

## CALCOLO INFORMATIZZATO DEL BILANCIO IDRICO DEL SUOLO

STEFANO ARMIRAGLIO<sup>1</sup>, BRUNO CERABOLINI<sup>2</sup>, FABIO GANDELLINI<sup>3</sup>,  
PIERMARCO GANDINI<sup>3</sup> E CARLO ANDREIS<sup>4</sup>

*Parole chiave* – Suolo, bilancio idrico, esposizione, inclinazione, clima.

*Key words* – Soil, water balance, climatic index, assolation, inclination.

*Riassunto* – Con questo contributo viene fornito un software sviluppato con Excel®2000 che consente di ricavare automaticamente il diagramma del bilancio idrico secondo THORNTHWAITE and MATHER inserendo in un foglio elettronico i dati stazionali, climatici ed edafici di una data località. Il software può essere direttamente scaricato dal sito <http://www.comune.brescia.it> o richiesto all'indirizzo di posta elettronica: [botanica@comune.brescia.it](mailto:botanica@comune.brescia.it). Sono state inoltre introdotte alcune modifiche al metodo originale considerando due nuove variabili, l'esposizione e l'inclinazione dei versanti, che influiscono direttamente sull'assolazione. Quest'ultima è stata considerata in termini relativi per la correzione della formula degli indici di calore, originariamente ricavati sulla base della sola latitudine della stazione considerata.

*Abstract* – *Computing water balance of soil.* In this work a software was structured using Excel®2000 in order to automatically obtain the water balance diagram proposed by THORNTHWAITE and MATHER. The electronic spreadsheet just needs geographical, climatic and edafic data of the site analysed. This software can be either downloaded from <http://www.comune.brescia.it> web site or required at the e-mail address: [botanica@comune.brescia.it](mailto:botanica@comune.brescia.it). Some modifications of the original procedure were carried out considering two new parameters, inclination and exposition of the site, as they directly affect the theoretical radiation. The last parameter was used to correct the formula of the heat index, originally obtained just on the basis of the latitude value of the site.

### INTRODUZIONE

Il bilancio idrico del suolo, secondo THORNTHWAITE and MATHER (1955, 1957), fornisce una misura indicativa della disponibilità d'acqua nel suolo nel corso dell'anno, esemplificandola in un diagramma. Gli Autori sopra citati hanno proposto il bilancio idrico del suolo come indice per la classificazione regionale dei climi e ancor oggi viene largamente utilizzato in numerose discipline (agronomiche, naturalistiche ecc.) che necessitano di previsioni sull'effettiva disponibilità d'acqua per le piante, previsioni più puntuali di quelle basate sui soli dati climatici.

Il bilancio idrico del suolo viene calcolato utilizzando latitudine, temperature e precipitazioni medie mensili e un valore che rappresenta la capacità idrica

del suolo. Per mezzo di questi parametri vengono ricavate l'evapotraspirazione potenziale, quella reale e la riserva idrica del suolo. Il loro raffronto consente di ottenere una misura indicativa della disponibilità idrica nel suolo, evidenziando eventuali periodi di deficit.

Le procedure di calcolo del bilancio sono in genere basate sulla laboriosa consultazione di valori tabulati per la determinazione dei vari coefficienti impiegati. Altre difficoltà spesso insorgono nella determinazione della capacità di ritenzione idrica dei suoli, a causa della mancanza di dati o per disponibilità di valori puntiformi, difficilmente estendibili a grandi superfici. Ciò ha limitato il calcolo del bilancio idrico a poche stazioni, consentendone un uso molto locale.

Questo contributo si propone di affinare il calcolo del bilancio idrico proposto da THORNTHWAITE and

<sup>1</sup> Museo Civico di Scienze Naturali, via Ozanam, 4 - 25128 Brescia; [botanica@comune.brescia.it](mailto:botanica@comune.brescia.it)

<sup>2</sup> Dpt. di Biologia Strutturale e Funzionale, Unità di Analisi e Gestione delle Biocenosi, Università degli Studi dell'Insubria, via Dunant, 3 - 21100 Varese

<sup>3</sup> Centro Studi Naturalistici Bresciani, c/o Museo Civico di Scienze Naturali, via Ozanam, 4 - 25128 Brescia

<sup>4</sup> Dpt. di Biologia, Sez. di Botanica Sistemica e Geobotanica, Univ. degli Studi di Milano, via Celoria, 26 - Milano

MATHER (op. cit.), introducendo altri due parametri stagionali, l'esposizione e l'inclinazione dei versanti. Tali parametri agiscono direttamente sull'assolazione, cioè sulla quantità di radiazione ricevuta per unità di superficie, e quindi sull'evapotraspirazione. Allo stesso tempo ci si propone di fornire una procedura per il calcolo rapido del bilancio idrico delle località in esame, semplicemente immettendo dati stagionali, termo-pluviometrici ed edafici in un foglio elettronico. Per questo scopo sono state impiegate varie tecniche di interpolazione ed è stato messo a punto un software sviluppato con Excel@2000.

### DIAGRAMMA DEL BILANCIO IDRICO DEL SUOLO E SUA INTERPRETAZIONE

Il diagramma del bilancio idrico del suolo secondo THORNTHWAITE and MATHER (op. cit.) è costituito da un sistema di assi cartesiani (fig. 1): sulle ascisse vengono riportati i mesi dell'anno e sulle ordinate i valori medi mensili delle precipitazioni, dell'evapotraspirazione potenziale e di quella reale, espressi in mm.

L'evapotraspirazione potenziale (PE) rappresenta la quantità d'acqua che evaporerebbe dal suolo, direttamente o indirettamente attraverso le piante, senza esaurimento delle riserve idriche. La PE è riferita a un dato luogo, *con determinate condizioni climatiche*, e

costituisce quindi una condizione ideale di umidità costante del suolo, nonché una situazione ottimale per la vita delle piante, la cui conoscenza e delimitazione è di estrema importanza sia in ambito bioclimatico sia ecologico (VENANZONI e PEDROTTI, 1995).

L'evapotraspirazione reale (AE) rappresenta invece l'effettiva quantità d'acqua che evapora dal suolo, direttamente o indirettamente, in un dato luogo, *con determinate condizioni climatiche ed edafiche*.

Sino a quando le precipitazioni risultano maggiori o uguali della PE, la curva della AE e quella della PE stessa coincidono e la riserva idrica del suolo (ST) rimane integra. Si può verificare anzi un surplus (S) d'acqua a disposizione per lo scorrimento superficiale.

Qualora si verificano periodi con precipitazioni inferiori alla PE, le curve della AE e della PE tendono invece a divergere. Inizialmente la scarsità di precipitazioni viene compensata dalla ST, ma se il periodo di scarse precipitazioni persiste, il contributo della ST diminuisce progressivamente fino ad annullarsi. Contemporaneamente si manifesta un deficit (D) crescente, pari alla differenza tra PE e AE. Il deficit idrico, cioè il periodo di crisi idrica per le piante, viene graficamente rappresentato nel diagramma come l'area delimitata superiormente dalla curva della PE e inferiormente da quella della AE. Il bilancio prevede anche la ricarica della riserva idrica del suolo, al sopraggiungere di nuove precipitazioni.

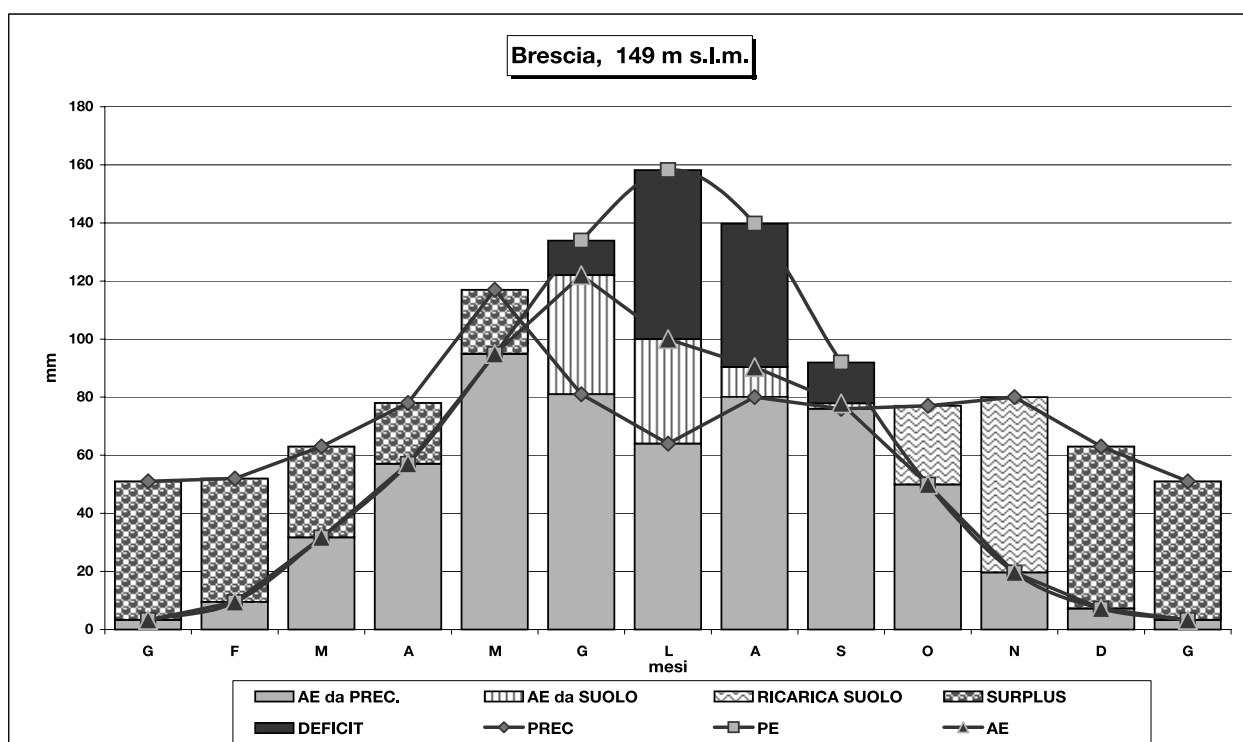


Fig. 1 – Esempio di bilancio idrico secondo Thornthwaite riferito alla stazione di Brescia.

## METODI

Per la determinazione della procedura di calcolo del bilancio idrico si è fatto riferimento a numerosi contributi (THORNTHWAITE and MATHER, 1957; PINNA, 1977; CONSTANTINIDIS, 1981; ANDREOLI *et al.*, 1994; MARIANI, 1994; PAMPALUNA e BRENNIA, 1996; GUPTA, 1995) a cui si rimanda per le singole fasi.

## CALCOLO DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE (PE)

Il calcolo di PE è stato affrontato seguendo l'impostazione originale, cioè come prodotto tra l'evapotraspirazione potenziale non corretta (etp), ovvero riferita a periodi diurni di 12 ore, e un coefficiente di correzione (K), espresso in funzione della latitudine e del mese considerati. Il prodotto ottenuto è stato moltiplicato anche per un secondo coefficiente di correzione (As), espresso in funzione dei valori di inclinazione ed esposizione dei luoghi considerati. Per il calcolo di As sono stati utilizzati dati tabulati di assolazione annua riportati da BARTORELLI (1967), ed è stata informatizzata la procedura di interpolazione riportata nello stesso lavoro, ottenendo il valore del rapporto tra l'assolazione annua del luogo considerato e quella di un luogo piano posto alla stessa latitudine.

Per quanto riguarda il coefficiente di correzione K, partendo da valori tabulati in funzione del mese e della latitudine (tab. 3.9, pag. 80, GUPTA, 1995) si è proceduto all'individuazione di 12 curve mensili di interpolazione, rappresentate da polinomiali di 2° grado (fig. 2). I coefficienti **a** di  $x^2$  e **b** di  $x$  sono stati a loro volta interpolati tramite polinomiali di 6° grado (fig. 3). Il termine noto è risultato essere pari al

numero di giorni del mese considerato diviso 30.

La formulazione finale della curva per ottenere K in funzione della latitudine e del mese è la seguente:

$$K = [(-0.0229 * X^6 + 0.8018 * X^5 - 9.4542 * X^4 + 37.271 * X^3 - 3.6561 * X^2 + 92.878 * X - 717.92) * 10^{-7} * Y^2] + [(-2.1571 * X^6 + 87.98 * X^5 - 1324.4 * X^4 + 9057 * X^3 - 29898 * X^2 + 58430 * X - 63242) * 10^{-7} * Y] + gg(X)/30$$

dove: **x** è il numero del mese (ad es. per febbraio  $x=2$ )

**y** è la latitudine della località considerata

**gg(x)** è il numero dei giorni del mese  $x$  (ad es. per febbraio  $gg=28$ )

La media delle differenze tra i valori tabulati ricavati dalla letteratura e quelli calcolati mediante la funzione di interpolazione così ottenuta (media degli errori) è risultata prossima a 0 ed il coeff. di correlazione  $R^2$  prossimo a 1.

## CALCOLO DELLA RISERVA D'ACQUA DEL SUOLO (ST) E DELLE SUE VARIAZIONI

La riserva idrica del suolo (ST) rappresenta la quantità d'acqua presente in un dato momento nel suolo, ovvero la quantità d'acqua effettivamente a disposizione per le piante. Essa è funzione delle caratteristiche del suolo, ma anche del regime climatico. Viene calcolata a partire dalla stima della riserva idrica iniziale o totale, ovvero della capacità di ritenzione idrica del suolo (AWC). Questa variabile dipende principalmente dalla tessitura e, in misura minore, dal contenuto in sostanza organica e dal peso specifico del suolo (MCRAE, 1991). Le procedure per il calcolo corretto della AWC, sulla base delle caratteristiche fisiche del suolo, sono indicate da MCRAE (op. cit.).

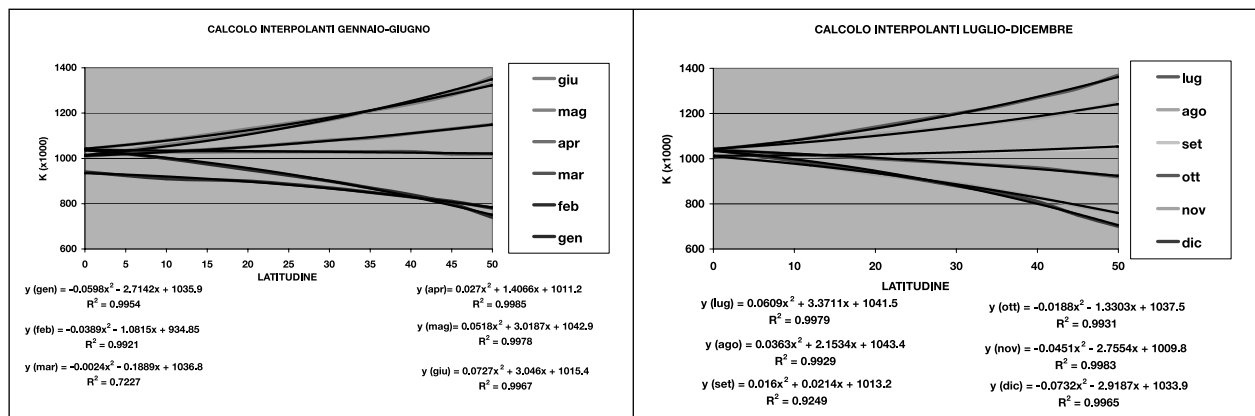


Fig. 2 – Curve mensili di interpolazione (coeff. K).

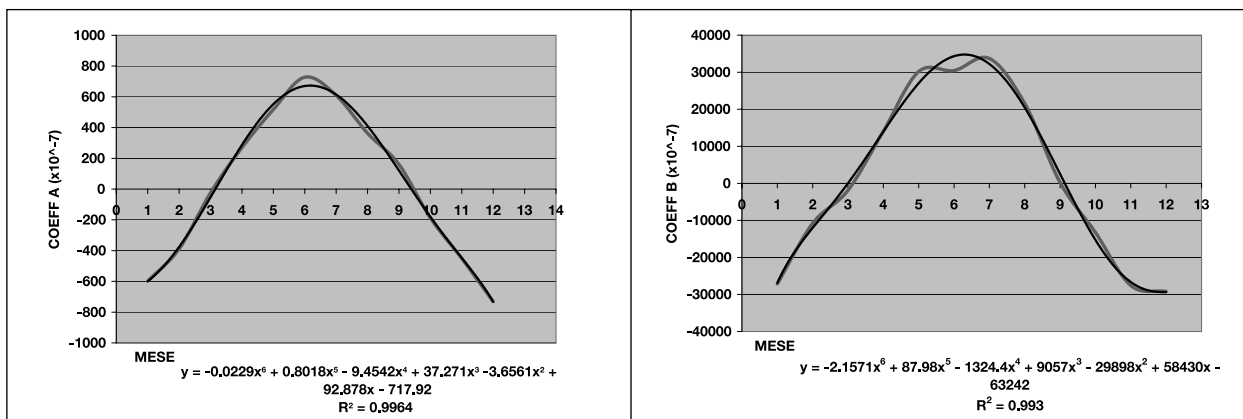


Fig. 3 – Interpolazione dei coeff. **a** di  $x^6$  e **b** di  $x$ . (coeff. K).

Nei mesi in cui  $(P-PE) < 0$ , la riserva idrica del suolo viene utilizzata, subendo delle variazioni. Le diminuzioni della riserva avvengono esponenzialmente in funzione delle perdite d'acqua cumulate (A.WL), ottenute sommando i valori negativi di un dato mese a quelli del mese successivo (sempre che P-PE permanga negativo).

Per ottenere una stima puntuale della riserva idrica sono stati utilizzati valori tabulati di ST in funzione dell'AWC del suolo e delle perdite cumulate A.WL (tab. IV, pag.437, in PINNA, 1977). Questi valori sono stati interpolati partendo da 5 funzioni esponenziali (fig. 4) del tipo:

$$ST = AWC * e^{-n * A.WL}$$

dove:

ST = riserva idrica in un dato momento

AWC = capacità idrica del suolo o ST iniziale secondo

PINNA (1977)

A.WL = perdita d'acqua cumulata

n = coefficiente variabile dell'esponente

Una successiva interpolazione degli **n** tramite una polinomiale di 4° grado (fig. 5) ha permesso di arrivare alla formulazione di una curva per stimare ST in funzione delle AWC dei suoli e delle A.WL determinate dal regime climatico. La funzione risultante è la seguente:

$$ST = AWC * e^{-n * A.WL}$$

dove:

$$n = -(0.0007 * AWC^4 - 1.1975 * AWC^3 + 742.57 * AWC^2 - 200602 * AWC + 23761000) * 10^{-9}$$

I coefficienti di correlazione R<sup>2</sup> tra valori tabulati e calcolati sono risultati molto elevati, prossimi a 1.

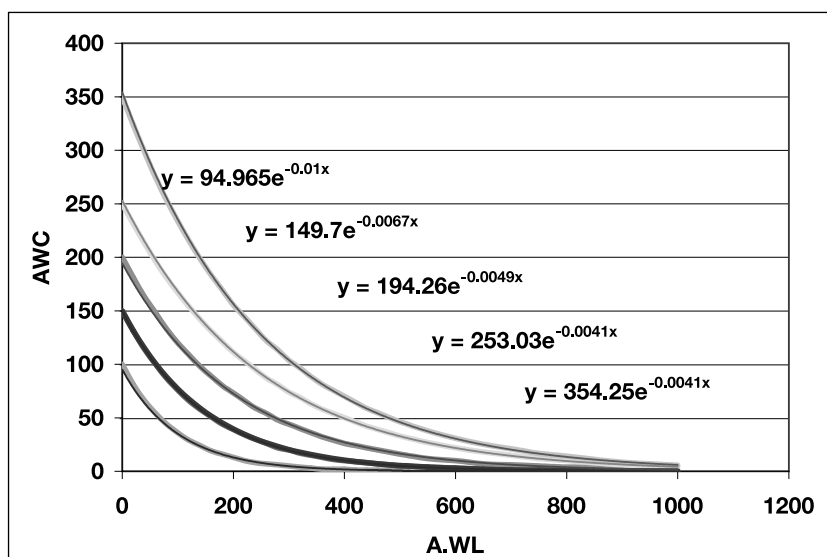


Fig. 4 – Stima della variazione della riserva idrica del suolo (ST).

**ISTRUZIONI PER OTTENERE IL DIAGRAMMA DEL BILANCIO IDRICO DEL SUOLO**

Vengono riportate le istruzioni per l'utilizzo del fo-

glio elettronico, al fine di ricavare automaticamente il diagramma del bilancio idrico relativo alla località considerata.

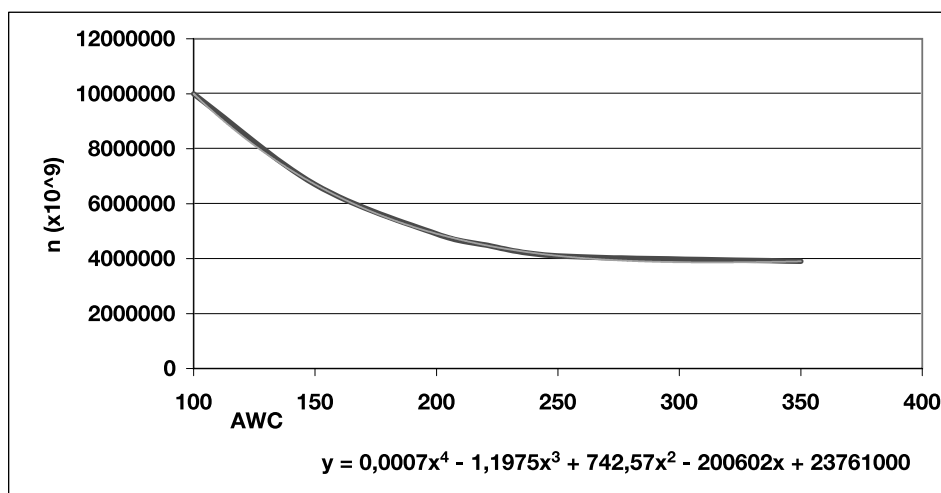


Fig. 5 – Interpolazione degli *n* (coeff. variabile dell'AWL nell'esponentiale del calcolo della ST).

*1. Parametri climatici*

a) Inserire nelle apposite celle della tabella TEMPE-

RATURE MEDIE i valori delle medie mensili della temperatura, espressi in gradi centigradi.

TEMPERATURE MEDIE

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
<b>Tm (°C)</b>												

b) Qualora non siano disponibili i valori delle temperature medie mensili, ma solo quelli delle temperature medie massime (Tmax) e minime (Tmin)

mensili, sarà sufficiente inserirle nelle celle della tabella TEMPERATURE MASSIME E MINIME. Le medie verranno calcolate automaticamente.

TEMPERATURE MASSIME E MINIME

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
<b>T max (°C)</b>												
<b>T min (°C)</b>												
<b>Tm (°C)</b>												

c) Inserire nelle apposite celle della tabella PRECIPITAZIONI MEDIE i valori delle medie

mensili delle precipitazioni, espressi in mm di pioggia.

## PRECIPITAZIONI MEDIE

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
<b>P (mm)</b>												

## 2. Parametri stazionali

- a) Inserire nelle apposite celle della tabella LATITUDINE il valore della latitudine della stazione, espresso in gradi e primi di grado. Le procedure di calcolo sviluppate permettono l'impiego del foglio elettronico solo per latitudini comprese tra 36° e 48°.

## LATITUDINE

	Gradi°	Primi
<b>Latitudine</b>		

- b) Inserire nelle apposite celle della tabella INCLINAZIONE – ESPOSIZIONE i valori dell'inclinazione e dell'esposizione della stazione, espressi in gradi. Si consiglia di non inserire stazioni con inclinazioni superiori a 45°.

## INCLINAZIONE – ESPOSIZIONE

	Gradi
<b>Inclinazione°</b>	
<b>Esposizione°</b>	

## 3. Parametri edafici

- a) Per eseguire il calcolo della capacità di ritenzione idrica AWC di un suolo è necessario poter disporre dei dati relativi alla tessitura e alla profondità del suolo, intesa come zona esplorata dalle radici delle piante, nella località considerata. Inserire nelle apposite celle della tabella TESSITURA SUOLO i valori percentuali di scheletro, argilla e limo di ciascun orizzonte (la percentuale di terra fine e quella di sabbia vengono calcolate automaticamente per differenza).

## TESSITURA SUOLO E STIMA DELL'AWC

	Scheletro %	Terra fine %	Argilla %	Limo %	Sabbia %	Tessitura U.S.D.A.	Coeff. H <sub>2</sub> O disp.	Profondità Suolo in cm	Riserva clinica ST
<b>Orizzonte 1</b>		100			100	<b>Sabbia</b>			0
<b>Orizzonte 2</b>		100			100	<b>Sabbia</b>			0
<b>Orizzonte 3</b>		100			100	<b>Sabbia</b>			0
<b>Orizzonte 4</b>		100			100	<b>Sabbia</b>			0
<b>Orizzonte 5</b>		100			100	<b>Sabbia</b>			0
								<b>AWC totale</b>	0

I dati così inseriti consentono di determinare automaticamente una classe tessiturale per ciascun orizzonte considerato (celle Tessitura U.S.D.A.), secondo quanto proposto dal sistema

U.S.D.A. (GIOVAGNOTTI, 1980). Una volta ricavata la classe tessiturale, devono essere identificati i coefficienti di acqua disponibile, utilizzando la Tabella A.

Tessitura del suolo	Acqua facilmente disponibile (0,05-2 bar)	Acqua disponibile (0,05-15 bar)			
	Orizzonti di profondità	Orizzonti di superficie		Orizzonti di profondità	
Argilla	0,9	1,8	(1,8)	1,5	(1,5)
Argilla sabbiosa			(1,7)		(1,5)
Argilla limosa	0,9	1,7	(1,8)	1,6	(1,5)
Franco argillo sabbiosa	1,1	1,7	(1,7)	1,7	(1,5)
Franco argillosa	0,9	2,0	(1,8)	1,5	(1,5)
Franco argillo limosa	1,0	2,0	(1,8)	1,7	(1,5)
Franco limosa	1,8	2,5	(2,2)	2,2	(2,1)
Franco limoso sabbiosa	1,1	2,1	(1,9)	1,8	(1,7)
Franco sabbiosa	1,2	1,6	(1,7)	1,5	(1,5)
Sabbiosa franca	0,9	1,4	(1,2)	1,2	(0,9)
Sabbia	0,7		(0,8)	0,9	(0,5)
Torba			(3,5)		(3,5)

Tab. A – Acqua facilmente disponibile (0,05-2 bar) e acqua disponibile (0,05-15 bar) per orizzonti di superficie e di profondità in relazione alla tessitura del suolo. Fonti: HALL *et al.* (1977) mod. e MAFF (1984). I dati di HALL *et al.* assumono per tutti i suoli un valore di densità media e la frazione sabbiosa è riferita principalmente all'intervallo medio. I dati MAFF, tra parentesi, non specificano né i valori di densità, né quelli relativi alla natura della frazione sabbiosa. I dati relativi all'"acqua facilmente disponibile" sono riferiti solo agli orizzonti di profondità. I dati sono espressi in mm di acqua per cm di profondità del suolo. (Tabella e didascalia da MCRÆ, 1991).

Come si può notare dalla tabella, alla medesima classe tessitura corrispondono diversi coefficienti, suddivisi fra acqua facilmente disponibile (rimossa con una bassa forza di suzione, compresa tra 0,05 e 2 bar ed utilizzabile in condizioni di suolo relativamente umido) e acqua disponibile (rimossa dal suolo applicando una forza di suzione compresa tra 0,05 e 15 bar). Questi coefficienti sono inoltre calcolati in funzione della localizzazione degli orizzonti (orizzonti di superficie ed orizzonti di profondità) (MCRÆ, 1991). Nel calcolo dell'AWC si ricorre, di norma, solamente ai coefficienti dell'acqua disponibile (0,05-15 bar) e si considerano come orizzonti profondi, quelli al di sotto dei 25-50 cm.

Individuati i coefficienti di acqua disponibile dalla

tabella A, o da altre fonti, questi devono essere inseriti nelle apposite celle (Coeff. H<sub>2</sub>O disp.) della tabella TESSITURA SUOLO. Infine, non resta che riportare la profondità, espressa in cm, degli orizzonti considerati (celle: Profondità suolo in cm).

b) Qualora non si abbiano a disposizione i dati tessitura e di profondità degli orizzonti, è possibile inserire valori di AWC indicativi oppure ricavati dalla letteratura. Il dato viene inserito nell'ultima cella in basso a sinistra, della tabella TESSITURA SUOLO.

AWC empirico	
--------------	--

**BIBLIOGRAFIA**

- ANDREOLI L., BRENNIA S. e CABRINI R. M., 1994. Cartografia tematica per la gestione delle risorse idriche del territorio: consorzio di bonifica Mella e dei fontanili. Serie di aggiornamenti di Agrometeorologia e Pedologia, pubbl. n°5 ERSAL, Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia. Milano.
- BARTORELLI U., 1967. Tavole numeriche dell'assolazione annua per i luoghi della terra compresi nella fascia da 36° a 48° di latitudine, inclinati fino a 45° esposti comunque. *Acc. It. Sc. For.* n° 16: 61-95.
- CONSTANTINIDIS C., 1981. Bonifica ed irrigazione, II Ed., Edagricole.
- GIOVAGNOTTI C., 1980. Tassonomia del suolo. Ediz. Italiana della Soil Taxonomy USDA, Edagricole.
- GUPTA R.S., 1995. Hydrology and Hydraulic Systems. II Ed., Waveland Press, Chicago, 1995.
- MARIANI L., 1994. Albis – medio 1: procedura semplificata per il calcolo del bilancio idrico giornaliero di colture di pieno campo. Serie di aggiornamenti di Agrometeorologia e Pedologia, pubbl. n°10 ERSAL, Ente Regionale di sviluppo agricolo della Lombardia. Milano.
- MCRAE S.G., 1991. Pedologia pratica. Come studiare i suoli sul campo. Zanichelli, Bologna.
- PAMPALUNA M. e BRENNIA S., 1996. Manuale per la compilazione delle schede delle Unità cartografiche. Serie di aggiornamenti di Agrometeorologia e Pedologia, pubbl. n°7 ERSAL, Ente Regionale di sviluppo agricolo della Lombardia. Milano.
- PINNA M., 1977. Climatologia. Utet, Torino.
- THORNTHWAITE C. W. and MATHER J.R., 1955. The water balance. *Publ. in Climatology*, 8: 1-104.
- THORNTHWAITE C. W. and MATHER J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publ. in Climatology*, 10: 181-311.
- VENANZONI R. e PEDROTTI F., 1995. Il clima. In: PIGNATTI S. (ed.). Ecologia vegetale. UTET, Torino.