



LIFE Programme 2014 - 2020



MODULO 4

I PARAMETRI DELLA COLTURA

I PARAMETRI DELLA COLTURA

L'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura ha calibrato i parametri caratteristici di molte colture agricole e li fornisce come valori di default nei file delle colture presenti nel database di *AquaCrop*:

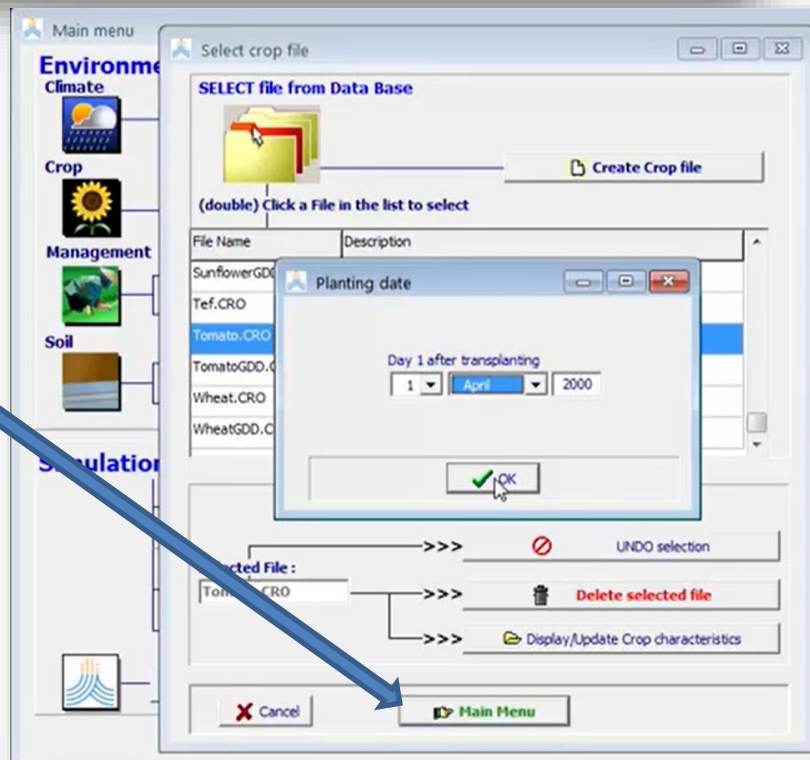
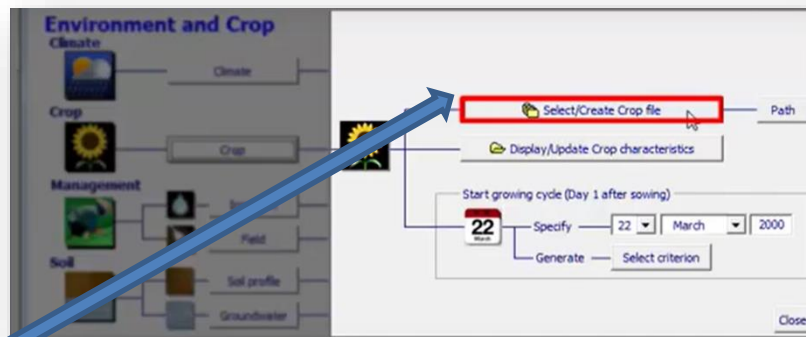
- Cotone, mais, girasole, riso, patata, quinoa, soia, pomodoro, orzo, frumento, barbabietola da zucchero, tef, sorgo, canna da zucchero

Quando si seleziona una coltura, *AquaCrop* carica

1. i “**parametri conservativi**”, che sono parametri fissi/costanti, specifici della coltura che non variano nel tempo, o con la gestione, clima, localizzazione, cultivar. **Questi parametri sono validi per tutte le cultivar e in qualsiasi ambiente.**
2. i “**parametri non conservativi**” che sono specifici della cultivar o che sono influenzati dalle pratiche colturali, modalità di semina, condizioni nel profilo del terreno. Questi parametri vanno regolati e/o calibrati in relazione alla particolare cultivar e all'ambiente in considerazione.

Parametri “conservativi”

1. Innanzitutto si seleziona il **file** contenente i dati meteorologici
2. Poi si carica un nuovo “file crop” cliccando su “**Crop**” nel menù principale, e poi su “**Select/create crop file**”, ad es. il pomodoro
3. Cliccando su “**Return to main menù**”, *AquaCrop*, prima di chiudere la finestra, chiede di inserire la data di semina/piantumazione della coltura



Parametri “non conservativi”

Selezionando (1) il comando <Crop> e poi (2) il comando <Display/Update Crop characteristics> nel pannello di gestione dei file del *Main menu*, l'utente accede al menù *Crop characteristics* in cui possono essere regolati i parametri della coltura rispetto all'ambiente. I parametri sono elencati in una serie di schede:

- ❑ **Descrizione:** per modificare la descrizione del file coltura;
- ❑ **Modalità:** per passare dai giorni Calendario ai Growing degree-days (somme termiche)
- ❑ **Sviluppo:** per modificare i parametri specifici della cultivar e i parametri influenzati dalla semina/piantumazione, dalla gestione e dalle condizioni del profilo del terreno;
- ❑ **Produzione:** per modificare l'Harvest Index;
- ❑ **Stress nutrizionale:** per calibrare la risposta della biomassa della coltura allo stress legato alla fertilità del terreno e/o alla salinità del terreno;
- ❑ **Calendario:** per avere una panoramica temporale dello sviluppo colturale e/o modificare il calendario del ciclo di accrescimento.



VISUALIZZAZIONE DEI PARAMETRI

Mantenendo la selezione su “**Limited set**” è possibile modificare solo i **parametri non conservativi**.

Se si vogliono visualizzare i **parametri conservativi**, si seleziona “**Full set**” e compariranno una serie di schede aggiuntive che li descrivono (in grigio).

Non è raccomandabile modificare questi parametri in quanto sono validi per qualsiasi ambiente e varietà.

AquaCrop distingue visivamente tra:

- *parametri non conservativi* (caselle in bianco)
- *parametri conservativi* (caselle in grigio)

The screenshot shows the 'Crop characteristics' window in AquaCrop. The 'Limited set' option is selected under 'Display crop parameters'. The 'Full set' option is also visible. The 'Type of edit fields (cells)' dropdown is set to 'White cell'. The 'Type of edit fields (cells)' dropdown is highlighted with a red box. The 'Type of edit fields (cells)' dropdown is highlighted with a red box. The 'Type of edit fields (cells)' dropdown is highlighted with a red box.

MODIFICA DEI PARAMETRI COLTURALI

I parametri che si possono modificare in *AquaCrop* sono:

1. Parametri condizionati dalla modalità di semina
2. Parametri colturali specifici della cultivar
3. Parametri dipendenti dal tipo di suolo e dalle pratiche di gestione colturale
4. Calendario del ciclo di crescita

1. Parametri influenzati dalla modalità di semina

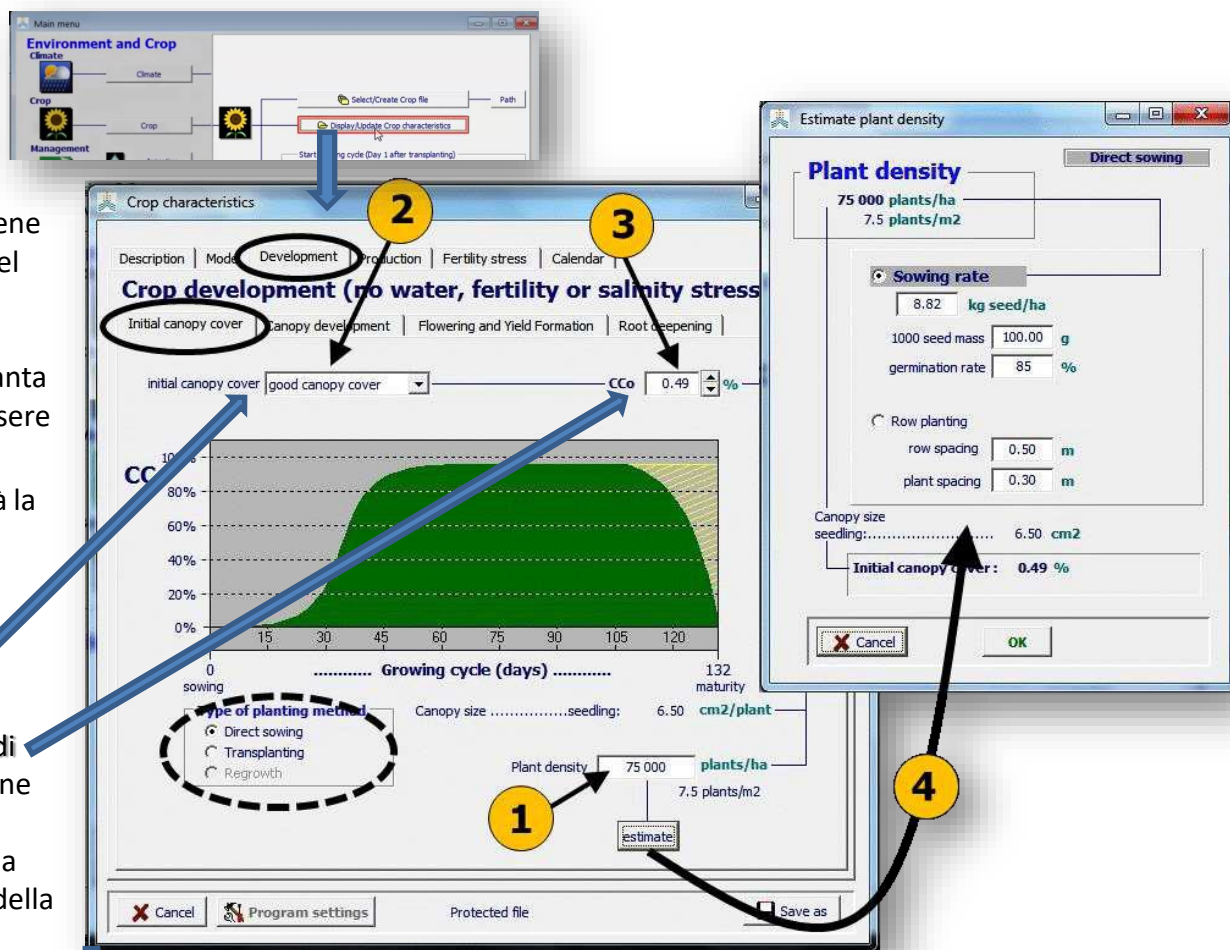
ESEMPIO DI SEMINA DIRETTA

1. Metodo di semina:

AquaCrop distingue tra semina diretta e trapianto. Quando la coltura è seminata, viene fornita la misura della copertura vegetale del germoglio (è un parametro conservativo). Dall'altro lato, la misura delle piantine trapiantate dipende da quanto tempo la pianta è rimasta nel vivaio e la sua misura deve essere specificata dall'utente.

2. Densità delle piante, che determinerà la copertura vegetale iniziale (CC_0). La densità viene specificata direttamente o tramite:

- Selezione di una delle classi CC_0 (che variano da coperture molto piccole a molto grandi);
- Indicazione diretta della percentuale di CC_0 (che può essere utile per le piantine trapiantate). La densità della pianta corrispondente deriverà dal CC_0 e dalla dimensione della copertura vegetale della piantina; oppure
- Selezione del comando <estimate> per stimare la densità in base alla percentuale di germinazione o alla spaziatura delle piante

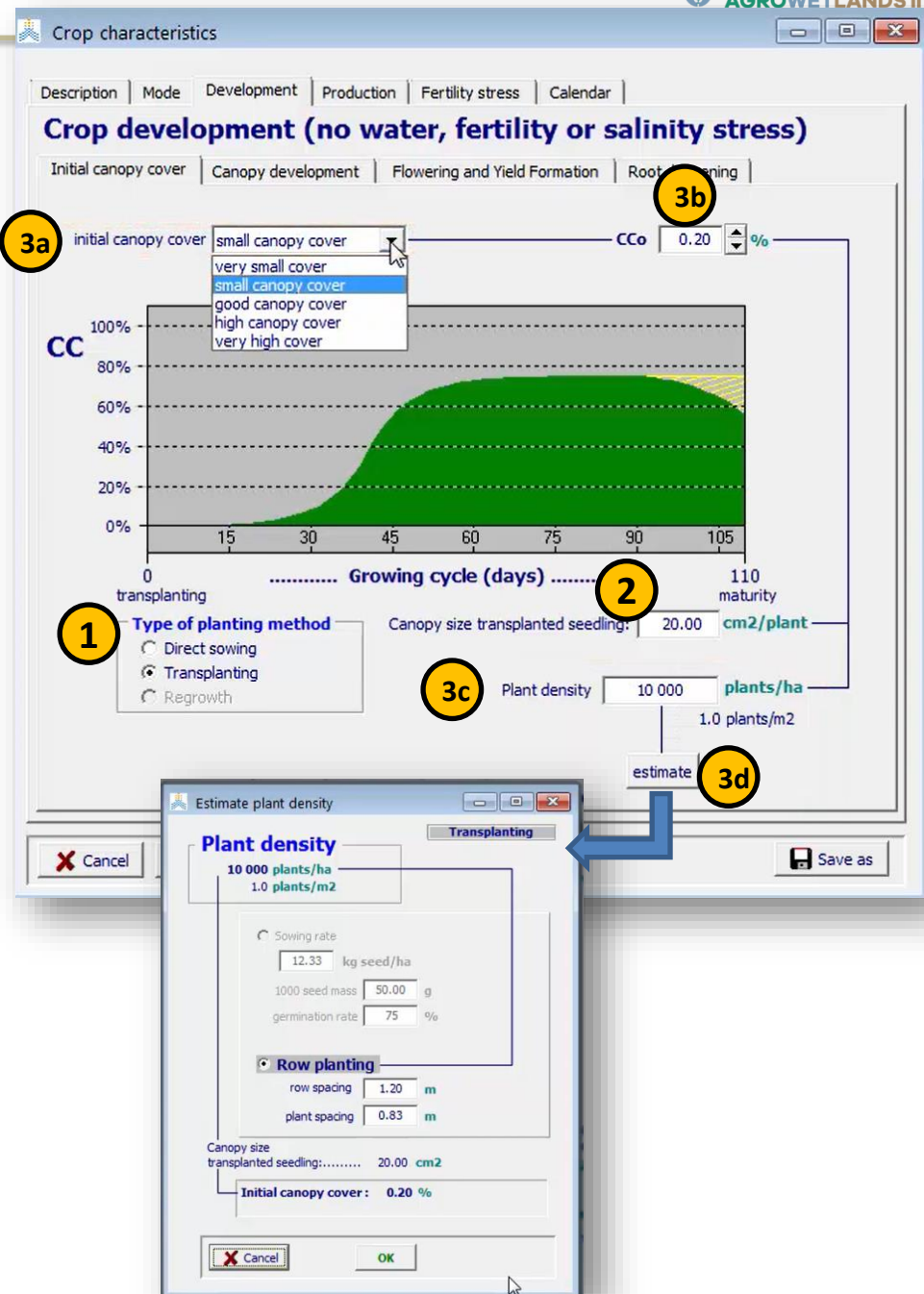


Scheda 'Initial canopy cover' della scheda 'Development' del menu *Crop characteristics* in cui viene determinato il tipo di metodo di piantumazione (cerchiato in ovale) e la copertura vegetale iniziale (CC_0) (1) indicando la densità delle piante, (2) selezionando una classe CC_0 predefinita, (3) specificando la percentuale o (4) dai dati sul tasso di semina o dallo spazio tra le piante.

ESEMPIO DI TRAPIANTO

Nel caso di trapianto di piantine

1. Si seleziona il metodo di piantumazione **“Transplanting”**
2. Si inserisce la dimensione della *canopy* delle singole piantine: es. 20 cm²/pianta
3. Si può stimare la densità delle piante in 4 modi:
 - a) Si può scegliere tra una delle classi predefinite di **“Initial canopy cover”**
 - b) oppure si può inserire direttamente il valore di **CCo**
 - c) o si inserisce il valore di **densità** delle piante per ettaro di superficie
 - d) o si fa una stima, premendo il pulsante **“estimate”**: stima la densità sulla base di informazioni di semina o distanze tra le piante che inserisce l'utente.



2. Parametri colturali specifici della cultivar

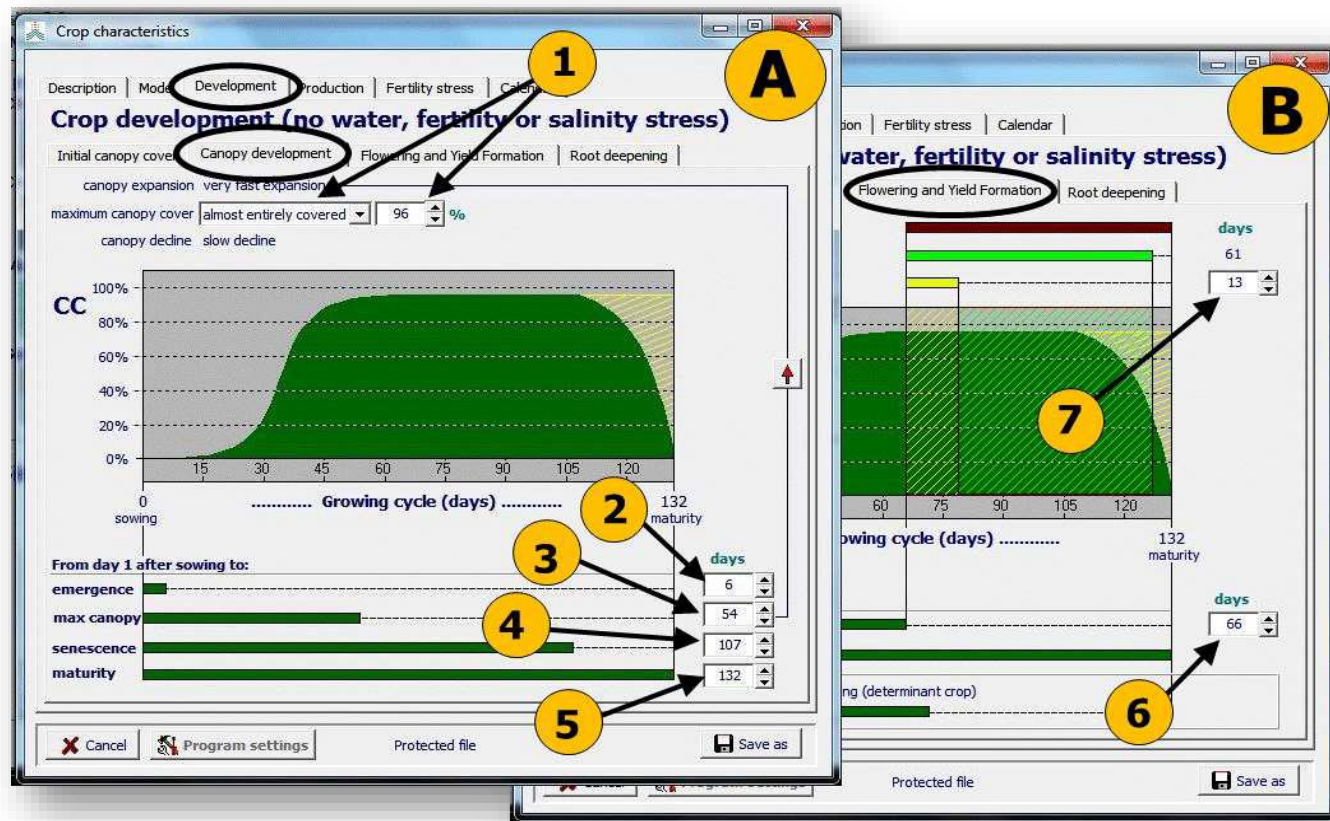
Molte delle differenze tra le cultivar di una coltura sono legate alle **tempistiche degli stadi di sviluppo**. La tempistica per raggiungere uno stadio particolare, o la sua durata, sono specificati nella scheda '**Development**' del menu **Crop characteristics** (vedi figura slide successiva):

1. **% della massima copertura vegetale attesa**
2. **Tempo (in giorni) per raggiungere il 90% di emergenza** (dipende dalla preparazione del campo e dalla temperatura del terreno)
3. **Tempo (giorni) per raggiungere la massima copertura vegetale (CCx)**: modificando il tempo richiesto per raggiungere la CCx si avrà un aggiustamento automatico del coefficiente di crescita della copertura vegetale - CGC (*Canopy Growth Coefficient*) alle condizioni locali;
4. **Tempo (giorni) per l'inizio della senescenza della copertura vegetale**: è il momento in cui l'area verde delle foglie inizia a diminuire in conseguenza dell'ingiallimento delle foglie, in condizioni ottimali senza stress legato all'acqua;
5. **Tempo (giorni) per la maturazione fisiologica**: è la durata complessiva del ciclo colturale. Alla maturazione fisiologica si arresta la produzione di biomassa e la formazione della resa. La raccolta non avviene necessariamente alla maturazione fisiologica.
6. **Tempo (giorni) per l'inizio della fioritura** (o inizio della formazione della resa);
7. **Durata della fioritura (giorni)**.

Inserimento dei parametri colturali specifici della cultivar:

Il valore della massima canopy cover (copertura vegetale) raggiunta nel pieno sviluppo, **CC_x**, viene inserito nella scheda "Canopy development".

- I. Il **CC_x** varia in base al tipo di coltura ma è anche determinato dalla densità di semina/ piantumazione.
- II. Il **CC_x** viene specificato selezionando una delle classi predefinite o con input diretto.



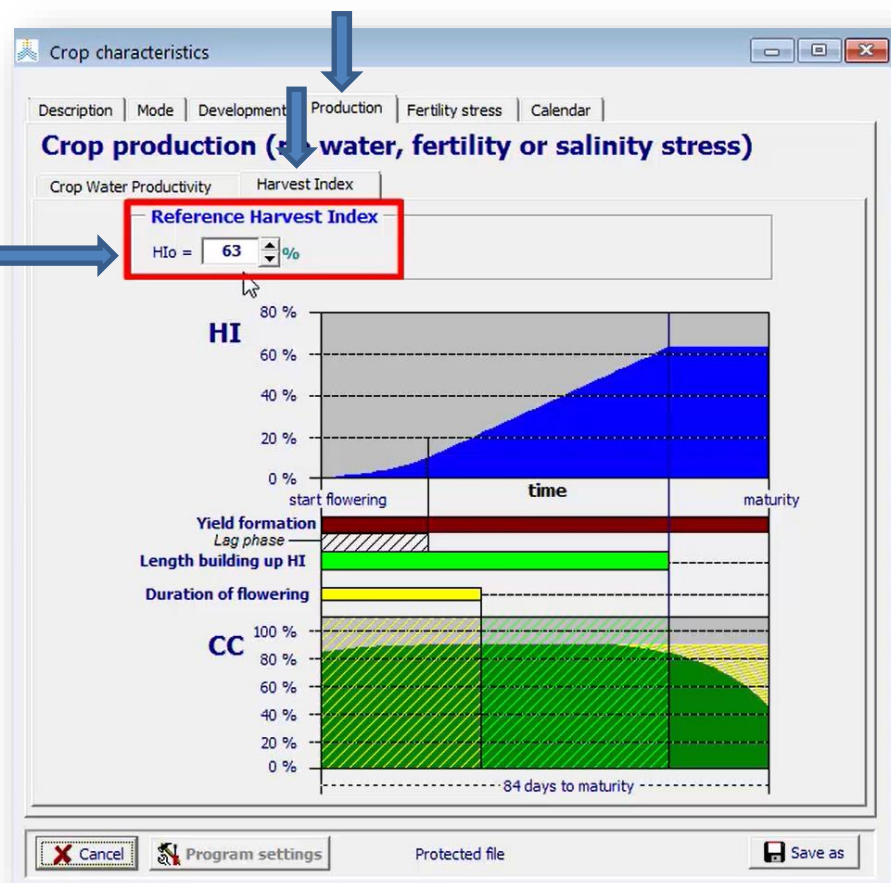
La scheda (A) 'Canopy development' e (B) 'Flowering and yield formation' della scheda 'Development' del menu *Crop characteristics*. L'utente inserisce manualmente i valori di:

- (1) la massima copertura vegetale (CC_x) selezionando una classe o specificando la percentuale e la tempistica per raggiungere il (2) 90% della germinazione, (3) la massima copertura vegetale, (4) l'inizio della senescenza della copertura vegetale, (5) la maturazione fisiologica o la fine della formazione della resa e (6) l'inizio della fioritura o della formazione della produzione e (7) la durata della fioritura.

Reference Harvest Index (H_{lo})

Indice di Raccolta di Riferimento (H_{lo}): l'H_{lo} è in buona misura un **parametro conservativo**, ma può essere cultivar specifico grazie al miglioramento genetico e alle biotecnologie. Consiste nell'HI riportato nella letteratura per le specie colturali scelte, in assenza di stress, e viene specificato nella scheda '**Harvest Index**' contenuta nella scheda '**Production**' del menu **Crop characteristics**.

AquaCrop riporta in questo caso un Harvest index di riferimento del 63%, che è quello relativo alla coltura scelta, in condizioni non limitanti.

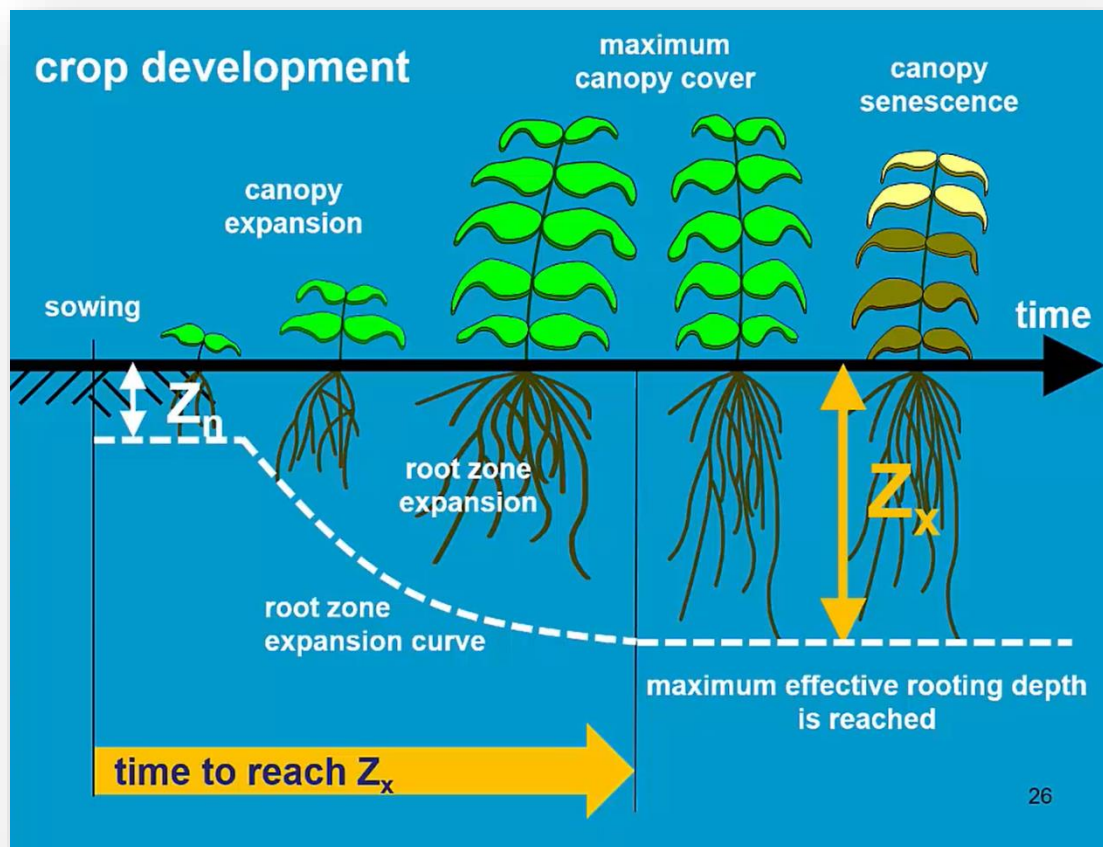


3. Parametri dipendenti dal tipo di suolo e dalle pratiche di gestione colturale

Includono:

1. La **profondità massima effettiva** dell'apparato radicale (Z_x), descritta dalla "*curva di espansione radicale*"
2. Il **tempo impiegato** per raggiungere la massima profondità Z_x (o tasso di approfondimento delle radici)

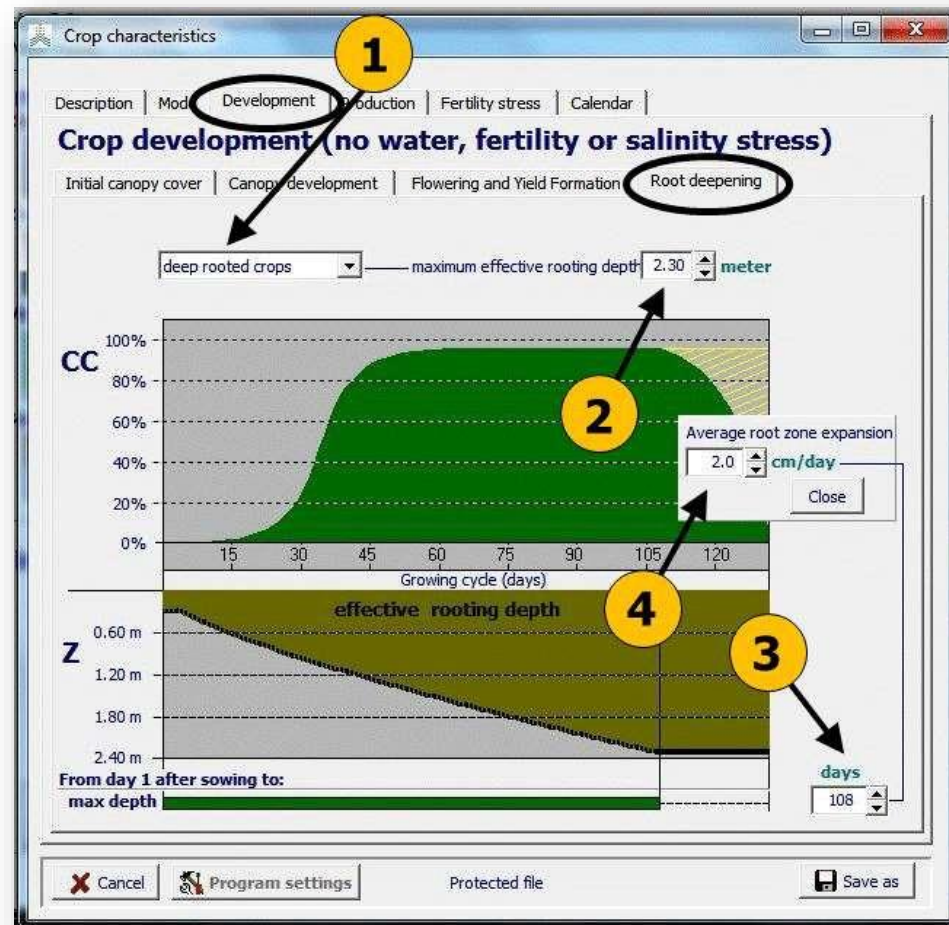
Questi 2 parametri dipendono dalle caratteristiche fisiche (temperatura, aerazione, impedimenti fisici) e chimiche (pH, salinità, alti livelli di alluminio o manganese) del suolo.



Inserimento della profondità di radicamento

La profondità di radicamento e il tasso di espansione sono specificati nella scheda 'Root deepening' della scheda 'Development' del menu *Crop characteristics*:

- **Massima profondità effettiva di radicamento (Z_x):** può essere specificata selezionando una delle classi predefinite o inserendo direttamente il valore numerico in metri;
- **Tempo necessario per raggiungere Z_x:** modificando il tempo da semina a Z_x, viene definito il tasso di espansione della zona radicale corrispondente. L'espansione media della zona radicale viene mostrata come punto di riferimento, anche se in AquaCrop viene descritta da una funzione esponenziale. La conoscenza dell'espansione tipica della zona radicale, può essere usata per stimare il tempo in cui verrà raggiunto Z_x. I tassi di espansione della zona radicale sono spesso di 1 cm/giorno, ma possono arrivare a 2 cm/giorno se l'ambiente è ottimale per la crescita (terreno non freddo e strati di terreno che non limitano la crescita).



La scheda 'Root deepening' della scheda 'Development' del menu *Crop characteristics* include: la massima profondità effettiva di radicamento (Z_x), specificata (1) selezionando una classe predefinita o (2) inserendo il valore in metri e il tempo necessario per raggiungere Z_x specificato (3) dal tempo necessario per raggiungere Z_x o (4) dal tasso medio di espansione della zona radicale

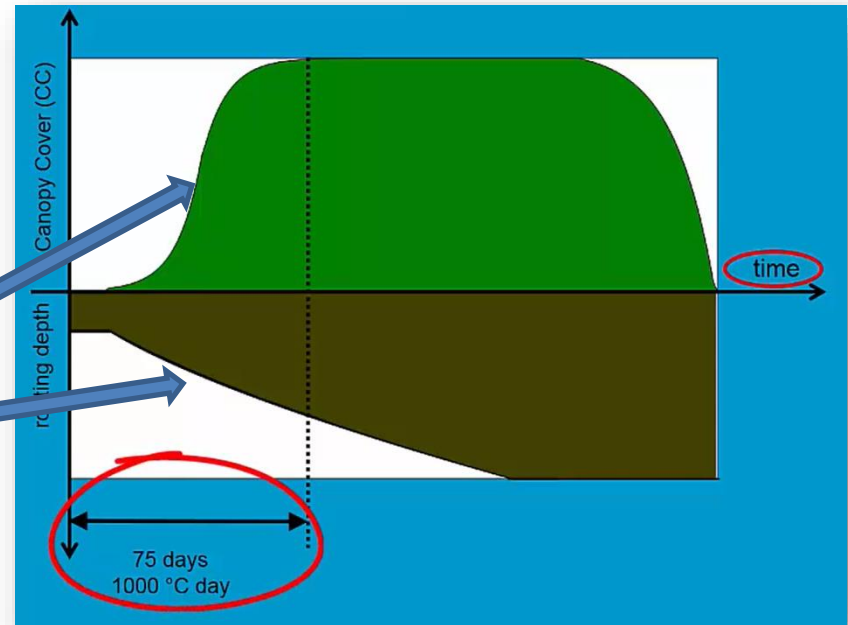
3. Parametri dipendenti dal tipo di suolo e dalle pratiche di gestione colturale

Le pratiche di gestione colturale verranno descritte in dettaglio nel **Modulo 5**.

4. Calendario del ciclo di crescita

Lo sviluppo di una coltura può essere descritto in giorni del calendario oppure in somme termiche o *Growing degree days* (GDD).

Nella figura è rappresentato l'andamento nel tempo della **canopy cover** (in verde) e dell'espansione **dell'apparato radicale** (in grigio). Nell'esempio, viene raggiunta la massima copertura vegetale (CCx) in 75 giorni: essi sono equivalenti ad una somma termica di 1.000°C o unità termiche.



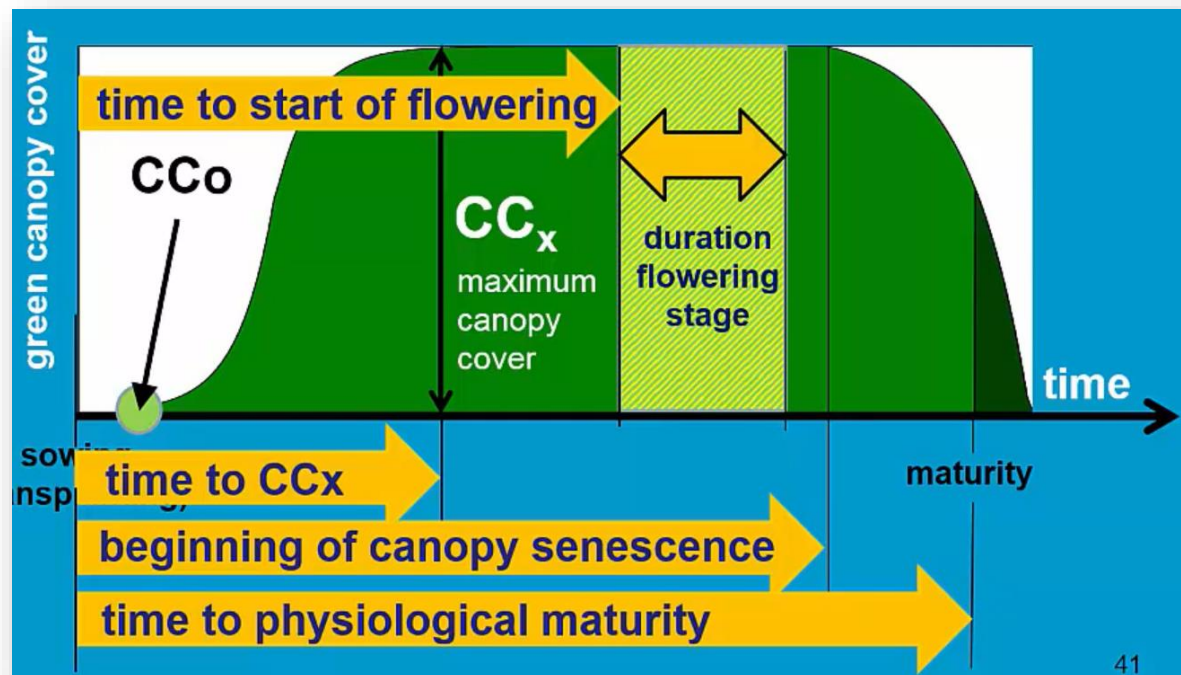
Le unità termiche accumulate in un giorno si calcolano **sottraendo alla temperatura media giornaliera la temperatura di “base”, ovvero quella temperatura, espressa in °C, al di sotto della quale la coltura non cresce** (questo è un “parametro colturale conservativo”).

Nota: il modello AquaCrop considera anche un limite superiore di temperatura oltre il quale lo sviluppo vegetativo viene inibito.

$$\text{GDD} = T_{\text{avg}} - T_{\text{base}}$$

Tecnica di conversione: da calendario → a somme termiche

- L'utilizzo delle somme termiche consente di aggiustare la lunghezza degli stadi di sviluppo agli andamenti di temperatura peculiari dei vari anni.
- Utilizzando il tempo termico, *AquaCrop* **aggiusta automaticamente** il calendario in base agli andamenti termici dell'anno o alla data di semina.



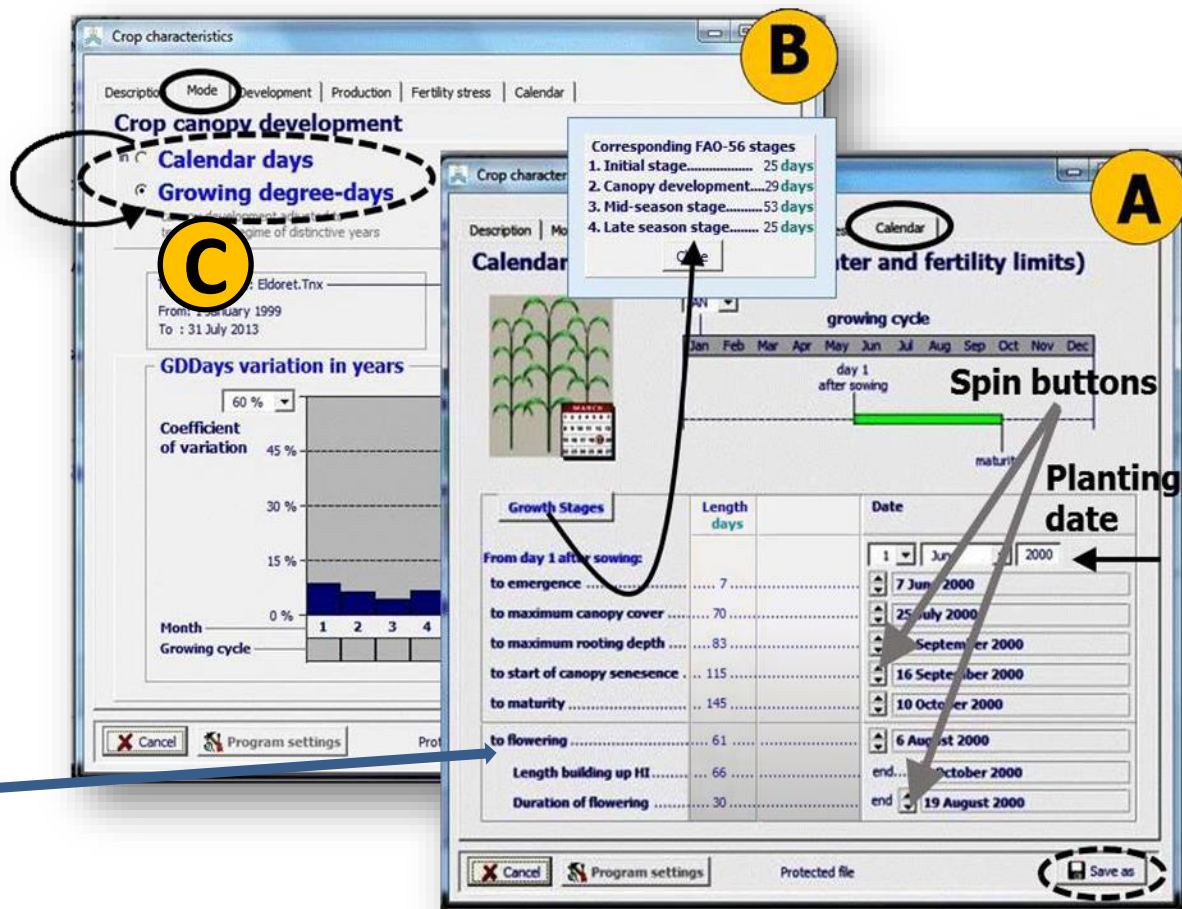
Tutte le fasi del ciclo culturale inserite nel “**Crop characteristic menu**” sono espresse in **giorni di calendario** se si selezionano i giorni di calendario come modalità di inserimento dei dati; se si seleziona invece la rappresentazione attraverso i growing degree days dovranno essere indicati i GDD necessari al raggiungimento di ciascuna fase richiesta dal modello.

In figura viene riportato un esempio in cui si considera il tempo espresso attraverso i giorni di calendario.

Funzionalità del Menù “Calendar”

Nella scheda ‘**Calendar**’ del menu **Crop characteristics** viene mostrata una panoramica del calendario del ciclo di crescita. La data di semina/piantumazione e la durata dei diversi stadi di crescita possono essere regolati con l’aiuto di pulsanti “su o giù”.

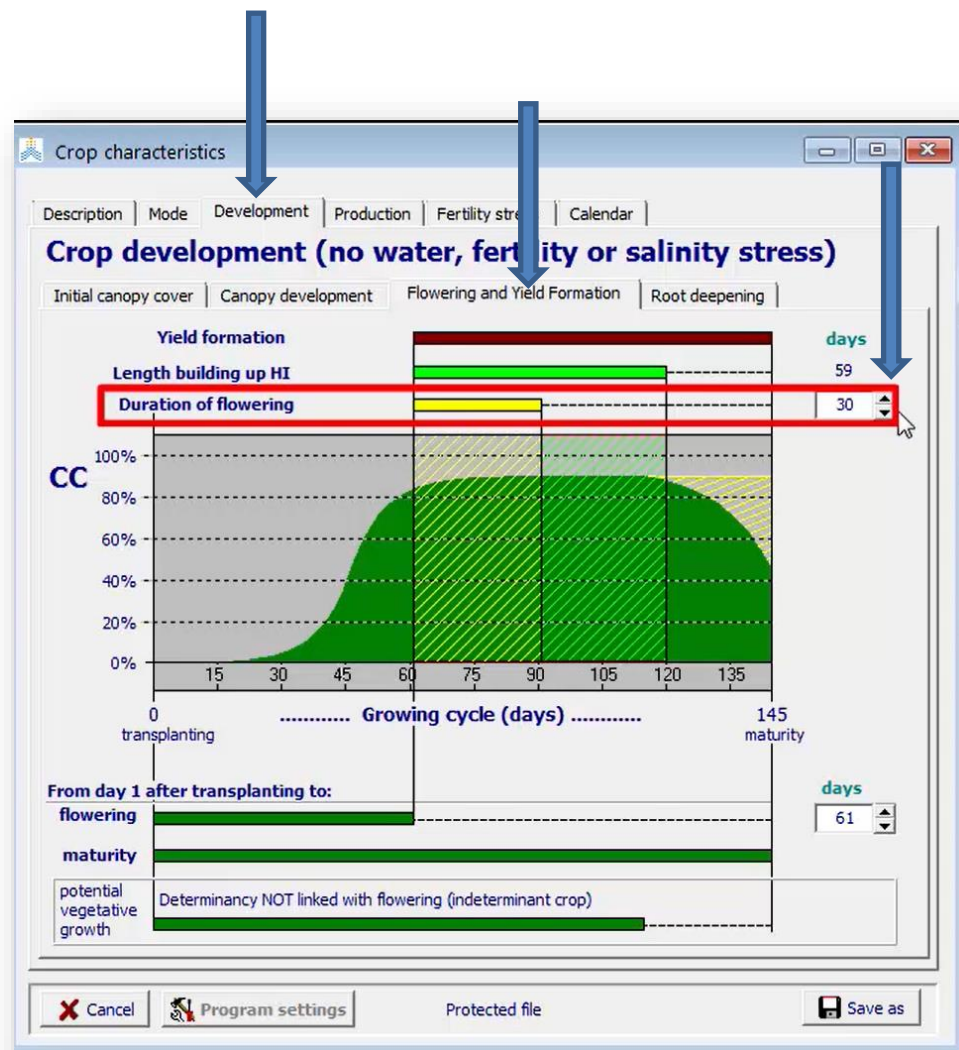
Ad esempio, il momento della fioritura viene inserito manualmente. Da osservazioni di campo, nel luogo di produzione della coltura la fioritura avviene, in questo caso, il 6 agosto.



- (A) La scheda ‘**Calendar**’, per esaminare o modificare il calendario del ciclo di crescita. (B) Cliccando su ‘**Mode**’ del menu **Crop characteristics** si apre la schermata dove si può passare dal calendario alle somme termiche selezionando (C) “**Growing degree days**”: il calendario a questo punto viene automaticamente convertito in tempo termico. Con il comando <**Save as**> si possono salvare in un nuovo file le caratteristiche relative allo sviluppo della coltura.

Modifica della data di fioritura

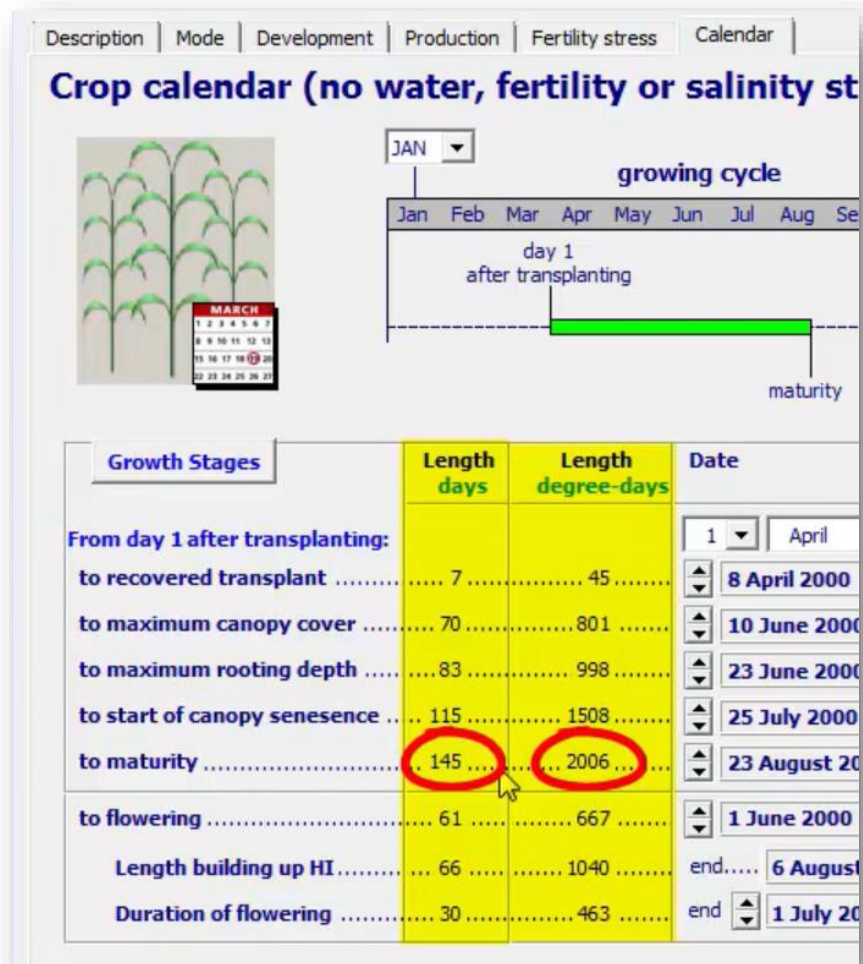
Per modificare la data di fioritura andare nella scheda **“Development”** e selezionare la sottoscheda **“Flowering and Yield formation”**: in questo modo si visualizza dopo quanti giorni dalla semina avviene la fioritura. Inoltre, si può inserire manualmente la durata della fioritura (per esempio, 30 giorni).



Modifica del calendario in *AquaCrop*

Tornando alla schermata “**Calendar**” si noti che:

- ❑ *Length days* esprime la durata in giorni calendario,
- ❑ *Length degree days* indica i gradi giorno richiesti per il raggiungimento delle varie fasi di sviluppo, *ad esempio* 145 giorni per la maturità fisiologica, corrispondenti a 2006 unità termiche



Simulazione delle **condizioni di stress** in *AquaCrop*

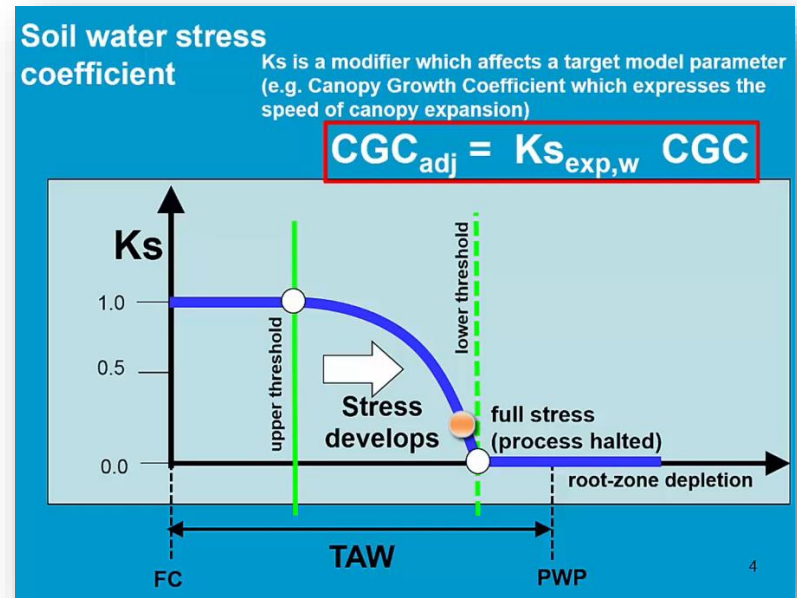
Simulazione delle condizioni di stress in *AquaCrop*

- Gli stress sono parametri conservativi descritti mediante degli opportuni **coefficienti di stress K_s** riconducibili a:
 - Stress idrico
 - Stress nutrizionale
 - Stress termico
 - Stress salino, ecc.
- I **K_s** sono **fattori moltiplicativi**: in assenza di stress $K_s = 1$; al presentarsi di situazioni di stress $K_s < 1$ (in quanto fattore di moltiplicazione andrà quindi a diminuire il valore della prestazione finale, es. la resa).

Ad esempio, nel caso di stress idrico per **carenza d'acqua**:

- ☐ $K_s = 1$ in condizioni di capacità idrica di campo;
- ☐ $K_s = 0$ al raggiungimento del punto di appassimento.

Per stimare la velocità dello sviluppo vegetativo CGC, si applica K_s alla formula: **$CGC_{adj} = K_s \cdot CGC$** con la quale si ottiene un valore “aggiustato” (*adjusted*) o effettivo della velocità con cui avviene lo sviluppo vegetativo.



Coefficienti di stress in *AquaCrop*

Es. stress idrico

The image displays the AquaCrop software interface, illustrating the setup for simulating water stress. The main menu shows the 'Environment and Crop' section, where the 'Crop' tab is selected. The 'Crop' tab displays the growing cycle (Day 1 after transplanting: 1 April 2000 - Maturity: 23 August 2000) and the crop type (Tomato calibrated for Foggia in GDD GDDay mode).

The 'Display of crop characteristics' window is open, showing the 'Water' tab. This window displays the 'Water stresses' section, which includes the 'canopy expansion' parameter. The 'canopy expansion' parameter is set to 'sensitive to water stress'.

The 'Display crop parameters' window is also open, showing the 'Full set' of parameters. The 'File Name' is 'TomCalGDD.CRO' and the 'Crop Type' is 'Fruit/Grain producing crop'. The 'Description' field contains 'Tomato calibrated for Foggia in GDD'.

The 'Display of crop characteristics' window shows a graph of the canopy expansion coefficient ($K_{s,exp,w}$) over time. The graph plots the canopy expansion coefficient (y-axis, 0.0 to 1.0) against the soil water depletion fraction (x-axis, 0.00 to 1.00). The curve shows the canopy expansion coefficient decreasing as the soil water depletion fraction increases, reaching zero at the Permanent Wilting Point. The graph also indicates the Field Capacity and the RAW (Root Water Availability) and TAW (Total Available Water) levels.

The 'Adjustment by ETo' section shows the 'Considered' ETo values (high ETo to low ETo) and the corresponding soil water depletion fraction (p) values (10 to 5 mm/day).

Coefficienti di stress in *AquaCrop*

Es. basse temperature

Nel caso di stress termico da **basse temperature**:

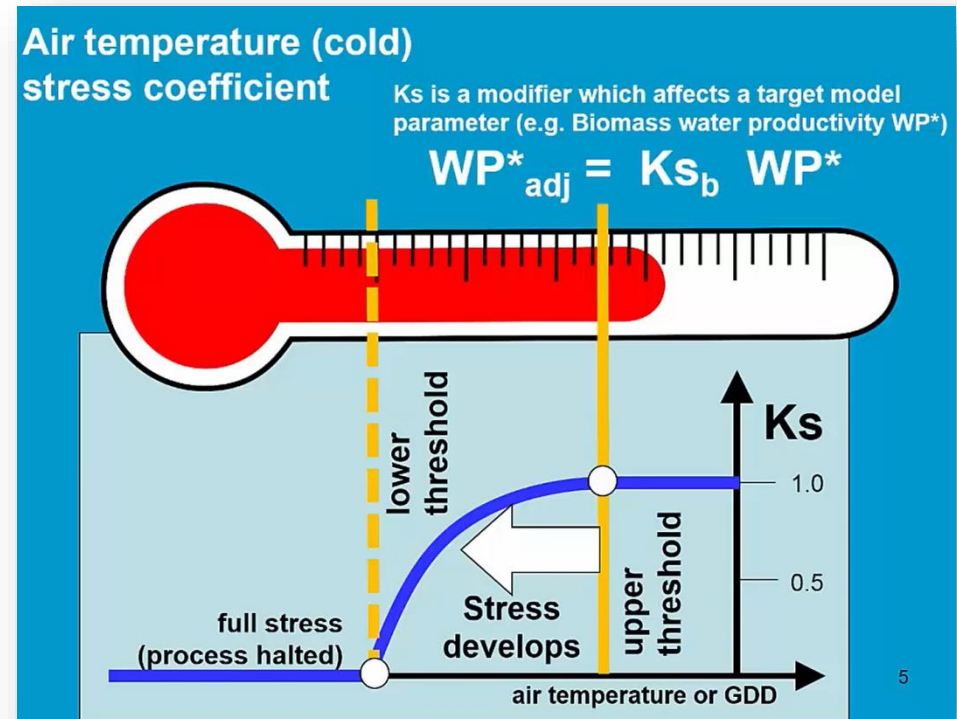
- ☐ $K_s = 1$ in condizioni di temperatura non limitanti la crescita;
- ☐ $K_s = 0$ a temperature troppo basse

L'effetto dello stress dovuto alle basse temperature sulla produzione di biomassa viene rappresentato attraverso la formula:

$$WP^*_{adj} = K_{s_b} \cdot WP^*$$

con la quale si ottiene un valore effettivo dello sviluppo vegetativo in funzione dell'andamento delle temperature.

K_s è un fattore di correzione che agisce su parametri target del modello AquaCrop, in questo esempio particolare, sulla produttività idrica della coltura WP^* .



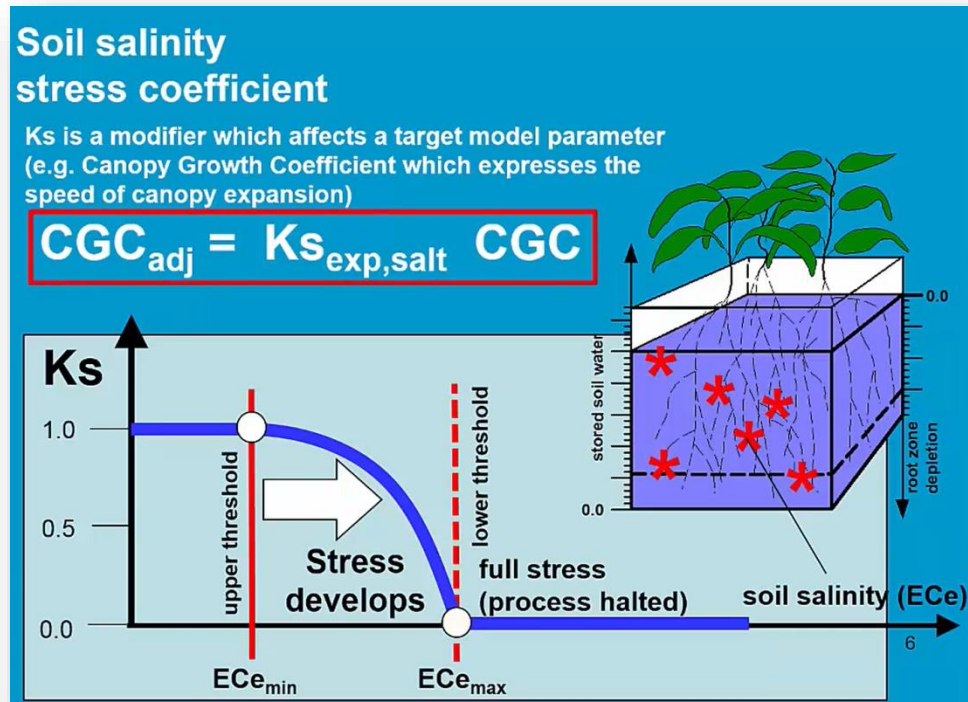
Coefficienti di stress in AquaCrop

Es. stress salino

Nel caso di stress **salino**.

- I Sali possono essere somministrati con le irrigazioni, oppure raggiungere gli apparati radicali mediante risalita capillare.
- La salinità della soluzione circolante si misura con la conducibilità elettrica (EC): all'aumentare dell'EC, diminuisce il valore del Ks

Un opportuno coefficiente di stress $K_{s_{exp,salt}}$ viene utilizzato per rappresentare l'effetto della presenza di sali disciolti nel suolo sulla velocità di espansione della canopy. In questi casi, per stimare la velocità dello sviluppo vegetativo, si applica alla formula: $CGC_{adj} = K_{s_{exp,salt}} \cdot CGC$ con la quale si ottiene un valore "aggiustato" (*adjusted*) o effettivo della velocità con cui avviene lo sviluppo vegetativo in funzione della salinità nel terreno.



SIMULAZIONI

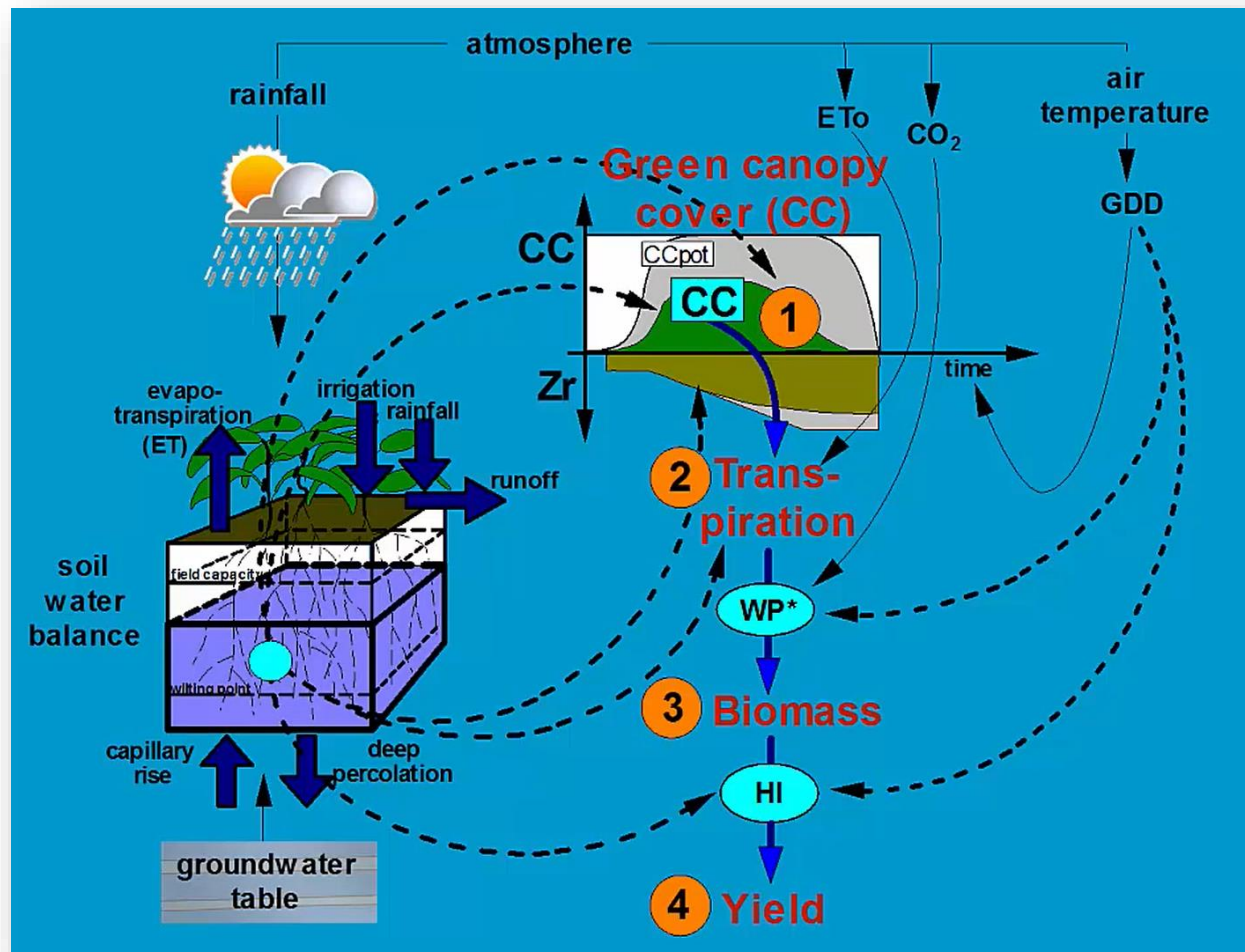
SVILUPPO DELLA COLTURA

Visione d'insieme degli schemi di calcolo di AquaCrop.

La resa colturale viene simulata in 4 passaggi:

1. **Green Canopy Cover** GCC (copertura vegetale)
2. **Traspirazione colturale**
3. **Produzione di biomassa**
4. **Resa colturale**

Ciascuno di questi processi può essere condizionato da stress idrico o termico.

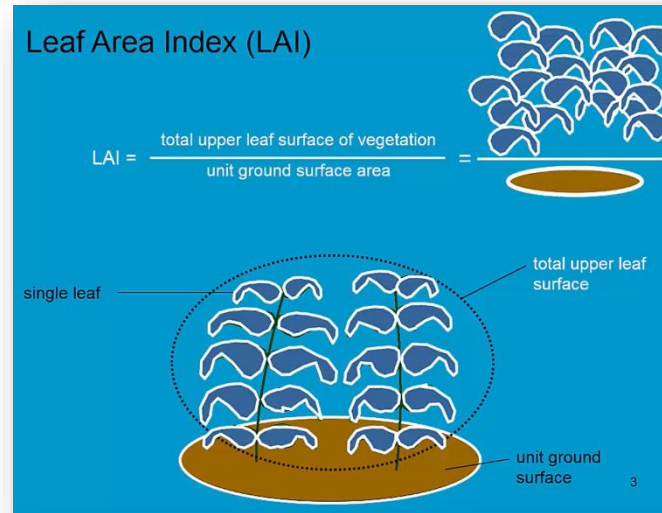


1. Green Canopy Cover

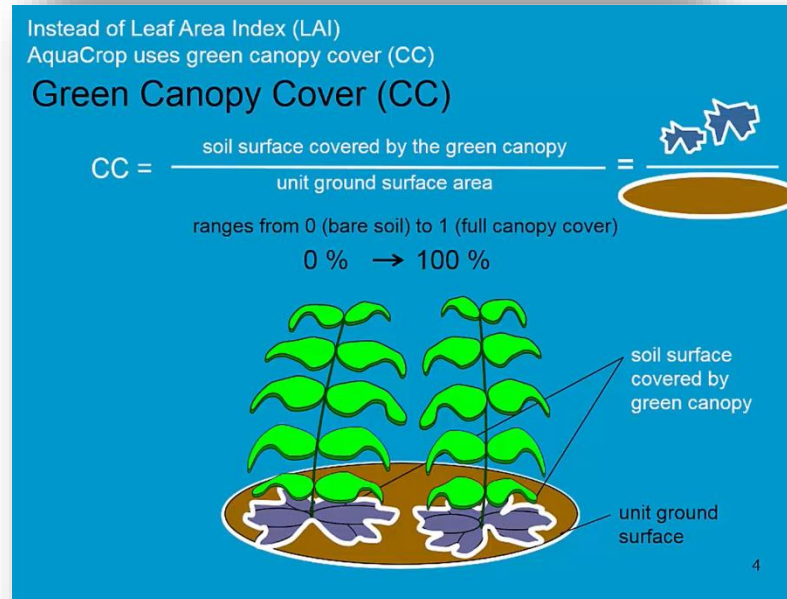
AcquaCrop non utilizza l'indice di area fogliare (LAI), bensì il "Green Canopy Cover" (CC) che consiste nella frazione di superficie di suolo coperta dalla vegetazione

Con il sole sopra la coltura, l'ombra che si forma sul terreno fornisce la superficie di suolo coperta dalla vegetazione, per unità di superficie.

Il valore di CC varia da 0 (terreno nudo) a 100% (terreno completamente coperto dalla vegetazione).



LAI = **Leaf Area Index**: utilizzato da tanti modelli, ma non da AquaCrop. LAI è il rapporto tra le foglie totali che insistono sulla superficie, e l'unità di superficie.



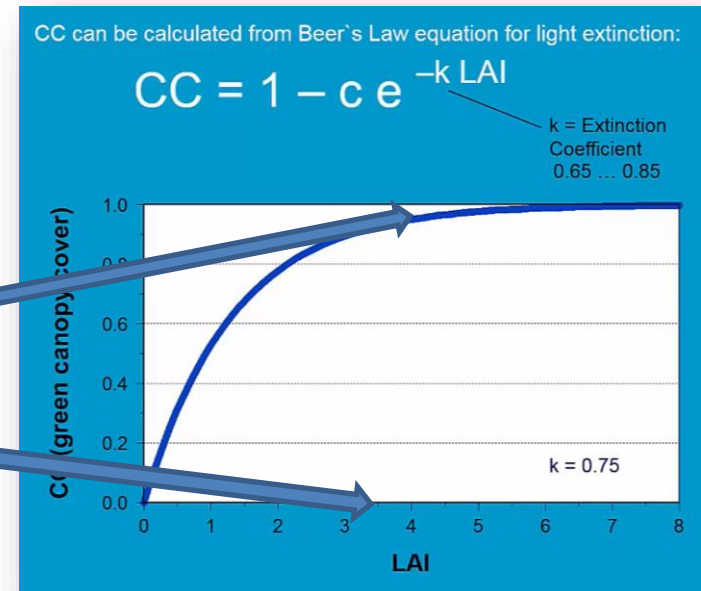
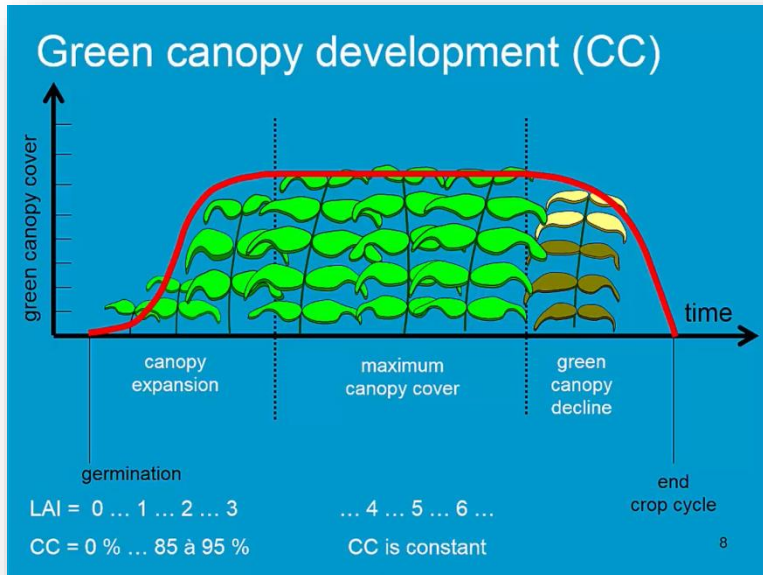
Utilizzare CC ha i seguenti vantaggi:

- CC è facilmente misurabile
- CC quantifica in modo chiaro la superficie fogliare che riceve l'energia per la traspirazione e la produzione di biomassa.

1. Green Canopy Cover

Correlazione tra CC e LAI.

Per valori di LAI di 3-4, CC ha quasi raggiunto il valore massimo.



CC e LAI sono 0 alla germinazione. Si ha poi l'espansione della *canopy* ed il LAI aumenta fino a raggiungere il valore di 3-4. A metà stagione, mentre il LAI continua a crescere, CC rimane costante. A fine stagione si osserva il declino della *green canopy cover* CC.

2. Traspirazione della coltura

In AquaCrop, l'evapotraspirazione viene separata in 2 processi:

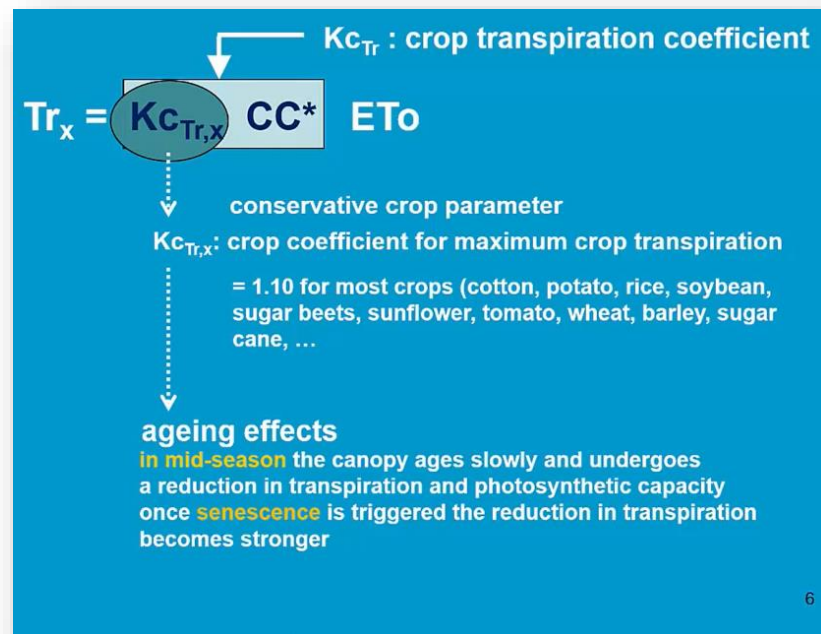
1. traspirazione colturale (Tr)

- Formula di calcolo: $Tr = K_{c_{TR}} \cdot ETo$
- $K_{c_{TR}}$ = **coefficiente di traspirazione colturale**; è proporzionale alla CC
- Formula valida in condizioni di fabbisogno idrico soddisfacente

2. ed evaporazione del suolo (E)

- Formula di calcolo: $E = K_e \cdot ETo$
- K_e = **coefficiente di evaporazione dell'acqua del terreno**; inversamente proporzionale alla CC

CC*: rappresenta valori di *green canopy cover* che tengono conto del **fenomeno fisico di AVVEZIONE**, ovvero della **ricezione laterale dell'energia luminosa** (l'energia solare non viene intercettata solo verticalmente, ma anche dai lati della vegetazione). AquaCrop ne tiene conto, incrementando il valore di CC di una quantità che considera anche l'attività fotosintetica ed evapotraspirante della copertura vegetale laterale. (se CC = 50%, l'energia solare viene intercettata dal 65% della vegetazione, CC* = 65%).



$K_{c_{TR,x}}$: è il coefficiente di massima traspirazione colturale quando viene raggiunta la massima copertura vegetale (cioè CC = 1).

Per la maggior parte delle colture $K_{c_{TR,x}} = 1.10$.

Tuttavia, bisogna tenere conto anche dell'invecchiamento della coltura nel tempo per cui si verifica un rallentamento della traspirazione e della capacità fotosintetica ed in questa fase $K_{c_{TR,x}} < 1.10$

2. Traspirazione della coltura

Traspirazione colturale (Tr) in condizioni reali:

- Formula di calcolo: $Tr = K_s \cdot K_{c_{Tr}} \cdot ETo$
- K_s = **coefficiente di stress idrico o salino**

La **stress idrico** può essere causato da:

1. Carenza: induce la chiusura degli stomi. AquaCrop ne tiene conto introducendo il coefficiente $K_{s_{sto}}$
2. Eccesso: il ristagno idrico riduce l'aerazione del terreno e provoca asfissia radicale. AquaCrop ne tiene conto introducendo il coefficiente $K_{s_{aer}}$

AquaCrop considera anche condizioni di **stress salino** introducendo il fattore di stress $K_{s_{sto, salt}}$

$$Tr = K_s CC^* K_{c_{Tr,x}} ETo$$

La formula $Tr = K_s CC^* K_{c_{Tr,x}} ETo$ riassume tutti i fattori che influiscono sulla traspirazione colturale:

1. Quando lo stress condiziona la traspirazione, si introduce il fattore K_s che tiene conto delle varie tipologie di stress riscontrabili come lo stress idrico, salino, nutrizionale, e così via.
2. Mediante la descrizione dello sviluppo vegetativo conosciamo qual è il valore di CC (green canopy cover): la green canopy cover CC viene corretta per tenere conto degli effetti avvevativi, introducendo CC^*
3. ETo è l'evapotraspirazione di riferimento, e rappresenta la richiesta evaporativa dell'atmosfera.
4. La traspirazione colturale è proporzionale alla copertura vegetale: l'equazione ne tiene conto mediante l'introduzione del fattore K_c che è un parametro conservativo e tiene conto delle caratteristiche specifiche della coltura. Durante la simulazione il coefficiente colturale K_c viene corretto per tener conto dei fenomeni di invecchiamento e senescenza delle piante.

3. Produzione di biomassa

- La produzione di biomassa è proporzionale alla traspirazione cumulata in quanto la CO₂ segue lo stesso percorso del vapore acqueo traspirato: entrambi passano attraverso gli stomi, e maggiore è il flusso traspirativo e maggiore sarà lo scambio di CO₂ con l'ambiente.
- Formula della biomassa:

$$B = WP \times \sum Tr$$

 - B**: Biomassa
 - WP**: *biomass water productivity*, esprime la **quantità di biomassa prodotta per unità di acqua persa per traspirazione** (kg di biomassa secca per m² di superficie coltivata per millimetri d'acqua traspirata)
 - $\sum Tr$** : traspirazione cumulata
- WP**: è valido solo in determinate condizioni climatiche e concentrazioni di CO₂. Pertanto, WP viene normalizzato da *AquaCrop* per renderlo applicabile in diversi luoghi, stagioni e concentrazioni di CO₂: **WP***
 - WP*** è la produttività idrica della coltura normalizzata per ETo e per la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera.
 - La normalizzazione utilizzata da *AquaCrop* nella simulazione della biomassa aerea rende il valore della produttività idrica applicabile a diversi ambienti, stagioni e concentrazioni di CO₂, inclusi scenari climatici futuri.

3. Produzione di biomassa

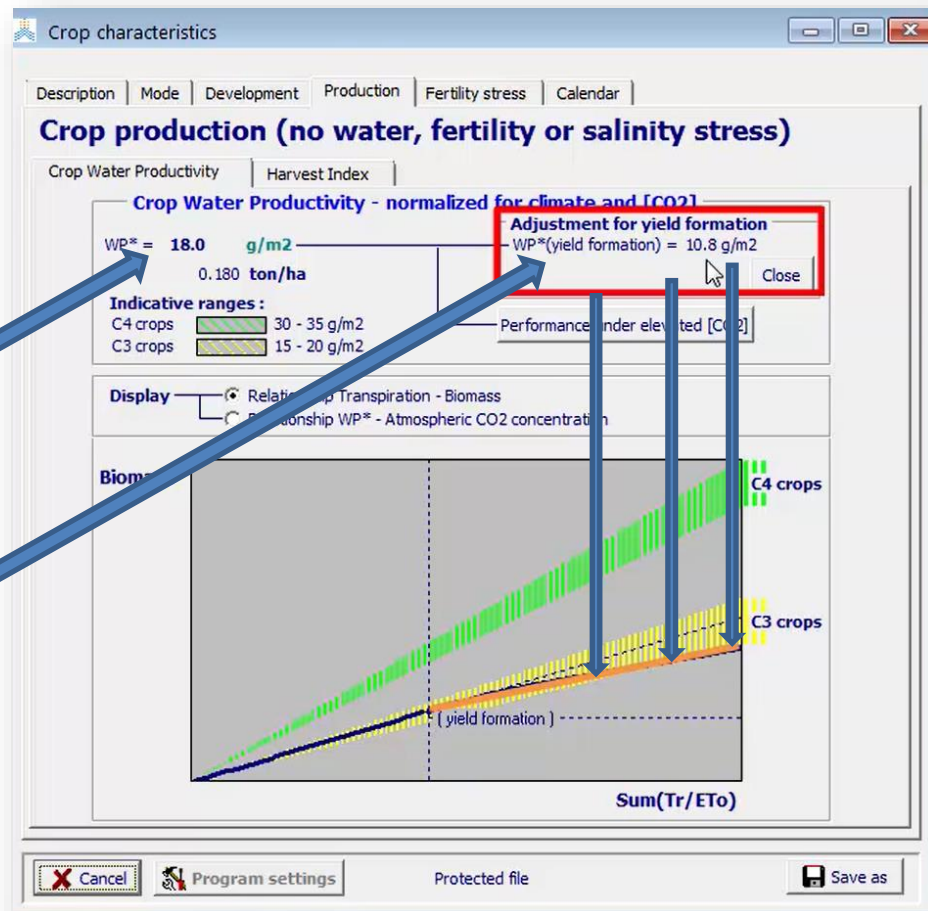
Come visualizzare in *AquaCrop* il valore di WP^* .

Nel menù principale, cliccare su “Crop”, poi su “Display/Update crop characteristics; selezionare la scheda “Production”.

Nel caso rappresentato si parla di girasole. La produttività idrica normalizzata WP^* è 18,0 g/m².

Questo è vero nella fase vegetativa. Tuttavia, durante la fase di formazione della resa (cioè della granella), la WP^* decresce ad un valore di 10,8 g/m².

WP^* e il suo aggiustamento durante la formazione della resa sono parametri conservativi che non richiedono quindi modifiche da parte dell'utente per le condizioni ambientali locali.



3. Produzione di biomassa

FATTORI CHE INFLUISCONO SULLA SIMULAZIONE DELLA PRODUZIONE DI BIOMASSA AEREA

1. Prima di tutto si stima la copertura vegetale, CC
2. Conoscendo CC si può calcolare la traspirazione: $Tr = K_s CC^* K_{c_{Tr,x}} ETo$
3. La produzione di biomassa è quindi proporzionale:
 - al presentarsi di stress (idrico, nutrizionale, termico ecc.)
 - alla produttività idrica della coltura normalizzata per ETo e per la concentrazione di CO₂ atmosferica
 - alla traspirazione cumulata e normalizzata rispetto all'evapotraspirazione di riferimento ETo

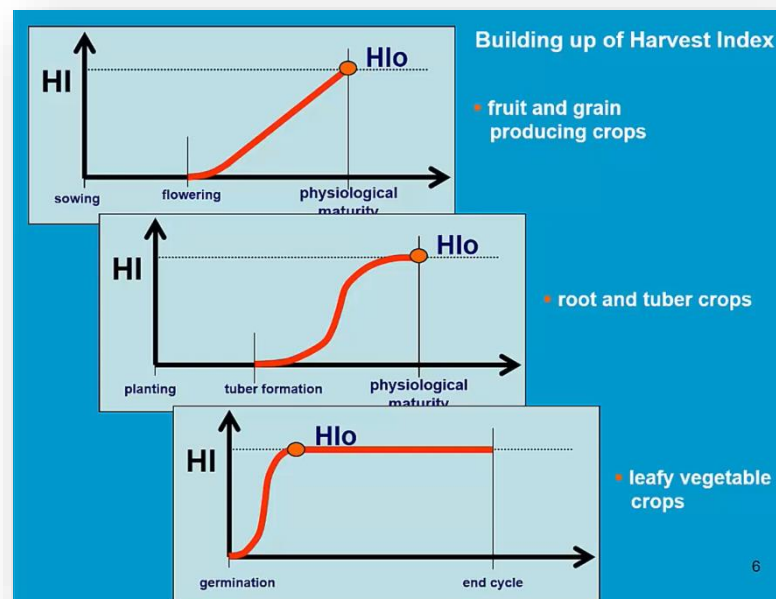
$$B = K_s WP^* \Sigma(Tr/ETo)$$

4. Resa colturale

- La resa colturale Y (*Yield*) viene stimata come una frazione della biomassa totale prodotta durante la stagione: questa frazione viene ottenuta mediante l'indice di raccolta HI (*harvest index*)

$$Y = f_{HI} \times H_{lo} \times B$$

- HI consiste in due termini:
 - HI di riferimento H_{lo}** , che dipende dalle caratteristiche della coltura e si riferisce a condizioni standard, in assenza di stress. H_{lo} viene raggiunto dalla coltura nel momento della maturazione fisiologica, la quale varia a seconda del tipo di coltura (da frutto/granella; tubero/radice; foglia)
 - Fattore moltiplicatore (f_{HI})** che tiene conto dello stress idrico e termico (in che momento del ciclo avviene e con quale intensità)









4. Resa colturale

Stress che influenzano le rese

- Stress idrico durante la formazione della resa

Lo stress idrico può avere, a seconda della sua gravità e del tipo di coltura, un effetto sull'indice di raccolta HI:

- **un effetto positivo**: quando ha l'effetto di contenere il vigore/crescita delle foglie a favore del riempimento di carboidrati nella granella
- **un effetto negativo**: quando induce una chiusura degli stomi tale per cui viene assimilata meno CO₂ e vengono conseguentemente prodotti meno carboidrati e la granella ha una resa inferiore

	mild stress		moderate stress		severe stress	
leaf expansion growth	slightly reduced	 +10%	strongly reduced	 +20%	halted	 +20%
stomatal closure	none		moderate	 - 20%	strong	 - 40%
	$HI_{adj} > HI_o$		$HI_{adj} \approx HI_o$		$HI_{adj} < HI_o$	

4. Resa colturale

Stress che influenzano le rese

- Stress idrico e/o termico durante la fase di fioritura:
 - Possono determinare un insuccesso del processo di impollinazione, la produzione di minor numero di fiori, con la conseguenza di un minor indice di raccolta.
 - La decrescita del valore di HI dipende dal numero di fiori che non sono stati impollinati
 - Aquacrop tiene conto di una soglia di contenuto idrico minimo ed una soglia termica (min. e max.) al di là delle quali l'impollinazione viene compromessa (le soglie sono parametri di tipo conservativo).
- Stress idrico prima della fase riproduttiva:
 - In *AquaCrop*, gli stress idrici che si verificano prima della fase riproduttiva sono correlati alla riduzione di accumulo di biomassa fino all'inizio della fioritura .
 - Esso, in certe condizioni, può però avere un effetto di aumento dell'indice di raccolta HI

4. Resa colturale

Fattori che influiscono sulla simulazione della resa colturale

1. Prima di tutto viene simulato lo sviluppo della copertura vegetale, CC
2. Conoscendo CC si può calcolare la traspirazione: $Tr = K_s CC^* K_{c_{Tr,x}} ETo$
3. Poi si calcola la produzione di biomassa aerea considerando i quantitativi cumulati di acqua che sono traspirati: $B = K_s WP^* \Sigma(Tr/ETo)$
4. La resa viene calcolata con la seguente formula:


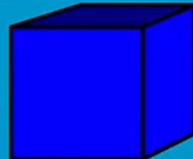
$$Y = f_{HI} \times HI_0 \times B$$


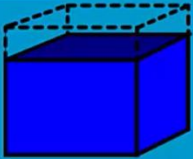
La resa Y viene calcolata moltiplicando tra loro:

- **multiplier o fattore moltiplicatore**: può essere > 0 o < 1 a seconda del momento in cui si verifica lo stress e di quanto è intenso (es. prima della fioritura può aumentare l'HI; mentre lo può diminuire se avviene durante l'impollinazione; e a seconda dell'intensità dello stress idrico, l'HI durante la formazione di resa può aumentare o diminuire).
- **l'indice di raccolta di riferimento (HI_0)**: è cultivar-specifico, ma può essere corretto qualora vi fosse un'insufficiente copertura vegetale durante la formazione della resa
- **Biomassa (B)**: calcolata allo step #3

Efficienza d'uso dell'acqua (WUE)

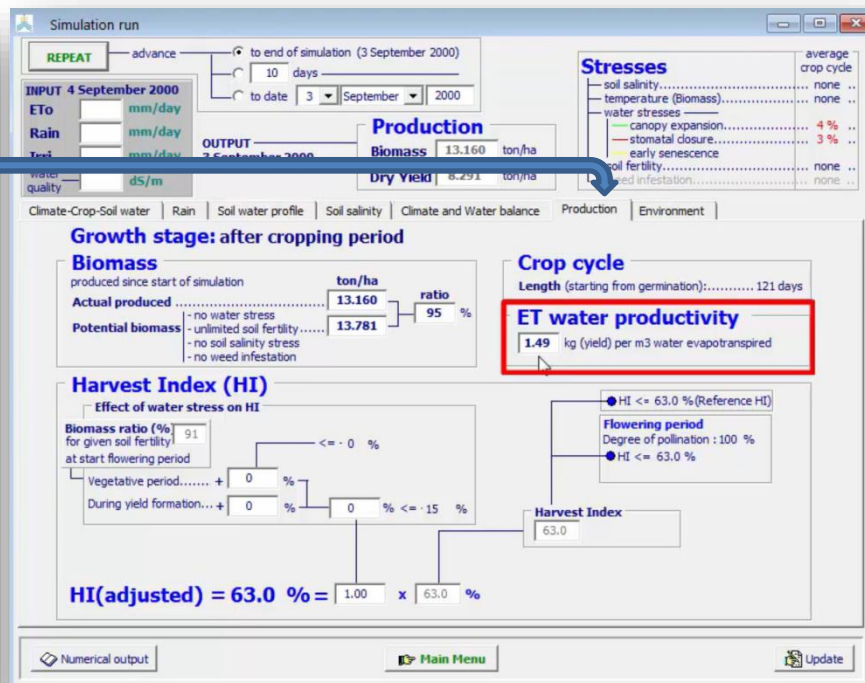
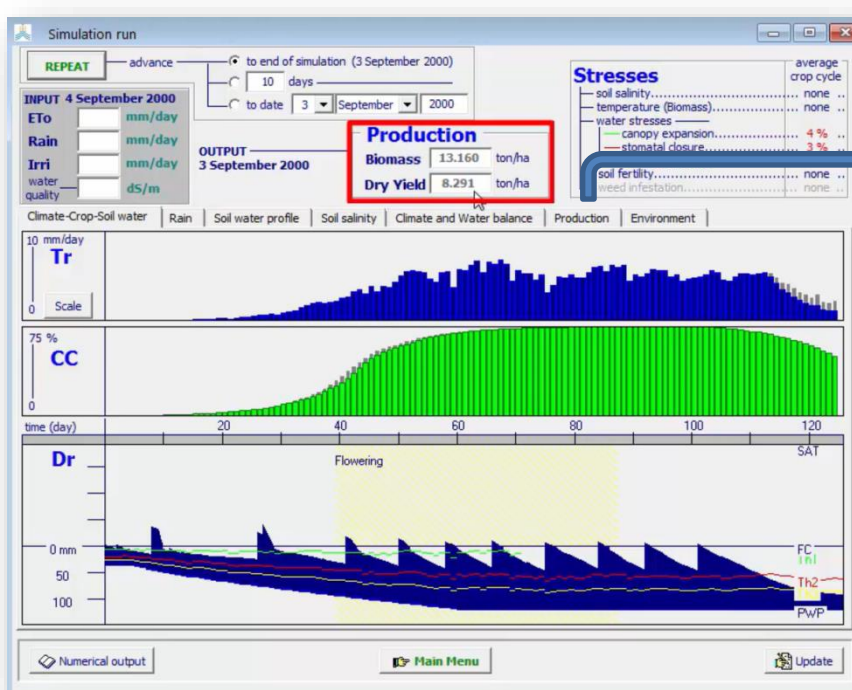
- L'efficienza d'uso dell'acqua (**WUE** o *water use efficiency*) viene espressa come WP_{ET} ovvero la produttività idrica dovuta all'evapotraspirazione: essa esprime quanti kg di **resa** sono stati ottenuti per m³ di acqua persa per evapotraspirazione.
- La produttività idrica della coltura **WP** invece consiste nel quantitativo di **biomassa** prodotta (kg) per m³ di acqua persa per traspirazione.

$$WUE = \frac{\text{yield produced}}{\text{water evapotranspired}} = \frac{\text{kg (yield)}}{\text{m}^3 \text{ (ET)}}$$



$$WP = \frac{\text{biomass produced}}{\text{water transpired}} = \frac{\text{kg (biomass)}}{\text{m}^3 \text{ (Tr)}}$$



Esempio: simulazione di una produzione di pomodoro irrigato.

- [1° immagine] La resa secca stimata è di 8,291 ton/ha
- [2° immagine] Nella scheda “**Production**” viene riportato l’*Harvest Index* (HI), ma anche la *ET water productivity*. Quest’ultima corrisponde a 1,49 kg di resa secca per m³ di acqua persa per evapotraspirazione. Questo valore è un indicatore di quanto efficientemente è stata impiegata l’acqua nel processo di produzione della resa.



Bibliografia & References

FAO Irrigation and Drainage paper Nr. 66

Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., and Raes, D. 2012.

Crop yield responses to water. FAO Irrigation and Drainage Paper Nr. 66. Rome, Italy. *Reproduced with permission.*

Website: <http://www.fao.org/3/i2800e/i2800e00.htm>

Manuale di riferimento

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., and Fereres, E. 2015.

AquaCrop Reference manual. Rome, Italy. *Reproduced with permission.*

Website: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquacrop/en/>

Manuali AquaCrop di training

Book I - Understanding AquaCrop. FAO, April 2017. Rome, Italy *Reproduced with permission.*

Book II - Running AquaCrop. FAO, April 2017. Rome, Italy *Reproduced with permission.*

Pubblicazioni scientifiche di base

AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water

Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. & Raes, D. (2012). [Crop yield response to water](#) FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. Rome, Italy. *Reproduced with permission.*

Vanuytrecht, E., Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Heng, L.K., Garcia Vila, M. & Mejias Moreno, P. (2014). [AquaCrop: FAO'S crop water productivity and yield response model.](#) *Environmental Modelling & Software*, 62: 351–360 *Reproduced with permission.*

Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. & Fereres, E. (2009). [AquaCrop: The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles.](#) *Agronomy Journal*, 101: 426–437 *Reproduced with permission.*

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. & Fereres, E. (2009). [AquaCrop: The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description.](#) *Agronomy Journal*, 101: 438–447 *Reproduced with permission.*

Hsiao, T.C., Heng, L.K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. & Fereres, E. (2009). [AquaCrop: The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize.](#) *Agronomy Journal*, 101: 448–459 *Reproduced with permission.*

Heng, L.K., Hsiao, T.C., Evett, S., Howell, T. & Steduto, P. (2009). [Validating the FAO AquaCrop Model for Irrigated and Water Deficient Field Maize.](#) *Agronomy Journal*, 101: 488–498 *Reproduced with permission.*

Foto, Mappe e altre Illustrazioni

Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Original Scientific Illustrations Archive. *Reproduced with permission.*

Website di riferimento: <http://www.fao.org/aquacrop/resources/tutorials/en/>

Versione Italiana del powerpoint qui prodotto

Powerpoint realizzato da: dr. Luca Fiorentini, ing. Marinella Masina, prof. Maria Speranza (*Alma Mater Studiorum* - Università di Bologna).

