

F. RAPETTI (*)

IL MICROCLIMA TERMICO DELL'ARENILE DI SAN ROSSORE (PISA)

Riassunto — Viene studiato il microclima termico dell'arenile di San Rossore (anno 1978), sulla base dei valori della temperatura registrati in una stazione meteorologica installata presso la foce del Fiume Morto Nuovo. Si analizza la temperatura dell'aria, quella della sabbia in superficie, a 5, 40 e 80 centimetri di profondità.

Lo studio della temperatura dell'aria consente di classificare il clima termico di San Rossore nel tipo temperato-caldo (derivato da Köppen). Un dato di rilevante interesse bioclimatico è costituito dal valore ridotto dell'escursione annua (13,3°C), che indica condizioni termiche particolarmente miti.

Dallo studio della temperatura della superficie della sabbia emergono valori molto elevati delle temperature massime (52,8°C), dell'escursione giornaliera (valore massimo 36,0°C) e dell'escursione annua. Al contrario, l'andamento della temperatura dei livelli più profondi, è caratterizzato da una modestissima escursione diurna (valore massimo rispettivamente 3,0° e 0,8°C); inoltre le temperature minime assolute in questi due livelli di suolo, pari a 6,0° e 8,9°C, sono nettamente superiori a quelle registrate nell'aria e alla superficie della sabbia.

Da queste considerazioni si rileva che le condizioni termiche dell'aria differiscono in modo molto rilevante da quelle della sabbia in superficie e alle varie profondità.

Summary — *The thermic microclimate of San Rossore sand (Pisa)*. This is a research study of the thermic microclimate of San Rossore sand based on the data recorded in meteorological station situated near the mouth of the Morto Nuovo River. The air temperature, that of the surface sand and that of the depths: 5, 40, 80 cm have been analyzed.

The study of the air temperature allows us to place the thermic climate of San Rossore in the temperate-hot type (derived from Köppen).

A data of remarkable bioclimatic interest is constituted by the very low value of the annual excursion (13,3°C), which indicates particularly mild thermic conditions.

The study of the temperature of the surface sand shows the very high values of the maximum temperatures (52,8°C), of the daily (value maximum 36,0°C) and annual excursion. On the contrary the temperature course of the lower levels is characterized by a minimum daily excursion (value maximum respectively 3,0° and 0,8°); besides the absolute minimum temperatures, that is 6,0° and 8,9°C, in these

(*) Istituto di Scienze Geografiche. Università di Pisa.

two levels of the soil are clearly higher than those registered in the air and on the surface sand.

It can be finally observed that the thermic conditions of the air differ remarkably from those of the sand at different depths.

Key words: — Microclimatology.

INTRODUZIONE

L'arenile e la macchia litoranea di San Rossore, compresi nel più vasto comprensorio costituito dal Parco Naturale di Massaciuccoli, San Rossore e Tombolo, per le discrete condizioni di conservazione naturale, rivestono un interesse scientifico eccezionale e possono considerarsi veri laboratori di ricerca per ogni settore delle scienze della natura.

In una nota precedente si era cercato di definire le caratteristiche climatiche generali del litorale pisano (RAPETTI e VITTORINI, 1978), mentre in questa mi propongo di indagare sul microclima termico dell'arenile di San Rossore e sulla temperatura della sabbia a varie profondità. La strumentazione impiegata nella ricerca, costituita da un geotermografo a più elementi sensibili, un termografo, un pluviografo ed un anemografo, fu posta in prossimità della foce del Fiume Morto Nuovo (Lat. 43° 43' 57") subito a ridosso della battigia, su una vecchia duna artificiale distante appena una ottantina di metri dalla linea di riva e almeno 400 metri dalla retrostante pineta. Si tratta, com'è facile comprendere, di un ambiente naturalistico di grande interesse poiché rappresenta un biotopo nel quale le condizioni di vita vegetale e animale sono difficili e altamente selettive. Infatti la vegetazione presente è assai scarsa e costituita da poche specie pioniere psammofile minacciate dalla azione abrasiva della sabbia, dall'azione del cloruro di sodio che determina condizioni di grande aridità, dal pericolo continuo, data la mobilità delle particelle sabbiose che costituiscono il substrato, del seppellimento, ed inoltre, come vedremo, dalle violente escursioni termiche diurne e dalle temperature massime molto elevate. Intorno alla stazione di misura sono state rinvenute le seguenti specie psammofile: *Convolvulus soldanella* L., *Dorycnium hirsutum* Ser., *Ammophila arenaria* LK., *Helichrysum stoechas* Moench, *Euphorbia paralias* L., *Euphorbia peplis* L., *Eryngium maritimum* L., *Cakile maritima* Scop., *Polygonum maritimum* L., *Salsola kali* L.,

Teucrium polium L.. Queste ed altre specie svolgono un ruolo fondamentale nella stabilizzazione delle dune costiere, che a loro volta costituiscono una barriera ai venti aggressivi di mare e quindi sono essenziali per l'equilibrio della pineta retrostante. L'arenile di San Rossore rappresenta poi un biotopo di grande interesse anche per quanto riguarda la microfauna: a tale proposito è sufficiente ricordare che, secondo alcuni studiosi, numerosi invertebrati che vivono nell'arenile risulterebbero ancora privi di classificazione.

Per lo studio del microclima termico⁽¹⁾, riferito all'anno 1978, gli elementi sensibili per la misura della temperatura della sabbia sono stati posti in superficie, a 5, 40 e 80 cm di profondità, mentre a 150 cm di altezza dal suolo è stato posto un termografo per la misura della temperatura dell'aria.

Il substrato litologico sul quale sono state effettuate le misure, costituito da sabbia sciolta, presenta la seguente composizione granulometrica: \varnothing (0,84—0,42 mm) 28,5%, \varnothing (0,42—0,25 mm) 65,5%, \varnothing (0,25—0,149) 5,2%. Si tratta dunque di una sabbia media che all'analisi spettrografica ha denunciato la seguente composizione mineralogica: quarzo 75-80%, calcite 10—15%, feldspati (plagioclasio, k-feldspato) 5—10%, minerali opachi < 2—3%. Il colore della sabbia, assai importante in relazione alla capacità di assorbimento della radiazione solare, è di difficile definizione perché, trattandosi di un substrato non evoluto, non è omogeneo, tuttavia con qualche approssimazione si può attribuire il colore 10 YR 6/2 alla sabbia asciutta e il 10 YR 4/2 alla sabbia umida, secondo il Sistema Munsell Soil Color Charts.

Temperatura dell'aria

Considerando il trascurabile livello di antropizzazione di San Rossore si può affermare che i valori misurati della temperatura, non influenzati da insediamenti o da manufatti in grado di interagire termicamente con la stazione di misura, sono da considerarsi assai affidabili e quindi in grado di fornire un indice climatico

(1) Secondo la classificazione proposta da Yoshino (YOSHINO, 1978) per microclima deve intendersi una struttura climatica con una scala orizzontale della dimensione 10^{-2} - 10^2 m e una scala verticale della dimensione 10^{-2} - 10^1 m. In questo lavoro il termine microclima viene inteso estensivamente, poiché comprende anche lo studio della temperatura della superficie della sabbia e del substrato ad alcune profondità.

puro, funzione soltanto della latitudine e delle condizioni fisico-biologiche del sito.

La temperatura media annua dell'aria è stata di $14,1^{\circ}\text{C}$, di $1,0^{\circ}$ inferiore a quella misurata nel periodo 1975-1977 (RAPETTI e VITTORINI, 1978). Il mese più caldo è risultato agosto con la temperatura media di $21,3^{\circ}\text{C}$ e il più freddo gennaio con $8,0^{\circ}\text{C}$ (fig. 1); l'escursione media diurna più elevata, per la relazione inversa che intercorre fra nebulosità ed escursione, non si è verificata nel mese più caldo, così come la minima non si è avuta nel mese più freddo (tab.1).

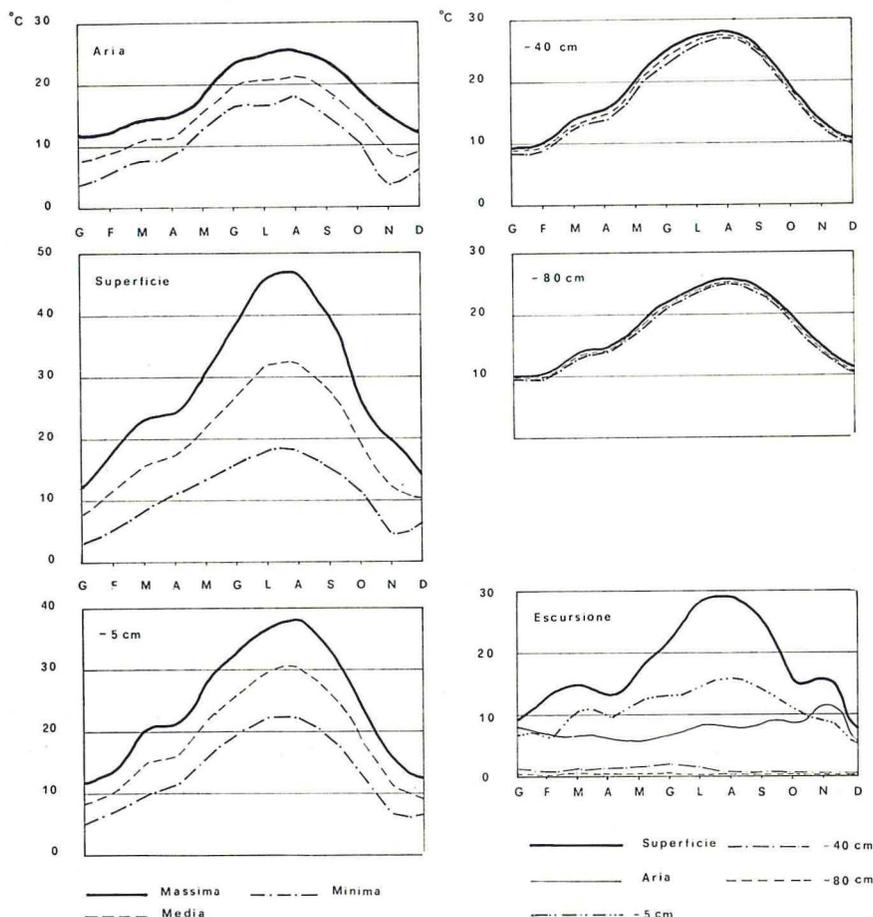


Fig. 1 - Andamento annuo delle temperature massime, medie e minime dell'aria e del suolo in superficie, a 5,40 e 80 cm di profondità nell'anno 1978. E' delineato anche l'andamento annuo delle escursioni diurne.

TAB. 1 - Andamento annuo nell'anno 1978 dell'escursione diurna dell'aria (in °C) e della nebulosità (in giorni di cielo sereno S, misto M e coperto C).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Escursione	7,6	6,9	6,7	6,2	5,7	6,9	8,4	7,7	8,8	8,6	11,5	5,6	7,6
S.	12	6	13	2	9	9	19	16	21	23	20	4	154
Nebulosità M.	7	9	10	13	12	19	12	15	9	1	5	8	120
C.	12	13	8	15	10	2	—	—	—	7	5	19	91

Nel corso dell'anno si sono registrati solo 10 giorni di gelo ($t_{\min} \leq 0^\circ$) e nessun giorno tropicale ($t_{\max} > 30^\circ\text{C}$); l'escursione annua è risultata di $13,3^\circ\text{C}$. Questi valori confermano la considerevole mitezza termica della stazione, per altro già emersa in altra ricerca (RAPETTI e VITTORINI, 1978).

Per avere un quadro generale delle variazioni diurne e mensili della temperatura dell'aria si è adottato il diagramma a isoplete (fig. 3a), dalla cui lettura si possono trarre le seguenti significative informazioni: la modesta fittezza delle isoplete indica che le variazioni diurne della temperatura dell'aria sono di bassa velocità; a scala stagionale si desume che la temperatura del giorno medio dei mesi di luglio e agosto non è inferiore a $24,0^\circ\text{C}$ dalle ore 11.00 alle 18.00, nei mesi da giugno a settembre non è inferiore a $20,0^\circ\text{C}$ dalle ore 06.00 alle 24.00, ecc.; temperature maggiori di 10°C si verificano, sia pure durante le ore più calde del giorno, anche nei mesi più freddi; le temperature medie della notte e delle prime ore della mattina non scendono mai sotto i $6,0^\circ\text{C}$.

Per tentare infine l'inquadramento del clima termico di San Rossore nei tipi termici italiani e assumendo come schema di classificazione quello classico proposto da Köppen, la stazione in oggetto rientra nel tipo termico temperato (temperatura del mese più freddo inferiore a $18,0^\circ\text{C}$ ma superiore a $-3,0^\circ\text{C}$ e quella del mese più caldo maggiore di $10,0^\circ\text{C}$). Con maggiore approssimazione i dati di cui sono in possesso mi consentono, non senza qualche difficoltà, di inquadrare la stazione nel tipo termico temperato-caldo derivato da Köppen (GAZZOLO, PINNA, 1962) ⁽²⁾:

(2) Questi ultimi valori, per ottenere un maggior grado di attendibilità, sono stati ottenuti dalla media fra l'anno 1978, cui si riferisce la presente ricerca, e il periodo 1975-1977 (RAPETTI, VITTORINI, 1978).

Clima temperato-caldo tipo	Stazione di San Rossore
1) media annua fra 14,5° e 16,9°C	14,6°C
2) media del mese più freddo fra 6,0° e 9,9°C	8,3°C
3) quattro mesi con temperatura media > 20,0°C	3 mesi
4) escursione annua fra 15,0° e 17,0°C	13,6°C

Le condizioni tipo rispettate sono quelle relative alla temperatura media annua e alla temperatura media del mese più freddo. Lo scarto più rilevante, rispetto ai valori tipo, si riferisce invece alla escursione annua, che a San Rossore è molto ridotta, anche in termini assoluti riferiti alla nostra regione.

Temperatura della sabbia

La temperatura del suolo dipende quasi esclusivamente dalla radiazione solare assorbita. I raggi solari riscaldano la superficie del terreno e per conducibilità il calore si propaga verso gli orizzonti inferiori. Durante la notte il suolo, in misura diversa a seconda delle condizioni fisiche della massa d'aria sovrastante e delle caratteristiche radianti della superficie, perde calore per irraggiamento e si verifica una inversione nella direzione del flusso di calore che torna dalle zone più profonde del terreno verso la superficie; un fenomeno analogo, sia pure a diversa scala, si verifica durante la stagione fredda.

E' noto che le variazioni della temperatura del suolo per assorbimento della radiazione solare o per irraggiamento sono maggiori nei terreni con bassi valori del calore specifico e della conduttività termica. Il decremento della temperatura della superficie del suolo dal momento del tramonto del sole, per un intervallo di tempo t (assai utile a stimarsi specialmente per la previsione delle brinate notturne), può essere calcolato con la formula parabolica di Brunt, che in genere consente di fare previsioni attendibili (BRUNT, 1932):

$$T_{(t)} = T_{(0)} - \frac{2R_N}{\rho c} \sqrt{\frac{t}{\pi k}} \quad (1)$$

dove $T_{(t)}$ è la temperatura della superficie del suolo al tempo t (in ore) dopo il tramonto del sole, $T_{(0)}$ è la temperatura al tramonto, ρ la densità del terreno, c e k rispettivamente il calore specifico e

la conduttività termica del suolo, R_N la perdita netta di calore della superficie ⁽³⁾. Nel periodo di osservazione il decremento più rapido e consistente della temperatura della superficie si è registrato fra il 30 e 31/VIII: alle ore 14.00 del 30/VIII la temperatura ha raggiunto il valore massimo con 48,3°C; da quel momento, fino al tramonto del sole (ore 19.00), la temperatura è scesa a 22,0°C, con un decremento medio orario di 5,25°C. Dal tramonto, fino al raggiungimento del minimo (ore 4.00 del 31/VIII), la temperatura della superficie è scesa a 12,2°C, con un decremento medio orario di 1,1°C. L'escursione termica è stata di 36,2°C e la velocità media di decremento pari a 2,6°C h⁻¹. Si osserva che dopo il tramonto la temperatura della superficie diminuisce ad un ritmo molto inferiore rispetto a quello relativo all'intervallo compreso fra il momento di massima temperatura e il tramonto. Applicando la (1) al caso in oggetto si è calcolata una diminuzione della temperatura della superficie di 12,1°, contro i 9,9°C effettivamente misurati dal geotermografo, con un errore in eccesso di circa il 20%.

Analizzando la variazione della temperatura con la profondità si osserva che essa è fortemente influenzata dalle condizioni climatiche esterne: un esempio è fornito dal profilo termico del suolo di una giornata estiva, serena e a forte insolazione (12/VII), in cui fra la superficie e 80 cm di profondità si misura una differenza di temperatura di 29,8°C. In condizioni climatiche caratterizzate da bassa temperatura dell'aria, totale copertura nuvolosa e pioggia in atto, la temperatura del suolo aumenta invece debolmente con la profondità (16/II) (tab. 2).

TAB. 2 - Temperatura dell'aria e profilo termico del suolo in due giornate estreme (in °C).

		interfacie aria-suolo	sup. (-1 cm)	-5 cm	-10 cm	-40 cm	-80 cm
12/VII	25,2	53,0	49,0	34,9	31,5	25,4	23,2
16/II	5,4	4,9	3,0	5,1	5,4	8,0	10,0

(3) $R_N = \sigma T^4 - \sigma T_a^4 (a + b \sqrt{e})$ dove σ è la costante di Stefan, T la temperatura assoluta dell'aria, a e b costanti empiriche pari a 0,44 e 0,08, e la tensione di vapore (mb) dell'aria adiacente al suolo, ricavabile dalle tabelle psicometriche.

Un dato di grande interesse ecologico e pedologico è rappresentato dalla temperatura della superficie che, in rapporto al tipo di strumentazione di cui ero in possesso, è risultata di difficile determinazione. Infatti l'elemento sensibile del geotermografo impiegato nelle registrazioni ha una dimensione tale da non consentire la misura della temperatura dell'interfacie aria-suolo, in cui invece avvengono i fenomeni termici più rilevanti, ma ad una profondità di circa un centimetro⁽⁴⁾. Per ovviare in parte a questo inconveniente periodicamente sono state eseguite misure nell'interfacie con termometri di precisione. La massima temperatura misurata nel periodo, nell'interfacie aria-suolo, è stata di 55,4°C (suolo orizzontale) e di ben 59,3°C sulla superficie acclive di una duna (18/VII). Nella fig. 2 è rappresentato l'andamento della temperatura dell'aria e dei vari livelli nelle giornate in cui si è verificata la massima e la minima temperatura della superficie della sabbia. Dalla figura si osserva la rapidità della variazione della temperatura negli orizzonti di suolo più superficiali rispetto all'aria (giorno di massima temperatura); durante il giorno più freddo si osserva invece un andamento più concorde fra la temperatura degli strati più superficiali e quella dell'aria. Gli orizzonti di suolo più profondi risultano infine termicamente pressoché indifferenti rispetto alla radiazione solare diurna.

Dalla ricerca emerge che la temperatura media annua della sabbia decresce piuttosto debolmente dalla superficie (19,5°C) fino al livello di —80 cm (17,0°C), mentre l'escursione media annua scende molto bruscamente dal valore di 17,0°C della superficie agli appena 0,4°C della profondità di 80 cm (tab. 3).

Lo studio congiunto della variazione mensile e di quella diurna della temperatura fornisce, come si è già visto, indicazioni assai utili per caratterizzare l'andamento termico complessivo della stazione. Il tipo di rappresentazione grafica più idonea a evidenziare tale relazione è quella detta a isoplete, in genere impiegata nello studio della temperatura dell'aria ma in questa nota applicata anche alla temperatura del suolo (fig. 3b, c, d). L'analisi dei diagrammi consente di rilevare questi fatti essenziali: la fittezza delle isoplete, massima nel diagramma della superficie, indica una grande rapidità di variazione oraria della temperatura in questo ambiente

(4) Nel prosieguo della nota la temperatura della superficie si riferisce in realtà alla temperatura registrata a circa un centimetro di profondità.

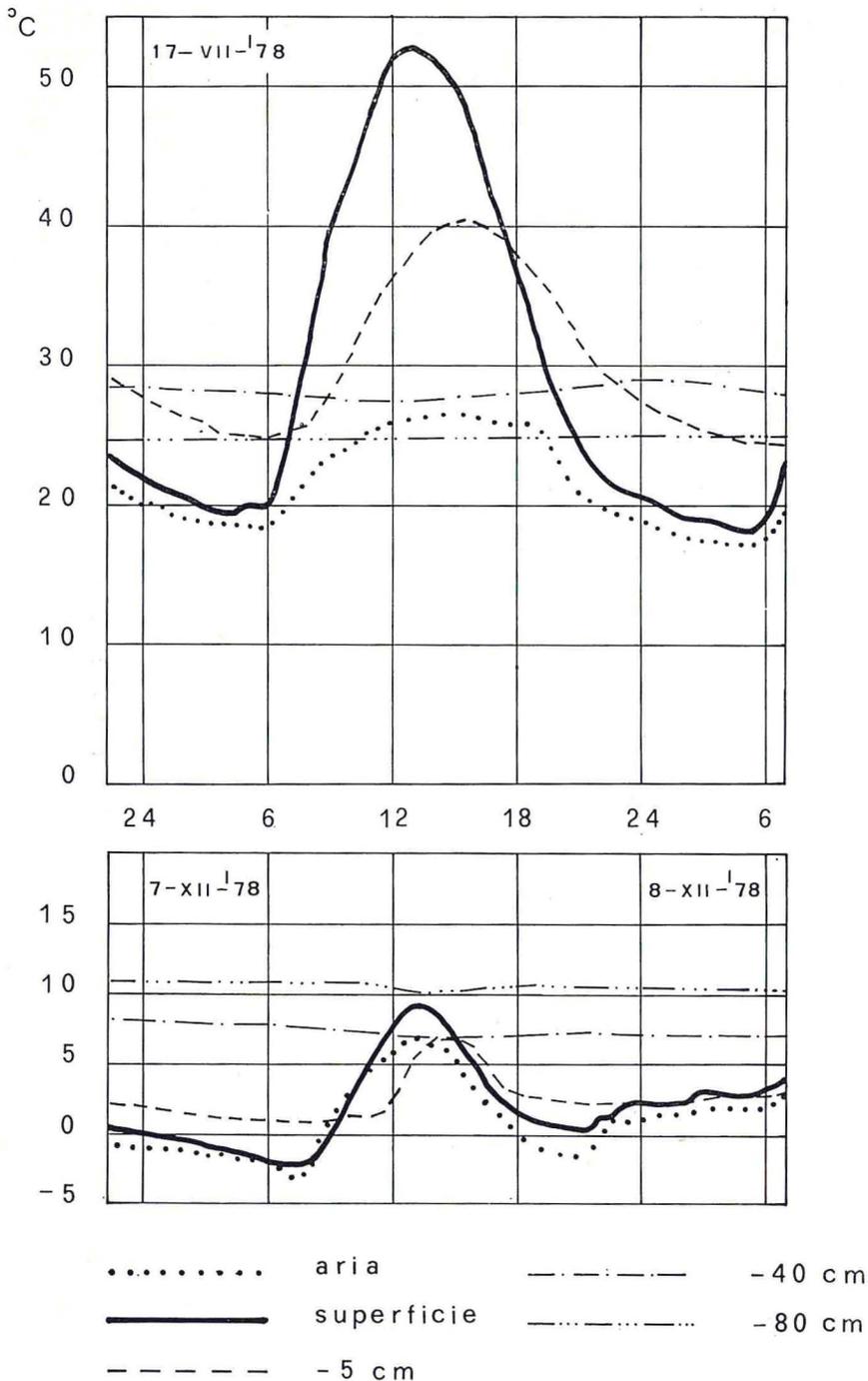


Fig. 2 - Andamento delle temperature dell'aria e del suolo alle varie profondità nelle giornate di massima e di minima temperatura, registrate nell'anno 1978.

TAB. 3 - Valori termici estremi e medi dell'aria e del suolo a varie profondità (anno 1978).

	aria		superficie		— 5 cm		— 40 cm		— 80 cm	
	°C	data	°C	data	°C	data	°C	data	°C	data
t max assoluta	28,1	18/VII	52,8	17/VII	41,8	4/VIII	29,1	7/VIII	26,3	8/VII
t min assoluta	-2,9	7/XII	-2,2	7/XII	0,8	7/XII	6,0	8/I	8,9	8/I
t media	14,1	—	19,5	—	18,5	—	17,5	—	17,0	—
t più elevata delle minime	20,0	23/VIII	21,9	19/VII	25,9	19/VII	28,1	7/VIII	25,0	14/V
t più bassa delle massime	6,1	9/I	8,9	7/XII	6,1	9/I	6,8	10/I	9,0	11/I
escursione diur. massima	15,0	18/XI	36,0	23/VII	19,7	8/V	3,0	8/V	0,8	3/IV
escursione diur. minima	1,0	15/XII	1,9	4/X	1,7	4/X	0,1	14/I	<0,1	—
escursione diur. media	7,6	—	17,7	—	10,8	—	1,1	—	0,4	—
escursione annua	13,3	—	23,0	—	21,7	—	18,7	—	15,6	—

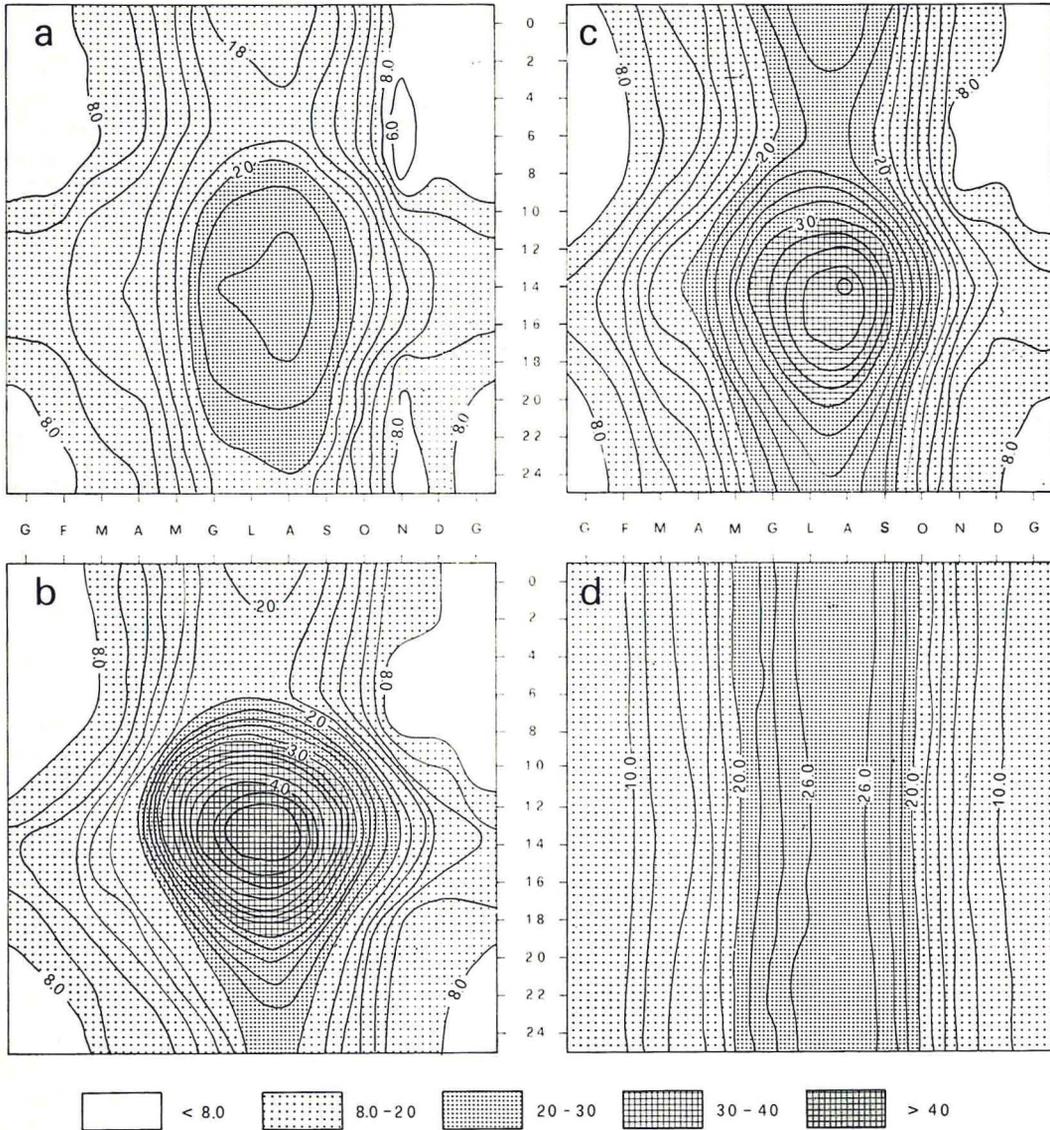


Fig. 3 a, b, c, d - Termoisoplete della stazione meteorologica di San Rossore relative alla temperatura dell'aria, della sabbia in superficie, dei livelli di 5 e 40 cm di profondità (1978).

(valore massimo misurato $5,75^{\circ}\text{C h}^{-1}$ l'1/IX); nei livelli di suolo più profondi (40 e 80 cm) le isoplete sono invece pressoché verticali e ciò indica che la temperatura varia pochissimo durante le ore del

giorno; dal diagramma termico della superficie si deduce che nel corso del giorno medio dei mesi di luglio e agosto la temperatura è superiore a 44,0°C all'incirca dalle ore 12.00 alle 15.00, nel corso del giorno medio dei mesi da maggio a settembre è superiore a 30°C dalle ore 08.00 alle 19.00, ecc.; analoghe considerazioni possono essere estese ai livelli di suolo più profondi.

Conduttività termica del suolo

Per quanto riguarda la conduttività termica del suolo, responsabile della velocità di trasmissione del calore, è noto che essa varia in relazione al grado di umidità, al contenuto di aria e alla natura mineralogica del substrato. Il coefficiente di conduttività si ricava dalla relazione:

$$k = a^2 \cdot c \quad \text{cm cal s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (2)$$

in cui

$$a = \frac{h_1 - h_0}{\log \frac{\vartheta_{h_0}}{\vartheta_{h_1}}} \sqrt{\frac{\pi}{T}} \quad (3)$$

dove ϑ_{h_0} è l'escursione della superficie del suolo, ϑ_{h_1} l'escursione della profondità h_1 (espressa in centimetri) e T il periodo di tempo preso in considerazione (in secondi) (GAMBA, 1922). Applicando la (2), dove c rappresenta il calore specifico della sabbia assunto pari a 0,5, con i dati in mio possesso si ottengono i valori rappresentati nella tab. 4:

TAB. 4 - Conduttività termica media della sabbia fra varie profondità (cm cal s⁻¹ °C⁻¹).

	profondità (cm)					
	sup./ -5 cm	sup./ -40 cm	sup./ -80 cm	-5/-40 cm	-5/-80 cm	-40/-80 cm
k	0,00024	0,00177	0,00207	0,00276	0,00279	0,00243

Si può osservare che il valore più basso della conduttività si verifica fra la superficie e 5 cm di profondità, mentre il valore più elevato è quello relativo allo strato —5, —80 cm. Risulta che la conduttività fra 5 e 80 cm di profondità è circa dieci volte maggiore rispetto a quella fra la superficie e —5 cm. Questo andamento della conduttività termica può naturalmente essere spiegato con il diverso contenuto di aria e di umidità dei diversi strati di sabbia.

Sfasamenti orari diurni delle temperature minime e massime

In relazione alla velocità di trasmissione del calore nel suolo, legata, come si è visto, al valore della conduttività termica e alle inversioni del flusso termico fra il dì e la notte, si verificano, nel corso della giornata, sfasamenti orari nel raggiungimento delle temperature minime e massime fra i vari livelli della sabbia (tab. 5).

TAB. 5 - Sfasamenti orari medi diurni delle temperature minime e massime (mese di luglio).

	aria	sup.	—5 cm	—40 cm	—80 cm
t min. (ora)	05 ^h 05 ^m	5 ^h 15 ^m	6 ^h 20 ^m	12 ^h 45 ^m	16 ^h 00 ^m
t max (ora)	13 ^h 45 ^m	13 ^h 15 ^m	15 ^h 10 ^m	23 ^h 35 ^m	06 ^h 35 ^m

Lo sfasamento orario fra il momento in cui si raggiunge la temperatura minima alla superficie della sabbia rispetto al momento in cui si raggiunge a 80 cm di profondità è di 19^h 55^m; per le temperature massime (fra gli stessi livelli) lo sfasamento è di 17^h 20^m. Il livello che risente con maggiore prontezza della radiazione solare, e che quindi raggiunge per primo la temperatura massima, è la superficie della sabbia, mentre l'aria raggiunge la temperatura massima con uno sfasamento di circa 30 minuti rispetto alla superficie.

Conclusioni

Il confronto fra l'andamento della temperatura dell'aria (misurata a 150 cm dal suolo) e quello della sabbia in superficie indica che il clima termico dei due ambienti è fortemente differenziato. Infatti, nel periodo di osservazione, i valori estremi della

temperatura dell'aria sono risultati: $t_{\max}=28,1^{\circ}$, $t_{\min}=-2,9^{\circ}\text{C}$, mentre in superficie: $t_{\max}=52,8^{\circ}$ e $t_{\min}=-2,2^{\circ}\text{C}$. Inoltre l'escursione massima diurna dell'aria è stata di $15,0^{\circ}\text{C}$ contro i $36,0^{\circ}\text{C}$ registrati in superficie.

In sintesi risulta che al livello della superficie avvengono fenomeni termici caratterizzati da repentine variazioni della temperatura ed escursioni diurne rilevatissime (in relazione alla latitudine della stazione), mentre nell'aria questi fenomeni sono poco accentuati. In profondità invece, già a 40 cm, la temperatura è molto stabile, presentando una escursione diurna media di $1,1^{\circ}\text{C}$ ed una escursione diurna massima di $3,0^{\circ}\text{C}$ ⁽⁵⁾.

OPERE CITATE

- BRUNT D. (1932) - Notes on Radiation in the Atmosphere. *Quart J. Roy. Met. Soc.*, **58**, 389-420.
- GAMBA P. (1929) - Sulla temperatura del suolo a Pavia. Min. LL.PP. Ufficio Idrogr. del Po (Parma), Pubbl. n. 11, Roma.
- GAZZOLO T., PINNA M. (1969) - La distribuzione della temperatura dell'aria nel trentennio 1926-1955. Pubbl. n. 21, fasc. IV, Roma.
- PINNA M. (1977) - Climatologia. UTET, 95-138, Roma.
- RAPETTI F., VITTORINI S. (1975) - La temperatura del suolo in due versanti contrapposti del preappenninico argilloso toscano. *Boll. Soc. It. Suolo*, **9**, 9-25.
- RAPETTI F., VITTORINI S. (1978) - Osservazioni sul clima del litorale pisano. *Riv. Geogr. It.*, **85** (1), 1-22.
- YOSHINO M.M. (1978) - Climate in a Small Area: an Introduction to Local Meteorology. University Tokio Press.

(ms. pres. il 10 ottobre 1981; ult. bozze il 10 settembre 1982)

(5) Da un punto di vista ecologico si deve dedurre che la fisiologia degli invertebrati e delle forme vegetali che vivono in prossimità della superficie deve essersi adattata a variazioni repentine della temperatura e ad estremi termici molto più rilevanti rispetto a quelli che interessano gli organismi che vivono a non stretto contatto con la superficie della sabbia. Per la notevole stabilità termica si intende infine come il suolo (già a modeste profondità) possa costituire un ambiente di rifugio durante i periodi termicamente più sfavorevoli per una grande varietà di organismi.