle profondità di 0,50-0,75-1,00 m e dell'evaporazione veniva effettuata invece con strumenti a lettura diretta.

Per quanto riguarda la ripartizione delle precipitazioni nell'interno del bosco si osserva che l'afflusso in arrivo al limite superiore della vegetazione (pioggia incidente) si è frazionato seguendo percorsi diversi: una parte è giunta al suolo per gocciolamento dalle foglie (751,6 mm, 74,0%), una parte per scorrimento lungo i tronchi (29,4 mm, 2,9%), mentre la frazione rimanente sarebbe stata intercettata dalla vegetazione e restituita all'atmosfera per evaporazione (234 mm, 23,1%). Nel complesso il suolo avrebbe ricevuto una quantità di precipitazione pari a 781 mm, corrispondente solo al 76,9% della pioggia incidente: tale fatto spiega la maggiore aridità edafica della stazione interna al bosco rispetto a quella di piena campagna. Secondo il sistema climatico di Thornthwaite i due siti ricadono infatti rispettivamente nella classe C₂ (clima subumido) e B₁ (clima umido). La temperatura media dell'aria nel bosco è stata minore ($\Delta t = 1,0^\circ \text{C}$), come la ventosità e l'evaporazione. L'applicazione di altre formule e indici (Köppen, De Martonne, Ivanow, Rivas-Martinez) conferma la maggiore aridità climatica e condizioni di più spiccata marittimità della stazione situata nel pieno del bosco.

Parole chiave - Influenza del bosco mediterraneo sul clima. Macchia di Migliarino (Pisa).

Abstract - *The influence of the Mediterranean wood upon climate. I - The «Macchia di Migliarino» (Pisan shore)* - Meteorological data collected between 1933 and 1943 from two stations, the former situated in the thick of the «Macchia di Migliarino», the latter in the open country (Pisan shore), are analysed and compared, so as to try and state the influence of the Mediterranean wood upon meteorological and climatic conditions within these two environments. What makes these comparatively old data useful is the fact that no such complete and systematic observations have been carried on ever since on the Pisan shore. The

two stations were equipped with recording instruments to gauge air and soil temperature (to a depth of 0.20 m), precipitations, relative moisture and wind speed; soil temperature to a depth of 0.50, 0.75, 1.00 m as well as evaporation were measured by direct reading instruments.

In the thick of the bush, the measurement of the distribution 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 through-fall, that is by dripping from the leaves (751.6 mm, 74.0%), another one by stemflow (29.4 mm, 2.9%), while the rest has possibly been intercepted by the plants and returned to the atmosphere through evaporation (234 mm, 23.1%). So, total precipitation that reached the ground was equal to 781 mm, that is 76.9% 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. In fact their global moisture indexes, according to Thornthwaite's climatic system, belong respectively to the C₂ (subhumid climate) e B₁ (humid climate) classes. The average air temperature in the wood was 1.0° lower; it was also less windy and there was less evaporation. The application of a few other climatic indexes (Köppen, De Martonne, Ivanow, Rivas-Martinez) confirms the fact that in the wood soil was dryer and climate more maritime.

Key-words - Influence of the Mediterranean wood upon climate. The «Macchia di Migliarino» (Pisa).

PREMESSA

Il clima, com'è noto, è controllato da fattori astronomici e geografici, tra i quali, in relazione alle scale climatiche spaziale e temporale considerate, intercorrono rapporti complessi, non sempre di facile definizione. I fattori geografici, quali la vicinanza al mare e ai rilievi, le acque continentali e le aree forestali di grande estensione, possono modificare in modo significativo l'andamento zonale del clima. Nel nostro Paese l'influenza esercitata sul clima locale dalle grandi coperture forestali non di frequente è stata oggetto di indagini approfondite, benché si tratti di un argomento di grande interesse per una più completa conoscenza dei caratteri dell'ambiente. Lo studio di tali influenze può consentire la valutazione dell'impatto climatico legato ai grandi disboscamenti operati per ricavare legname, o determinati dai grandi incendi, cui sono soggette aree estese del nostro pianeta, specialmente della fascia tropicale umida.

(*) Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino, CNR (dir. Antonio Rau), c/o Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, Via S. Maria, 53, Pisa.

Lavoro eseguito nell'ambito del progetto MURST «La risposta geomorfologica alle variazioni ambientali» e stampato con i fondi del CNR.

Naturalmente le foreste italiane hanno dimensioni relative ridotte, sufficienti tuttavia, nel caso di una loro scomparsa, a determinare effetti climatici non trascurabili.

A cavallo tra gli anni Trenta e gli anni Quaranta – tra il 1933 e il 1944 – il Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici di Firenze, in collaborazione con la Regia Stazione di Selvicoltura del capoluogo toscano, promosse una serie di indagini in due aree della fascia litoranea della Toscana Centro-Settentrionale, per contribuire alla conoscenza dell'effetto del bosco mediterraneo sul clima: le zone prescelte furono la Macchia di Migliarino e la zona di Cecina-Riparbella (Fig. 1). Tali indagini si svilupparono con la raccolta di numerosi dati meteorologici relativi a stazioni interne al bosco e, per controllo, a siti limotrofi di piena campagna, privi di vegetazione arborea e arbustiva. L'opportunità di analizzare dati così lontani nel tempo trova giustificazione nel fatto che in questa parte della Toscana Settentrionale essi rap-

presentano da allora la raccolta meteorologica più sistematica e completa.

In questa prima indagine si analizzano i dati relativi alle stazioni dell'area di Migliarino: si tratta di un territorio che, dalla spiaggia fino ai contrafforti dei monti d'Oltre Serchio, presenta un suolo di natura prima sabbiosa, poi limo-argillosa, fino a depositi palustri e di colmata, tutti olocenici. La morfologia della zona, per la sua origine litoranea, è pianeggiante, pur presentando, dalla linea di costa attuale verso l'interno, per una profondità di qualche chilometro, lievi ondulazioni ad asse quasi parallelo alla linea di riva, che costituiscono il sistema delle *barre litoranee* ereditato dalle fasi di avanzamento del delta dell'Arno e della Pianura Pisano-Versiliese (Fig. 2). Le aree depresse (*lame*), comprese tra due alti topografici contigui (*cotoni*), nei periodi più umidi sono soggette ad allagamento, costituendo così un ambiente di caratteristiche microclimatiche molto diverse da quelle dei cotoni, più aridi e segnati da maggiori

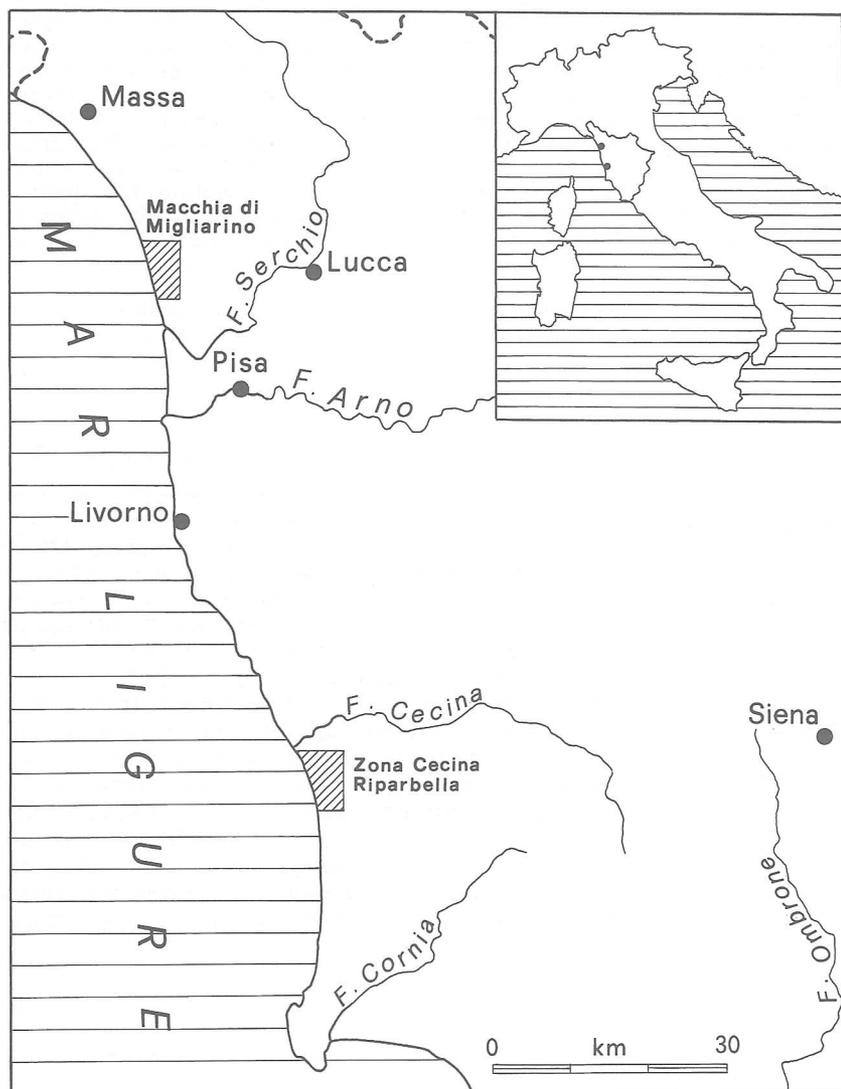


Fig. 1 - Inquadramento geografico del litorale della Toscana Centro-Settentrionale con indicazione delle aree studiate.

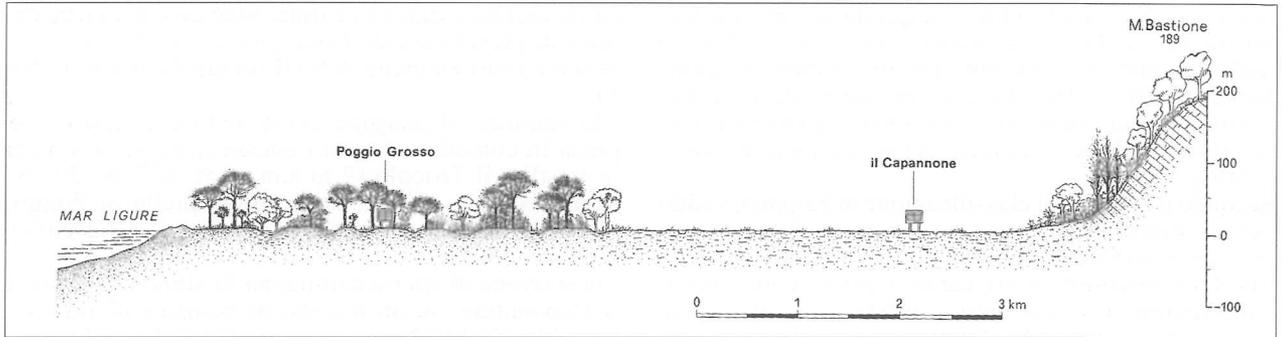


Fig. 2 - Profilo trasversale della Macchia di Migliarino lungo la Via dei Montioni dalla linea di battigia ai monti d'Oltre Serchio con indicazione della posizione delle stazioni meteorologiche.

escursioni termiche. Il soprassuolo vegetale passa dalle specie alofile e psammofile della spiaggia, delle dune e delle retrodune, alle fitocenosi a sclerofille sempreverdi dei cotoni, dominate dal leccio (*Quercus ilex* L.), dalle eriche (*Erica arborea* L., *Erica scoparia* L.), dal corbezzolo (*Arbutus unedo* L.), mentre nelle lame si incontrano caducifoglie mesoigrofile, quali ad esempio la farnia (*Quercus robur* L.), il frassino (*Fraxinus oxycarpa* Bieb.), la frangola (*Frangula alnus* Miller). Un aspetto caratteristico di questo bosco litoraneo è costituito dalla presenza di pini, riferibili a *Pinus pinea* L., di sicuro impianto antropico e, in subordine, a *Pinus pinaster* Aiton.

CARATTERI CLIMATICI DELLA FASCIA COSTIERA DELLA TOSCANA SETTENTRIONALE

Il clima della fascia costiera della Toscana Settentrionale, dalla foce del Magra a quella dell'Arno, è controllato da importanti fattori geografici, quali la presenza del Mar Tirreno, che esercita un'attiva azione di scambio termico mare-atmosfera, la presenza del Massiccio Apuano, che determina un imponente effetto orografico sulle precipitazioni e un'azione di schermo sulle correnti fredde settentrionali, la presenza di un bosco costiero, che si estende da Massa fino al Calambrone, in alcuni tratti per una profondità superiore ai 5 chilometri. Tali fattori determinano, a parità di latitudine, condizioni climatiche piuttosto singolari nel bacino del Mediterraneo, che si caratterizzano per l'abbondanza di precipitazioni e condizioni termiche di discreta marittimità. Questo luogo ha consentito lo sviluppo e la conservazione di un ricco soprassuolo vegetale dove, in *habitat* particolari, sono presenti specie a distribuzione molto varia: da quella atlantica a quella circumboreale ed euramericana, tanto da poter considerare questa area un insieme di paleomicroecosistemi di notevole interesse fitogeografico, geobotanico ed ecologico (TOMEI, 1982; RAPETTI, TOMEI & VITTORINI, 1986). La descrizione del mesoclima, per comprensibili motivi di corrispondenza con i dati analizzati in questa ricerca, si riferisce ai primi decenni di questo secolo (Frosini, 1961; Gazzolo & Pinna, 1969). La temperatura media annua dell'aria presentava valori com-

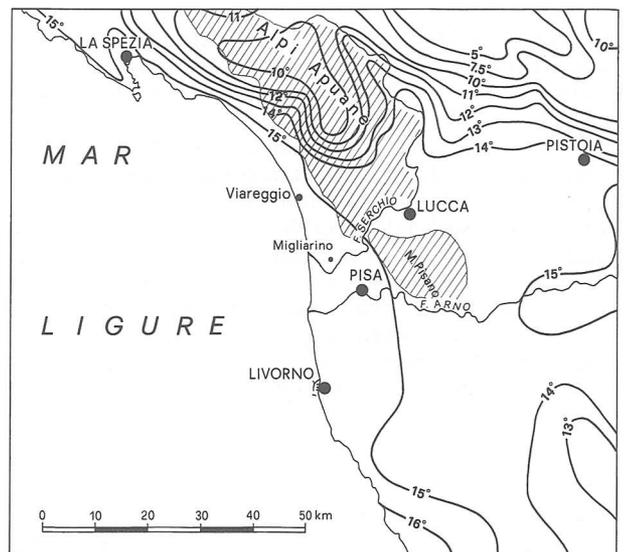


Fig. 3 - Isotherme medie annue della Toscana Settentrionale (1926-1955).

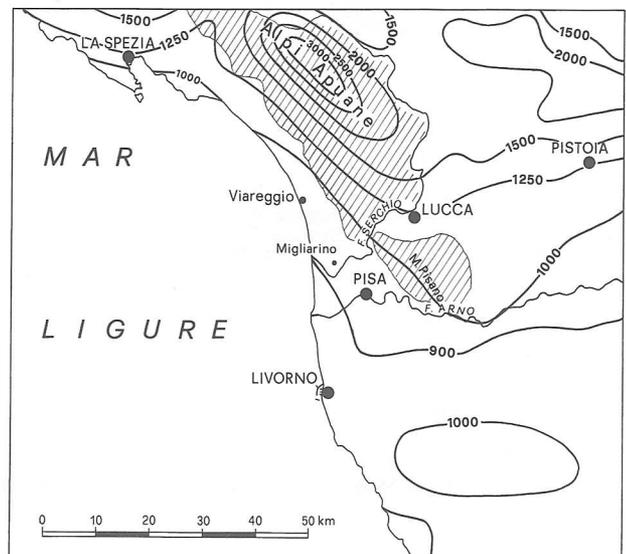


Fig. 4 - Isoiete medie annue della Toscana Settentrionale (1921-1950).

presi tra $15,1^{\circ}$ - $16,0^{\circ}$ (Fig. 3), quella dei mesi estremi tra $7,0^{\circ}$ e $8,0^{\circ}$ in gennaio e tra $23,0^{\circ}$ e $24,0^{\circ}$ in luglio, mentre l'escursione termica annua era compresa tra 16° e 18° . Le precipitazioni della fascia costiera erano comprese tra i 900 e i 1000 mm, con una distribuzione stagionale di tipo *submediterraneo* (AIPE) (Fig. 4).

Secondo il sistema di classificazione di Köppen, valido per un primo inquadramento generale, il clima della fascia costiera della Toscana Settentrionale ricade nel tipo *Csa* (*mediterraneo*), caratterizzato, com'è noto, dalla temperatura del mese più freddo compresa tra $-3,0^{\circ}$ e $18,0^{\circ}$, da quella del mese più caldo maggiore di $22,0^{\circ}$ e da una accentuata siccità estiva.

UBICAZIONE DELLE STAZIONI METEOROLOGICHE

Nell'area di Migliarino furono impiantate tre stazioni meteorologiche: la prima al centro del bosco, la seconda al suo limitare e la terza in piena campagna (Fig. 5):

- la stazione interna alla Macchia di Migliarino, posta quasi al centro di un'area trapezoidale della superficie di circa 2050 ha, delimitata a Nord dal F.sso della Bufalina e a Sud dal F. Serchio, fu situata in località Poggio Grosso (3 m s.m.; Lat. $43^{\circ} 47' 50''$ N, Long. $10^{\circ} 17' 27''$ E), lungo la Via dei Montioni, su un cotone distante dal mare circa 2 km, particolarmente elevato sul piano di campagna, in una sezione in cui il bosco, dal mare verso l'interno, ha una larghezza di circa 5 chilometri. Nel luogo di impianto della sta-

zione meteorologica la formazione boschiva è costituita in prevalenza da *Pinus pinea*, mentre il sottobosco da vari elementi della flora mediterranea (Foto 1);

- la stazione al margine del bosco (lato terra), non presa in considerazione in questa ricerca, fu situata in località il Trocolo (2 m s.m.; Lat. $43^{\circ} 46' 30''$ N, Long. $10^{\circ} 19' 12''$ E), distante da quella di Poggio Grosso e dal mare rispettivamente 3,5 e 4,2 chilometri;

- la stazione di aperta campagna fu situata in località il Capannone, su un terreno di bonifica (2 m s.m.; Lat. $43^{\circ} 47' 54''$ N, Long. $10^{\circ} 21' 12''$ E), a 7 chilometri dal mare, a circa 2 chilometri dai primi contrafforti dei monti d'Oltre Serchio e a circa 2,8 chilometri dal lembo interno della pineta (Foto 2).

PERIODO DELLE OSSERVAZIONI, STRUMENTI E MODALITÀ DELLE MISURE

La raccolta 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 poi definitivamente interrotta a causa della guerra. Le stazioni furono equipaggiate con strumenti registratori settimanali per la misura della temperatura dell'aria e del suolo alla profondità di 0,20 m, delle precipitazioni, dell'umidità relativa dell'aria e della velocità del vento; la misura della temperatura del suolo alle profondità di 0,50-0,75-1,00 m e dell'evaporazione era invece ef-

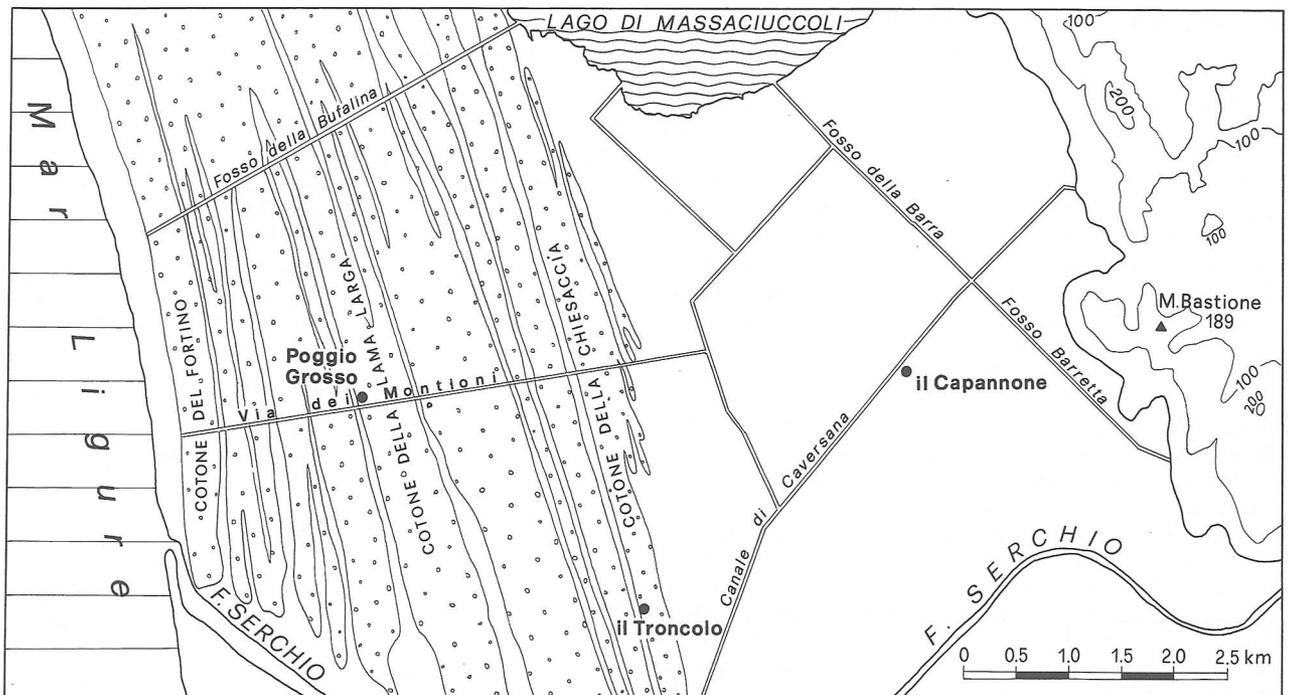


Fig. 5 - Topografia della Macchia di Migliarino con indicazione della posizione delle stazioni meteorologiche.

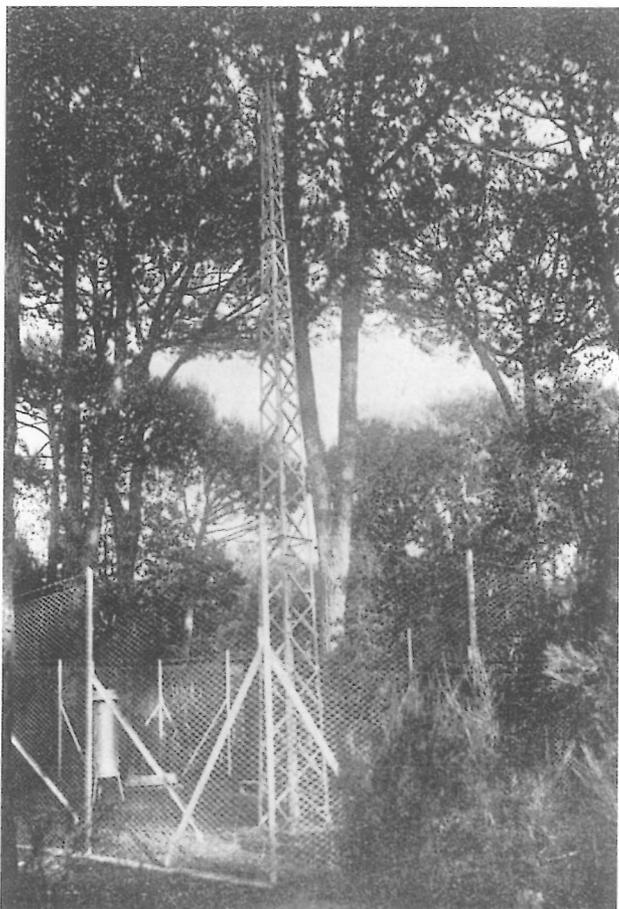


Foto 1 - Aspetto della Macchia di Migliarino e configurazione della stazione meteorologica della stazione di Poggio Grosso.

fettuata con strumenti a lettura diretta. Tutti gli strumenti erano sottoposti ad attento controllo e tarati periodicamente per garantire il massimo dell'allineamento e della precisione delle misure. I dati raccolti, che appaiono negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico di Firenze e di Pisa (1932-1943 Parte II), sono tabulati per ciascun mese in medie decadiche dei valori massimi e minimi, dei valori estremi e delle escursioni.

La collocazione della stazione interna al bosco fu scelta in modo da rispecchiare la situazione media di densità e di copertura delle chiome della vegetazione dei cotoni, con una attenzione particolare per la posizione del pluviografo e dell'anemografo.

È opportuno considerare che il microclima di Poggio Grosso non può essere esteso a qualunque sito interno al bosco, ma è tipico delle aree interne più elevate; quello de il Capannone è invece rappresentativo di un'area più vasta, compresa tra il limitare del bosco verso l'interno del continente e l'area pedemontana dei monti d'Oltre Serchio, fino a una distanza dal rilievo di circa 2 chilometri.

L'EFFETTO POSIZIONE SUL CLIMA LOCALE DI POGGIO GROSSO E DE IL CAPANNONE

Anche ipotizzando l'assenza del bosco litoraneo le condizioni meteorologiche e climatiche di Poggio Grosso e de il Capannone, considerata la loro diversa distanza dal mare e dal rilievo, non si possono a rigore considerare perfettamente congruenti. Le stime indicano tuttavia che le differenze determinate dalla posizione non dovrebbero aver avuto un peso rilevante sui diversi elementi meteorologici, valutabile al massimo in pochi punti percentuali.

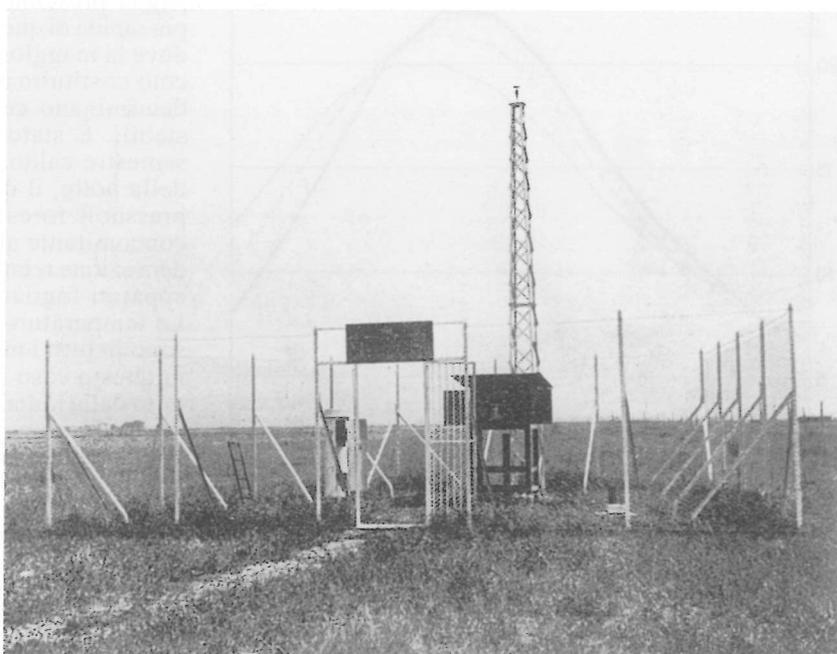


Foto 2 - Aspetto della stazione meteorologica de il Capannone.

Tab. 1 - Temperature medie mensili e annue ed escursione annua dell'aria (°C) nelle stazioni di Poggio Grosso e de il Capannone (1933-1943).

Stazioni		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno	Esc.
Poggio Grosso	min	2,5°	2,8°	4,9°	8,3°	11,7°	14,8°	16,9°	16,6°	14,8°	11,1°	6,9°	3,3°	9,6°	14,4°
	max	9,2°	11,0°	13,7°	16,6°	19,8°	23,3°	26,0°	26,0°	23,5°	18,6°	13,6°	9,9°	17,6°	16,8°
il Capannone	med	5,9°	6,9°	9,3°	12,5°	15,8°	19,0°	21,4°	21,3°	19,1°	14,9°	10,2°	6,6°	13,6°	15,5°
	min	3,1°	3,2°	5,5°	7,8°	11,2°	14,9°	16,7°	16,6°	14,8°	11,5°	7,4°	4,2°	9,7°	13,6°
	max	10,5°	12,8°	15,0°	17,6°	21,0°	25,1°	28,1°	28,4°	25,7°	20,0°	15,8°	11,7°	19,4°	17,9°
	med	6,8°	8,0°	10,2°	12,7°	16,1°	20,0°	22,4°	22,5°	20,3°	16,1°	11,6°	7,9°	14,6°	15,7°

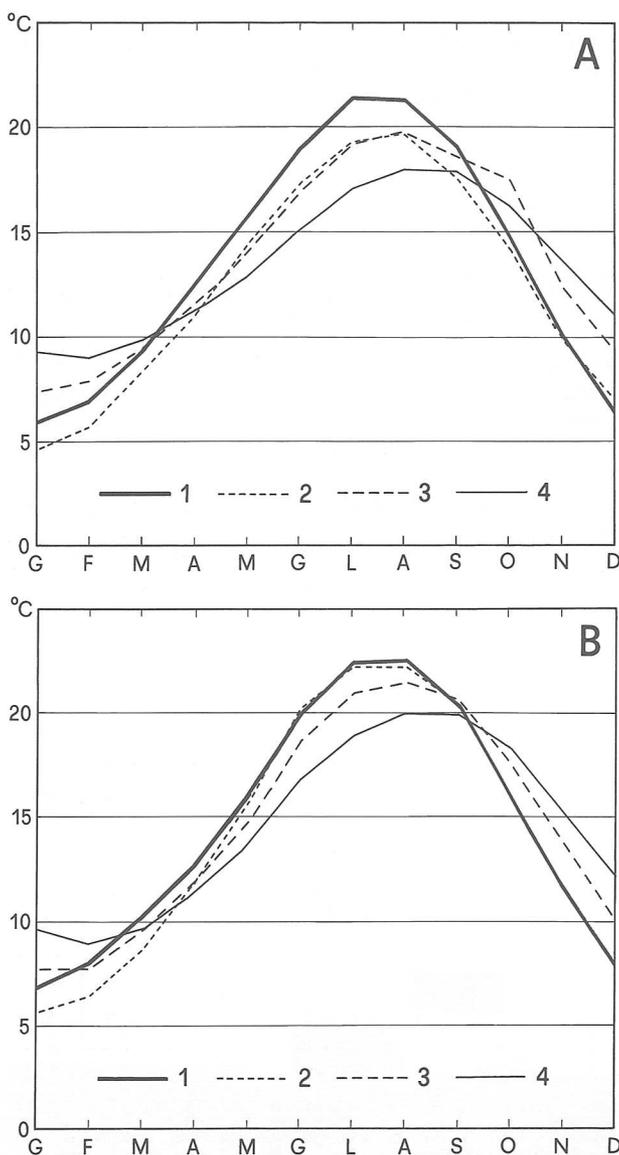


Fig. 6 - Regime della temperatura dell'aria e del suolo alla profondità di 0,20 m, di 0,50 m, di 1,00 m nelle stazioni di Poggio Grosso (A) e de il Capannone (B) (1933-1943), 1- temperatura dell'aria; 2- temperatura del suolo a 0,20 m di profondità; 3- temperatura del suolo a 0,50 m di profondità; 4- temperatura del suolo a 1,00 m di profondità.

LA TEMPERATURA DELL'ARIA

La temperatura dell'aria, indice dell'energia disponibile nell'ambiente, è notoriamente un elemento meteorologico fondamentale, poiché controlla sia gli scambi di acqua tra il suolo, la vegetazione e l'atmosfera (evapotraspirazione), sia i processi pedogenetici, sia i processi biologici (Tab. 1, Fig. 6 A, B):

Le temperature minime di Poggio Grosso sono minori di quelle de il Capannone da ottobre a marzo, mentre da aprile a luglio, con l'eccezione di giugno, sono uguali o più elevate. Su questo andamento, che si può considerare per qualche aspetto imprevisto, devono svolgere un ruolo fondamentale, secondo interazioni complesse difficilmente definibili, la radiazione solare, l'irraggiamento, la ventosità, l'umidità del suolo e quella degli strati di aria adiacenti alla superficie. È probabile comunque che uno dei fattori più importanti sia l'azione di «intrappolamento» esercitata dal bosco sulle masse di aria più fredda, a causa della bassissima ventosità di questo ambiente. Dal momento del tramonto e durante le ore notturne dei mesi estivi il suolo della stazione di piena campagna presenta una diminuzione della temperatura più rapida di quella che si registra all'interno del bosco, dove la maggiore umidità edafica e dell'aria e l'ostacolo costituito all'irraggiamento dalla volta fogliare determinano condizioni di microclima termico più stabili. È stato osservato in altre ricerche che nel semestre caldo, dopo il tramonto e nelle prime ore della notte, il decremento della temperatura nei soprassuoli forestali subisce un rallentamento, forse concomitante all'emissione di calore latente di condensazione relativo alla formazione della rugiada sugli apparati fogliari.

Le temperature massime e medie di Poggio Grosso sono in tutti i mesi minori di quelle de il Capannone: in questo caso il fattore limitante è senz'altro costituito dalla radiazione solare diretta, che nell'ambiente forestale viene in parte intercettata dalle strutture vegetali e riflessa verso il cielo.

I VALORI ESTREMI DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA

Gli eventi estremi della temperatura, seppure isolati e di breve durata, forniscono indicazioni molto utili, sia per una più completa definizione del clima loca-

le, sia a fini applicativi. Soprattutto le temperature sotto lo zero e quelle maggiori di 30,0° e di 35,0° costituiscono un elemento di grande interesse per le biocenosi.

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 $t_{\max} \geq 35^\circ$ fornisce indicazioni molto significative circa l'influenza del bosco su tali eventi estremi (Tab. 2):

Piaggetta) fu registrata la temperatura di -12,5° (RAPETTI, TOMEI & VITTORINI, 1986). È tuttavia opportuno considerare che questo evento rappresenta l'episodio di gelo più intenso registrato nella Toscana pianiziarica almeno nell'ultimo secolo (RAPETTI & VITTORINI, 1986). Il valore più basso registrato all'interno del bosco è probabilmente legato, come si è discusso, alla tendenza delle masse di aria fredda e secca a ristagnare in questo ambiente, specialmen-

Tab. 2 - Numero medio dei giorni con gelo e dei giorni tropicali (1933-1941).

Stazioni		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Poggio Grosso	gg. gelo	10,6	8,0	3,4	0,4	-	-	-	-	-	0,1	1,0	9,0	32,5
	gg. trop.	-	-	-	-	-	0,6	1,1	0,2	-	-	-	-	1,9
il Capannone	gg. gelo	7,8	6,9	3,0	0,4	-	-	-	-	-	-	0,3	5,2	23,6
	gg. trop.	-	-	-	-	-	2,1	7,0	6,4	0,1	-	-	-	15,6

Le differenze tra Poggio Grosso e il Capannone sono nette, sia per il numero dei giorni con gelo, sia per quelli tropicali: relativamente ai primi lo scarto più elevato si verifica nei mesi da dicembre a febbraio; per i secondi le differenze sono ancora più marcate, poiché nella stazione di Poggio Grosso i giorni tropicali hanno costituito una rarità meteorologica. I giorni con temperatura maggiore di 35° sono infine completamente assenti all'interno del bosco mentre nella stazione de il Capannone se ne sono contati appena due. Anche i valori estremi raggiunti dalla temperatura rivestono un notevole interesse meteorologico e costituiscono un ulteriore elemento di caratterizzazione del clima locale: (Tab. 3):

te nelle condizioni di stabilità dell'atmosfera che accompagnano gli eventi estremi di gelo. Il valore massimo assoluto, com'era più facile prevedere, si è registrato a il Capannone il 20 agosto 1943 con 37,4°, contro i 33,2° misurati a Poggio Grosso il 3 agosto 1943.

LA TEMPERATURA DEL SUOLO

La temperatura dell'interfaccia suolo-aria non è facilmente misurabile in modo continuo, poiché il sensore dovrebbe essere collocato stabilmente alla superficie limite dei due mezzi, mentre nella pratica

Tab. 3 - Temperature minime e massime assolute dell'aria (°C) (1933-1943).

Stazioni		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Poggio Grosso	min	-6,1°	-5,0°	-3,2°	-0,4°	2,5°	8,8°	11,0°	10,6°	6,0°	-1,5°	-1,2°	-8,5°
	data	02/38	12/35	07/40	11/41	06/41	05/43	04/38	25/38	30/36	31/41	28/43	28/40
	max	15,1°	17,2°	19,3°	28,0°	29,6°	31,2°	32,2°	33,2°	28,2°	25,5°	20,5°	16,4°
	data	16/39	20/43	28/35	23/43	16/43	27/35	20/35	03/43	27/43	01/42	12/41	2/35
il Capannone	min	-5,1°	-5,3°	-4,8°	-1,2°	2,8°	7,0°	9,3°	9,2°	6,0°	0,4°	-3,0°	-5,8°
	data	30/42	05/39	17/39	23/38	03/42	16/42	04/38	25/38	18/41	31/41	18/42	28/40
	max	17,8°	20,6°	21,2°	24,8°	29,6°	34,7°	34,2°	37,4°	35,8°	29,2°	25,1°	20,7°
	data	20/39	21/43	21/42	23/43	29/37	28/35	31/38	20/43	14/43	3/37	12/35	20/36

Le temperature minime assolute di Poggio Grosso e de il Capannone si sono osservate nello stesso giorno (28 dicembre 1940), nel quale si sono raggiunti rispettivamente di -8,0° e di -5,8°. Si tratta di valori bassi ma lontani da quelli registrati nel nostro secolo nel gennaio 1985: in quel mese infatti su un *ag-gallato* del vicino lago di Massaciuccoli (località

delle misure, a causa dei movimenti di suolo per fenomeni di erosione o di accumulo, esso tende a scoprirsi o a interrarsi, oppure, come succede nel bosco, a ricoprirsi di foglie e di altro materiale organico che deve essere continuamente rimosso. La temperatura del suolo dipende quasi esclusivamente dalla radiazione solare assorbita, a sua volta funzione della

composizione, della struttura e del colore del terreno. Durante il dì la radiazione solare riscalda la superficie e il calore accumulato si propaga per conduzione verso gli orizzonti inferiori, mentre durante la notte la direzione si inverte; un fenomeno dello stesso tipo, sia pure di entità e di scala temporale diverse, si verifica tra il semestre caldo e quello freddo. A parità delle altre condizioni i suoli umidi hanno coefficienti di conduttività più elevati di quelli secchi, facilitando dunque i fenomeni di trasferimento verticale del calore. In ambiente naturale, dove le condizioni di umidità dei primi livelli del suolo subiscono rapide e forti variazioni, lo scambio termico tra il terreno e l'atmosfera è tuttavia regolato da leggi troppo complesse per poter essere descritto in termini rigorosi (BRUNT, 1932).

LA TEMPERATURA DEL SUOLO ALLA PROFONDITÀ DI 0,20 METRI

A questa profondità le temperature medie delle minime, delle massime e le medie di Poggio Grosso sono state inferiori in tutti i mesi a quelle de il Capannone, con le maggiori differenze in quelli estivi, fino a 2,9° nel mese di luglio, mentre in gennaio tali differenze si sono ridotte fino a 1,0°. L'escursione termica annua nel suolo del bosco è stata inferiore di 1,5° rispetto a quella che ha interessato il suolo della stazione di campagna (Tab. 4).

Andamenti diversi hanno invece caratterizzato le temperature minime estreme: è risultato infatti che alla profondità di 0,20 m la temperatura del suolo di Poggio Grosso non scese sotto 1,0°, mentre a il Capannone si raggiunsero valori debolmente negativi (-0,2°; 25 gennaio 1942). Le temperature massime assolute hanno presentato invece differenze di segno opposto molto più consistenti, fino a 4,8° nel mese di giugno. I valori minimi estremi di Poggio Grosso sono stati maggiori di quelli de il Capannone da gennaio a marzo e minori negli altri mesi. Nei mesi di luglio e di agosto le temperature minime sono state rispettivamente di 12,1° e 10,9° nella prima stazione e di 18,8° e 19,1° nella seconda (Tab. 5). Negli strati più profondi del suolo le temperature medie di Poggio Grosso sono state costantemente inferiori a quelle de il Capannone, come inferiore è stata l'escursione annua, che ha raggiunto il valore minimo di 9,0° alla profondità di un metro. Alla profondità di 0,50 m, dove si svolge un'intensa attività biologica, i valori estremi si sono verificati in gennaio e in agosto, rispettivamente con 7,4° e 19,8° e con 7,7° e 21,4° (Tab. 6).

PROFILO TERMICO VERTICALE E SFASAMENTI TEMPORALI

L'andamento verticale della temperatura nel sistema suolo-aria, dalla profondità di un metro all'altezza

Tab. 4 - Temperature medie mensili e annue ed escursione annua del suolo alla profondità di 0,20 metri (°C) (1933-1943).

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

Tab. 5 - Temperature minime e massime assolute del suolo alla profondità 0,20 metri (°C) (1933-1943).

Stazioni		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Poggio Grosso	min	1,0°	1,4°	4,0°	6,4°	8,2°	10,0°	12,1°	10,9°	13,2°	7,8°	2,5°	1,5°
	data	25/42	02/34	09/40	01/35	04/35	01/35	11/35	15/35	01/35	31/41	30/34	29/40
	max	14,5°	14,5°	15,0°	15,2°	19,7°	20,7°	23,1°	23,0°	21,0°	17,9°	17,6°	16,7°
	data	12/36	02/36	28/36	05/36	27/34	27/34	31/34	01/34	15/43	09/35	01/35	02/35
il Capannone	min	-0,2°	0,0°	3,8°	7,6°	10,0°	14,7°	18,8°	19,1°	16,0°	9,5°	6,6°	2,1°
	data	25/42	01/42	09/40	02/34	01/38	01/39	04/41	24/40	30/39	31/41	25/42	31/41
	max	11,7°	11,4°	13,6°	16,4°	21,0°	25,5°	26,5°	26,1°	23,0°	20,2°	16,0°	12,3°
	data	22/36	23/36	29/36	28/43	27/34	26/38	22/35	13/35	03/35	10/43	01/42	02/35

Tab. 6 - Temperature medie mensili del suolo alla profondità 0,50 di 0,75 e di 1,00 metri (°C) (1933-1934).

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

di un metro e mezzo sul piano di campagna (altezza del termografo in capannina), conferma le nette differenze termiche tra i due mezzi e tra le due stazioni, mettendo in evidenza il fatto che nei mesi di gennaio e di ottobre, ad eccezione della profondità di 0,20 m, la temperatura del suolo è risultata nettamente superiore a quella dell'aria, mentre nel mese di luglio, sia pure in modo meno marcato, si è verificato il contrario; nel mese di aprile si è osservato invece un sostanziale equilibrio tra la temperatura dell'aria e quella del suolo (Fig. 7). È interessante osservare che i valori massimi e minimi medi mensili del suolo si verificano con un ritardo di circa un mese rispetto a quelli dell'aria (Fig. 6 A, B).

LE PRECIPITAZIONI

La misura delle precipitazioni che giungono al suolo nelle aree forestali è molto complessa poiché l'acqua in arrivo al limite superiore delle chiome degli alberi (*gross rainfall*) si fraziona seguendo percorsi diversi. Una parte viene intercettata dalle strutture vegetali e restituita all'atmosfera per evaporazione (*interception loss*) (HAMILTON & ROWE, 1949), una frazione giunge direttamente al suolo per attraversamento diretto della chioma e per gocciolamento dalle foglie e dai rami (*throughfall*), l'ultima frazione infine, dopo essere stata intercettata dalla chioma, raggiunge il suolo per scorrimento lungo i rami e il tronco (*stemflow*).

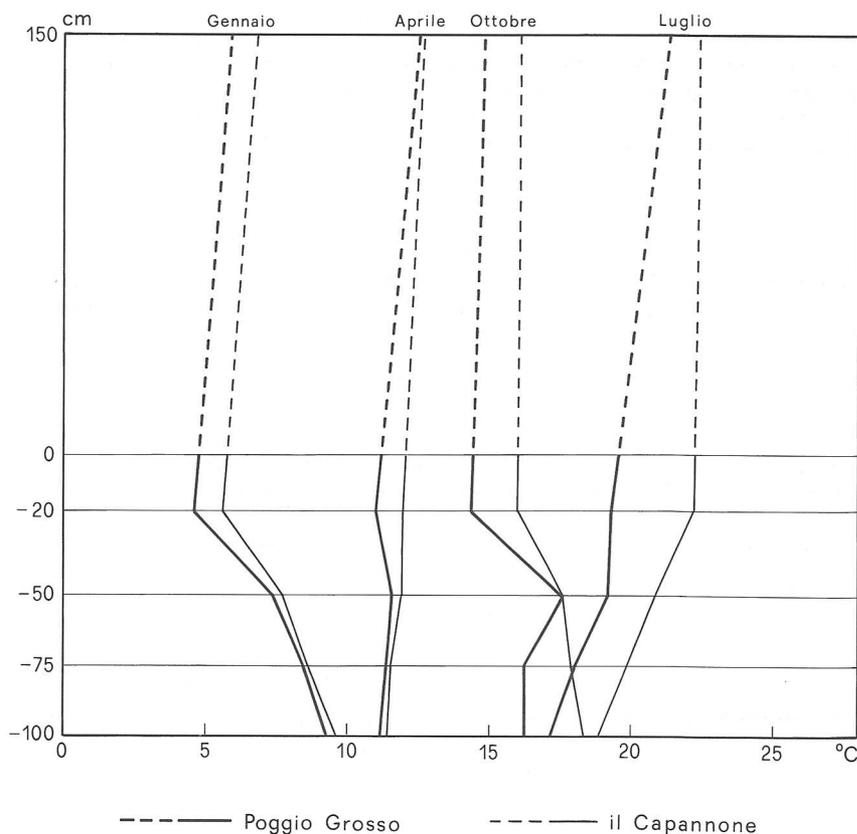


Fig. 7 - Termotautocrone dei mesi di gennaio, aprile, luglio e ottobre delle stazioni di Poggio Grosso e de il Capannone (1933-1934).

La capacità di intercettazione del soprassuolo vegetale, che secondo Horton (1919) equivale alla capacità di immagazzinamento (*storage capacity*) più la perdita per evaporazione durante l'evento piovoso, è variabile in funzione dell'habitus delle piante, della densità della copertura vegetale, del suo stato fenologico, del regime e dell'intensità delle piogge, della ventosità, delle 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 giunge al suolo per scorrimento lungo il tronco e quella rimessa in atmosfera per evaporazione sono di difficile misura. Tale problema riguarda solo la stazione di Poggio Grosso, dove il pluviometro era collocato sotto un fitto intreccio di chiome di *Pinus pinea*, mentre le piogge registrate a il Capannone non erano soggette in tal senso ad alcun disturbo (tab. 7).

Il rapporto tra le precipitazioni annue di Poggio Grosso e quelle de il Capannone, pari a 0,71, trova principale spiegazione nella presenza e nell'assenza delle copertura vegetale; tuttavia per una valutazione più realistica è opportuno considerare anche gli effetti indotti dalle loro diverse distanze dal mare e dal rilievo. La stazione interna al bosco dista dai primi contrafforti dei monti d'Oltre Serchio circa 7 chilometri, contro gli 1,8 chilometri della stazione di aperta campagna, mentre le rispettive distanze dal mare sono di 2 e di 7 chilometri. Tali posizioni relative dovrebbero determinare, per il primo aspetto, un impercettibile decremento delle precipitazioni, mentre per il secondo un loro modesto incremento. Tra le numerose relazioni empiriche che combinano i due effetti è stata utilizzata quella proposta dal Paladini (TONINI, 1959), dalla quale si ricava che le precipitazioni de il Capannone, rispetto a quelle di Poggio Grosso, dovrebbero essere più elevate di circa il 4% (1).

Per lo studio del regime idrico del bosco è necessario considerare sia la frazione gocciolata, sia quella che giunge al suolo per scorrimento lungo i tronchi. A questo proposito, dalle ricerche di Rapp & Ibrahim (1978), 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 2,3% delle piogge incidenti medie annue ha raggiunto il suolo

per scorrimento, il 70,1% per gocciolamento dalla chioma, il 27,6% è stato invece intercettato e restituito all'atmosfera per evaporazione; nel complesso solo il 72,4% delle precipitazioni annue incidenti ha raggiunto effettivamente il suolo. Lo studio della ripartizione delle diverse frazioni della pioggia sulla base dei singoli eventi ha condotto però gli Autori a valori con un elevato indice di dispersione, mentre l'analisi statistica riferita all'intero campione delle misure ha consentito di determinare le equazioni delle rette di regressione tra la pioggia incidente, la frazione gocciolata dalla chioma (a), quella di scorrimento lungo il tronco (b) e quella intercettata (c), che mostrano coefficienti di determinazione piuttosto elevati (RAPP & IBRAHIM, 1978; Basso, 1995):

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

$$P_{\text{di scorrimento}} = 0,0316 \cdot P_{\text{incidente}} - 0,2292 \quad r^2 = 0,808 \quad (b)$$

$$P_{\text{intercettata}} = 84,56 \cdot P_{\text{incidente}}^{-0,33} \quad (c)$$

Non disponendo degli afflussi incidenti di Poggio Grosso, necessari per un computo realistico del bilancio idrico-climatico della stazione, si è sottratto il 4% alle precipitazioni de il Capannone. Con tale valore (1015 mm), utilizzando le equazioni a, b, c, è stato possibile calcolare la frazione intercettata, quella gocciolata e quella che sarebbe giunta al suolo per scorrimento. I valori percentuali misurati del gocciolamento (74,0%) sono singolarmente simili a quelli calcolati (74,3%), dimostrando la sostanziale applicabilità delle relazioni indicate nonostante la diversa posizione geografica e le diverse condizioni climatiche delle stazioni di Petit-Saint-Jean e della Macchia di Migliarino. Aggiungendo all'afflusso misurato (751,6 mm) quello calcolato dello scorrimento lungo il tronco degli alberi (29,4 mm), si è potuta stimare la quantità complessiva di acqua giunta al suolo (*net rainfall*), che sarebbe ammontata a 781,0 mm, pari al 76,9% della pioggia incidente (Fig. 8). Un diverso frazionamento delle precipitazioni si verifica invece nelle zone coperte a *Quercus ilex*, essenza xerofila di habitus molto diverso da quello del pino domestico, ben rappresenta sui cotoni della Macchia di Migliarino che, secondo alcune ricerche

Tab. 7 - Precipitazioni medie mensili e annue (mm), numero dei giorni piovosi, intensità e regime delle precipitazioni, percentuale delle precipitazioni di Poggio Grosso rispetto a quelle de il Capannone (1934-1943).

Stazioni		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Media	Regime
Poggio Grosso	mm	67,1	52,8	59,2	66,8	66,4	45,6	16,3	27,6	70,7	110,1	83,8	85,2	751,6	AIPE
	g. p.	8,9	7,2	7,0	7,4	7,8	4,1	1,5	2,2	5,7	9,1	9,9	10,5	81,3	-
	mm/g.p.	7,5	7,4	8,5	9,0	8,5	11,1	10,9	12,5	12,4	12,2	7,2	8,1	9,2	-
il Capannone	mm	97,2	73,7	87,7	89,0	94,8	59,0	17,9	51,1	98,9	153,2	122,2	112,6	1057,3	AIPE
	g. p.	9,7	8,6	8,5	8,5	9,9	5,1	2,0	2,5	7,8	11,5	12,0	11,5	97,6	-
	mm/g.p.	10,0	8,6	10,3	10,5	9,6	11,6	9,0	20,4	12,7	13,3	10,2	9,8	10,8	-
Pogg./Capann.	%	69,0	71,6	67,5	75,1	70,0	77,3	91,1	54,0	71,5	71,9	68,7	75,7	71,1	-

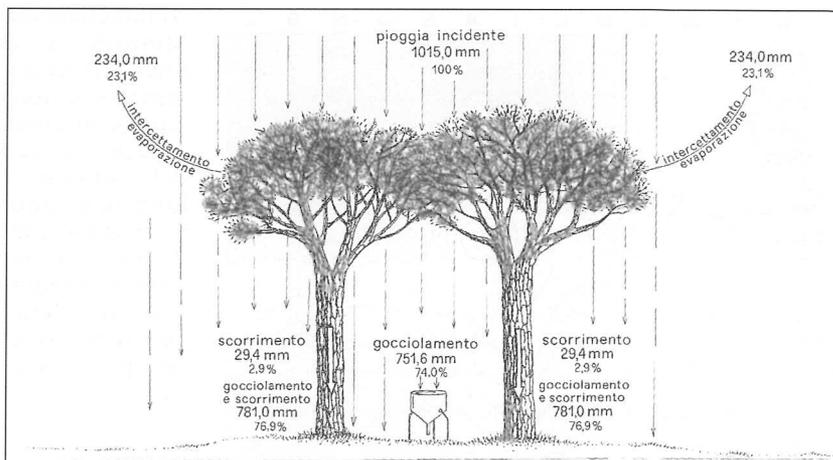


Fig. 8 - Schema della ripartizione delle precipitazioni incidenti nella stazione di Poggio Grosso.

(ETTEHAD, LOSSAINT & RAPP, 1973), determinerebbe invece un intercettazione delle piogge incidenti del 31,3%, un gocciolamento del 65,2% e uno scorrimento del 4,5%. Le essenze latifoglie caducifoglie, com'è evidente, presentano una capacità stagionale di intercettazione molto differenziata, in relazione allo stato della copertura fogliare (BASSO, 1995).

Una considerazione particolare merita il confronto tra il numero dei giorni piovosi registrati nelle due località, che passano dagli 81,3 giorni di Poggio Grosso ai 97,6 de il Capannone. Anche per spiegare questa differenza si può invocare «l'effetto posizione», tuttavia la differenza media di ben 16,3 giorni all'anno deve essere attribuita in modo preponderante all'azione di intercettazione esercitata dal bosco, specialmente sulle precipitazioni di bassa intensità che, soprattutto nella stagione estiva, quando l'evaporazione è più elevata, in molti casi non riescono ad attraversare le chiome degli alberi.

quelle di Poggio Grosso: rispettivamente 377 mm (ottobre 1935) e 200 mm (settembre 1937). Lo stesso andamento si è osservato per le precipitazioni di un giorno, che a il Capannone hanno raggiunto il valore massimo di 234,0 mm (15 agosto 1935) e a Poggio Grosso quello di 100,8 mm (11 settembre 1937).

Il regime delle precipitazioni, in entrambe le stazioni, è stato di tipo *submediterraneo* (AIPE), con una sensibile prevalenza delle precipitazioni autunnali su quelle invernali e una netta siccità estiva.

L'UMIDITÀ RELATIVA DELL'ARIA

Nelle zone costiere l'umidità relativa dell'aria presenta generalmente un solo minimo e un solo massimo diurno e una escursione non elevata. Sul Litorale Pisano-Versiliese i valori massimi si verificano nel-

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

Stazioni		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Poggio Grosso	min	31 ('35)	10 ('39)	3 ('38)	7 ('40)	26 ('37)	1 ('35)	1 ('35)	0 ('42)	8 ('35)	27 ('33)	31 ('42)	13 ('40)
	max	132 ('41)	159 ('41)	144 ('37)	133 ('36)	126 ('41)	112 ('40)	49 ('41)	174 ('35)	200 ('37)	262 ('35)	148 ('34)	166 ('42)
	gior.	25 ('37)	30 ('34)	24 ('34)	46 ('36)	30 ('40)	45 ('36)	31 ('40)	100 ('35)	101 ('37)	90 ('35)	53 ('39)	33 ('37)
il Capannone	min	45 ('40)	17 ('38)	5 ('38)	11 ('40)	42 ('37)	2 ('35)	1 ('35)	0 ('42)	24 ('35)	47 ('41)	41 ('42)	18 ('40)
	max	169 ('41)	195 ('41)	264 ('37)	200 ('36)	168 ('39)	177 ('40)	44 ('40)	334 ('35)	296 ('37)	377 ('35)	209 ('34)	190 ('37)
	gior.	36 ('37)	34 ('41)	45 ('37)	65 ('36)	34 ('40)	79 ('40)	43 ('40)	234 ('35)	171 ('37)	172 ('35)	76 ('40)	51 ('37)

Le precipitazioni estreme, e in specie quelle massime mensili e diurne (Tab. 8), presentano un elevato interesse applicativo, poiché sono responsabili dei fenomeni di erosione del suolo e degli allagamenti cui vanno soggette le aree di pianura. Con la sola eccezione del mese di luglio, le precipitazioni massime mensili de il Capannone sono state maggiori di

le prime ore della mattina, mentre quelli minimi, con modeste differenze orarie tra i mesi caldi e quelli freddi, nelle ore centrali del giorno (Fig. 9).

I valori minimi dell'umidità relativa si registrano in tutti i mesi a il Capannone, mentre quelli massimi non presentano significative differenze tra le due stazioni: ne consegue una moderata maggiore umi-

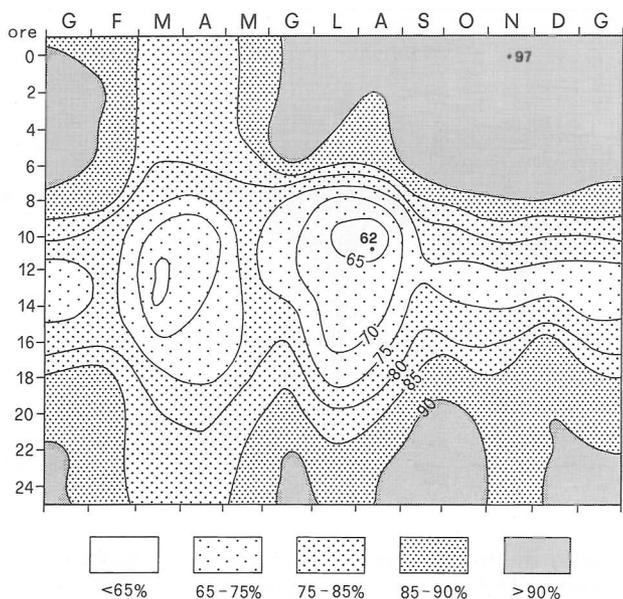


Fig. 9 - Igroisoplete della Foce del Fiume Morto Nuovo - Tenuta di S. Rossore (1975-1976) (da Rapetti, 1996).

Nella tenuta di S. Rossore, presso la foce del Fiume Morto Nuovo, non lontana dall'area in studio, il regime dei venti appare fortemente polarizzato: nel semestre caldo prevalgono i venti del III quadrante, mentre in quello freddo i venti del II quadrante. La velocità del vento non varia sensibilmente nel corso delle stagioni, poiché oscilla da un minimo di 10,9 km/h in autunno a un massimo di 11,7 km/h in inverno. I valori più elevati spettano ai venti del III quadrante, e in particolare all'WSW, che raggiunge la velocità media ponderata di 18,1 km/h.

Una considerazione particolare meritano le brezze, che nelle ore centrali dei giorni più caldi svolgono una positiva azione bioclimatica di refrigerazione. Le condizioni per l'instaurarsi della brezza di mare sono presenti durante tutto il corso dell'anno, ma la sua maggiore frequenza si osserva nei mesi estivi (59,8%); seguono l'autunno (40,7%), la primavera (35,9%) e l'inverno (13,3%). In luglio, ad esempio, la brezza di mare inizia in media alle ore nove e si protrae fino alle ventiquattro, raggiungendo velocità medie di circa 14 km/h verso le ore diciotto, mentre in gennaio le ore di inizio e di fine cadono rispettivamente intorno alle tredici e alle venti (Rapetti & Vittorini, 1978).

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
Poggio Grosso	min	45	41	39	44	46	46	45	46	49	49	53	50	41
	max	92	94	94	95	94	95	94	96	94	94	93	95	94
	med	68	67	67	69	70	70	70	71	71	71	73	72	70
il Capannone	min	34	30	30	35	37	37	32	28	45	43	44	41	36
	max	95	95	95	94	93	92	93	93	93	95	95	97	94
	med	65	62	62	65	65	65	62	61	69	69	69	69	65

dità relativa della stazione interna al bosco, nei valori medi pari ad appena il 5% (Tab. 9).

IL VENTO

Negli ultimi decenni il regime anemologico del Litorale Pisano-Versiliese è stato studiato solo per periodi molto brevi, mentre la conoscenza approfondita di questo elemento meteorologico, che è di grande interesse per la gestione a fini conservativi dell'ambiente naturale, richiede osservazioni di lungo periodo. Tra gli effetti principali del vento è opportuno considerarne l'azione sull'ondazione, che ha influenza sull'erosione della costa (RAPETTI & VITTORINI, 1974), oppure sulla formazione degli aerosol marini, che condizionano lo stato di salute delle pinete litoranee esposte ai venti di mare (LAPUCCI, GELLINI & PAIERO, 1972).

Le velocità misurate all'interno del bosco sono estremamente ridotte rispetto a quelle dell'aperta campagna, secondo il rapporto medio di 1:5, quello massimo e minimo rispettivamente di 1: 7,7 registrato in novembre e di 1: 3,7 in maggio. Stesse conclusioni si raggiungono considerando la distribuzione di 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 al bosco non si è verificato nessun giorno con velocità superiore a 15 km/h, mentre a il Capannone il numero medio dei giorni all'anno della seconda e della terza classe di velocità è stato rispettivamente di 32 e di 15 (Tab. 10).

L'EVAPORAZIONE

L'evaporazione dalla superficie del terreno è regolata dal rapporto tra la tensione di vapore dell'acqua

Tab. 10 - Velocità del vento (km/h) a Poggio Grosso e a il Capannone (1933-1943).

Stazioni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Media
Poggio Grosso	0,51	0,51	0,53	0,54	0,58	0,49	0,45	0,46	0,40	0,43	0,39	0,59	0,49
il Capannone	3,36	2,88	2,59	2,48	2,12	2,06	1,91	1,89	2,05	2,33	3,00	2,87	2,46
Rapporto	6,6	5,6	4,9	3,9	3,7	4,2	4,2	4,1	5,1	5,4	7,7	4,9	5,0

nell'atmosfera e quella nei meati del suolo, funzioni della temperatura del suolo, di quella dell'aria, della velocità del vento e dalla pressione atmosferica.

Per la misura di questo parametro le stazioni meteorologiche erano munite di un evaporimetro di progettazione della Sezione Autonoma del Genio Civile di Firenze: si trattava di un apparecchio a lettura diretta che, esposto alla libera atmosfera, forniva valori dell'evaporazione in unità relative (Tab. 11). È opportuno considerare che le misure di evaporazione, qualunque sia l'apparecchio utilizzato, non rappresentano un indice diretto dell'evaporazione del suolo, poiché le caratteristiche fisiche della superficie evaporante sono diverse da quelle reali, come diversa è la velocità di risalita capillare nel mezzo naturale e nell'elemento evaporante dell'apparecchio (2).

metri fondamentali del bilancio sono costituiti dall'*evapotraspirazione potenziale (EP)*, dall'*evapotraspirazione reale (AE)*, dal *deficit (D)* e dall'*eccedenza idrica (S)*, dimensionalmente omogenei poiché tutti misurati in millimetri. Altre relazioni proposte dagli Autori consentono di determinare l'*indice di umidità (I_n)*, quello di *aridità (I_a)* e l'*indice di umidità globale (I_m)* (moisture index). I valori positivi dell'indice di umidità globale indicano un bilancio idrico-climatico positivo, con valori del surplus maggiori di quelli del deficit (climi umidi), mentre il contrario accade per i valori negativi (climi aridi). Altro elemento fondamentale per lo sviluppo del bilancio è la *riserva idrica del suolo (ST)*, che indica la massima quantità di acqua suscettibile di essere trasformata in vapore che il suolo può contenere (3): per le stazioni di

Tab. 11 - Valori relativi dell'evaporazione a Poggio Grosso e a il Capannone (1933-1943).

Stazioni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Poggio Grosso	43	41	69	76	81	96	152	148	99	48	26	22	901
il Capannone	89	110	140	177	206	229	314	313	215	122	107	75	2094
Rapporto	2,1	2,7	2,0	2,3	2,5	2,4	2,1	2,1	2,2	2,5	4,0	3,4	2,3

Il rapporto tra i valori de il Capannone e quelli di Poggio Grosso, pari a 1:2,3, si giustifica con la minore radiazione solare, la minore ventosità e la maggiore umidità degli strati di aria a contatto del suolo della stazione posta all'interno del bosco.

IL BILANCIO IDRICO-CLIMATICO

Per superare i limiti del sistema di classificazione di Köppen (1936), non idoneo a discriminare climi locali poco dissimili, come sono quelli di Poggio Grosso e de il Capannone, è opportuno fare ricorso a sistemi con un maggiore potere di definizione. Per il suo carattere quantitativo, e la relativa facilità di impiego, è stato utilizzato quello proposto da Thornthwaite (1948) e perfezionato da Thornthwaite & Mather (1957). Con opportuni sviluppi di calcolo, applicati alle temperature e alle precipitazioni mensili, si è potuto determinare il bilancio idrico-climatico delle due stazioni e le relative formule climatiche. I para-

Poggio Grosso e de il Capannone i valori scelti sono stati rispettivamente di 300 e 150 mm.

Nella stazione di Poggio Grosso l'evapotraspirazione potenziale, che rappresenta la quantità di acqua che in date condizioni climatiche evapotraspirerebbe dal complesso suolo-vegetazione se il suolo fosse costantemente saturo, ha raggiunto il valore medio di 781,0 mm/anno, mentre gli estremi si sono verificati in gennaio (13,3 mm) e in luglio (130,0 mm). L'evapotraspirazione reale è stata di 637,1 mm; il deficit è iniziato a maggio 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 107,1 mm di acqua, corrispondente a 1071 m³/ha (Fig. 10). Il deficit più elevato è stato registrato in agosto con 48,8 mm, che rappresenta il 45,6% di quello annuo (Tab. 12). Il surplus, ammontato a 143,9 mm, si è verificato invece da novembre a maggio, ed è andato ad alimentare il deflusso sotterraneo e quello superficiale, in questo ambiente responsabili degli accumuli di acqua nelle lame.

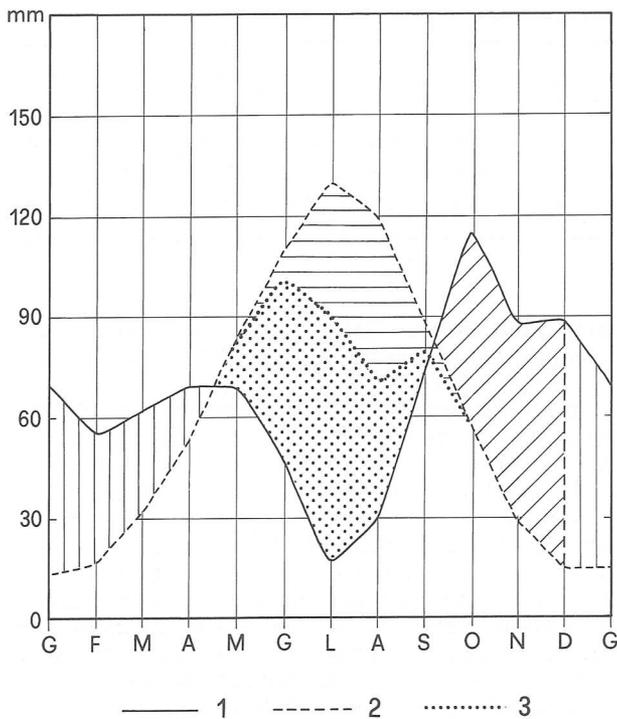


Fig. 10 - Diagramma del bilancio idrico-climatico di Poggio Grosso (1933-1943). 1- precipitazioni; 2 - evapotraspirazione potenziale; 3 - evapotraspirazione reale. Tratteggio verticale: surplus; tratteggio obliquo: ricostituzione della riserva; tratteggio orizzontale: deficit.

denti a 1276 m³/ha. Il deficit più elevato si è registrato in luglio con 61,7 mm, pari al 48,4% di quello annuo. Il surplus, che è ammontato a 408,5 mm, è stato presente nei mesi da novembre a maggio (Tab. 13, Fig. 11).

Il confronto tra i parametri più significativi del bilancio idrico-climatico indica che le differenze più marcate tra le stazioni riguardano le precipitazioni, il surplus, l'indice di umidità e l'indice di umidità globale, mentre di modesta entità sono gli scarti dell'evapotraspirazione potenziale, di quella reale, dell'indice di aridità e della concentrazione estiva dell'efficienza termica (CEET). Un particolare interesse deve essere rivolto all'indice di umidità globale, che ha valori medi rispettivamente di 4,9 a Poggio Grosso e di 36,2 al Capannone poiché, come si è osservato, esso costituisce l'elemento più significativo della classificazione dei climi di Thornthwaite e di Mather. L'andamento di questo indice nella Pianura di Pisa, lungo il Litorale Pisano-Versiliese, sulle propaggini meridionali del Massiccio Apuano e sul Monte Pisano, mostra un limite ben definito in corrispondenza del corso dell'Arno: a Sud del fiume prevalgono i climi della classe C, da subumido (C₂) a subarido (C₁), mentre a Nord quelli della classe B, da B₁ a B₄ (climi umidi) (Fig. 12). La distribuzione dei climi della classe B nella parte nord-occidentale della Toscana è senz'altro legata alla presenza del Massiccio Apuano, che determina un imponente effetto orografico, con punte di piovosità molto elevate nelle aree cacuminali, in alcuni anni superiori ai 4000 mm (Rapetti & Rapetti, 1996).

Tab. 12 - Bilancio idrico-climatico di Poggio Grosso secondo Thornthwaite & Mather (1933-1943).

ST = 300 mm													
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T	5,9°	6,9°	9,3°	12,5°	15,8°	19,0°	21,4°	21,3°	19,1°	14,9°	10,2°	6,6°	13,6°
P	69,8	54,8	61,6	69,3	69,1	47,2	16,6	28,9	73,5	114,5	87,3	88,4	781,0
EP	13,3	16,5	31,6	52,6	83,0	109,2	130,0	119,3	88,7	57,2	28,3	14,6	744,2
ST	300,0	300,0	300,0	300,0	286,5	233,0	159,6	118,1	112,3	169,6	228,7	300,0	
AE	13,3	16,5	31,6	52,6	82,6	100,7	90,0	70,4	79,3	57,2	28,3	14,6	637,1
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	8,5	40,1	48,8	9,4	0,0	0,0	0,0	107,1
S	56,5	38,3	30,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	143,9
RO	28,9	33,6	31,8	24,2	12,1	6,1	3,0	1,5	0,8	0,4	0,2	1,3	143,9

Nella stazione di Capannone l'evapotraspirazione media è stata di 776,4 mm/anno, mentre gli estremi, che si sono verificati in gennaio e in luglio, sono stati rispettivamente di 14,2 e 136,3 mm. L'evapotraspirazione reale è stata di 648,8 mm; il deficit è iniziato a giugno e si è protratto fino a settembre, mentre il suo regime ha indicato che in questi mesi per ripristinare le condizioni di massima umidità edafica sarebbe servito un apporto di 127,6 mm, corrispon-

Come si rileva, l'effetto del bosco sul bilancio idrico-climatico è così sensibile da spostare il valore dell'indice di umidità globale di Poggio Grosso dalla classe B ($I_m > 20$), propria del mesoclima dell'area, a un valore corrispondente alla classe C₂ ($0 < I_m < 20$). A questo andamento concorrono le temperature e le precipitazioni del bosco, queste ultime con un effetto preponderante. Le due località, come appare in tabella 14, hanno la seguente formula climatica (4):

Tab. 13 - Bilancio idrico-climatico de il Capannone secondo Thornthwaite & Mather (1933-1943).

ST = 150 mm													
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
T	6,8°	8,0°	10,2°	12,7°	16,1°	20,0°	22,4°	22,5°	20,3°	16,1°	11,6°	7,9°	14,6°
P	97,2	73,7	87,7	89,0	94,8	59,0	17,9	51,1	98,9	153,2	122,2	112,6	1057,3
EP	14,2	18,1	32,9	50,2	81,2	114,1	136,3	126,7	94,1	60,7	31,3	16,7	776,4
ST	150,0	150,0	150,0	150,0	150,0	103,9	47,2	28,5	33,3	125,8	150,0	150,0	-
AE	14,2	18,1	32,9	50,2	81,2	105,1	74,6	69,8	94,1	60,7	31,3	16,7	648,8
D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	61,7	56,9	0,0	0,0	0,0	0,0	127,6
S	83,0	55,6	54,8	38,8	13,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,8	95,9	408,5
RO	73,9	64,7	59,8	49,3	31,5	15,7	7,9	3,9	2,0	1,0	33,9	64,9	408,5

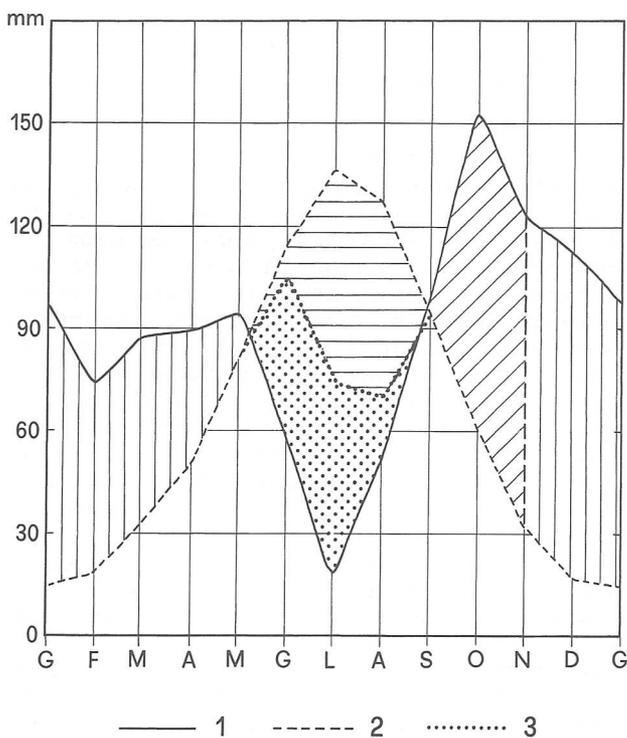


Fig. 11 - Diagramma del bilancio idrico-climatico de il Capannone (1933-1943).

– Poggio Grosso: $C_2B'_2r b'_4$ clima subumido, del secondo mesotermico, con piccolo deficit idrico e bassa concentrazione estiva dell'efficienza termica;
 – il Capannone: $B_1B'_2r b'_4$ clima umido, del secondo mesotermico, con piccolo deficit idrico e bassa concentrazione dell'efficienza termica.

Tali bilanci rappresentano tuttavia la media del periodo, mentre per analizzare il reale andamento dell'umidità del suolo è opportuno considerare i loro valori annui estremi, che si sono registrati nel 1933

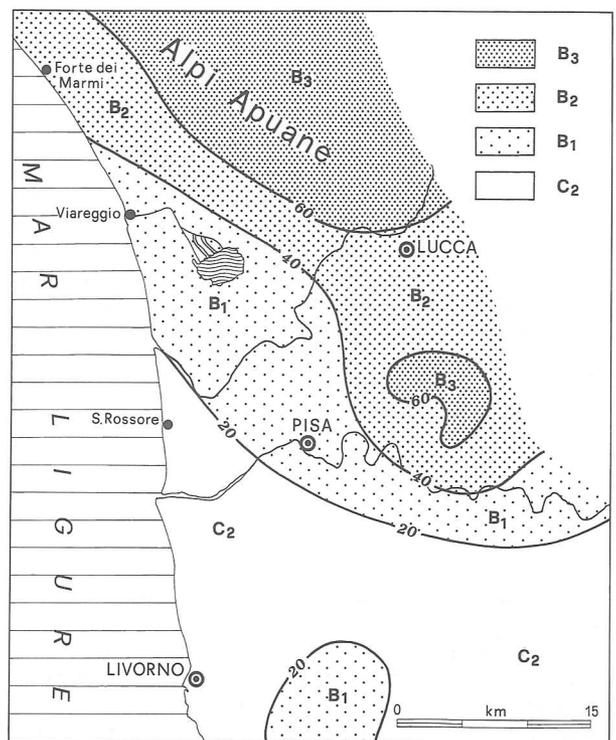


Fig. 12 - Tipi di clima del Litorale Pisano-Versiliense, del M. Pisano e del Massiccio Apuano secondo l'indice di umidità globale (da Rapetti, Tomei & Vittorini, 1986).

(anno di massima aridità) e nel 1937 (anno di massima umidità) (tab. 15).

Negli anni estremi l' I_m di Poggio Grosso ha oscillato tra -30,8 e 36,5, rispettivamente corrispondenti al tipo C_1 (subarido) e al tipo B_1 (subumido). Nell'anno di massima aridità il deficit (230,8 mm) si è protratto da aprile a ottobre, mentre in nessun mese si è avuto surplus, potendosi così ipotizzare che nelle lame, nel corso del 1933, non si sia verificato alcun ristagno di acqua; nell'anno di massima umidità il surplus

Tab. 14 - Quadro riassuntivo dei parametri del bilancio idrico-climatico di Poggio Grosso e de il Capannone secondo Thornthwaite & Mather (1933-1943).

Stazione	P	PE	AE	D	S	I _h	I _a	I _m	CEET	Formula climatica
Poggio Grosso	781,0	744,2	637,1	107,1	143,9	19,3	14,4	4,9	48,2	C ₂ B' ₂ r b' ₄
il Capannone	1057,3	776,4	648,8	127,6	408,5	52,6	16,4	36,2	48,6	B ₁ B' ₂ r b' ₄

Tab. 15 - Elementi caratteristici del bilancio idrico-climatico degli anni estremi (1933 e 1937).

Stazione	Anno	P	PE	AE	D	S	I _h	I _a	I _m	CEET	Formula climatica
Poggio Grosso	1933	517,7	748,5	517,7	230,8	0,0	0,0	30,8	-30,8	47,7	C ₁ B' ₂ d a'
	1937	1043,6	764,7	656,9	107,8	386,7	50,6	14,1	36,5	48,9	B ₁ B' ₂ r b' ₄
il Capannone	1933	779,4	772,2	535,2	237,0	244,2	31,6	30,7	0,9	47,9	C ₂ B' ₂ s a'
	1937	1575,0	764,7	632,9	131,8	942,1	123,2	17,2	106,0	48,9	A B' ₂ s b' ₄

(386,7 mm) è durato invece da novembre ad aprile. Nella stazione de il Capannone l'I_m ha oscillato da 0,9 a 106,0, rispettivamente corrispondenti al tipo C₂ (subumido) e al tipo A (perumido). Nell'anno di massima umidità l'indice ha raggiunto un valore così elevato da potersi riscontrare nel versante tirrenico dell'Appennino Settentrionale solo oltre i 450 m di altitudine (Rapetti & Vittorini, 1989). In quell'anno il surplus (942,1 mm) si è protratto da settembre ad aprile, mentre il deficit è stato presente solo nei mesi da giugno ad agosto.

CONCLUSIONI

L'analisi dei numerosi elementi meteorologici considerati permette di definire con sufficiente precisione le caratteristiche climatiche di Poggio Grosso e de il Capannone, e di conseguenza l'effetto climatico determinato dalla Macchia di Migliarino.

Riguardo all'entità delle differenza termiche medie dell'aria, che è stata pari a 1,0° C, si può osservare che essa è tutt'altro che trascurabile: l'effetto termico della Macchia di Migliarino è infatti paragonabile a quello che, lungo la fascia costiera toscana, è determinato da una variazione di latitudine di 1°10', oppure da una variazione di altitudine di 175 m sui primi contrafforti dell'Appennino Settentrionale (RAPETTI & VITTORINI, 1996).

Tuttavia le differenze più marcate tra la stazione interna al bosco e quella di piena campagna, a causa del potere di intercettazione della vegetazione, riguardano le precipitazioni che giungono effettivamente al suolo. Gli apparati del soprassuolo boschivo di Poggio Grosso intercettano infatti una quantità di pioggia pari al 23,1% di quella incidente, che viene restituita all'atmosfera per evaporazione, e quindi sottratta al bilancio idrologico. Questo fatto ha un riflesso diretto e importante sull'umidità del suolo dell'area boschiva, compensato solo in piccola parte dalla minore evapotraspirazione potenziale. Il diverso regime idrico del suolo è opportunamente indicato dai valori del surplus, che a Poggio Grosso ammonta a 143,9 mm, mentre in piena campagna a 408,5 mm medi annui.

Effetti meteorologici rilevanti si registrano sulla velocità del vento, che all'interno del bosco è 1/5 di quella in piena campagna, e sull'evaporazione, mentre minori differenze tra i due ambienti si osservano per l'umidità relativa dell'aria, più elevata all'interno del bosco appena del 5%.

Allo scopo di svolgere un ulteriore confronto si sono applicati altri indici climatici, come quelli di aridità di De Martonne (1941) (5), l'indice di marittimità e di continentalità di Ivanow (6), l'indice di termicità di Rivas-Martinez (1995) (7), che sono stati confrontati con le formule di Thornthwaite-Mather e di Köppen (Tab. 16):

Tab. 16- Confronto tra alcune formule e indici climatici delle stazioni di Poggio Grosso e de il Capannone (1933-1943).

Stazioni	Thornthwaite	Köppen	De Martonne	Ivanow	Ind. termicità
Poggio Grosso	C ₂ B' ₂ r b' ₄	Csb	26,3	108,4	253
il Capannone	B ₁ B' ₂ r b' ₄	Csa	33,3	119,2	282

Tutti gli indicatori confermano la maggiore aridità della stazione interna al bosco, la sua minore temperatura estiva, indicata dalla lettera b nella formula di Köppen (8), la maggiore intensità del freddo in gennaio, che in quest'area rappresenta il mese con le temperature più basse, e un grado di continentalità più attenuato.

Le considerazioni svolte circa la ripartizione delle precipitazioni nel bosco consentono infine di accennare all'azione antierosiva e di regimazione dei soprassuoli forestali. Tali azioni, com'è noto, si esercitano essenzialmente con i seguenti meccanismi (PANIZZA, 1988):

- la presenza del bosco riduce la quantità di acqua che giunge al suolo rispetto a quella intercettata da una equivalente superficie nuda, di una quantità variabile in relazione alle essenze forestali presenti, al loro stato fenologico, al regime e all'intensità delle precipitazioni, comunque generalmente non inferiore al 20% della pioggia incidente; dalle ricerche svolte da alcuni Autori risulta inoltre che nei popolamenti di *Pinus pinea* il gocciolamento ha inizio con piogge incidenti maggiori di 2 mm, mentre lo scorrimento lungo il tronco si verifica solo per afflussi maggiori di 7 mm (RAPP & IBRAHIM, 1978);
- la distribuzione dell'energia cinetica della pioggia incidente viene modificata nell'impatto con gli apparati fogliari, poiché essi determinano lo smorzamento della velocità e la suddivisione delle gocce di maggiori dimensioni, più ricche di energia, in unità più piccole;

- il gocciolamento dalle chiome e lo scorrimento dell'acqua lungo i rami e il tronco degli alberi determinano un allungamento dei tempi di «corrivazione» degli afflussi verso il suolo, con una riduzione indiretta dell'intensità delle precipitazioni.

NOTE

- (1) La relazione empirica del Paladini ha la seguente forma:

$$P_{(h)} = P_{(h_0)} + (h - h_0) - (d - d_0) - 8,5 (d' - d'_0)$$
dove $P_{(h)}$ e $P_{(h_0)}$ sono le precipitazioni medie annue delle due località (in millimetri), le cui altitudini sono rispettivamente h e h_0 (in metri), mentre d' e d'_0 le distanze dalla retrostante cresta più elevata dei monti spartiacque (in chilometri). La validità di questa relazione è compresa nel campo di $h - h_0 \leq 300$ m; $d - d_0$ e $d - d'_0 \leq 100$ km.
- (2) L'evaporimetro era costituito da una base di calcestruzzo, nella quale erano annegate due vaschette in alluminio, collegate fra loro con un tubo dello stesso metallo. Una delle due vaschette era coperta da un disco evaporante di terracotta porosa, mentre l'altra era rifornita di acqua da un serbatoio di alimentazione. Un opportuno dispositivo manteneva costantemente il livello dell'acqua cinque millimetri sotto il piano del disco poroso. La quantità di acqua evaporata era misurata dalla diminuzione di livello del serbatoio di alimentazione.
- (3) La capacità idrica del suolo dipende dalla sua natura e dalla sua struttura, dal tipo e dallo stadio di maturità della vegetazione presente. Questo parametro può essere stimato da una apposita tabella elaborata da Thornthwaite & Mather (1957). Un suolo sabbioso, ad esempio, in uno spessore di 30 cm tratterrà da 10 a 20 mm di acqua, mentre un suolo limoso-argilloso, nello stesso spessore, potrà trattenere 100 o più millimetri di acqua. I valori estremi della capacità idrica del suolo sono compresi tra i 50 mm

(suolo sabbioso coltivato con piante a radici corte) e i 400 mm (terriccio argilloso coperto da macchia fitta matura) (THORNTHWAITE & MATHER, 1957).

(4) La formula climatica di Thornthwaite si compone di quattro lettere: la prima rappresenta l'indice di umidità globale (I_m), la seconda l'evapotraspirazione potenziale (EP), la terza l'indice di aridità o di umidità (I_a, I_h), la quarta la concentrazione estiva dell'efficienza termica (CEET).

(5) Nella formula climatica Csb (clima mesotermico con siccità estiva) la lettera b indica che la temperatura media del mese più caldo è minore di 22 °C.

(6) Indice di aridità di De Martonne: $A = [(P/T + 10) + (12p/t + 10)]$; 2, in cui P sono le precipitazioni annue, p le precipitazioni del mese più arido, T la temperatura media annua, t la temperatura media del mese più arido. I gradi di umidità sono classificati con la seguente scala: 0-5 (arido estremo); 5-15 (arido); 15-20 (semiarido); 20-30 (subumido); 30-60 (umido); > 60 (perumido).

(7) Indice di continentalità di Ivanow: $Ic = (Ea + Eg + 0,25 D/0,36 \phi + 14) \cdot 100$, in cui Ea è l'escursione termica annua; Eg l'escursione media giornaliera; D il complemento a 100 dell'umidità relativa dell'aria; ϕ la latitudine; il numero 14 un coefficiente empirico di correzione. La scala comprende i valori: $47 < Ic > 214$ %, da estremamente oceanico a estremamente continentale. Le due stazioni ricadono nel grado «debolmente continentale» ($121 < I > 101$ %).

(8) Indice di termicità di Rivas-Martinez: $It = 10 \cdot (T + m + M)$, in cui T è la temperatura media annua, m la temperatura media delle minime del mese più freddo, M la temperatura media delle massime del mese più freddo.

BIBLIOGRAFIA

- BASSO F. (1995). Difesa del suolo e tutela dell'ambiente. Bologna, Pitagora Editrice: 486.
- BRUNT D. (1932). Notes on Radiation in the Atmosphere. Quart. J. Roy. Met. Soc., **58**: 389-420.
- 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. XIII: 47.
- HORTON R.E. (1919). Rainfall interception. *Mon. Weather Rev.*, **47**: 603-623.
- Köppen W. (1936). Das Geographische System der Klimate. In vol. di W. Köppen e R. Geiger, «Handbuch der Klimatologie», Bd 1, Teil C, Berlin.
- LAPUCCI P.L., GELLINI R. & PAIERO P. (1972). Contaminazione chimica dell'acqua di mare quale causa di moria di pini lungo le coste tirreniche. *Ann. Acc. ital. Sci. for.*, **21**: 323-358.
- 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.
- PANIZZA M. (1988). *Geomorfologia Applicata*. Urbino, Arti Grafiche Editoriali: 342.
- PINNA M. & GAZZOLO T. (1969). La distribuzione della temperatura in Italia nel trentennio 1926-1955. In: Min. LL. PP., Servizio Idrografico, Pubbl. n. 21, II Ed., Fasc. IV, Roma, 116.
- RAPETTI C. & RAPETTI F. (1996). L'evento pluviometrico eccezionale del 19 giugno 1966 in alta Versilia (Toscana) nel quadro delle precipitazioni delle Alpi Apuane. *Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie A*, **103**: 143-159.
- RAPETTI F. & VITTORINI S. (1974). Osservazioni sulle variazioni dell'ala destra del delta dell'Arno. *Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem. Serie A*, **81**: 25-88.
- RAPETTI F. & VITTORINI S. (1978). Osservazioni sul clima del Litorale Pisano. *Riv. geogr. it.*, **85**: 1-26.

- RAPETTI F. & VITTORINI S. (1986). L'episodio di gelo del gennaio 1985 in Toscana con particolare riguardo alla bassa valle dell'Arno. Riv. geogr. it., **93**: 437-447.
- RAPETTI F. & VITTORINI S. (1989). I tipi climatici secondo Thornthwaite nell'Appennino Tosco-Emiliano lungo l'allineamento Livorno-M. Cimone-Modena. Riv. geogr. it., **96**, 2:241-251.
- RAPETTI F. & VITTORINI, S. (1996). Il clima d'Italia. I - Lineamenti climatici della Toscana. Suppl. Geogr. fis. dinam. Quat., **III**: 5-41.
- RAPETTI F., TOMEI P. E. & VITTORINI S. (1986). Aspetti climatici del Lago di Massaciuccoli in rapporto alla presenza di entità vegetali di rilevanza fitogeografica. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Ser. A, **93**: 221-233.
- RIVAS-MARTINEZ S. (1995). Clasificación bioclimática de la Tierra. Folia Botanica Madritensis, **16**: 1-25.
- RAPP M. & IBRAHIM M. (1978). Égouttement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement de Pinus pinaster L.. Oecol. Plantarum, **13**, 4: 321-330.
- 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.
- TOMEI P.E. (1982). Le zone umide della Toscana: stato attuale delle conoscenze geobotaniche e prospettive di salvaguardia. Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie B, **89**: 345-361.
- TONINI D. (1959). Elementi di idrologia ed idrogeologia. Vol. I, Libreria Universitaria Venezia: 603.

(ms. pres. il 13 dicembre 1997; ult. bozze il 3 dicembre 1998)