



Agrometeorologia

- Evapotraspirazione (2) -

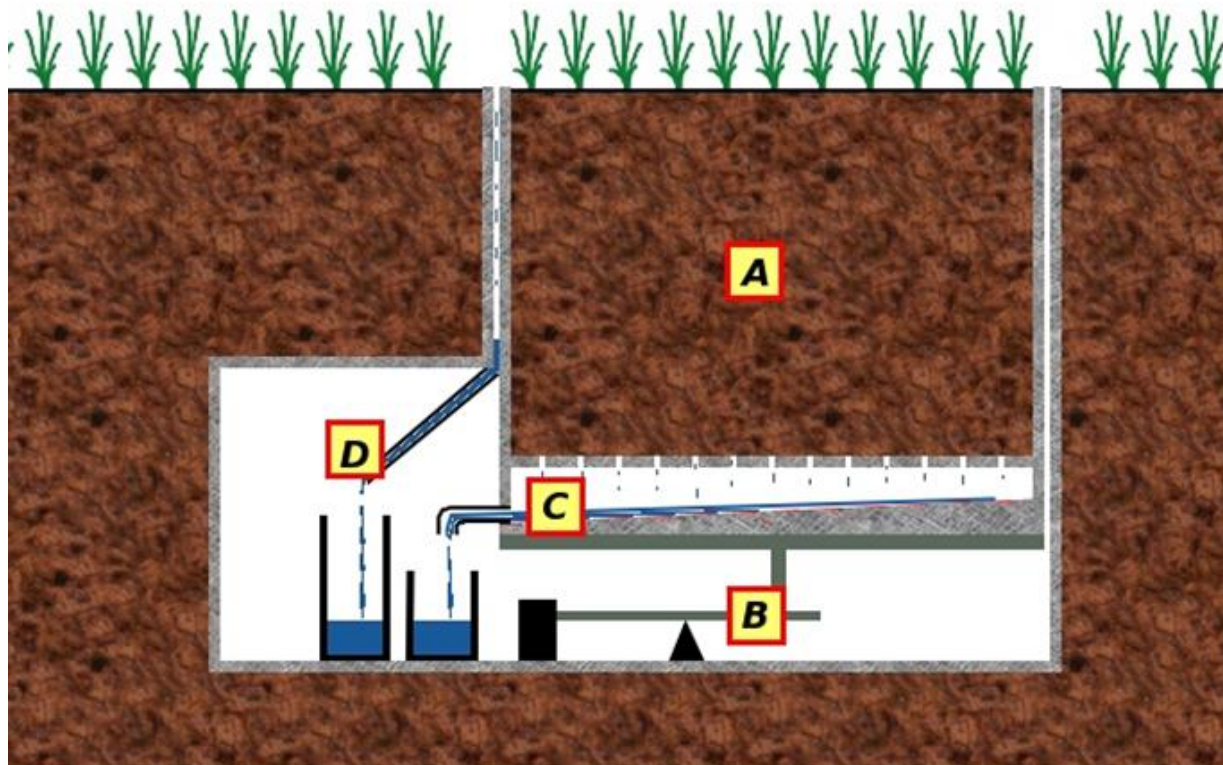


Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione

Agronomia

Lisimetro a pesata



Modello schematico di un lisimetro a pesata

- A) Terreno in studio
- B) Bascula a quadrante
- C) Raccolta dell'acqua di drenaggio
- D) Raccolta dell'acqua di ruscellamento



Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione

Agronomia

"Lisimetro a pesata"... da banco...





Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione

Agronomia

Si possono usare **evaporimetri**: dispositivi con acqua che evapora e che viene misurata.

Ve ne sono di tipo diverso, funzionano tutti abbastanza bene perché l'evaporazione è condizionata dagli stessi fattori che condizionano quelli della coltura.

I più usati sono:

- **Classe A**: cilindro di 1.2 m di diametro, 25.4 cm di altezza e 0.8 cm di spessore poggiato su una pedana a 10 cm dal suolo. Superficie acqua mantenuta a 50-75 mm dal bordo.
- **Colorado**: quadrato, di 92 cm di lato e profondo 46 cm, interrato con l'acqua a livello suolo





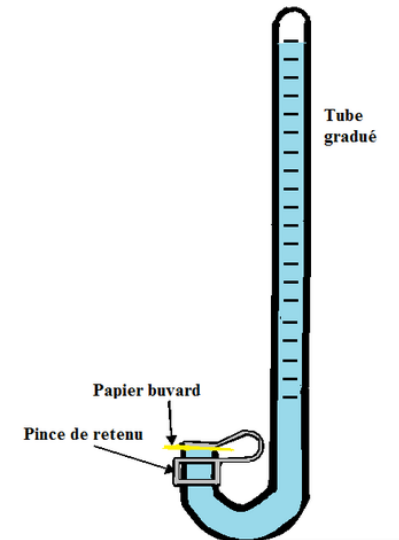
Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione

Agronomia

... continua

- **Atmometro di Piche:** tubo a U con all'estremità corta carta assorbente da cui evapora l'acqua. Porre al riparo dalla radiazione. Costa poco e in rapporto ai costi va bene (utile a livello aziendale)
- **Atmometro di Bellani:** recipiente cilindrico graduato, alto 30 cm che alimenta, per mezzo di un tubo di suzione, una superficie evaporante (disco di ceramica porosa). Il dispositivo viene disposto a 120 cm dal piano di campagna



Tutti gli evaporimetri hanno bisogno di coefficienti correttivi (UR, vento) per dare un valore di ET_0



Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione

Agronomia

Atmometro di Bellani:



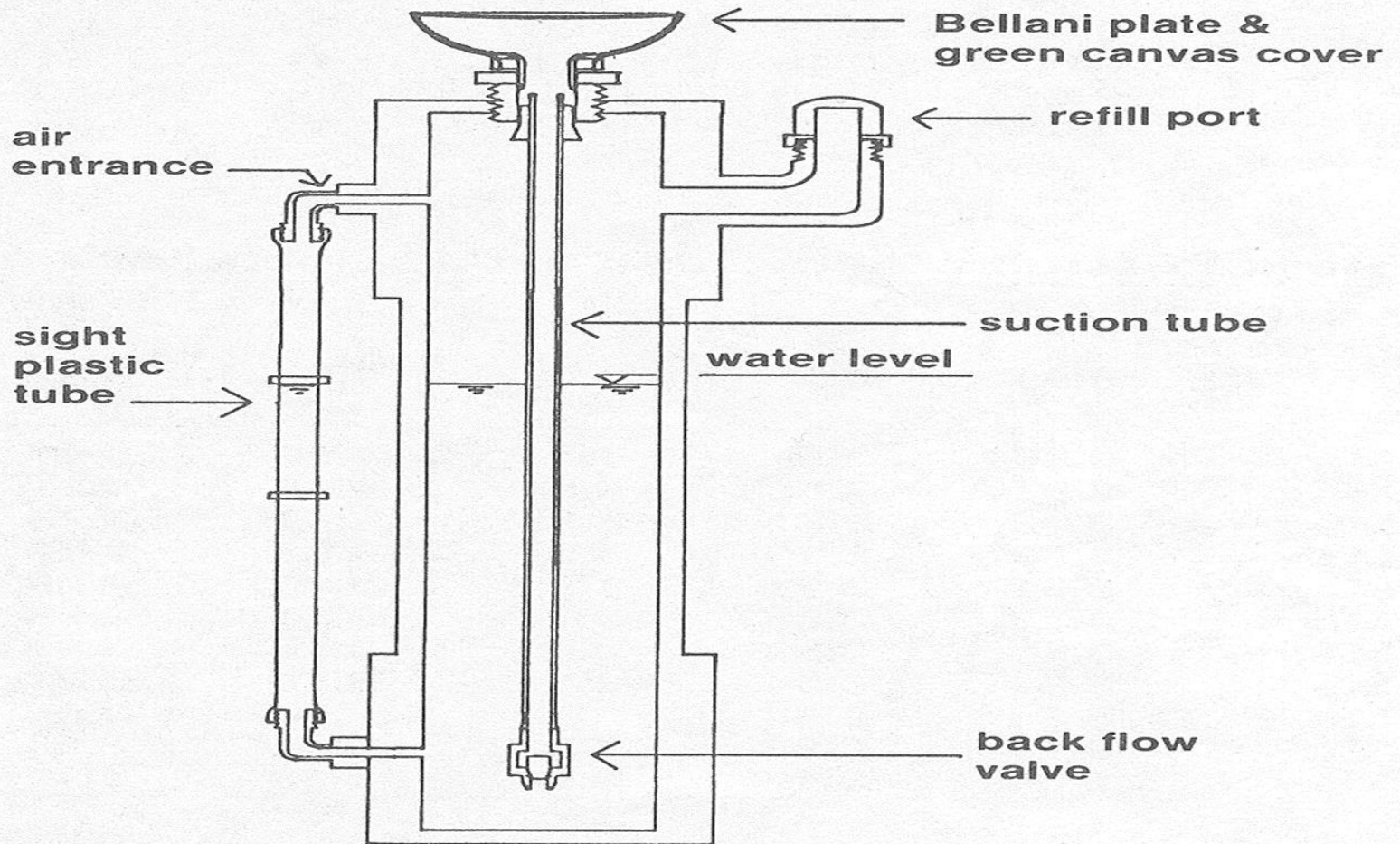


Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione

Agronomia

Atmometro di Bellani:





Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione di riferimento

Agronomia

Evaporimetro:

$$ET_0 = k_e \cdot E$$

- E (mm d⁻¹): tasso di evaporazione dall'evaporimetro
- k_e (-): coefficiente di vasca (rapporto ET festuca/Evaporazione), può dare indicazioni sui **fattori di resistenza della pianta rispetto all'evaporazione dal pelo libero dell'acqua**. Più è basso e più predominano i fattori di resistenza della pianta al flusso

.7 — Coefficienti K_p per la stima della ET_0 partendo da E , misurata su evaporimetro classe A (Doorenbos and Pruitt)¹

velocità vento (m/sec)	estensione della copertura vegetale (m)	umidità relativa media (%)		
		< 40	40-70	> 70
< 2 (movimento foglie)	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,70	0,80	0,85
2-5 (movimento ramoscelli)	10	0,60	0,70	0,75
	100	0,65	0,75	0,80
5-8 (polvere, movimento rami)	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,60	0,65	0,70
> 8 (movimento alberelli)	10	0,45	0,55	0,60
	100	0,50	0,60	0,65

¹ Se l'evaporimetro è posto in area ristretta circondata da piante alte (es. mais), i coefficienti vanno accresciuti del 30% in clima secco e ventoso e del 5-10% in assenza di vento e con clima umido.



Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione di riferimento

Agronomia

Formule per stimarla:

- **Penman-Monteith:**

Rappresenta lo standard internazionale di riferimento per questi studi.
Usata quindi per la validazione di altre formule.

- ✓ Tiene conto di tutti i fattori rilevanti su base fisica.
- ✓ Richiede:
 - radiazione netta (ricavabile da quella globale),
 - T_{max} e T_{min} ,
 - UR_{max} e UR_{min} ,
 - velocità del vento,
 - flusso di calore nel suolo (stimabile da altre grandezze o trascurabile su scala di 3-5 giorni).
- ✓ Occorrono quindi stazioni meteo complete, poco diffuse
(a meno di...)



Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione di riferimento

Agronomia

Formule per stimarla:

- **Hargreaves:**

- ✓ Richiede:

- T_{max} e T_{min} .

- **Priestley-Taylor:**

- ✓ Richiede:

- radiazione globale,

- U_R ,

- T_{max} e T_{min} .



Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione di riferimento

Agronomia

Formule per stimarla:

- **Blaney-Criddle:**

- ✓ Richiede:

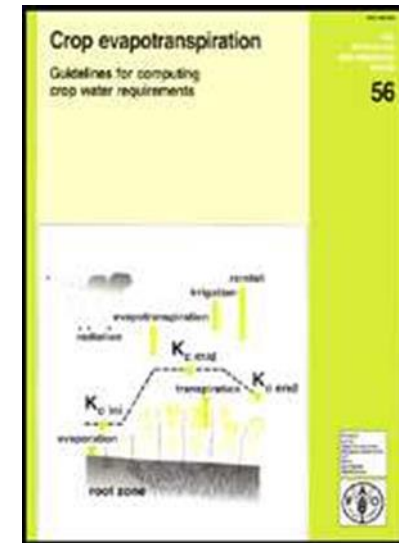
- T_{max} e T_{min} .

- **Thornthwaite:**

- ✓ Richiede:

- T media mensile.

- ✓ Molto apprezzata dai climatologi,
quasi inutile per gli agronomi.



Quaderno FAO56

<http://www.kimberly.uidaho.edu/ref-et/fao56.pdf>

Ci sono un centinaio di formule, tutte con validità più o meno locale.



Variabili agrometeorologiche

Penman-Monteith

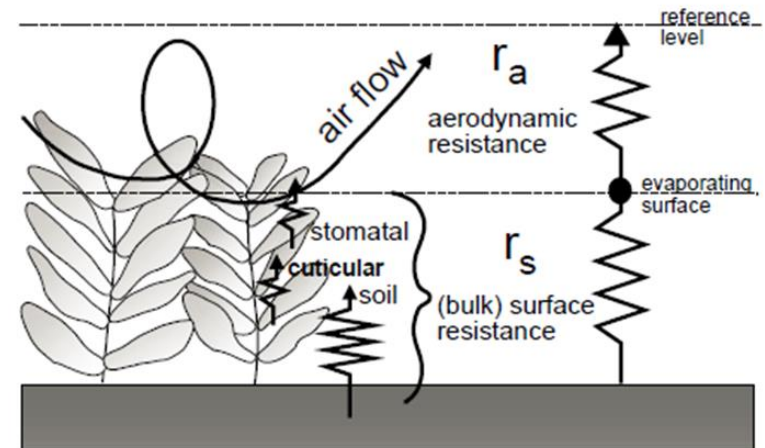
Agronomia

$$ET_0 = \frac{\Delta \cdot (Rn - G) + \rho_a \cdot c_p \cdot \frac{e_s - e_a}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

- Δ (kPa °C⁻¹): pendenza della relazione VPD vs. T
- Rn (MJ m⁻²): radiazione netta
- G (MJ m⁻²): flusso di calore nel suolo
- ρ_a (kg m⁻³): densità media dell'aria
- c_p (MJ kg⁻¹ °C⁻¹): calore specifico dell'aria
- $e_s - e_a$ (kPa): VPD dell'aria
- γ (kPa °C⁻¹): costante psicrometrica
- r_a (s m⁻¹): resistenza aerodinamica
- r_s (s m⁻¹): resistenza superficiale (r stomatica + r cuticolare + r suolo)



Simplified representation of the (bulk) surface and aerodynamic resistances for water vapour flow





Variabili agrometeorologiche

Hargreaves

Agronomia

$$ET_0 = 0.0023 \cdot (T_{med} + 17.8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot R_a$$

- R_a : **radiazione extraterrestre** (mm/giorno)



mese	Latitudine		
	40° N	39° N	38° N
GEN	6.4	6.7	6.9
FEB	8.6	8.8	9.0
MAR	11.4	11.6	11.8
APR	14.3	14.4	14.5
MAG	16.4	16.4	16.4
GIU	17.3	17.3	17.2
LUG	16.7	16.7	16.7
AGO	15.2	15.2	15.3
SET	12.5	12.7	12.8
OTT	9.6	9.8	10.0
NOV	7.0	7.3	7.5
DIC	5.7	5.9	6.1



Variabili agrometeorologiche

Hargreaves

Agronomia

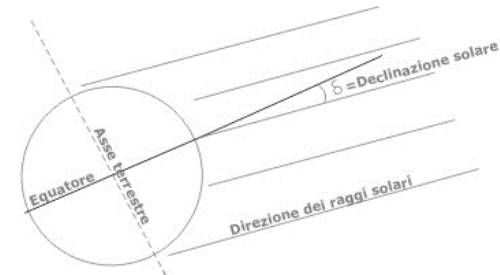
$$ET_0 = 0.0023 \cdot (T_{med} + 17.8) \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot R_a$$

- R_a : **radiazione extraterrestre**

$$R_a = \frac{24 (60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$$

$\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$

R_a	extraterrestrial radiation [$\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$],
G_{sc}	solar constant = $0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$,
d_r	inverse relative distance Earth-Sun
ω_s	sunset hour angle [rad],
φ	latitude [rad]
δ	solar declination [rad].





Variabili agrometeorologiche

Priestley-Taylor

Agronomia

$$ET_0 = 1.26 \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n - G}{\lambda}$$

- R_n (MJ m⁻² d⁻¹): radiazione netta
- G (MJ m⁻² d⁻¹): flusso di calore nel suolo
- Δ (kPa °C⁻¹) pendenza curva di pressione
$$\Delta = (4098 \cdot e_a) \cdot (T + 237.3)^{-2}$$

e_a = pressione vapore

T = temperatura dell'aria
- γ (kPa °C⁻¹) costante psicrometrica
- λ (MJ kg⁻¹) calore latente di vaporizzazione



Variabili agrometeorologiche

Blaney-Criddle

Agronomia

$$ET_0 = p \cdot (0.46 \cdot T_{med} + 8)$$

- T_{med} (°C): temperatura media giornaliera
- p : percentuale media giornaliera delle ore di luce nell'anno (funzione della latitudine, valori tabulati)



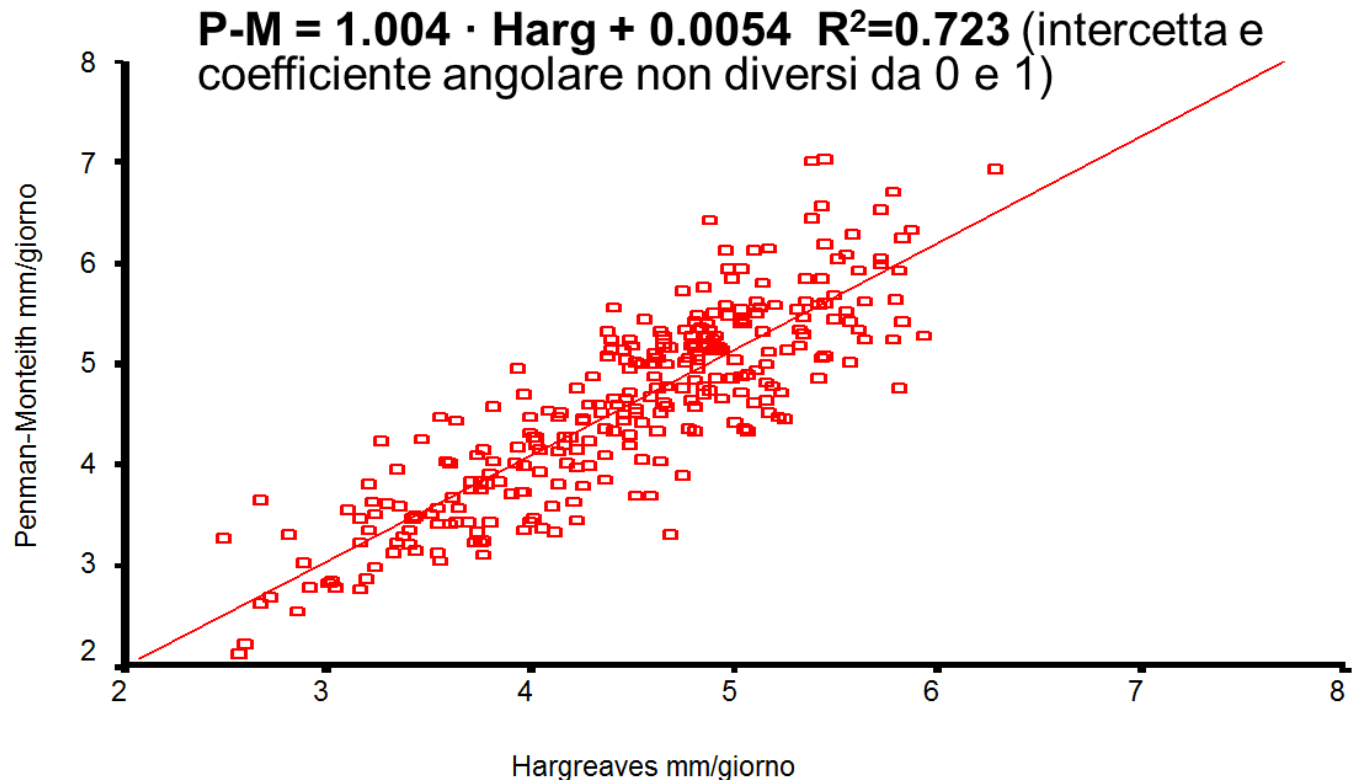
Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione di riferimento

Agronomia

Penman-Monteith vs Hargreaves: dati decadal Campania:

Al test t per dati appaiati, le stime risultano differenti ($P < 0.0005$) ma la differenza media è di 1.3 mm a decade, solo 8 decadi superano 10 mm di differenza.



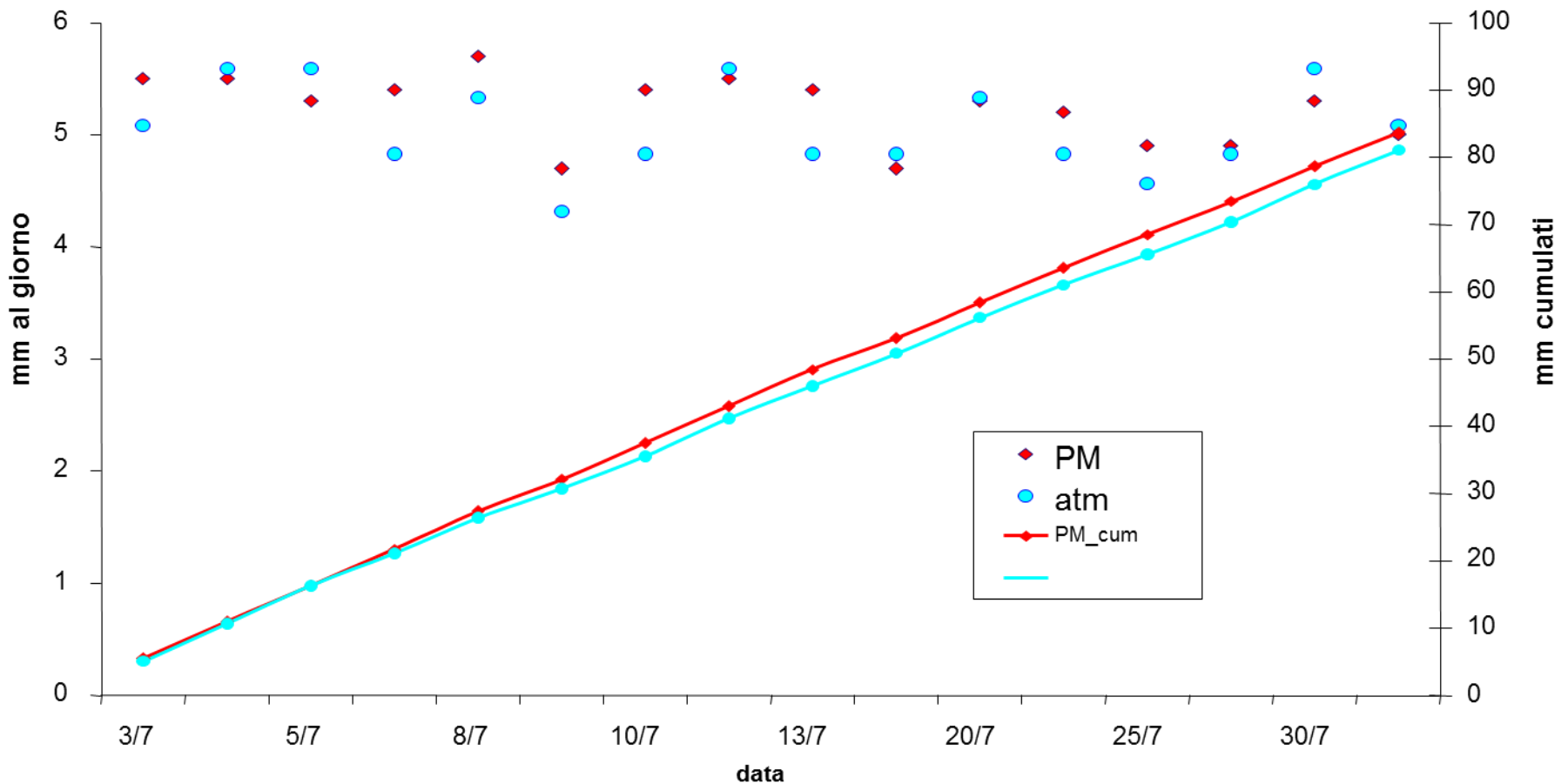


Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione di riferimento

Agronomia

ET_0 da atmometro vs. ET_0 da Penman-Monteith:



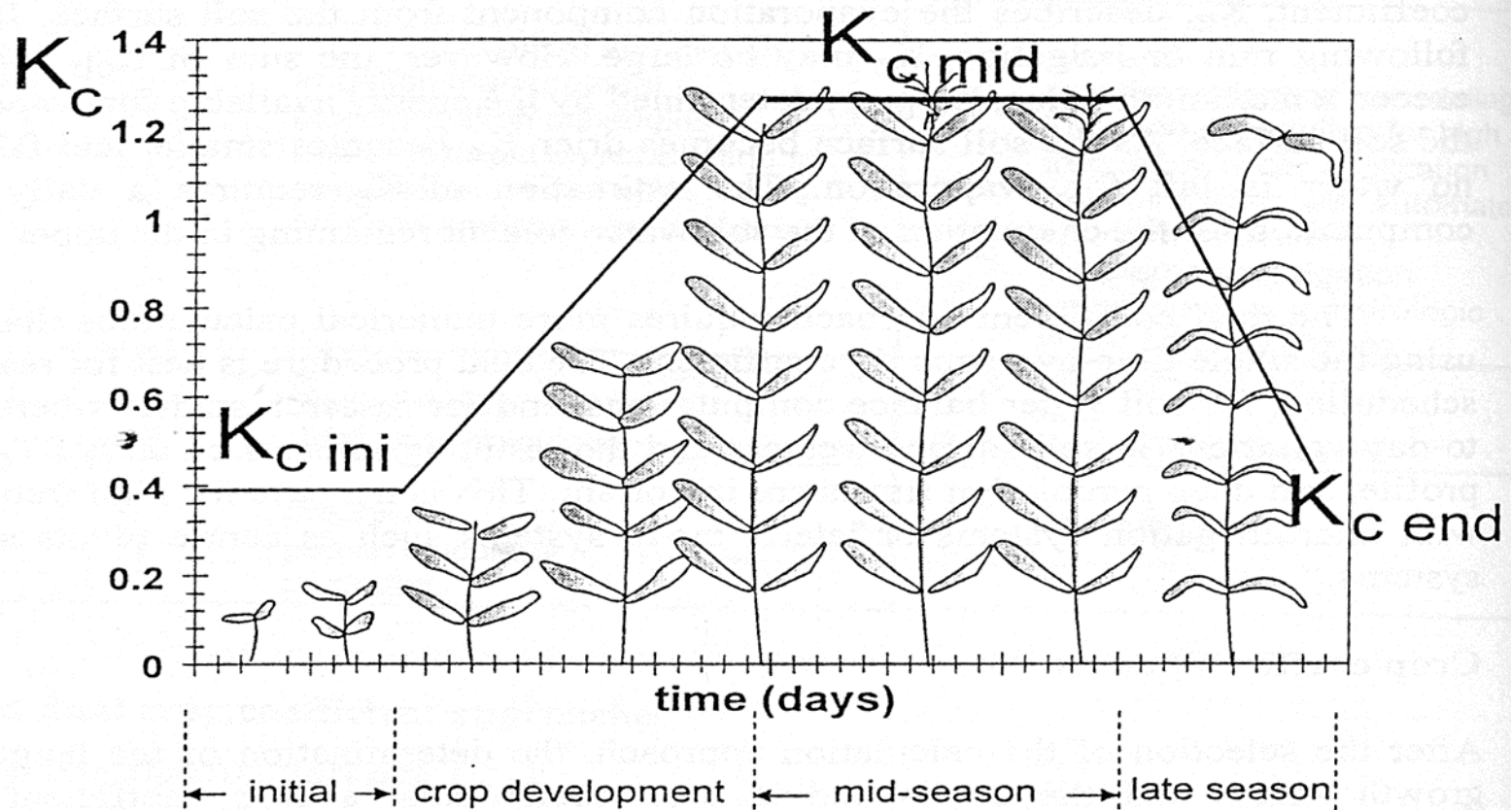


Variabili agrometeorologiche

Coefficiente culturale (K_c)

Agronomia

Generalized crop coefficient curve for the single crop coefficient approach





Variabili agrometeorologiche

Coefficiente culturale (K_c)

Agronomia

Si riconoscono 4 stadi:

1. **iniziale**: germinazione, emergenza, fino a LAI di circa 1 $\rightarrow$ e.g., $K_c=0.3$
2. **di copertura**: da LAI 1 a LAI 3 (copertura completa del suolo) $\rightarrow$ e.g., K_c cresce linearmente da 0.3 a 1
3. **di pieno sviluppo**: e.g., $k_c=1-1.2$ (fioritura)
4. **di maturazione**: formazione di semi e frutti; la senescenza della pianta riduce la traspirazione $\rightarrow$ e.g., da 1 si scende fino a 0.5 – 0.3 (dipende dalle condizioni della pianta al momento della raccolta)

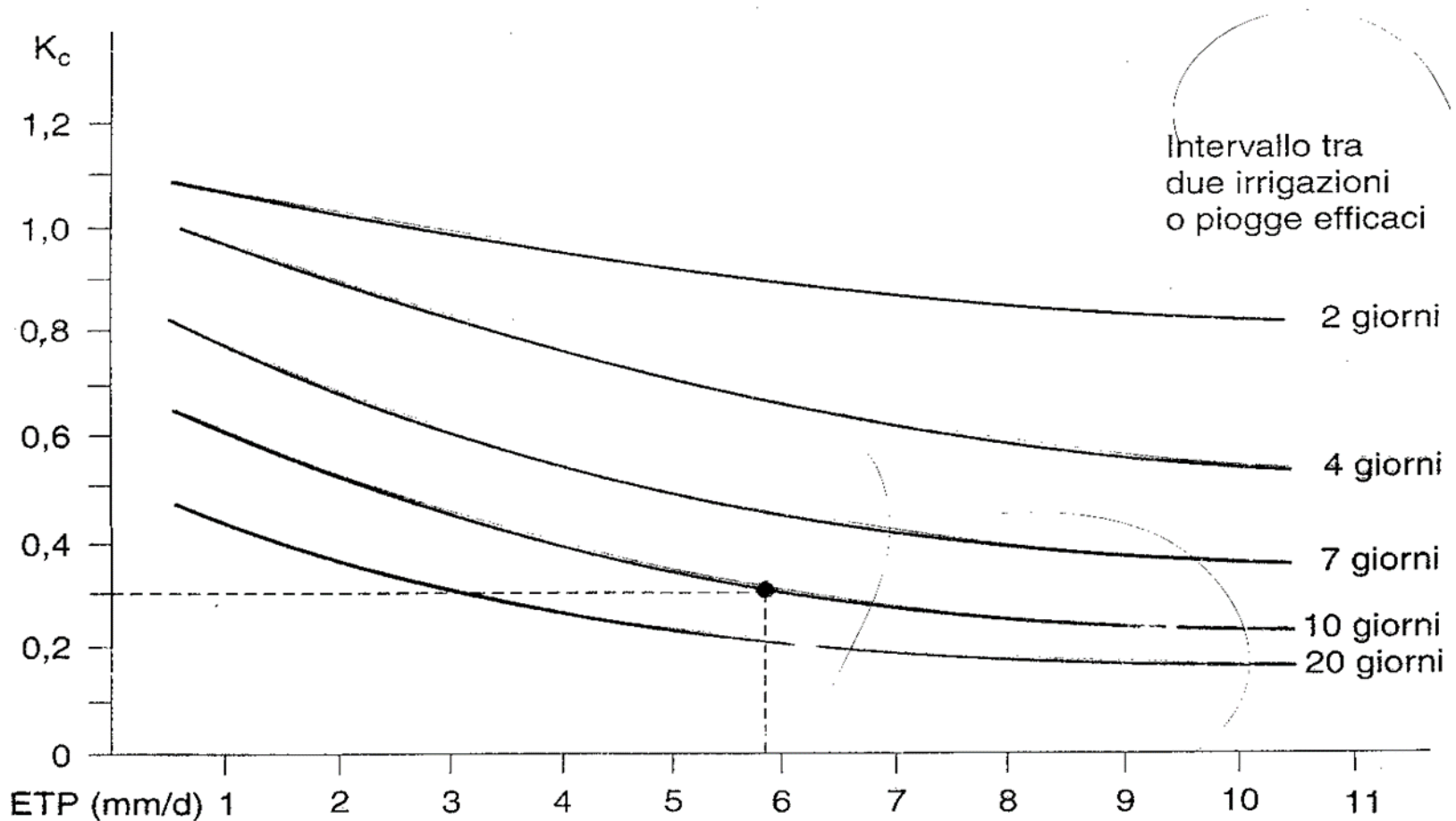


Variabili agrometeorologiche

Coefficiente culturale (K_c)

Agronomia

Coefficiente culturale per terreno nudo $K_{c_{ini}}$:





Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione reale

Agronomia

- **Non sempre** la pianta si trova in **condizioni ottimali**.
- Ogni allontanamento dall'optimum comporta una **riduzione della traspirazione** rispetto a quella massima.
- Si parla di **EVAPOTRASPIRAZIONE REALE**, che è la quantità d'acqua persa da un sistema terreno - coltura in un momento specifico.
- La principale limitazione è la **disponibilità di acqua nel suolo**: se è **scarsa**, la pianta riduce la traspirazione fino a cessarla e appassire.
- Se è **eccessiva** anche, per carenza di ossigeno necessario agli apparati radicali.
- **Secondariamente**, dipende dalle **condizioni fitosanitarie**.

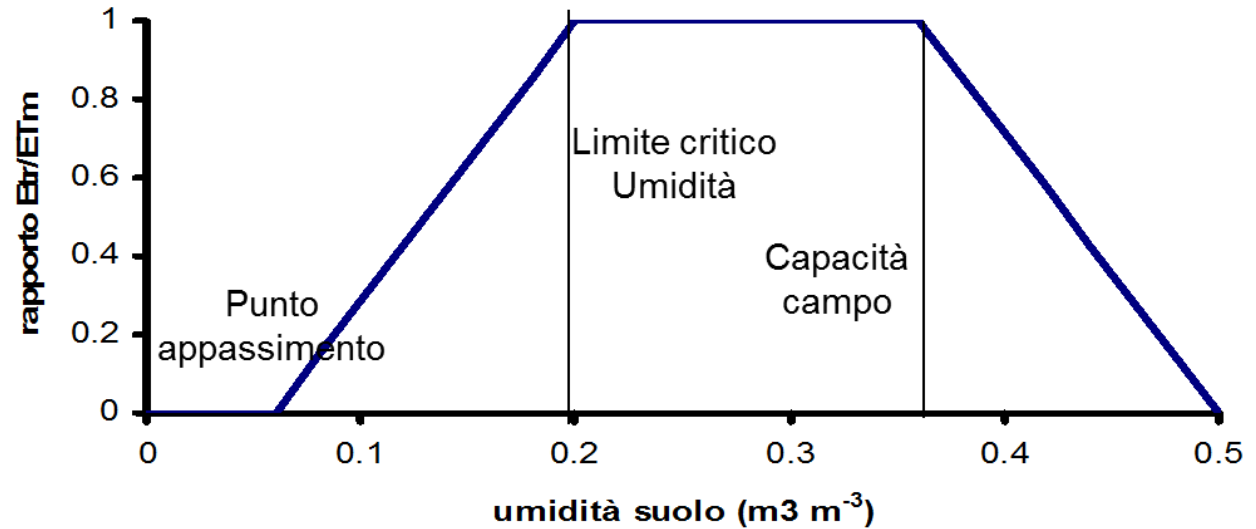


Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione reale

Agronomia

Determinazione
della **riduzione di
assorbimento** di
acqua dovuto a
carenza idrica nel
suolo





Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione reale

Agronomia

EDDY COVARIANCE:

Piccole parcelle d'aria in moto turbolento al di sopra della superficie della coltura trasportano con sé calore, quantità di moto e gas (vapore acqueo e altri gas).

La densità media di flusso di una di queste quantità in un certo tempo è il prodotto tra la velocità verticale del vento e la densità della quantità stessa nell'aria.

Questo flusso sarà non nullo solo se le fluttuazioni di velocità e densità sono correlate tra loro.

Il segno della correlazione specificherà se il flusso è da o verso la superficie.



Variabili agrometeorologiche

Evapotraspirazione reale

Agronomia

EDDY COVARIANCE:

$$F_N = \bar{p}_a \overline{w'c'}$$

Stazione eddy covariance:

- A) Anemometro ultrasuoni
- B) Gas analyser

