



Progettazione territoriale e di filiere (Es. Interdisciplinari)

Water Footprint delle colture

Francesco Vidotto

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) 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

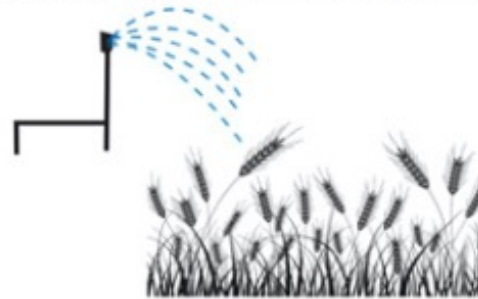
the soil water held in the unsaturated zone, formed by precipitation and available to plants. The green WF is thus the rainwater consumed by crops



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

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

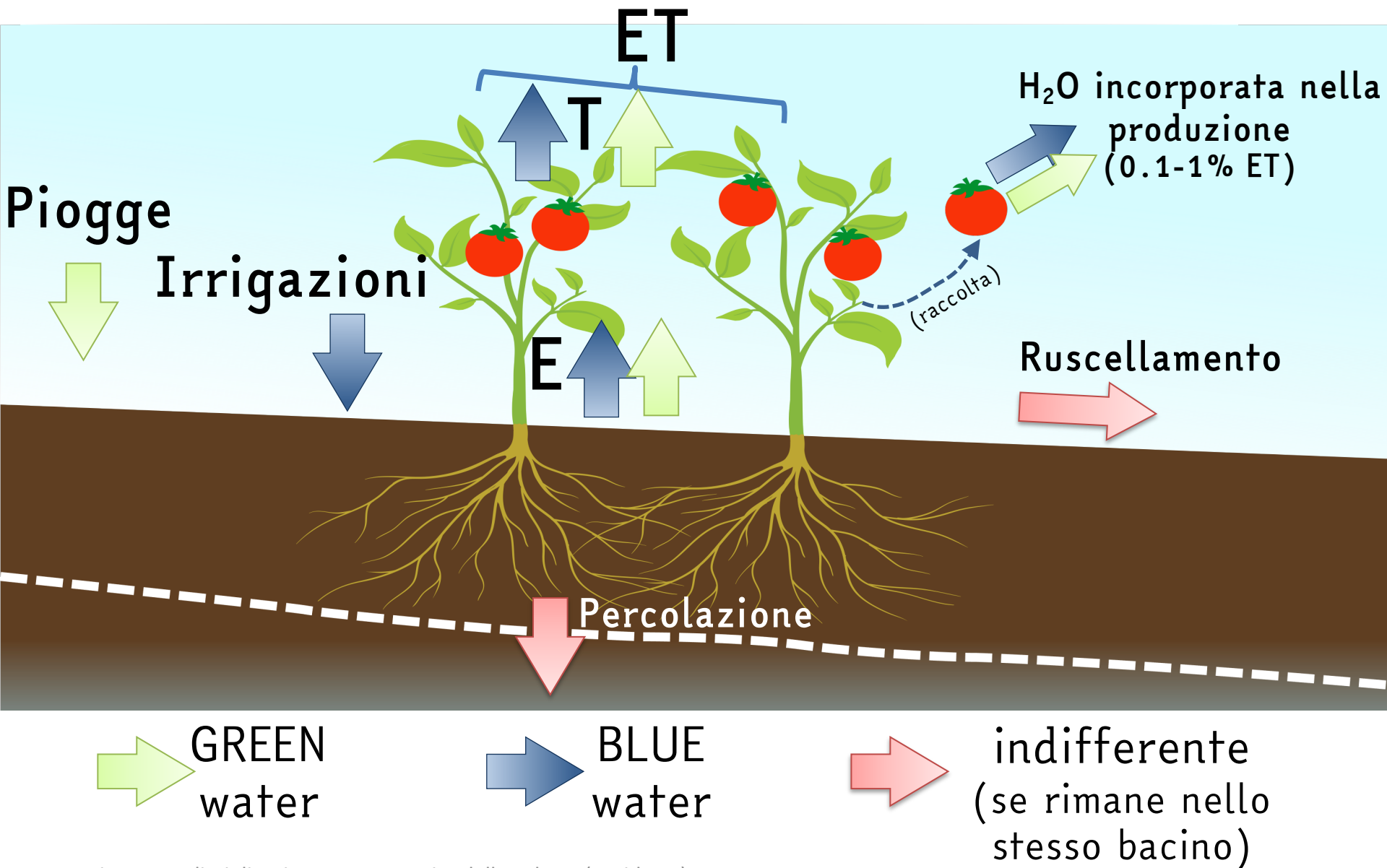
$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blue}$$

irrigazione

lgp: length of growing period (giorni)

(Il fattore 10 serve a trasformare i valori di ET da mm a m³/ha)

GREEN e BLUE water delle colture



Definizioni e tipi di ET

ET₀: 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_c: 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»).

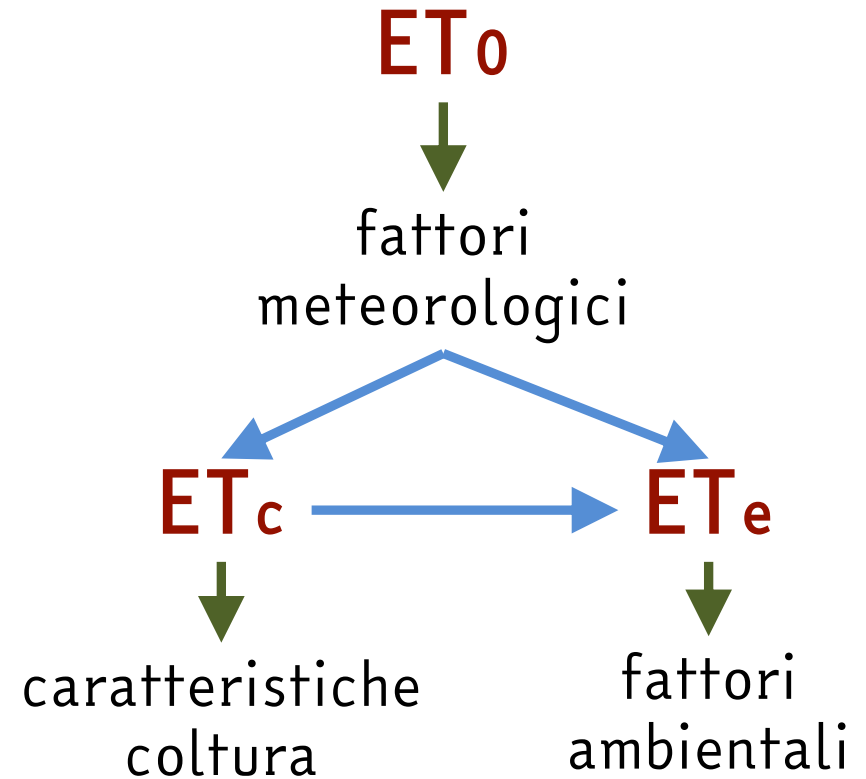
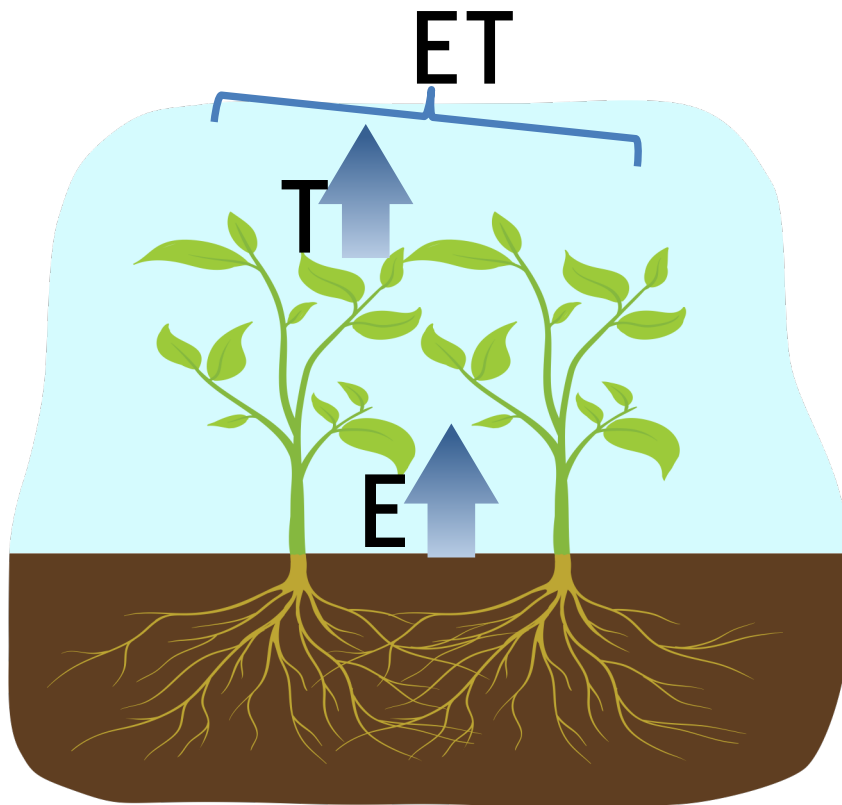
Anche detta ET_{max} (massima)

ET_e: 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 ET_a (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

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

ΔW : variazione del contenuto idrico dello strato di suolo interessato dal bilancio

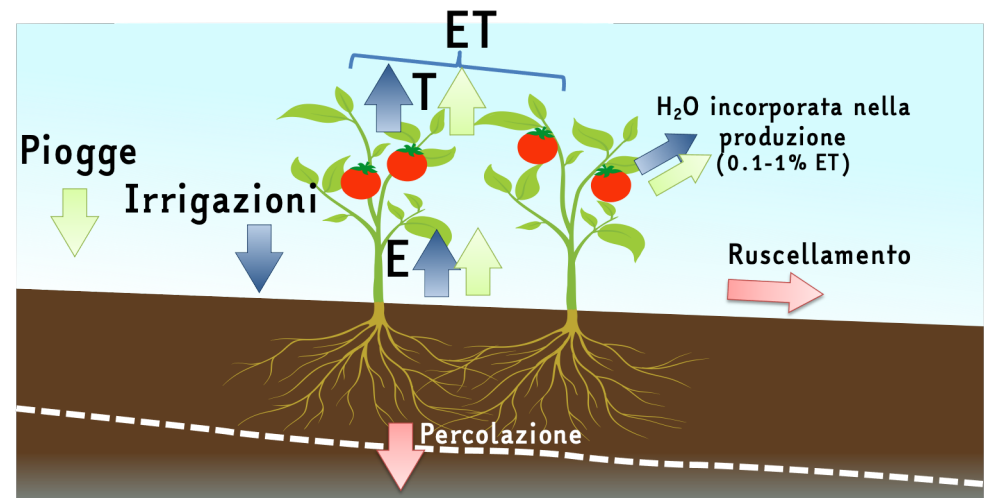
P: piogge

I: irrigazioni

R: ruscellamento

D: percolazione/drenaggio

ET: evapotraspirazione



ET_{green} e ET_{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_{green} e ET_{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?

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

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

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

α : quota persa per percolazione e ruscellamento

c_{max} : concentrazione ambientale massima ammessa (kg/m³)

c_{min} : concentrazione naturale della sostanza considerata (kg/m³)

Y: produzione (t/ha)

In questa esercitazione non la stimiamo

Stima WF green e blue: COME PROCEDERE

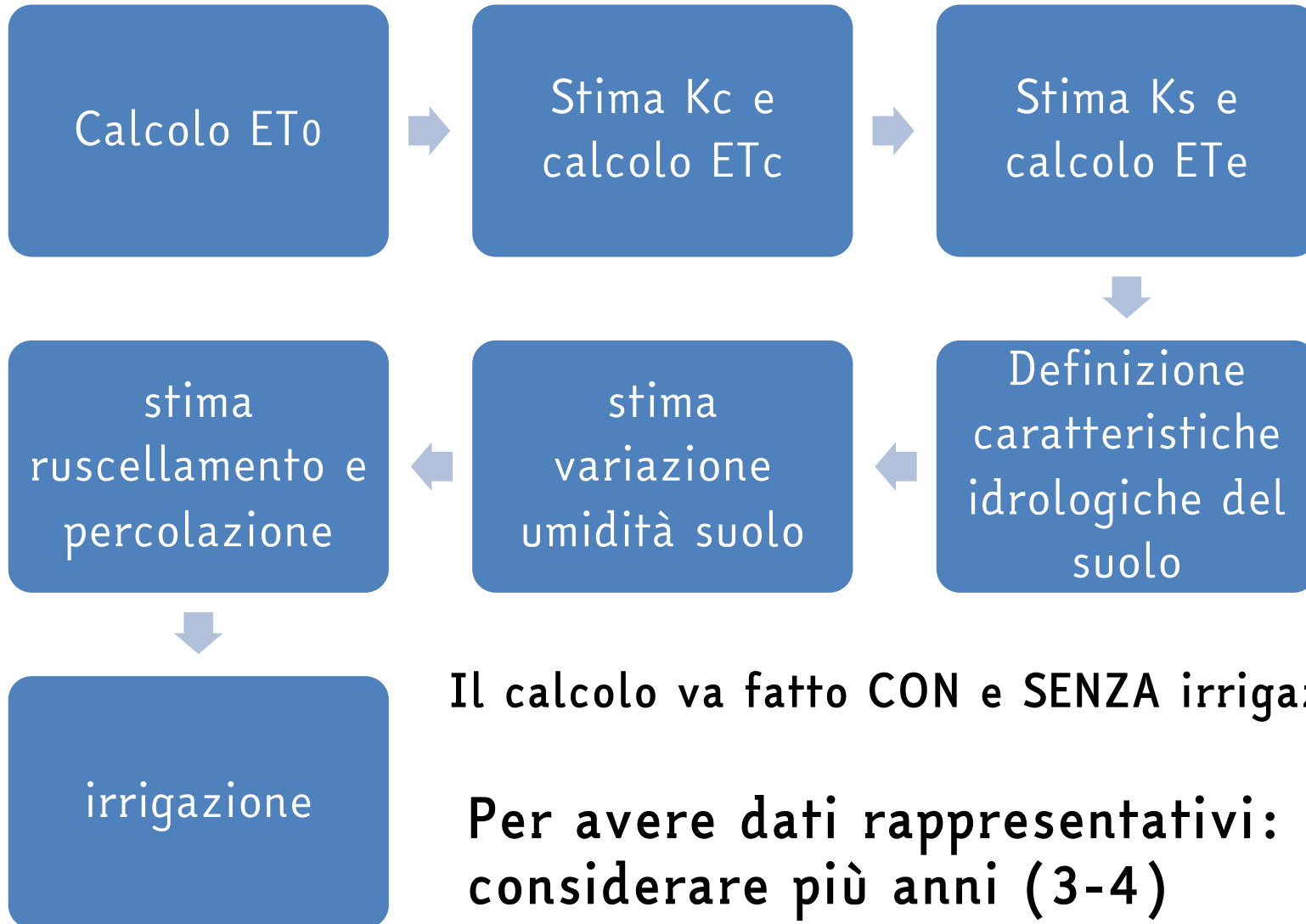
Applicare il modello di bilancio utilizzato nell'insegnamento « Agronomia »

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⁻² d⁻¹]

λ : calore latente di vaporizzazione [MJ kg⁻¹] $\lambda = 2.501 - 0.00236 \cdot T$

TD: escursione termica giornaliera [°C]

T: temperatura media dell'aria [°C]

Ra media giornaliera a diverse latitudini dell'emisfero Nord (MJ m⁻² d⁻¹)

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)

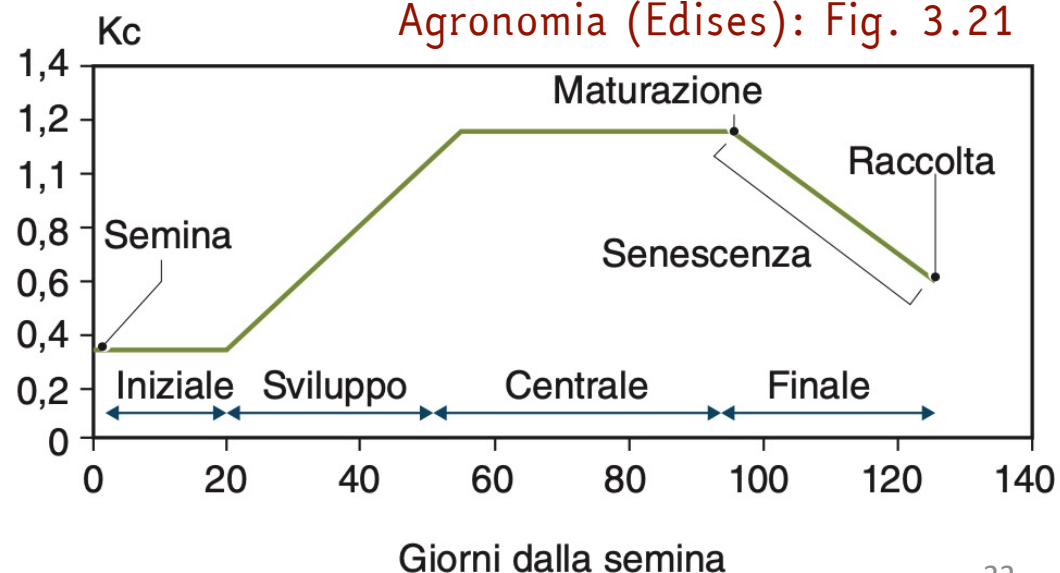
L_{ini} : durata (gg) fase iniziale

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

L_{centr} : durata (gg) fase centrale

L_{fin} : durata (gg) fase finale

Agronomia (Edises): Fig. 3.21

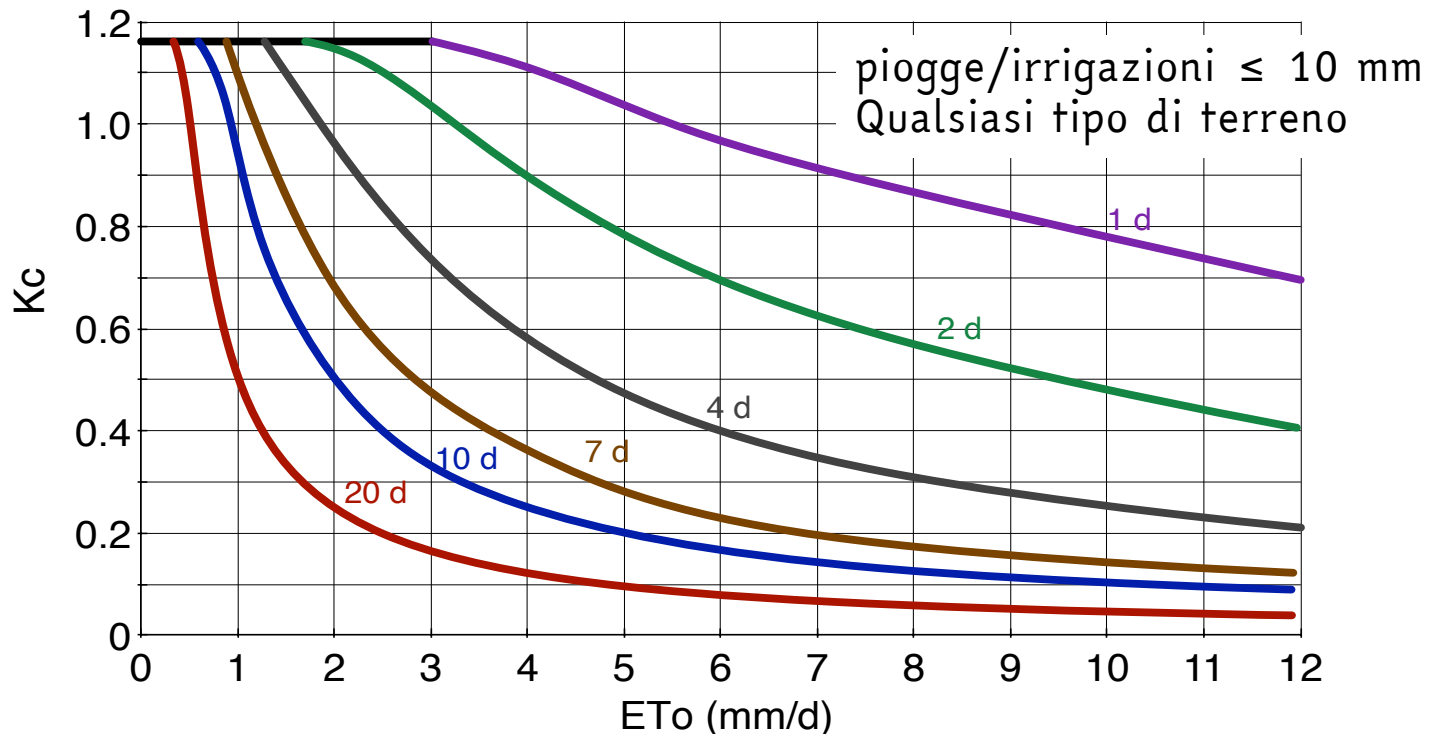


Modello di calcolo del bilancio

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

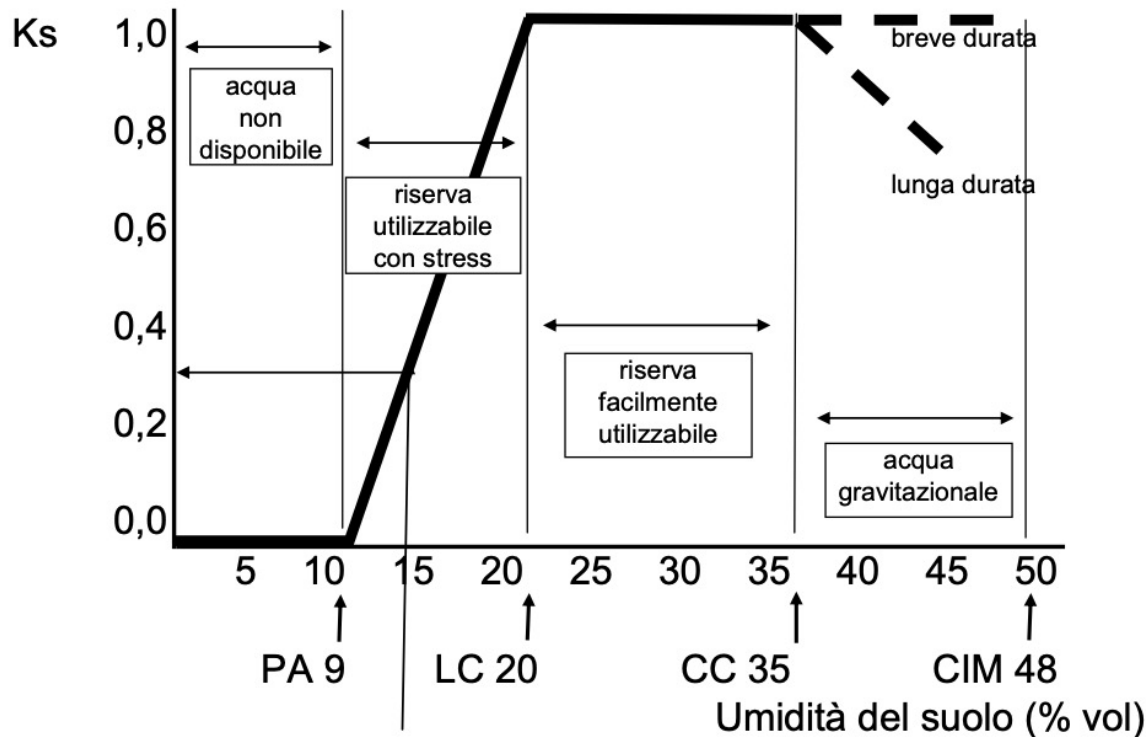
ET_e può essere inferiore o uguale a ET_c

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

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.