



Agrometeorologia

- Temperatura -



Variabili agrometeorologiche

Temperatura

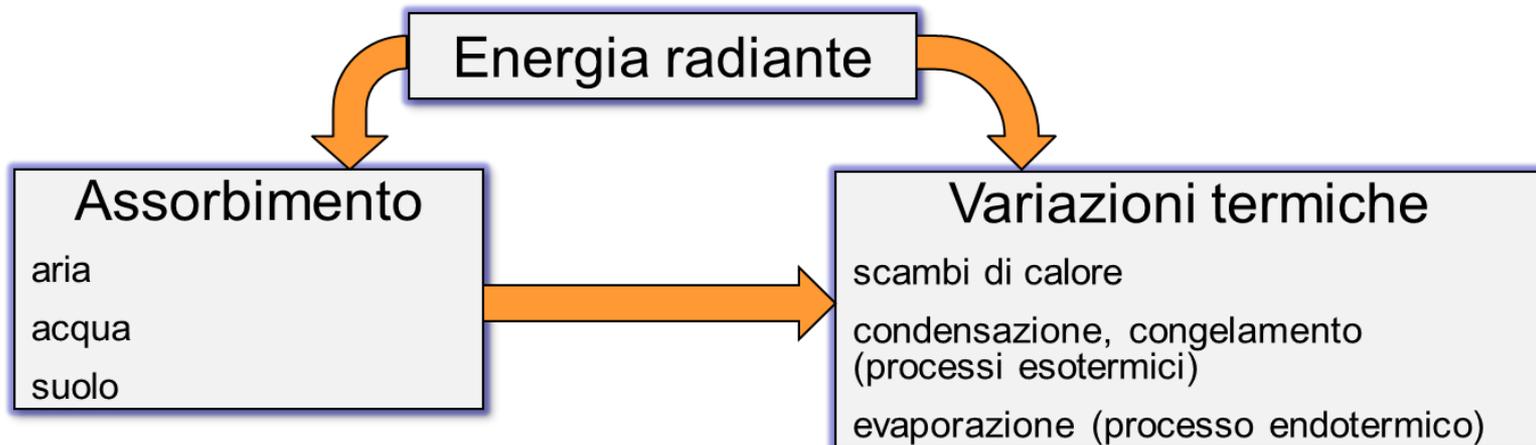
Agronomia

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





Variabili agrometeorologiche

Misura della temperatura

Agronomia

Unità di misura

Sistema internazionale: Kelvin (K)

Sistema Tecnico: Celsius (°C), Fahrenheit (°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	$T(\text{K}) = (T(^{\circ}\text{F}) + 459.67) / 1.8$
------------	--------	--



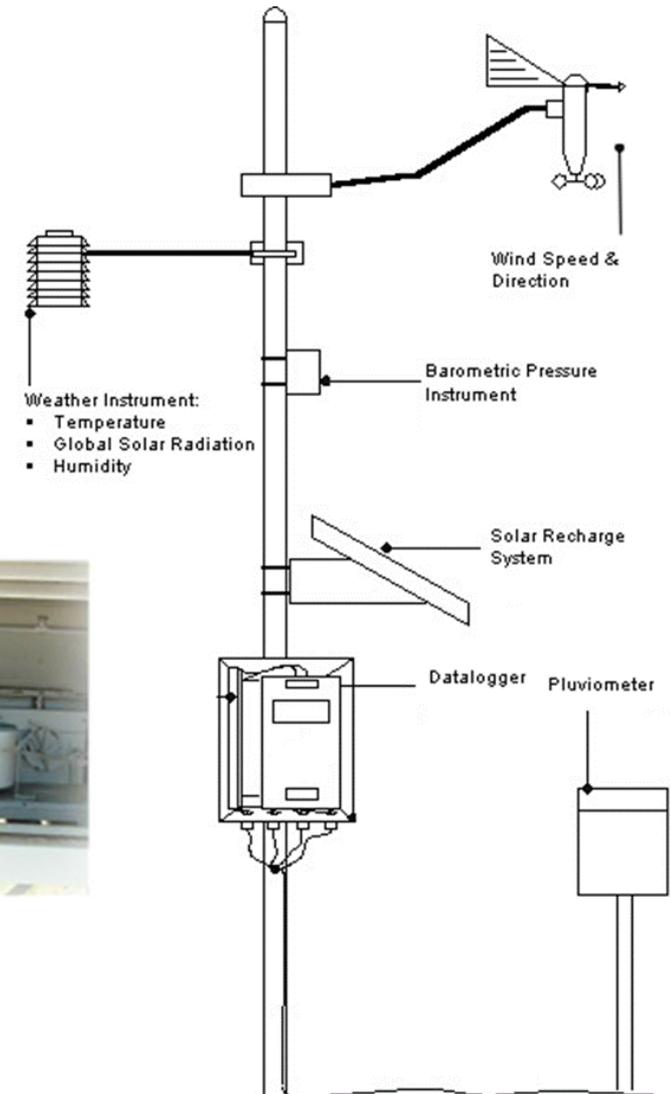
Variabili agrometeorologiche

Misura della temperatura

Agronomia

Temperatura dell'aria

Si misura in apposite capannine per evitare l'effetto della radiazione a 1.5 o 2 m dal suolo





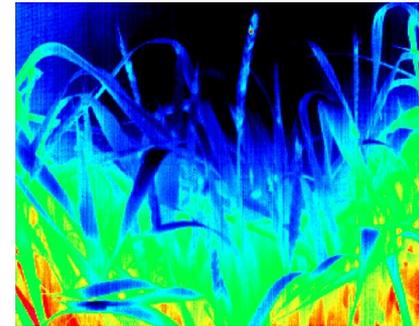
Variabili agrometeorologiche

Misura della temperatura

Agronomia

Termometri

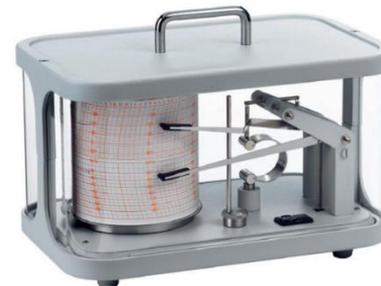
- A dilatazione
 - ✓ A mercurio, ad alcool, bimetallici
 - ✓ A massima e minima (azzeramento giornaliero)
- Elettronici (termoresistenze, a semiconduttore, a termocoppia)
- Ad infrarosso
 - ✓ Misura della temperatura di oggetti a distanza (e.g. foglie, correlata a stress idrico... **"foglie calde"**)



(T. Frederiks, 2011)

Termografi

- Meccanici registratori, settimanali o mensili
- Elettronici (con data logger)





Variabili agrometeorologiche

Temperatura media dell'aria

Agronomia

Media giornaliera:

- Normalmente $T_{\text{media}} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2$ (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)

Escursione termica

- Giornaliera: $T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$
 - ✓ 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 (continentalità)



Variabili agrometeorologiche

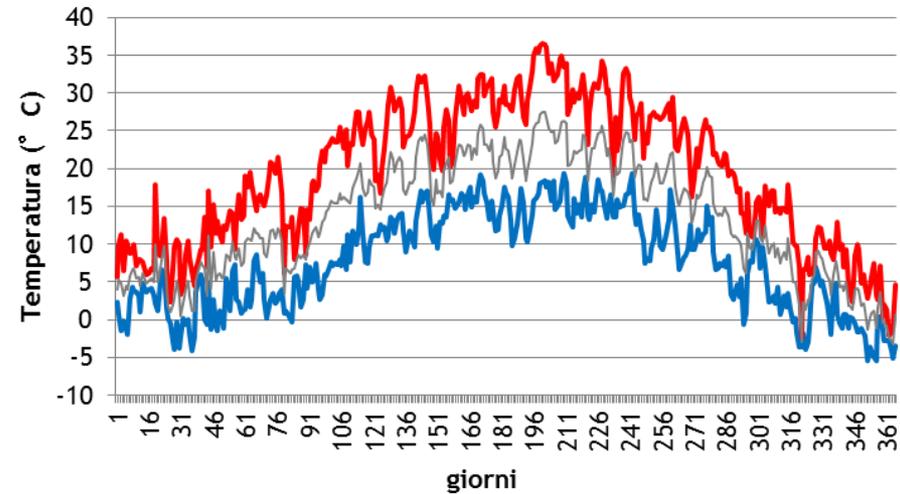
Temperatura media dell'aria

Agronomia

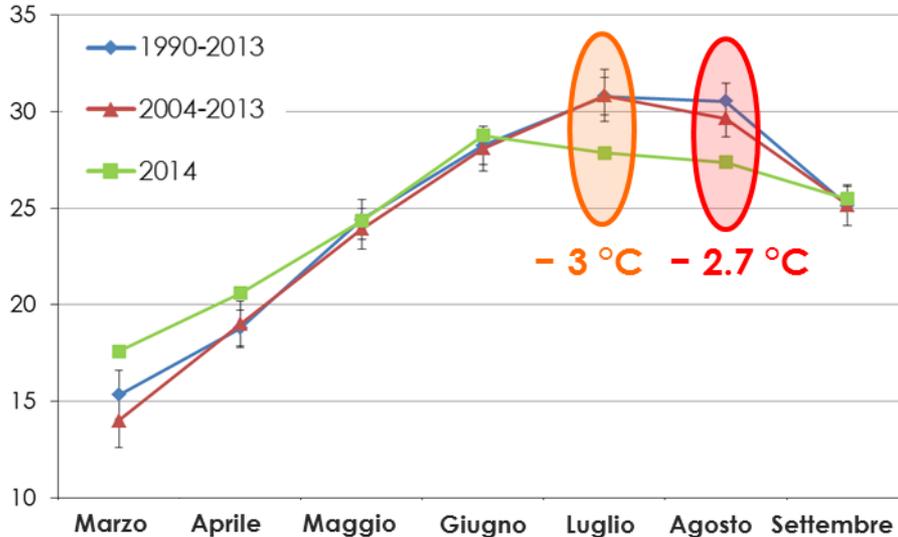
Medie decadiche, mensili, annuali

- di T_{\max} ,
- di T_{\min} ,
- di T_{media}

— T_{\min}
— T_{\max}
— T_{media}



Temperatura massima (°C)





Variabili agrometeorologiche

Variazioni della temperatura dell'aria

Agronomia

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



Variabili agrometeorologiche

Variazioni della temperatura dell'aria

Agronomia

Variazioni diurne:

- Dall'alba la T cresce; alle 13 circa si hanno le temperature massime (con un ritardo rispetto alla massima 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

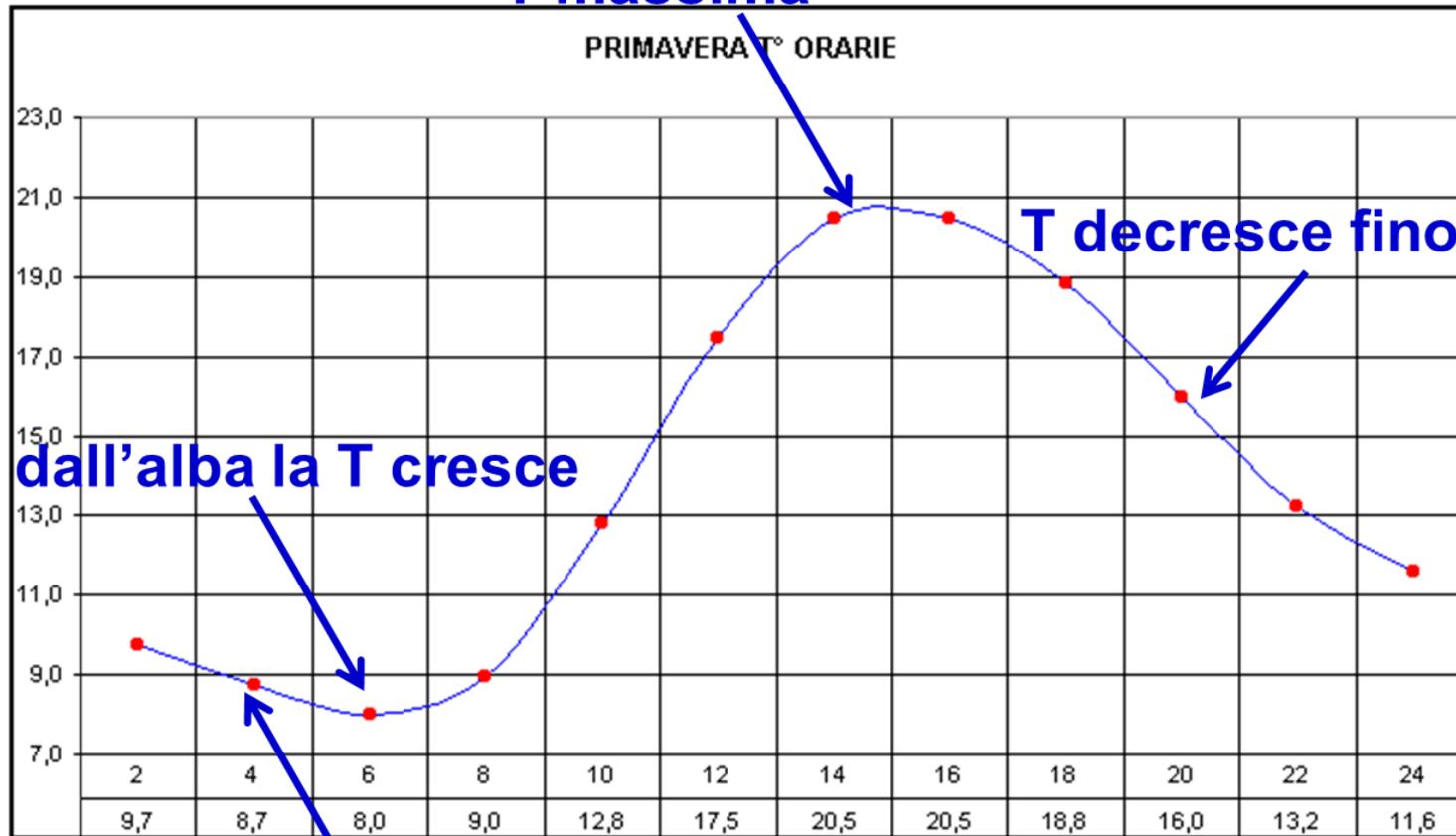


Variabili agrometeorologiche

Variazioni della temperatura dell'aria

Agronomia

T massima



dall'alba la T cresce

T decresce fino al tramonto

T decresce più rapidamente



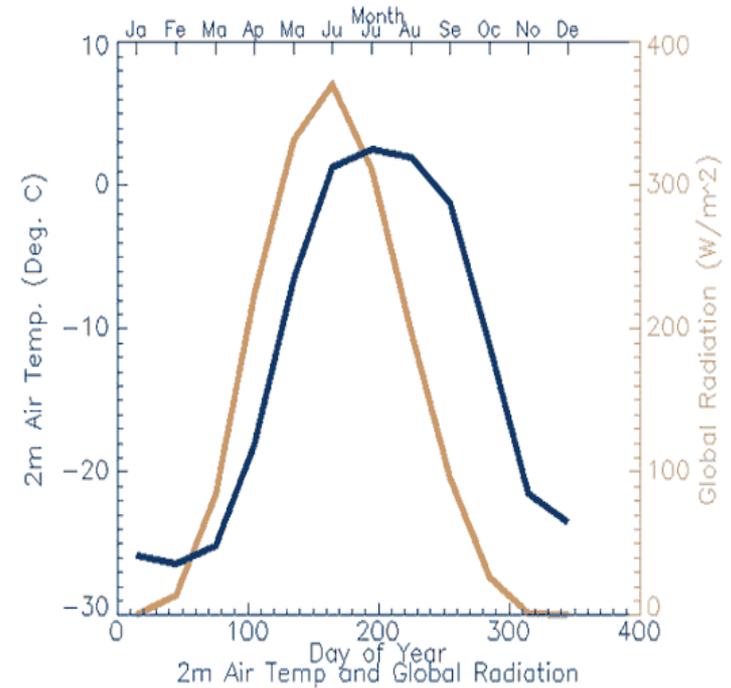
Variabili agrometeorologiche

Variazioni della temperatura dell'aria

Agronomia

Variazioni stagionali:

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



- **Periodo di assenza di gelo:** giorni dall'**ultima gelata primaverile** alla **prima autunnale**. Per l'attività agricola si richiede un minimo di 90 giorni.



Variabili agrometeorologiche

Variazioni della temperatura dell'aria

Agronomia

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



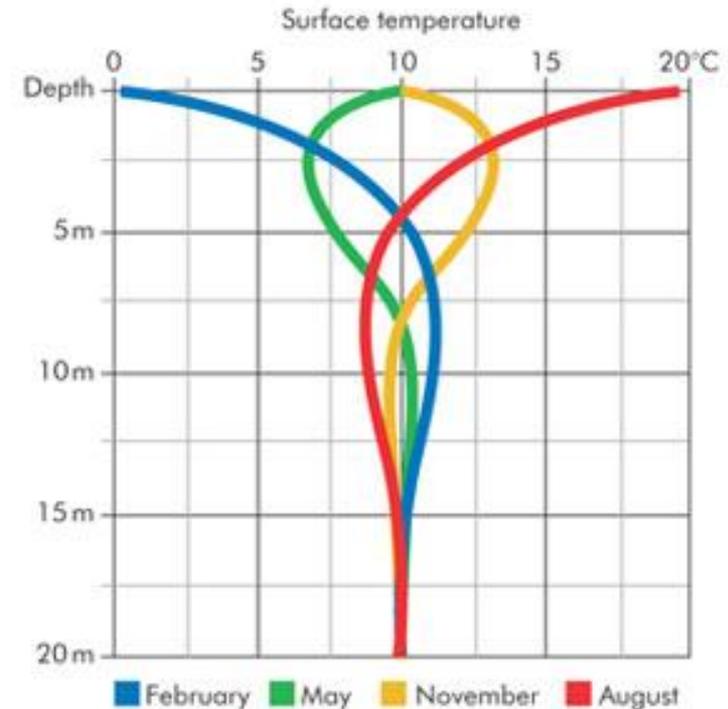
Variabili agrometeorologiche

Temperatura del terreno

Agronomia

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
- Sviluppo e funzionalità **apparati radicali**
- **Crioturbazioni** (effetto gelo-disgelo)





Variabili agrometeorologiche

Temperatura del terreno

Agronomia

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; terreni con **molta acqua si scaldano tardi** in primavera
- Copertura vegetale:
 - ✓ Il suolo riceve pochissima radiazione
 - ✓ Perdita di calore per traspirazione



Variabili agrometeorologiche

Profili di temperatura nel terreno

Agronomia

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.



Variabili agrometeorologiche

Effetti della temperatura

Agronomia

Sul suolo:

- Formazione della struttura (gelo/disgelo)
- Attività microbiologica:
 - ✓ umificazione
 - ✓ ammonizzazione
 - ✓ nitrificazione
 - ✓ denitrificazione

Sulla pianta:

- Funzioni:
 - ✓ germinazione
 - ✓ fotosintesi
 - ✓ respirazione
- Durata delle fenofasi:
 - ✓ germinazione-emergenza
 - ✓ sviluppo vegetativo
 - ✓ sviluppo organi riproduttivi
 - ✓ dormienza semi e piante



Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

Temperatura ottimale:

- Quella a cui le varie funzioni vitali avvengono con la massima efficienza.

Temperature cardinali (massime e minime):

- Temperature al di sotto o al di sopra delle quali le **funzioni vitali si arrestano, per riprendere** nuovamente con temperature più idonee.

Temperature critiche (massime e minime):

- Il loro superamento provoca **danni irreparabili**.

Specie:

- Macroterme: esigenze e limiti alti (mais, sorgo, riso)
- Microterme: il contrario (frumento, cereali autunno-vernini, colza)

Esigenze molto diversificate a livello varietale
(frumenti russi molto diversi da quelli mediterranei)

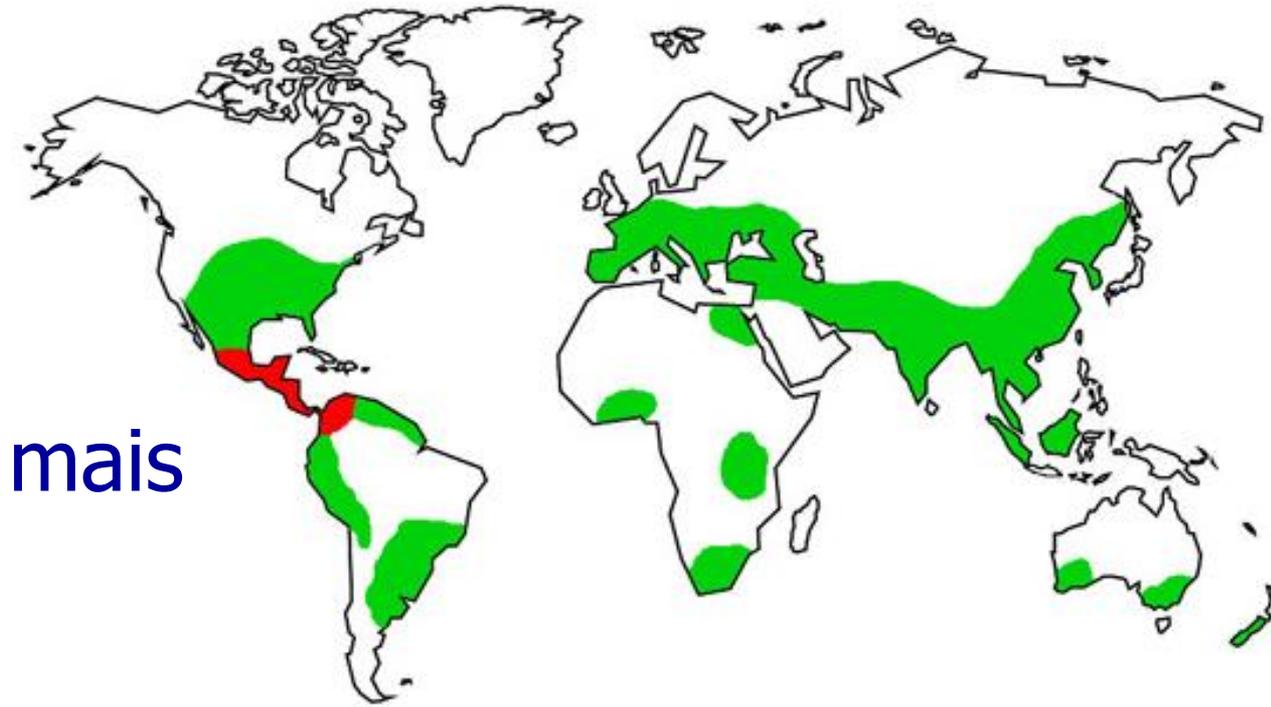


Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

- Queste (e altre) grandezze determinano la localizzazione degli **areali di coltivazione** e le relative **tecniche agronomiche**



Area d'origine ■ Aree di coltivazione ■



Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

- Queste (e altre) grandezze determinano la localizzazione degli **areali di coltivazione** e le relative **tecniche agronomiche**



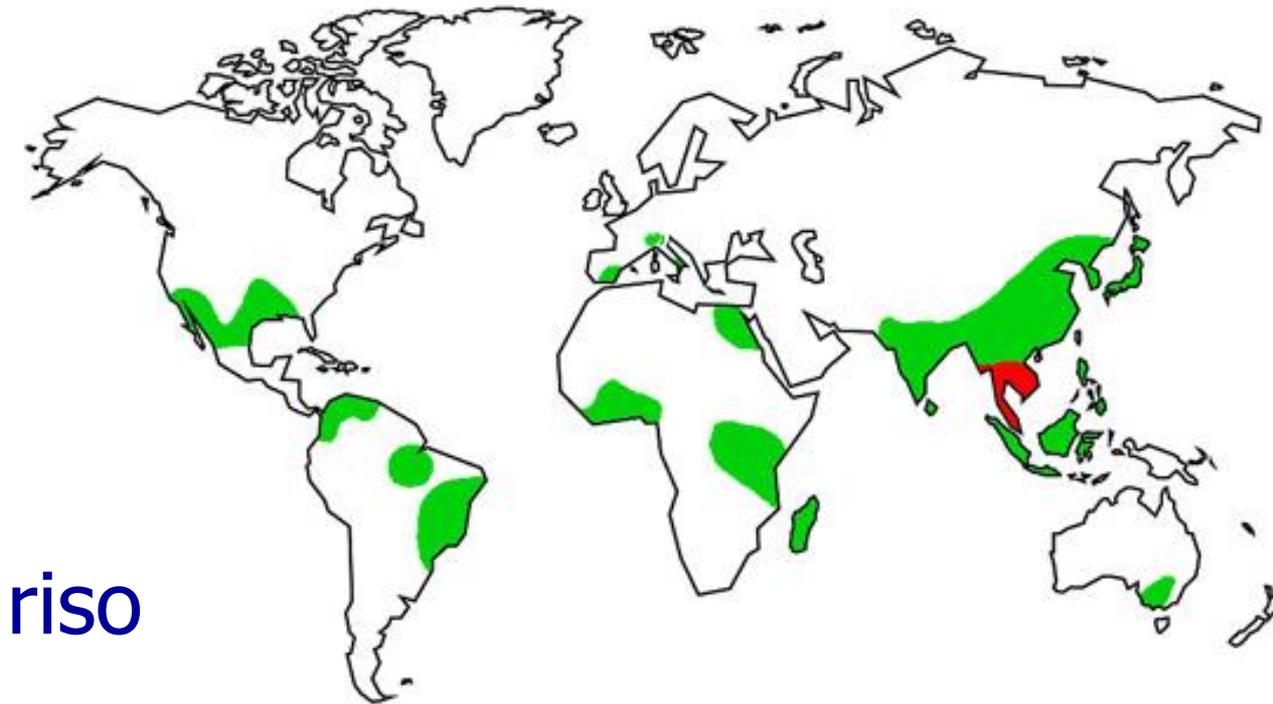


Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

- Queste (e altre) grandezze determinano la localizzazione degli **areali di coltivazione** e le relative **tecniche agronomiche**



riso

Area d'origine ■ Aree di coltivazione ■



Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

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 alle parti epigee,
- le **gemme a fiore** sono **maggiormente danneggiate** di quelle vegetative,
- gli **organi maschili soffrono** delle **basse temperature più** di quelli femminili.



Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

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**.

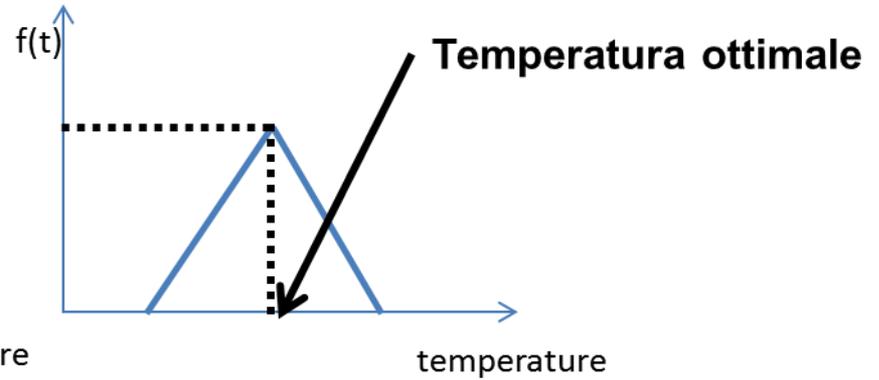
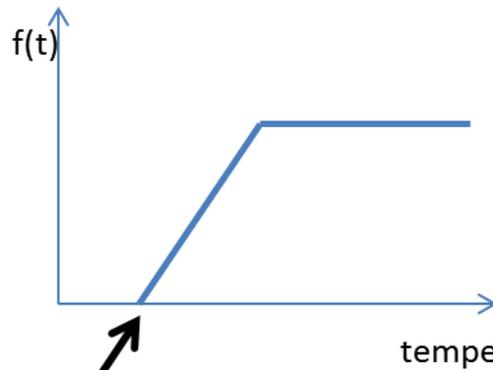


Variabili agrometeorologiche

Risposte alla temperatura

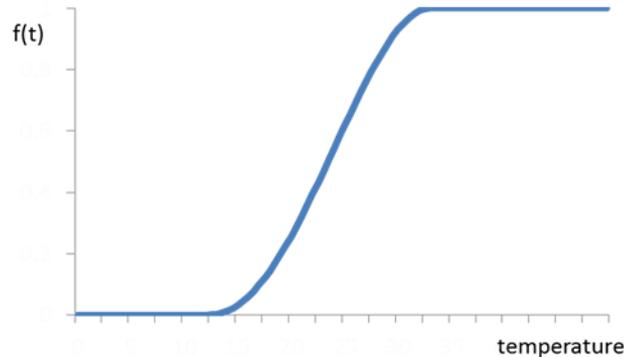
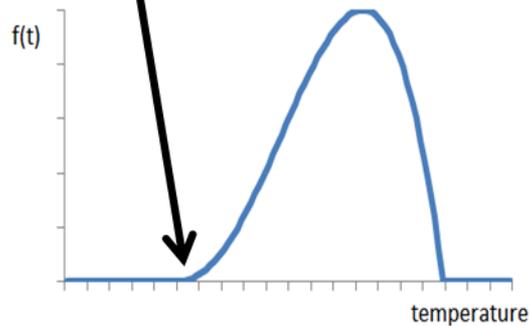
Agronomia

Approcci lineari



Cardinale minimo

Approcci non lineari

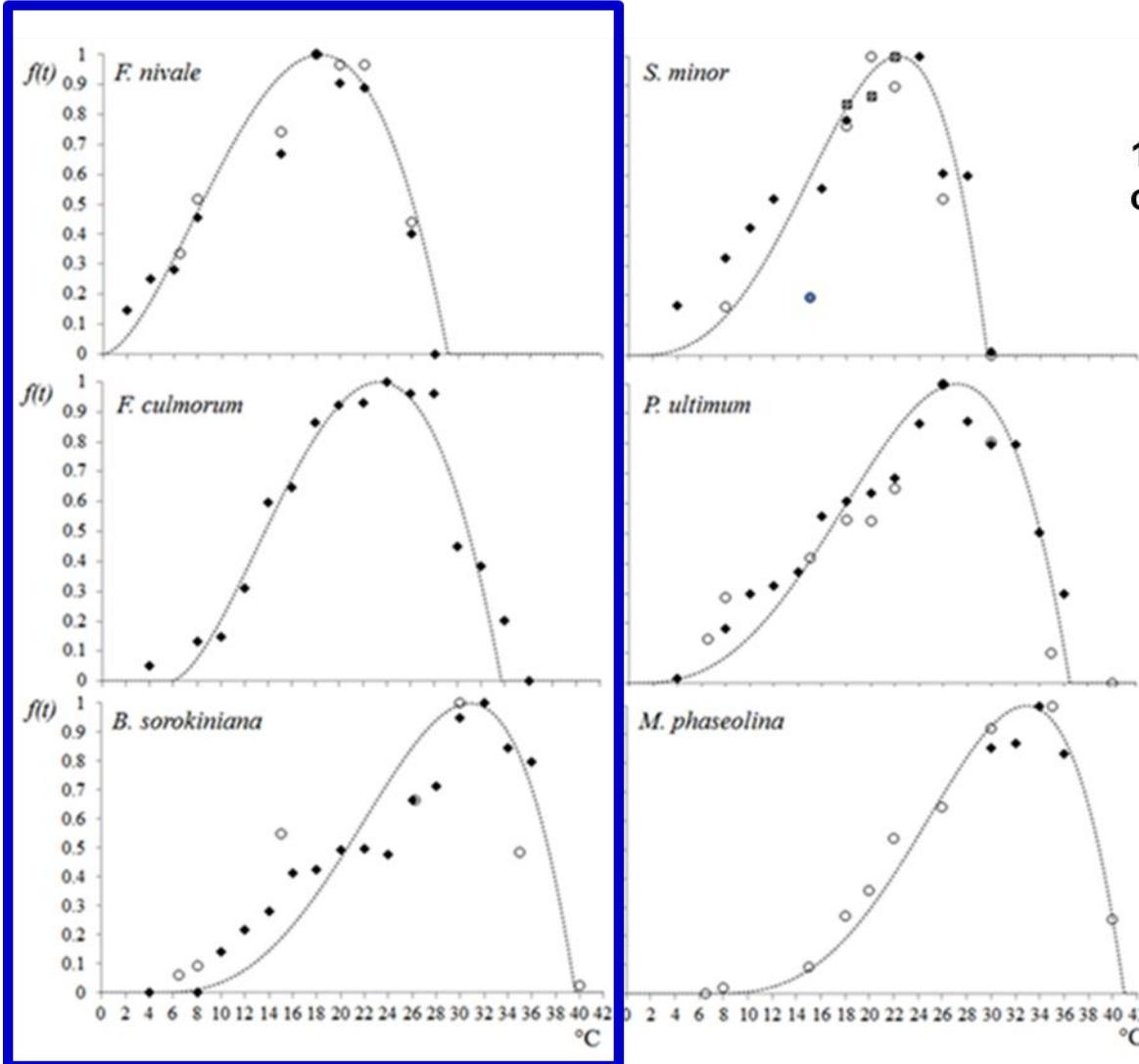




Variabili agrometeorologiche

Risposte alla temperatura

Agronomia



Manici et al. 2014

1. Calibrazione del modello con dati di laboratorio



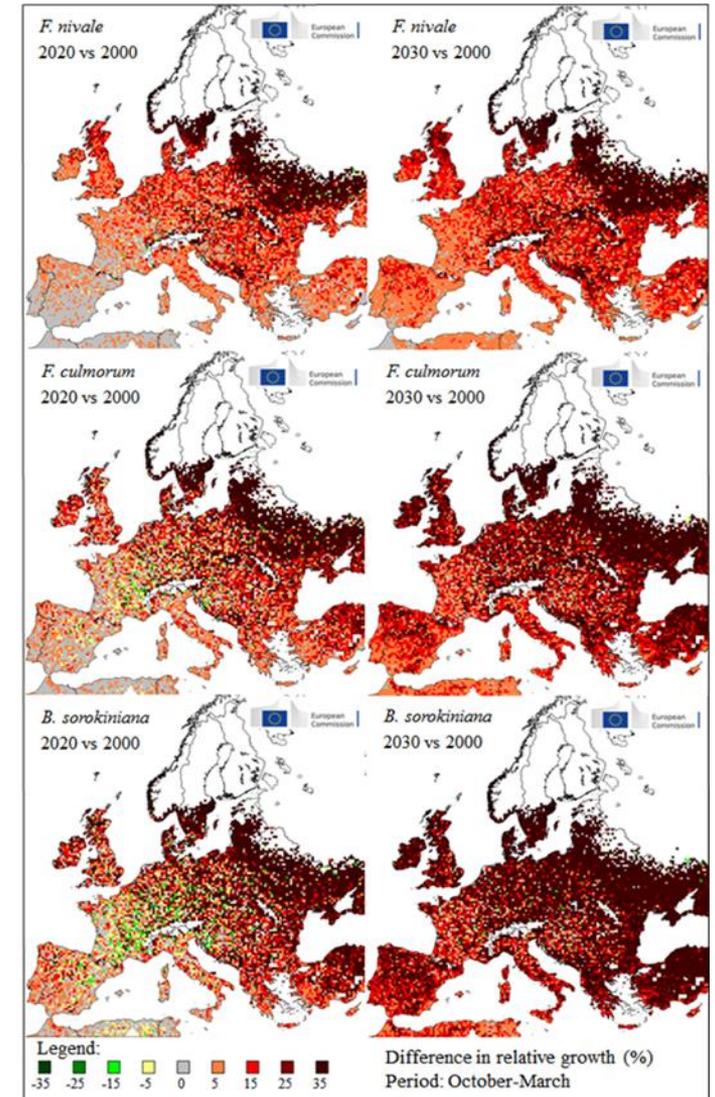
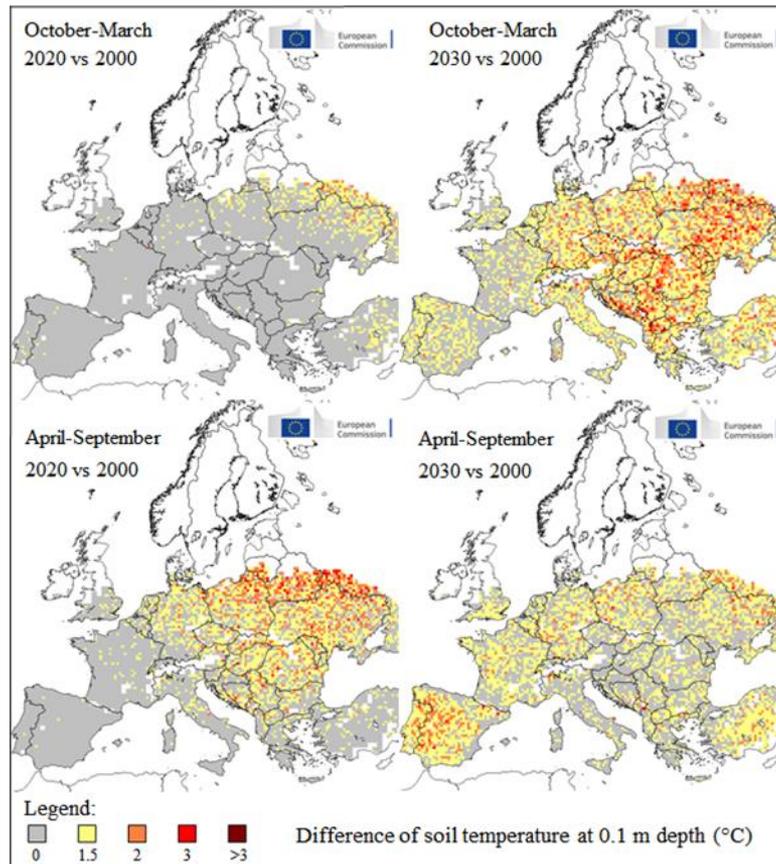
Variabili agrometeorologiche

Risposte alla temperatura

Agronomia

Manici et al. 2014

2. Applicazione del modello calibrato in scenari di cambiamento climatico





Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

- 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 (ad esempio) 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 **Tmax** se quest'ultima è **> del cardinale max**.



Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

- 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 (o dell'acqua per riso)** 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 piuttosto bene**. In particolare per pisello e mais (gli ibridi di mais sono classificati in funzione dei GDD richiesti).
- Utile per "logistica"!

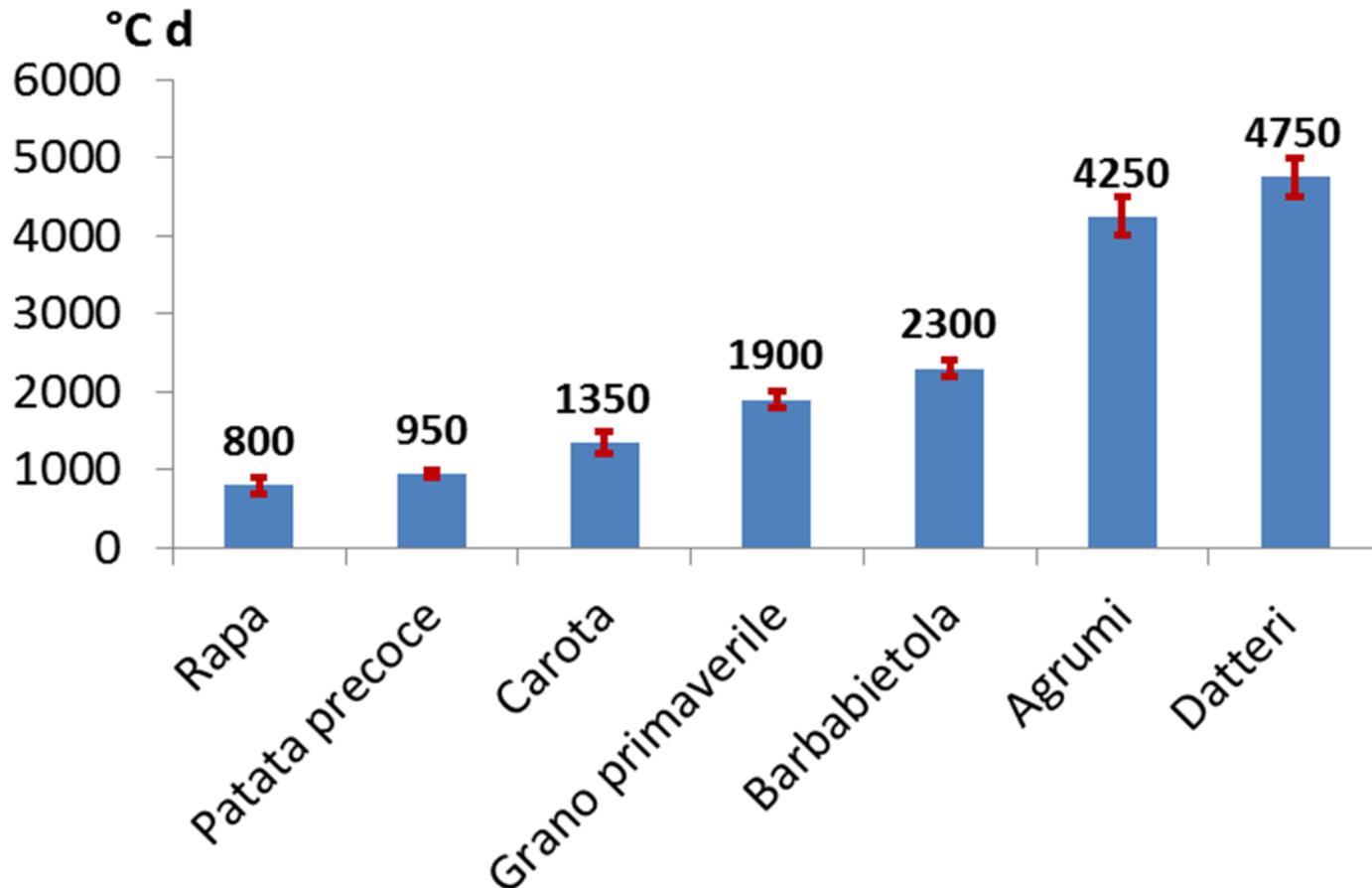


Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

- Somme termiche di sviluppo (°C-giorno)





Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

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 10-12

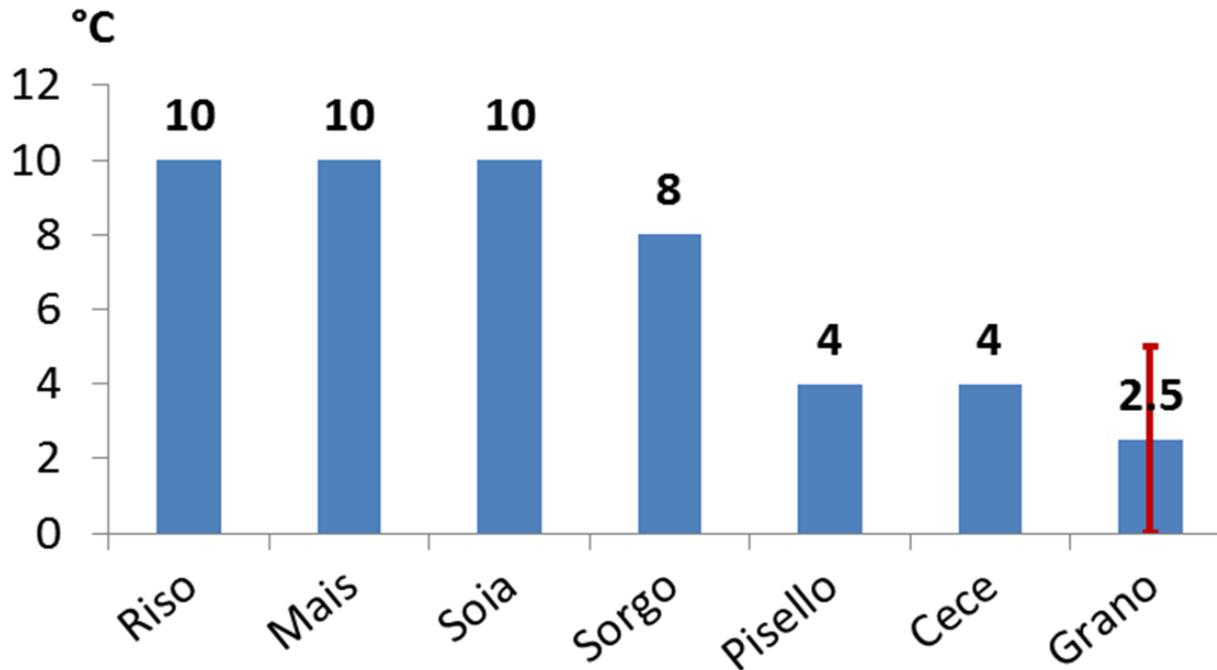


Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

Valori soglia in °C per il calcolo delle somme termiche



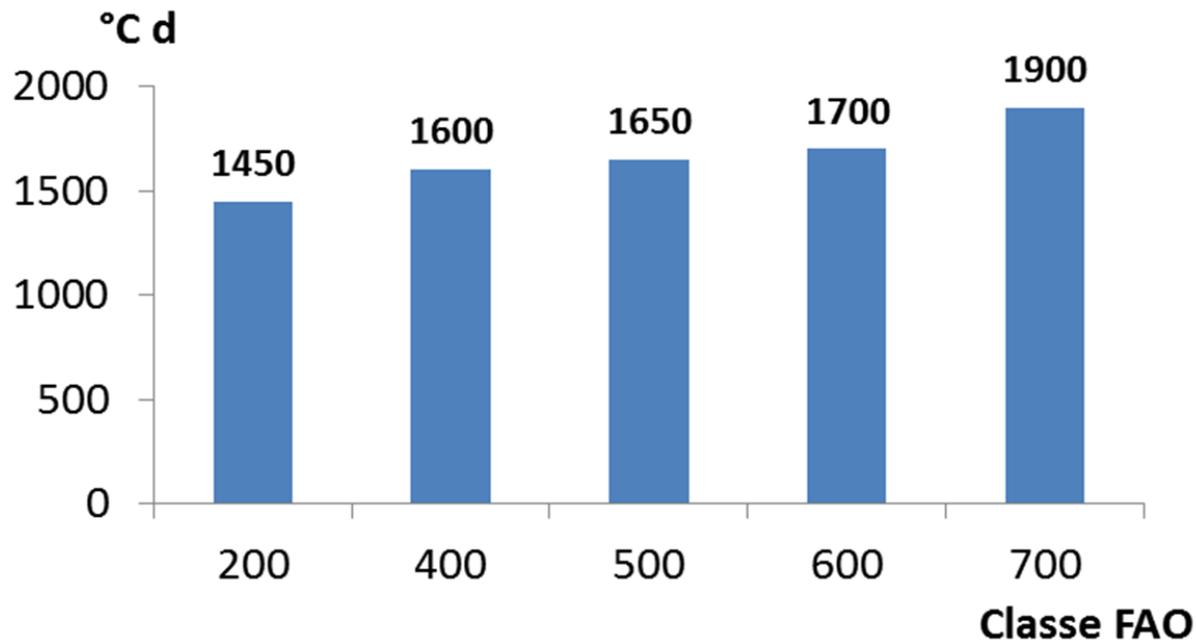


Variabili agrometeorologiche

Temperatura e pianta

Agronomia

Somme termiche di sviluppo mais (classi FAO)





Variabili agrometeorologiche

Termoperiodismo

Agronomia

- 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 infatti fluttuazioni termiche tra giorno e notte
- Es:
 - Pomodoro: giorno 26 °C – notte 17 °C
 - Se **T è costantemente alta**, **patata non forma tuberi**
 - Se **T è costantemente alta**, **arance rimangono verdi**.



Variabili agrometeorologiche

Vernalizzazione

Agronomia

- 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** (es. 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** (es. 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**.