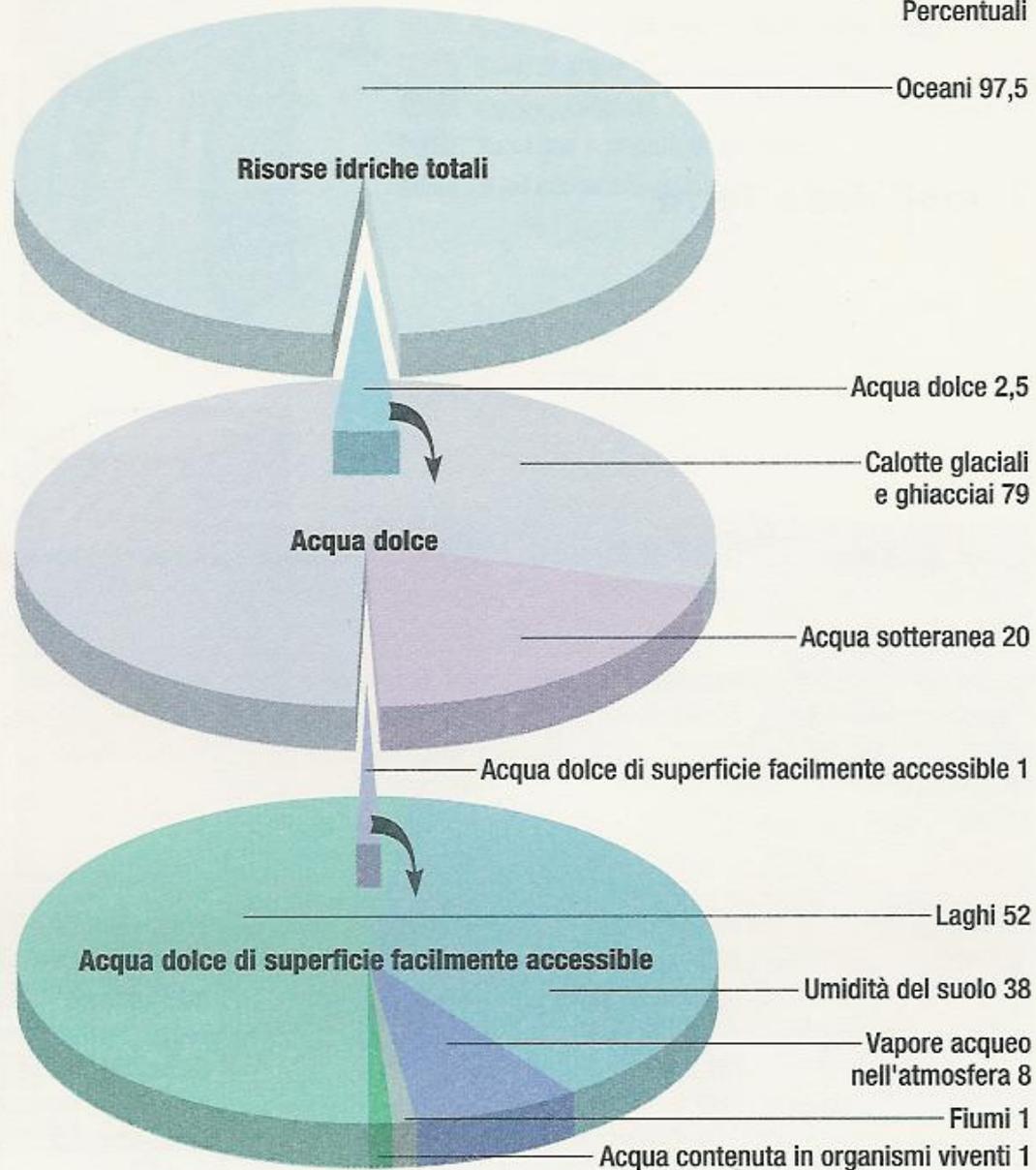


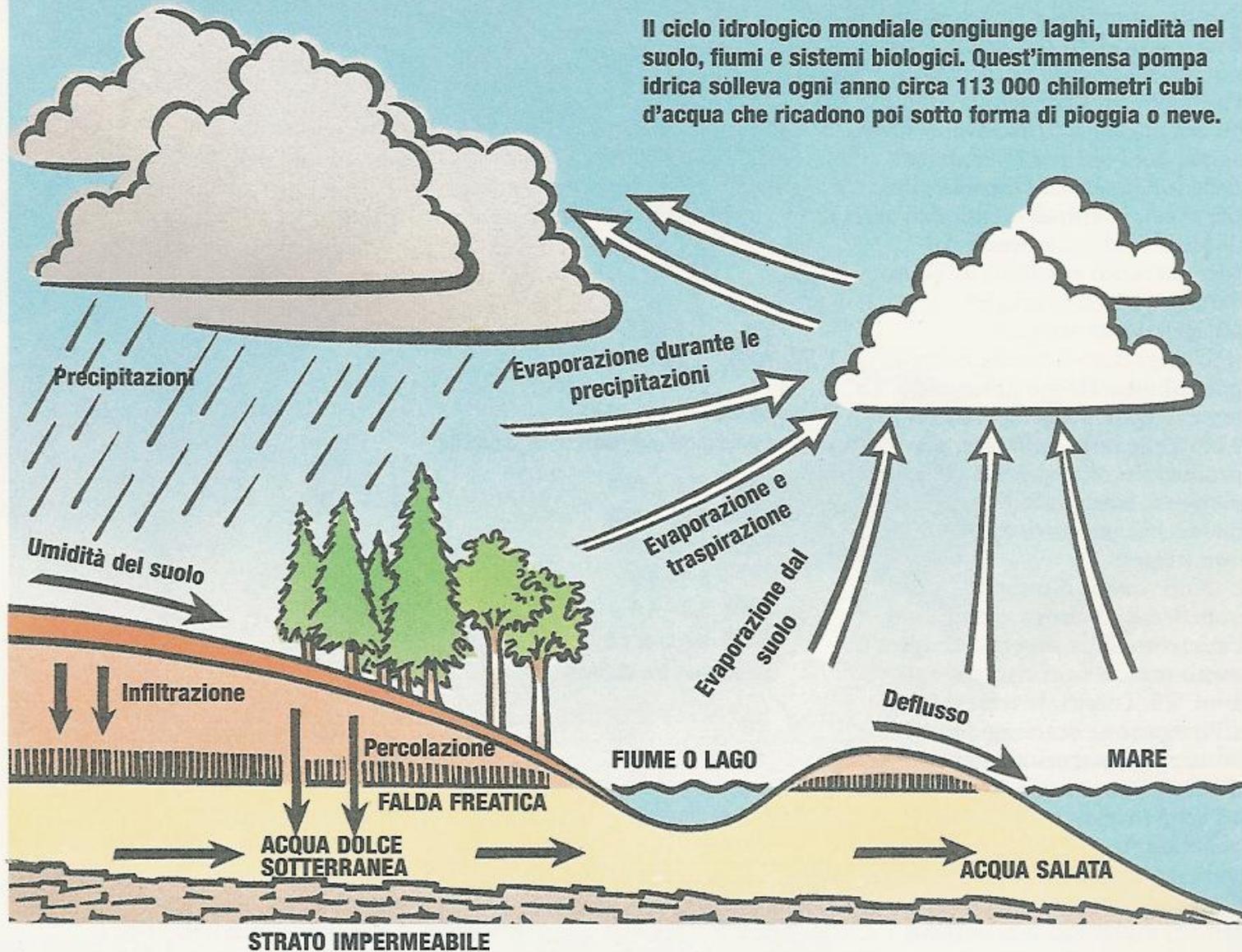
Dov'è l'acqua

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.



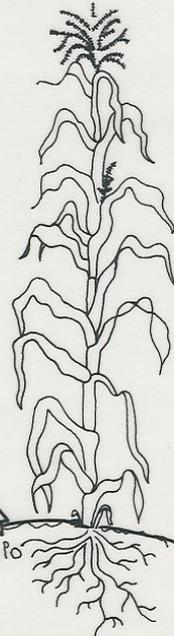


CLIMA

richiesta climatica
insolazione, temperatura
vento, umidità dell'aria

PRECIPITAZIONI

bisogni in acqua
della coltura



traspirazione
attraverso
le foglie

PIANTE

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)

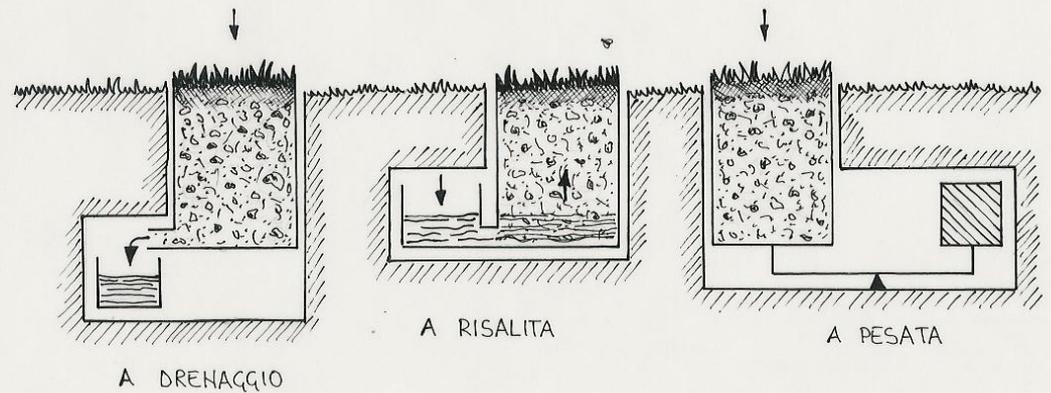
- *Perdita di acqua dalla superficie all'atmosfera attraverso vaporizzazione di acqua liquida.* Il processo include l'acqua evaporata direttamente dalla superficie del suolo nudo o ricoperto da vegetazione e quella traspirata dalle colture. Quantificare l'ET ha implicazioni in molti campi: produzione 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

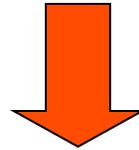
Quantificare ET: 1 - misure

- bilancio idrico
- m. micrometeorologici
- m. ecofisiologici



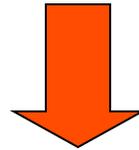
Quantificare ET: 2 - stime

- Formule di correlazione climatica
 - Metodi combinatori

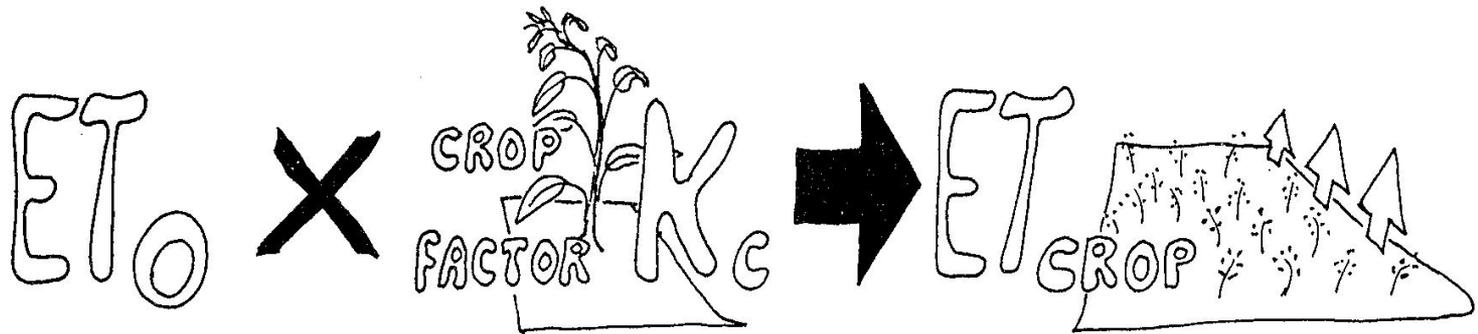


ET_0

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 P_{Meq}, 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

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

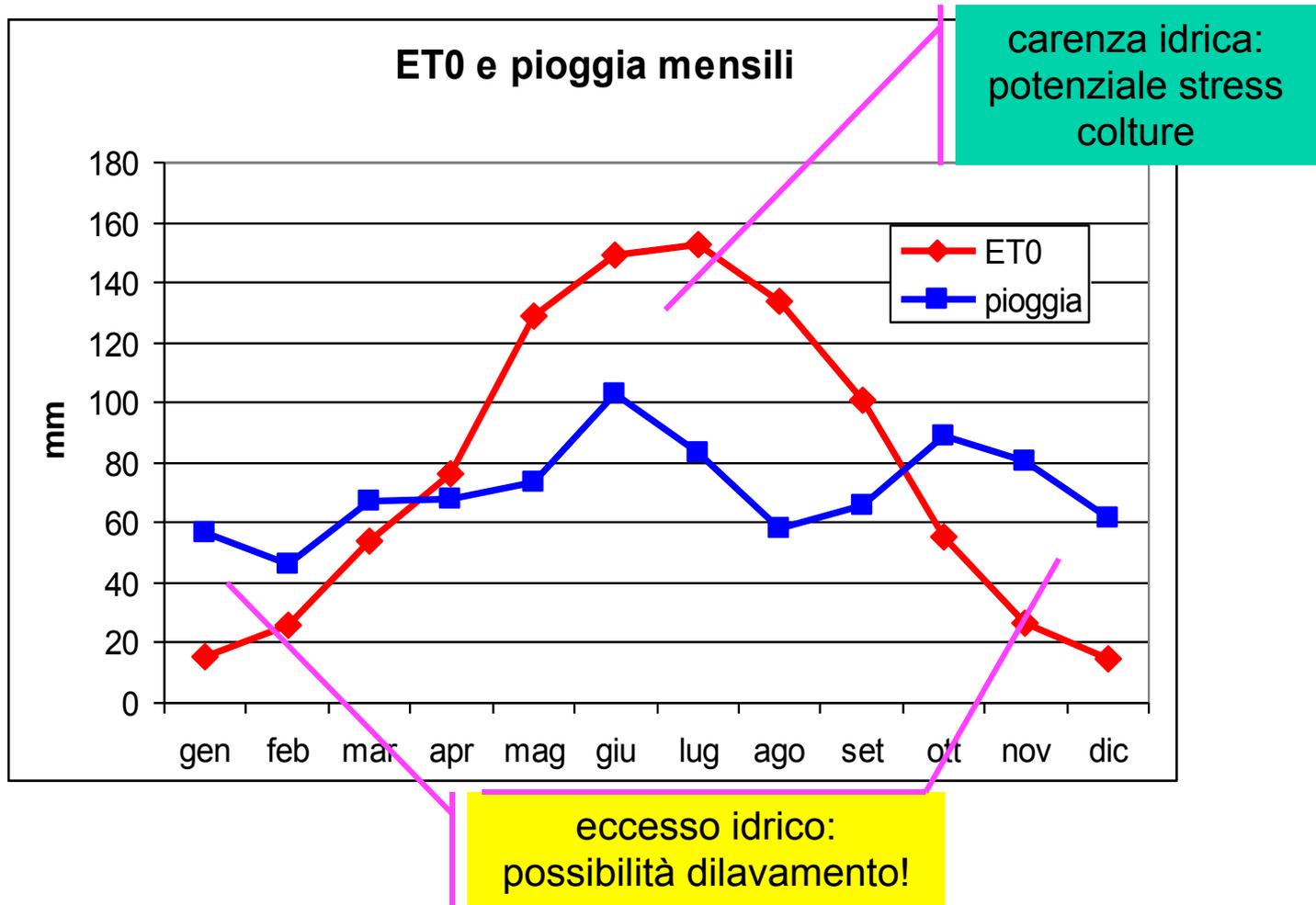
Dove: R_0 (mm d⁻¹)

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)

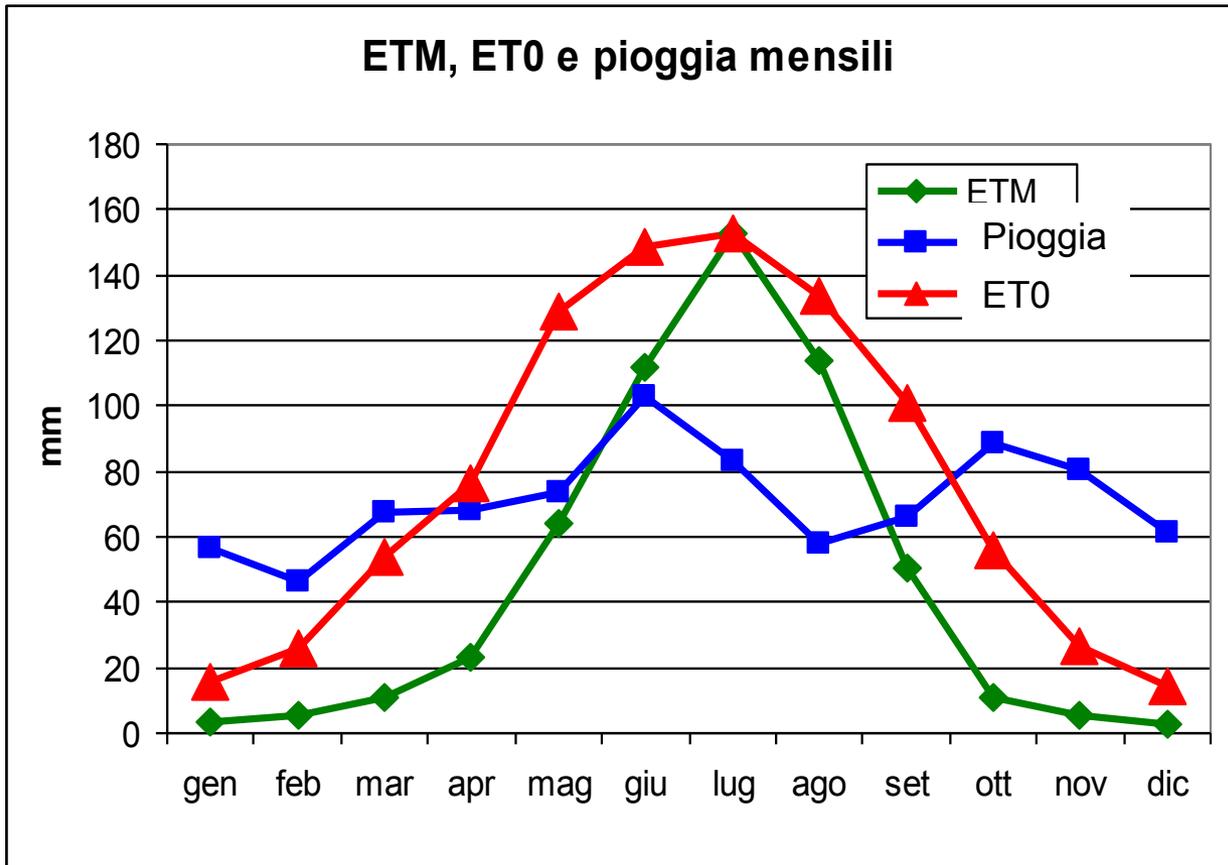
- Valori che consentono di stimare la ETM di una coltura, nota la ETo: $ETM = ETo * Kc$
- Variano da specie a specie e, per una data specie, con lo stadio di sviluppo

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

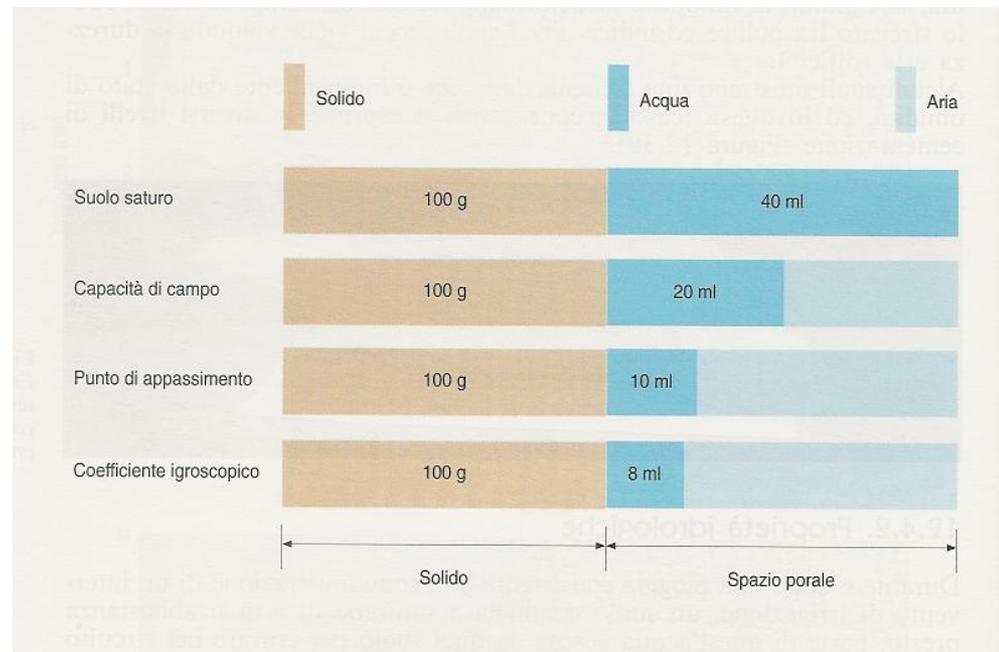
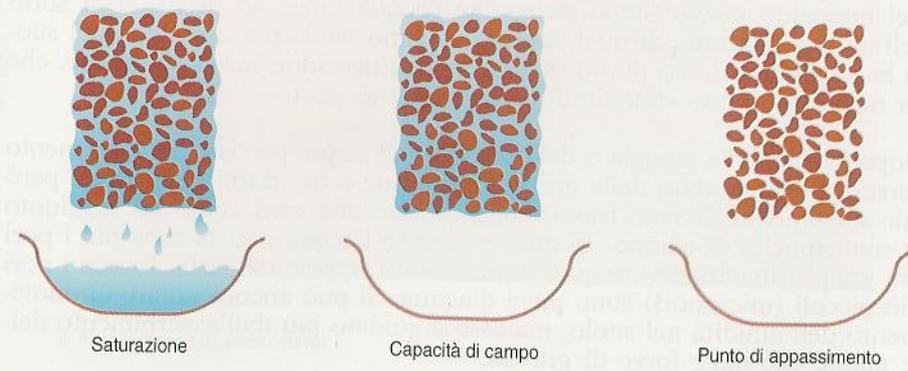
Bilancio idrico colturale: andamenti



Rapporti acqua / suolo

⊘ > 20 μ

⊘ < 20 μ



SUOLO RECIPIENTE DI ACQUA

- 34 -

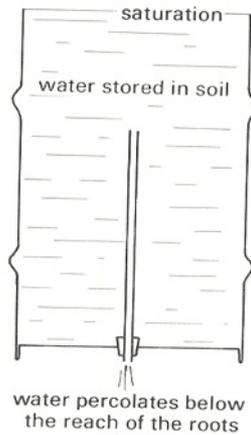


Fig. 38a Saturation

C.I.M.

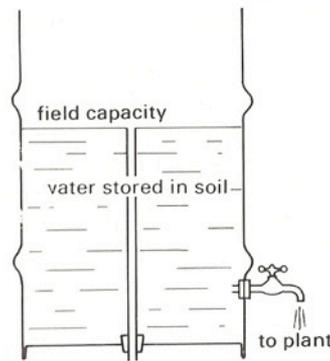


Fig. 38b Field capacity

C.C.

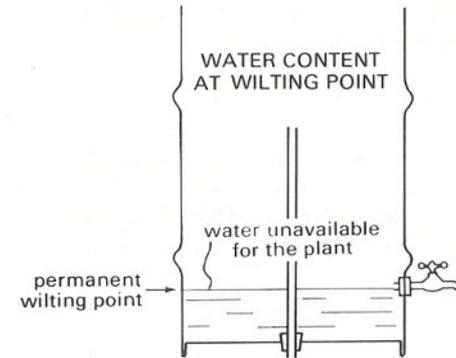


Fig. 38c Permanent wilting point

C.A.

saturation



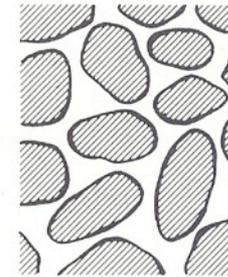
a)

field capacity

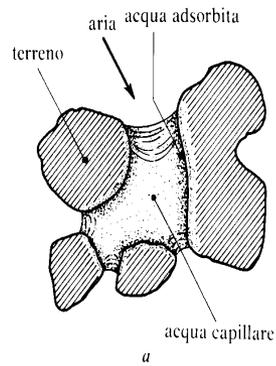


b)

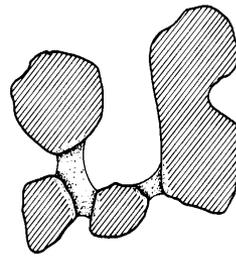
permanent wilting point



c)



a

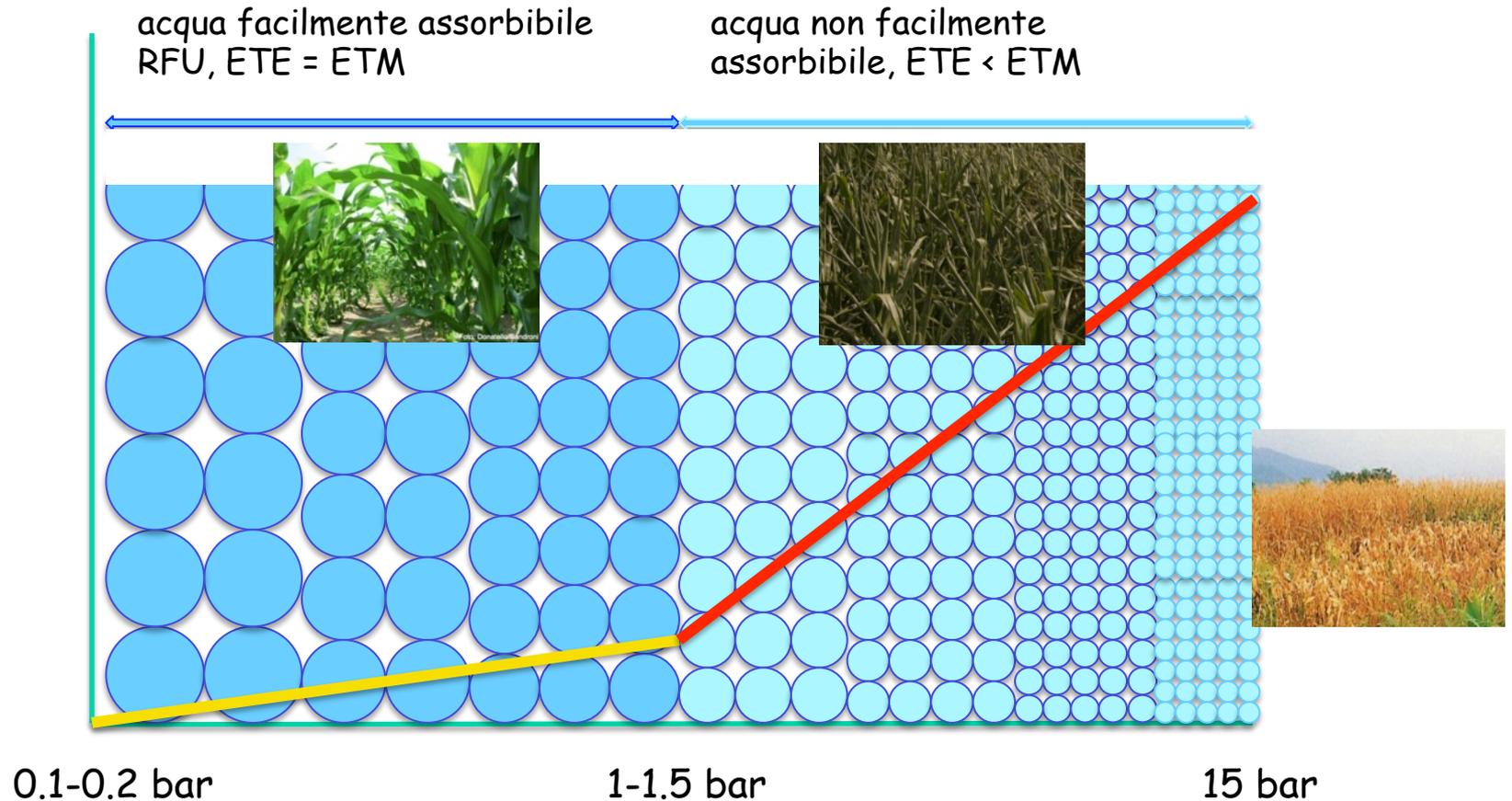


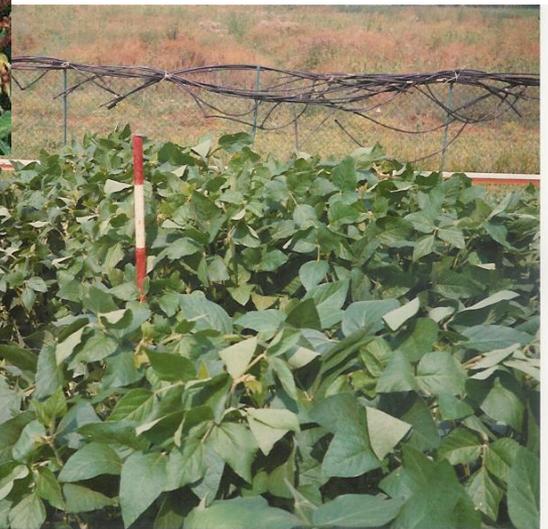
b

Potenziale matriciale ψ_{pm}

deriva da: • imbibizione colloidale
• capillarità

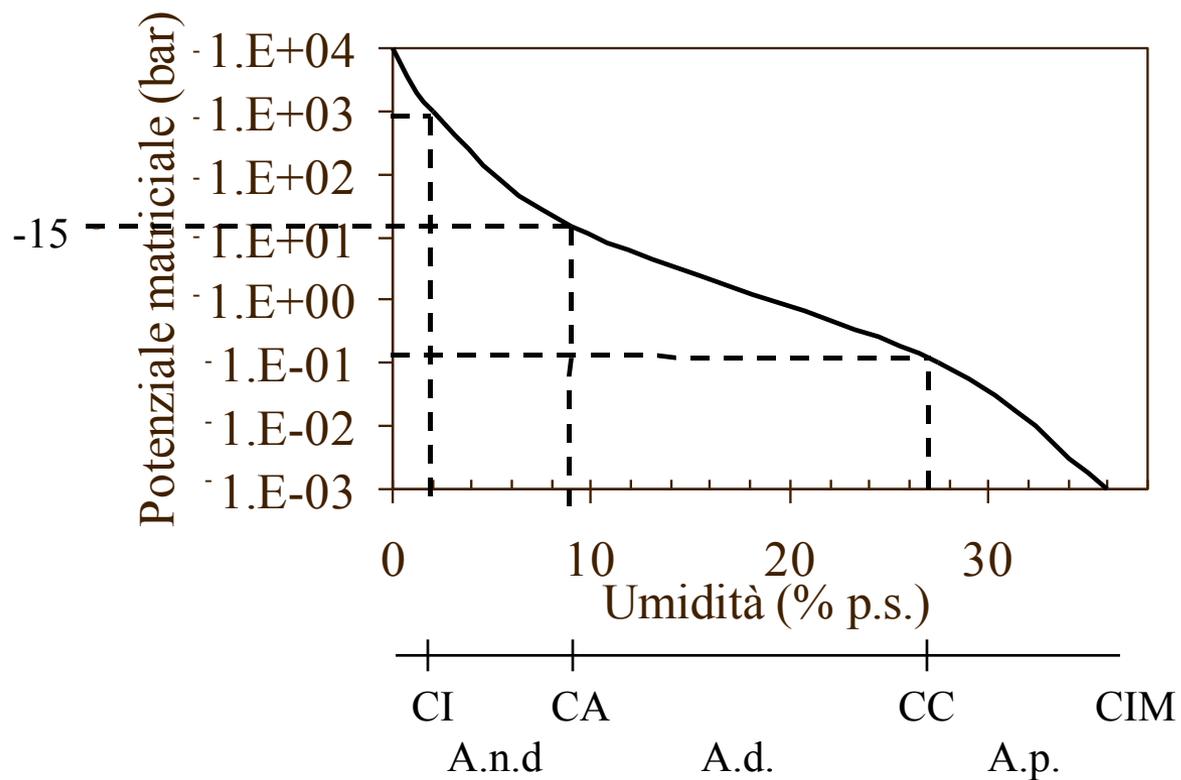
l'assorbimento idrico nel campo dell'acqua disponibile



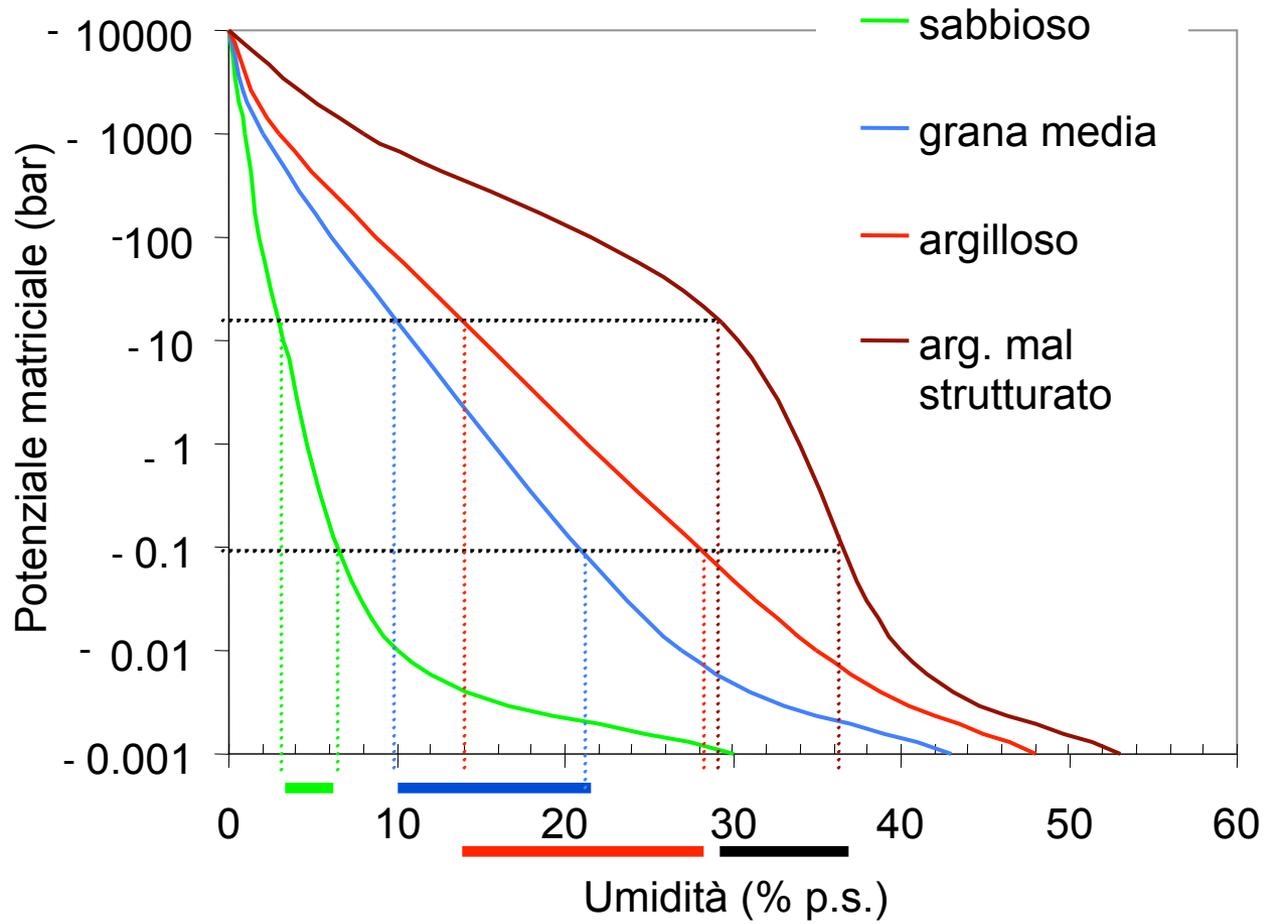


F. Michelini - 09.08.03

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)

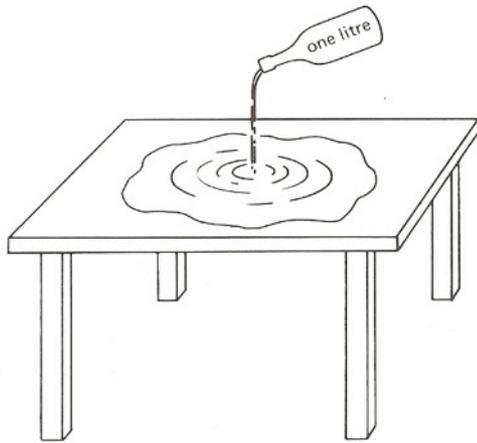
dove:

p = profondità (m)

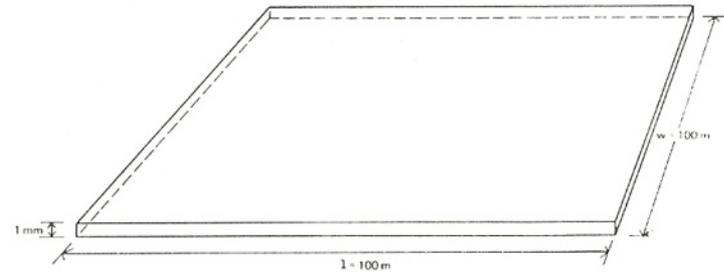
c.c., c.a. = capacità di campo e coeff. di avvizzimento

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

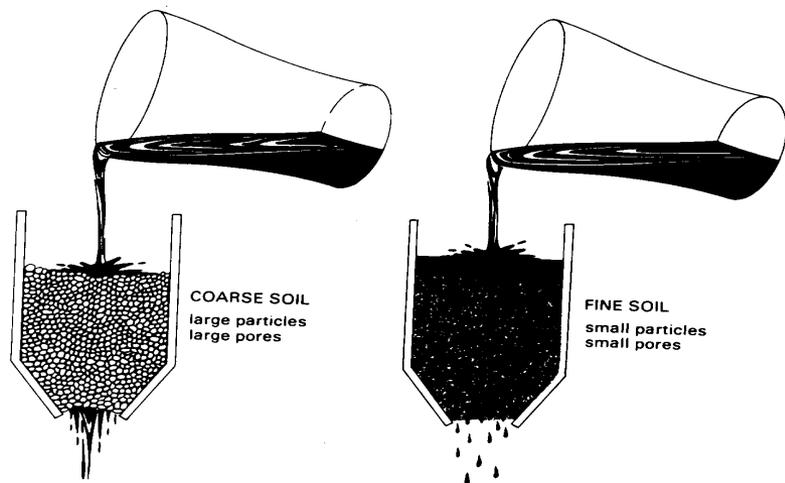
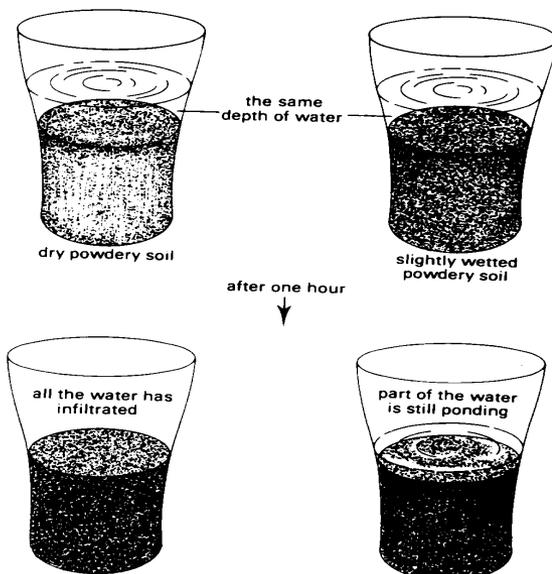


Fig. 34 Infiltration rate and soil texture

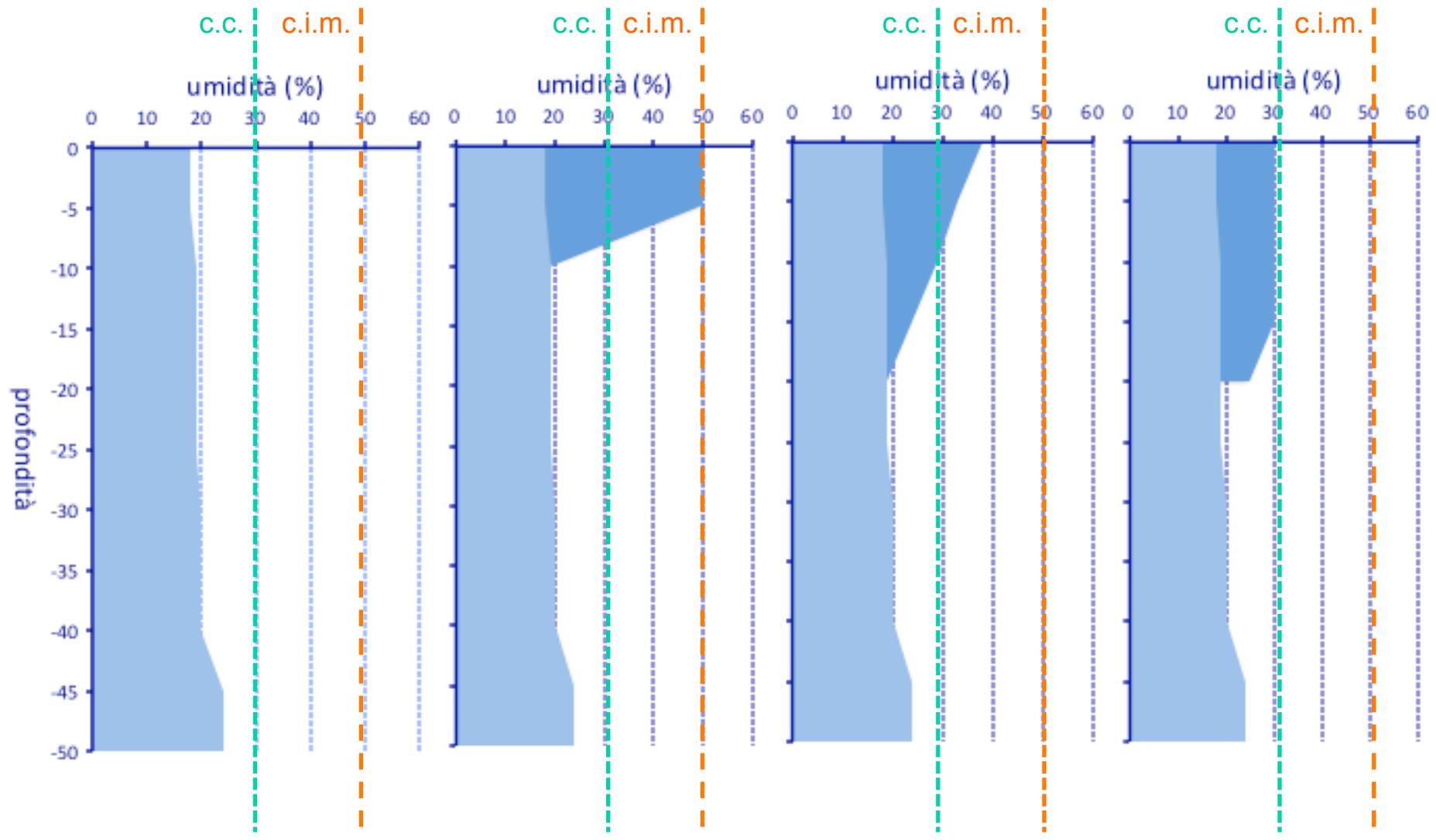


Permeabilità terreni (k , mm h^{-1})

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

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

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

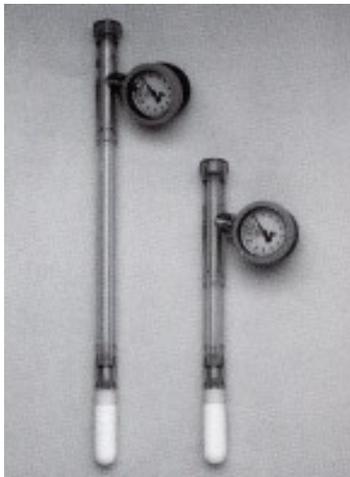
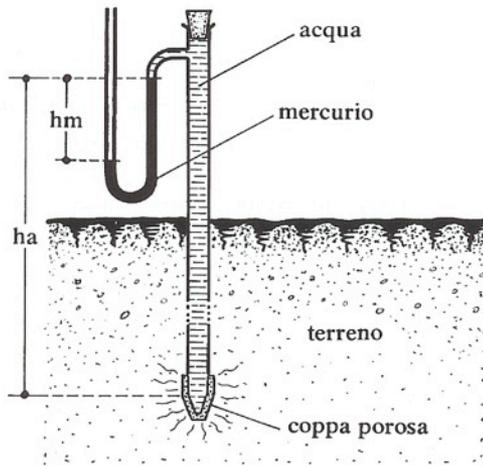
$$u(\% \text{ volume}) = u \cdot p_a$$

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

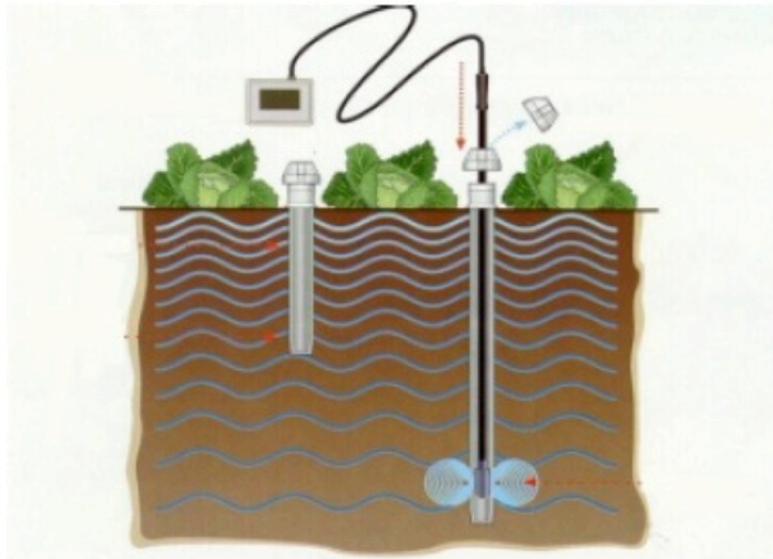
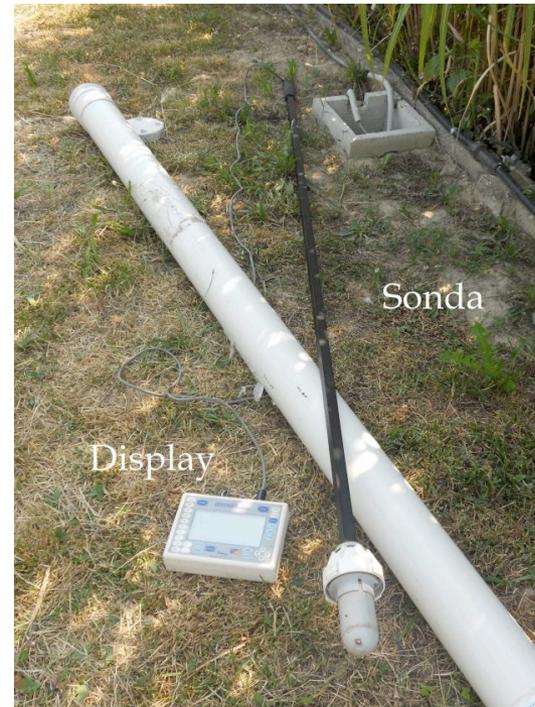
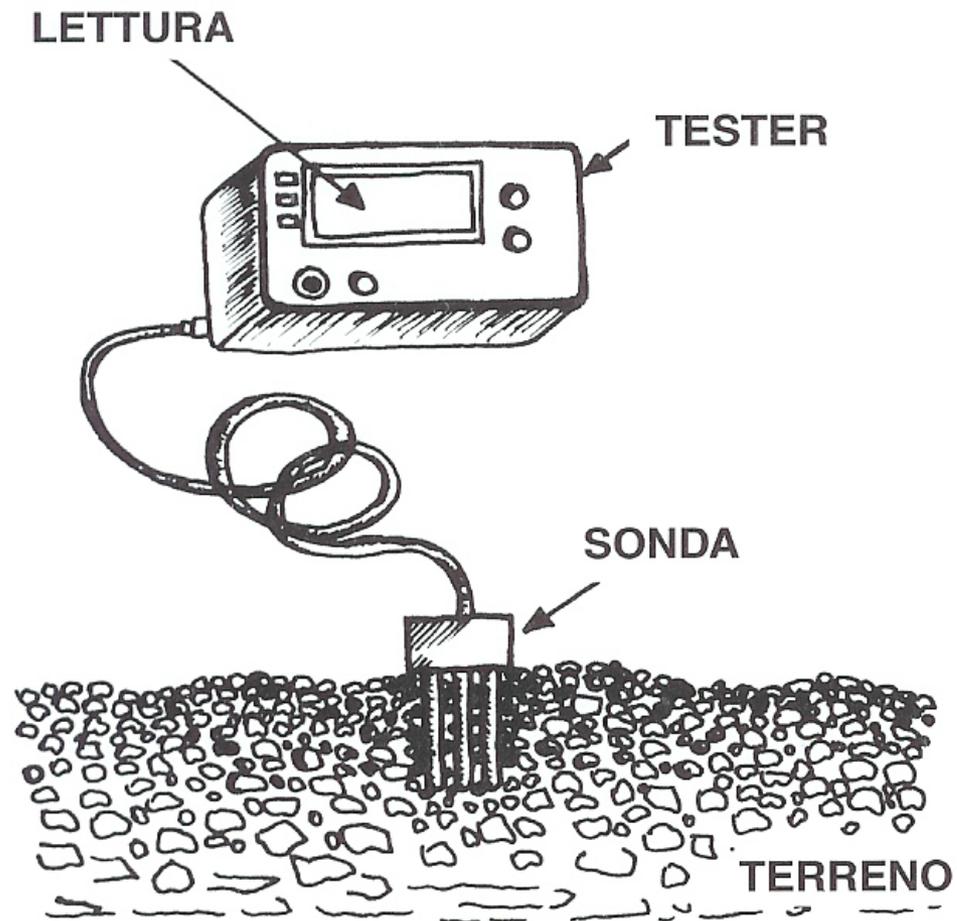


Figura 1: metodo di utilizzazione di Diviner 2000



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

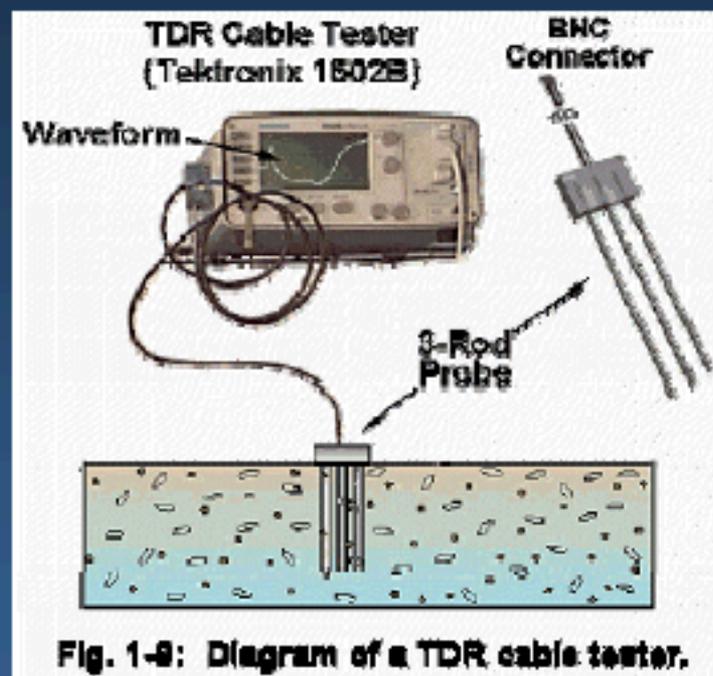
La velocità di propagazione di onde elettromagnetiche lungo delle guide di acciaio è influenzata dalla costante dielettrica del suolo che è proporzionale al contenuto d'acqua (costante dielettrica H₂O = 80; cost.dielettrica suolo =2)

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

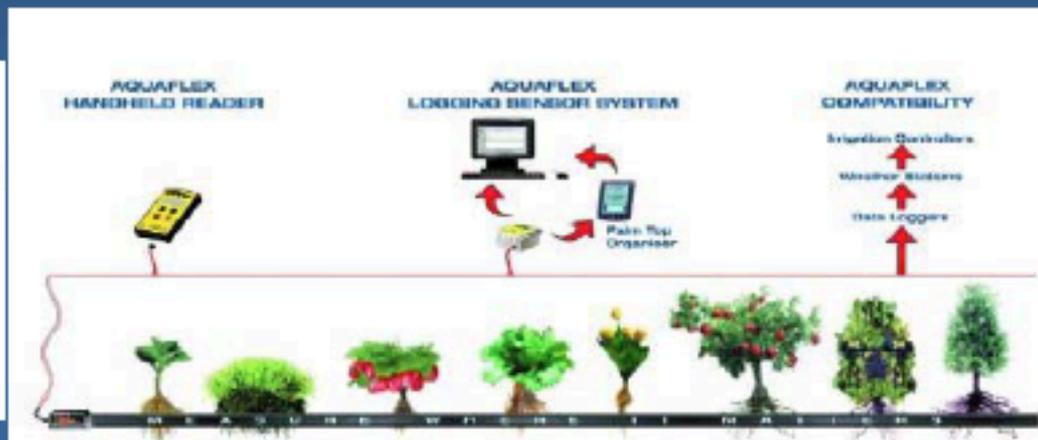
Esempi di sistemi in commercio:

•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 €)

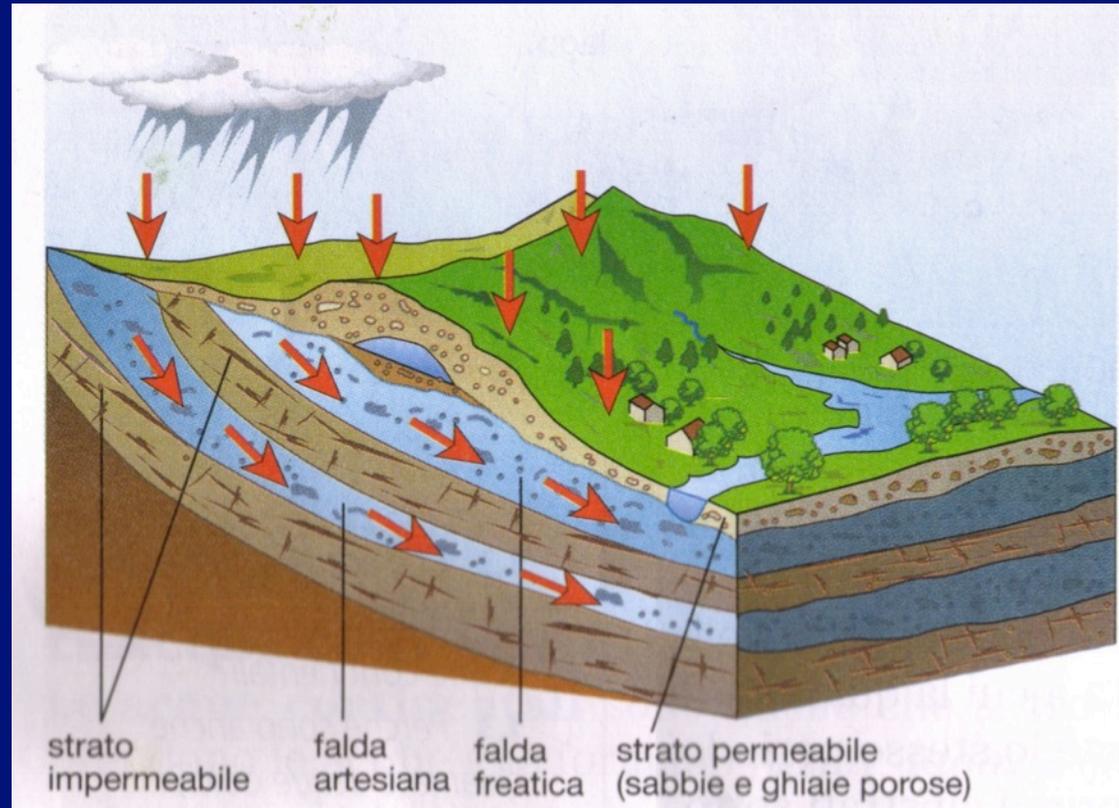








FALDA FREATICA E ARTESIANA

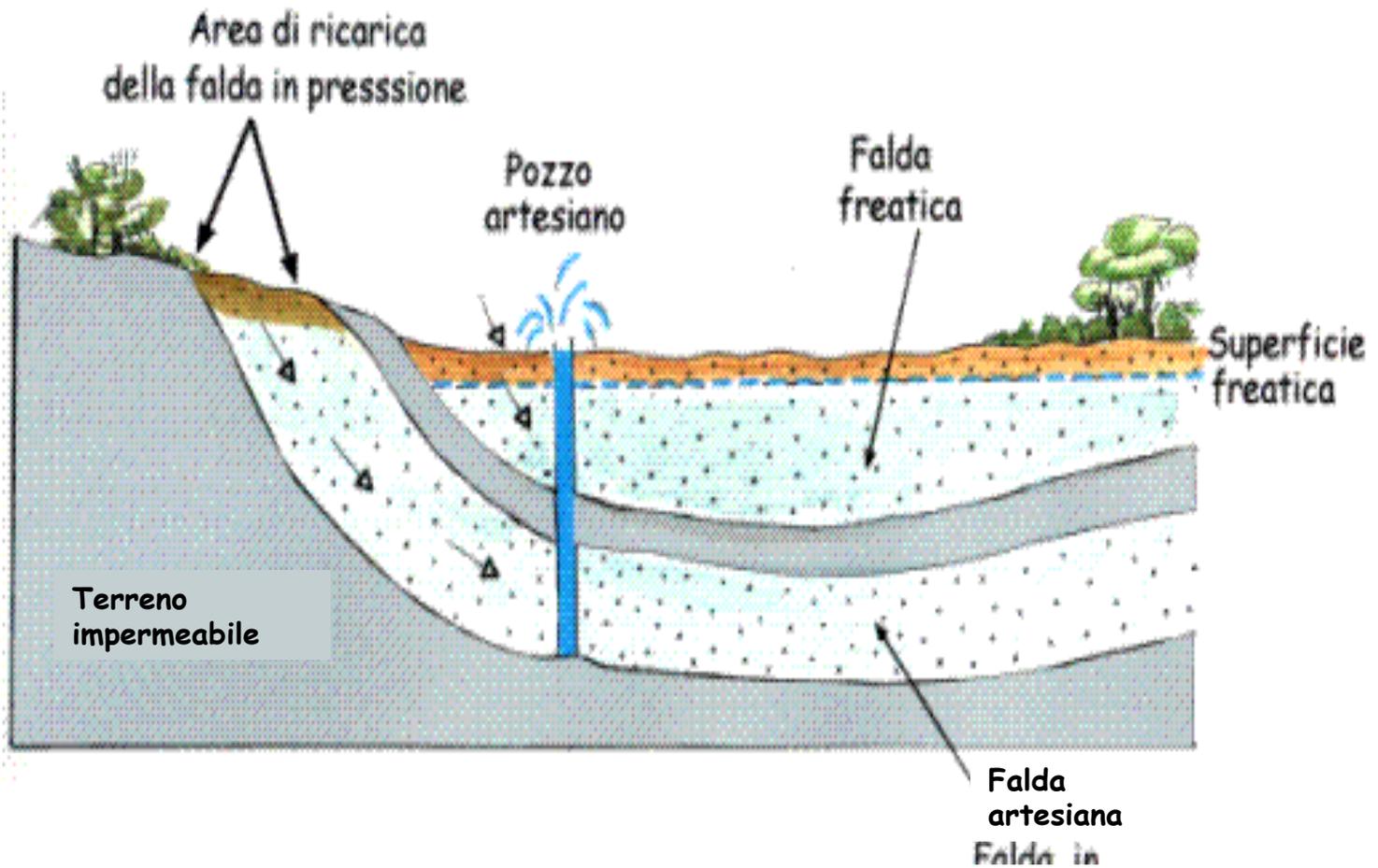


FALDA FREATICA:

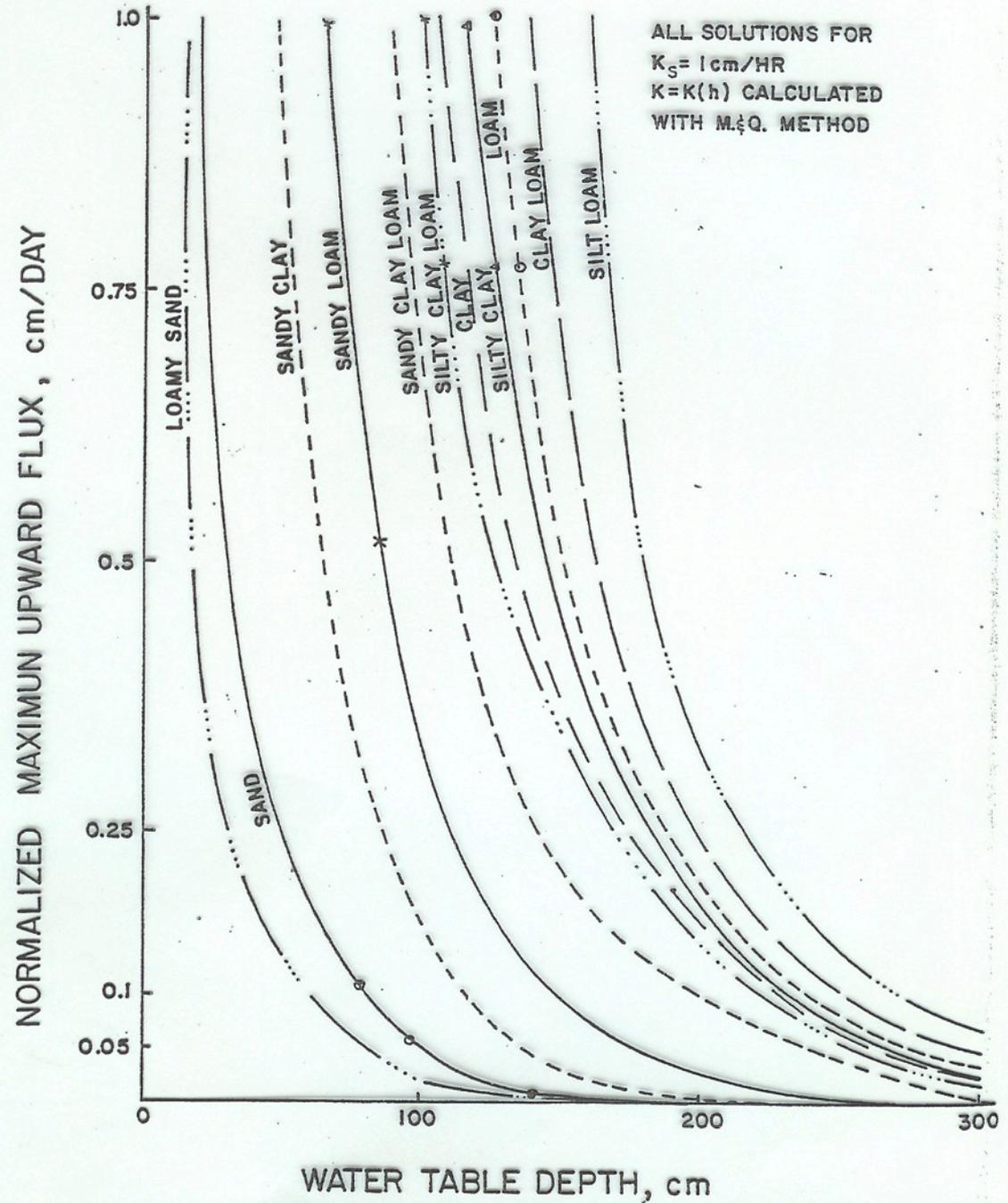
accumulo di acqua al di sopra di uno strato impermeabile, ad esempio di argille

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					