

CON IL CONTRIBUTO DI



Progetto «AGRICOLENDI»

CUP: F89J2102360002

ARSIAL: prot. U 3833 R.E. del 30-11-2021



Modello gestionale di Irrigazione

Modello gestionale di Irrigazione

trasversale a diverse colture agricole

ha una struttura generale di funzionamento ma
è adattabile a qualunque coltura, sia seminativa
che fruttifera

sviluppato secondo la metodologia standard
FAO (Irrigation and Drainage Paper No.56)

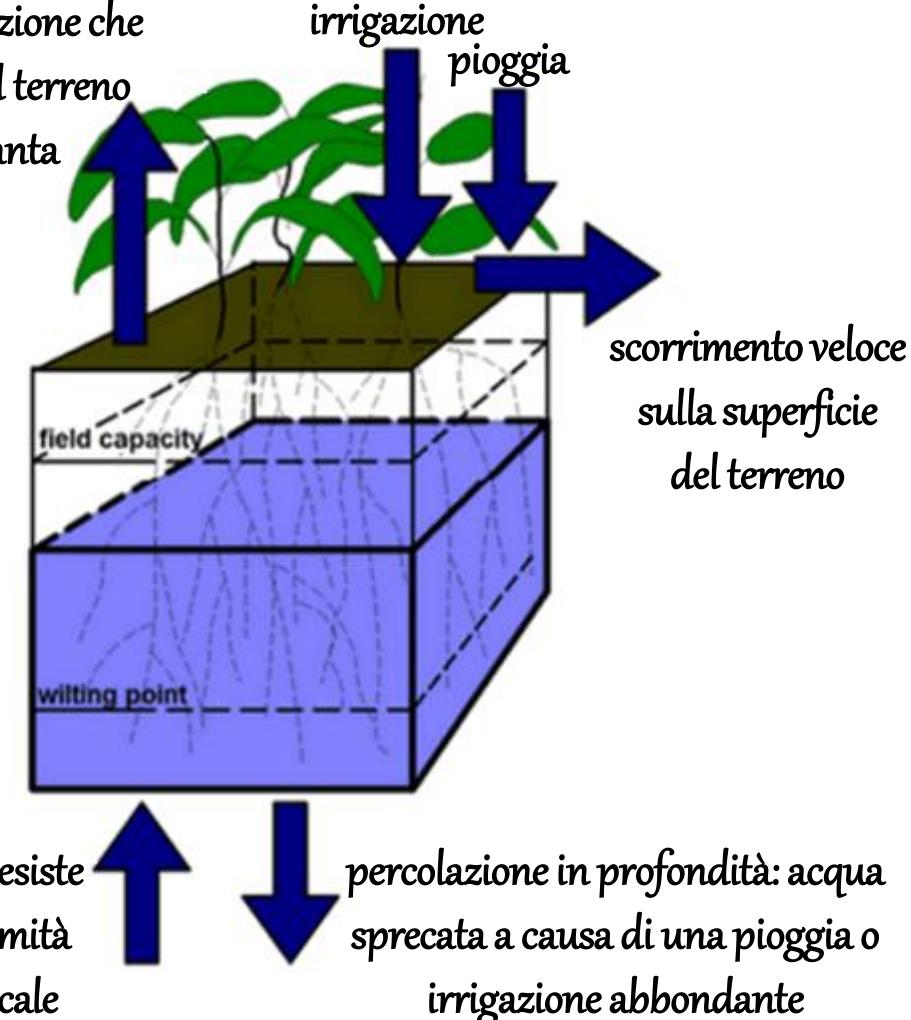
Modello gestionale di Irrigazione

Bilancio Idrico

Sulla base delle caratteristiche agronomico-colturale del lotto agricolo, il modello svolgerà giornalmente il bilancio idrico del terreno.

1. Dobbiamo immaginare il terreno come un contenitore,
2. Il modello, giornalmente andrà a calcolare tutti gli apporti positivi di acqua e tutti quelli negativi,
3. Come proprio un contenitore, il terreno non ha una capacità infinita; quindi è importante che il modello ci dica quando il contenitore si sta svuotando e quindi ci si sta avvicinando ad una soglia critica e le piante iniziano ad andare in sofferenza,
4. E' importante che il modello ci dica anche quando il contenitore sta diventando troppo pieno, in quanto non solo l'eccesso di acqua può essere contro produttivo alla coltura per ristagno idrico, ma tutta l'acqua che daremo in più (pioggia o irrigazione) andrà persa e questo può avere anche un impatto ambientale negativo se ad esempio l'irrigazione è abbinata alla concimazione

Evapotraspirazione che riguarda sia il terreno che la pianta



Modello gestionale di Irrigazione

PERDITE

INGRESSI

IRRIGAZIONE

Il modello integra un **sistema di allertamento automatico** in grado di comunicare all'utente, preventivamente, l'avvicinarsi del momento critico in cui la pianta andrà in stress idrico, in modo tale da consentire la programmazione, nei prossimi giorni, dell'irrigazione.

Sarà quindi possibile evitare uno deficit idrico eccessivo e dannoso per le piante e per la produzione conoscendo in anticipo uno stato di criticità idrica che necessita di un intervento di irrigazione.

Il **volume di irrigazione ottimale (irrigazione consigliata)** per il singolo intervento di irrigazione - in metri cubi o litri ad ettaro) sarà fornito dal modello al fine di prevenire episodi di sovairrigazione, saturazione del terreno e quindi anossia radicale e sprechi della risorsa idrica. Qualora l'utente fornisca un volume eccessivo di acqua il sistema provvederà ad indicare i litri di acqua persi/sprecati per ogni singolo intervento irriguo ritenuto eccessivo.

Modello gestionale di Irrigazione

Il modello di gestione irrigua sarà inoltre interfacciabile con il modello di concimazione che valuterà una serie di aspetti legati congiuntamente all'irrigazione ed alla concimazione:

- le perdite per percolazione dei nitrati nell'acquifero sottosuperficiale
- le quantità di azoto (N) somministrabili in concomitanza agli interventi irrigui (nei sistemi di fertirrigazione).

Analizzando i termini idrici in entrata e in uscita dal suolo, il modello fornirà giornalmente una serie di informazioni caratterizzanti lo status idrico attuale, tra cui:

- **Evapotraspirazione giornaliera** e di lungo periodo (di precisione).
- **Deficit idrico del terreno rispetto alla capacità di campo** (volume idrico massimo trattenuto dal terreno).
- **Il contenuto residuo di acqua facilmente estraibile dalle colture** (senza andare incontro a condizioni di stress).
- I termini di **pioggia efficace** e di **risalita capillare**.

Dati di Input: Utente

Per il corretto funzionamento del modello, l'utente dovrà fornire:

A. una tantum (dati di setting), le informazioni agronomiche-culturali del lotto agricolo irrigato:

- **Data di semina** per le colture seminative; per quelle non seminative il modello inizia a lavorare all'inizio della fase vegetativa
- **Tipo di coltura**
- **Tipo di terreno**: Sabbioso, Sabbia Franca, Limoso, Argilloso limoso
- **Tipo di impianto irriguo**: ad aspersione (sprinkler), a goccia (microirrigazione), a perno centrale (pivot)
- **Altezza delle piante a pieno sviluppo**, soprattutto per quel che riguarda i seminativi
- **Profondità della falda conosciuta**

B. Una tantum (dati di setting opzionali):

- **Tipo pacciamante alla semina**: Artificiale, naturale
- **Copertura pacciamante** in % rispetto alla superficie del terreno
- **Resa agricola massima** a fine ciclo della coltura [t/ha]; il modello è in grado di calcolare la perdita di resa dovuta ai periodi in cui non si è effettuata un'irrigazione ottimale e quindi la coltura è andata in stress idrico

C. Giornalmente

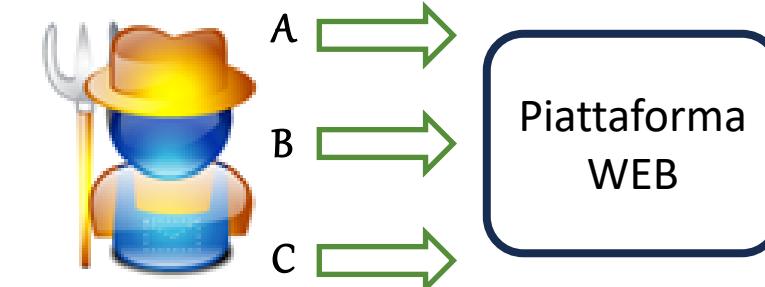
- **Irrigazioni svolte** in data odierna con quantità in metri cubi/ha, o litri/ha
- **Fasi fenologiche BBCH osservate** della coltura irrigua (facoltativo)



(i) Il modello stima l'evoluzione delle principali fasi fenologiche BBCH in base del tipo di coltura.

L'utente può scegliere di inserire manualmente le feno-fasi durante la stagione vegetativa per rendere il modello più accurato nella stima del bilancio idrico.

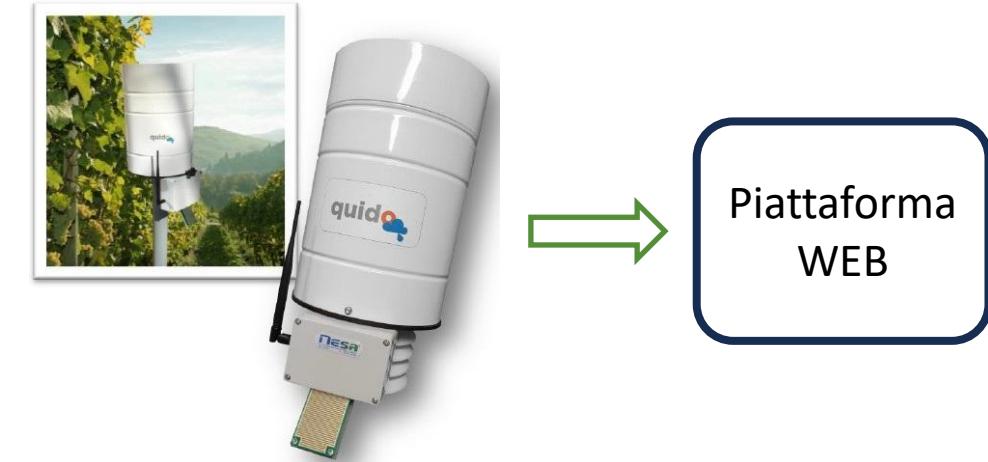
L'evapotraspirazione e quindi il consumo di acqua è diverso a seconda della fase fenologica in cui si trova la pianta.



Dati di Input: Sensori

Per il corretto funzionamento il modello gestionale di irrigazione necessita dei seguenti dati meteo giornalieri (raccolti da stazioni agrometeorologiche):

- **Temperatura media** giornaliera [°C]
- **Temperatura minima** giornaliera [°C]
- **Temperatura massima** giornaliera [°C]
- **Velocità del vento media** giornaliera [m/s] – opzionale
se non è presente un anemometro in campo, riusciamo a stimare la velocità del vento tramite dati medi satellitari
- **Umidità relativa minima** giornaliera [%]
- **Pioggia totale** giornaliera [mm]



Il modello gestionale di irrigazione non richiede necessariamente l'uso di un sensore di umidità del terreno in quanto, nel calcolare il bilancio idrico, **stima** il consumo di acqua dal contenitore terreno e ovviamente l'apporto di acqua, **non misura**. Il sensore nel terreno è consigliabile nei primi anni di uso del modello per facilitarne la calibrazione (2-3 anni), confrontando l'output del modello con quello del sensore.

Dati di Output

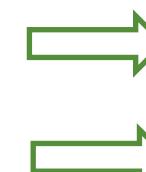
Giornalieri:

- A. Deficit idrico ad inizio della giornata attuale [mm]
- B. Evapotraspirazione giornaliera effettiva e massima possibile [mm]
- C. Riserva totale e riserva facilmente utilizzabile [mm]
- D. Perdite di acqua di irrigazione per drenaggio profondo [litri/ha] - perdita giornaliera e cumulata dall'inizio della stagione
- E. Status idrico attuale: indica se si verifica la condizione di stress idrico per le piante (perdita di produttività) all'inizio della giornata attuale.

Fine ciclo:

- A. Evapotraspirazione effettiva totale riferita all'intero ciclo colturale [mm]
- B. Evapotraspirazione massima totale riferita all'intero ciclo colturale [mm]
- C. Differenza tra evapotraspirazione massima ed effettiva per l'intero ciclo [mm]
- D. Resa agricola massima a maturità colturale [t/ha]
- E. Resa agricola effettiva a maturità colturale (stimata) [t/ha]
- F. Perdita di resa agricola [t/ha]
- G. Totale acqua irrigata [mm]
- H. Totale acqua irrigata persa per drenaggio profondo [mm]
- I. Totale acqua piovuta [mm]

Piattaforma
WEB

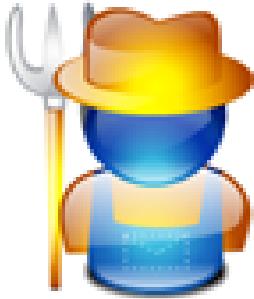


Dati di output giornalieri



Dati di output di fine ciclo

Riassumendo



Informazioni agronomiche - colturali
del lotto agricolo irrigato

Irrigazioni svolte nella giornata e
fasi fenologiche osservate

Dati meteo climatici



Piattaforma
WEB

Dati giornalieri: Deficit idrico,
evapotraspirazione

Dati di fine ciclo

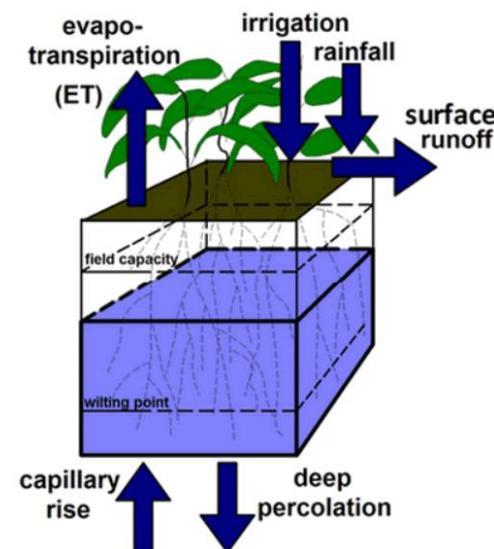
Funzionalità modellistica

Nella routine giornaliera del modello vengono soppesati tutti i parziali di acqua in entrata e in uscita dal sistema (in mm) e, facendone il bilancio, viene controllato a che punto è il Deficit Idrico giornaliero (D_{li}) rispetto ad una situazione ottimale (capacità di campo). L'obiettivo del modello è, attraverso l'invio di segnalazioni all'utente, permettere all'utente di programmare in anticipo le irrigazioni di soccorso e di mantenere il Deficit Idrico del terreno entro limiti ottimali per le coltivazioni.

I termini negativi sono apportativi per il sistema ossia riducono il deficit idrico (irrigazione, pioggia, risalita di acqua per capillarità), mentre quelli positivi sono asportativi per il sistema, ossia aumentano il deficit idrico (evapotraspirazione effettiva, acqua persa per ruscellamento/drenaggio).

L'equazione di bilancio idrico giornaliera del modello è la seguente: $D_{li} = D_{li-1} - PE_i - I_i + ETE_i + RSi + Di - CRi$

- **D_{li}** è il deficit idrico rispetto alla situazione idrica ideale (terreno alla capacità di campo) che si ha alla fine della giornata attuale.
- **D_{li-1}** è il deficit idrico pregresso della giornata precedente a quella attuale.
- **PE_i** è il valore di pioggia effettiva caduta nella giornata attuale
- **I_i** è il valore dell'irrigazione netta effettuata nella giornata attuale.
- **ETE_i** è il valore della evapotraspirazione effettiva.
- **RSi** è la quantità di acqua in uscita dal sistema per ruscellamento superficiale.
- **Di** è la quantità di acqua in uscita dal sistema per drenaggio profondo.
- **CRi** è la risalita di acqua nel sistema per capillarità. (*situazione particolare: falda superficiale).

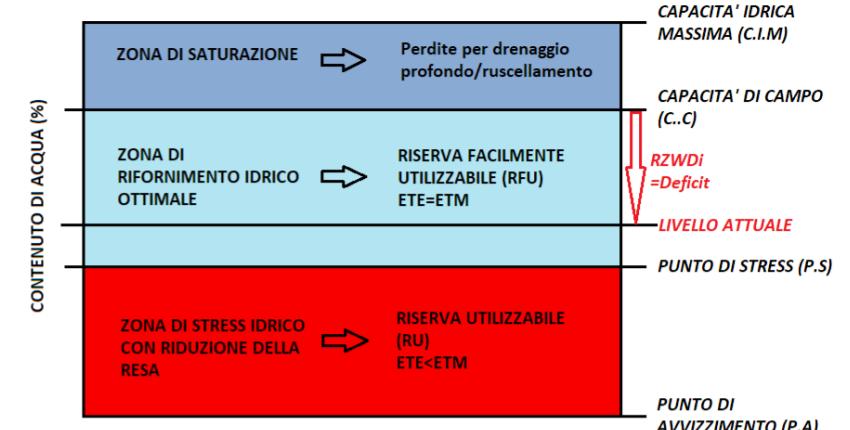


Funzionalità modellistica

Considerando il sistema terreno-radici figurativamente come un serbatoio ed il suo contenuto di acqua (in % - umidità) come il livello di acqua del serbatoio possiamo vedere che il contenuto di acqua (umidità) può ricadere all'interno di tre zone di vivibilità per le piante.

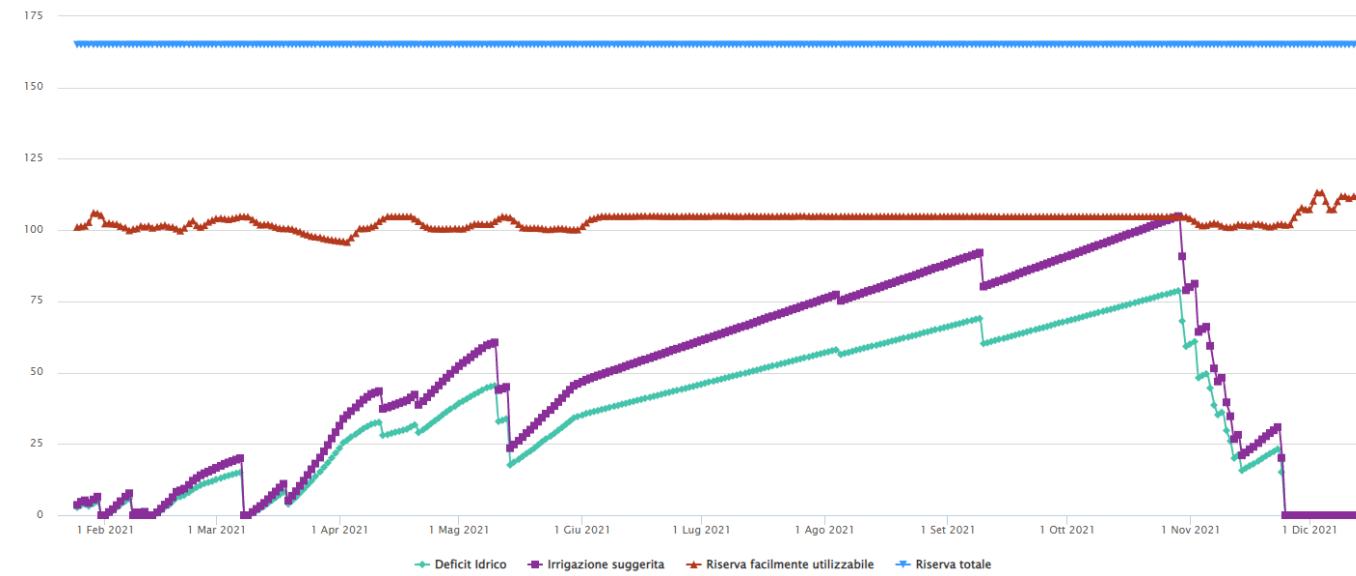
- **Nella zona di saturazione (zona blu)**, il terreno è saturo di acqua in seguito ad un forte evento di pioggia. Le radici sono soggette a stress e si potrebbe andare incontro ad una situazione di ristagno idrico. Tuttavia, in un sistema culturale con sistema di drenaggio ben progettato, il contenuto di acqua di saturazione cala velocemente e si stabilizza rapidamente alla condizione ideale della capacità di campo (il giorno stesso)
- **Nel punto di capacità di campo (C.C.)** il terreno è nello stato di rifornimento idrico migliore, ossia il rapporto aria/acqua è salutare e il terreno è al suo stato di rifornimento idrico massimo senza che avvenga il fenomeno della saturazione (i macropori sono liberi)
- **Con il calare del contenuto di acqua** che avviene ad opera delle variabili in uscita dal sistema nel tempo (essenzialmente evapotraspirazione, ossia assorbimento dell'acqua per la vivibilità vegetazionale), il contenuto di acqua giornaliera diminuisce progressivamente rispetto alla capacità di campo, e si crea quindi una condizione di deficit idrico giornaliero (D_{li}), rispetto alla condizione ideale, che viene soppesato nell'equazione di bilancio idrico giornaliero.
- **All'interno della zona di rifornimento idrico ottimale (RFU), comunque,** non si ha riduzione della evapotraspirazione effettiva ($ETE=ETM$) e quindi la produttività non scende. Di conseguenza, la finalità del modello è quello di mantenere il contenuto idrico del terreno all'interno di questa zona di non stress per le piante.

Il modello quindi, computa giornalmente il deficit idrico D_{li} e, quando questo raggiunge il punto di stress (limite inferiore) o meglio quando si verifica la condizione $D_{li}=RFU$ invia un segnale in output/allarme per far partire l'irrigazione che farà tornare il contenuto idrico del terreno dal punto di stress alla capacità di campo. In questo modo, il contenuto di acqua oscillatorà all'interno della zona di riserva facilmente utilizzabile (RFU) e le piante non andranno mai incontro a stress ed a riduzione della produttività.



Contenuto di umidità della zolla radicale e zone di vivibilità per le piante

Termini



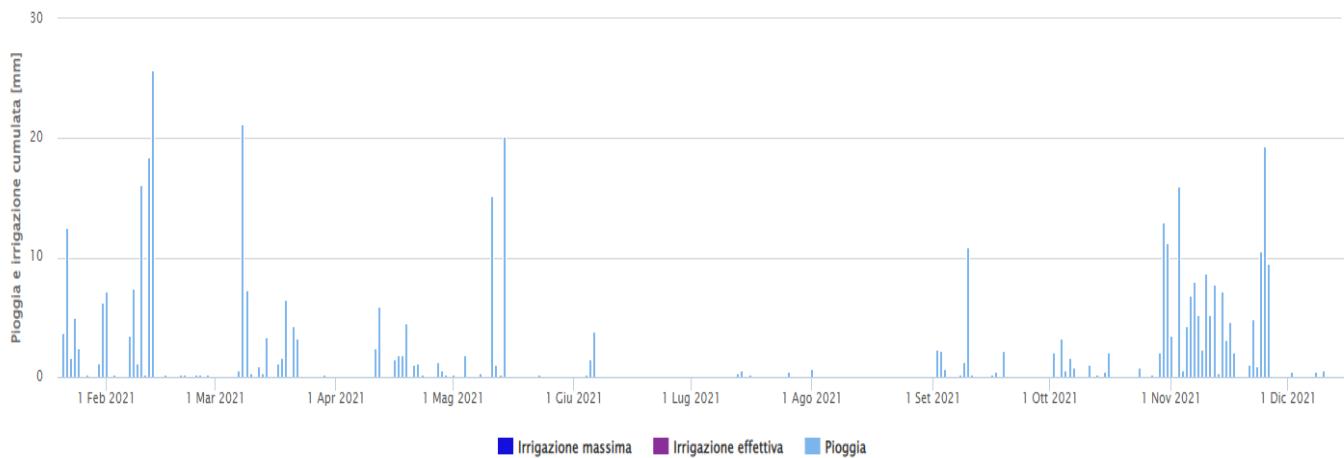
Riserva totale

RFU: il modello calcola giornalmente l'entità di tale riserva (RFU), che dipende dal tipo di terreno (granulometria) e dalla capacità estrattiva della singola specie/cultura coltivata. Tale riserva indica la porzione di acqua facilmente utilizzabile dalle piante stesse senza andare incontro a meccanismi di stress (chiusura degli stomi e riduzione della evapotraspirazione).

Irrigazione suggerita: Il modello calcolerà il termine di irrigazione efficace sulla base dell'efficienza che varia per tipo di impianto utilizzato. Gli impianti di microirrigazione hanno un'efficienza molto elevata (circa 90%) mentre gli impianti di irrigatori dinamici (Sprinkler) hanno un'efficienza più bassa.

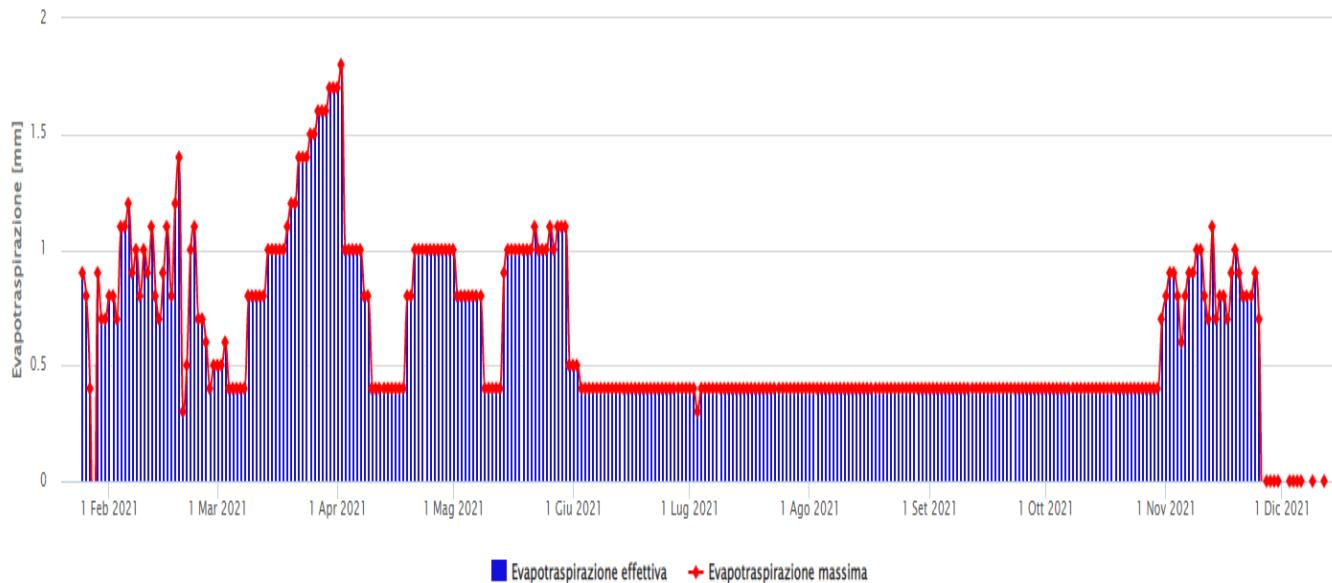
Deficit Idrico

Termini



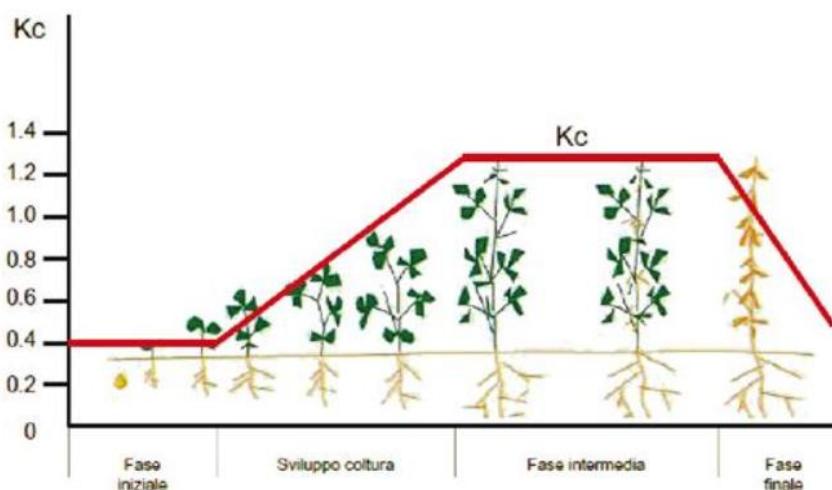
Pioggia efficace + Risalita capillare (PEi + CRI) La pioggia linda rilevata attraverso le stazioni di monitoraggio WiForAgri viene rielaborata escludendo la porzione di pioggia intercettata dalla vegetazione (perdite iniziali) e non immediatamente disponibili per le colture. Quindi, viene quantificata sulla reale porzione che contribuisce alla riduzione del deficit idrico del terreno. Il termine di risalita capillare viene determinato in maniera specifica sul tipo di terreno e sulla profondità della falda rispetto alla base dell'apparato radicale.

Termini



Evapotraspirazione: Il modello calcola l'evapotraspirazione potenziale (ET₀) che esprime le potenzialità evapotraspirative dell'atmosfera per il territorio di riferimento, quindi la corregge attraverso il coefficiente culturale (K_c) per determinare giornalmente l'evapotraspirazione totale della coltura di riferimento.

Il coefficiente K_c viene stimato attraverso la metodologia ufficiale FAO (Irrigation and Drainage Paper No.56), ossia viene calibrato giornalmente soppesando varie equazioni i fattori agro-climatici determinanti (vento, umidità, altezza delle piante, intensità e frequenza delle piogge ed infine tipo di terreno). Attraverso questa calibrazione il modello è in grado infatti di integrare nel calcolo della evapotraspirazione tutti i fattori climatici che l'aumento o la riducono rispetto ad una giornata a condizioni climatiche medie.



Andamento del coefficiente K_c durante i periodi del ciclo vegetativo.

Bibliografia

- **AIAM.** (1998). Applicazioni di modelli di bilancio idrico e di produttività delle colture. Atti del workshop nazionale di Agrometeorologia AIAM '98, Firenze 2 aprile 1998.
- **Ali M. & Mubarak S.** (2017). Effective Rainfall Calculation Methods for Field Crops: An Overview, Analysis and New Formulation. *Asian Research Journal of Agriculture*. 7. 1-12. 10.9734/ARJA/2017/36812.
- **Allen R., & Pereira L., Raes D., Smith M.** (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 56, 26-40.
- **Carr M.** (2013). Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 66. By P. Steduto, T. C. Hsiao, E. Fereres and D. Raes. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2012), 500
- **Garcia D., Ramos A., Marín S.** (2013). Modeling kinetics of aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in maize-based medium and maize grain. *International journal of food microbiology*. 162. 182-9. 10.1016/j.ijfoodmicro.2013.01.004.
- **Kuo Sheng-Feng & Lin Bor-Jang & Shieh Horng-Je.** (2019). CROPWAT MODEL TO EVALUATE CROP WATER REQUIREMENTS IN TAIWAN.
- **Lupia F., Altobelli F., Nino P., Vanino S.** (2014). Il calcolo dei consumi irrigui delle aziende agricole con il modello MARSALa.
- **Lupia F., Vanino S., Santis F., Altobelli F., Barberio G., Nino P., Bellini G., Carbonetti G., Greco M., Salvati L., Mateos L., Perini L. & Laruccia N.** (2013). A model-based irrigation water consumption estimation at farm level.
- **Savana A. P., & Frenken K.** (2002). Crop water requirements and irrigation scheduling. FAO irrigation manual, module 4, Harare, 132.
- **Steduto P., Hsiao T., Fereres E.** (2009). AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: 1. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal - AGRON J.* 101. 10.2134/agronj2008.0139s.

CON IL CONTRIBUTO DI



Progetto «AGRICOLENDI»

... si ringrazia

