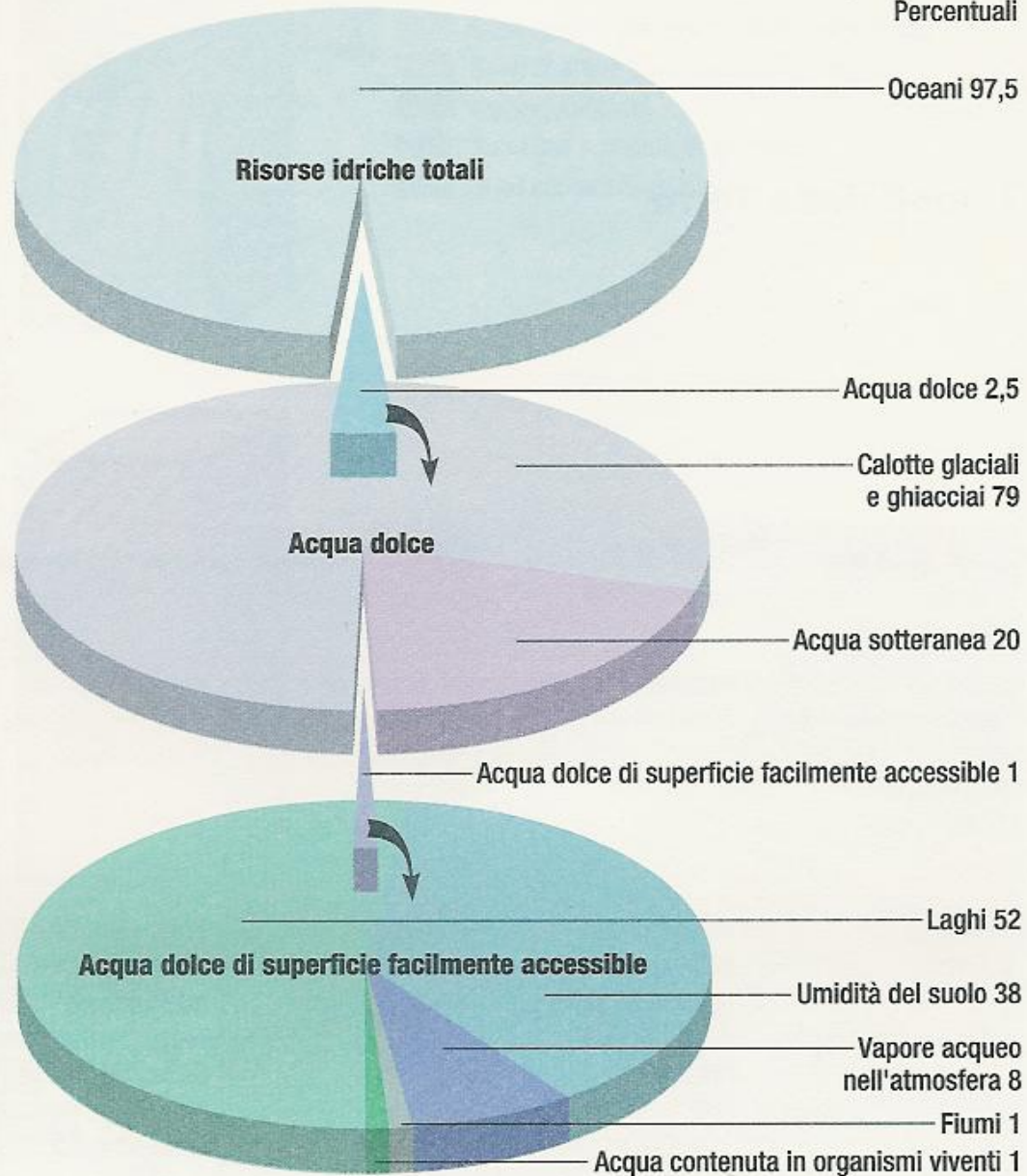


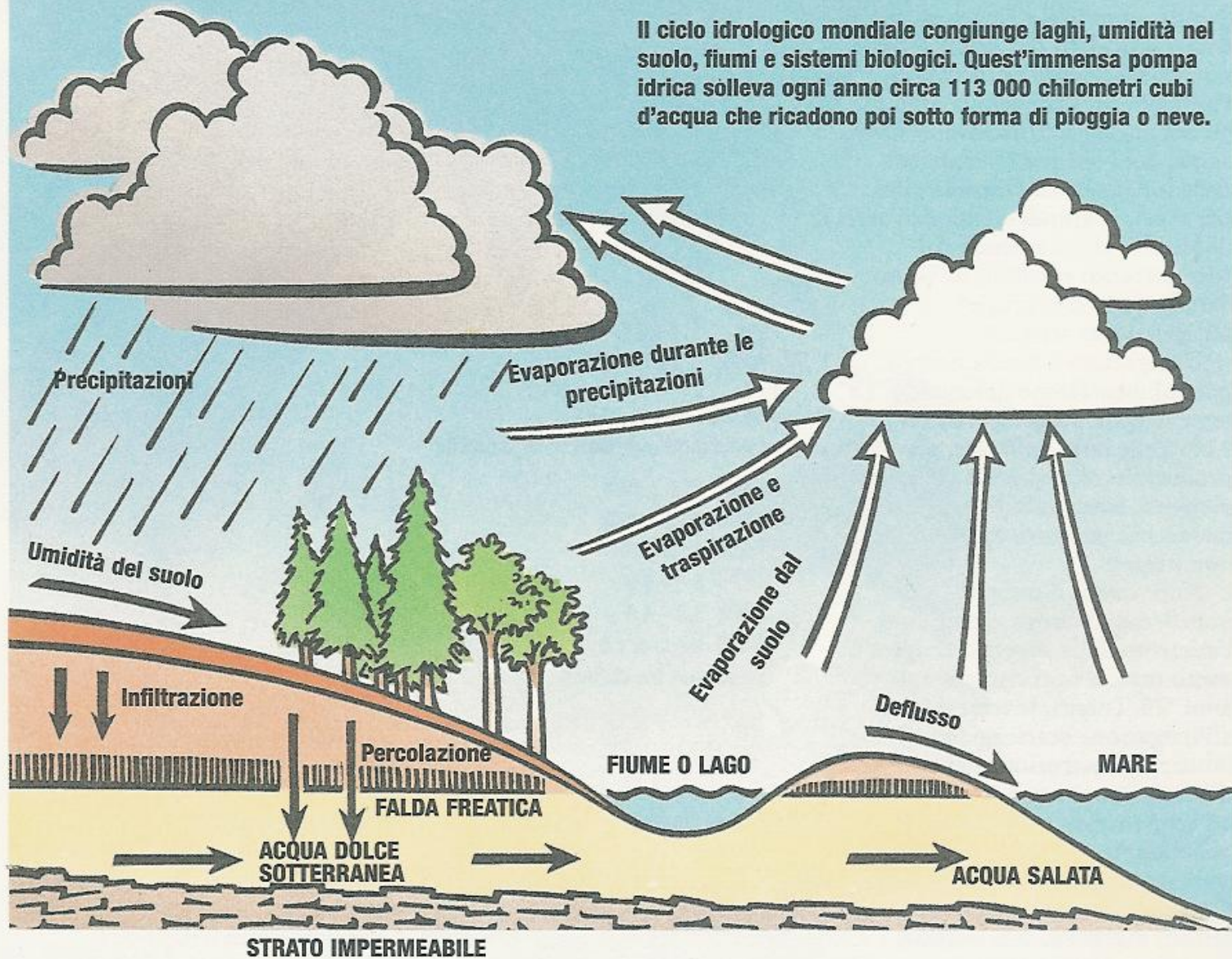
Dov'è l'acqua

Distribuzione dell'acqua nel mondo
Percentuali



Il ciclo idrologico

Il ciclo idrologico mondiale congiunge laghi, umidità nel suolo, fiumi e sistemi biologici. Quest'immensa pompa idrica solleva ogni anno circa 113 000 chilometri cubi d'acqua che ricadono poi sotto forma di pioggia o neve.



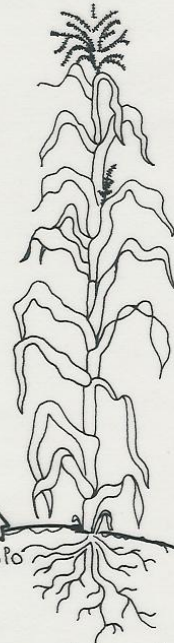


CLIMA

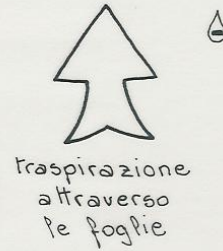
richiesta climatica
insolazione, temperatura
vento, umidità dell'aria

PRECIPITAZIONI

bisogni in acqua
della coltura



PIANTE



traspirazione
attraverso
le foglie

scelfamento
superficiale

suolo

evaporazione
al suolo

assorbimento
radicale

Ritenzione = riserva
di acqua del suolo

drenaggio
in profondità

risalita capillare
verso le zone
sfruttate dalle radici

Handwritten signature

BILANCIO IDRICO

$$P + F + I = ET + Perc + R \pm \Delta RU$$

P = pioggia

F = apporti da falda

I = irrigazione

ET = evapotraspirazione

Perc = percolazione profonda

R = ruscellamento superficiale

ΔRU = variazioni riserva suolo

Evapotraspirazione (ET)

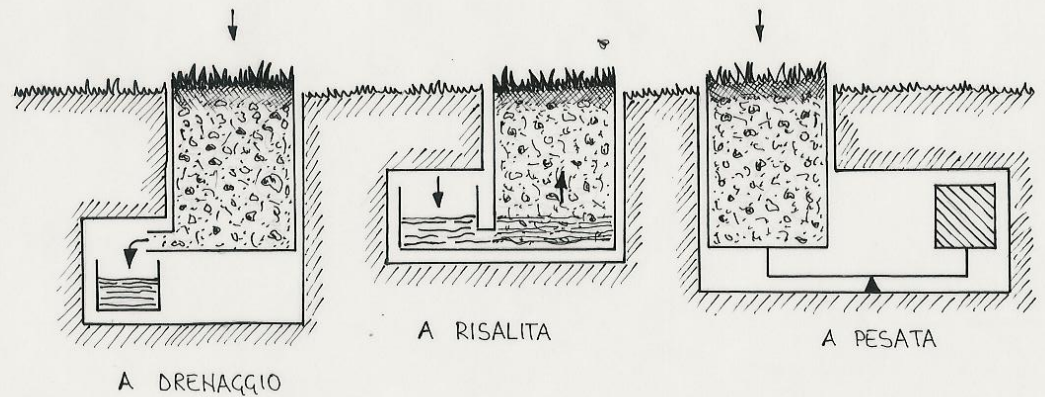
- *Perdita di acqua dalla superficie all'atmosfera attraverso vaporizzazione di acqua liquida.* Il processo include l'acqua evaporata direttamente dalla superficie del suolo nudo o ricoperto da vegetazione e quella traspirata dalle colture. Quantificare l'ET ha implicazioni in molti campi: produzione vegetale, gestione delle risorse idriche, valutazione ambientale.
- Affinchè il processo di evapotraspirazione si instauri devono sussistere disponibilità di acqua e di energia; perchè esso continui deve essere rimosso il vapore dall'aria. In sostanza: c'è perdita d'acqua finchè c'è domanda atmosferica e disponibilità di acqua.
- La prima è controllata essenzialmente da fattori meteorologici (energia, deficit di saturazione dell'aria, vento), la seconda è regolata dal sistema pianta-terreno.

evapotraspirazione

- Riferimento (ET_O): condizioni ambientali, rifornimento idrico ottimale
- Effettiva (ET_e): coltura, rifornimento idrico disponibile
- Massima (ET_m): coltura, rifornimento idrico ottimale

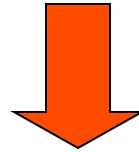
Quantificare ET: 1 - misure

- bilancio idrico
- m. micrometeorologici
- m. ecofisiologici



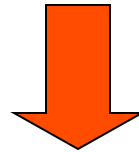
Quantificare ET: 2 - stime

- Formule di correlazione climatica
 - Metodi combinatori

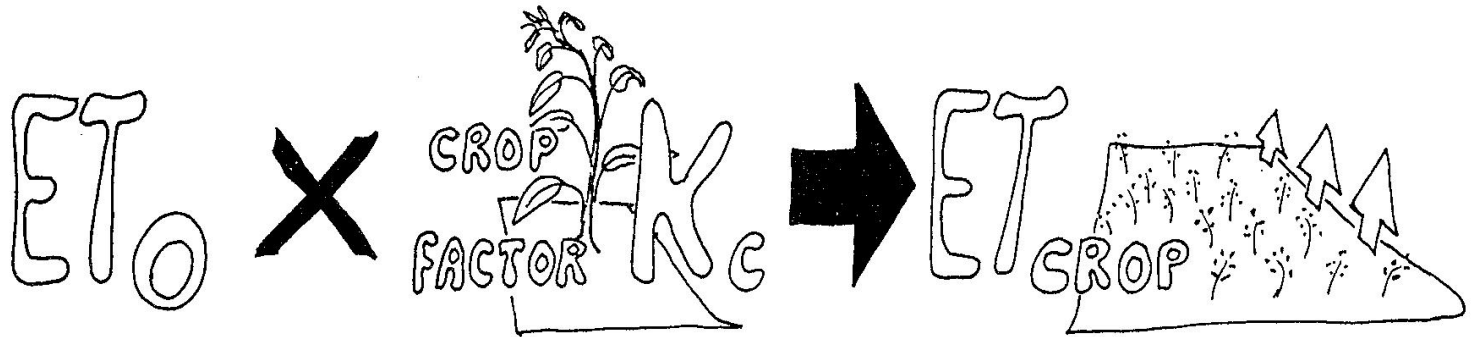


ET_0

K_c



ET_M



ET₀ PENMAN MONTIETH

"il tasso di evapotraspirazione di una ipotetica coltura caratterizzata da valori standard di altezza (12 cm), resistenza della canopy (70 s m⁻¹) ed albedo (0.23) stimato attraverso la PMeq, che simula l'evapotraspirazione di una coltura prativa di altezza uniforme, in fase di attivo accrescimento, completamente ombreggiante il terreno e in condizioni non limitanti di rifornimento idrico".

Inserendo opportuni valori di riferimento nella formula, e accettando l'ipotesi che le misurazioni di temperatura, umidità e velocità del vento vengono effettuate all'altezza standard di 2 m, l'evapotraspirazione di riferimento (mm d⁻¹) e' ricavabile attraverso l'espressione:

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot [e_a^*(T) - e_a]}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

Formula di Hargreaves

$$ET_0 = R_0 * 0.0023 * (T_{med} + 17.8) \sqrt{(T_{max} - T_{min})}$$

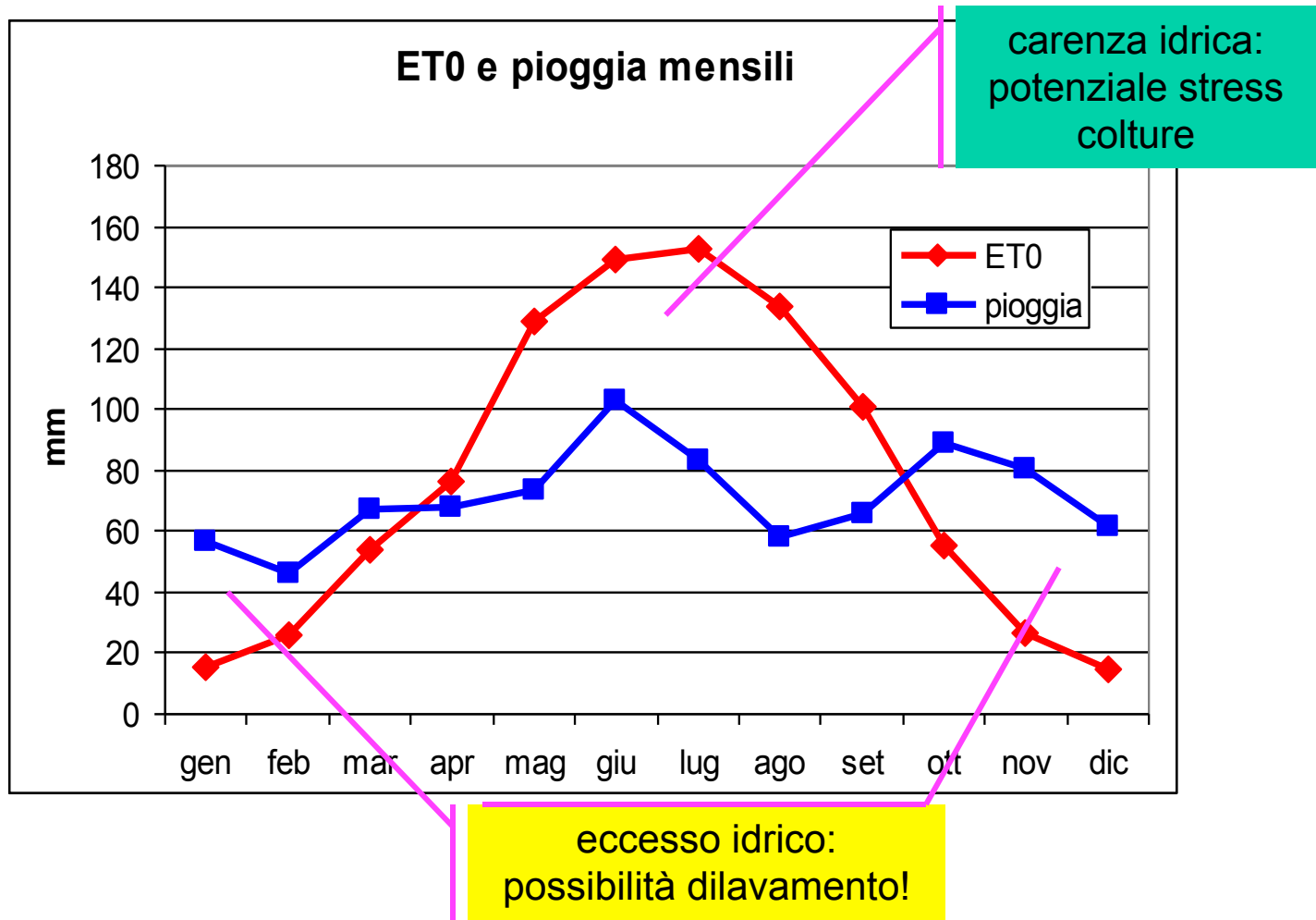
Dove: R_0 (mm d⁻¹)

| lat | G | F | M | A | M | G | L | A | S | O | N | D |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 48° | 4.3 | 6.6 | 9.8 | 13.0 | 15.9 | 17.2 | 16.5 | 14.3 | 11.2 | 7.8 | 5.0 | 3.7 |
| 44° | 5.3 | 7.6 | 10.6 | 13.7 | 16.1 | 17.2 | 16.6 | 14.7 | 11.9 | 8.7 | 6.0 | 4.7 |
| 40° | 6.4 | 8.6 | 11.4 | 14.3 | 16.4 | 17.3 | 16.7 | 15.2 | 12.5 | 9.6 | 7.0 | 5.7 |
| 36° | 7.4 | 9.4 | 12.1 | 14.7 | 16.4 | 17.2 | 16.7 | 15.4 | 13.1 | 10.6 | 8.0 | 6.6 |
| 32° | 8.3 | 10.2 | 12.8 | 15.0 | 16.5 | 17.0 | 16.8 | 15.6 | 13.6 | 11.2 | 9.0 | 7.8 |
| 28° | 9.3 | 11.1 | 13.4 | 15.3 | 16.5 | 16.8 | 16.7 | 15.7 | 14.1 | 12.0 | 9.9 | 8.8 |
| 24° | 10.2 | 11.9 | 13.9 | 15.4 | 16.4 | 16.6 | 16.5 | 15.8 | 14.5 | 12.6 | 10.7 | 9.7 |
| 20° | 11.2 | 12.7 | 14.4 | 15.6 | 16.3 | 16.4 | 16.3 | 15.9 | 14.8 | 13.3 | 11.6 | 10.7 |
| 16° | 12.0 | 13.3 | 14.7 | 15.6 | 16.0 | 15.9 | 15.9 | 15.7 | 15.0 | 13.9 | 12.4 | 11.6 |
| 12° | 12.8 | 13.9 | 15.1 | 15.7 | 15.7 | 15.5 | 15.5 | 15.6 | 15.2 | 14.4 | 13.2 | 12.5 |
| 8° | 13.6 | 14.5 | 15.3 | 15.6 | 15.3 | 15.0 | 15.1 | 15.4 | 15.3 | 14.8 | 13.9 | 13.3 |
| 4° | 14.3 | 15.0 | 15.5 | 15.5 | 14.9 | 14.4 | 14.6 | 15.1 | 15.1 | 15.1 | 14.5 | 14.1 |
| 0° | 15.0 | 15.5 | 15.7 | 15.3 | 14.4 | 13.9 | 14.1 | 14.8 | 15.3 | 15.4 | 15.1 | 14.8 |

Esempi di calcolo

| | T max | Tmin | R0 (45°N) | ET0 d-1 | ET0 m | pioggia | ET0 cumulati | pioggia |
|-----|-------|------|--------------|---------|-------|---------|-----------------|---------|
| gen | 4.8 | 0.5 | 5.1 | 0.5 | 15 | 57 | 15 | 57 |
| feb | 8.0 | 2.4 | 7.3 | 0.9 | 26 | 46 | 41 | 103 |
| mar | 12.3 | 4.8 | 10.4 | 1.7 | 54 | 67 | 95 | 170 |
| apr | 16.4 | 9.2 | 13.5 | 2.5 | 76 | 68 | 171 | 239 |
| mag | 21.6 | 10.5 | 16 | 4.1 | 129 | 74 | 300 | 312 |
| giu | 25.2 | 14.0 | 17.2 | 5.0 | 149 | 103 | 449 | 415 |
| lug | 28.0 | 18.0 | 16.6 | 4.9 | 153 | 83 | 601 | 498 |
| ago | 27.6 | 17.5 | 14.6 | 4.3 | 134 | 58 | 735 | 556 |
| set | 23.7 | 11.1 | 11.7 | 3.4 | 101 | 66 | 836 | 622 |
| ott | 16.7 | 7.5 | 8.6 | 1.8 | 56 | 89 | 892 | 711 |
| nov | 10.5 | 3.1 | 5.7 | 0.9 | 26 | 81 | 918 | 792 |
| dic | 5.5 | 0.7 | 4.4 | 0.5 | 14 | 61 | 932 | 853 |

Confronto pioggia ETO



Coefficienti colturali (Kc)

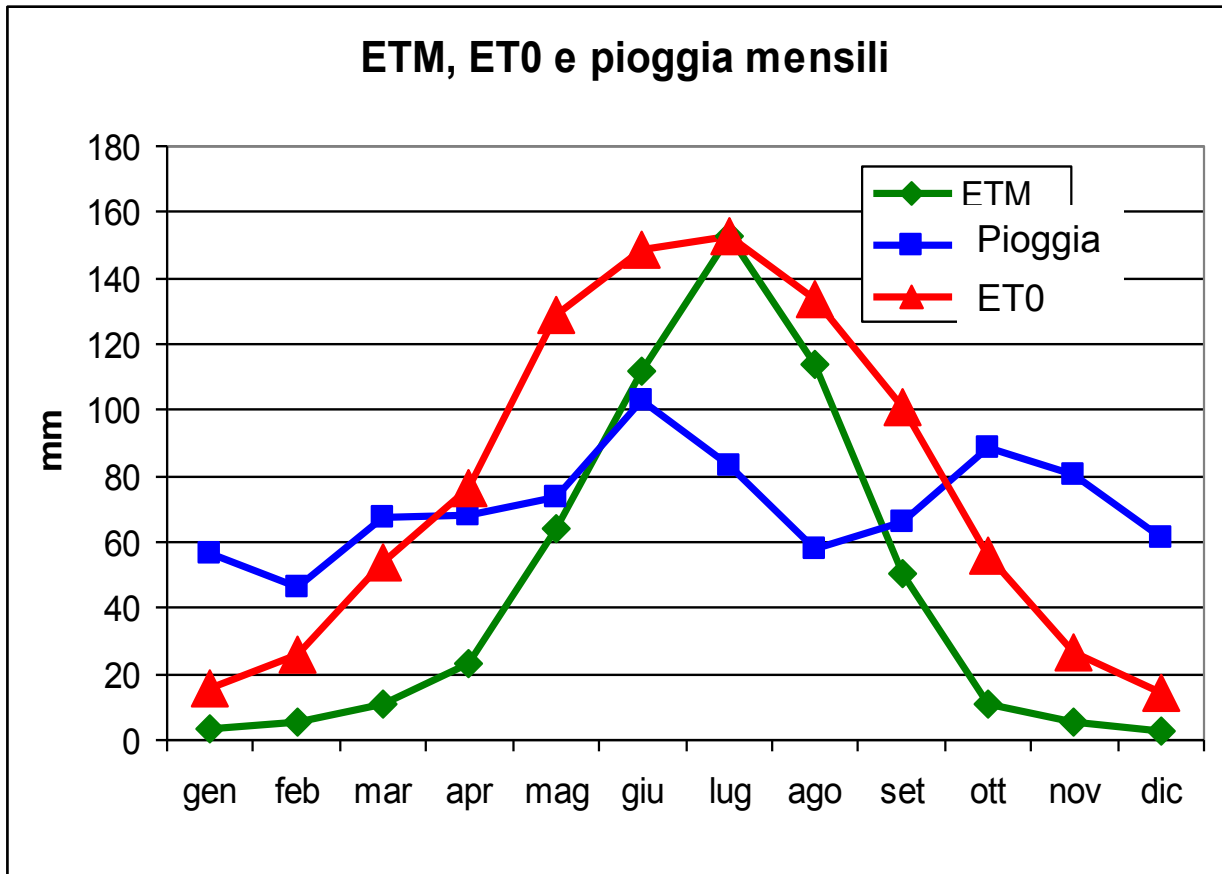
- Valori che consentono di stimare la ETM di una coltura, nota la ETo: $ETM = ETo * Kc$
- Variano da specie a specie e, per una data specie, con lo stadio di sviluppo

| COLTURA | EMERGENZA- ATTECCHI- MENTO | ACCRESCI- MENTO VEGETATIVO | FIORITURA | FORMAZIONE PRODOTTO | MATURAZIONE | MEDIA CICLO |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|------------------------|-------------|----------------|
| Barbabietola (1) | 0.4-0.5 | 0.75-0.85 | 1.05-1.2 | 0.9-1.0 | 0.6-0.7 | 0.8-0.9 |
| Erba medica | 0.3-0.4 | - | - | - | 1.05-1.2 | 0.85-1.05 |
| Fagiolo | 0.3-0.4 | 0.65-0.75 | 0.95-1.05 | 0.9-0.95 | 0.85-0.95 | 0.85-0.9 |
| Girasole | 0.3-0.4 | 0.7-0.8 | 1.05-1.2 | 0.7-0.8 | 0.35-0.45 | 0.75-0.85 |
| Mais | 0.3-0.5 | 0.7-0.9 | 1.05-1.2 | 0.8-0.95 | 0.55-0.6 | 0.75-0.9 |
| Melone | 0.4-0.5 | 0.7-0.8 | 0.95-1.05 | 0.8-0.9 | 0.65-0.75 | 0.75-0.85 |
| Patata (1) | 0.4-0.45 | 0.7-0.8 | 1.05-1.2 | 0.85-0.95 | 0.7-0.75 | 0.75-0.9 |
| Pisello | 0.4-0.5 | 0.7-0.85 | 1.05-1.2 | 1.0-1.15 | 0.95-1.1 | 0.8-0.95 |
| Pomodoro | 0.4-0.5 | 0.7-0.8 | 1.05-1.25 | 0.8-0.95 | 0.6-0.65 | 0.75-0.9 |
| Riso | 1.1-1.15 | 1.1-1.15 | 1.1-1.3 | 0.95-1.05 | 0.95-1.05 | 1.05-1.2 |
| Soia | 0.3-0.4 | 0.7-0.8 | 1.0-1.15 | 0.7-0.8 | 0.4-0.5 | 0.75-0.9 |
| Sorgo | 0.3-0.4 | 0.7-0.75 | 1.0-1.15 | 0.75-0.8 | 0.5-0.55 | 0.75-0.85 |
| Tabacco | 0.3-0.4 | 0.7-0.8 | 1.0-1.2 | 0.9-1.0 | 0.75-0.85 | 0.85-0.95 |

Bilancio idrico colturale

| | ET0 m | Kc | ETE | ETE cumulati | pioggia | pioggia cumulati |
|-----|-------|------|-------|-----------------|---------|---------------------|
| gen | 15 | 0.2 | 3.1 | 2 | 57 | 57 |
| feb | 26 | 0.2 | 5.1 | 7 | 46 | 103 |
| mar | 54 | 0.2 | 10.7 | 18 | 67 | 170 |
| apr | 76 | 0.3 | 22.9 | 41 | 68 | 239 |
| mag | 129 | 0.5 | 64.3 | 105 | 74 | 312 |
| giu | 149 | 0.75 | 111.7 | 217 | 103 | 415 |
| lug | 153 | 1 | 152.5 | 369 | 83 | 498 |
| ago | 134 | 0.85 | 113.7 | 483 | 58 | 556 |
| set | 101 | 0.5 | 50.5 | 533 | 66 | 622 |
| ott | 56 | 0.2 | 11.1 | 544 | 89 | 711 |
| nov | 26 | 0.2 | 5.3 | 550 | 81 | 792 |
| dic | 14 | 0.2 | 2.9 | 553 | 61 | 853 |

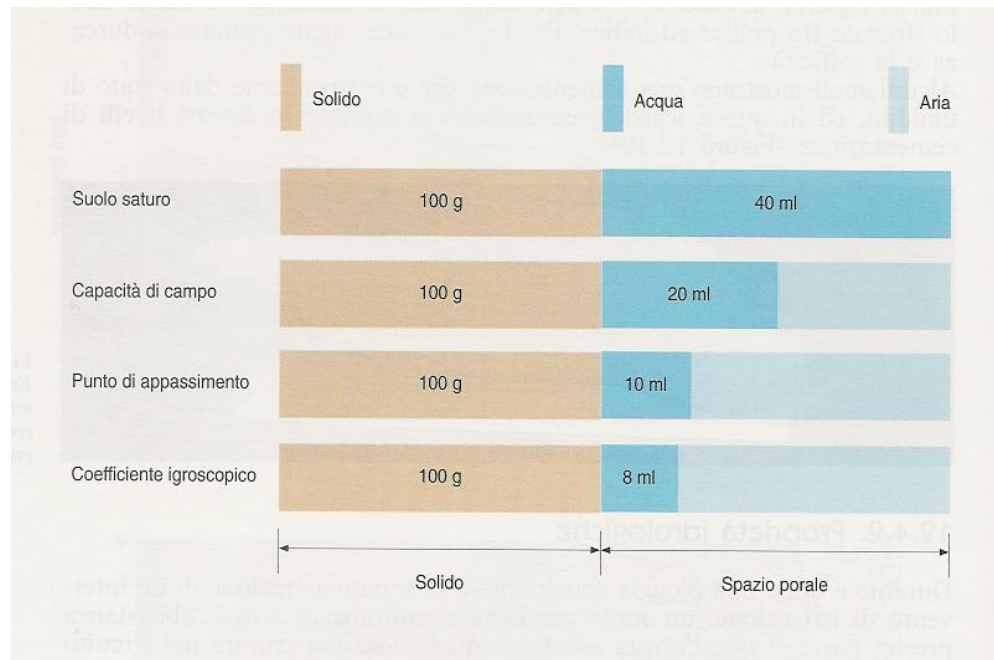
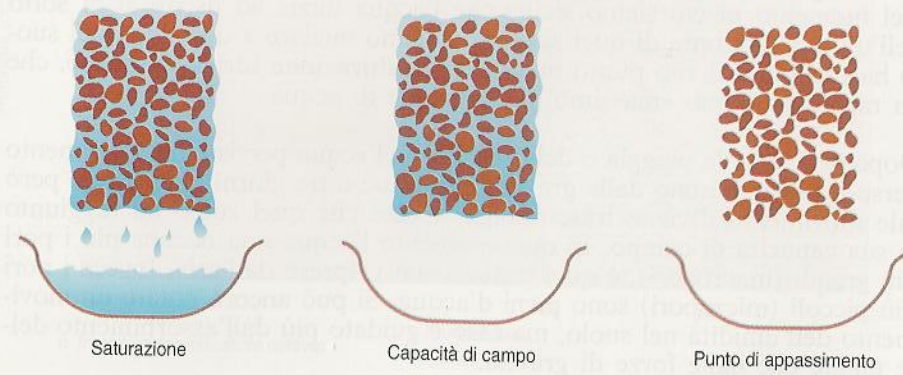
Bilancio idrico colturale: andamenti



Rapporti acqua / suolo

⊙ > 20 μ

⊙ < 20 μ



SUOLO RECIPIENTE DI ACQUA

- 34 -

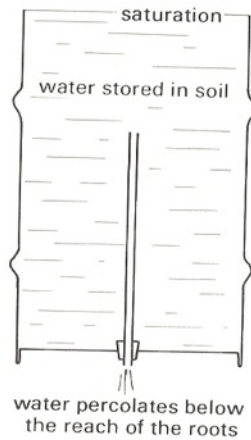


Fig. 38a Saturation

C.I.M.

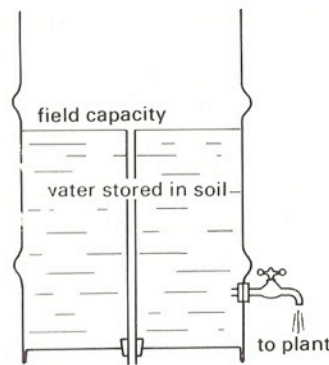


Fig. 38b Field capacity

C.C.

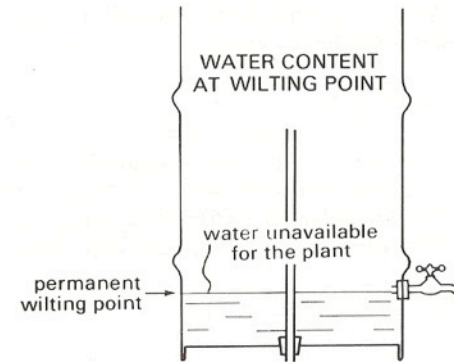
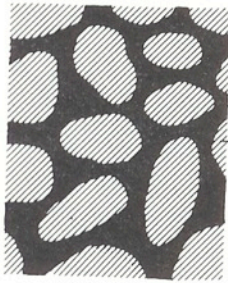


Fig. 38c Permanent wilting point

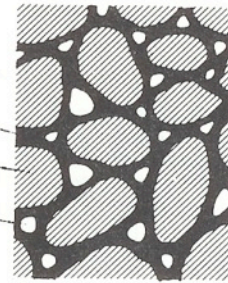
C.A.

saturation



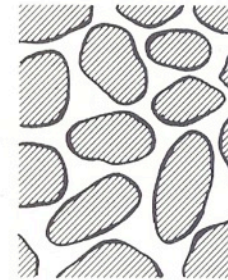
a)

field capacity

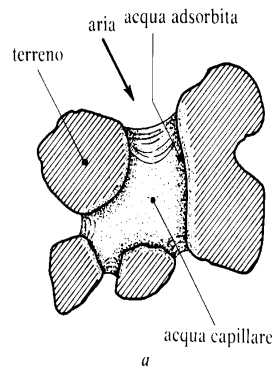


b)

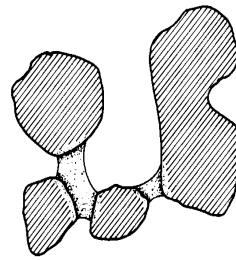
permanent wilting point



c)



a

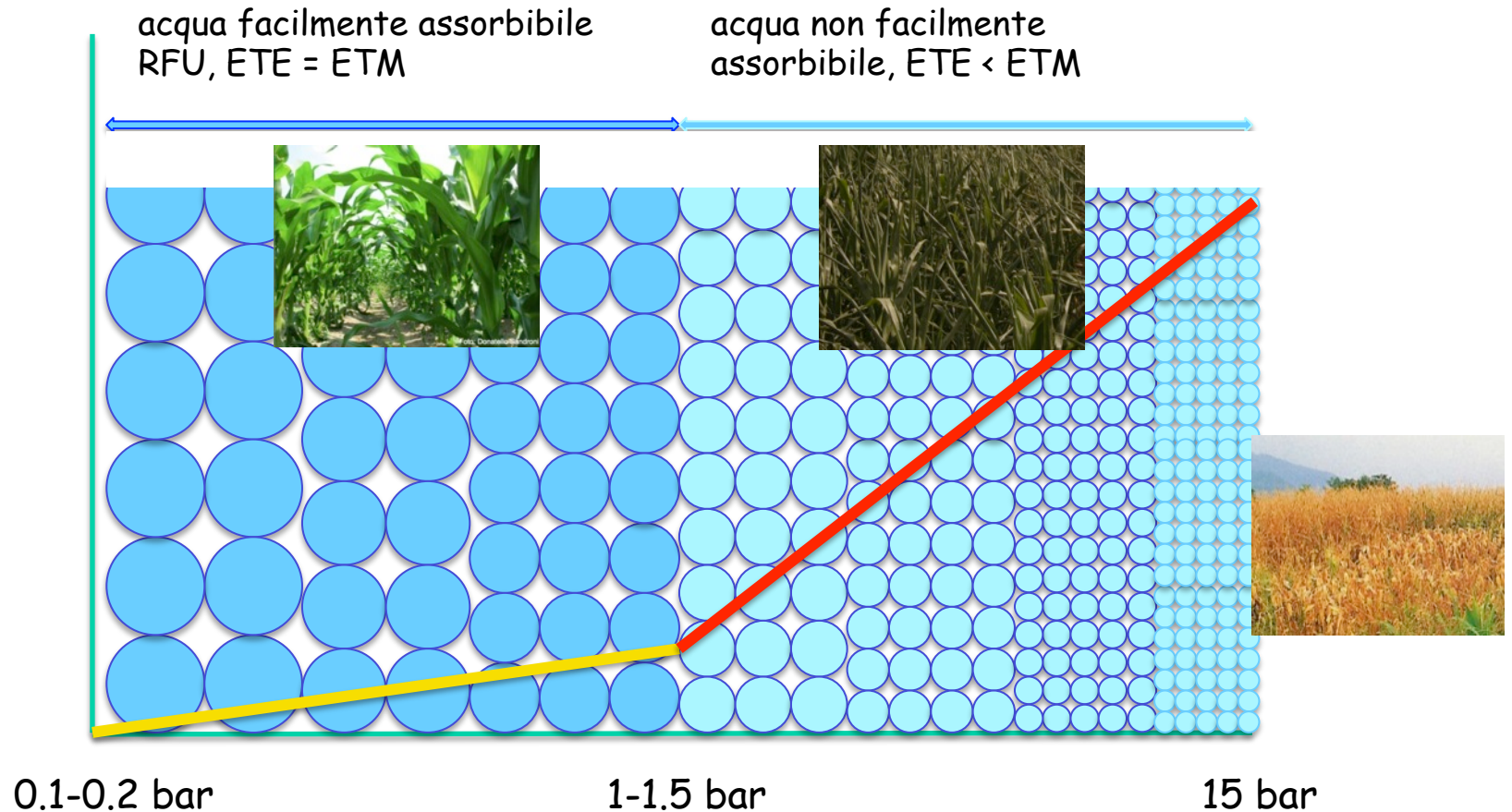


b

Potenziale matriciale ψ_{pm}

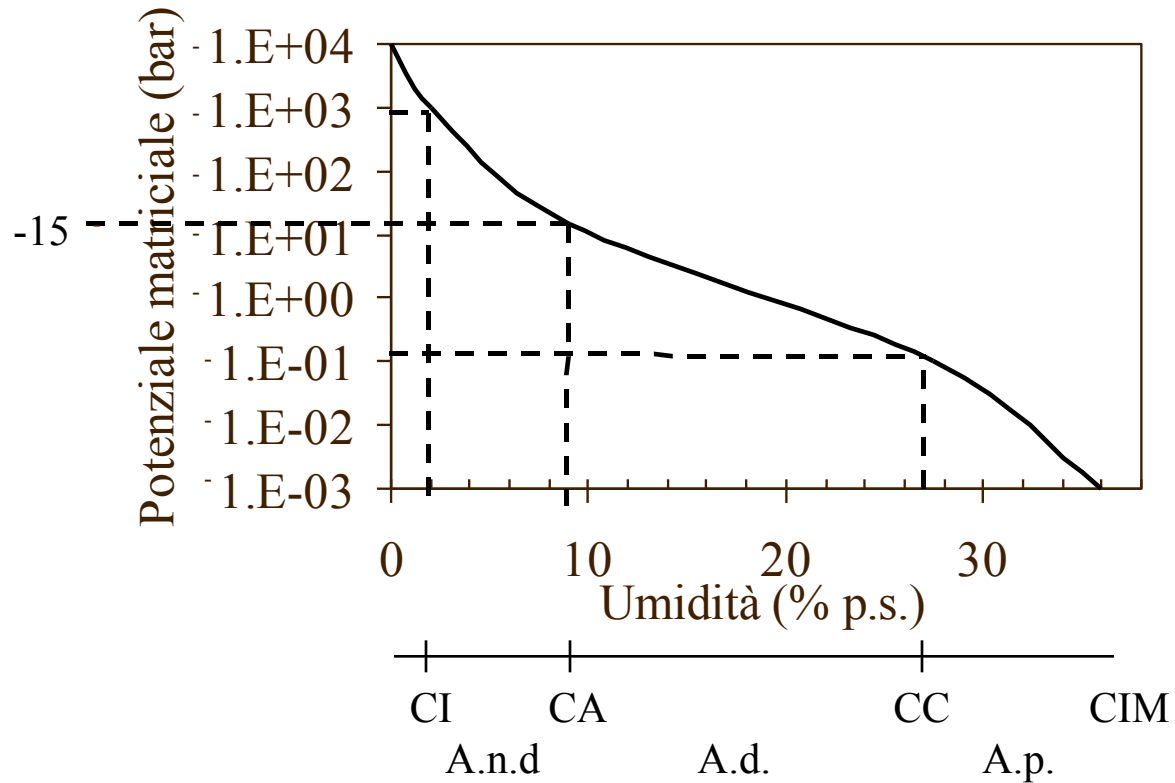
deriva da: • imbibizione colloidi
• capillarità

l'assorbimento idrico nel campo dell'acqua disponibile

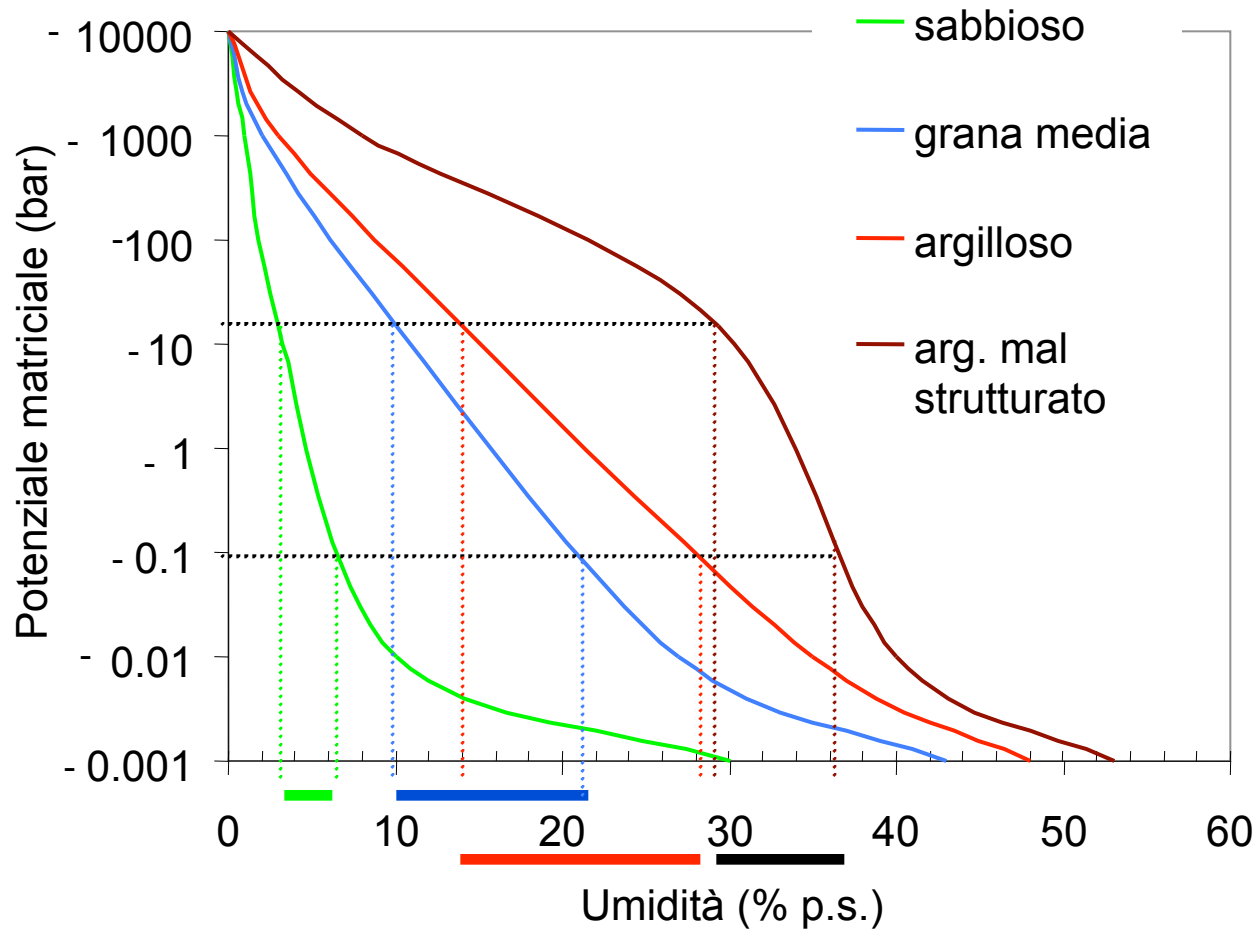




Rapporto umidità - potenziale matriciale



Esempi di curve di ritenzione idrica



Le costanti idrologiche

- Capacità Idrica Massima (CIM): umidità del suolo (% sul p.s.) presente quando tutta la porosità è riempita d'acqua. L'acqua è soggetta alla forza di gravità → percolazione
- Capacità di campo (CC): umidità del suolo (% sul p.s.) presente quando i macropori sono vuoti ma la microporosità è completamente riempita di acqua. L'acqua non è più soggetta alla gravità, il processo di percolazione termina e il terreno può perdere umidità per effetto della evapotraspirazione
- Coefficiente di avvizzimento (CA): umidità del suolo (% sul p.s.) presente quando tutta la porosità è vuota, non disponibile per le piante, corrispondente all'acqua di costituzione della componente solida o trattenuta negli interstizi dei colloidi argillosi

Le piante e la tensione dell'acqua

- Il suolo contiene l'acqua nei pori
 - Macropori, $\ominus > 20 \mu$, non trattengono l'acqua che è quindi soggetta alla forza di gravità
 - Micropori, $\ominus < 20 \mu$, esercitano capillarità che sottrae l'acqua alla gravità
- Alla CIM le piante devono esercitare una suzione trascurabile per assorbire acqua
- Alla CC le piante esercitano una suzione (depressione) pari a 0,1-0,2 bar (1-2 m di colonna d'acqua)
- Al CA le piante esercitano una suzione di 15 bar

significato delle frazioni di umidità del suolo

- Intervallo di umidità fra CIM e CC: **acqua di percolazione**
- Intervallo di umidità fra CC (0,1 bar) e CA (15 bar): **acqua disponibile**
 - circa la metà dell'acqua disponibile è trattenuta con tensioni fra 0,1 - 1 bar!!!
- Umidità inferiore a CA: **acqua residuale, non disponibile**

Capacità di assorbimento dell'acqua da parte delle piante

- le piante assorbono l'acqua disponibile
- diminuendo l'umidità del suolo aumenta la tensione con cui l'acqua è trattenuta
- di conseguenza le piante devono esercitare suzione crescente per l'assorbimento
- le piante iniziano a mettere in atto strategie di controllo della traspirazione (controllo dello stress idrico)
- Lo stress idrico determina rallentamento delle funzioni metaboliche e della crescita
- LA FRAZIONE DI ACQUA UTILIZZABILE SENZA CHE LA PIANTA MANIFESTI STRESS E' DEFINITA ACQUA FACILMENTE DISPONIBILE
- lo stress idrico determina un calo di produzione, ma rappresenta una situazione di sofferenza reversibile
- se viene raggiunta l'umidità del CA la pianta muore

Rapporti acqua/pianta/suolo

- la quantità di acqua che una pianta può assorbire dal terreno dipende da:
 - Tensione che la pianta è in grado di esercitare prima di manifestare sintomi di stress
 - Profondità delle radici
- **RISERVA UTILIZZABILE (RU)**: quantità di acqua contenuta in una certa profondità fra *CC* e *CA*
- **RISERVA FACILMENTE UTILIZZABILE (RFU)**: frazione della RU che le piante sanno assorbire senza subire stress idrico
- quando nel suolo c'è RFU la pianta è in ETM

LA RISERVA UTILIZZABILE DEL TERRENO DIPENDE DA:

- CARATTERISTICHE DEL TERRENO
- PROFONDITA' DELLE RADICI

$$R_u = [p * 10000 (c.c.-c.a.)/100] * \phi$$

(m³/ha)

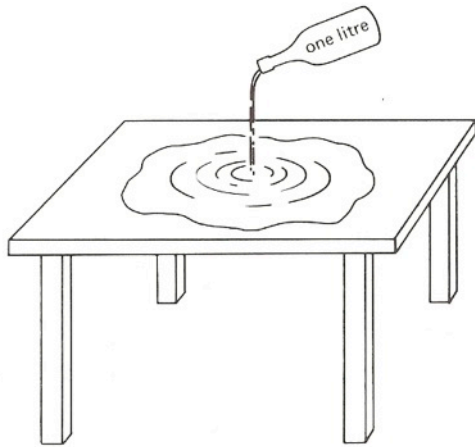
dove:

p = profondità (m)

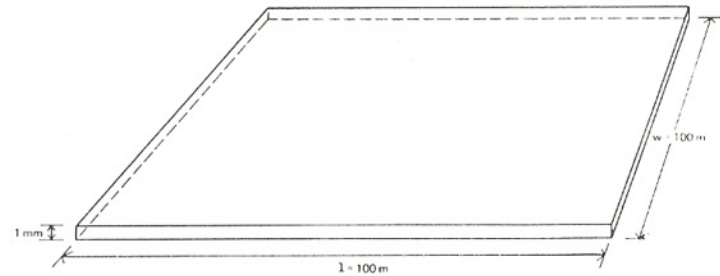
c.c., c.a. = capacità di campo e coeff. di avvizzimento

ϕ = densità apparente t/m³

MISURARE L'ACQUA



1 L su 1 m² ⇒ 1mm



1 mm su 1 ha ⇒ 10 m³

Caratteristiche idrologiche terreni

| terreno | CIM (%) | CC (%) | CA (%) | ϕ (t/m ³) |
|-------------------|---------|--------|--------|----------------------------|
| Molto sabbioso | 25 | 10 | 4 | 1.6 |
| Medio impasto | 40 | 26 | 10 | 1.4 |
| Argill., ben str. | 45 | 35 | 15 | 1.3 |
| Argill., mal str. | 40 | 30 | 20 | 1.4 |

Riserva Facilmente Utilizzabile

- quota di RU che può essere assorbita dalla coltura senza che manifesti sintomi di carenza idrica
- in presenza di RFU, $E_{Te} = E_{tm}$
- $Z = RFU/RU$
- dipende da:
 - coltura (profondità radici)
 - stadio fenologico

Gruppi di colture in relazione capacità di assorbimento idrico

- **Elevata:** sorgo, erba medica, barbabietola, girasole, olivo, vite, agrumi
- **Media:** mais, soia, pomodoro, foraggiere
- **Bassa:** orticole, fruttiferi, pisello, fagiolo

Z (RFU/RU) per gruppi di colture

| Capacità assorbimento idrico | Prime fasi | Accrescim. vegetativo | Fioritura allegagione | Maturazione |
|------------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| ELEVATA | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.8 |
| MEDIA | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.6 |
| BASSA | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.5 |

Caratteristiche colture

| coltura | Prof. radici (m) | Tensione (bar) |
|--------------|------------------|----------------|
| Mais | 0.6-1.6 | 0.5-1.3 |
| Barbabietola | 0.7-1.5 | 1.0-1.8 |
| Soia | 0.6-1.3 | 0.5-1.3 |
| Girasole | 0.7-1.5 | 0.9-1.8 |
| Sorgo | 0.7-1.8 | 0.9-1.8 |
| Medica | 0.9-1.8 | 0.8-1.5 |
| Patata | 0.3-0.6 | 0.3-0.7 |
| Pomodoro | 0.4-1.2 | 0.5-1.5 |
| Fragola | 0.2-0.3 | 0.2-0.5 |

RU e RFU di terreni diversi colture E

| terreno | RU_{max} (mm/m) | RFU_{max} (mm/ m) |
|-------------------------------|----------------------|------------------------|
| Sciolto | 100-120 | 50-60 |
| Grana media | 200-250 | 100-125 |
| Argilloso, ben strutturato | 300-350 | 150-175 |
| Argilloso, mal strutturato | 150-200 | 75-100 |
| Argilloso-limoso | 250-300 | 125-150 |

Esempio di calcolo

- Calcolo di RFU per:
 - Tipo terreno
 - Coltura
 - Fase fenologica

esercizio

- In un appezzamento a tessitura media investito a mais (profondità radici = 50 cm), si sia misurata, all'inizio di luglio una RU pari a 140 mm/m.
- Con i seguenti dati meteo: T media delle max = 29 °C, media delle min 19°C, pioggia mensile 120 mm
- Valutare se nel mese vi sarà fabbisogno di irrigazione o percolazione e calcolarne i rispettivi volumi

esercizio

- In un terreno argilloso dopo la raccolta del mais (inizio ottobre) si sia misurata una RU pari a 120 mm/m
- Considerando che l'appezzamento non venga coltivato nel periodo autunno-vernino
- Con i dati meteorologici riportati a fianco calcolare se e quando nel terreno inizierà il processo di percolazione

| decade | T media max | T media min | pioggia |
|--------|-------------------|-------------------|---------|
| 1/10 | 16 | 12 | 28 |
| 2/10 | 14 | 10 | 45 |
| 3/10 | 13 | 7 | 21 |
| 1/11 | 11 | 4 | 0 |
| 2/11 | 10 | 3 | 23 |
| 3/11 | 7 | 2 | 43 |
| 1/12 | 6 | 2 | 23 |
| 2/12 | 5 | 1 | 21 |
| 3/12 | 4 | 0 | 30 |

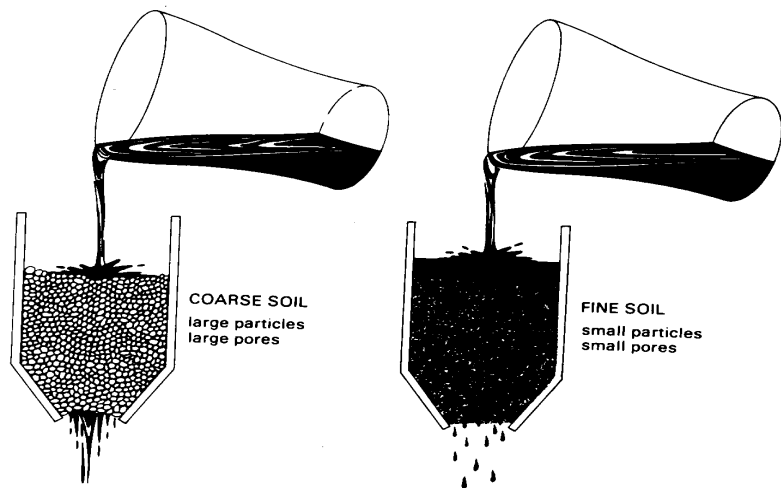
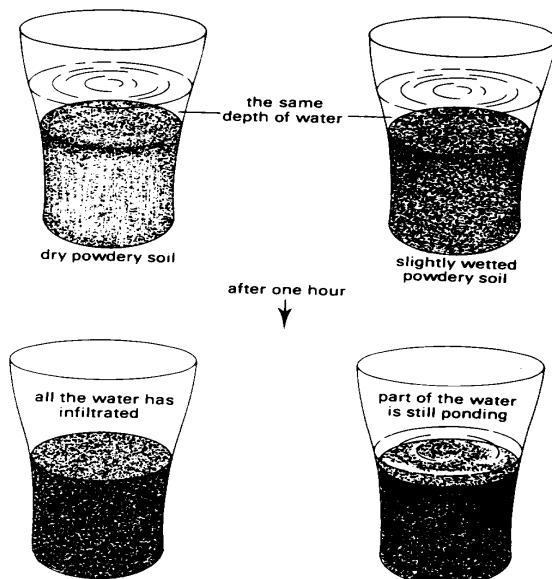


Fig. 34 Infiltration rate and soil texture

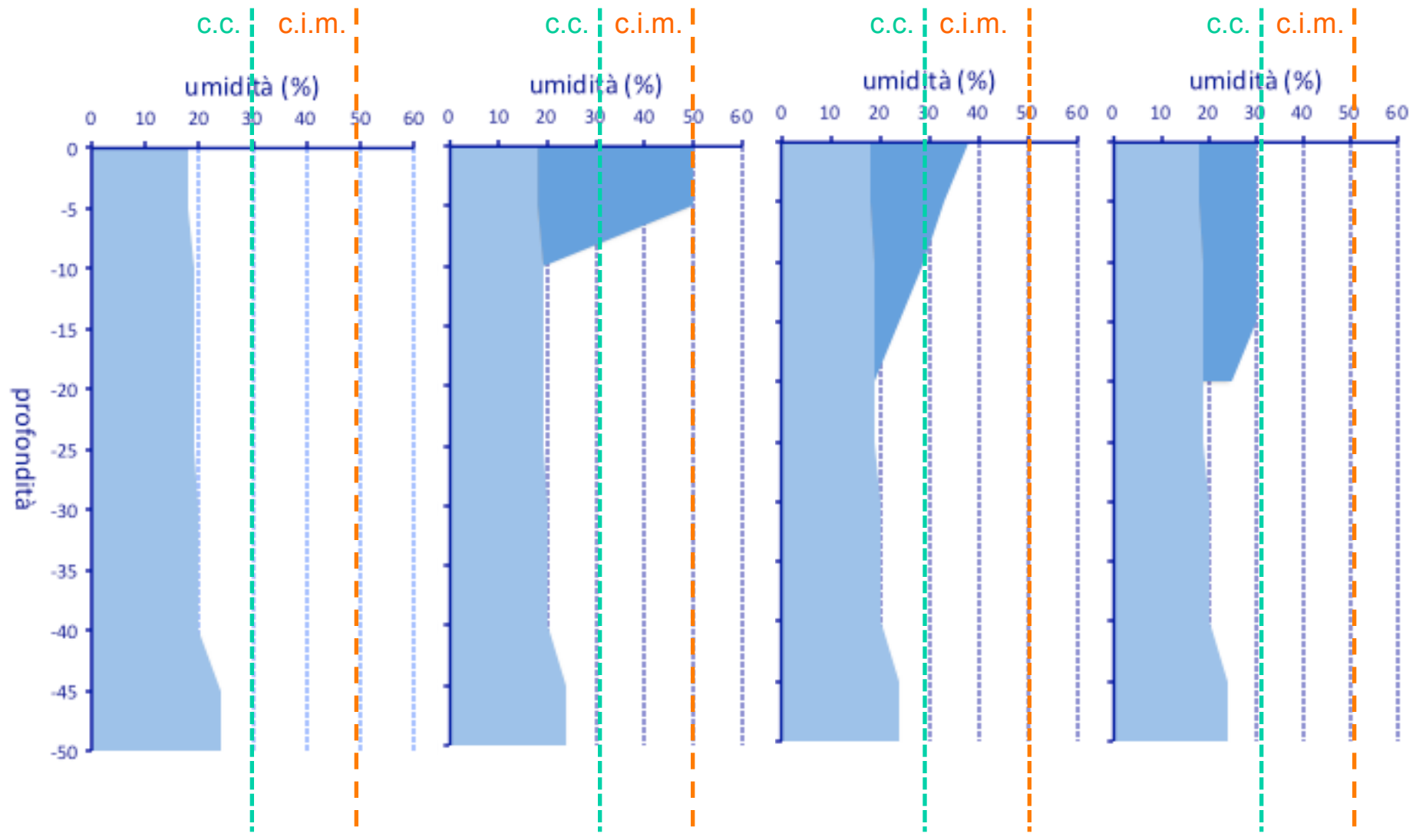


Permeabilità terreni (k , mm h^{-1})

| | |
|-------------------------------|----------|
| molto permeabile | > 150 |
| permeabile | 50 - 150 |
| mediamente permeabile | 15 - 50 |
| mediocrementemente permeabile | 5 - 15 |
| poco permeabile | 1.5 - 5 |
| perm. molto bassa | < 1.5 |

il movimento verticale dell'acqua nel terreno

- il terreno si comporta come un sistema costituito da un numero elevato di "strati discreti"
- l'acqua penetra nel terreno con velocità dipendente dalla permeabilità superficiale
- una volta entrata nel profilo l'acqua occupa completamente l'intera capacità di invaso (c.i.m.) del primo strato (s_1)
- la quota di acqua compresa fra c.i.m. e c.c. di s_1 è soggetta alla percolazione, esce da s_1 (che rimane alla c.c) ed entra nello strato sottostante s_2
- in s_2 il processo si ripete e così negli strati sottostanti, finchè c'è acqua oltre la c.c. dell'ennesimo strato (s_n)
- lo strato sotto s_n non verrà interessato dall'arrivo di acqua



e' pertanto scorretto e non realizzabile
l'obiettivo di

"irrigare fino a portare il terreno a una
percentuale della c.c. (es all'80% della c.c.)"

ovvero di

"irrigare senza portare il terreno alla c.c."

o

"mantenere l'umidità del suolo fra il 50 e
l'80% (es.) della c.c."

come purtroppo viene spesso dichiarato in
programmi di assistenza irrigua o da tecnici
rivenditori di sistemi irrigui

Espressioni dell' umidità

$$u(\% \text{ peso secco}) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \cdot 100$$

$$u(\% \text{ peso umido}) = \frac{P_u - P_s}{P_u} \cdot 100$$

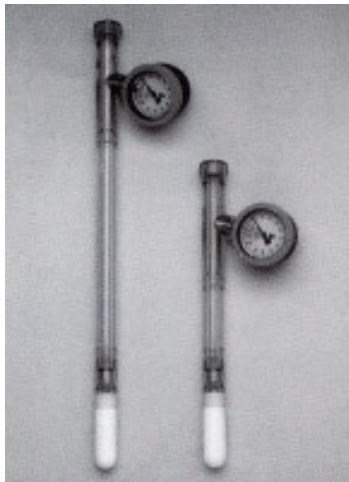
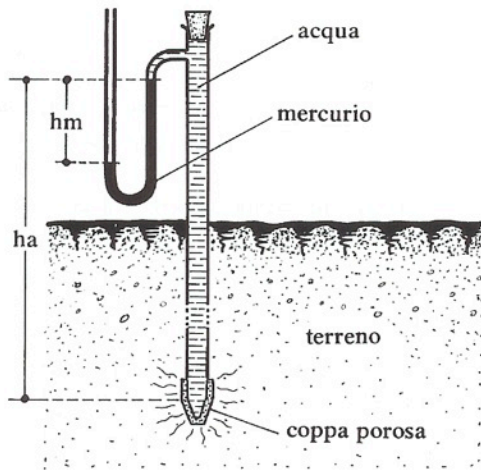
$$u(\% \text{ volume}) = u \cdot p_a$$

Metodi di misura

misura dell'umidità del suolo

1. Potenziale idrico = questa misura fornisce indicazioni sulla disponibilità idrica mediante la forza con la quale l'acqua è trattenuta nel suolo, ma non da informazioni sulla sua quantità. La forza viene comunemente espressa in KPa (Kilo Pascal) o in Centibar (1KPa=1 Centibar). Con questo tipo di misura non è importante il tipo di suolo ed esistono tabelle di riferimento con valori di tensione ottimale per i vari tipi di coltura.
2. Contenuto Volumetrico = è la misura del volume di acqua contenuta nel suolo, a prescindere dalla sua reale disponibilità per le piante. Questo metodo è utile per stabilire quanta acqua deve essere distribuita per portare il terreno alla capacità di campo. Sono disponibili sia sensori fissi che strumenti portatili

Umidità del terreno: tensiometri





Il tensiometro è costituito da una punta porosa e da un tubo di plastica alla cui estremità è posto un manometro.

Il sensore è riempito con acqua che viene scambiata con il suolo facendo variare la pressione nel manometro.

Sono sensori fissi nel suolo che richiedono manutenzione.

Campo di misura da 0 a 100 Centibar.

Va calibrato per tipo di suolo





Il Tester per umidità del suolo è uno strumento destinato a fornire valutazioni di massima, su un indice analogico compaiono valori compresi tra 0 (asciutto) e 10 (saturazione) dell'umidità di qualsiasi tipo di suolo mediante una semplice calibrazione.

Le letture sono estremamente rapide.
Lunghezza 20 cm.

strumenti per la misura dell'umidità: il diviner 2000

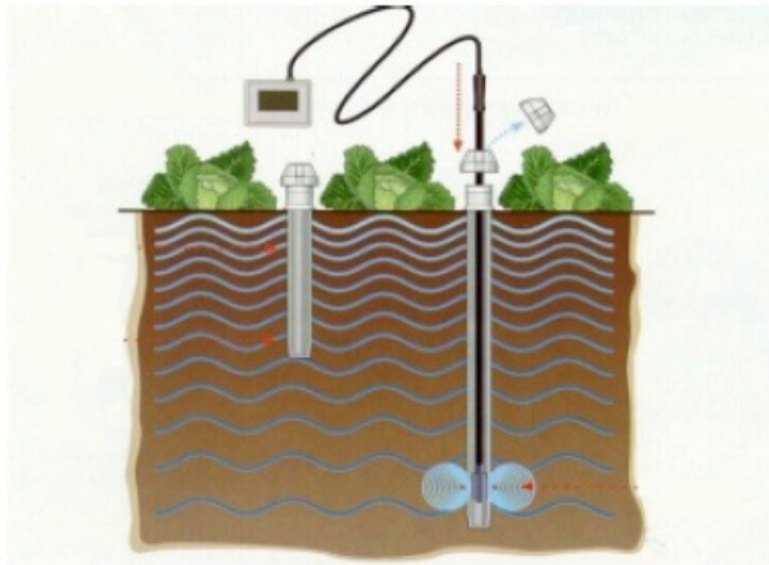
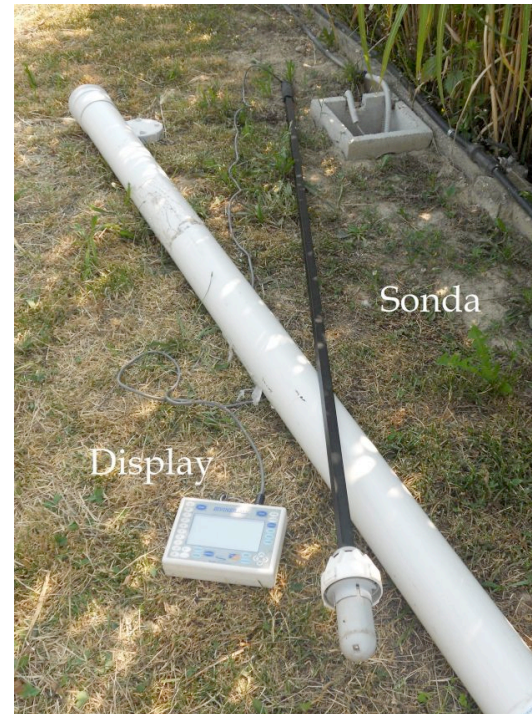
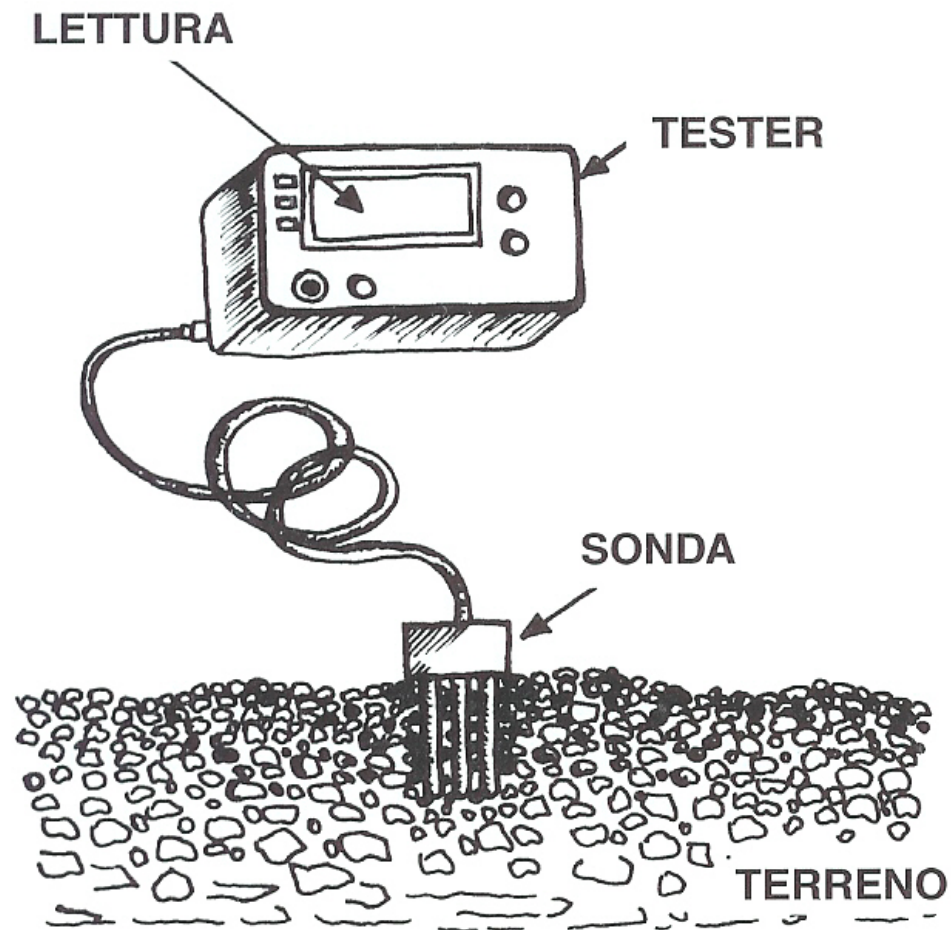


Figura 1: metodo di utilizzazione di Diviner 2000



Lo strumento è costituito da una sonda lunga 160 cm e un data logger. La sonda viene fatta scorrere con un movimento rapido e uniforme all'interno di un pozzetto in PVC dal diametro di 55 mm e permette di misurare i valori di umidità volumetrica a intervalli di 10 cm grazie al principio di capacitanza via effetto dielettrico. I dati possono essere visualizzati sul display e memorizzati.

Umidità del terreno: TDR



Misurare l'umidità del suolo

TDR

(Time domain reflectometry):

Principio di funzionamento

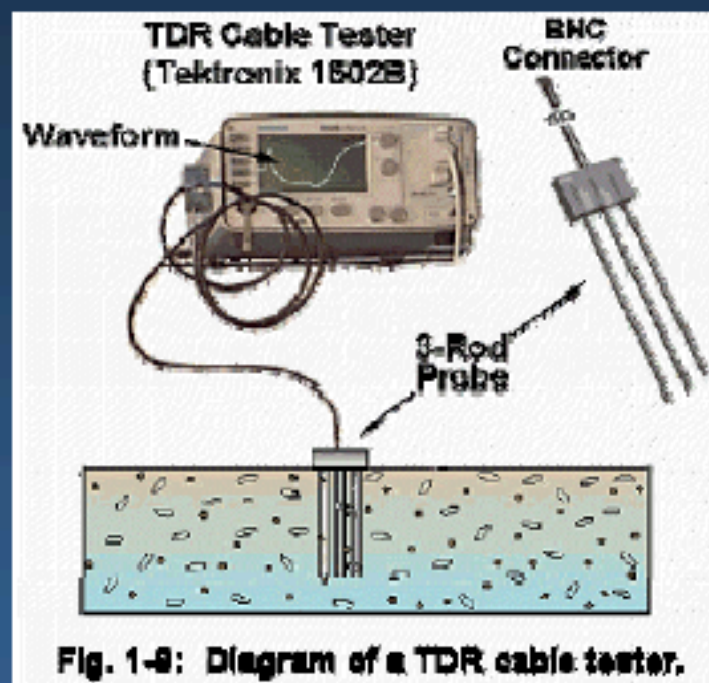
La velocità di propagazione di onde elettromagnetiche lungo delle guide di acciaio è influenzata dalla costante dielettrica del suolo che è proporzionale al contenuto d'acqua (costante dielettrica H₂O = 80; cost.dielettrica suolo =2)

Vantaggi:

- misura rapida, accurata (1-2%), senza bisogno di calibrazione per la maggior parte dei suoli
- misura espressa direttamente come umidità volumetrica
- consente misure in continuo (automatizzabile)

Svantaggi:

- Volume limitato di suolo
- problemi in terreni ricchi di scheletro
- problemi in terreni salini
- problemi in terreni argillosi in periodi asciutti (crepacciature) e molto umidi
- Costoso



Misurare l'umidità del suolo

TDR

Esempi di sistemi in commercio:

•Campbell Scientific

- **CS616**: riflettometro TDR, accuratezza $\pm 2.5\%$, collegabile con qualsiasi data-logger (circa 400€)
- **Hydrosense**: sistema TDR portatile

•Streat Instruments

- **Aquaflex**: sensore flessibile lungo 3 m, fornisce una media spaziale, accuratezza $\pm 2.5\%$, collegabile con data-logger e stazioni meteo oppure con sistema acq. dati incorporato (circa 850 €)

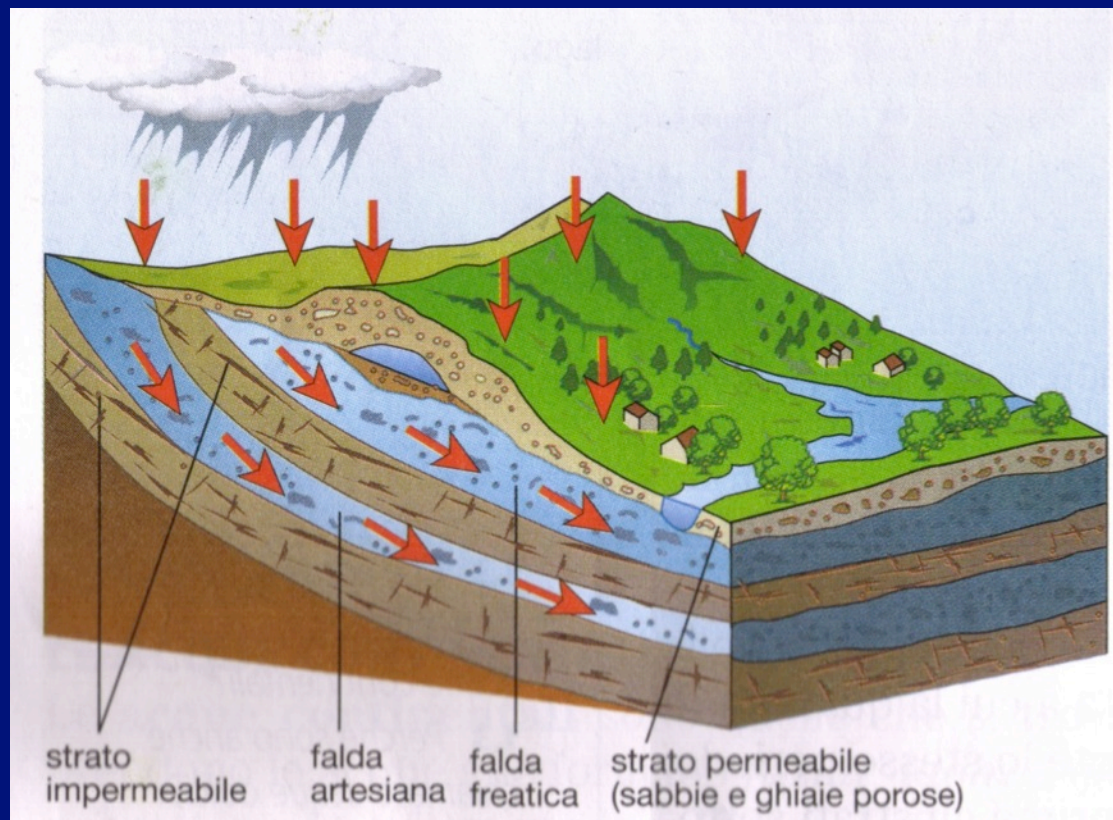








FALDA FREATICA E ARTESIANA

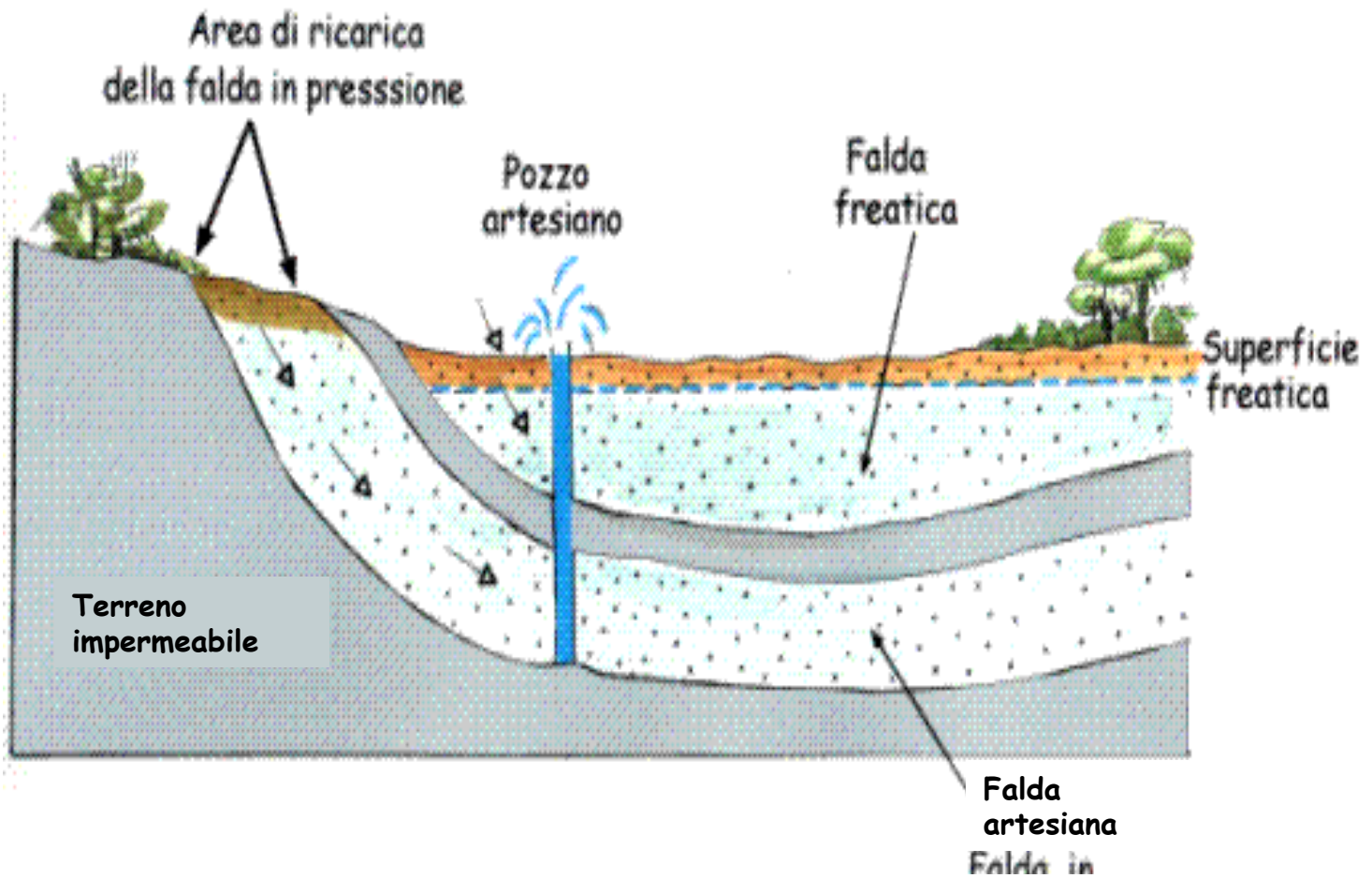


FALDA FREATICA:

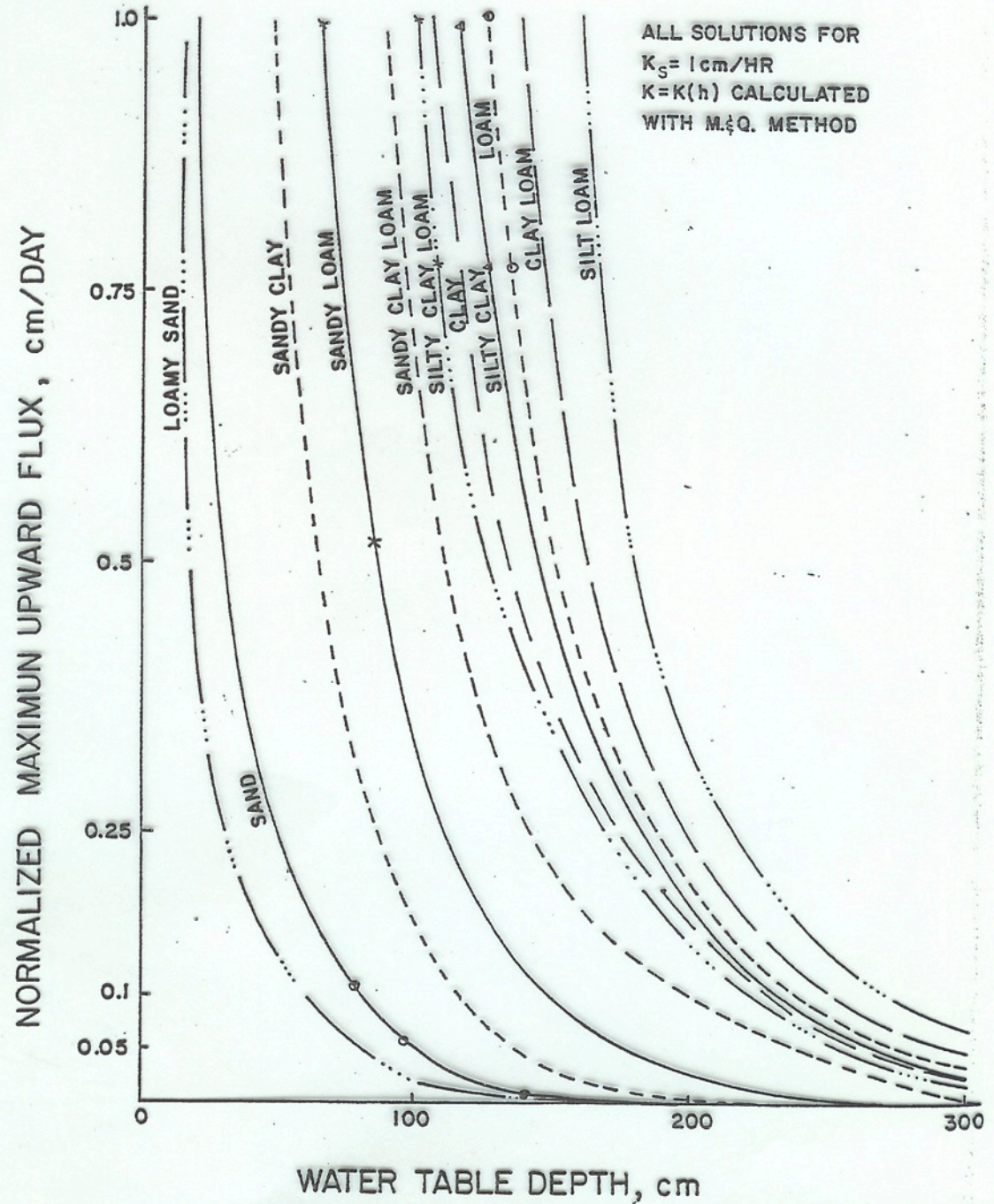
accumulo di acqua al di sopra di uno strato impermeabile, ad esempio di argille

FALDA ARTESIANA:

strato di acqua compreso tra due strati impermeabili di suolo, uno superiore ed uno inferiore



Risalita capillare



Apporti da falda

| coltura | Profondità di falda (cm) | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| Barbabietola | 30 | 55 | 80 | 90 | 100 |
| Cereali autunno-vernini | 50 | 70 | 90 | 100 | 100 |
| Erba medica | 55 | 70 | 85 | 95 | 100 |
| Fagiolo, patata, pisello | 50 | 75 | 95 | 100 | 100 |
| Graminacee foraggere da prato | 80 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Mais, soia, sorgo | 40 | 60 | 90 | 100 | 100 |
| pomodoro | 40 | 60 | 85 | 100 | 100 |

Pioggia utile

| ET mese (mm) | Pioggia mensile (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 12.5 | 25 | 37.5 | 50 | 62.5 | 75 | 87.5 | 100 | 112 | 125 | 137 | 150 | 162 | 175 | 187 | 200 |
| | pioggia utile mensile (mm) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 8 | 16 | 24 | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 8 | 17 | 25 | 32 | 39 | 46 | | | | | | | | | | |
| 75 | 9 | 18 | 27 | 34 | 41 | 48 | 56 | 62 | 69 | | | | | | | |
| 100 | 9 | 19 | 28 | 35 | 43 | 52 | 59 | 66 | 73 | 80 | 87 | 94 | 100 | | | |
| 125 | 10 | 20 | 30 | 37 | 46 | 54 | 62 | 70 | 76 | 85 | 92 | 98 | 107 | 116 | 120 | |
| 150 | 10 | 21 | 31 | 39 | 49 | 57 | 65 | 74 | 81 | 89 | 97 | 104 | 112 | 119 | 127 | 133 |
| 175 | 11 | 23 | 32 | 42 | 52 | 61 | 69 | 78 | 86 | 95 | 103 | 111 | 118 | 126 | 134 | 141 |
| 200 | 11 | 24 | 33 | 44 | 54 | 64 | 73 | 82 | 91 | 100 | 109 | 117 | 125 | 134 | 142 | 150 |
| 225 | 12 | 25 | 35 | 47 | 57 | 68 | 78 | 87 | 96 | 106 | 115 | 124 | 132 | 141 | 150 | 159 |
| 250 | 13 | 25 | 38 | 50 | 61 | 72 | 84 | 92 | 102 | 112 | 121 | 132 | 140 | 150 | 158 | 167 |
| RU | 20 | 25 | 37.5 | 50 | 62.5 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | | | | | |
| | 0.73 | 0.77 | 0.86 | 0.93 | 0.97 | 1.00 | 1.03 | 1.04 | 1.06 | 1.07 | 1.08 | | | | | |