



# **WOFOST-GT: SIMULAZIONE DELLA CRESCITA E DELLO SVILUPPO**



# Gerarchia dei livelli produttivi

1. Potenziale

---

2. Limitato da acqua

La produzione è determinata dall'interazione tra genotipo (varietà), management (date di semina e raccolta), temperatura dell'aria e radiazione solare



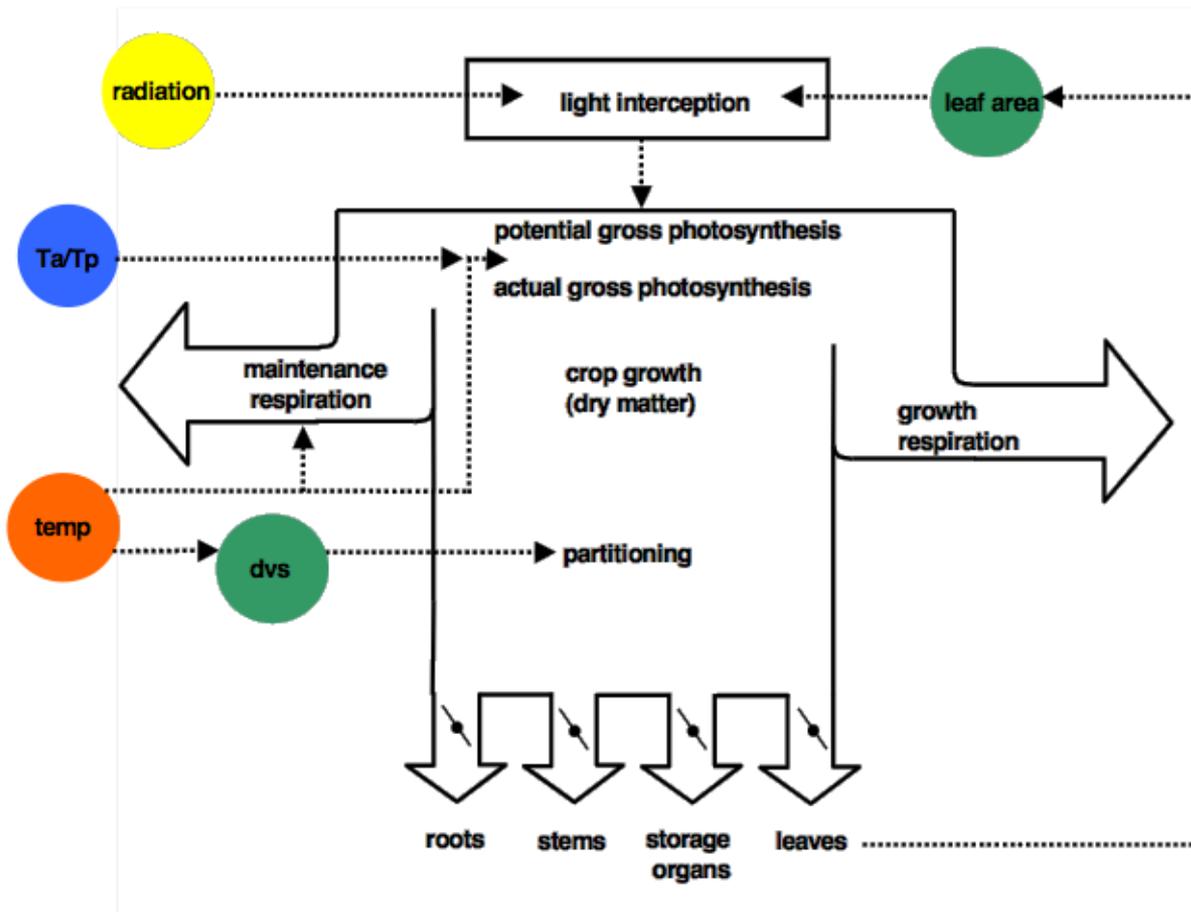
# Gerarchia dei livelli produttivi

1. Potenziale
  2. Limitato da acqua
- 

La produzione potenziale viene ridotta in funzione dello stress idrico, confrontando la richiesta di acqua della pianta con la disponibilità idrica nell'orizzonte di suolo esplorato dalle radici



# Simulazione della produzione potenziale



1. Sviluppo fenologico
2. Intercettazione della luce e fotosintesi lorda
3. Respirazione di mantenimento e di crescita (→ fotosintesi netta)
4. Ripartizione degli assimilati
5. Crescita degli organi



## Come caratterizzare una varietà?

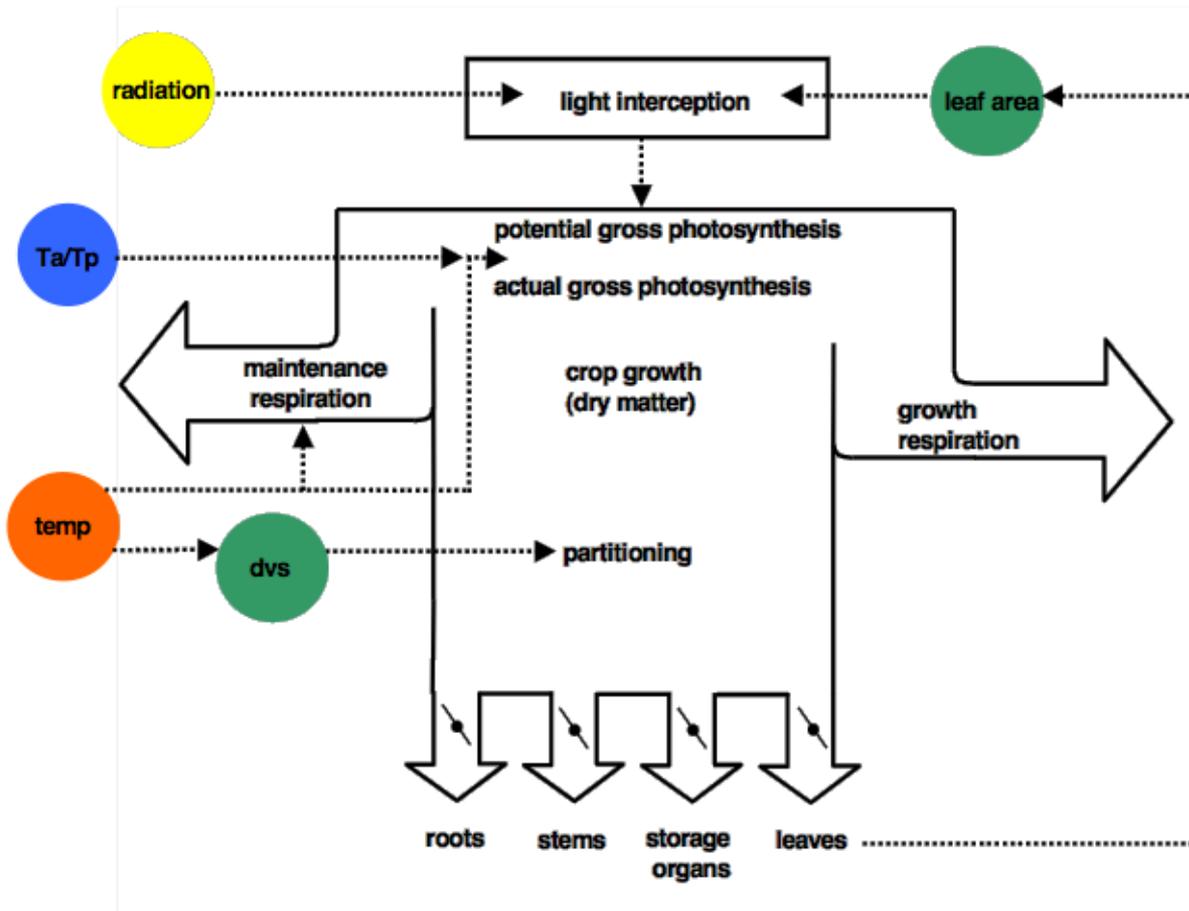
- WOFOST-GT è un modello colturale generico: è in grado di riprodurre lo sviluppo e la crescita di qualunque coltura erbacea a patto di caratterizzarne correttamente i processi e le risposte ai fattori ambientali
- Questa caratterizzazione viene eseguita dall'utente (voi) mediante l'aggiustamento (calibrazione) di una serie di parametri
- WOFOST-GT è un modello piuttosto dettagliato. L'elevato livello di dettaglio nella descrizione dei processi si riflette in un elevato numero di parametri da calibrare



- Nelle prossime slides approfondiremo i processi simulati da WOFOST-GT e come questi vengano influenzati dai vari parametri



# Simulazione della produzione potenziale



1. Sviluppo fenologico
2. Intercettazione della luce e fotosintesi lorda
3. Respirazione di mantenimento e di crescita ( $\rightarrow$  fotosintesi netta)
4. Ripartizione degli assimilati
5. Crescita degli organi



# Lo sviluppo fenologico: il DVS

Lo sviluppo fenologico è «la serie di eventi identificabili che sfociano in una variazione quantitativa o qualitativa della struttura della pianta» (Bonhomme, 2000)

WOFOST-GT descrive lo sviluppo attraverso una variabile adimensionale: Il DVS (development stage code). 0 = emergenza; 1 = fioritura; 2 = maturità fisiologica.

Il progredire del DVS dipende dall'accumulo di tempo termico eventualmente corretto da un fattore di risposta al fotoperiodo ( $F_{pr}$ ; 0-1).

$$DVS_i = DVS_{i-1} + \frac{T_e}{T_{req}} \cdot F_{pr}$$

Parametro che determina i gradi giorno necessari al passaggio alla fase successiva:

GDDem = semina – emergenza

GDDflw = emergenza – fioritura

GDDmat = fioritura – maturità fisiologica

°C d sommatoria termica per emergere (GDDem)

°C d sommatoria termica emergenza-fioritura (GDDflw)

°C d sommatoria termica fioritura-maturazione (GDDmat)



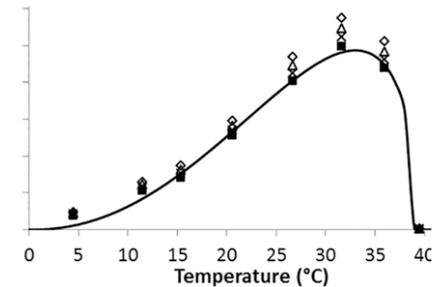
# Lo sviluppo fenologico: il DVS

Lo sviluppo fenologico è «la serie di eventi identificabili che sfociano in una variazione quantitativa o qualitativa della struttura della pianta» (Bonhomme, 2000)

WOFOST-GT descrive lo sviluppo attraverso una variabile adimensionale: Il DVS (development stage code). 0 = emergenza; 1 = fioritura; 2 = maturità fisiologica.

Il progredire del DVS dipende dall'accumulo di tempo termico eventualmente corretto da un fattore di risposta al fotoperiodo (Fpr; 0-1).

$$DVS_i = DVS_{i-1} + \frac{T_e}{T_{req}} \cdot F_{pr}$$



Tempo termico effettivo

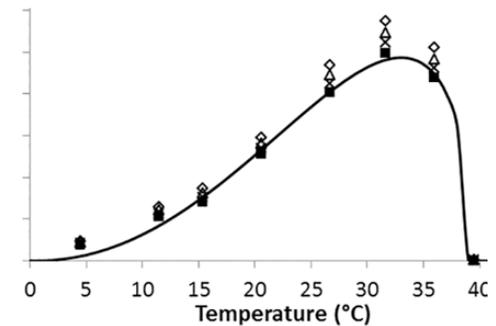
$$\beta = \begin{cases} 0 & T < T_{base} \\ \left[ \left( \frac{T - (T_{base} - a)}{T_{opt} - (T_{base} - a)} \right) \cdot \left( \frac{(T_{max} - a) - T}{(T_{max} - a) - T_{opt}} \right)^{\frac{(T_{max} - a) - T_{opt}}{T_{opt} - (T_{base} - 2)}} \right]^b \cdot (T_{opt} - T_{base}) & T_{base} \leq T \leq T_{max} \\ 0 & T > T_{max} \end{cases}$$



# Lo sviluppo fenologico: il DVS

- °C temperatura minima di Sviluppo ( $T_{bdev}$ )
- °C Temperatura ottimale di Sviluppo ( $T_{optdev}$ )
- °C Temperatura massima di Sviluppo ( $T_{maxdev}$ )

$$DVS_i = DVS_{i-1} + \frac{T_e}{T_{req}} \cdot F_{pr}$$



Tempo termico effettivo

$$\beta = \begin{cases} 0 & T < T_{base} \\ \left[ \frac{T - (T_{base} - a)}{T_{opt} - (T_{base} - a)} \cdot \frac{(T_{max} - a) - T}{(T_{max} - a) - T_{opt}} \cdot \frac{(T_{max} - a) - T_{opt}}{T_{opt} - (T_{base} - 2)} \right]^b \cdot (T_{opt} - T_{base}) & T_{base} \leq T \leq T_{max} \\ 0 & T > T_{max} \end{cases}$$



# Lo sviluppo fenologico: il DVS

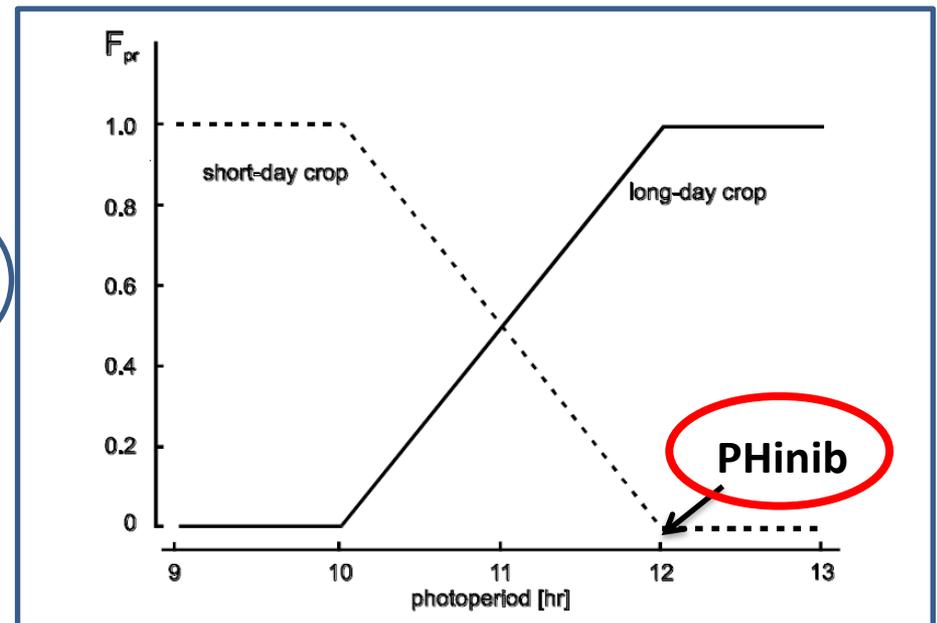
Lo sviluppo fenologico è «la serie di eventi identificabili che sfociano in una variazione quantitativa o qualitativa della struttura della pianta» (Bonhomme, 2000)

WOFOST-GT descrive lo sviluppo attraverso una variabile adimensionale: Il DVS (development stage code). 0 = emergenza; 1 = fioritura; 2 = maturità fisiologica.

Il progredire del DVS dipende dall'accumulo di tempo termico eventualmente corretto da un fattore di risposta al fotoperiodo ( $F_{pr}$ ; 0-1).

h d-1 Ore di luce giornaliere per fotoinduzione (PHinib)

$$DVS_i = DVS_{i-1} + \frac{T_e}{T_{req}} \cdot F_{pr}$$





# Lo sviluppo fenologico: il DVS

Lo sviluppo fenologico è «la serie di eventi identificabili che sfociano in una variazione quantitativa o qualitativa della struttura della pianta» (Bonhomme, 2000)

WOFOST-GT descrive lo sviluppo attraverso una variabile adimensionale: Il DVS (development stage code). 0 = emergenza; 1 = fioritura; 2 = maturità fisiologica.

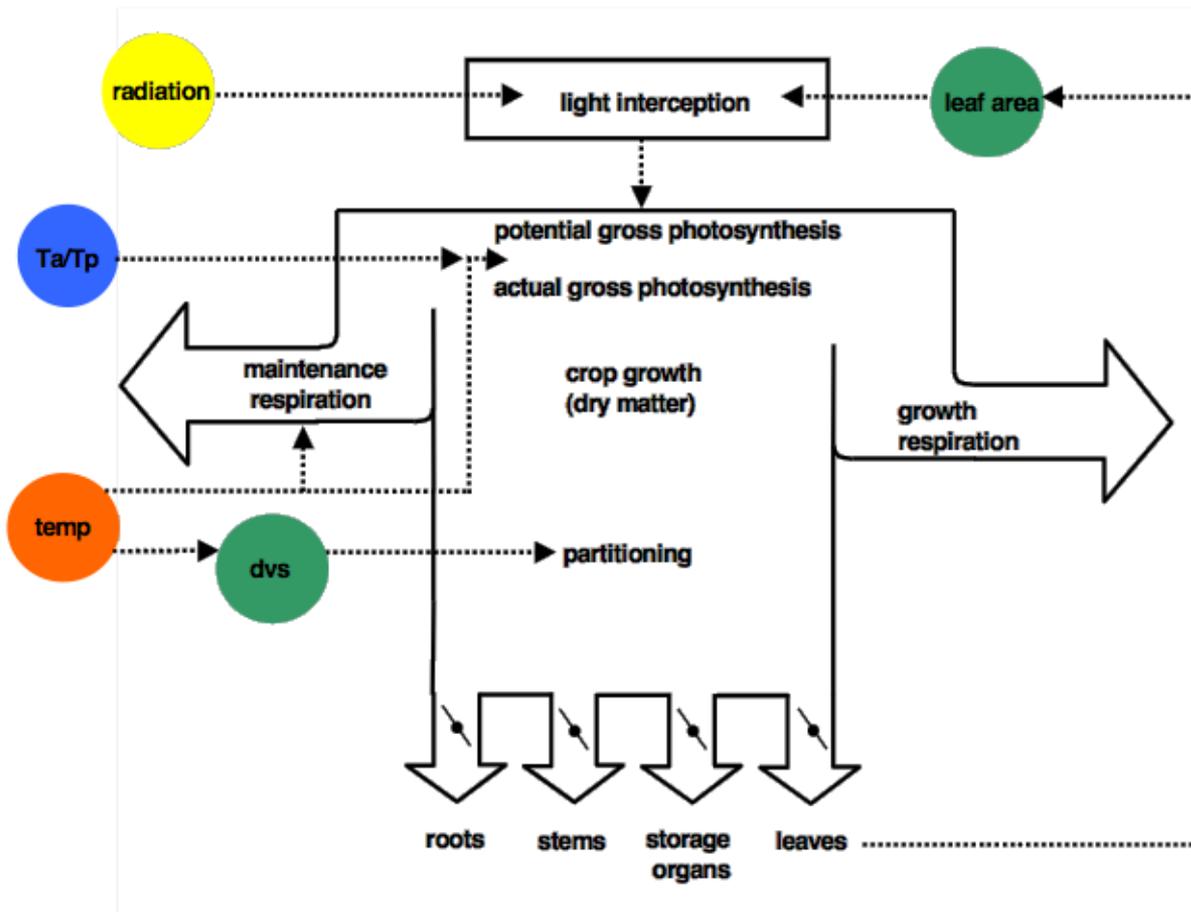
Il progredire del DVS dipende dall'accumulo di tempo termico eventualmente corretto da un fattore di risposta al fotoperiodo (Fpr; 0-1).

C'è poi un modulatore, che permette di simulare il comportamento di varietà con diversa sensibilità al fotoperiodo: **Fotosensibilità vicino a 1 bassa, vicino a zero alta (PHins)**

E un interruttore per accendere e spegnere il fotoperiodo (nel caso di varietà completamente insensibili al fotoperiodo): **Vale zero o uno per fotosensibile 0 non fotosensibile (IsPH)**



# Simulazione della produzione potenziale



1. Sviluppo fenologico
- 2. Intercettazione della luce e fotosintesi lorda**
3. Respirazione di mantenimento e di crescita (→ fotosintesi netta)
4. Ripartizione degli assimilati
5. Crescita degli organi

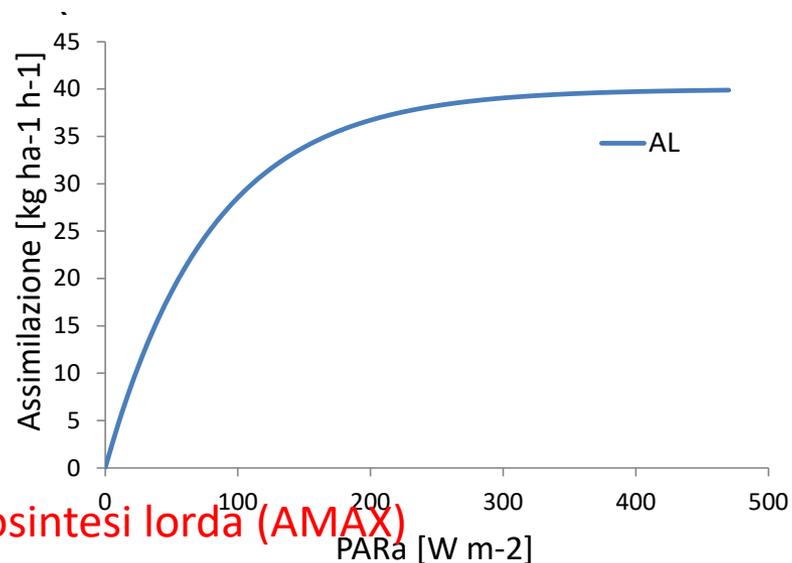


# Intercettazione e assimilazione

- La fotosintesi lorda è calcolata in funzione della radiazione assorbita dalla canopy (dipende dal LAI e dal **Coefficiente di estinzione della luce (K)**, per i cereali  $\sim 0.5$ , valori più alti  $\rightarrow$  foglie più erette e viceversa) e della curva di risposta fotosintetica della foglia
- Nella stima della fotosintesi giornaliera WOFOST-GT considera la variabilità delle condizioni di illuminazione percepite dalle piante nel corso del giorno e lungo il profilo verticale della canopy (intensità di luce e rapporto diretta/diffusa).
- Per fare questo WOFOST-GT utilizza una doppia integrazione (che vi risparmio). Vi basti sapere che, per ciascuno dei tre strati in cui il modello suddivide la canopy, l'assimilazione istantanea lorda viene calcolata

$$A_L = A_m \cdot \left( 1 - e^{\frac{-\varepsilon \cdot PAR_a}{A_m}} \right)$$

$PAR_a$  = PAR assorbita alla quota L;  $f(LAI)$



G CO2 MJ-1 Massima assimilazione di CO2 per fotosintesi lorda (AMAX)

PARa [W m-2]

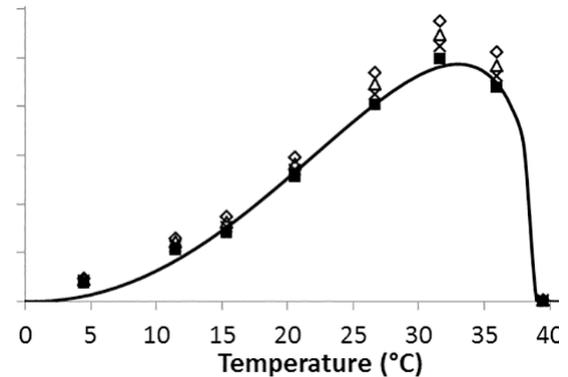


# Come modulare la fotosintesi?

$$A_L = A_m \cdot \beta \cdot \left( 1 - e^{\frac{-\varepsilon \cdot PAR_a}{A_m \cdot TMPF}} \right)$$

Fattore per considerare l'effetto della temperatura sulla fotosintesi lorda

- °C Temperatura minima di Crescita ( $T_b$ )
- °C Temperatura ottimale di Crescita ( $T_{opt}$ )
- °C Temperatura massima di Crescita ( $T_{max}$ )

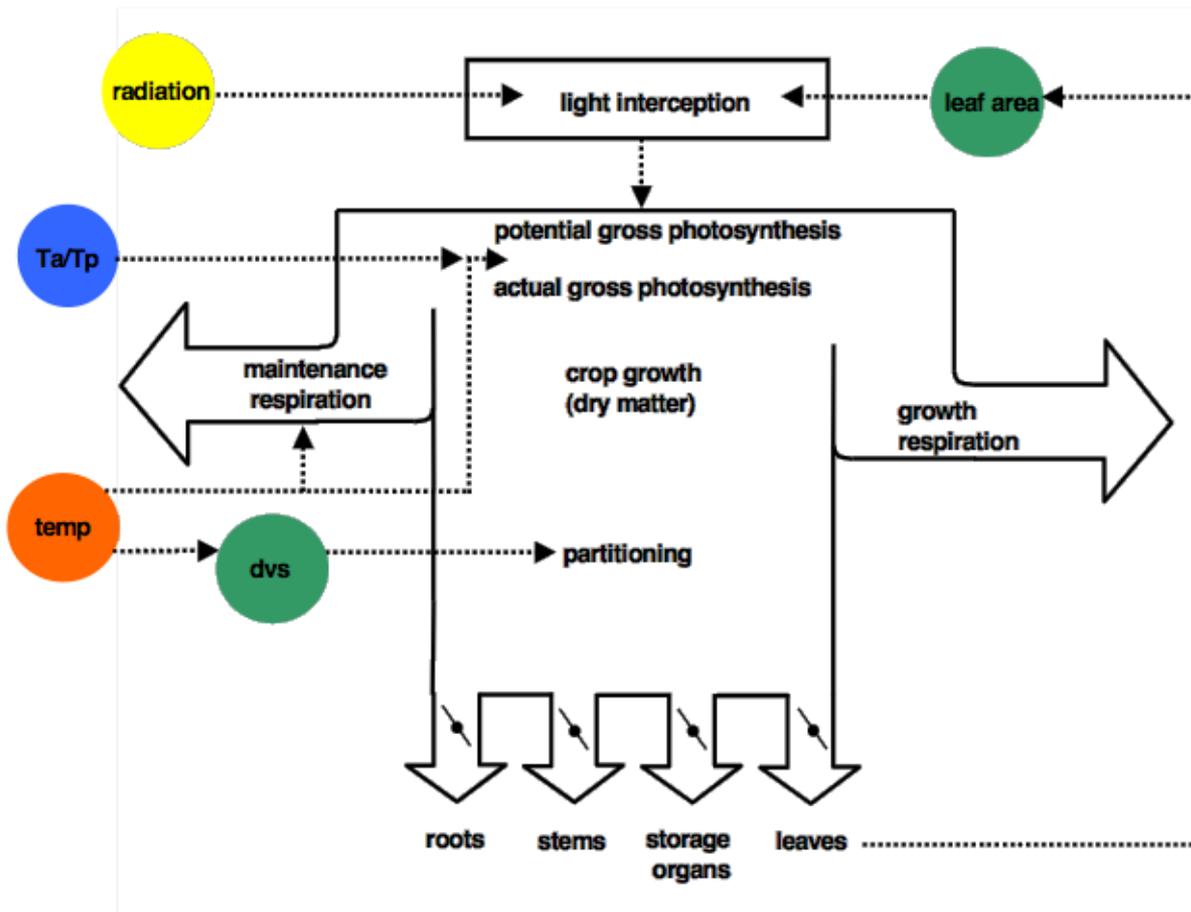


$$\beta = \begin{cases} 0 & T < T_{base} \\ \left[ \frac{(T - (T_{base} - a))}{(T_{opt} - (T_{base} - a))} \cdot \frac{((T_{max} - a) - T)}{((T_{max} - a) - T_{opt})} \right]^b \cdot (T_{opt} - T_{base}) & T_{base} \leq T \leq T_{max} \\ 0 & T > T_{max} \end{cases}$$

Attenzione! Possono essere leggermente diversi dai parametri usati per l'effetto della temperatura sullo sviluppo!!!



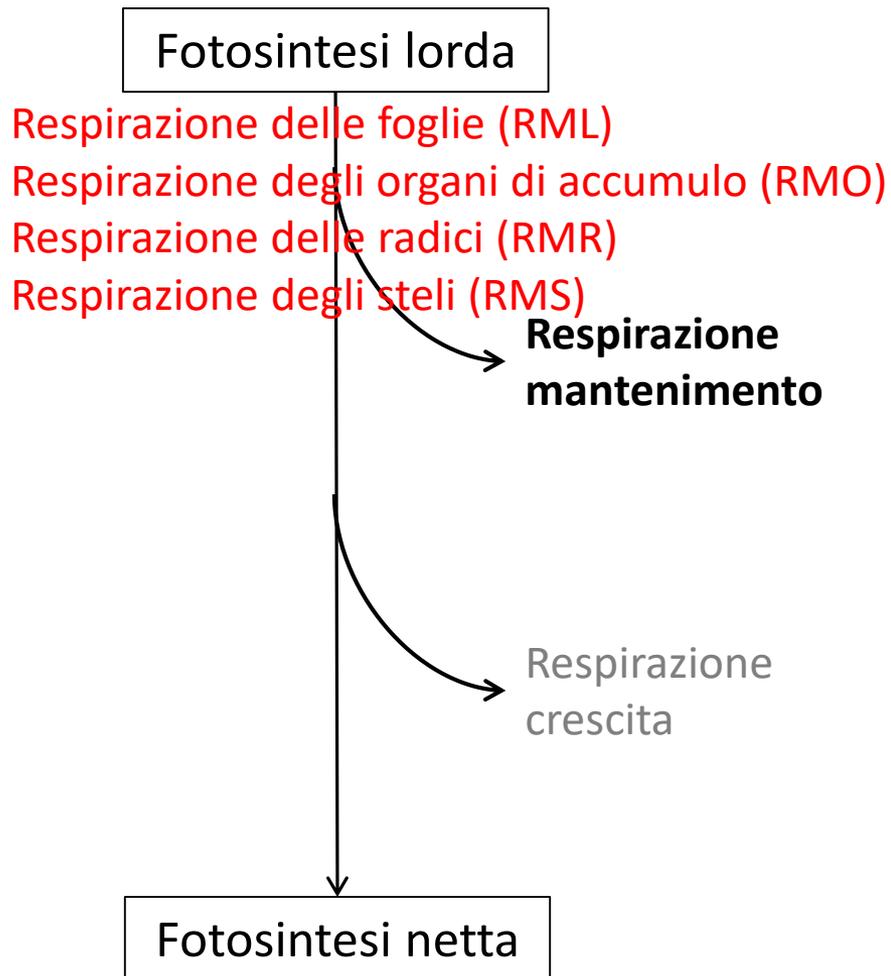
# Simulazione della produzione potenziale



1. Sviluppo fenologico
2. Intercettazione della luce e fotosintesi lorda
3. **Respirazione di mantenimento e di crescita (→ fotosintesi netta)**
4. Ripartizione degli assimilati
5. Crescita degli organi



# Respirazione di crescita e mantenimento



È funzione della biomassa dei vari organi (stelo, foglie, fusto, organi di accumulo) e di parametri specifici per ciascun organo:

- RML
  - RMO
  - RMR
  - RMS
- } [kg CH<sub>2</sub>O kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>]

Una funzione Q<sub>10</sub> ne descrive la dipendenza dalla temperatura:

$$R_{mant} = Biom_{organo} \cdot RM_{organo} \cdot Q_{10}^{\frac{T_{media} - T_{ref}}{10}}$$

Questi parametri sono **generalmente** esclusi dalla calibrazione



# Respirazione di crescita e mantenimento

Fotosintesi lorda

Respirazione  
mantenimento

Efficienza di conversione in foglie (CVL)  
Efficienza di conversione in organi di accumulo (CVO)  
Efficienza di conversione in radici (CVR)  
Efficienza di conversione in steli (CVS)

Respirazione  
crescita

Fotosintesi netta

Rappresenta il costo energetico della costituzione di nuovi tessuti.

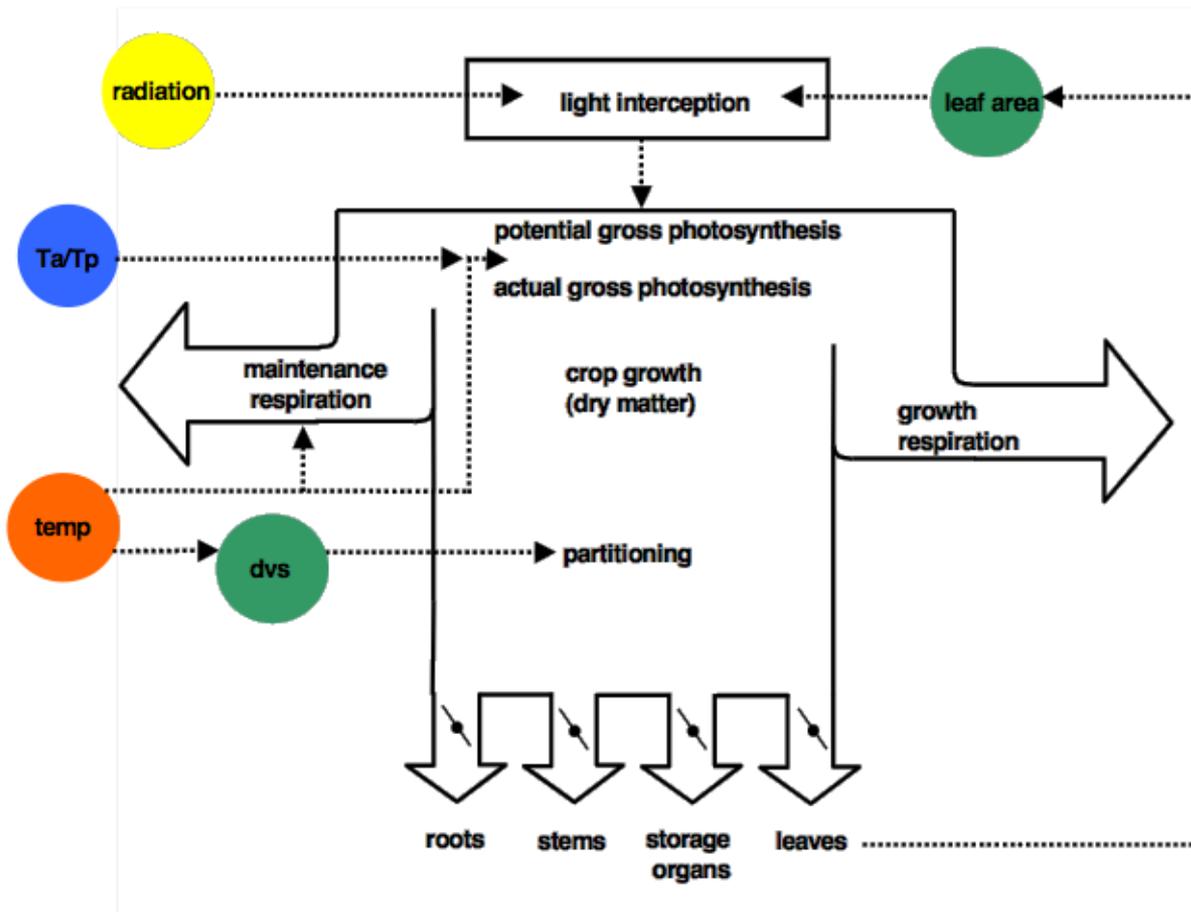
È funzione dell'aumento di biomassa dei vari organi (stelo, foglie, fusto, organi di accumulo) e di parametri che descrivono l'efficienza di conversione degli assimilati nei tessuti che li costituiscono:

- CVL
  - CVO
  - CVR
  - CVS
- } [kg kg<sup>-1</sup>]

Questi parametri (che possono variare da 0 a 1) sono **generalmente** esclusi dalla calibrazione



# Simulazione della produzione potenziale

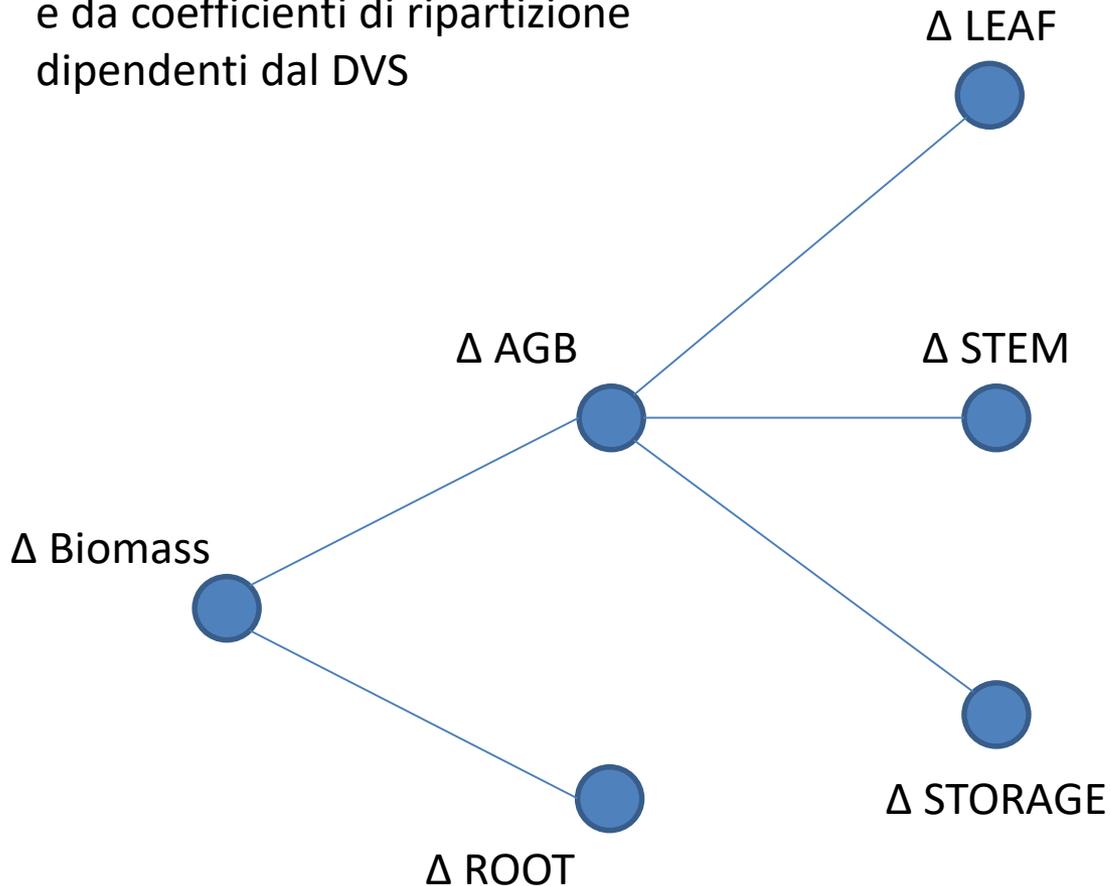


1. Sviluppo fenologico
2. Intercettazione della luce e fotosintesi lorda
3. Respirazione di mantenimento e di crescita ( $\rightarrow$  fotosintesi netta)
4. **Ripartizione degli assimilati**
5. Crescita degli organi



# Ripartizione degli assimilati

L'aumento di biomassa di ciascun organo dipende dalla fotosintesi netta e da coefficienti di ripartizione dipendenti dal DVS

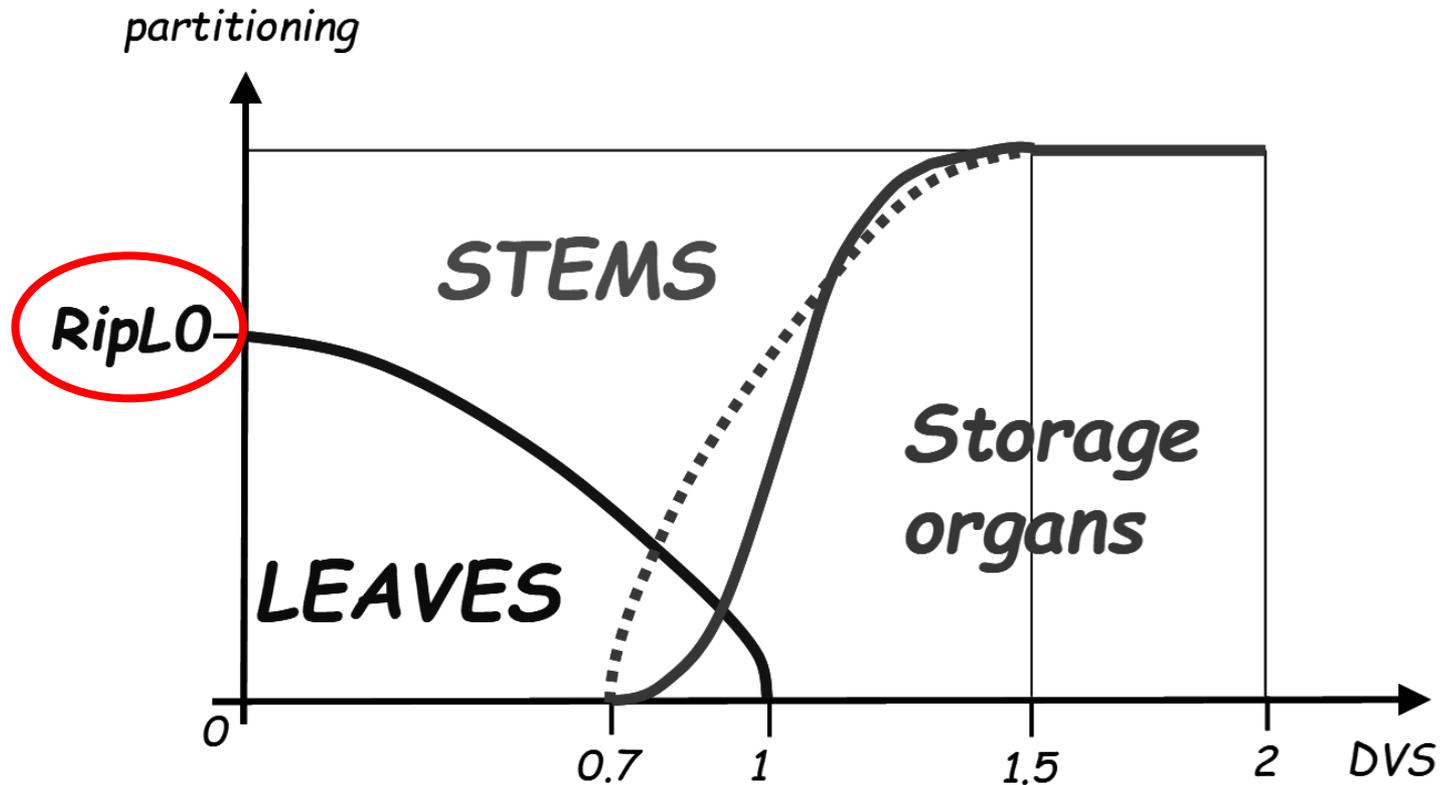




# Ripartizione degli assimilati

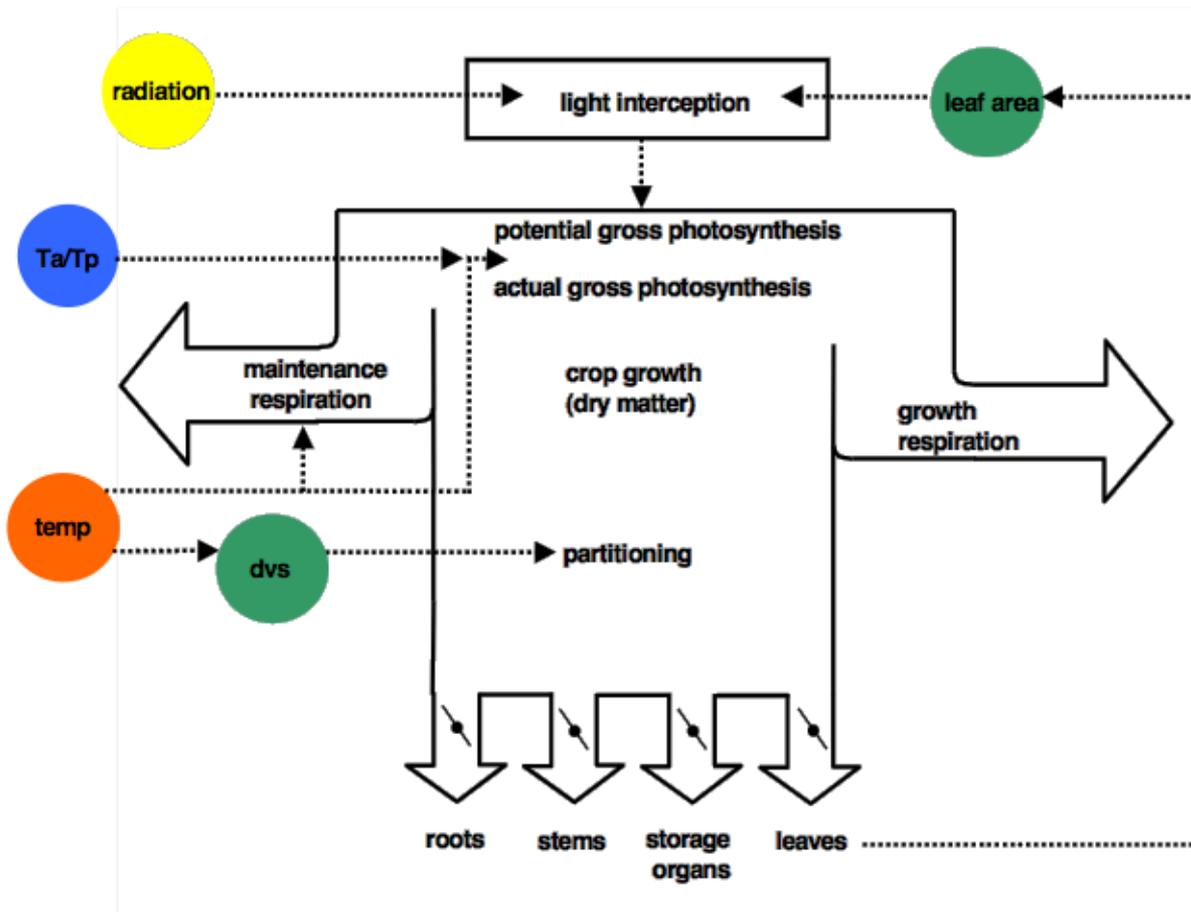
L'aumento di biomassa di ciascun organo dipende dalla fotosintesi netta e da coefficienti di ripartizione dipendenti dal DVS

Ripartizione delle biomassa aerea in foglie all'emergenza (RipL0)





# Simulazione della produzione potenziale



1. Sviluppo fenologico
2. Intercettazione della luce e fotosintesi lorda
3. Respirazione di mantenimento e di crescita (→ fotosintesi netta)
4. Ripartizione degli assimilati
5. **Crescita degli organi**



# Crescita degli organi

- La crescita degli organi ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) dipende direttamente dalla ripartizione degli assimilati. Nel caso di organi fotosintetici (foglie e steli) la crescita in termini di massa corrisponde a un aumento di superficie fotosintetica.
- Questo processo determina un aumento di LAI (leaf area index), che a sua volta si traduce in un aumento di intercettazione della luce e, di conseguenza, della fotosintesi.
- WOFOST utilizza un duplice approccio per la stima dell'aumento del LAI:

$$\Delta LAI = \min \left( \begin{array}{l} LAI_t \cdot RGRLAI \cdot T_e \\ \Delta W_{leaves} \cdot SLA \end{array} \right)$$

Crescita esponenziale (prime fasi del ciclo)

Crescita basata sulla ripartizione degli assimilati e area specifica fogliare (SLA)

- Il  $\Delta LAI$  viene utilizzato nell'integrazione giornaliera dell'indice di area fogliare:

$$LAI_t = LAI_{t-1} + \Delta LAI$$

- Il giorno dell'emergenza,  $LAI_t$  è **m2 m-2 Indice di area fogliare ad emergenza (LAIEM) (!!!)**



# Crescita degli organi

$$\Delta LAI = \min \left( \begin{array}{l} LAI_t \cdot RGRLAI \cdot T_e \\ \Delta W_{leaves} \cdot SLA \end{array} \right)$$

m2 m-2 Massimo tasso di crescita Indice di area fogliare (RGRLAI)

$$SLA = \begin{cases} SLA_{ini} & DVS < 0.18 \\ (SLA_{ini} - SLA_{till} \cdot f) \cdot SLA_{ini}^{[0.7(DVS-0.18)]} + SLA_{till} \cdot f & DVS \geq 0.18 \end{cases}$$

$$f = 15,936 \cdot SLA_{em}^2 - 251.22 \cdot SLA_{em} + 1.43$$

g m-2 Inverso dello spessore foglie iniziale (SLAini)

g m-2 Inverso dello spessore foglie in accestimento (SLAtill)



# Senescenza degli organi

- Senescenza fogliare:
  - le unità di LAI emesse hanno una «vita» predeterminata (in termini di gradi-giorno) definita dal parametro SPAN (+SPAN → +LAI).
  - Inoltre, WOFOST stima giornalmente la quota di LAI senescente a causa di fenomeni di auto-ombreggiamento (+LAI → +senescenza)

d Tempo di durata di ogni singola foglia (SPAN)



Interazione tra SPAN e auto-ombreggiamento!  
In calibrazione, aumentare troppo SPAN comporta un effetto inatteso di riduzione drastica del LAI:  
++SPAN → ++LAI → ++Senescenza



# Domande?

