



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE E AMBIENTALI
PRODUZIONE, TERRITORIO, AGROENERGIA

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

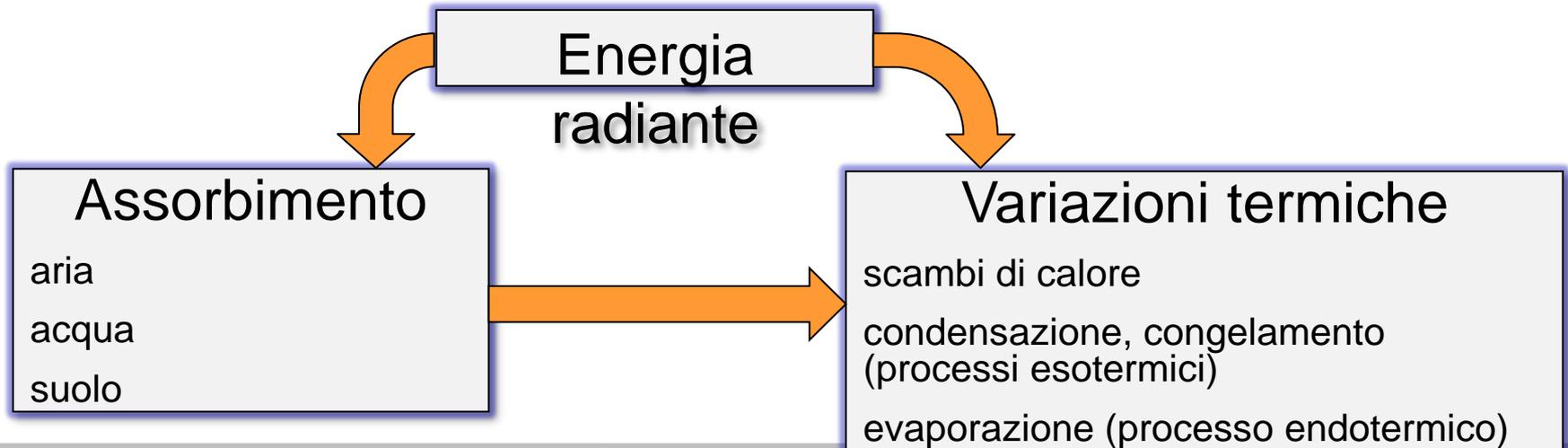
Temperatura: espressione dello stato termico

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

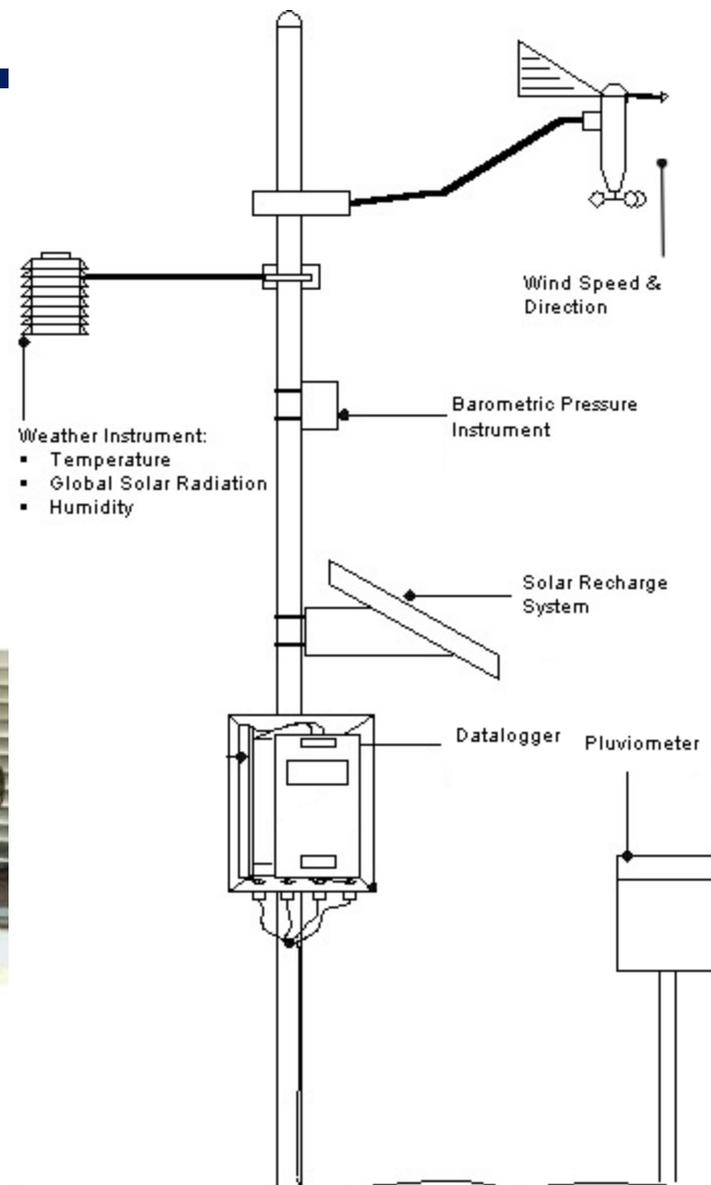
Sistema internazionale: Kelvin (K)

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

Kelvin	Celsius	$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$
Celsius	Kelvin	$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$
Kelvin	Fahrenheit	$T(^{\circ}\text{F}) = (T(\text{K}) \times 1,8) - 459,67$
Fahrenheit	Kelvin	$T(\text{K}) = (T(^{\circ}\text{F}) + 459,67) / 1,8$

Temperatura dell'aria

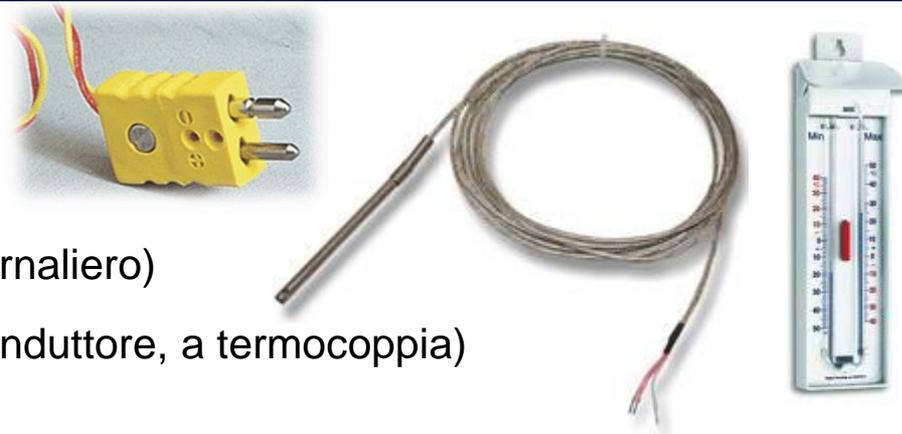
Si misura in apposite capannine per evitare l'effetto della radiazione a 1,5 o 2 m dal suolo



Misura della Temperatura

Termometri

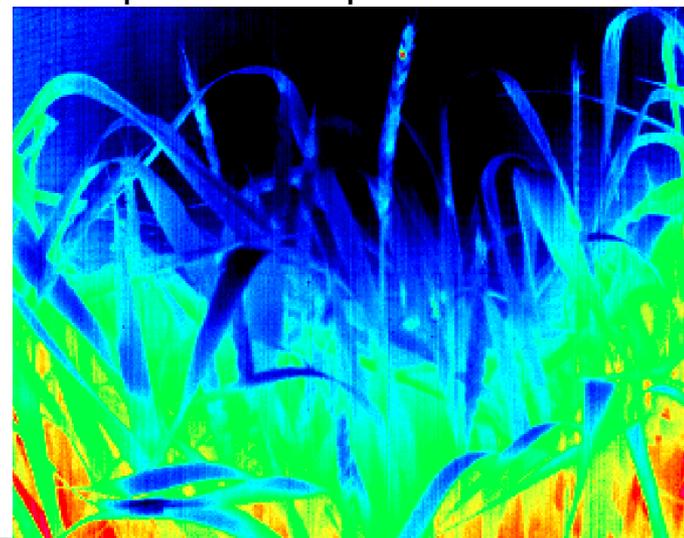
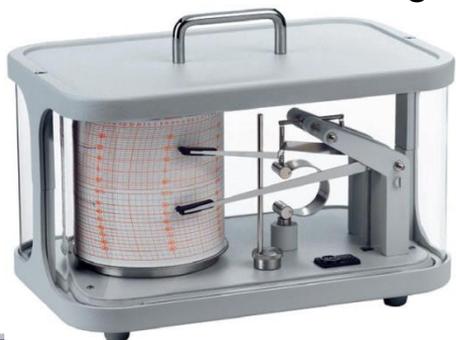
- A dilatazione
 - a mercurio, a alcool, bimetallici
 - a massima e minima (azzeramento giornaliero)
- Elettronici (termoresistenze, a semiconduttore, a termocoppia)
- A Infrarosso



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)

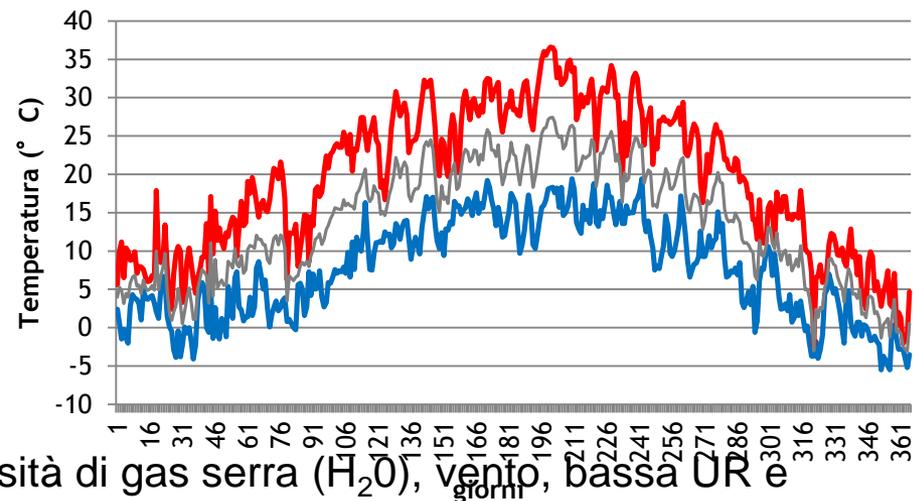
Medie decadiche, mensili, annuali,

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)

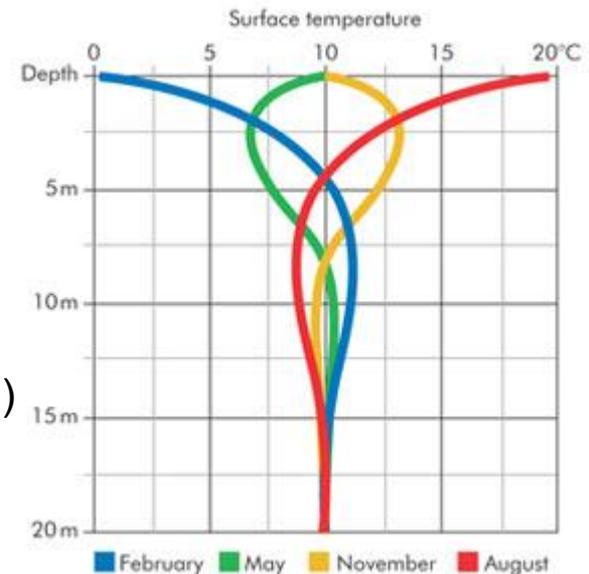
Contenuto di acqua

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

Copertura vegetale:

Il suolo riceve pochissima radiazione

Perdita di calore per traspirazione



Variazioni della temperatura dell'aria

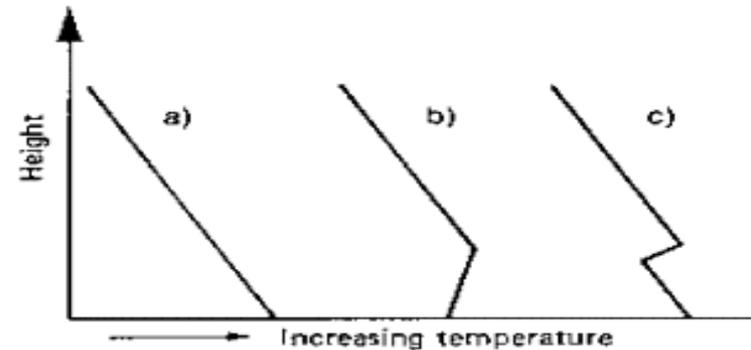
Variazioni con l'altitudine

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

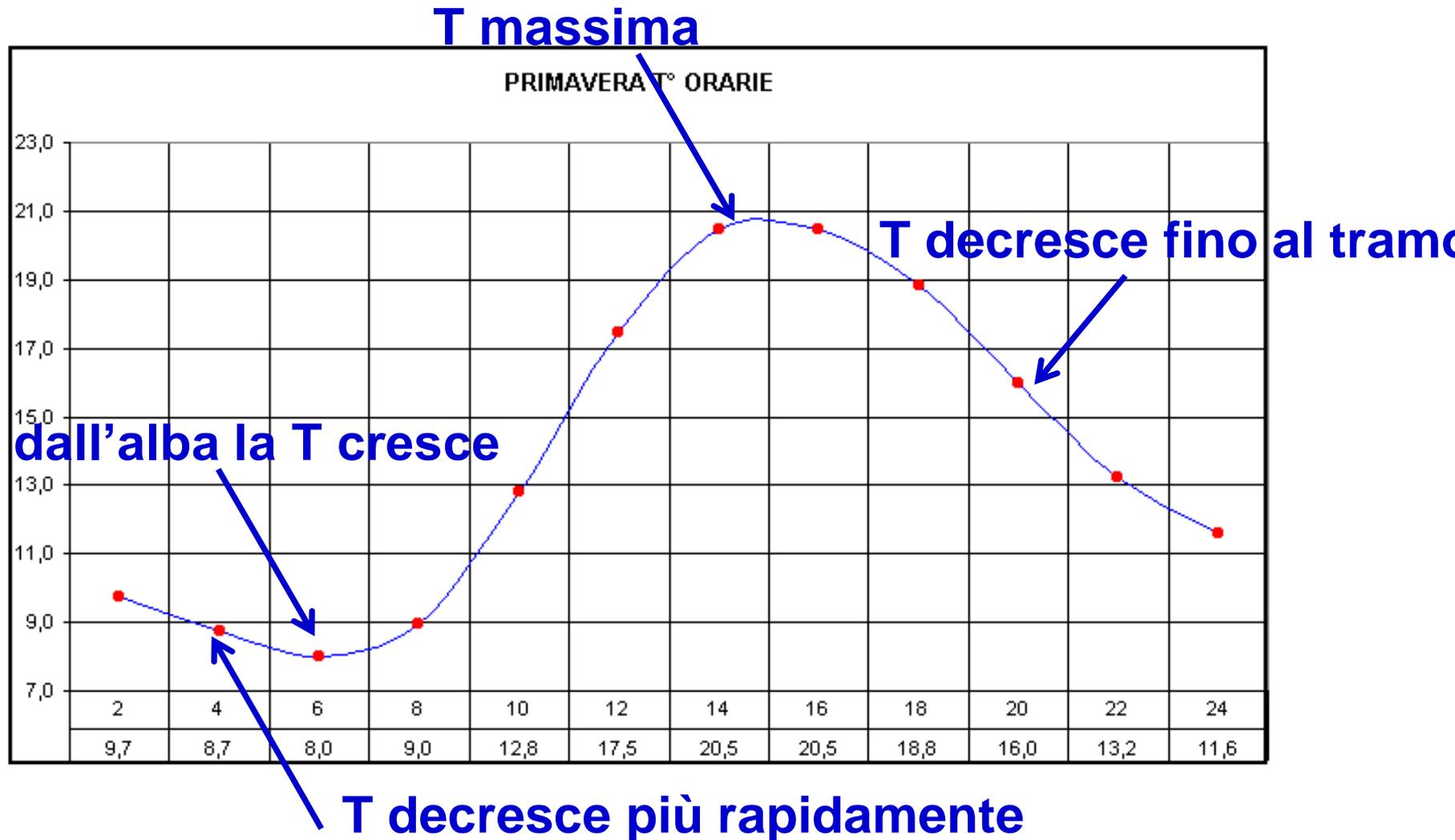
dall'alba la T cresce; alle 13 circa si hanno le temperature massime: (un ritardo rispetto alla massime radiazione), poi decresce fino al tramonto; dopo decresce più rapidamente continuando l'irraggiamento in assenza di input energetico e raggiunge un minimo all'alba (circa alle 5)

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

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



Variazioni della temperatura dell'aria



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



0.52

0.0077



0.77

0.0026



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.

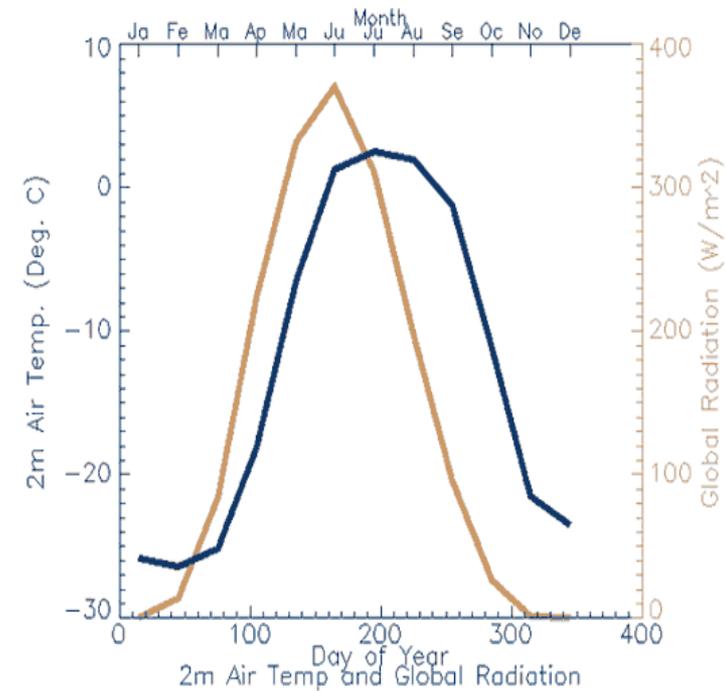
Variazioni in funzione dell'esposizione

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

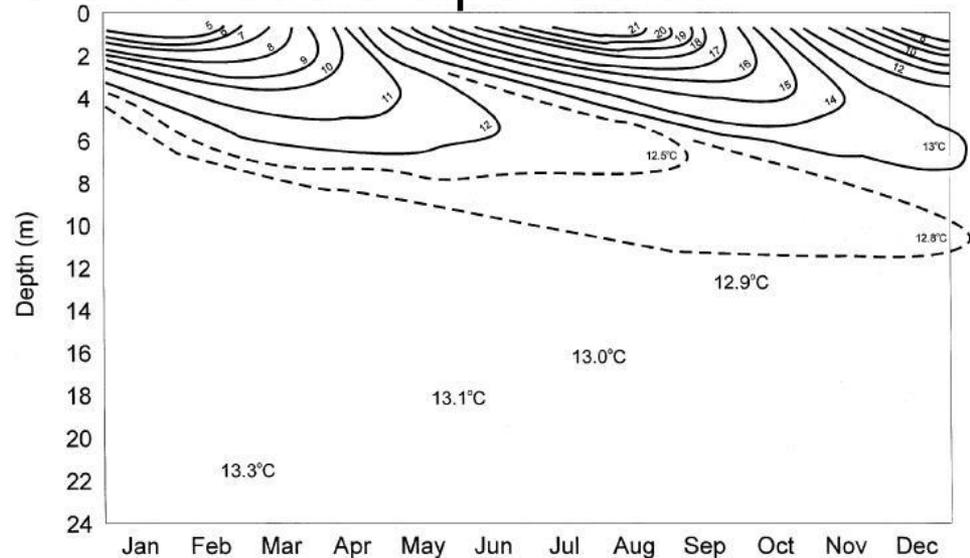


Profili di temperatura nel terreno

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



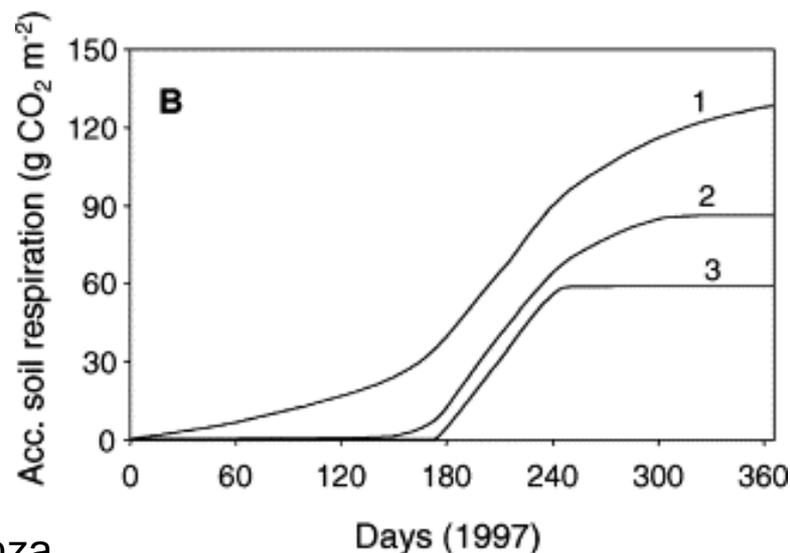
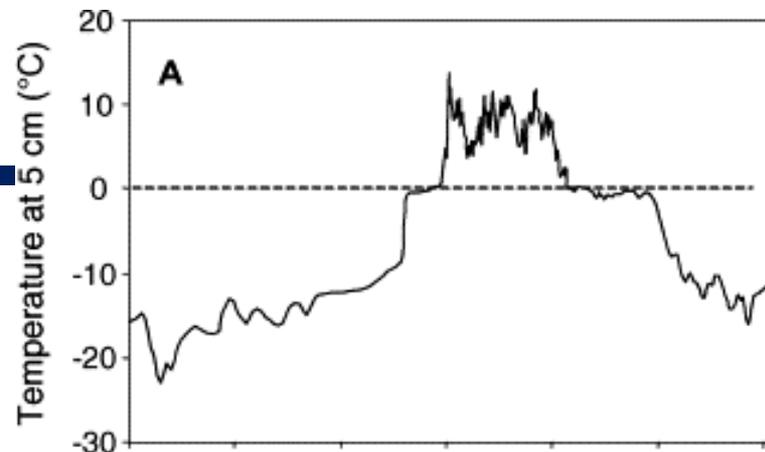
Effetti della temperatura

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

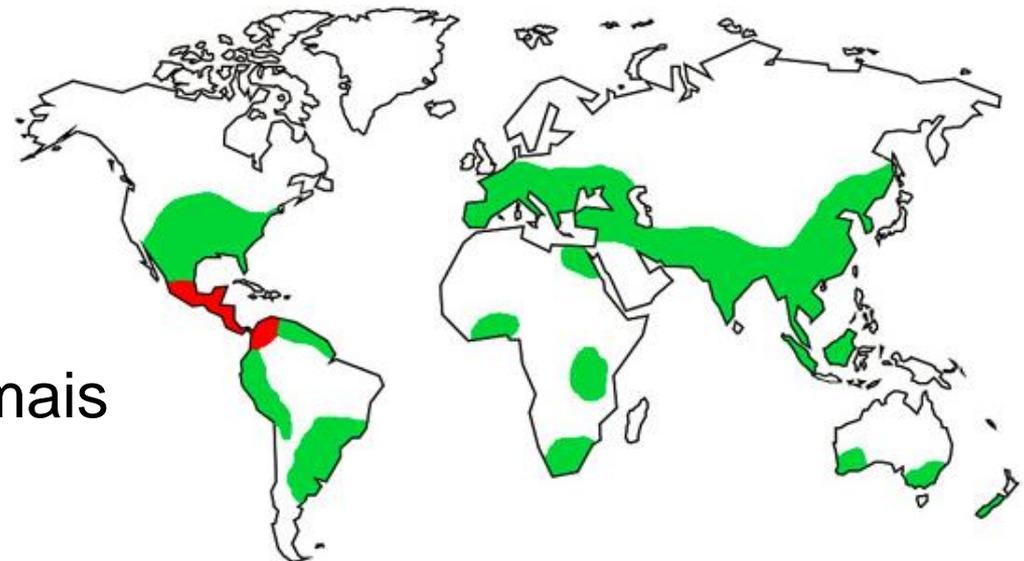
- **Temperatura ottimale:** quella a cui le varie funzioni vitali hanno la massima velocità
- **Temperature cardinali (massime e minime):** al di sotto o al di sopra delle quali le funzioni vitali si arrestano, per riprendersi nuovamente con temperature più idonee
- **Temperature critiche (massime e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

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

Microterme: il contrario (frumento, 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

Valori minimi per frumento

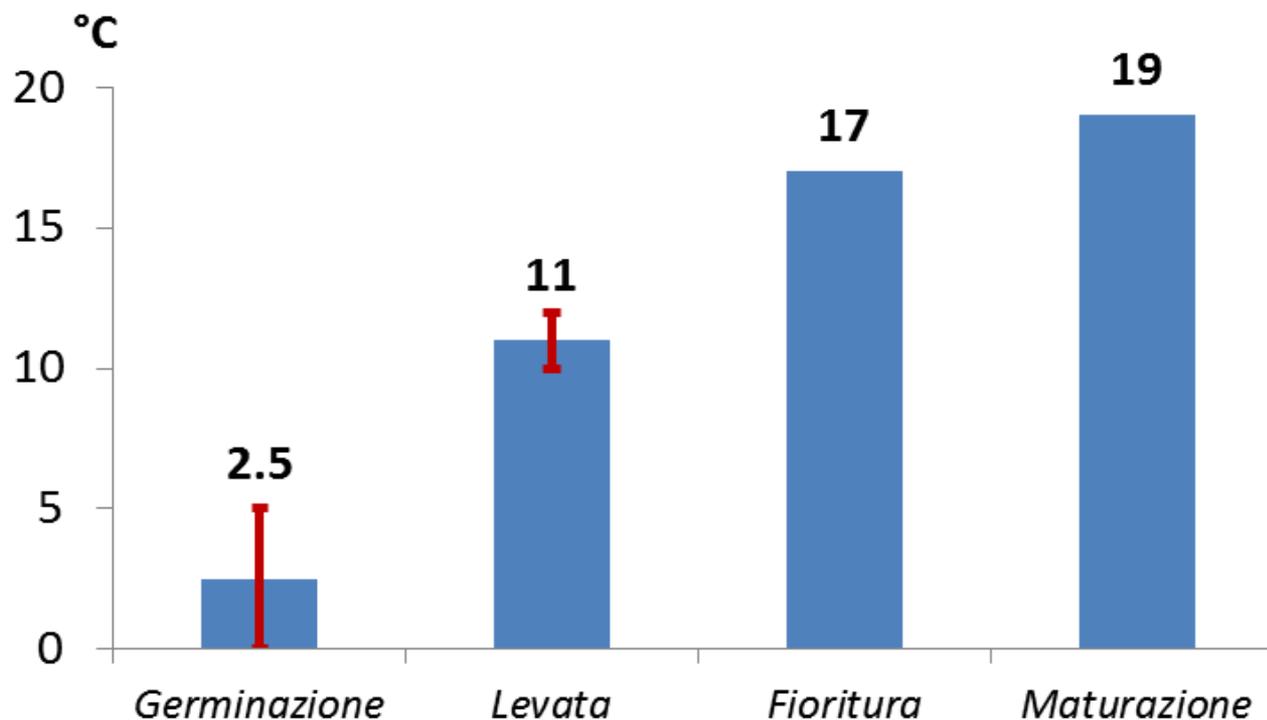
Es. valori minimi per frumento:

Germinazione 0-5 ° C

Levata 10-12 ° C

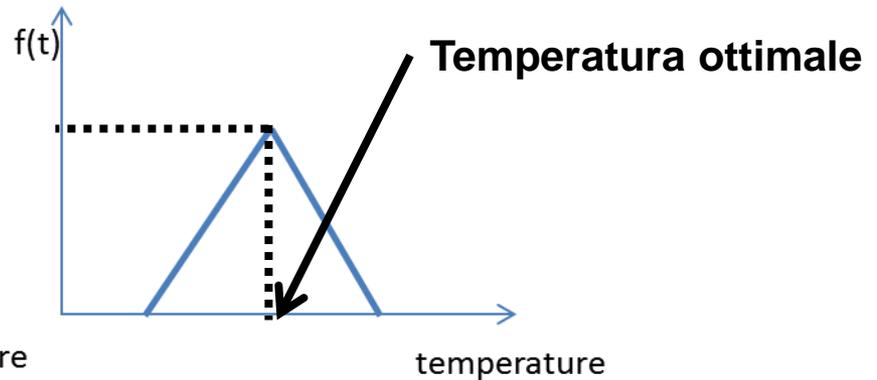
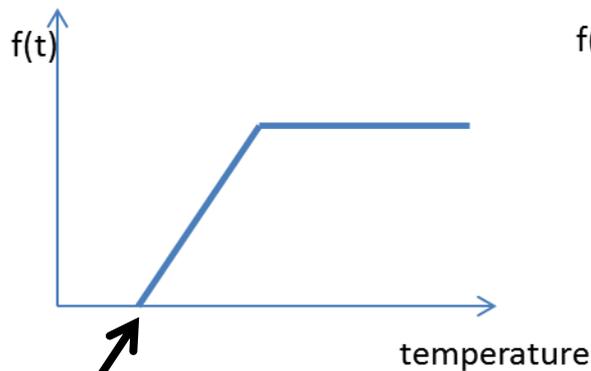
Fioritura 17 ° C

Maturazione 19 ° C



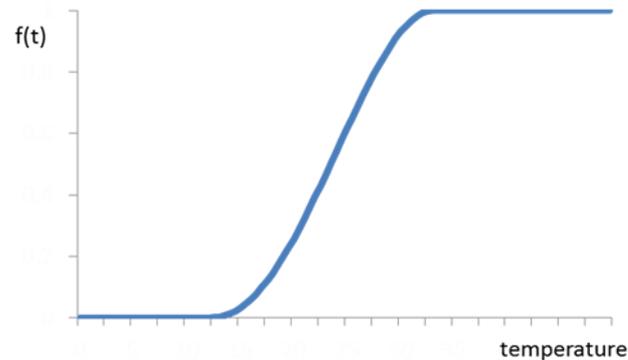
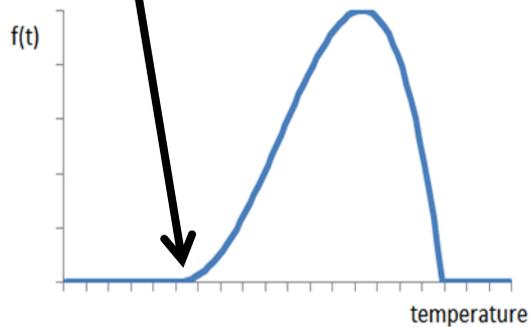
Risposte alla temperatura

Approcci lineari

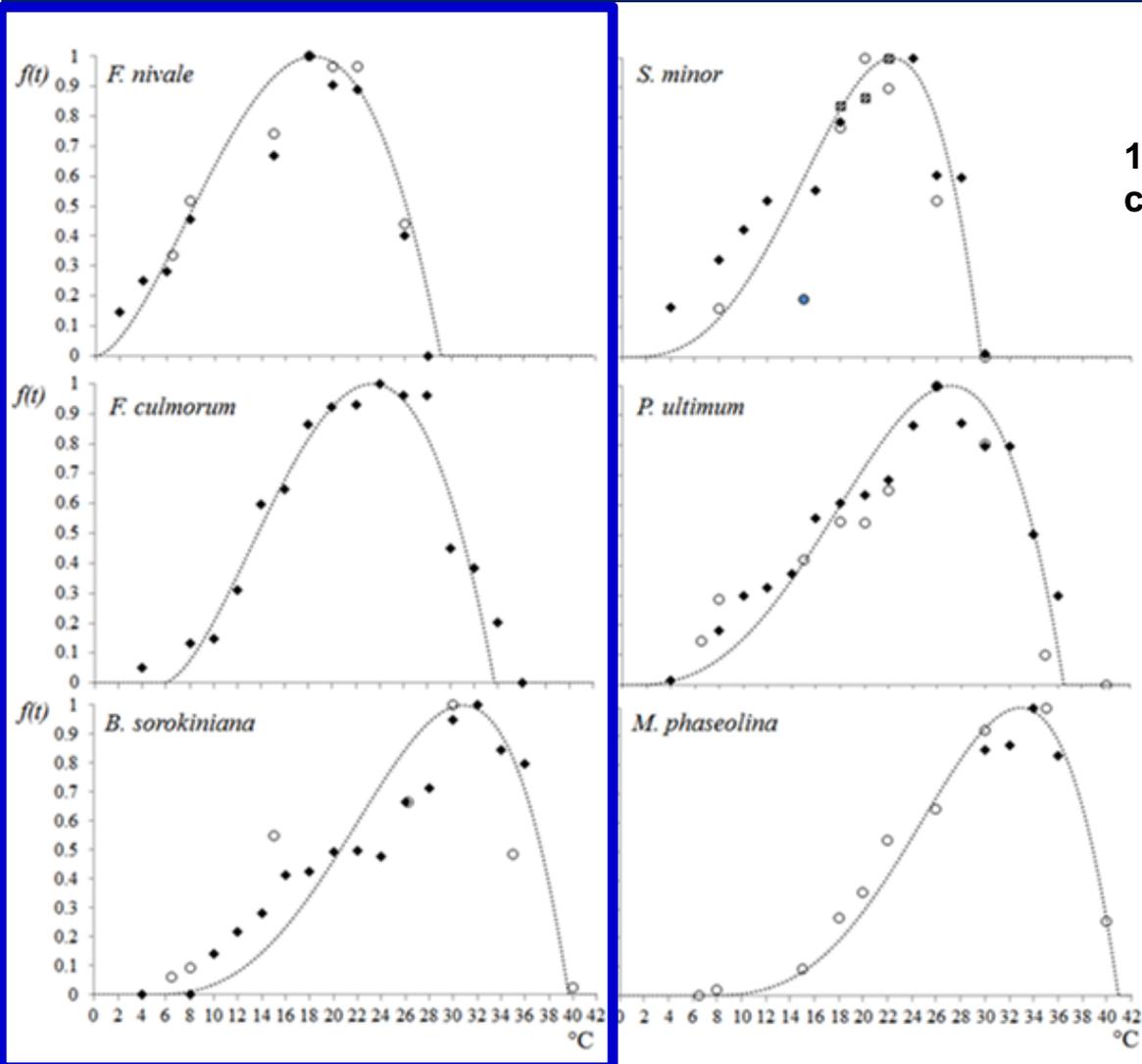


Cardinale minimo

Approcci non lineari



Risposte alla temperatura



Manici et al. 2014

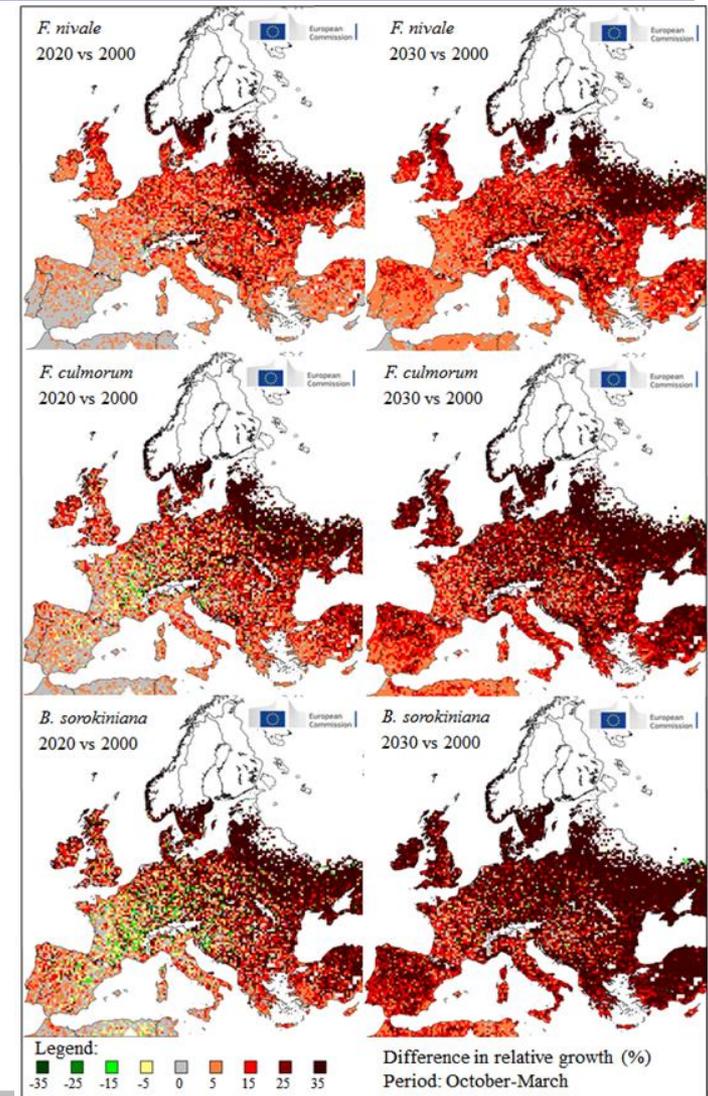
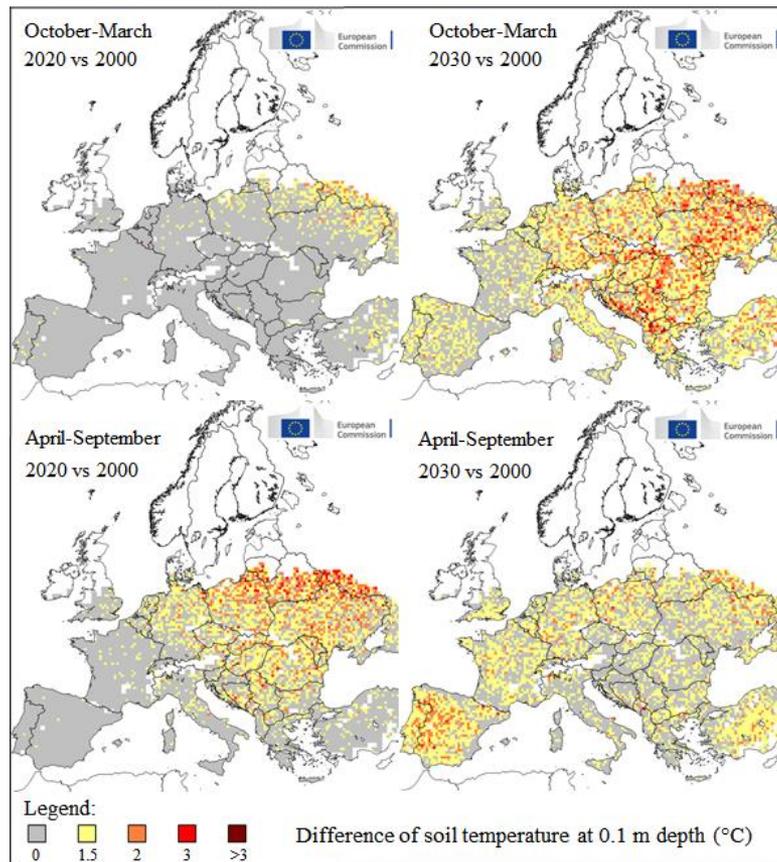
1. Calibrazione del modello con dati di laboratorio



Risposte alla temperatura

Manici et al. 2014

2. Applicazione del modello calibrato in scenari di cambiamento climatico



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

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

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.

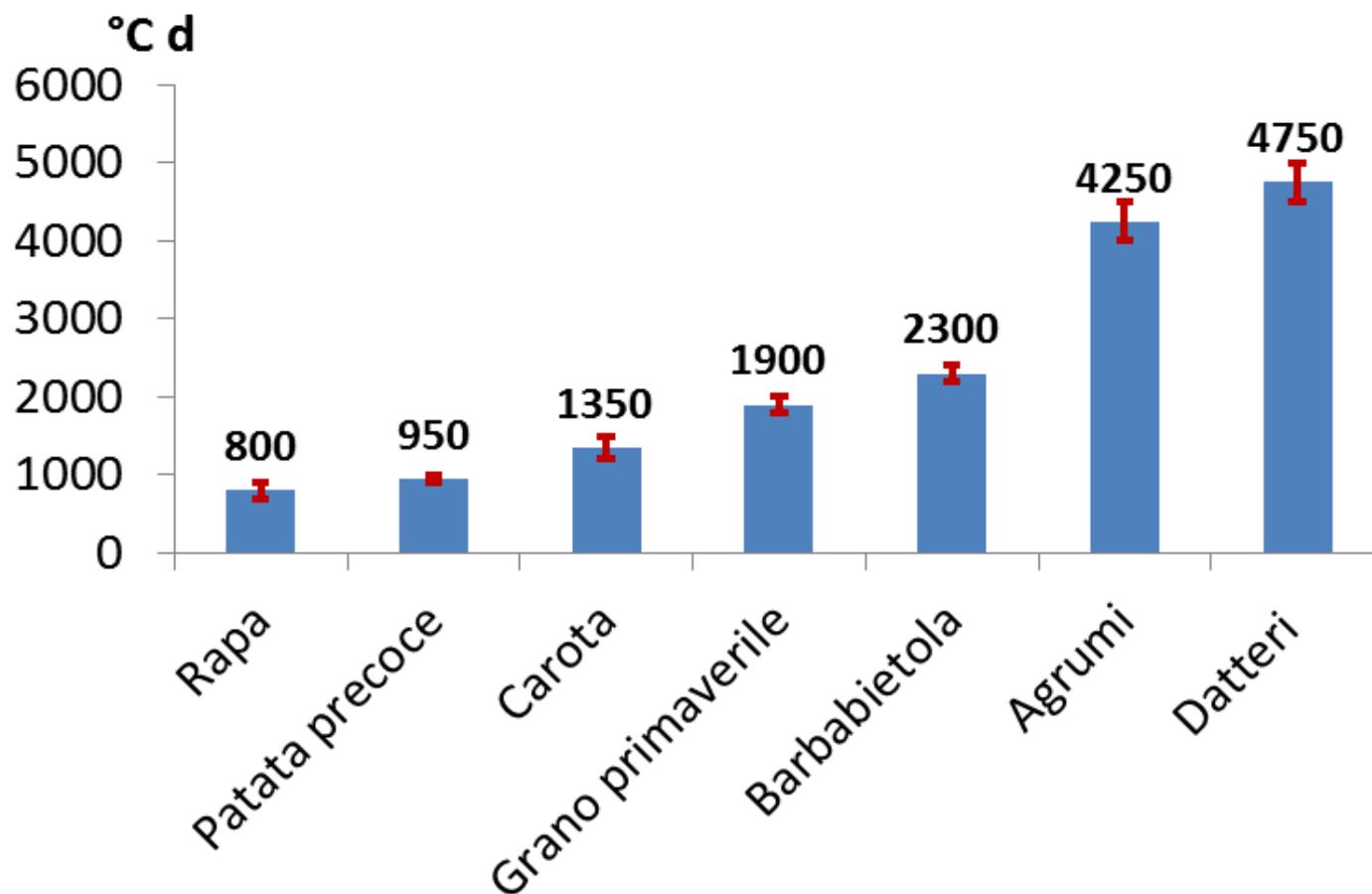
- Questo sistema funziona supponendo relazione lineare GDD-crescita; talvolta non è vero per basse temperature; Trascura che:
 - Stadi iniziali dipendono di più dalla T del terreno che da quella dell'aria
 - Non considera le escursioni termiche
 - Non considera che anche disponibilità di N e acqua modificano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

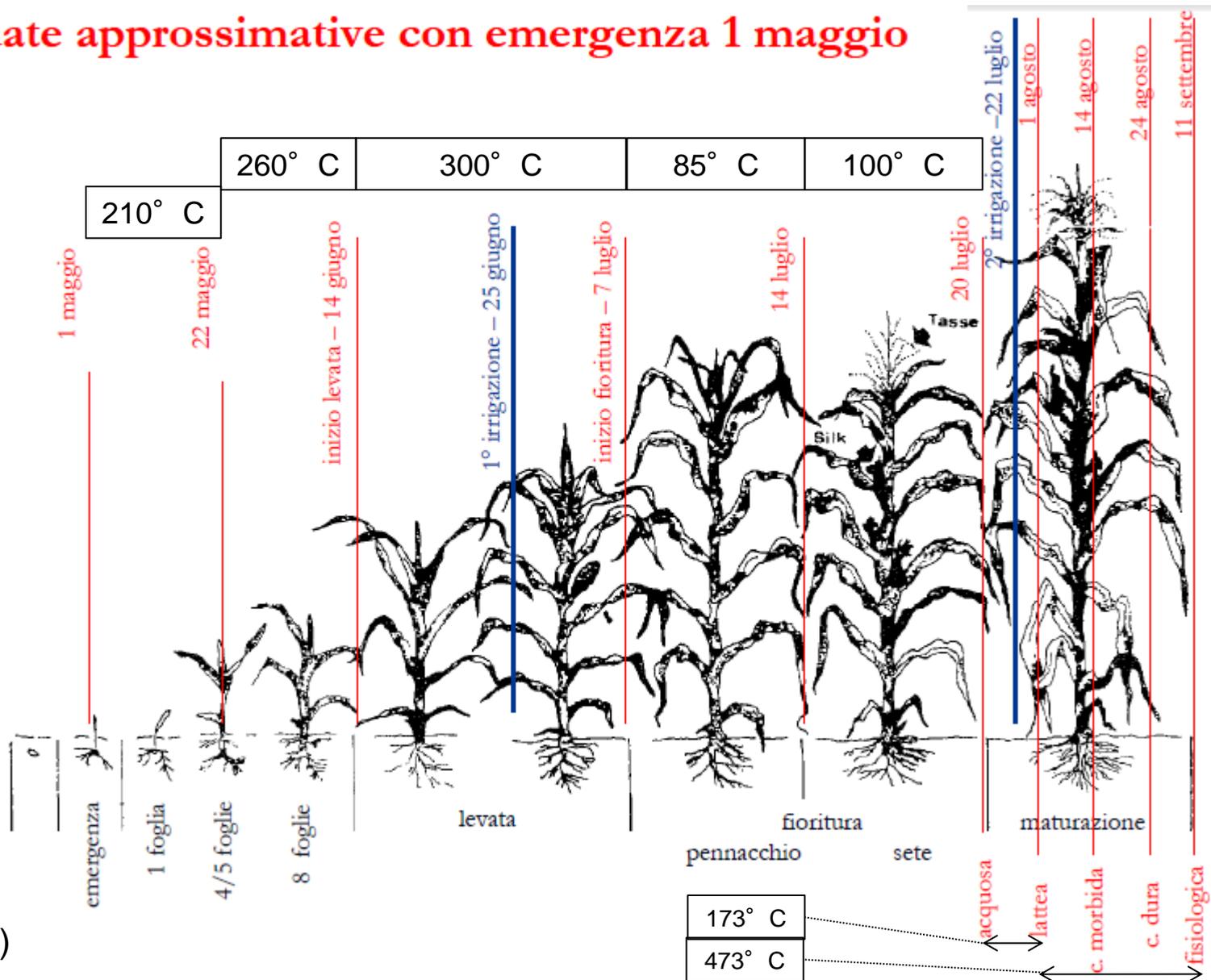


Temperatura e pianta

Somme termiche di sviluppo in ° C



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
Uva 2800-3200
Cotone 3200-3600
Agrumi 4000-4500
Datteri 4500-5000

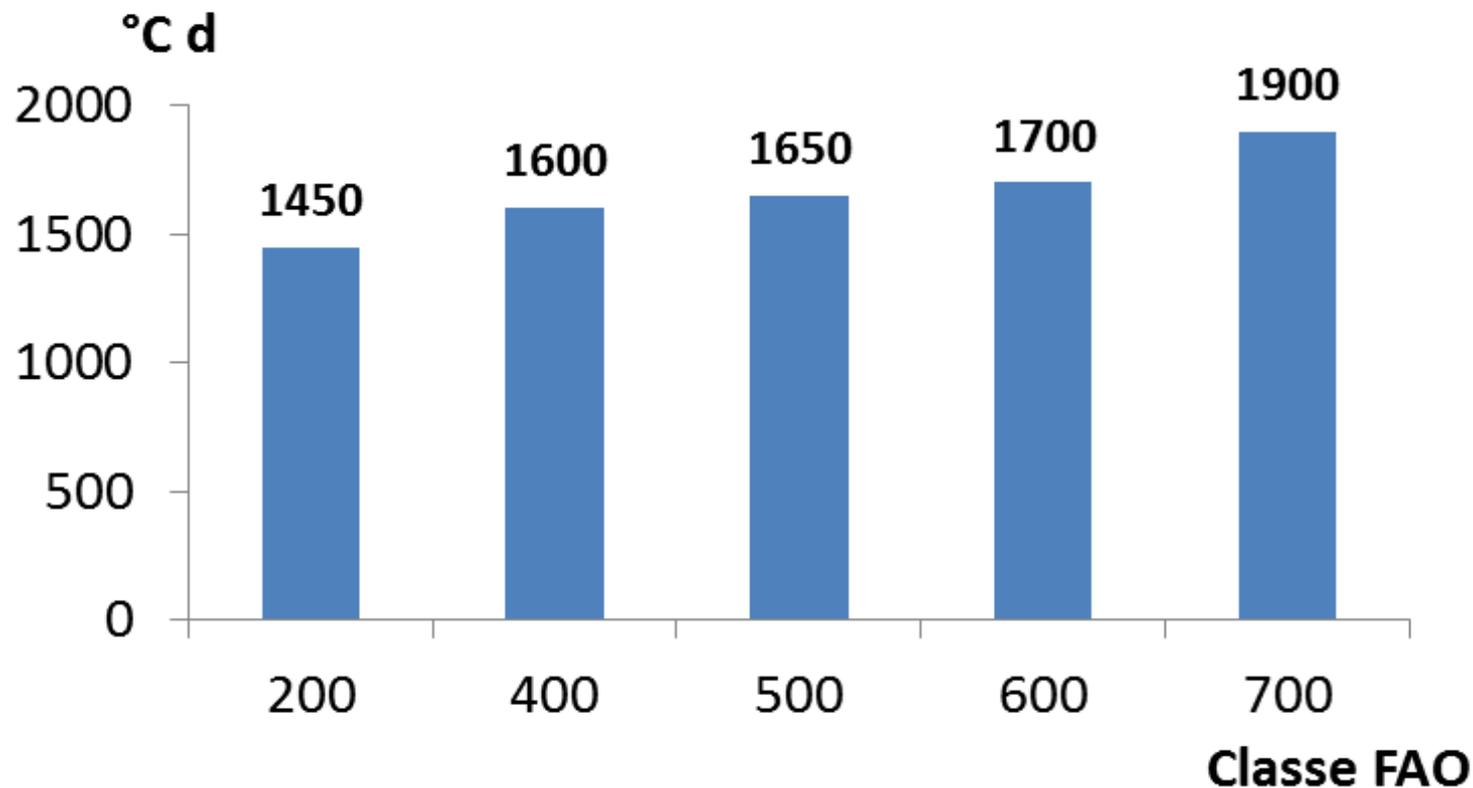
Valori soglia in ° C per il calcolo delle somme termiche

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



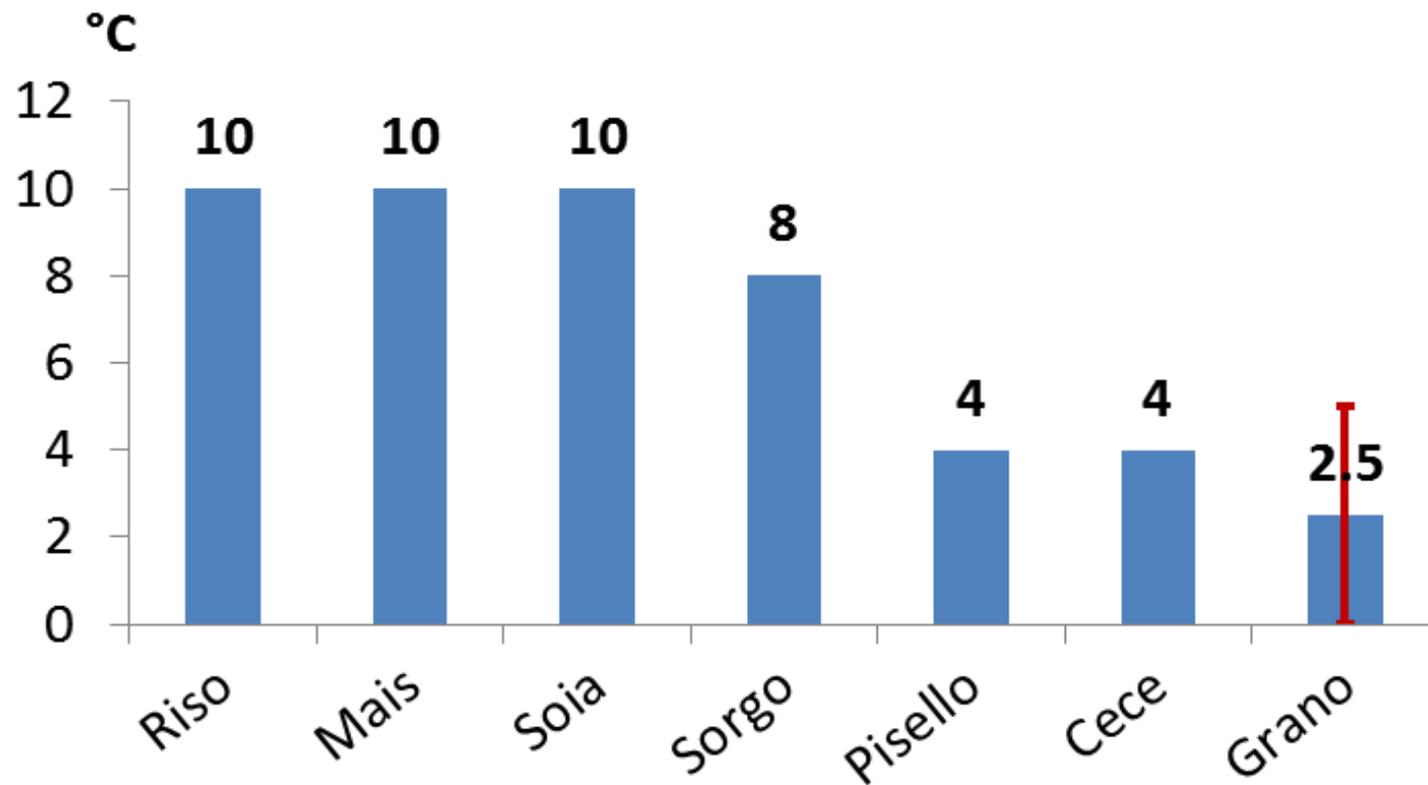
Temperatura e pianta

Somme termiche di sviluppo mais (classi FAO)



Temperatura e pianta

Valori soglia in ° C per il calcolo delle somme



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

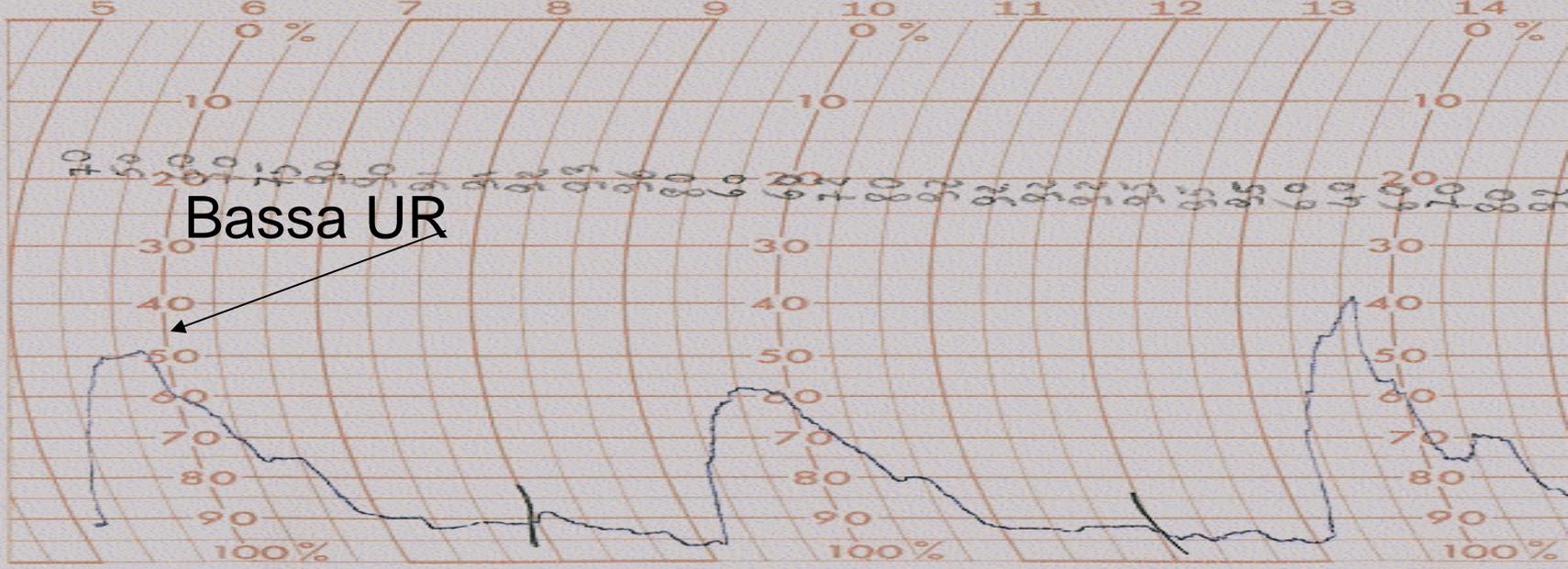
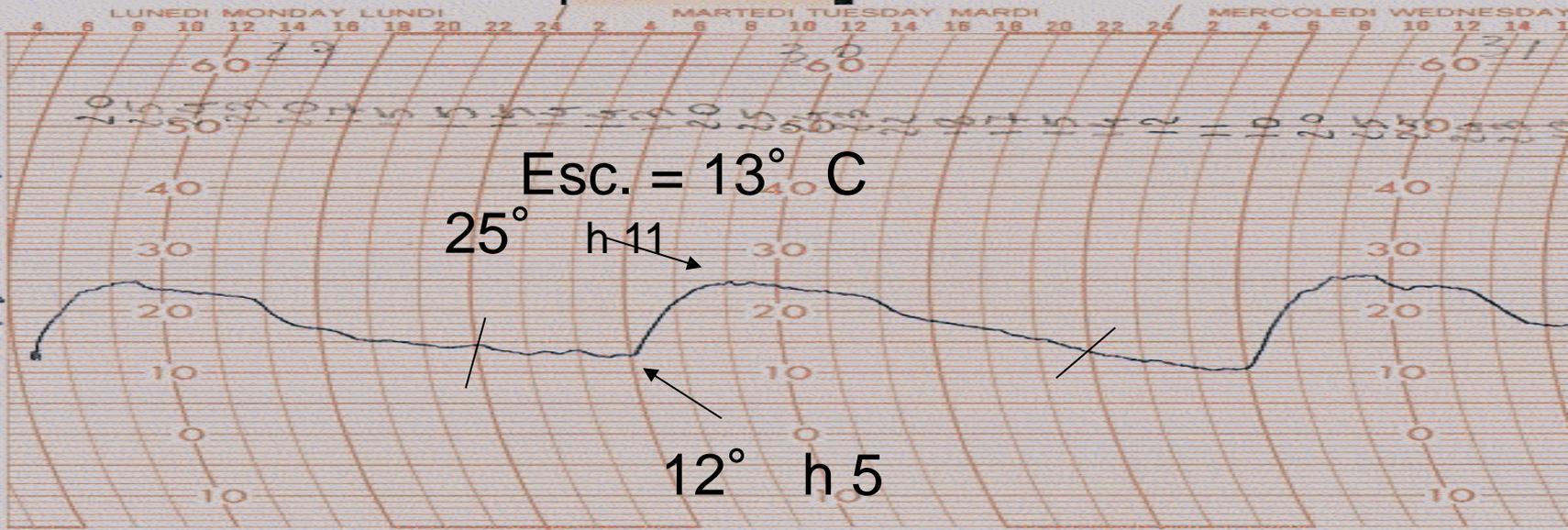
29-10-04
5-11-04

STAZIONE
STATION
GIORNALIERO
DAILY
JOURNALIER

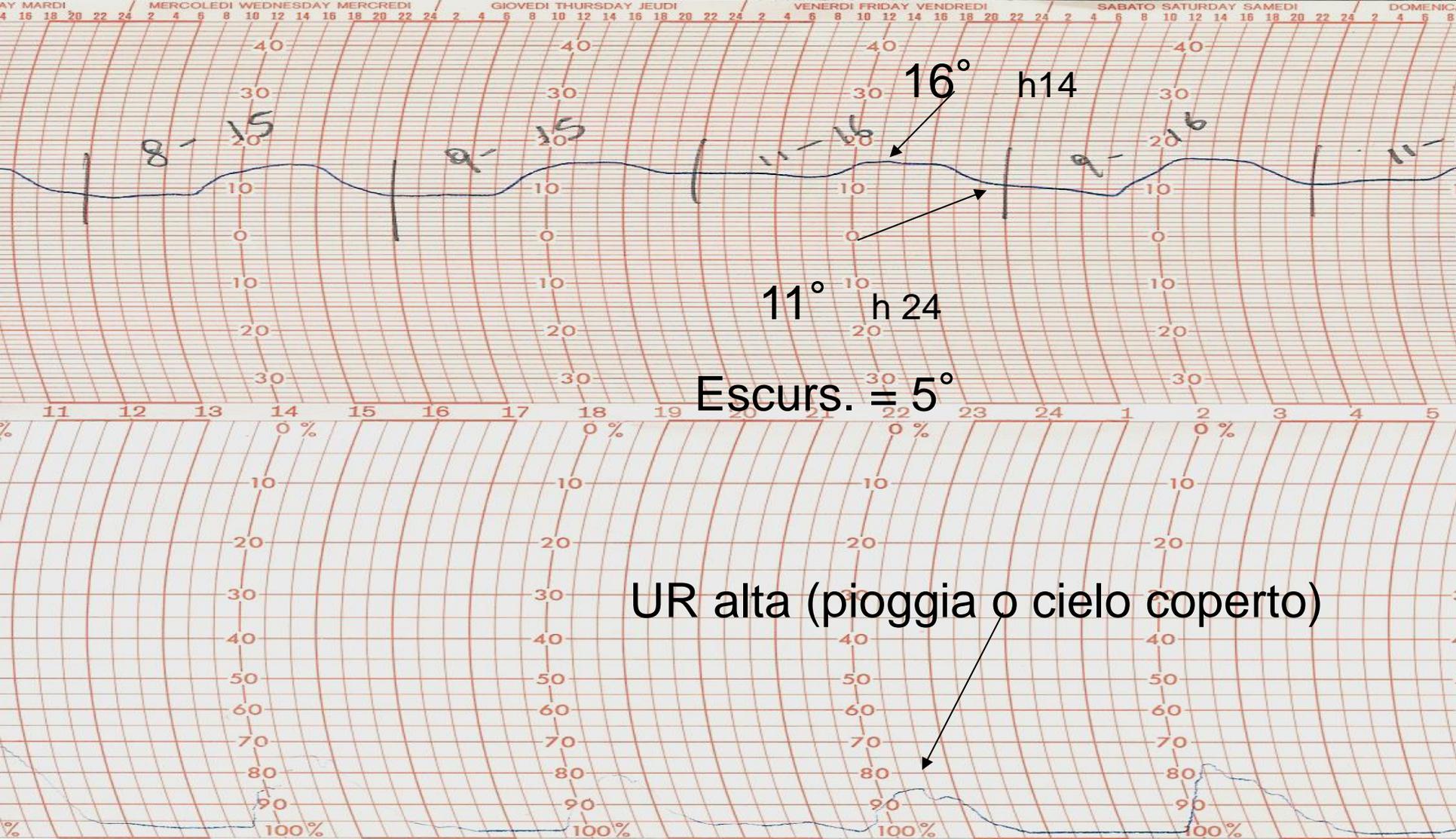
T. LAMA

Mod. 1750/B

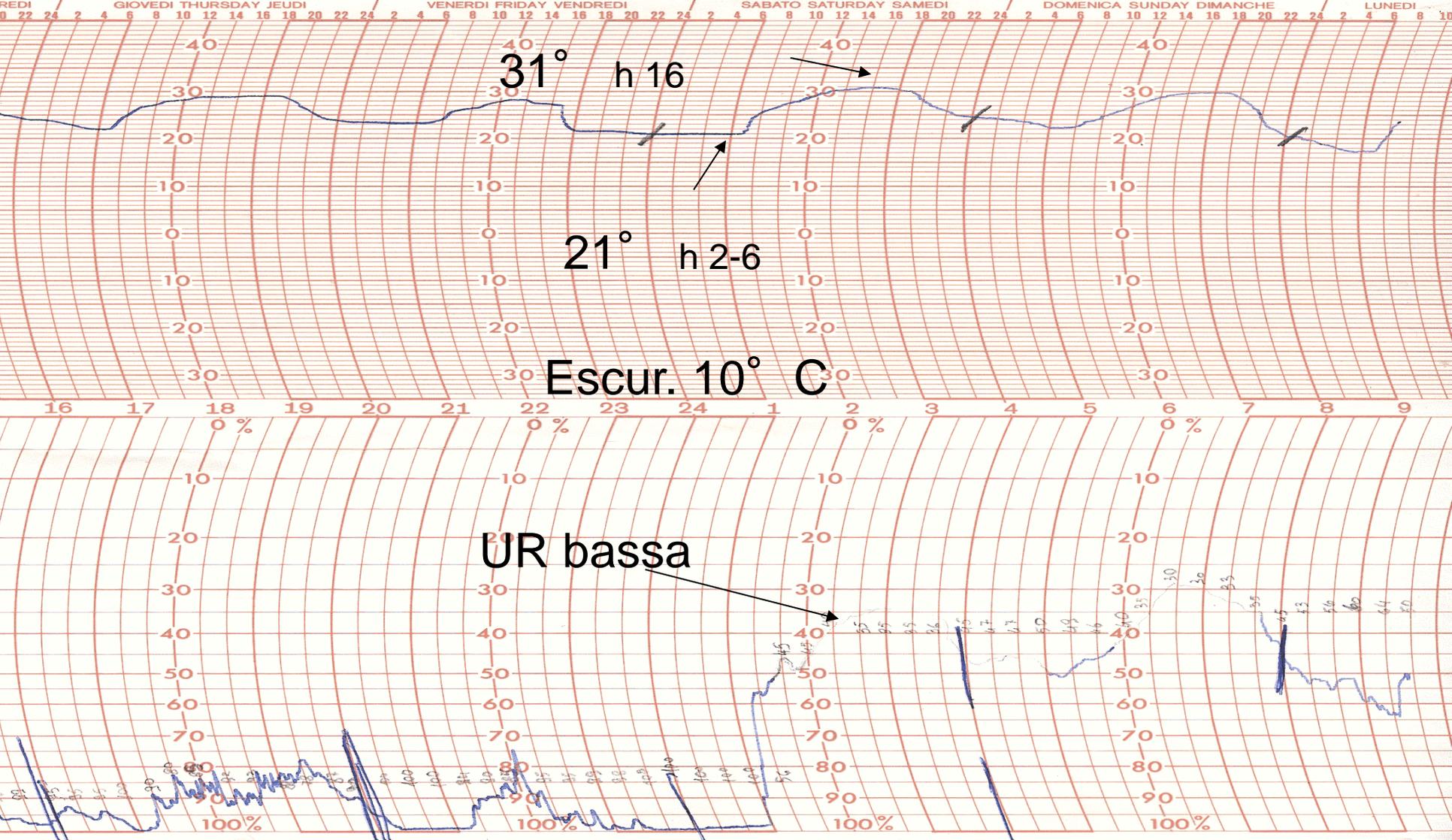
SALMORAGHI
20158 Milano - Tel. 02/60847



Novembre Torre Lama (Piana del Sele)



Marzo 2000 - Torino



Giugno 2000 - Portici

Domande

- 1) Come si calcolano la temperatura media e l'escursione termica giornaliera
- 2) Quali fattori influenzano la temperatura
- 3) Fattori che determinano la propagazione del calore nel terreno
- 4) Differenza tra temperature cardinali e temperature critiche
- 5) Somme termiche: come si utilizzano e come si calcolano
- 6) Termoperiodismo
- 7) Vernalizzazione

