

Aldo Merola

## **Ricerche sperimentali sui rapporti tra temperature del suolo e vegetazione nei terreni riscaldati.**

### PREMESSA

Le ricerche sui rapporti tra le temperature dei terreni fumarolici e la sovrastante vegetazione sono alquanto scarse e superficiali (FABER 1925 e 1927, LÖETSCHERT 1956). In una serie di precedenti lavori ho cominciato ad illustrare fenomeni vari di ecologia e di biologia riguardanti i vegetali che vivono nei terreni dove esiste una attività vulcanica secondaria del tipo di quella fumarolica (MEROLA, 1957 a, 1957 b, 1957 c, 1959); in questo lavoro presento un primo contributo allo studio, per via sperimentale, di tali fenomeni.

Nei terreni fumarolici l'affioramento di vapore acqueo caldo, proveniente dagli strati profondi del suolo determina, negli strati più prossimi alla superficie, condizioni di temperatura e di umidità particolari le quali, a loro volta, influenzano notevolmente temperatura ed umidità degli strati di aria immediatamente sovrastanti al terreno. In tal modo parti ipogee e parti aeree dei vegetali impiantati su questi terreni vivono in condizioni particolari di substrato e di microclima cui reagiscono in modo talora alquanto singolare, come dimostrano le osservazioni effettuate in natura.

Con lo scopo di indagare più a fondo una tale fenomenologia e come più dettagliatamente dirò in seguito ho realizzato colture all'aperto in grossi vasi con terreno artificialmente riscaldato mediante corpi riscaldanti interrati (resistenze elettriche). Si potrebbe pensare che con tale dispositivo si è ben lungi dall'ottenere condizioni identiche a quelle che si realizzano in

natura; e ciò soprattutto per il fatto che l'ambiente circostante ai vasi si trova in condizioni ben diverse, le quali ovviamente interferiscono con quelle create nel terreno dei vasi stessi e nell'aria ad essi immediatamente sovrastante, anche ad onta delle precauzioni sperimentali adottate ed in seguito descritte.

Una tale obiezione può essere giusta solo se le nostre condizioni sperimentali vanno confrontate con quelle che si realizzano in grossi ed estesi campi fumarolici naturali. Ma occorre tener presente che in natura molto spesso si riscontrano piccole aree fumaroliche della estensione di appena poche decine di cm<sup>2</sup> ma sufficienti a determinare l'insediamento di specie particolari. Anche in questi casi naturali, così come nei nostri grossi vasi riscaldati, l'ambiente circostante è ben diverso. Quindi risulta lecito il confronto tra le osservazioni fatte con il dispositivo sperimentale da me realizzato e quanto si osserva in natura. Del resto la possibilità di tale confronto è confermata dal fatto che nelle colture effettuate nei vasi con terreno artificialmente riscaldato si sono ripetuti molti di quei fenomeni da me riscontrati nelle piante viventi su terreni fumarolici naturali di varie parti d'Italia.

Sulla base di tale garanzia ritengo che i rilievi ecologici effettuati nel corso delle colture realizzate possono contribuire alla interpretazione di quanto si verifica in natura.

In questo lavoro viene descritto il dispositivo sperimentale realizzato ed è preso in esame il comportamento termico di terreni variamente riscaldati nei suoi rapporti con la vegetazione sovrastante. Inoltre in tali terreni viene studiata la economia termica come risultante delle interferenze che esistono tra gradiente termico del suolo determinato dal riscaldamento profondo e gradiente termico del suolo conseguente alla naturale irradiazione degli strati superficiali del terreno. Ciò anche in dipendenza del fatto che lo studio della economia termica del suolo rappresenta la premessa indispensabile per lo studio del microclima ad esso sovrastante.

Particolare attenzione viene prestata allo studio della autonomia termica, nei confronti delle variazioni delle condizioni ambientali, in quei terreni nei quali è stata realizzata una termalità elevata, ma non tanto da impedire lo sviluppo dei vege-

tali seminati su di essi. Questo è uno dei motivi per i quali le colture sono state realizzate all'aperto, in modo tale che su di esse potessero liberamente agire tutti i fattori ambientali naturali, così come accade nei terreni fumarolici.

#### TECNICA SEGUITA

Le colture sono state effettuate in serie di vasi tutti alti cm. 30 e del diametro esterno di cm. 30. Tali vasi sono stati riempiti con comune terra da giardino, debitamente stacciata, in modo da avere un terreno discretamente omogeneo e costituito da particelle piuttosto piccole che favorissero la ascensione dell'acqua per capillarità.

Come si rileva dalla figura 1, in ciascun vaso ed in posizione centrale è stata interrata una resistenza corazzata di 200 W, debitamente isolata, della lunghezza di cm. 25 e del diametro di cm. 3.

Ciascuna resistenza è stata disposta ad una diversa profondità nei differenti vasi in modo da ottenere alla superficie del terreno temperature varie. La forma allungata e la posizione centrale della resistenza riscaldante, nell'ambito di ciascun vaso, permetteva la realizzazione nel terreno di un gradiente termico orizzontale, oltre a quello verticale. In tal modo è stata ottenuta una serie di terreni con una gamma sufficientemente estesa e ricca di termalità diverse.

Tutte le resistenze riscaldanti sono state inserite in parallelo in unico circuito collegato ad un Vertex, situato in un vaso pilota, con bulbo a cm. 10 di profondità. In tal modo la accensione e lo spegnimento delle resistenze risultavano sincroni per tutti i vasi della serie e quindi confrontabili i rilievi termici effettuati simultaneamente nei vari vasi di coltura.

Le temperature relativamente elevate del terreno comportano una notevole perdita di acqua per evaporazione. Pertanto, nelle nostre colture, è stato necessario assicurare al terreno stesso un continuo apporto di acqua al fine di reintegrare quella perduta. Si aggiunga inoltre che nel nostro caso si rendeva necessario che un tale apporto provenisse dagli strati profondi del terreno onde imitare quanto si verifica negli ambienti

fumarolici naturali nei quali il vapore acqueo proviene appunto dagli strati più profondi del terreno. Per raggiungere tale fine, come si vede nella figura 1, tutti i vasi sono stati immersi per buona parte in recipienti contenenti acqua; quest'ultima, penetrando attraverso fori praticati verso il fondo del vaso, raggiunge il terreno ed affiora in superficie reintegrando l'acqua perduta a causa della intensa evaporazione. Tale dispositivo si è rivelato soddisfacente per i nostri scopi poichè, con le diverse

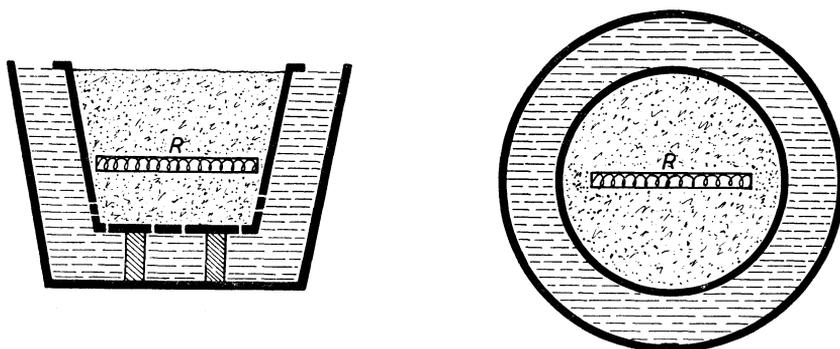


FIG. 1

Schema del dispositivo sperimentale realizzato onde ottenere un terreno umido e caldo per calore proveniente dagli strati profondi. La profondità della resistenza riscaldante è varia a seconda della termalità richiesta. A sinistra, dispositivo visto di lato; a destra, dispositivo visto dall'alto. R = resistenza riscaldante.

temperature realizzate, il terreno si è conservato sempre sufficientemente bagnato in superficie.

Per quanto riguarda le specie coltivate, abbiamo scelto specie a rapido sviluppo e di dimensioni piuttosto ridotte onde avere un discreto numero di individui ad onta della scarsa disponibilità di superfici coltivabili. Altro criterio che mi ha guidato nella scelta delle specie da coltivare è stato quello di avvalermi di specie che mi risultavano viventi in ambienti fumarolici dell'Italia meridionale; in questo modo mi sarebbe stato possibile, a colture effettuate, confrontare meglio i miei risultati sperimentali con quanto avviene in natura. Pertanto ho

scelto *Cyperus polystachyus*, esclusivo degli ambienti fumarolici dell'Isola d'Ischia e *Plantago psyllium* che talora si adatta a vivere sui terreni fumarolici.

Tutte le mie colture sono state effettuate all'aperto, su un terrazzo dell'Istituto di Botanica di Napoli, in modo che su di esse potessero agire liberamente i vari fattori meteorici; ciò onde mettermi in condizioni il più possibile simili a quelle che si realizzano nei terreni caldi naturali; l'unica variante più importante era rappresentata, nel mio caso, dalla natura del substrato (comune terra da giardino) e dalla assenza di gas vulcanici i quali, però, anche in natura non sono sempre presenti.

Il rilievo delle temperature è stato effettuato a mezzo di termistori Philips collegati ad un dispositivo scrivente (registratore della I C E a sei curve ed a staffa cadente) il quale, mediante un commutatore ciclico automatico, ha consentito la registrazione delle temperature di ciascun punto sotto misura ogni minuto primo. Associando così la rapidità di risposta degli elementi termometrici usati (termistori) e la ridotta inerzia meccanica dello strumento scrivente (registratore a staffa cadente) ho potuto seguire con sufficiente continuità le variazioni di temperatura del terreno. Inoltre le ridottissime dimensioni dei termistori hanno consentito il controllo delle temperature in punti ben definiti del terreno, anche a distanza di pochi mm.

Il controllo dello stato di accensione e di spegnimento delle resistenze riscaldanti è stato realizzato inserendo nel circuito del Vertex una lampadina spia racchiusa in una scatola. Nella stessa scatola, davanti alla lampadina spia, è stata disposta una cellula fotoelettrica opportunamente schermata e collegata anche essa ad altro registratore a staffa cadente (registratore galvanometrico ad ingombro ridotto Siemens). Quest'ultimo, poi, è stato sincronizzato con il registratore collegato ai termistori. In questo modo si è potuto seguire il variare delle temperature del terreno, anche in funzione dello stato di accensione e di spegnimento delle resistenze.

La registrazione della radiazione globale (radiazione solare + radiazione diffusa dal cielo e, in genere, dall'atmosfera) ricevuta dal terreno durante i rilievi delle temperature è stata effettuata con piranografo disposto tra i vasi ed in posizione tale che la superficie sensibile risultasse allo stesso livello della su-

perficie del terreno contenuto nei vasi. Ovviamente le registrazioni effettuate con il piranografo non rappresentano l'ideale in fatto di registrazione di radiazione globale. Tuttavia per i nostri fini tale registrazione si è rivelata più che sufficiente come risulta dall'affiancamento, talora fatto nei grafici che seguono, delle curve fornite dal piranografo con le curve fornite dai termistori. Per questo motivo abbiamo preferito prescindere anche dai valori assoluti della radiazione globale limitandoci a riportare i grafici in forma grezza così come registrato sulla carta diagrammabile millimetrata. Ovviamente nei grafici in questione le grandezze riportate in ordinata sono proporzionali ai valori assoluti della intensità della radiazione globale espressa in cal./cm<sup>2</sup>./m. E' stata preferita questa soluzione in vista del fatto che a noi bastava conoscere il valore relativo della radiazione globale in momenti successivi di un determinato intervallo di tempo; tali variazioni sono state poi raffrontate con le corrispondenti variazioni della temperatura del suolo alla superficie ed a profondità varie.

#### OSSERVAZIONI

I grafici riportati nella fig. 2 si riferiscono a rilievi termici effettuati a tre diverse profondità secondo una linea verticale perpendicolare alla resistenza. Essi dimostrano che la resistenza riscaldante interrata causa un gradiente termico decrescente verso gli strati superficiali del terreno.

La accensione discontinua della resistenza provoca un'onda termica la quale, propagandosi quasi esclusivamente per conduzione, si sposta dagli strati più profondi a quelli più superficiali.

Nel suolo con resistenza elettrica situata a 7 cm. di profondità (grafico A) tale onda risulta ben evidente ancora a 1 cm. di profondità; nel suolo con resistenza elettrica situata a 12 cm. di profondità (grafico B), invece, l'onda termica appena risulta evidente a 6 cm. e non è più rilevabile ad 1 cm. di profondità.

In conseguenza della relativa lentezza con la quale si realizza la conduzione del calore nel terreno da noi adoperato e tenuto nelle condizioni descritte sopra, la escursione termica determinata dalla discontinua accensione della resistenza ri-

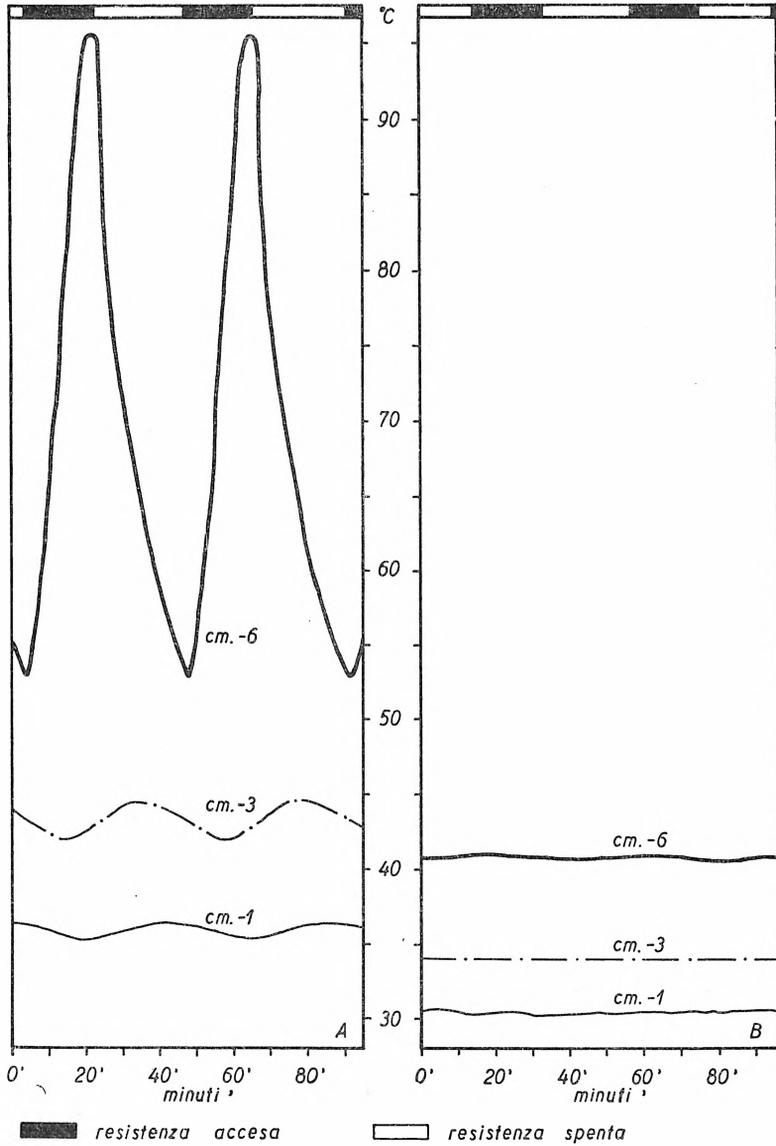


FIG. 2

Propagazione del calore nel suolo riscaldato da resistenze elettriche interrato e ad accensione discontinua. In ascissa il tempo in minuti; in ordinata le temperature rilevate simultaneamente a varie profondità (cm. —6, cm. —3, cm. —1). A) terreno con resistenza riscaldante a 7 cm. di profondità; B) terreno con resistenza riscaldante a 12 cm di profondità.

scaldante si va attenuando in un intervallo relativamente breve. Infatti nel grafico A si vede a 6 cm. di profondità l'escursione termica è di 43°C con un massimo di 96°C ed un minimo di 53°C; a 3 cm. di profondità l'escursione termica è di 2,5°C con un massimo di 44,5°C ed un minimo di 42°C; a 1 cm. di profondità l'escursione termica è di appena 1°C con un massimo di 35,5°C ed un minimo di 34,5°C. Ciò risulta evidente anche dal grafico della figura 3.

Inoltre nella figura 2 — ed in particolare nel grafico A — si osserva che, a livelli differenti, i massimi vengono raggiunti in tempi successivi in modo tale che essi risultano sfasati rispetto alla accensione ed allo spegnimento della resistenza riscaldante. Ad esempio, nello stesso grafico A, il primo massimo viene raggiunto dopo 20' ca. a 6 cm. di profondità, dopo 35' ca. a 3 cm. di profondità e dopo 42' ca. a 1 cm. di profondità. In conseguenza già a 3 cm. di profondità, cioè a 4 cm. di distanza dalla resistenza riscaldante, la temperatura massima viene raggiunta allorquando la resistenza stessa è già spenta da tempo. A 1 cm. di profondità i massimi si osservano quando la resistenza riscaldante sta per accendersi.

Tutto quanto è stato detto per i massimi vale anche per i minimi i quali, a 3 cm. di profondità, vengono raggiunti allorquando la resistenza riscaldante è già accesa da tempo.

Nel grafico B relativo ad un terreno con resistenza interrata a 12 cm. si rileva che a 6 cm. di profondità i massimi quasi corrispondono a quegli intervalli di tempo nei quali la resistenza risulta accesa. Tale quasi perfetta corrispondenza, tuttavia, non è dovuta alla rapida propagazione del calore nel terreno, ma è attribuibile al fatto che la conduzione del calore dalla resistenza sino a 6 cm. di profondità impiega quasi lo stesso tempo che intercorre tra due successive accensioni della resistenza. In altri termini ogni massimo rilevato a 6 cm. di profondità è determinato da una accensione della resistenza precedente a quella cui esso corrisponde nel grafico.

Il fenomeno descritto per i grafici A e B della figura 2 riproduce — in modo elegante ed in breve intervallo di tempo — ciò che è stato messo in evidenza dallo studio dei cicli giornalieri e dei cicli annuali delle temperature del suolo. Infatti, in terreni normali ed in certe condizioni ideali, il calore, diffon-

dendo dalla superficie del terreno colpita dal sole, si propaga lentamente negli strati sottostanti di guisa tale che, ad una data profondità, le temperature massime vengono raggiunte durante la notte nel ciclo giornaliero e durante l'inverno nel ciclo annuale.

In conclusione dal grafico 2 risulta che, a causa della lenta conduzione, la discontinuità di erogazione del calore da parte della resistenza riscaldante interrata viene risentita minimamente nei primi 2 o 3 cm. di profondità del terreno ed è praticamente annullata in superficie. Quindi nei nostri terreni caldi sperimentali il riscaldamento dell'aria sovrastante ad essi avviene con continuità, così come accade nei terreni caldi naturali nei quali l'erogazione di calore da parte degli strati profondi del terreno è continua. Pertanto, almeno per il fattore temperatura è lecito il confronto tra il microclima realizzato sui nostri terreni riscaldati artificialmente ed il microclima che si riscontra su terreni riscaldati per attività vulcanica secondaria.

Il grafico riportato in figura 3, già citato in precedenza, mostra l'andamento del gradiente termico verticale in due diversi terreni i quali presentano una differente termalità a causa delle diverse profondità alle quali risulta interrata la resistenza (rispettivamente 7 e 12 cm.). In entrambi i casi si nota che la temperatura è più elevata negli strati profondi, meno in quelli superficiali. E ciò anche tenendo conto dei massimi e dei minimi determinati dalla discontinua accensione della resistenza. (Anche in questo caso, come già dalla figura 2, si rileva che lo scarto tra massimo e minimo è più accentuato nel terreno a più elevata termalità e in entrambi i casi si attenua negli strati superficiali). In altri termini le condizioni sperimentali da noi determinate sono causa di un gradiente termico del terreno del tipo di quelli che si riscontrano nei terreni normali durante la notte allorquando gli strati superficiali risultano più freddi di quelli profondi.

Anche lo studio del gradiente termico orizzontale esistente ai lati della resistenza riscaldante rivela che le escursioni termiche causate dalla discontinua erogazione di calore da parte

della resistenza riscaldante risultano praticamente annullate già a qualche cm. di distanza dalla resistenza stessa.

In conclusione, quando nel terreno si trova un corpo riscaldante dal quale irradia calore discontinuamente, l'esame del gradiente termico verticale e di quello orizzontale dimostra

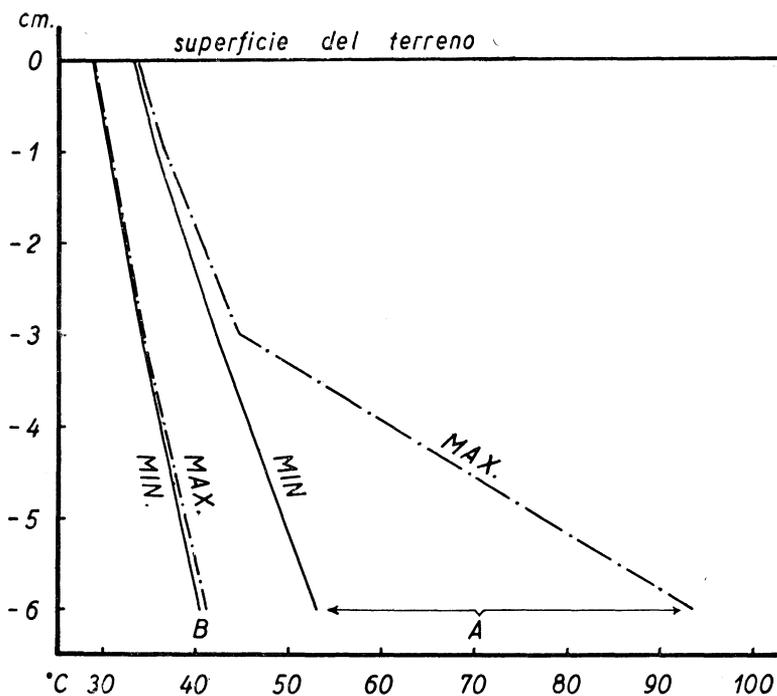


FIG. 3

Gradienti termici di due terreni con resistenza riscaldante interrata rispettivamente a cm. 7 (A) e a cm. 12 (B) di profondità. Medie ricavate da misurazioni continue eseguite per 1 h. Max: temperature massime; Min.: temperature minime

che già a pochi cm. di distanza dalla resistenza riscaldante la discontinua erogazione di calore non è più rilevabile in conseguenza della conduzione relativamente lenta. Si tratta esattamente dello stesso fenomeno che si riscontra nei terreni normali allorquando, nel corso della insolazione diretta, il sole viene coperto per breve tempo da nuvole. In questo caso le conse-

guenti brevi variazioni di temperatura della superficie vengono risentite poco dagli strati sottostanti e comunque solo entro qualche centimetro di profondità.

Nel grafico della figura 4 sono riportati i gradienti notturni e diurni di due terreni con differente termalità. Più pre-

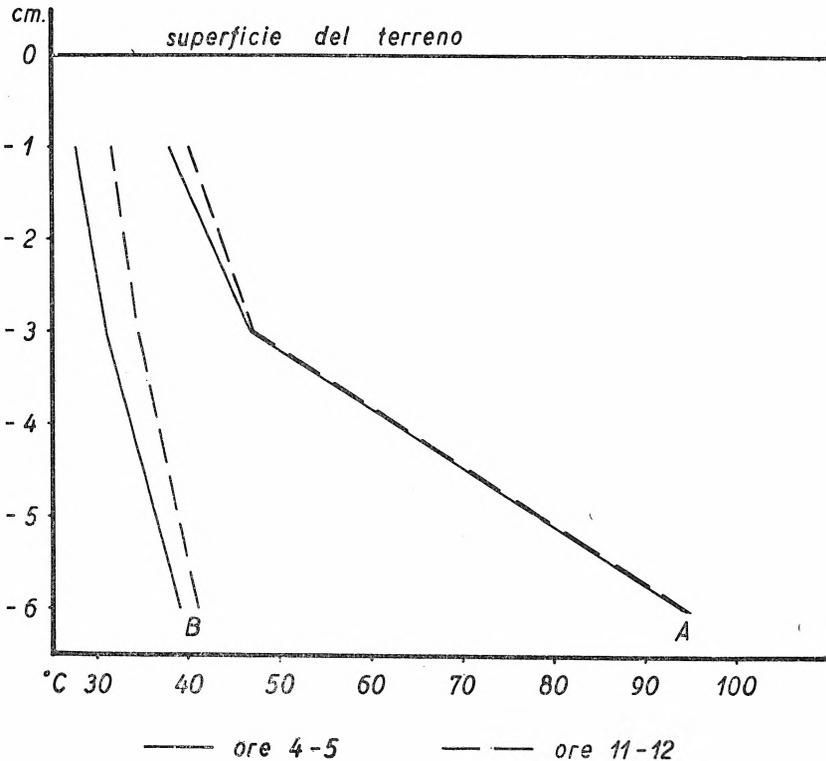


FIG. 4

Gradienti termici diurni e notturni di due terreni a termalità differente (A elevata, B bassa). Le temperature riportate rappresentano le medie delle temperature massime rilevate, per la durata di un'ora, di notte (h 4-5, linea continua) e di giorno (h 11-12, linea tratteggiata).

cisamente A riguarda un terreno a termalità maggiore e B un terreno a termalità più bassa; per entrambi i terreni i gradienti sono costruiti con le medie delle temperature massime registrate a cm. 6, cm. 3 e cm. 1 di profondità dalle h 4 alle h 5 (linea

continua) e dalle h 11 alle h 12 (linea tratteggiata). I dati sono stati rilevati da una registrazione continua della durata di 24 h.

Da questo grafico si deduce che nel terreno a termalità maggiore (A) praticamente non si riscontra differenza di temperatura tra la notte ed il giorno a cm. 6 ed a cm. 3 di profondità. A 1 cm., invece, la temperatura media tra le h 11 e le h 12 è più elevata di 2° C rispetto a quella delle h 4-5.

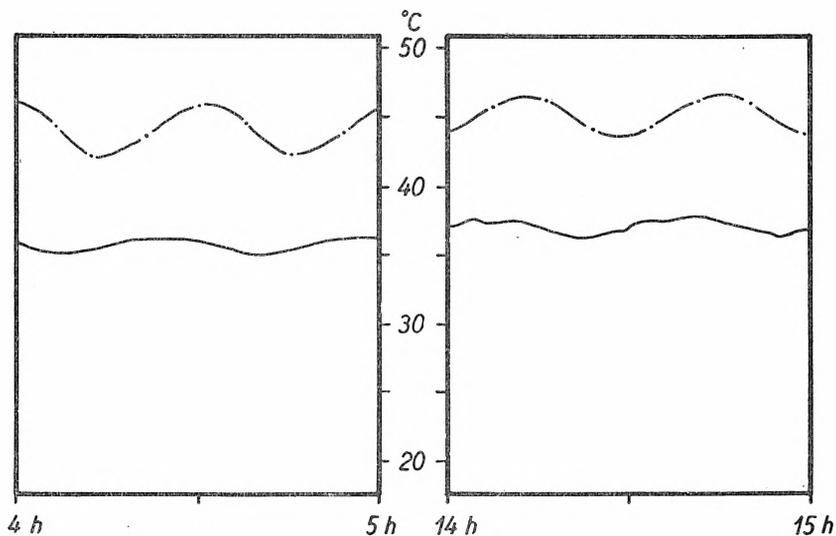
Nel terreno a termalità più bassa (B) la differenza di temperatura tra le h 11 e le h 12 e tra le h 4 e le h 5 è rilevabile a tutte le profondità esaminate (6, 3, 1) ed è tanto più accentuata quanto più superficiale è lo strato considerato. Infatti tale differenza è di °C 2 a 6 cm., di °C 3,5 a 3 cm., di °C 5 a 1 cm. Se ne deve dedurre pertanto che maggiore è la termalità del terreno minori sono le variazioni di temperatura indotte dall'alternanza del giorno e della notte. Tali variazioni, comunque, sono maggiormente accentuate negli strati più superficiali del terreno.

Nel grafico A si vede che un terreno termale con temperatura media superficiale di ca 40 °C, nel mese di maggio, presenta variazioni tra giorno e notte di appena qualche °C. Ciò significa che i vegetali viventi su terreni che presentano una tale termalità hanno gli organi ipogei a temperature pressochè costanti. Lo stesso vale, anche se in misura più ridotta, per gli organi epigei i quali sono circondati da aria la cui temperatura dipende dalle condizioni termiche del sottostante terreno.

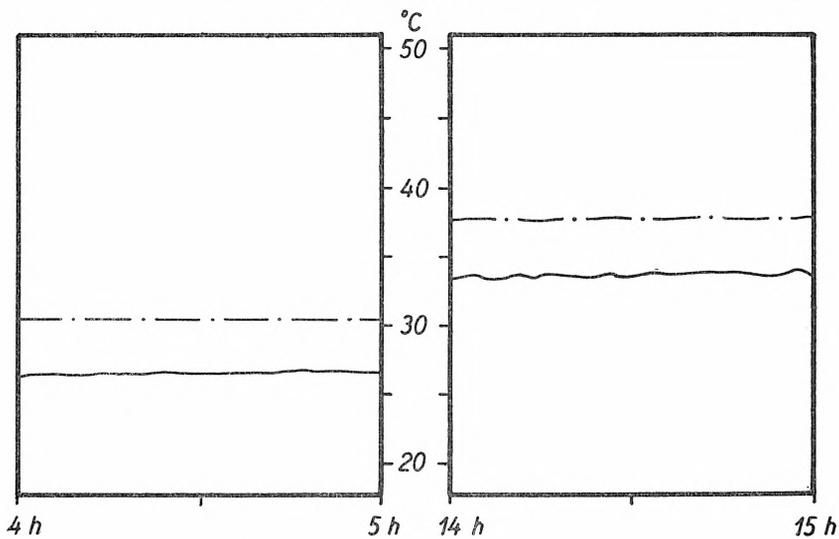
Dal grafico della figura 4 risulta inoltre che nel terreno riscaldato ma a termalità più bassa, ad onta che vi siano più sensibili differenze di temperatura tra il giorno e la notte, il gradiente termico del terreno è sempre del tipo decrescente verso la superficie e cioè è sempre del tipo notturno. In altri termini dalla superficie del terreno, sia di notte che di giorno, irradia sempre calore nell'aria sovrastante.

Nella figura 5 si rileva un fenomeno analogo a quello descritto nella figura 4. Tale figura 5 riproduce le registrazioni continue della durata di 1 h (dalle h 4 alle h 5 e dalle h 14 alle h 15) in due terreni a termalità differente. Le temperature sono state rilevate simultaneamente e, in entrambi i casi, alle profondità di cm. 3 e di cm. 1. Anche in questo caso è evidente che, a parità di condizioni ambientali, lo scarto tra le tempera-

*Suolo a termalita' elevata*



*Suolo a termalita' bassa*



--- profundita' cm.-3

— profundita' cm.-1

FIG. 5

Registrazioni continue notturne (h 4-5) e diurne (h 14-15) delle temperature di due terreni a termalita' differenti esposti alle medesime condizioni ambientali. Le registrazioni sono state effettuate simultaneamente, ogni minuto, per la durata di un'ora ed a due diverse profondita' del terreno (cm. 3 e cm. 1).

ture notturne e quelle diurne è limitato nei terreni a termalità più elevata mentre questa differenza tra notte e di diventa molto più evidente nei terreni a termalità più bassa.

Dallo stesso grafico della figura 5, e specialmente durante il dì (h 14 - h 15), si rileva che a 1 cm. di profondità l'anda-

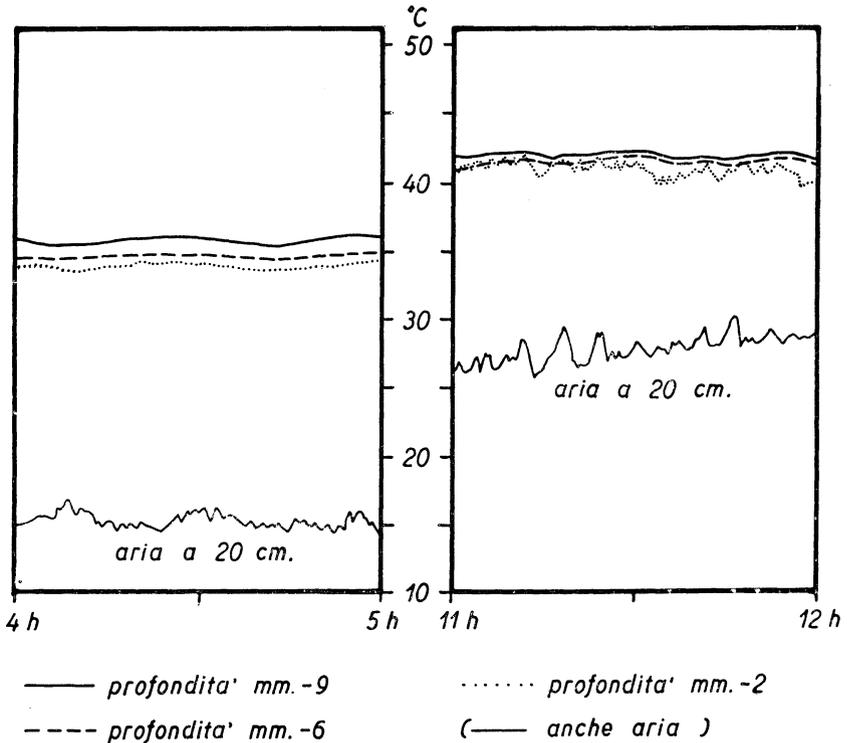


FIG. 6

Temperature di un suolo a termalità relativamente elevata registrate alle profondità di mm. 9, mm. 6 e mm. 2. RegISTRAZIONI della durata di un'ora effettuate dalle h 4 alle h 5 e dalle h 11 alle h 12.

mento della temperatura risente delle piccole variazioni termiche realizzate alla superficie del terreno. Per tale motivo ho ritenuto opportuno effettuare la registrazione delle temperature del terreno nel primo centimetro di profondità e cioè alle profondità di mm. 9, mm. 6 e mm. 2.

Nel grafico della figura 6, infatti, sono riportate le temperature registrate a tali profondità per la durata di un'ora dalle h 4 alle h 5 e dalle h 11 alle h 12. Esse si riferiscono ad un terreno a termalità relativamente elevata. E evidente che le piccole variazioni della temperatura del primo centimetro di

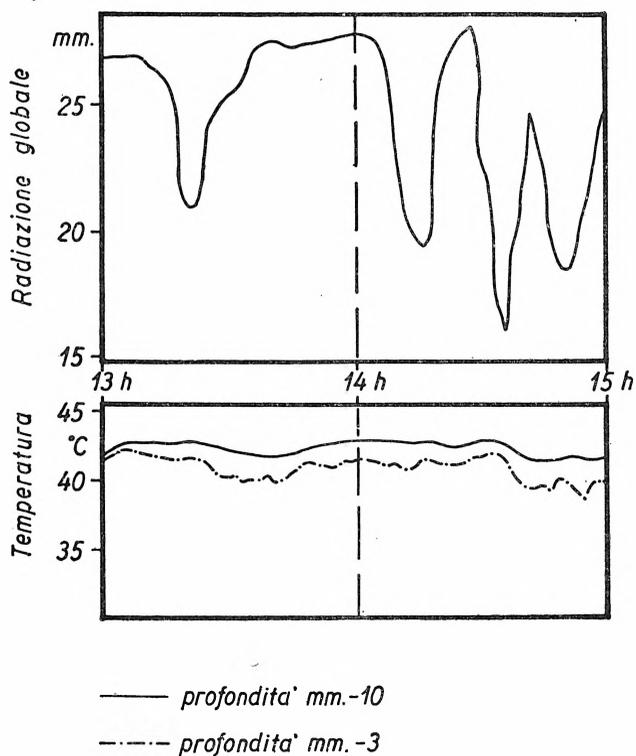


FIG. 7

In alto: radiazione globale (radiazione del sole + radiazione del cielo) registrata con piranografo.  
In basso: registrazione continua delle temperature di un terreno a termalità relativamente elevata ed alle profondità di mm. 10 e di mm. 3.

profondità sono sentite in modo diverso a seconda che si tratti di profondità di 2 mm., di 6 mm. e di 9 mm. In particolare va notata la differenza che sussiste tra 6 mm. e 2 mm. A questa ultima profondità, infatti, già si risente quella diffusione per

convezione che si realizza negli strati di aria immediatamente sovrastanti al terreno.

Tutto quanto è stato detto in precedenza risulta ancora più evidente dalla osservazione della figura 7 nella quale sono riportate le registrazioni sincronizzate della radiazione globale (so-

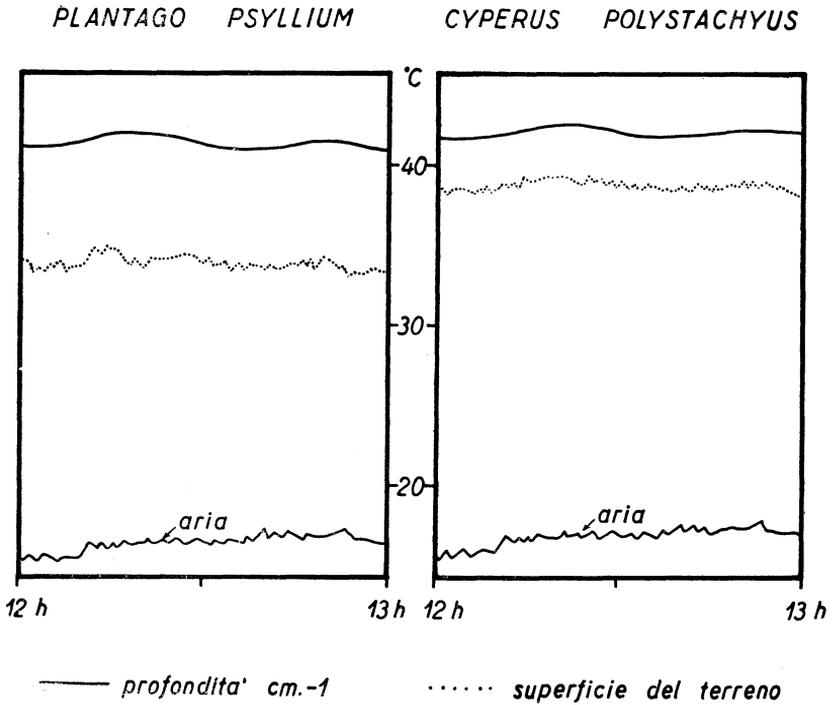


FIG. 8

Influenza della copertura vegetale fitta (praticello di *Cyperus polystachyus*) e della copertura vegetale rada (*Plantago psyllium*), sulla temperatura della superficie del terreno in due terreni che presentano termalità quasi uguale alla profondità di 1 cm. Rilievi effettuati simultaneamente, a distanza di 10 cm. e con cielo completamente coperto da nuvole.

lare + quella diffusa dal cielo, registrata mediante piranografo) e delle temperature del terreno alle profondità di mm. 10 e di mm. 3. E' evidente che le variazioni della irradiazione globale sono risentite molto più dallo strato a 3 mm. che da quello a 10 mm.

Nel grafico riportato in figura 8 si rileva l'azione esercitata dalla copertura vegetale sulle temperature del terreno. I due grafici affiancati concernono rilievi effettuati simultaneamente a 1 cm. di profondità ed alla superficie del terreno in due terreni caldi dei quali l'uno ricoperto da piante di *Plantago psyllium* e l'altro da un praticello di *Cyperus polystachyus*.

Il rilievo è stato effettuato in una giornata con cielo completamente nuvoloso e quindi in assenza di irradiazione solare diretta. I due terreni, situati alla distanza di pochi centimetri, sono esposti alle stesse condizioni ambientali e presentano quasi la stessa temperatura alla profondità di 1 cm.

La loro superficie, tuttavia, rivela una temperatura più bassa nel terreno ricoperto da piantine di *Plantago*, più elevata nel terreno ricoperto da un fitto praticello di *Cyperus polystachyus*. Questa differenza di 4-6 °C è dovuta al fatto che il fitto praticello di *Cyperus* ritarda la dispersione di calore da parte della superficie del terreno.

Molto meno intensa risulta invece l'azione esercitata in questo senso dalle piantine di *Plantago psyllium* le quali sono più rade (distanza media 2 cm.) e non presentano foglie fitte ed appressate al terreno; quindi ostacolano meno il raffreddamento della superficie del terreno.

Nel nostro caso, data la modesta altezza delle specie vegetali ricoprenti il terreno (cm. 2,5-3 per *Cyperus polystachyus*, cm. 7-8 per *Plantago psyllium*) la loro azione sulla temperatura del terreno è rilevabile soprattutto nel primo centimetro di profondità.

L'azione esercitata dai differenti tipi di copertura vegetale sulle temperature del terreno risulta anche dai grafici riportati nella tavola I; da essi si rileva che una vegetazione fitta (costituita da un praticello di *Cyperus polystachyus*) ritarda e rende meno intenso l'innalzamento della temperatura degli strati superficiali del terreno, dopo che suolo e vegetazione sovrastante sono stati colpiti direttamente dal sole (confrontare con il grafico relativo alla copertura vegetale costituita da *Plantago psyllium*).

Gli stessi grafici della tavola I permettono di rilevare che nei terreni caldi a termalità non troppo elevata, la vegetazione

fitta, se confrontata con quella rada, durante il dì ritarda e rende meno intenso l'instaurarsi di un gradiente termico del suolo del tipo diurno (cioè con temperatura più elevata in superficie, più bassa negli strati profondi). Lo stesso si dica per il terreno non riscaldato.

Se ne deve concludere quindi che nei terreni a termalità propria, così come in quelli normali non riscaldati, una vegetazione fitta ritarda il raffreddamento degli strati superficiali nelle ore più fredde, mentre ne ritarda il riscaldamento nelle ore più calde.

Lo stesso grafico riportato nella tavola I, oltre ai fenomeni relativi alla copertura vegetale, permette di rilevare altri fatti interessanti, in parte deducibili anche dai grafici illustrati in precedenza. Da esso si rileva infatti che più forte è la termalità di un terreno, maggiore è lo scarto che sussiste tra temperatura degli strati profondi e temperatura degli strati superficiali. In altri termini, a parità di condizioni ambientali e di condizioni del terreno, il raffreddamento degli strati superficiali del terreno, rispetto agli strati sottostanti, è più intenso nei terreni a termalità più elevata. Ciò non esclude, tuttavia, che i terreni più caldi sono anche quelli che presentano temperature più elevate in superficie; infatti il fenomeno che noi stiamo considerando si riferisce solo al rapporto esistente tra temperature della superficie e temperature degli strati sottostanti e non alle temperature assolute.

Il seguente esempio vale meglio a chiarire ciò che è stato detto. Esso si riferisce a tre rilievi effettuati simultaneamente in tre dei nostri terreni a termalità differente, alle ore 9 e con temperatura dell'aria di 18,5 °C:

	°C	°C	°C
temperatura alla superficie	35	33	26
temperatura a 1 cm. di profondità	43	39	28
differenza	8	6	2

Ovviamente tale fenomeno è attribuibile alla differenza esistente tra la temperatura della superficie del terreno e la temperatura dell'aria: maggiore risulta questa differenza più intensa e più rapida è la perdita di calore da parte della superficie del terreno.

Ritengo opportuno segnalare questo fenomeno, sebbene appaia ovvio, poichè esso va tenuto presente allorquando si studia la ecologia dei vegetali su terreni riscaldati (artificialmente o naturalmente). Infatti terreni caldi che in profondità presentano notevoli differenze di temperatura, in superficie rivelano una attenuazione di tali differenze. Ciò si verifica anche nell'ambito di qualche centimetro di profondità in modo molto palese: p. es. dai dati sopra riportati si deduce che due terreni i quali a 1 cm. di profondità presentano una differenza di 15 °C, in superficie riducono tale differenza a 9 °C.

Pertanto, quando si studiano comparativamente in due o più terreni i rapporti esistenti tra temperature del suolo ed apparati radicali in essi viventi, occorre effettuare i rilievi termici a quei livelli del terreno effettivamente occupati dalle radici. Temperature rilevate a profondità maggiori risultano di scarso significato e addirittura, se non accompagnate da rilievi effettuati più in superficie, possono essere causa di interpretazioni erronee.

Analogamente e per lo stesso motivo, quando si studiano comparativamente le temperature dei microclimi sopra terreni con termalità differente, occorre considerare le temperature della superficie del terreno.

Precedentemente abbiamo accennato al fatto che di solito nei terreni che presentano una termalità propria, sia di giorno che di notte, sussiste un gradiente termico decrescente verso la superficie del terreno; cioè un gradiente termico del tipo di quelli che, in un terreno normale ed in condizioni normali, si realizzano soltanto durante la notte e che perciò vengono chiamati di tipo notturno. Ora i grafici della tavola I mostrano che, se la termalità di un terreno è piuttosto elevata, effettivamente si ha sempre un gradiente di tipo notturno — con temperature più elevate in profondità e più basse in superficie. Ma se la termalità è piuttosto bassa durante il dì si ha una certa tendenza al tipo normale diurno — con temperature più elevate in superficie, meno elevate in profondità —. Tuttavia, anche in questo ultimo caso, si è ben lungi dal raggiungere quel tipo diurno accentuato tanto quanto in un terreno non caldo.

Inoltre, sempre nei terreni a termalità media, l'instaurarsi del gradiente di tipo diurno è più tardivo rispetto ad un terreno

normale non riscaldato. Infatti, dopo che il terreno è stato colpito dal sole, si ha in tutti i casi un innalzamento della temperatura alla superficie del terreno e ad 1 cm. di profondità. Ma l'intensità dell'innalzamento di temperatura e la rapidità con la quale tale innalzamento si realizza risultano maggiori nel terreno non riscaldato, meno accentuati nel terreno a termalità media, ancora minori nel terreno a termalità più elevata.

Quanto è stato detto per l'innalzamento di temperatura vale anche per gli abbassamenti determinati dal passaggio di nuvole; istruttivo risulta a questo riguardo il confronto tra le temperature dei tre diversi tipi di terreni e la curva relativa alla irradiazione globale. Per esempio nel grafico relativo a terreni con vegetazione rada si vede che verso le 10 h 40' si ha un abbassamento di temperatura della superficie molto più accentuato nel terreno normale, meno accentuata in quello a termalità più elevata.

La conclusione che scaturisce dunque dall'esame dei grafici della tavola I è che maggiore è la termalità di un terreno maggiore è la sua autonomia termica, particolarmente se il terreno in questione è ricoperto da vegetazione fitta. Perchè si abbia una discreta autonomia termica non è necessario che il terreno presenti temperature eccessivamente elevate ma sono sufficienti riscaldamenti tali da non danneggiare lo sviluppo di alcune specie vegetali come *Cyperus polystachyus*.

Se la vegetazione esercita una influenza sulla temperatura del suolo, ovviamente ed a maggior ragione la temperatura del suolo influenza notevolmente la vegetazione sovrastante. Tale azione si esplica in modo diverso per le diverse specie.

Un bell'esempio di ciò è fornito dalla tavola II. In basso sono riportate le registrazioni continue delle temperature — in superficie e ad 1 cm. — effettuate al mattino e nel primo pomeriggio in tre terreni: il primo non riscaldato (A), il secondo poco riscaldato (B), il terzo molto riscaldato (C). In alto sono riprodotte le fotografie di individui di *Plantago psyllium* e di *Cyperus polystachyus* seminati e cresciuti per tre mesi (febbraio-maggio) sui tre terreni a termalità diverse. Le colture come è stato detto in precedenza, sono state effettuate all'aperto su di un terrazzo dell'Orto Botanico di Napoli. Poichè le tempera-

ture del terreno sono influenzate dalle condizioni ambientali, e quindi hanno valore relativo, i rilievi termici relativi ai tre terreni sono stati effettuati simultaneamente e sullo stesso diagramma.

L'esame comparativo dei due diagrammi — relativi al mattino ed al pomeriggio — mette in evidenza una serie di fenomeni già descritti in precedenza: gradiente termico di tipo diurno assente nel terreno molto riscaldato (C), tardivo e poco accentuato nel terreno poco riscaldato (B), normale nel terreno non riscaldato (A); notevole autonomia termica degli strati superficiali nel terreno molto riscaldato (C) rispetto al terreno non riscaldato (A); scarto minimo tra le temperature del mattino e quelle del pomeriggio nel terreno molto riscaldato (C); etc.

Tuttavia quello che più ci interessa far rilevare nella tavola II è il fatto che *Plantago psyllium* e *Cyperus polystachyus*, sebbene seminati contemporaneamente, si sono sviluppati in modo diverso sui tre terreni con differente economia termica.

Infatti *Plantago psyllium*, specie spontanea della regione mediterranea si è sviluppata pressochè allo stesso modo nei tre terreni A, B e C solo rivelando qualche sofferenza nel terreno più caldo (C). Invece *Cyperus polystachyus*, specie tropicale la quale nella regione mediterranea è accantonata esclusivamente sui terreni fumarolici caldi dell'isola d'Ischia, manifesta un comportamento alquanto differente nei tre terreni. Infatti i tre individui, sebbene abbiano la stessa età, si sono sviluppati in modo alquanto differente: l'individuo cresciuto su terreno più riscaldato (C) è già in fiore con rigetti laterali mentre l'individuo cresciuto su terreno non riscaldato (A) è appena visibile.

La comparazione fatta conferma per via sperimentale quanto già affermai in altra occasione e cioè che *Cyperus polystachyus* nella regione mediterranea è accantonato sui terreni fumarolici dell'isola d'Ischia poichè solo su di essi risultano soddisfatte le sue esigenze in fatto di temperatura.

In questo senso particolare importanza assume, nei terreni più caldi, la maggiore autonomia termica già rilevabile nel grafico della tavola II con la semplice comparazione tra le temperature alle h 7 ed alle h 13. Se si generalizza, tale autonomia

termica fa sì che in un terreno riscaldato le escursioni termiche tra notte e dì e tra estate ed inverno risultino notevolmente ridotte rispetto alle escursioni di un terreno non riscaldato; quindi le specie termofile come *Cyperus polystachyus* si giovano dei terreni caldi soprattutto nelle ore più fredde del giorno e nella stagione più fredda dell'anno in conseguenza del limitato abbassamento termico. D'altra parte, sempre in virtù della relativa autonomia termica dei terreni caldi, tali specie non sono sottoposte a temperature eccessivamente elevate nelle ore e nelle stagioni più calde.

*Plantago psyllium*, invece, nel clima di Napoli, si sviluppa normalmente su terreno non riscaldato ma sopporta bene anche un riscaldamento del terreno, specialmente se non eccessivo; ciò in conseguenza del fatto che nella regione mediterranea, dove essa vive allo stato spontaneo, insolazioni intese e prolungate possono essere causa di surriscaldamento del suolo.

#### DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Da quanto è stato detto in precedenza si deduce che le condizioni sperimentali da noi realizzate riproducono abbastanza fedelmente quelle condizioni che si riscontrano nei terreni fumarolici naturali. Pertanto le colture effettuate all'aperto su tali terreni rispondono pienamente ai nostri scopi perchè ci permettono di effettuare osservazioni che risultano confrontabili con quanto avviene in natura.

Inoltre la possibilità di realizzare terreni con termalità diverse nell'ambito di qualche m<sup>2</sup> presenta il vantaggio di rendere più facilmente confrontabili i dati rilevati in tali terreni perchè tutti sottoposti alle medesime condizioni ambientali in quanto distanti tra di loro soltanto pochi centimetri.

La discontinuità nella accensione e nello spegnimento della resistenza affondata nel terreno provoca un'onda termica la quale si propaga con lentezza verso la superficie del terreno di guisa tale che già a pochi cm. di distanza dalla resistenza la temperatura massima viene raggiunta quando la resistenza è spenta. In altri termini, ai diversi livelli del terreno, si ha uno sfasamento dei massimi. Ciò costituisce una riproduzione, in

breve intervallo di tempo, di quanto si verifica in natura su terreni normali allorquando la loro superficie viene riscaldata dalle radiazioni solari; in questo caso infatti, ad una certa profondità, le temperature massime vengono raggiunte nelle ore più fredde del giorno o nella stagione più fredda dell'anno, proprio in conseguenza della lenta conduzione del calore.

In conseguenza di tale lenta conduzione del calore, negli esperimenti da noi realizzati, i primi due o tre centimetri di profondità del terreno risentivano poco del discontinuo accendersi e spegnersi delle resistenze. Infatti a tali livelli, anche nel caso delle maggiori termalità realizzate, le escursioni termiche conseguenti alla discontinua erogazione di calore da parte della resistenza sono risultate di ampiezza molto limitata. Pertanto, nei nostri esperimenti, la superficie del terreno irradia calore nell'aria sovrastante praticamente con continuità proprio così come si verifica nei terreni fumarolici naturali.

Anche per quanto riguarda l'economia idrica dei terreni fumarolici artificiali si può concludere che le condizioni sperimentali realizzate coincidono con quelle naturali in quanto l'acqua, una volta giunta a contatto della resistenza riscaldante, passa allo stato di vapore e sotto tale forma si sposta dagli strati più profondi agli strati più superficiali del terreno, come accade nei terreni fumarolici naturali.

In tal modo l'atmosfera del suolo risulta sempre satura di vapore acqueo così come accade in natura. Insomma il vapore acqueo caldo, affiorando alla superficie del terreno, riscalda gli strati attraversati e li mantiene umidi.

Bisogna dunque ammettere che nei nostri esperimenti il riscaldamento del terreno è dovuto, oltre che ad un fenomeno di conduzione (vera conduzione) della energia termica che irradia dalla resistenza riscaldante, anche al vapore acqueo caldo che attraversa il terreno. La rapidità di trasmissione del calore dipende dallo scarto esistente tra temperatura della resistenza riscaldante e temperatura del terreno ad esso circostante.

Concludendo, dunque, possiamo dire che le condizioni sperimentali realizzate non sono molto dissimili da quelle naturali almeno per quanto riguarda l'economia idrica e l'economia termica. In conseguenza le osservazioni fatte nei terreni termali artificiali possono essere utilizzate per interpretare quanto av-

viene in natura. Ciò è confermato anche dal fatto che colture effettuate su tali terreni termali artificiali nel corso di alcuni anni hanno presentato tutta quella fenomenologia che si riscontra sui terreni fumarolici naturali. Si potrebbe obiettare che i terreni termali da me realizzati nei vasi rappresentano superfici molto limitate e notevolmente influenzabili dalle condizioni ambientali circostanti. A questo proposito è opportuno far rilevare che anche in natura spesso si riscontrano aree fumaroliche ristrettissime e di superficie inferiore a quelle rappresentate dai miei vasi artificialmente riscaldati.

Nei terreni a termalità propria un altro aspetto interessante è rappresentato dal loro gradiente termico. E' noto infatti (v. per esempio GEIGER, DAUBENMIRE, etc.) che in un terreno normale le relazioni termiche sono durante il dì del tipo « incoming radiation » e durante la notte del tipo « outgoing radiation » cioè durante il dì gli strati superficiali del terreno sono più caldi di quelli profondi mentre la notte si verifica l'opposto. Nei terreni a termalità propria invece l'economia termica presenta un comportamento un po' diverso. Infatti se la termalità è relativamente elevata — ma non tanto da impedire la crescita di specie tropicali e mediterranee — il gradiente termico del terreno, anche nel mese di giugno, è sempre del tipo notturno tanto durante la notte che durante il dì. In altri termini per tutto il giorno si hanno temperature più elevate negli strati profondi, meno elevate negli strati più superficiali.

Se la termalità invece non è troppo elevata, allora nelle ore più calde può instaurarsi un gradiente termico di tipo diurno. Solo che, in questo caso e rispetto ad un terreno normale, il gradiente di tipo diurno è di più breve durata, si instaura con ritardo ed è meno accentuato.

Tale comportamento del gradiente termico è indice della autonomia termica dei terreni che presentano una propria termalità; questa autonomia termica, ovviamente, è tanto più accentuata quanto maggiore è la termalità del terreno. A questo riguardo è opportuno far rilevare che una termalità relativamente elevata (40 °C in superficie) — ma che ancora consente la vita di alcune fanerogame — è sufficiente a mantenere una notevole autonomia termica anche degli strati più superficiali del terreno. In altri termini le temperature di un terreno riscal-

dato per l'affioramento di vapore acqueo caldo risultano influenzate dalle condizioni ambientali molto meno di un terreno non riscaldato.

In tutti i casi gli strati influenzati sono i più superficiali e ciò risulta particolarmente evidente già nell'ambito del primo centimetro; infatti rilievi effettuati simultaneamente alle profondità di mm. 2, mm. 6 e mm. 9 rivelano che a questi diversi livelli si ha un comportamento termico alquanto differente.

Questo fatto viene messo particolarmente in evidenza se si procede al rilievo simultaneo delle temperature del terreno e della irradiazione globale che lo colpisce. Tale rilievo simultaneo mette anche in evidenza il fatto che nei terreni termali l'assorbimento ed il reirraggiamento da parte del suolo sono rapidi così come in un terreno normale.

La dispersione di calore da parte degli strati superficiali dei terreni termali è tanto più rapida ed intensa quanto maggiore è lo scarto che sussiste tra la temperatura del terreno stesso e quella dell'aria sovrastante. In altri termini, considerato in senso assoluto, il raffreddamento degli strati superficiali, rispetto a quelli profondi, è tanto più intenso quanto maggiore è la termalità di un terreno. In conseguenza le curve esprimenti i gradienti termici di due terreni a termalità differenti presentano un andamento diverso; per esempio in due terreni che a 6 cm. di profondità presentano una differenza di 20° C, a 2 cm. di profondità tale differenza si riduce a 8 °C poichè il terreno più caldo subisce un raffreddamento assoluto più intenso.

Altra conseguenza di quanto ora esposto è rappresentata dal fatto che la dispersione di calore da parte di un terreno caldo è maggiore in inverno che in estate. Questa constatazione, ovvia in linea teorica, va tenuta presente allorquando si studia l'ecologia dei vegetali viventi sui terreni fumarolici. Infatti a tale fenomeno va attribuito il fatto che, in clima mediterraneo, molte specie vegetali si giovano dei terreni fumarolici durante l'inverno mentre nella primavera o nell'estate esse risultano sofferenti in tali ambienti e addirittura soccombono. In tali casi bisogna ricordare che alla minore dispersione di calore si aggiunge anche il riscaldamento provocato da una insolazione più prolungata e più intensa.

In precedenza ho parlato di gradiente termico del terreno;

ora è presumibile che in coincidenza con questo gradiente termico nei terreni fumarolici si abbia anche un particolare comportamento del gradiente relativo al vapore acqueo. Infatti nei terreni normali sono stati dimostrati rapporti tra il gradiente termico ed il gradiente relativo al vapore acqueo nel senso che il vapore acqueo tende a spostarsi dagli strati più caldi a quelli più freddi del terreno; in questi ultimi esso si condensa eventualmente dando luogo ad acqua che percola. In California EDLEFSEN e BODMAN (1941) hanno osservato che il vapore acqueo del terreno durante l'estate si sposta verso gli strati profondi mentre durante l'inverno esso si sposta verso gli strati superficiali. Analogo fenomeno è stato osservato da LEBEDEFF (1928) in Russia. Questo A. anzi parla, oltre che di un ritmo stagionale, anche di un ritmo giornaliero in conseguenza del quale durante il dì il vapore acqueo si va a condensare negli strati profondi mentre durante la notte accade l'opposto. Anche SMITH (1944) accenna ai rapporti esistenti tra gradiente termico ed umidità del terreno.

In conseguenza, dunque, è presumibile che il particolare comportamento del gradiente termico di un terreno termale condizioni una certa distribuzione del vapore acqueo e della umidità del terreno stesso. Più precisamente il vapore acqueo, portandosi costantemente dagli strati profondi più caldi a quelli superficiali più freddi, si condensa alla superficie del terreno. Da essa l'acqua condensata percola per gravità negli strati sottostanti fin quando non incontra temperature tali che la riportano allo stato di vapore.

Altra serie di osservazioni interessanti fatte sui terreni riscaldati artificialmente concerne i rapporti che sussistono tra economia termica di un tale suolo e tipo di vegetazione impiantata su di esso.

Precedentemente è stato accennato al fatto che, nei terreni a termalità propria, più elevata è la termalità, maggiore risulta la autonomia termica. Tale autonomia termica può essere accentuata o ridotta a seconda delle specie che ricoprono il suolo. Infatti, a parità di termalità e di altre condizioni, una copertura vegetale fitta rappresentata da un praticello compatto di *Cyperus polystachyus* — rispetto ad una copertura vegetale più rada (piantine di *Plantago psyllium* a 2-3 cm. di distanza) —

limita notevolmente le variazioni di temperatura conseguenti alle variazioni della irradiazione che colpisce il terreno. Ciò risulta particolarmente evidente se si studiano comparativamente l'irradiazione globale ed il gradiente termico del terreno nel primo centimetro di profondità su due terreni vicini che presentano pari termalità a 3 cm. di profondità, ma che sono ricoperti da specie diverse (l'uno da *Cyperus polystachyus*, l'altro da *Plantago psyllium*). In questo caso si constata che lo scarto tra temperatura ad 1 centimetro e temperatura alla superficie è maggiore sotto *Plantago*, minore sotto *Cyperus*.

Ad esempio in un rilievo effettuato simultaneamente su due terreni vicinissimi e con temperatura di 35 °C a 3 cm. di profondità ho riscontrato i seguenti valori:

	Sotto <i>Plantago- psyllium</i> °C	Sotto <i>Cyperus polystachyus</i> °C
profondità cm. 3	35	35
profondità cm. 1	32	32
superficie del terreno	25	28

In altri termini la vegetazione più rada porta ad un raffreddamento maggiore di quello che si riscontra sotto una vegetazione più fitta. Se ne deduce quindi, tra l'altro, che nelle stazioni fumaroliche naturali di *Cyperus polystachyus* ad Ischia i lembi di praticelli erbosi di questa specie determinano una maggiore costanza della temperatura del suolo. In conseguenza anche più costanti risultano le temperature del microclima sovrastante a tali terreni; le piante di *Cyperus polystachyus* si avvantaggiano di tale costanza in parte da esse stesse determinata.

Quanto sopra esposto ci dice inoltre che le temperature del suolo nei primi centimetri di profondità e il comportamento delle temperature del microclima sovrastante vengono influenzati dalla morfologia esterna delle piccole specie erbacee impiantate su tali terreni.

Se la copertura vegetale influenza le temperature del suolo ad esso sottostante, ovviamente si verifica anche il reciproco e cioè che le temperature del suolo influenzano la copertura vegetale. Anzi quest'ultimo effetto è molto più appariscente e facil-

mente rilevabile. Tale azione delle temperature del suolo sulle piante viventi su di esso non è limitato alle radici ed alle parti ipogee in generale, ma si esplica anche sulle parti aeree poichè è ben noto che il comportamento termico del microclima immediatamente sopra il terreno è condizionato dalla economia termica del terreno sottostante. Pertanto le nostre osservazioni anche se riguardano per il momento soltanto il terreno, rappresentano la premessa indispensabile per lo studio e per la interpretazione del microclima che si realizza sui terreni a termalità propria.

Le varie specie reagiscono in modo differente alle diverse termalità di un terreno, a seconda delle proprie esigenze ecologiche. Nel nostro caso risulta interessante il confronto tra il comportamento di una specie tropicale (*Cyperus polystachyus*) ed il comportamento di una specie spontanea nella regione mediterranea (*Plantago psyllium*) entrambe coltivate sui terreni con varie termalità. Differenze di pochi °C sono sufficienti a determinare nel clima di Napoli ed in periodo invernale-primaverile differenze notevoli nello sviluppo di *Cyperus polystachyus*; *Plantago psyllium*, al contrario, quasi non risente di tali differenze (vedi tavola II). Più precisamente, in clima mediterraneo ed in periodo invernale-primaverile, *Cyperus polystachyus* esige un substrato riscaldato, mentre *Plantago psyllium* sopporta bene tale substrato. Questo fatto, ovvio se si tiene presente la diversa origine delle due specie in questione, spiega perchè in clima mediterraneo *Cyperus polystachyus* sia accantonato esclusivamente sui terreni fumarolici.

*Cyperus polystachyus*, pertanto, appartiene a quella categoria di specie che in clima mediterraneo esigono terreni fumarolici; *Plantago psyllium* appartiene invece a quella categoria di piante che si adattano a vivere sui terreni fumarolici sopportandoli e solo nel periodo più freddo dell'anno si giovano appena di un tale substrato.

#### R I A S S U N T O

Allo scopo di studiare con maggiore precisione l'ecologia dei terreni fumarolici, l'A. realizza terreni fumarolici artificiali i quali riproducono le condizioni termiche ed igrometriche riscontrabili nei terreni fumarolici naturali.

Viene descritto il dispositivo sperimentale allestito onde realizzare tali terreni fumarolici artificiali; il controllo continuo delle temperature è stato effettuato mediante serie di termistori collegati ad un registratore e disposti nel terreno alla distanza di pochi mm.

Con tale dispositivo viene studiata l'economia termica dei terreni riscaldati rilevando simultaneamente le temperature del terreno e la radiazione globale che lo colpisce. In particolare si mettono in evidenza i rapporti esistenti tra condizioni ambientali e propagazione del calore, gradiente termico e autonomia termica nei terreni riscaldati. In tali terreni il gradiente termico risulta generalmente di tipo notturno e la loro autonomia termica è notevole pur senza raggiungere temperature eccessive che impediscono lo sviluppo di vegetali. L'economia termica dei terreni riscaldati risulta influenzata dal tipo di copertura vegetale.

Infine vengono studiati i rapporti esistenti tra riscaldamento del suolo e sviluppo delle piante viventi su di esso: nel clima di Napoli e in periodo invernale una specie mediterranea (*Plantago psyllium*) si adatta a vivere sui terreni fumarolici sopportandone il riscaldamento mentre una specie tropicale (*Cyperus polystachyus*) esige tale tipo di terreni.

#### S U M M A R Y

In order to study in details the ecology of the « fumarolic » soils, the A. devises artificial « fumarolic » soils where the thermic and hygrometric conditions of the natural ones are perfectly reproduced. This experimental device, that permits a study of the thermic economy of heated soils by measuring the soil temperature together with the total value of the received radiations, is extensively described. At last, the A. illustrates the relations between the heating of the soil and the development of the plants living on it.

#### BIBLIOGRAFIA

- DAUBENMIRE, R. F. - *Plant and environment*. II edit., John Wiley & Sons, New York. 1959.
- EDLEFSEN, N. E. and G. B. BODMAN - *Field measurement of water movement through a silt loam soil*. J. Amer. Soc. Agron., 33: 713-731, 1941.
- FABER, F. C. von - *Untersuchungen über die Physiologie der javanischen Solfataren-Pflanzen*. Flora, 118-119: 89-110, 1925.
- — - *Die Kraterpflanzen Javas in physiologisch-okologischer Beziehung*. Arbeiten aus dem Treub-Laboratorium ('s Lands Plantentuin Botanischer Garten-Buitenzorg), 1: 1-119, 1927.
- GEIGER, R. - *The climate near the ground*. Harvard University press, Cambridge. 1957.
- KRAMER, P. J. - *Plant and soil water relationships*. McGraw - Hill, New York, 1949.

- LEBEDEFF, A. F. - *The movement of ground and soil waters*. Proc. Intern. Congr. Soil Sci., 1st Congr., 1: 459-494, 1928.
- LÖETSCHERT, W. - *Temperatur- und pHstudien in savadorenischen Solfataren und Thermen*. Ber. d. Dtsch. Bot. Ges., 69: 21-31, 1956.
- LUNDERGARD, H. - *Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben*. V edit., Gustav Fischer, Jena, 1957.
- MEROLA, A. - *Osservazioni sulla ecologia e sulla biologia dei vegetali viventi presso le fumarole. Nota I. Termotropismo radicale e riscaldamento del terreno in Erica arborea L.* Delpinoa, 10: 5-20, 1957a.
- — - *Ibid. Nota II. Lo sviluppo dell'apparato radicale in Myrtus communis cresciuto su terreno fumarolico*. Boll. Soc. Naturalisti in Napoli, 66: 31-34, 1957b.
- — - *Ecologia del Cyperus polystachyus Rottb. nelle sue stazioni eterotopiche dell'isola d'Ischia*. Delpinoa, 10: 22-92, 1957 c.
- — - *Osservazioni sulla ecologia e sulla biologia etc. Nota III. Gradienti termici del terreno e plagiotropismo della radice primaria in Plantago bellardi All. dei terreni fumarolici di Pantelleria*. Delpinoa, n. s., 1: 3-22, 1959.
- SMITH, W. O. - *Thermal transfer of moisture in soils*. Trans. Amer. Geophys. Union, 24: 511-523, 1944.

## SPIEGAZIONE DELLE TAVOLE

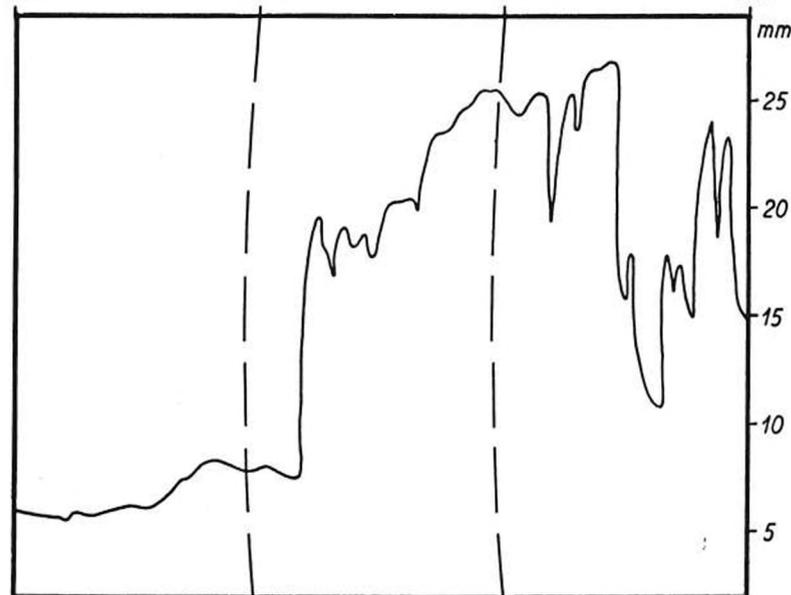
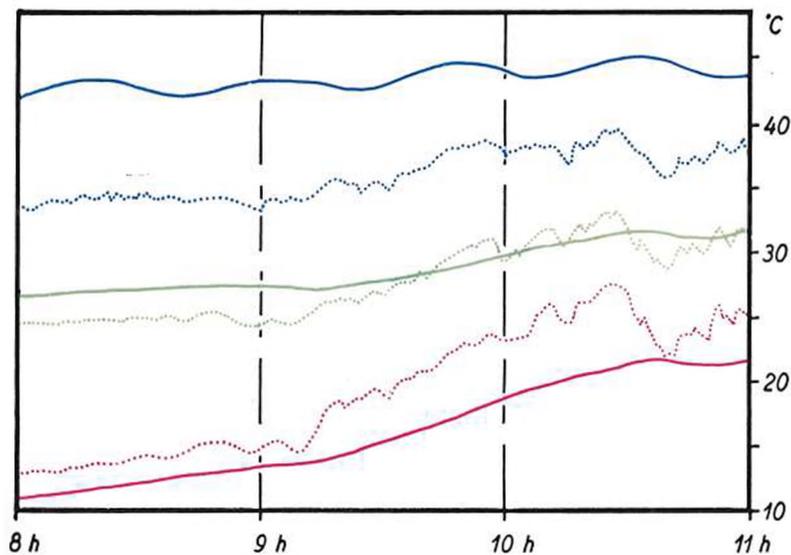
### TAVOLA I

Rapporti tra radiazione globale (= radiazione solare + radiazione diffusa dal cielo e dall'atmosfera) e temperature del suolo in terreni con termalità differente e con diversa copertura vegetale. Le temperature sono state rilevate a livelli differenti di ciascun terreno (in superficie e ad 1 cm. di profondità) e sono state registrate ogni minuto primo.

### TAVOLA II

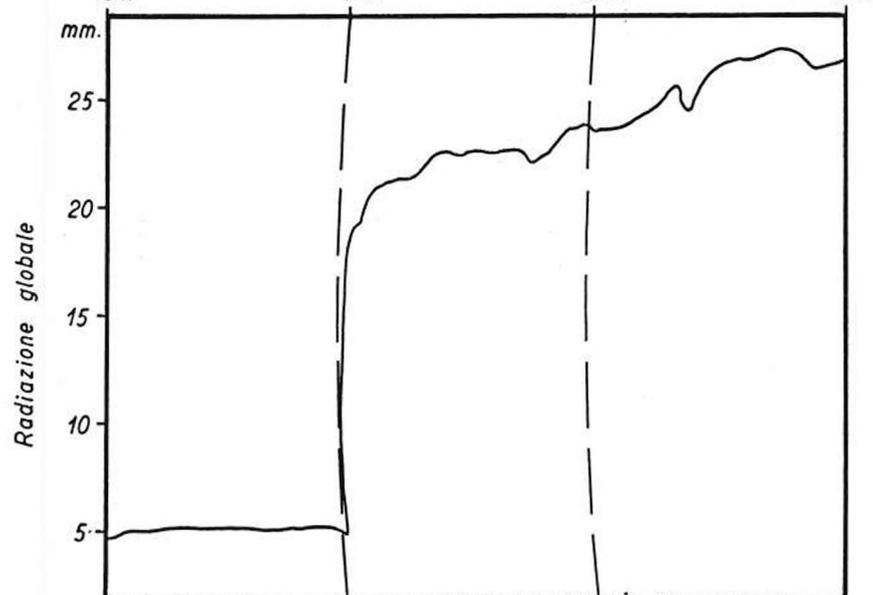
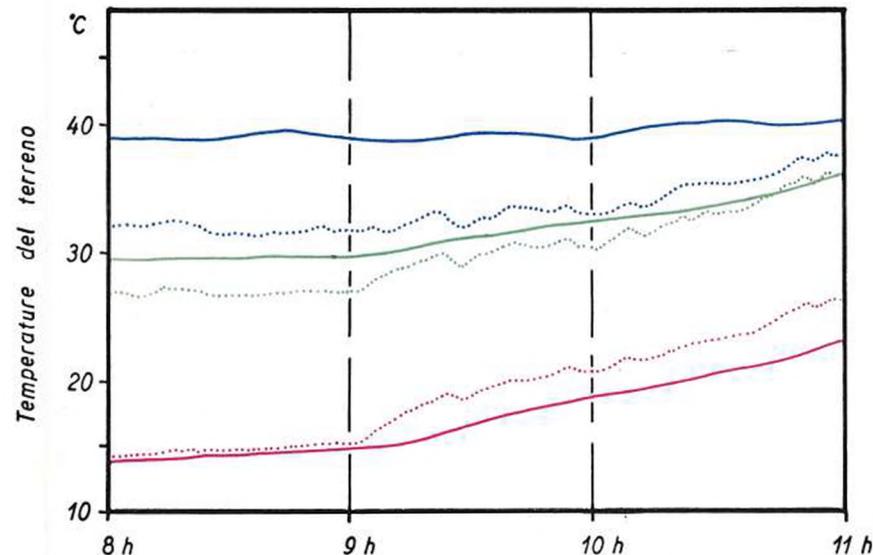
Sviluppo di *Plantago psyllium* e di *Cyperus polystachyus* coltivati su tre terreni con differente economia termica. In basso: registrazioni continue delle temperature al mattino (7h - 7h30') e nel primo pomeriggio (13h - 13h30') nei tre diversi terreni di coltura.

Vegetazione rada (*Plantago psyllium*)

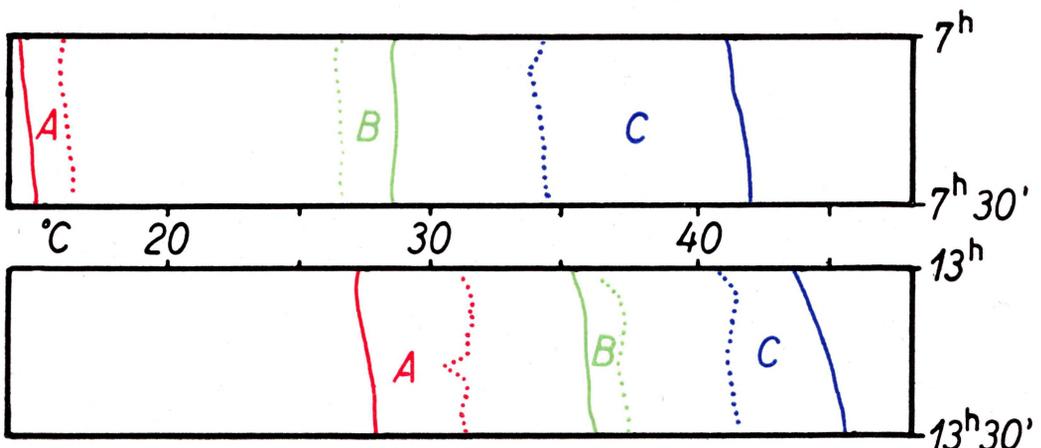
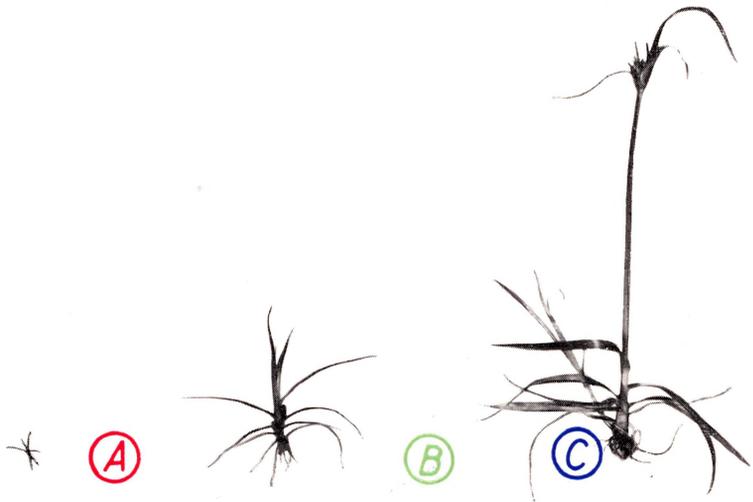


..... suolo non riscaldato  
..... suolo poco riscaldato  
..... suolo molto riscaldato  
——— profondità' cm. -1

Vegetazione fitta (*Cyperus polystachyus*)



..... superficie del terreno  
——— profondità' cm. -1



**A** suolo non riscaldato  
**B** suolo poco riscaldato  
**C** suolo molto riscaldato

..... superficie  
==== cm.-1

