



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI AGRARIA

LA TEMPERATURA

Marco Acutis

Corso di studi in Produzione e Protezione delle Piante e dei Sistemi del Verde

Temperatura

Il flusso di radiazione proveniente dal sole determina lo stato termico della superficie terrestre

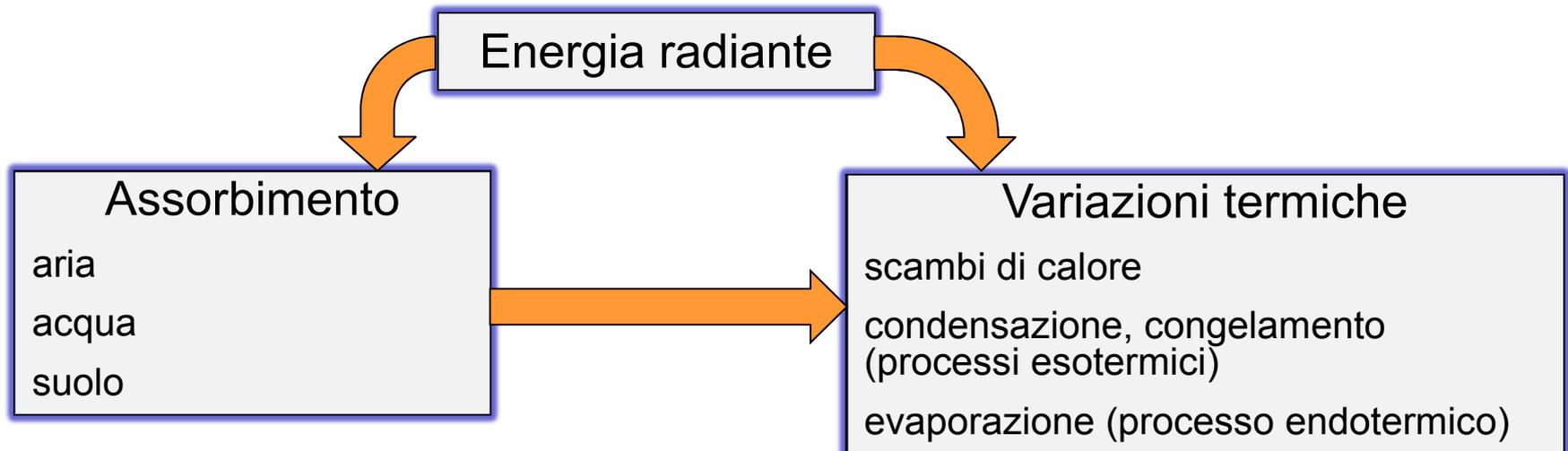
Temperatura: espressione dello stato termico

Calore: energia connessa all'attività vibratoria degli atomi

La temperatura influenza:

Reazioni biochimiche e processi fisiologici (fotosintesi, respirazione)

Flussi di acqua nell'atmosfera e tra pianta e atmosfera



Misura della Temperatura

Unità di misura

Sistema internazionale: Kelvin (K)

Sistema Tecnico: Celsius ($^{\circ}$ C), Fahrenheit ($^{\circ}$ F)

Kelvin Celsius $T(^{\circ}$ C) = T(K) - 273,15

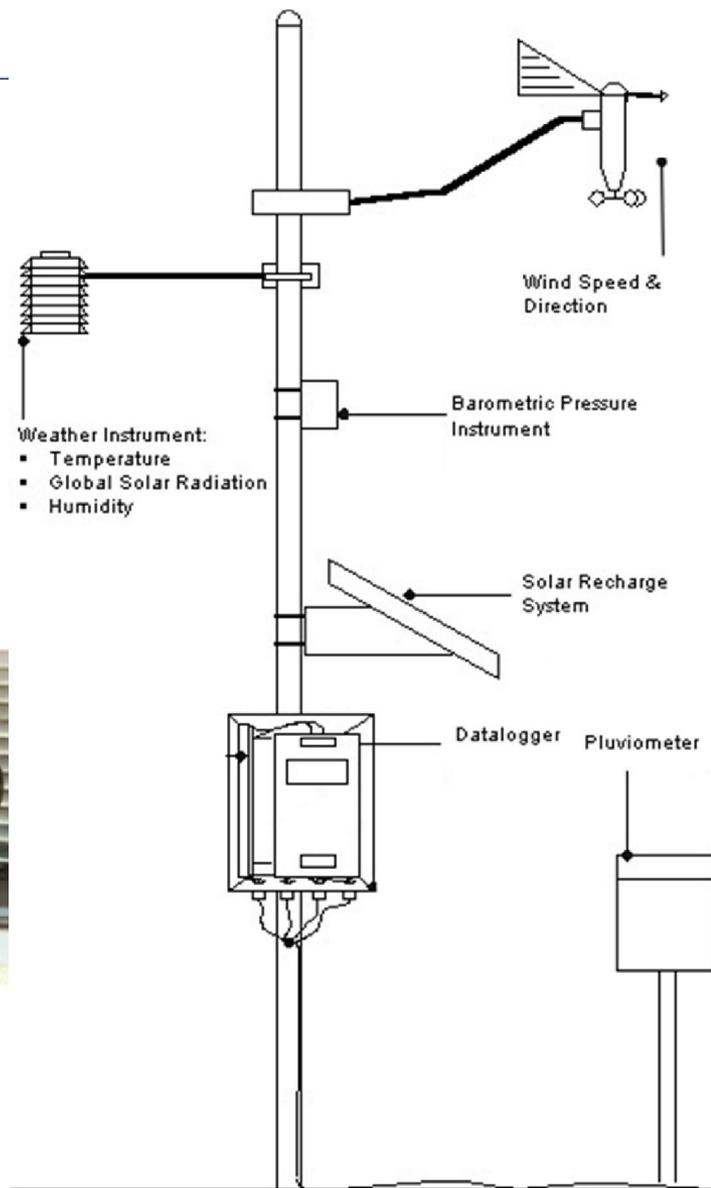
Celsius Kelvin $T(K) = T(^{\circ}$ C) + 273,15

Kelvin Fahrenheit $T(^{\circ}$ F) = (T(K) \times 1,8) - 459,67

Fahrenheit Kelvin $T(K) = (T(^{\circ}$ F) + 459,67) / 1,8

Temperatura dell'aria

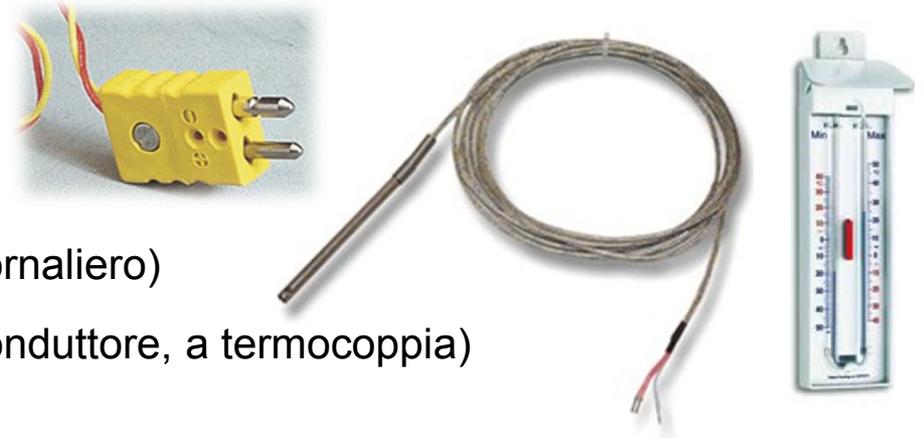
Si misura in apposite capannine per evitare l'effetto della radiazione a 1,5 o 2 m dal suolo



Misura della Temperatura

Termometri

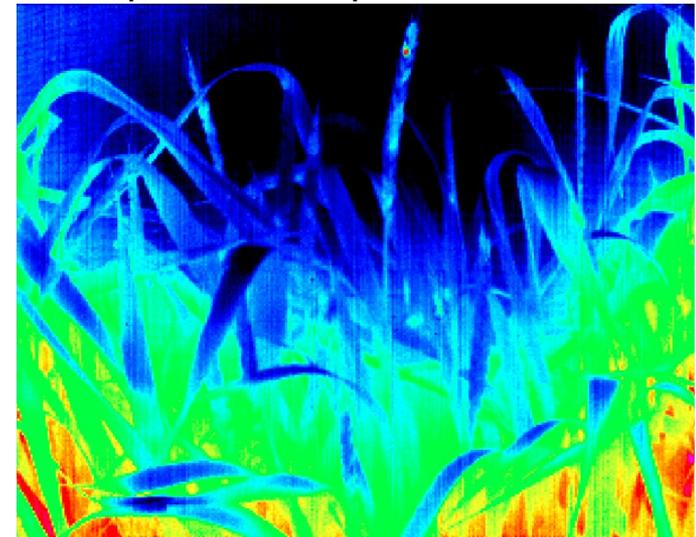
- A dilatazione
 - a mercurio, a alcool, bimetallici
 - a massima e minima (azzeramento giornaliero)
- Elettronici (termoresistenze, a semiconduttore, a termocoppia)
- A Infrarosso



misura di temperatura di oggetti a distanza (foglie, correlata con stress idrico: tanto più è alta la temperatura rispetto all'ambiente, tanto meno c'è traspirazione = pianta ha chiuso gli stomi).

Termografi

- meccanici registratori, settimanali o mensili
- elettronici (con data-logger)



(T. Frederiks, 2011)



Temperatura media aria

Media Giornaliera:

Usualmente $T_{media} = (T_{max} + T_{min}) / 2$ (strumenti a massima e minima)

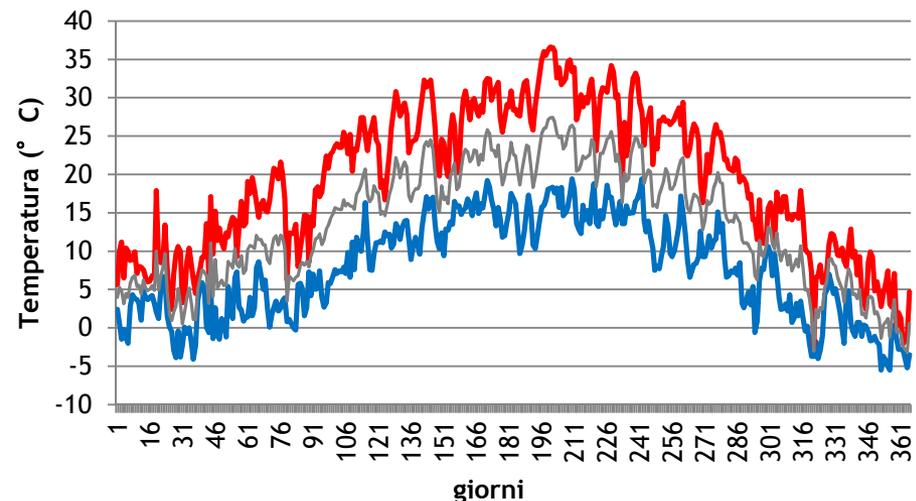
Dovrebbe essere fatta mediando il maggior numero di acquisizioni possibili (strumenti elettronici)

- Media di 24 temperature orarie (possibile ma difficile con strumenti meccanici)
- Media di 3-4 temperature distanziate 8 o 6 ore (es 2-8-14-20)

Medie decadiche, mensili, annuali,

della temperatura media giornaliera e delle T_{max} e T_{min}

— T min
— T max
— T media



Escursione termica:

- *giornaliera* = $T_{max} - T_{min}$: correlata con scarsità di gas serra (H_2O), vento, bassa UR e quindi con la radiazione
- *annuale*: T_{media} mese più caldo - T_{media} mese più freddo



Temperatura del terreno

Importante per:

- Attività biologica (molti processi es. nitrificazione, mineralizzazione della sostanza organica possono più che raddoppiare la loro velocità all'aumentare della temperatura di 10 ° C).
- Germinazione semi (< 5° C)
- Sviluppo e funzionalità apparati radicali (<5° C)
- Crioturbazioni (effetto gelo-disgelo)

Condizionata da:

Fattori geografici (latitudine, altitudine, stagione, ora, ecc..)

Fattori fisici (colore: albedo, assorbimento radiazione)

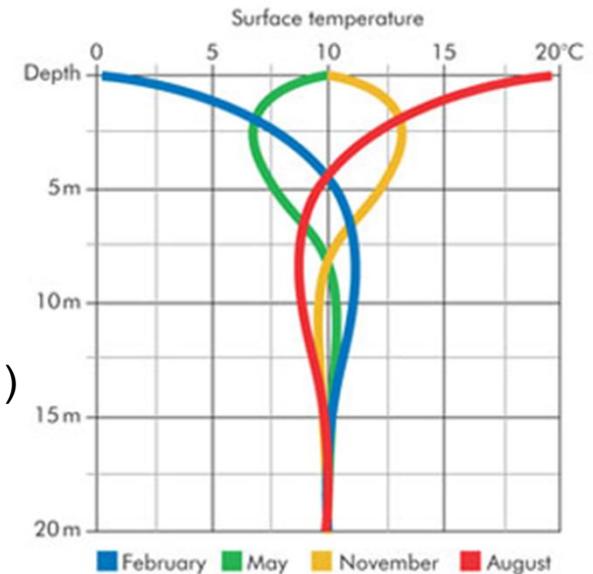
Contenuto di acqua

l'acqua ha capacità termica specifica più elevata degli altri componenti il terreno, si riscalda e si raffredda lentamente; terreno con molta acqua si riscalda tardi in primavera

Copertura vegetale:

Il suolo riceve pochissima radiazione

Perdita di calore per traspirazione



Variazioni della temperatura dell'aria

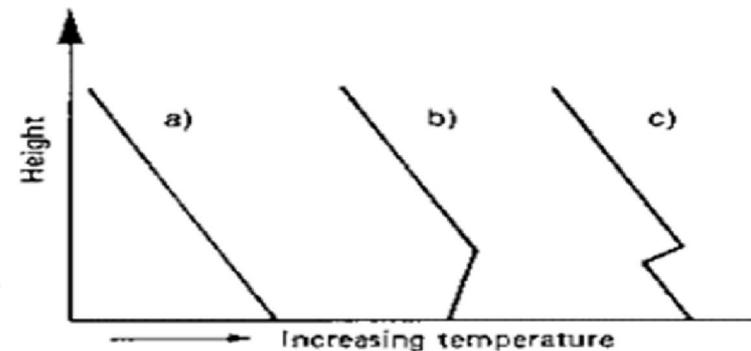
Variazioni con l'altitudine

0,5 - 0,7 ° C in meno ogni 100 m d'altitudine (poiché l'atmosfera è riscaldata dal basso)

Inversione termica: i primi metri di aria sono più freddi di quelli sovrastanti, avviene per:

- **Irraggiamento:** terreno e vegetazione si raffreddano facilmente in notti limpide, aria calma, e l'aria fredda ristagna perché sovrastata da aria calda
- **Convezione:** nei fondo-valle l'aria più fredda delle pendici può scivolare verso le quote più basse

- a) Normal Lapse Rate
- b) Temperature Inversion
- c) Sound "Channel"



Variazioni diurne

dall'alba la T cresce; alle 13 circa si hanno le temperature massime: (un ritardo rispetto alla massime radiazione), poi decresce fino al tramonto; dopo decresce più rapidamente continuando l'irraggiamento in assenza di input energetico e raggiunge un minimo all'alba (circa alle 5)

T più alte (diurne) sono ottimali per fotosintesi, sviluppo veloce

T più basse (notte) sono favorevoli alla traslocazione degli assimilati



Relazioni tra temperatura e altitudine

DIMINUZIONE DI TEMPERATURA per 100 m di altitudine nella Provincia di Napoli

MESI	Tmedia =	Tmax =	Tmin =
GEN	9.85-0.0050A	13.1-0.0072A	6.60-0.0028A
FEB.	10.52-0.0058A	14.0-0.0081A	6.99-0.0036A
MAR.	12.23-0.0054A	16.2-0.0077A	8.29-0.0031A
APR.	15.15-0.0055A	19.5-0.0080A	10.80-0.0029A
MAG.	19.16-0.0059A	23.9-0.0087A	14.42-0.0031A
GIU	22.89-0.0054A	27.8-0.0082A	18.00-0.0026A
LUG.	25.55-0.0051A	30.7-0.0080A	20.40-0.0022A
AGO.	25.49-0.0049A	30.6-0.0078A	20.40-0.0020A
SET.	22.90-0.0050A	27.6-0.0078A	18.17-0.0021A
OTT.	18.72-0.0050A	22.9-0.0076A	14.57-0.0024A
NOV.	14.34-0.0044A	17.9-0.0069A	10.78-0.0020A
DIC.	11.11-0.0045A	14.3-0.0066A	7.88-0.0025A

a =
(media annua)
(Diminuzione della T per ogni m di altitudine)

0.0052	0.0077	0.0026
		
0.52	0.77	0.26



Variazioni di temperatura dell'aria

Variazioni Stagionali

Seguono l'andamento della radiazione solare, con qualche settimana di ritardo

Periodo di assenza di gelo: giorni dall'ultima gelata primaverile alla 1^a autunnale.
Per l'attività agricola si richiede un minimo di 90 giorni.

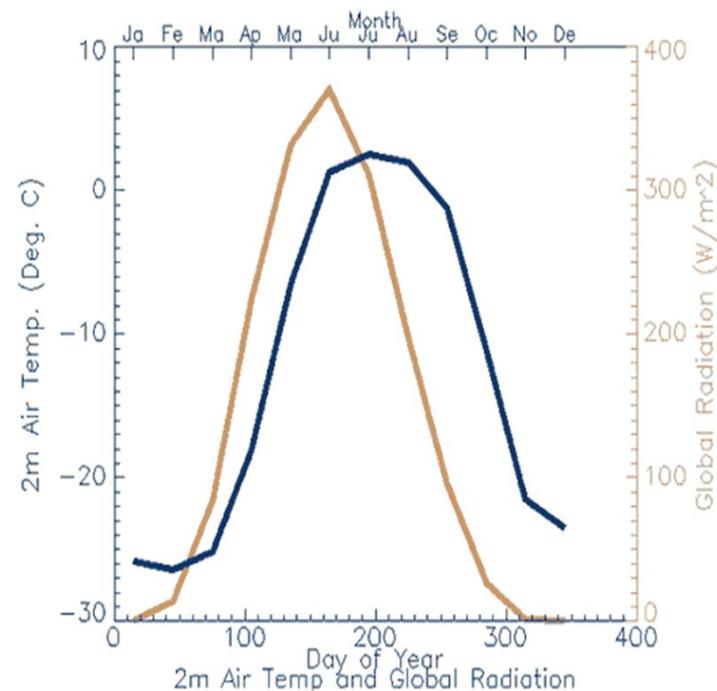
Variazioni in funzione dell'esposizione

L'esposizione a sud è la più favorevole, quella a nord la peggiore

Se è 100 la quantità di calore ricevuta da una superficie orizzontale è:

30° sud	129
30° est	92
30° ovest	90
30° nord	50

spiccato effetto visibile nelle colline e montagne; anche settimane di ritardo nello sviluppo della vegetazione spontanea

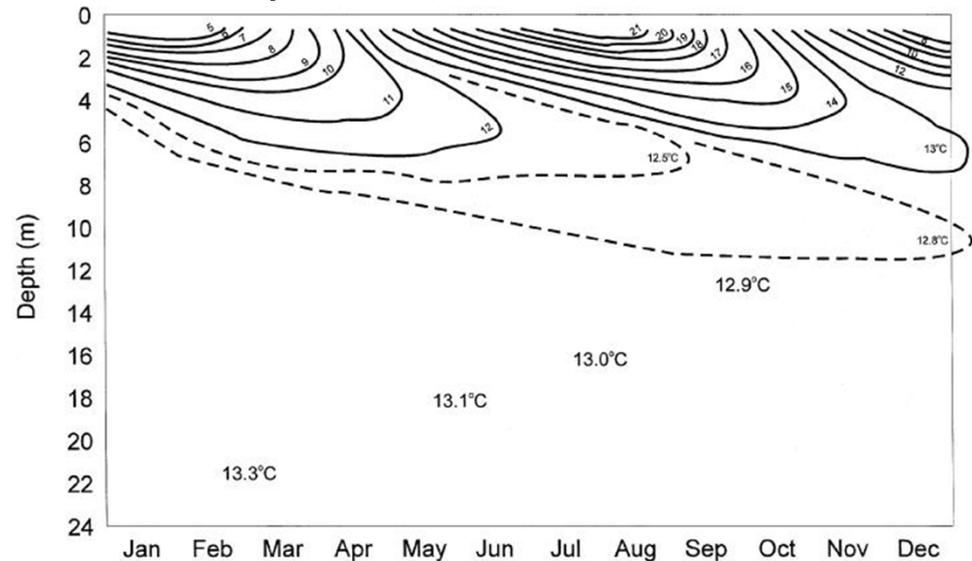


Profili di temperatura nel terreno

La propagazione del calore nel suolo dipende da:

- contenuto in acqua (+ importante)
- contenuto in sostanza organica
- composizione mineralogica
- tessitura
- struttura

Profilo di temperatura



Strato 0-5 cm: escursioni superiori a quelle dell'aria.

Strato 5-10 cm da escursioni come quella della t dell'aria a escursioni apprezzabilmente minori

a 25 cm: appena avvertibili le variazioni giornaliere, sfasamento dei massimi e minimi di circa 12 ore

a 1 m: variazioni stagionali con 1-2 mesi di ritardo

a 6 m: temperatura costante.



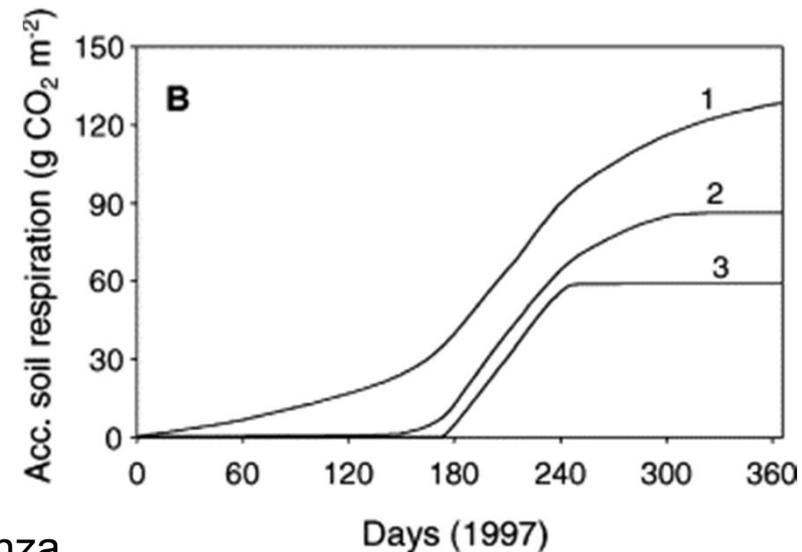
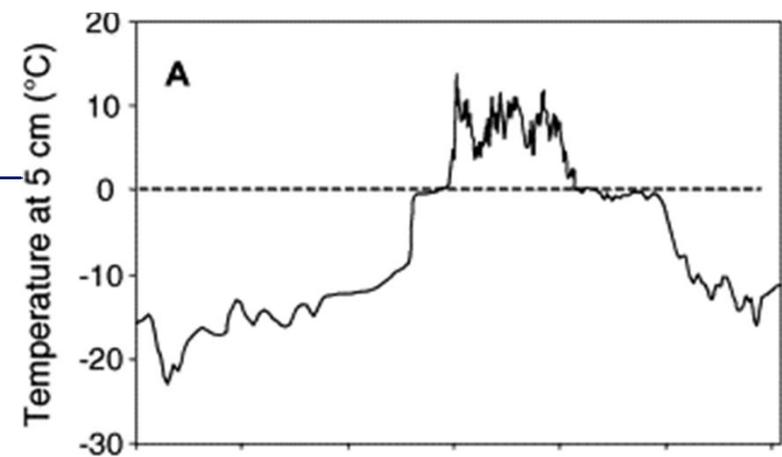
Effetti della temperatura

Sul suolo:

- **formazione della struttura** (gelo-disgelo)
- **attività microbiologica:** umificazione
ammonizzazione
nitrificazione
denitrificazione

Sulla pianta:

- **funzioni:** germinazione
assorbimento radicale
fotosintesi
respirazione
- **durata delle fenofasi:** germinazione-emergenza
sviluppo vegetativo
sviluppo organi riproduttivi
dormienza semi e piante



(Elberling & Brand, 2002)
1: dati cumulati osservati
2: simulazione con coefficiente termico (Q_{10}) modificato
3: nessuna crescita sotto 0° C



Temperatura e pianta

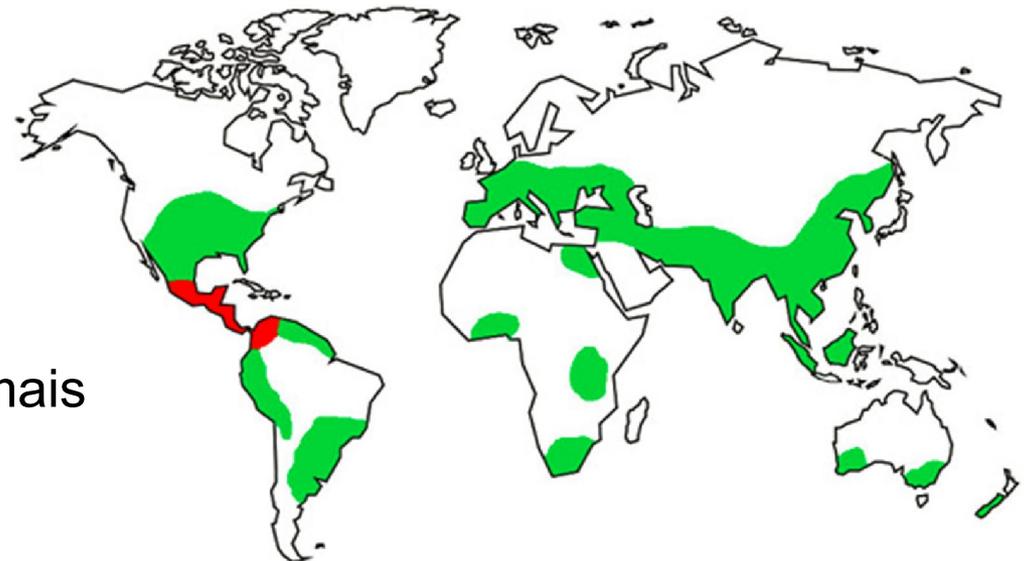
- **Temperatura ottimale:** quella a cui le varie funzioni vitali hanno la massima velocità
- **Temperature cardinali (massime e minime):** al di sotto o al di sopra delle quali le funzioni vitali si arrestano, per riprendersi nuovamente con temperature più idonee
- **Temperature critiche (massime e minime):** il loro superamento provoca danni irreparabili

→ **Specie:** **Macroterme**: esigenze e limiti alti (mais, sorgo 15-18 ° C)

Microterme: il contrario (frumeto, cereali autunno-vernini 2-5 ° C)
Esigenze diversificate a livello varietale (frumenti russi ≠ frumenti mediterranei)

Questi parametri determinano la localizzazione degli areali di coltivazione e le relative tecniche agronomiche

mais



Temperatura e pianta

→ **Funzioni vitali:** nella stessa pianta le diverse funzioni fisiologiche mostrano limiti termici diversi (respirazione, fotosintesi, traslocazione).

T ottimale respirazione $>$ T fotosintesi $>$ T traslocazione

- Abbassare la temperatura di notte in serra talvolta utile per la traslocazione

- T di germinazione ottimale e cardinale minima: indispensabile conoscerle per programmazione epoca e profondità di semina

→ **Organi:** le radici richiedono temperatura minore rispetto agli steli, le gemme a fiore sono maggiormente danneggiate di quelle vegetative, gli organi maschili soffrono delle basse temperature più di quelli femminili.

T ottimale radici $<$ parti epigee

→ **Fase di sviluppo:** le piante in piena attività sono più sensibili alle basse temperature di quelle in riposo. In generale a partire dalla germinazione le esigenze si mostrano crescenti. Fruttiferi e cereali più sensibili in fioritura.

Es. valori minimi per frumento:

Germinazione 0-5 ° C

Levata 10-12 ° C

Fioritura 17 ° C

Maturazione 19 ° C



Temperatura e pianta

- La lunghezza del periodo semina-raccolta di una coltura dipende principalmente dal calore totale ricevuto (un ritardo di semina non implica un ritardo uguale alla raccolta)
- Per l'intero ciclo colturale (o per la durata delle singole fenofasi) si calcolano **le somme termiche** o unità termiche o **GDD** (growing degrees day) sommando le T medie giornaliere e considerando le T cardinali

$$\text{SOMMA TERMICA} = \sum \frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} - \text{cardmin}$$

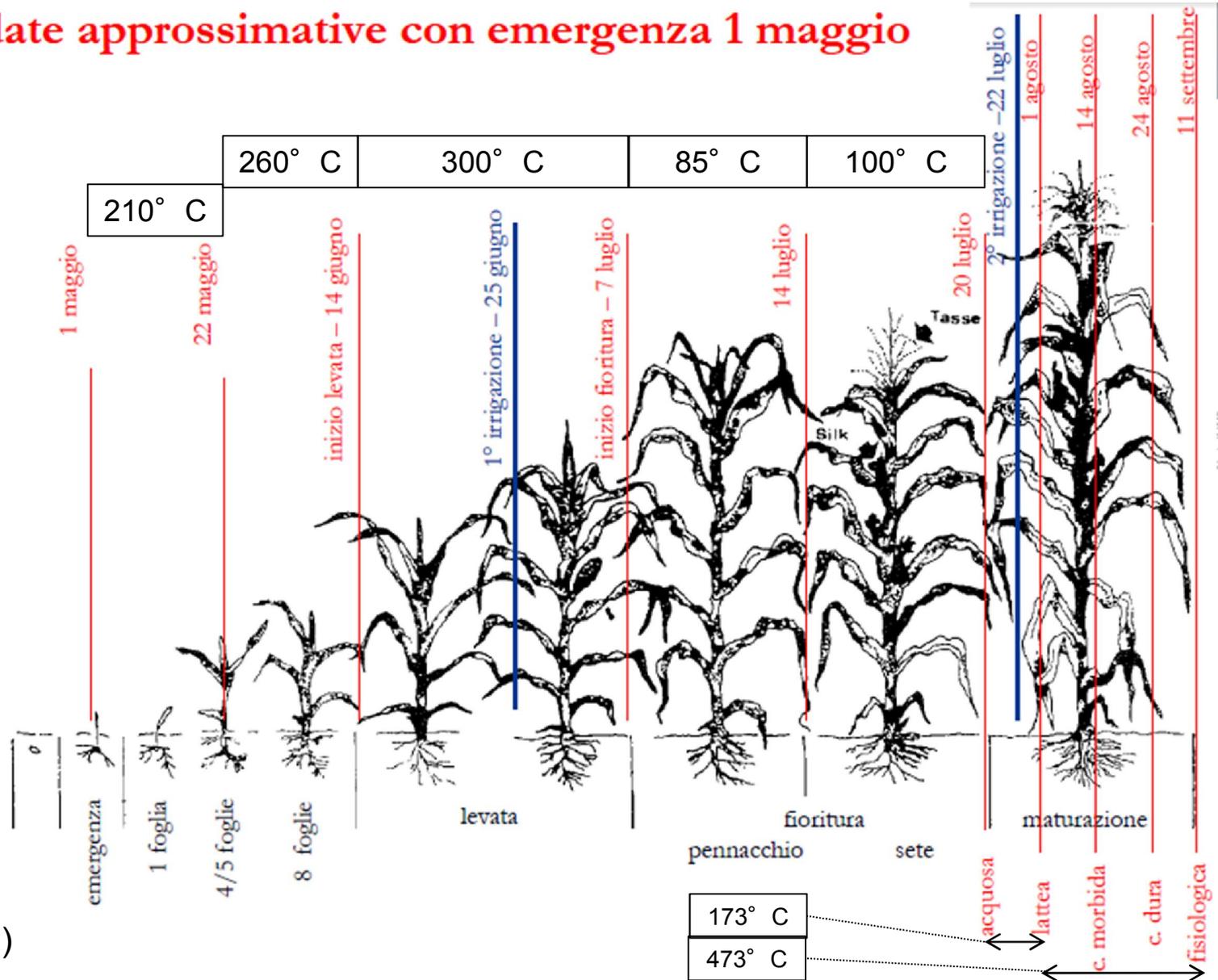
se $T_{\min} < \text{cardinale minimo}$, nella formula si sostituisce il cardinale minimo alla temperatura minima. Altre formule considerano anche il cardinale massimo, utilizzando il cardinale massimo al posto di T_{\max} se quest'ultima è $>$ del cardinale max.

- Questo sistema funziona supponendo relazione lineare GDD-crescita; talvolta non è vero per basse temperature; Trascura che:
 - Stadi iniziali dipendono di più dalla T del terreno che da quella dell'aria
 - Non considera le escursioni termiche
 - Non considera che anche disponibilità di N e acqua modificano la lunghezza del ciclo

In linea di massima, però il sistema funziona molto bene. In particolare per pisello e mais (gli ibridi di mais sono classificati in funzione dei GDD richiesti)



date approssimative con emergenza 1 maggio



(da A. Facchi)



Temperatura e pianta

Somme termiche di sviluppo in ° C

Rapa 700-900
Patata precoce 900-1000
Carota 1200-1500
Lino 1500-1700
Grano primaverile 1700-1900
Pomodoro 1800-2000
Cetriolo 1900-2200
Granoturco 2000-2300
Barbabietola 2200-2400
Cotone 2700-3000
Uva 2800-3200
Cotone 3200-3600
Agrumi 4000-4500
Datteri 4500-5000

Valori soglia in ° C per il calcolo delle somme termiche

Mais 10
Soia 10
Sorgo 8
Pisello 4
Cece 4
Grano 0-5
Riso 0-10



Termoperiodismo

- Le colture non si sviluppano bene a temperature costanti, ma richiedono valori ritmicamente fluttuanti, seguendo l'alternanza giornaliera del giorno e della notte: processi biologici diversi, quali fotosintesi e traslocazione, hanno valori cardinali diversi.
- Il termoperiodismo spiega in certi casi il motivo per cui colture dei climi temperati non si adattano a climi tropicali dove le escursioni giorno notte sono molto limitate.

→ Alcune colture richiedono fluttuazioni termiche tra giorno e notte

pomodoro	giorno	26 ° C
	notte	17 ° C

Se la T è costantemente alta la patata non forma tuberi; arance rimangono verdi.



Vernalizzazione

- Alcune piante hanno bisogno di un periodo di freddo per fiorire (in genere longidiurne, potrebbero, con il solo fotoperiodismo, “scambiare” la primavera con l’autunno)
cereali, bietola, insalate
- Nell’ambito dei cereali esistono varietà alternative, che non richiedono vernalizzazione, idonee alla semina primaverile in climi rigidi, e non alternative, che hanno un fabbisogno in freddo

Talvolta il fenomeno della vernalizzazione è indesiderato, nella bietola e nelle insalate, di cui ci interessano gli organi vegetativi. Se la bietola fiorisce, non ingrossa la radice

Dormienza dei semi: alcuni semi, completamente formati, si sviluppano solo dopo un certo periodo (2-3 mesi); si può evitare esponendoli a bassa temperatura per alcuni giorni.



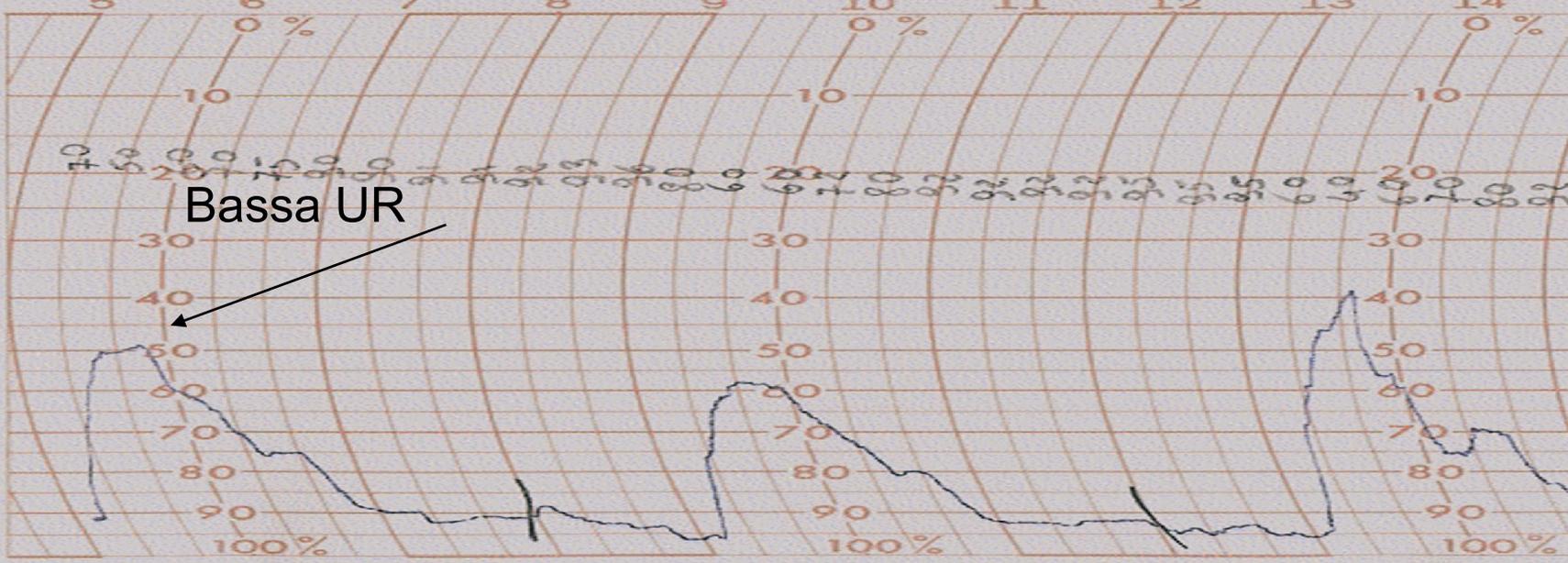
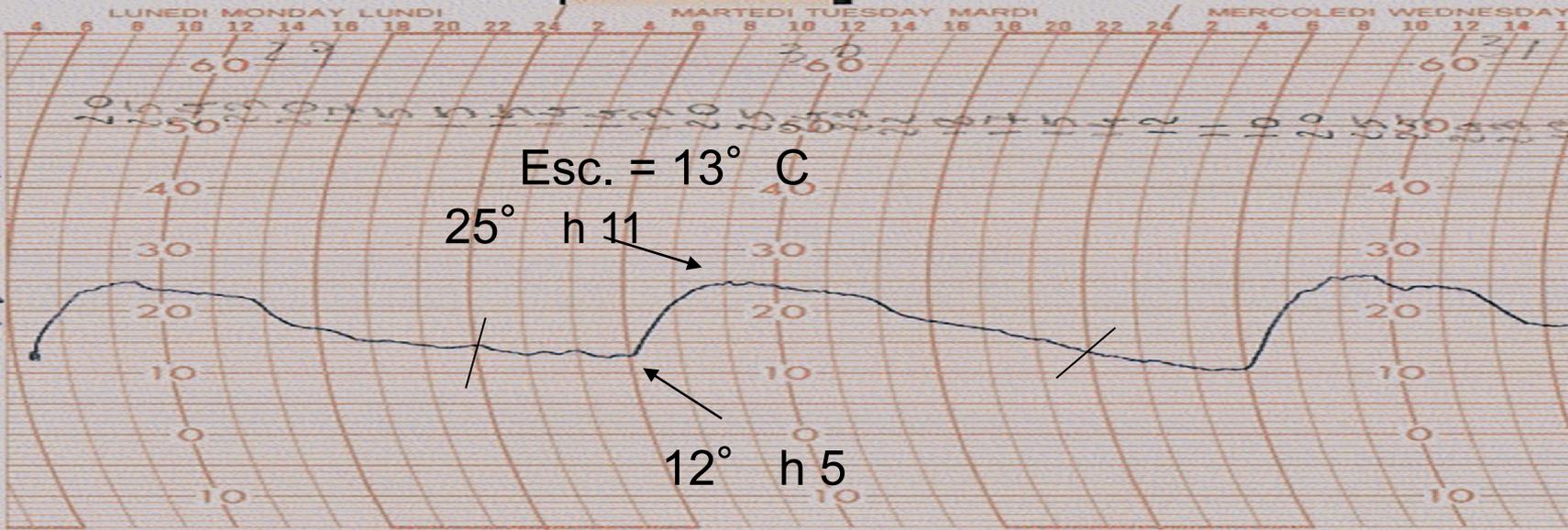
SETTIMANALE
WEEKLY
HEBDOMADAIRE

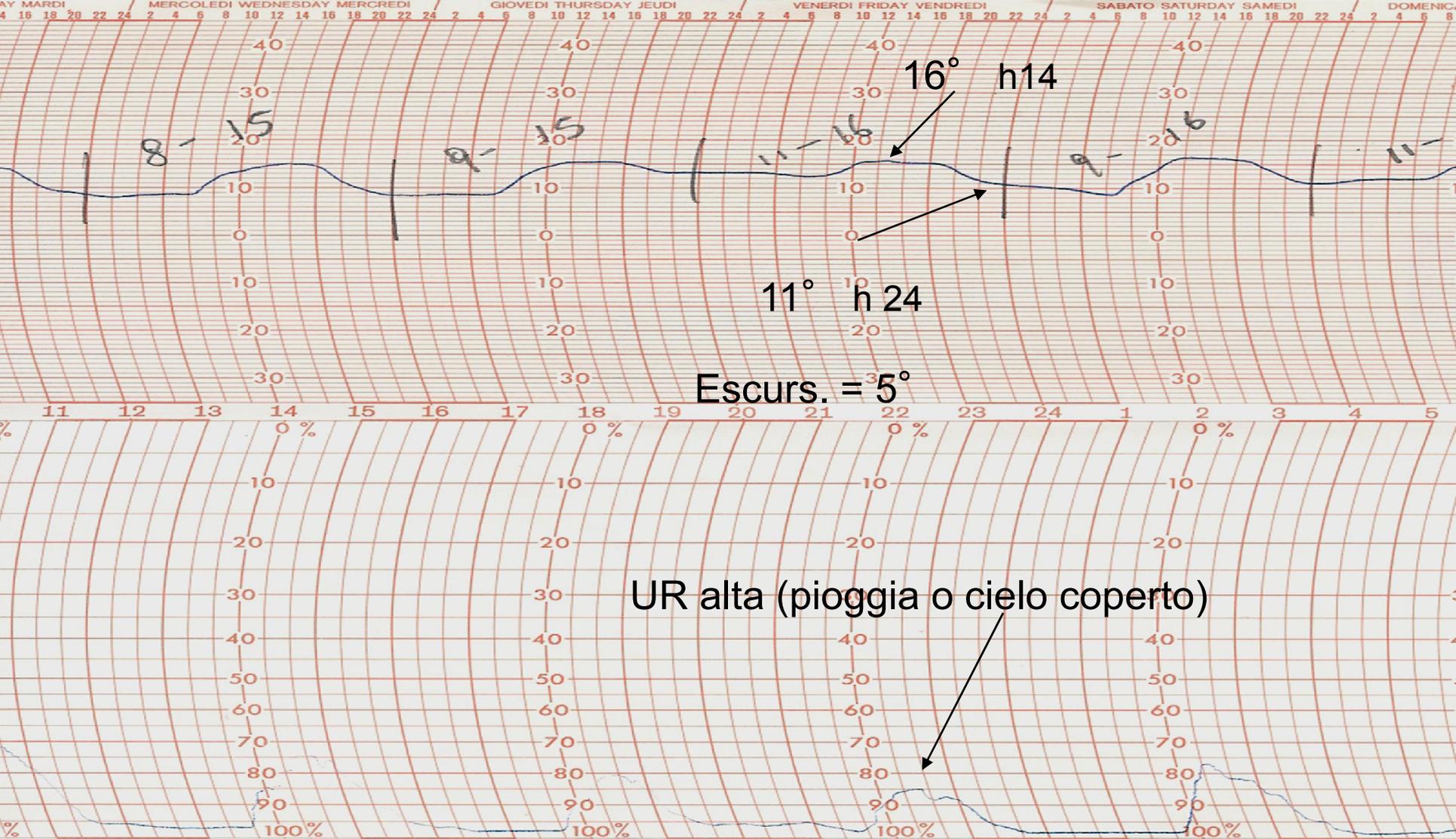
DATA
DATE
29-10-04
5-11-04

STAZIONE
STATION
GIORNALIERO
DAILY
JOURNALIER

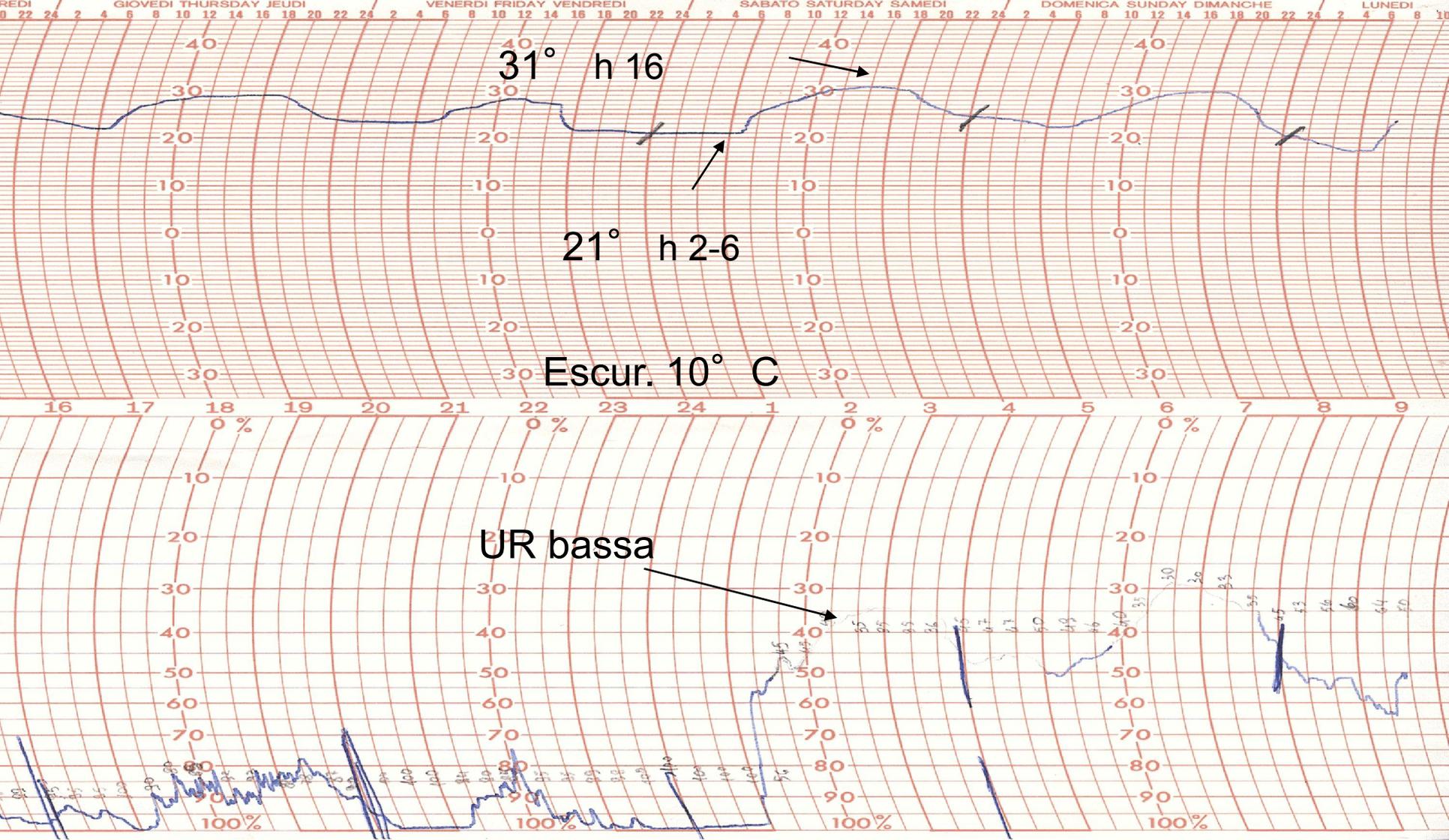
T. LAMA
Mod. 1750/B

SALICRAGHI
2019 Milano - Tel. 02/5030477





Marzo 2000 - Torino



Giugno 2000 - Portici