



Progettazione territoriale e di filiere (Es. Interdisciplinari)

# Water Footprint delle colture

Francesco Vidotto

[francesco.vidotto@unito.it](mailto:francesco.vidotto@unito.it)

Tutti i contenuti di questa presentazione sono resi pubblici secondo i termini della licenza

**CREATIVE COMMONS CC BY-NC-SA**

**Attribuzione-Non commerciale-Condividi allo stesso modo**



[Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported \(CC BY-NC-SA 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

Questa licenza permette a terzi di modificare, ridistribuire, ottimizzare ed utilizzare il materiale come base non commerciale, con il vincolo che venga riconosciuto il credito agli autori del materiale stesso. I terzi sono tenuti a licenziare le loro nuove creazioni mediante i medesimi termini (CC BY-NC-SA).

**ATTENZIONE:** per alcuni contenuti (immagini, presentazioni, documenti, video, materiale didattico vario, ecc.) è possibile vi siano delle maggiori restrizioni. Verificare sempre il tipo di licenza per ogni materiale che si intende utilizzare.

Nel presente materiale possono essere state utilizzate anche immagini e materiale presenti sul web. In tutti i casi è riportato l'URL o altro riferimento alla fonte. L'autore ringrazia sentitamente tutti coloro che vorranno segnalare via e-mail ([francesco.vidotto@unito.it](mailto:francesco.vidotto@unito.it)) eventuali omissioni o inesattezze, che sono da considerarsi assolutamente involontarie.

Le slides di questa presentazione sono state realizzate utilizzando il font ad alta leggibilità EasyReading® (www.easyreading.it)



**EasyReading®**

# Water Footprint (WF) di una coltura

## components

### green water

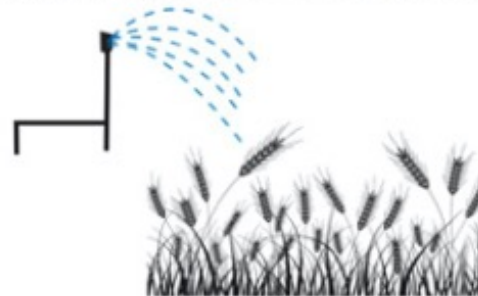
*the soil water held in the unsaturated zone, formed by precipitation and available to plants. The green WF is thus the rainwater consumed by crops*



pioggia

### blue water

*refers to liquid water in rivers, lakes, wetlands and aquifers. The blue WF refers to the volume of surface and groundwater consumed (evaporated after withdrawal) to produce a product*



irrigazione

### grey water

*the volume of water needed to dilute a certain amount of pollution such that it meets ambient water quality standards*



[Vanham D, Bidoglio G, 2013. A review on the indicator water footprint for the EU28. Ecological Indicators 26:61–75.]

# Water Footprint (WF) di una coltura

Può essere visto come il WF di un qualsiasi processo produttivo ( $WF_{proc}$ ):

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,grey}$$

$WF_{proc}$ : nel caso di una coltura si può esprimere in termini di volume di acqua per unità di massa:

$$WF_{proc} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{t}} \right], \left[ \frac{\text{L}}{\text{kg}} \right]$$

# Water Footprint (WF) di una coltura

Le componenti *green* e *blue* di  $WF_{proc}$  sono idealmente calcolabili come rapporto tra *crop water use* (CWU) + acqua incorporata nella produzione (WY) e la produzione della coltura (Y, generalmente espressa in s.s.):

$$WF_{proc,green} = \frac{CWU_{green} + WY_{green}}{Y}$$

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green}$$

pioggia

$$WF_{proc,blue} = \frac{CWU_{blue} + WY_{blue}}{Y}$$

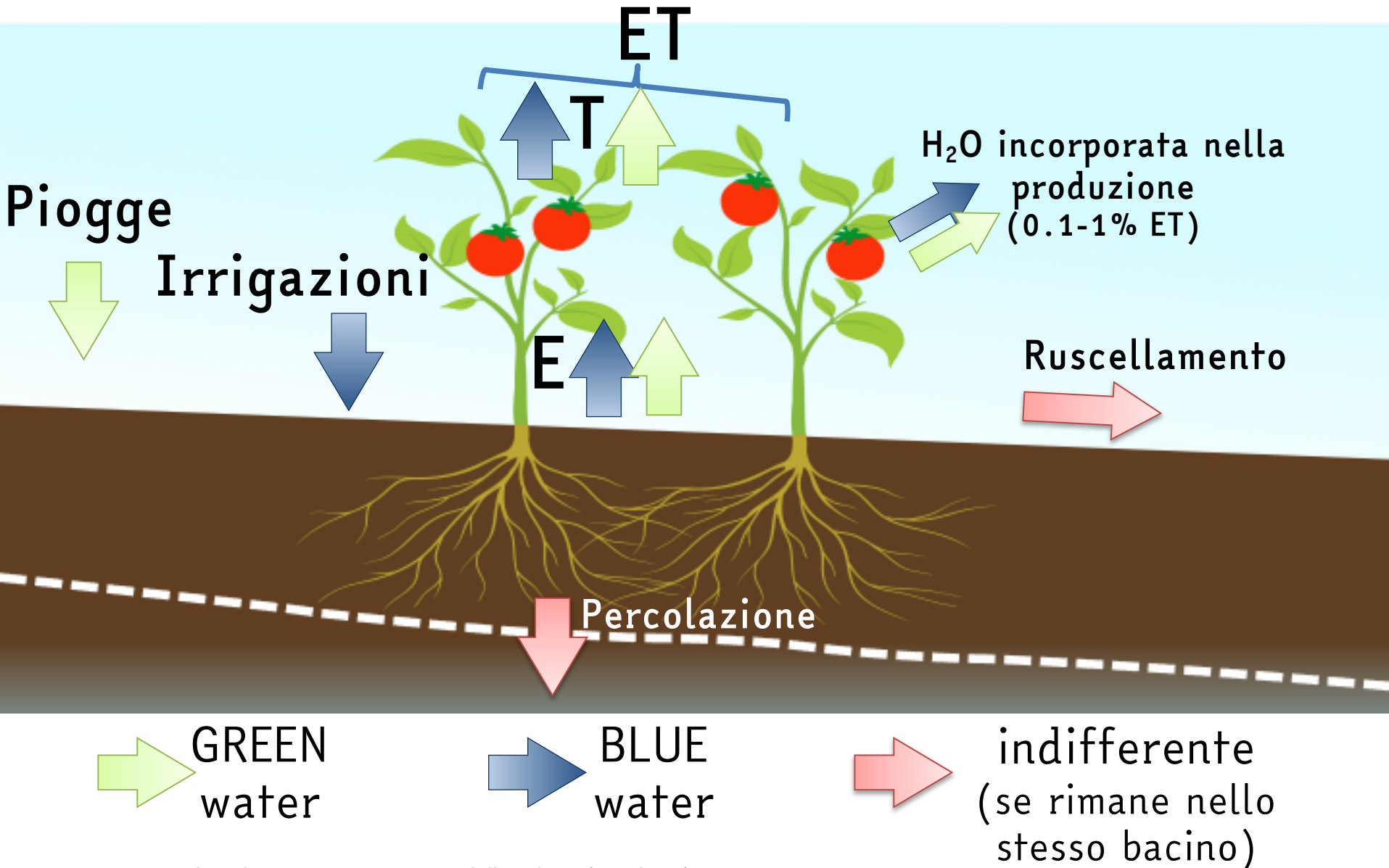
$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blue}$$

irrigazione

*lgp*: length of growing period (giorni)  
(Il fattore 10 serve a trasformare i valori di ET da mm a m<sup>3</sup>/ha)



# GREEN e BLUE water delle colture



# Definizioni e tipi di ET

## **ET<sub>0</sub>**: ET di riferimento

evapotraspirazione da una superficie estesa e uniforme di erba verde, di altezza compresa tra 8 e 15 cm, che cresca attivamente e copra completamente il terreno, con ampia disponibilità idrica.

Anche detta ETP (potenziale) o ETr (reference)

## **ET<sub>c</sub>**: ET della coltura in condizioni standard

evapotraspirazione da una coltura in condizioni ottimali di disponibilità idriche, di nutrienti e in assenza di avversità biotiche e abiotiche, coltivata su ampie superfici (no «effetto oasi»).

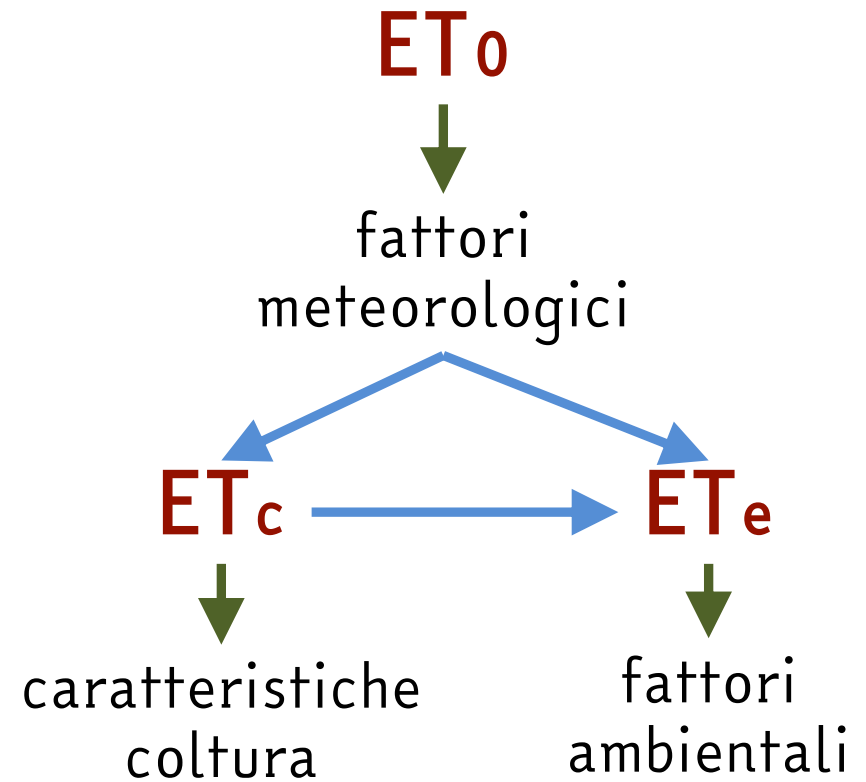
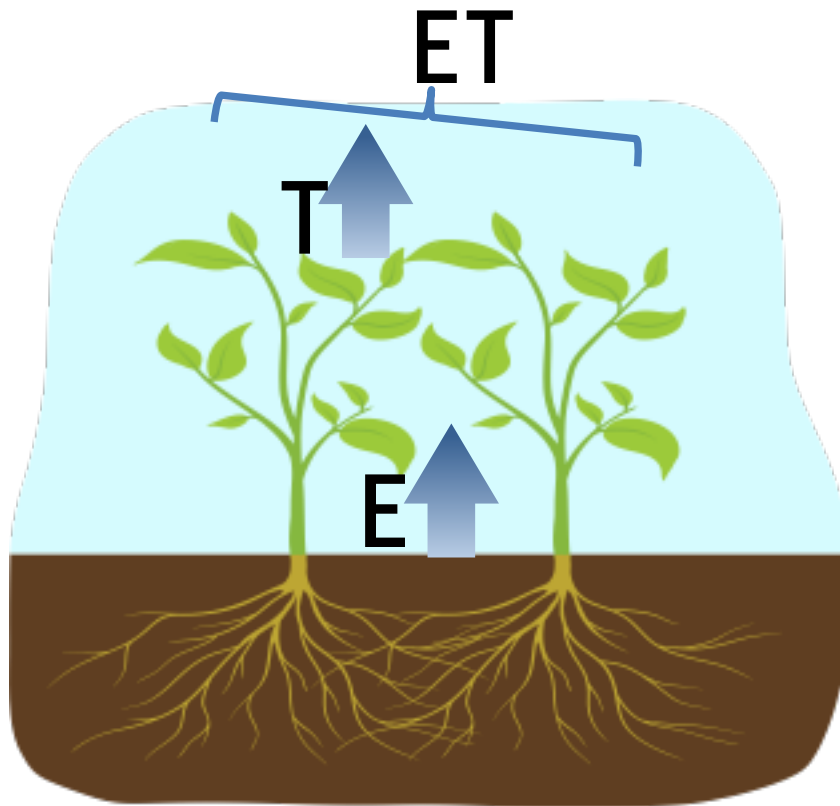
Anche detta ETmax (massima)

## **ET<sub>e</sub>**: ET della coltura in condizioni non standard

evapotraspirazione da una coltura nelle condizioni reali, che possono essere diverse da quelle ottimali: scarse disponibilità idriche e/o di nutrienti e/o in presenza di avversità biotiche e abiotiche.

Anche detta ETr (reale) o ETa (actual)

# Relazioni tra i « tipi » di ET



$$\left. \begin{aligned} ET_c &= ET_0 \cdot K_c \\ ET_e &= ET_c \cdot K_s \end{aligned} \right\}$$

$$ET_e = ET_0 \cdot K_c \cdot K_s$$



# Come distinguere $ET_{green}$ e $ET_{blue}$ ?

- Materialmente impossibile
- Si possono stimare attraverso alcune assunzioni
- Vari approcci in funzione di:
  - scala temporale
  - scala spaziale
  - colture irrigate / non irrigate

## Approccio del DOPPIO BILANCIO IDRICO

- relativamente semplice
- applicato anche scala globale

# $ET_{green}$ e $ET_{blue}$ : doppio bilancio

- Si parte dall'equazione del bilancio idrico del suolo

$$\pm \Delta W = P + I - R - D - ET$$

$\Delta W$ : variazione del contenuto idrico dello strato di suolo interessato dal bilancio

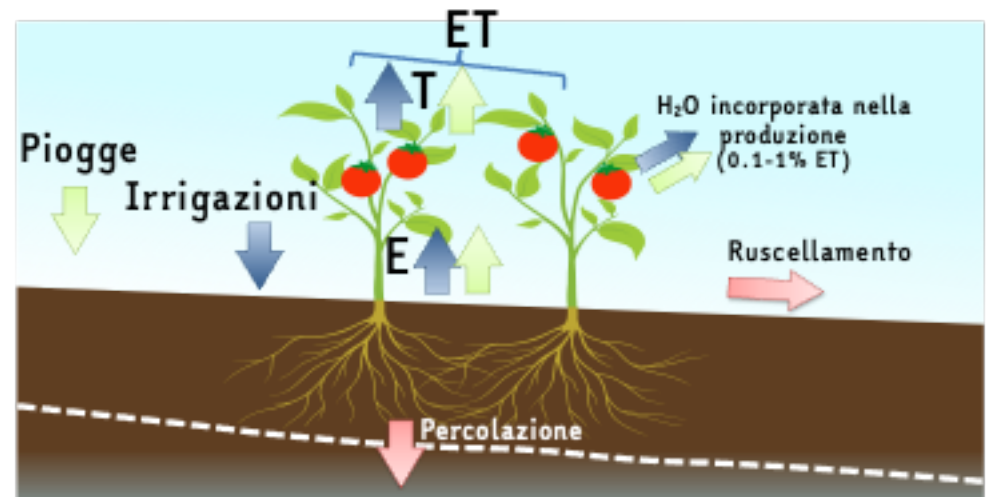
P: piogge

I: irrigazioni

R: ruscellamento

D: percolazione/drenaggio

ET: evapotraspirazione



# $ET_{\text{green}}$ e $ET_{\text{blue}}$ : doppio bilancio (teoria)

## Bilancio 1

- si assume che il suolo riceva irrigazione a sufficienza per la coltura per tutta la durata del ciclo
- l'evapotraspirazione calcolata corrisponde a  $ET_c$  e rappresenta la CWU totale dovuta a ET di una coltura irrigata a sufficienza

$$\pm \Delta W = P + I - R - D - ET_c$$

## Bilancio 2

- si assume che NON ci sia irrigazione
- l'evapotraspirazione calcolata corrisponde a  $\hat{E}T_e$  (tiene conto dell'eventuale stress idrico)

$$\pm \Delta W = P - R - D - \hat{E}T_e$$

## $ET_{green}$ e $ET_{blue}$ : doppio bilancio (teoria)

- Dopo aver calcolato l'evapotraspirazione complessiva per l'intero ciclo colturale *nelle due condizioni*, le relative CWU di una coltura irrigata si calcolano:

$$CWU_{tot} = ET_c$$

$$CWU_{green} = \hat{ET}_e$$

$$CWU_{blue} = ET_c - \hat{ET}_e$$

- Se una coltura non viene irrigata:

$$CWU_{green} = \hat{ET}_e$$

$$CWU_{blue} = 0$$

# Green e blue water della produzione (WY)

- Si calcola la WY tenendo conto dell'umidità della produzione vegetale che viene asportata dal campo

$$WY_{tot} = Y_h \cdot YWC / 100$$

$WY_{tot}$ : acqua incorporata nella produzione [t/ha]

$Y_h$ : produzione della coltura (all'umidità di raccolta) [t/ha]

$YWC$ : umidità della produzione [%]

## Green e blue water della produzione (WY)

- Per ripartire la  $WY_{tot}$  nelle componenti green e blue, si ipotizza che il contenuto relativo di blue water rispetto al totale sia lo stesso di quello calcolato per l'evapotraspirazione

$$b = \frac{CWU_{blue}}{CWU_{tot}} = \frac{ET_c - \hat{E}T_e}{ET_c}$$

- Da cui

$$WY_{blue} = b \cdot WY_{tot}$$

$$WY_{green} = WY_{tot} - WY_{blue}$$



# $ET_{\text{green}}$ e $ET_{\text{blue}}$ : doppio bilancio

..e in un caso reale, in cui l'agricoltore irriga?

## Bilancio 1

- si tiene conto degli effettivi volumi di irrigazione « utile » (=tenendo conto dell'efficienza irrigua)
- l'evapotraspirazione calcolata corrisponde a  $ET_e$

$$\pm \Delta W = P + I - R - D - ET_e$$

## Bilancio 2

- si assume che NON ci sia irrigazione
- l'evapotraspirazione calcolata corrisponde a  $\hat{ET}_e$  (tiene conto dell'eventuale stress idrico)

$$\pm \Delta W = P - R - D - \hat{ET}_e$$

# Green e blue water della produzione

..e in un caso reale, in cui l'agricoltore irriga?

gli altri calcoli sono analoghi:

$$CWU_{tot} = ET_e$$

$$CWU_{green} = \hat{E}T_e$$

$$CWU_{blue} = ET_e - \hat{E}T_e$$

$$b = \frac{CWU_{blue}}{CWU_{tot}} = \frac{ET_e - \hat{E}T_e}{ET_e}$$

$$WY_{blue} = b \cdot WY_{tot}$$

$$WY_{green} = WY_{tot} - WY_{blue}$$

## ...e la grey water?

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,grey}$$

$$WF_{proc,grey} = \frac{(\alpha \times AR) / (c_{max} - c_{nat})}{Y}$$

**AR:** dose di fertilizzante/prodotto fitosanitario (kg/ha)

**$\alpha$ :** quota persa per percolazione e ruscellamento

**$c_{max}$ :** concentrazione ambientale massima ammessa (kg/m<sup>3</sup>)

**$c_{min}$ :** concentrazione naturale della sostanza considerata (kg/m<sup>3</sup>)

**Y:** produzione (t/ha)

**In questa esercitazione non la stimiamo**

# Stima WF green e blue: COME PROCEDERE

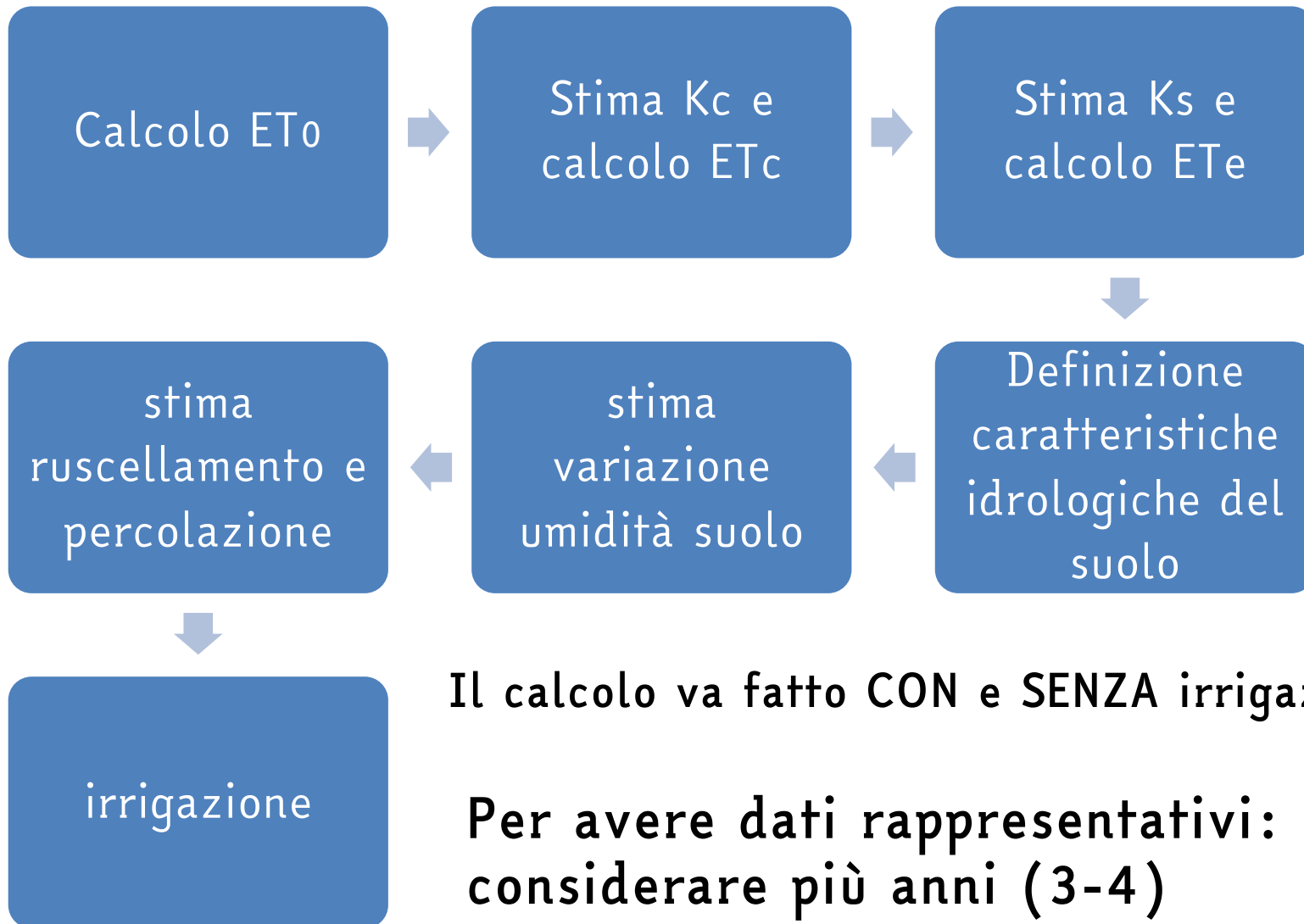
## Applicare il modello di bilancio utilizzato nell'insegnamento « Agronomia »

Dalla pagina moodle scaricare:

- **file excel** di modello per i calcoli
- **istruzioni (pdf)** per la compilazione del bilancio
  - Le istruzioni contengono una descrizione passo-passo delle operazioni da compiere, alcune nozioni teoriche ed esempi di sintassi delle formule in excel.
  - Sono pensate per studenti/esse del primo anno
  - Sono una versione rivista (e non definitiva) delle istruzioni degli anni precedenti!



# Modello di calcolo del bilancio



**Il calcolo va fatto CON e SENZA irrigazione!**

**Per avere dati rappresentativi:  
considerare più anni (3-4)**

# Modello di calcolo del bilancio

## Calcolo $ET_0$ : formula di Hargreaves

$$ET_0 = 0.0023 \cdot \frac{Ra}{\lambda} \cdot \sqrt{TD} \cdot (T + 17.8)$$

Ra: radiazione extraterrestre [MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>]

$\lambda$ : calore latente di vaporizzazione [MJ kg<sup>-1</sup>]  $\lambda = 2.501 - 0.00236 \cdot T$

TD: escursione termica giornaliera [°C]

T: temperatura media dell'aria [°C]

Ra media giornaliera a diverse latitudini dell'emisfero Nord (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

Agronomia (Edises): Tab. 3.6

Lat	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
0°	36,2	37,5	37,9	36,8	34,8	33,4	33,9	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6
10°	31,9	34,5	36,9	37,9	37,6	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31,0
20°	26,8	20,6	34,7	37,9	39,3	39,5	39,3	38,3	35,8	31,8	27,7	25,6
30°	21,1	25,8	31,4	36,8	40,0	41,2	40,6	38,0	33,4	27,6	22,2	19,8
40°	15,0	20,4	27,2	34,7	39,7	41,9	40,8	36,7	30,0	22,5	16,3	13,6
50°	8,9	14,4	22,2	31,5	38,5	41,7	40,2	34,4	25,7	16,9	10,2	7,5
60°	3,3	8,3	16,6	27,5	36,6	41,2	39,2	31,3	20,6	10,9	4,4	2,2
70°	0,0	2,6	10,4	23,0	35,2	42,5	39,4	28,0	14,9	4,9	0,1	0,0



# Modello di calcolo del bilancio

## Stima $K_c$

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c$$

$K_c$ : coefficiente culturale

dipende da:

- caratteristiche fisiologiche della coltura
- fase fenologica
- rugosità della coltura (*roughness*)
- grado di umettamento (*wetness*)

$ET_c$  può essere inferiore, uguale o superiore a  $ET_0$

$$[ET_c <=> ET_0] \Rightarrow [K_c <=> 1]$$

# Modello di calcolo del bilancio

## Stima $K_c$

Agronomia (Edises): Tab. 3.11

Coltura	$K_{c_{ini}}$	$K_{c_{centr}}$	$K_{c_{fin}}$	$L_{ini}$	$L_{svil}$	$L_{centr}$	$L_{fin}$
Solanacee	0,60	1,05-1,15	0,70-0,90	25-30	35-45	40-45	20-30
Cucurbitacee	0,50	0,85-1,00	0,60-0,90	20-25	30-35	25-30	15-20
Radici e tuberi	0,50	1,05-1,20	0,70-0,95	15-30	25-35	20-50	10-50
Legumi	0,40	1,00-1,15	0,35-1,10	20	30-35	30-35	10-25
Oleaginose	0,35	1,00-1,15	0,25-0,55	22	35	45	25
Cereali	0,30	1,00-1,20	0,25-1,05	20-30	25-140	25-60	10-30

$K_{c_{ini}}$ : fase iniziale

$K_{c_{centr}}$ : fase centrale

$K_{c_{fin}}$ : fase finale (raccolta)

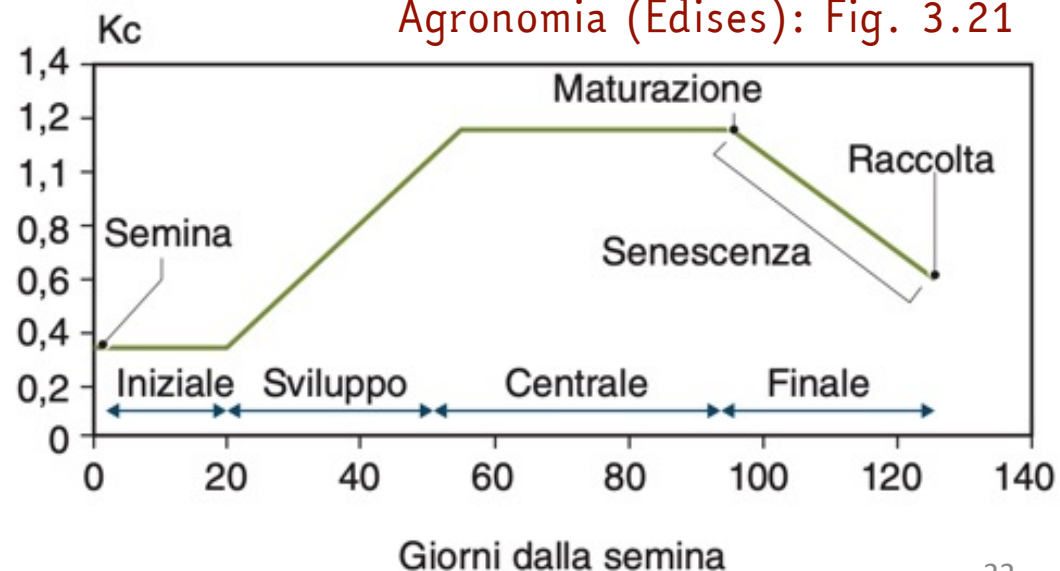
$L_{ini}$ : durata (gg) fase iniziale

$L_{svil}$ : durata (gg) fase di sviluppo

$L_{centr}$ : durata (gg) fase centrale

$L_{fin}$ : durata (gg) fase finale

Agronomia (Edises): Fig. 3.21

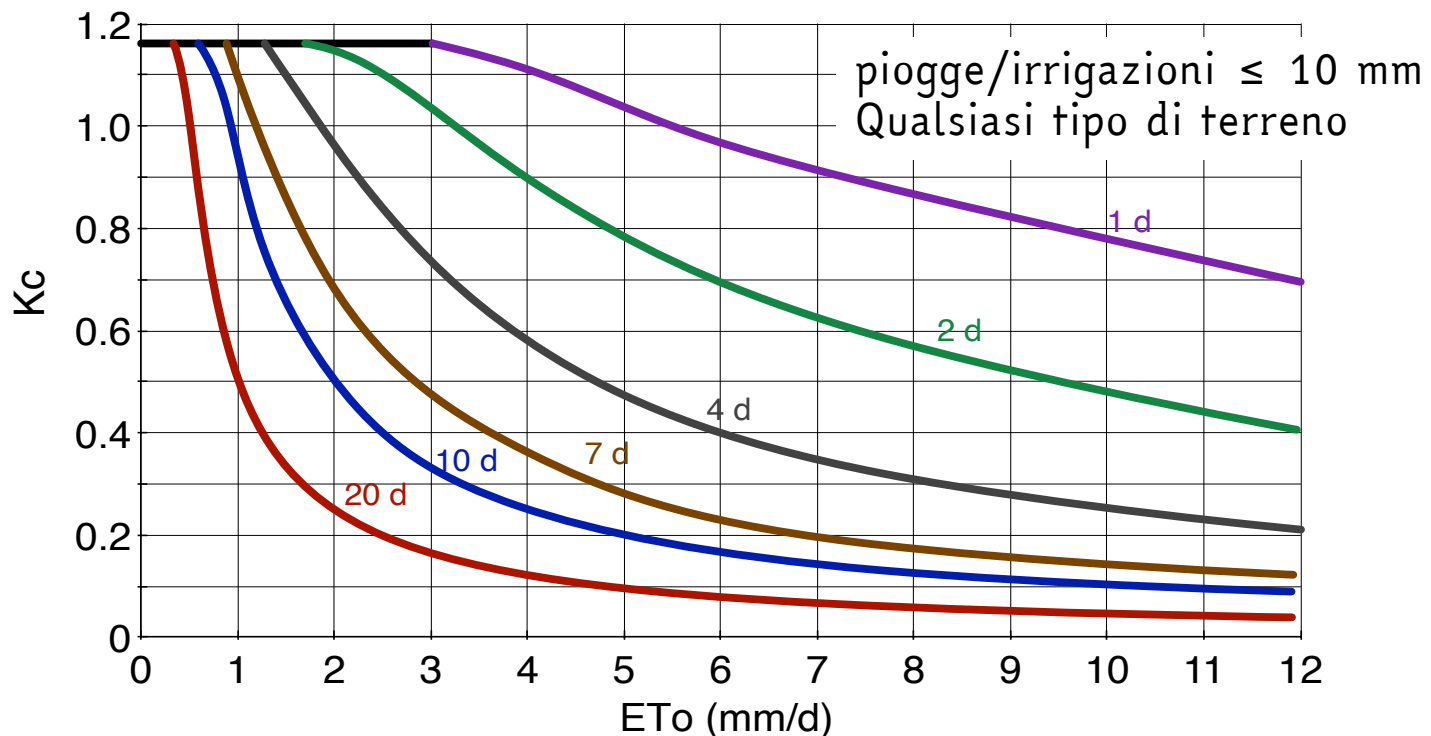


# Modello di calcolo del bilancio

## Stima $K_c$ caso particolare: suolo nudo

$K_c$  viene stimato in funzione di due fattori:

- **Intervallo dall'ultimo evento di pioggia/irrigazione:** il suolo si asciuga a partire dalla superficie e perde gradualmente di conducibilità idraulica.
- **$ET_0$ :** al crescere di  $ET_0$  aumenta la resistenza che il suolo oppone al movimento dell'acqua verso la superficie.



[Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 - Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome - MODIFICATO]

# Modello di calcolo del bilancio

## Stima $K_s$

$$ET_e = ET_c \cdot K_s$$

$K_s$ : coefficiente di stress idrico

dipende da:

- contenuto idrico del suolo
- caratteristiche fisiologiche della coltura

Una coltura può trovarsi in condizioni non ottimali anche a causa di altri fattori (malattie, scarsa disponibilità nutrienti, ecc.) ma lo stress idrico è uno dei più comuni

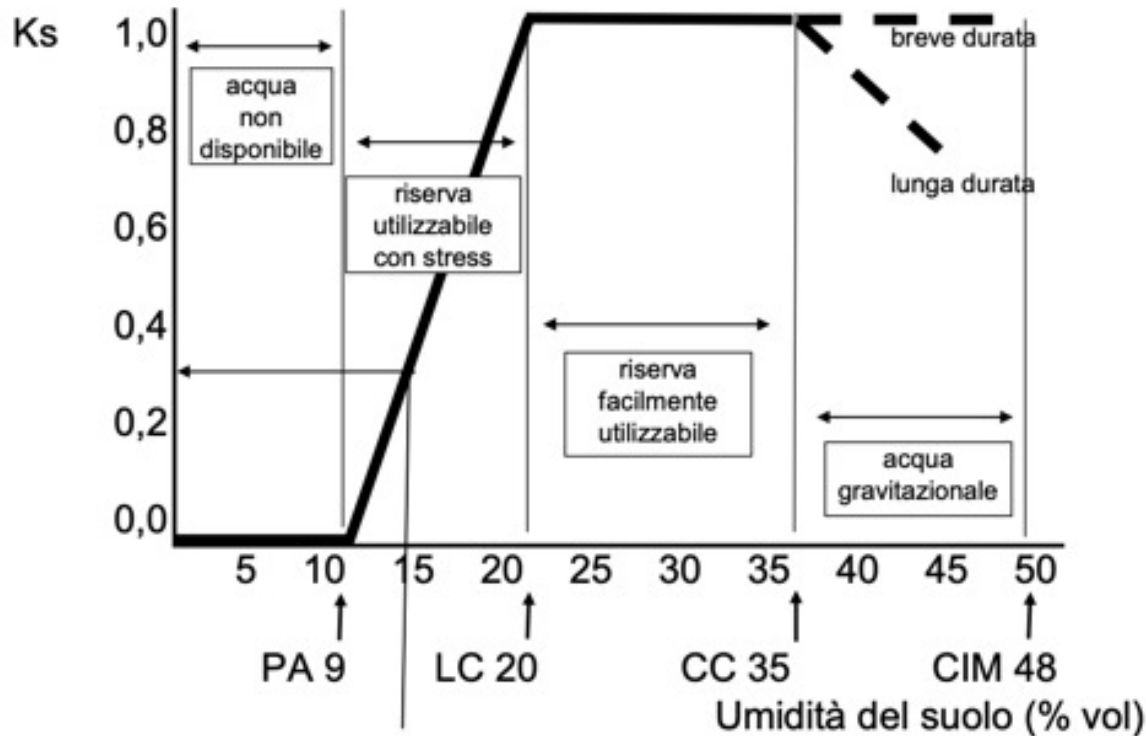
$ET_e$  può essere inferiore o uguale a  $ET_c$

$$[ET_e \leq ET_c] \Rightarrow [0 \leq K_s \leq 1]$$

# Modello di calcolo del bilancio

## Stima $K_s$

$K_s$  può essere stimato a partire dall'umidità del terreno e dal *limite di intervento irriguo* di una data coltura



Esempio calcolo stress :

se il suolo è al 13 % vol,  $K_s$  è  $(13-9)/(20-9) = 0,36$

**Limite intervento irriguo**

Umidità del suolo al di sotto della quale per asportare acqua la pianta soffre una condizione di stress

# Modello di calcolo del bilancio

## Definizione caratteristiche idrologiche del suolo

serve conoscere (in contenuto idrico volumetrico):

- CIM: capacità idrica massima
- CC: capacità di campo
- PA: punto appassimento

se non noti si possono stimare ricorrendo a funzioni di pedotransfer (vedi istruzioni): mettono in relazione il potenziale idrico con il contenuto idrico volumetrico

convenzionalmente:

- CC: 33 kPa
- PA: 1500 kPa



# Modello di calcolo del bilancio

## Stima variazione umidità del suolo

L'umidità di un generico giorno ( $i$ ) viene stimata considerando apporti ed ET del giorno prima ( $i-1$ ) e percolazione e ruscellamento del giorno  $i$

$$\text{UMIDmm}_i = \text{UMIDmm}_{i-1} + \text{Pioggia}_{i-1} + \text{IRRIGutile}_{i-1} \\ - \text{ETe}_{i-1} - \text{PERCmm}_i - \text{RUSCmm}_i$$

NB:

- la simbologia usata corrisponde alle etichette di colonna usate nel foglio Excel.
- IRRIGutile: volume di irrigazione x efficienza irrigua

# Modello di calcolo del bilancio

## Stima ruscellamento e percolazione

Si considera il bilancio parziale:

$$B_i = \underbrace{\text{UMIDmm}_{i-1} + \text{Pioggia}_{i-1} + \text{IRRIGutile}_{i-1}}_{\text{entrate}} - \underbrace{\text{ETe}_{i-1}}_{\text{uscite}}$$

$$\text{RUSCmm}_i = \begin{cases} 0 & \text{se } B_i < CIM \\ B_i - CIM & \text{se } B_i > CIM \end{cases}$$

$$\text{PERCmm}_i = \begin{cases} 0 & \text{se } B_i < CC \\ B_i - CC - \text{RUSCmm}_i & \text{se } B_i > CC \end{cases}$$

# Modello di calcolo del bilancio

## Irrigazione

Utilizzare i dati relativi alle irrigazioni realmente effettuate.

Considerare i due casi:

- **CON** irrigazione
- **SENZA** irrigazione

(per poter calcolare CWU green e blue)



Con il modello proposto si possono anche effettuare valutazioni diverse dalla stima del WF:

- l'agricoltore irriga troppo? Troppo poco?
- il momento in cui irriga è quello giusto?

# Quali dati occorre reperire?

(v. anche scheda acquisizione dati)

## Dati meteorologici (indispensabili)

- Temperature minime e massime giornaliere
- Pioggia

Per semplicità è possibile utilizzare i dati di ARPA riferiti alla stazione più vicina all'azienda esaminata (v. anche istruzioni sulla compilazione del bilancio idrico).

## Dati relativi al suolo

Indispensabile conoscere la tessitura dei suoli dell'azienda per poter stimare le caratteristiche idrologiche. Meglio se si hanno a disposizione dati di analisi fatti fare dall'agricoltore: a volte la tessitura può variare significativamente all'interno dell'azienda.

In mancanza di altre informazioni si può consultare la carta dei suoli

1:50.000 della Regione Piemonte

(<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/agricoltura/agroambiente-meteo-suoli/suoli-paesaggi-agrari-piemonte>)

# Quali dati occorre reperire?

(v. anche scheda acquisizione dati)

## Dati relativi alle colture

Occorre conoscere con il maggior dettaglio possibile qual è il riparto colturale presente in azienda. Per ogni coltura serve conoscere le date (approssimative!) di semina e raccolta, una stima della produzione e se è irrigata o meno.

## Esempio di tabella per raccolta delle informazioni

Coltura	Superficie (ha)	Ciclo (indicativamente)		Produzione media (t/ha)	Irrigata (sì/no)*
		Data semina	Data raccolta		
Mais granella					
Mais trinciato					
Soia					
Prati permanenti					
Loiessa					
Frumento					
Altra**					

\* nel caso la coltura venga irrigata (anche solo parte della superficie), è necessario acquisire ulteriori informazioni (v. sezione "Gestione risorse idriche territoriali", punti 3-7).

\*\* specificare la coltura non in elenco. Aggiungere altre righe se necessario.

## Bibliografia utile

### Disponibili su moodle

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 - Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. FAO, Rome.
- Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM, 2011. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*, 1st edn. Routledge . Estratto pp. 23-45 e Appendix II (pp. 135-142).
- Liu J, Yang H, 2010. Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland: Green and blue water. *Journal Of Hydrology* 384:187–97.
- Mekonnen MM, Hoekstra AY, 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15:1577–600.
- Siebert S, Döll P, 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal Of Hydrology* 384:198–217.
- Vanham D, Bidoglio G, 2013. A review on the indicator water footprint for the EU28. *Ecological Indicators* 26:61–75.