

L'EVAPOTRASPIRAZIONE

È la combinazione di due processi separati, l'evaporazione dal terreno e la traspirazione da parte delle foglie delle piante (Fig. 1) e costituisce la principale perdita d'acqua dal sistema colturale. L'evapotraspirazione (ET) è, quindi, il principale elemento negativo del bilancio idrico.

L'evapotraspirazione è il vero "motore" capace di provocare l'assorbimento radicale dell'acqua ed una regolare fotosintesi, è quindi una perdita d'acqua positiva per la produttività delle colture e, quasi sempre, alla maggiore evapotraspirazione della coltura, non limitata da carenza d'acqua nel terreno, corrisponde la massima resa.

Quando l'umidità del terreno per effetto del consumo per evapotraspirazione delle piante raggiunge livelli critici per la coltura, la pianta cercherà di adattarsi sia incrementando il potere assorbente delle radici (processo più veloce) sia aumentando, seppure lentamente, la superficie assorbente delle radici, sviluppandole in profondità ed in densità (aumento dell'acqua in ingresso nella pianta).

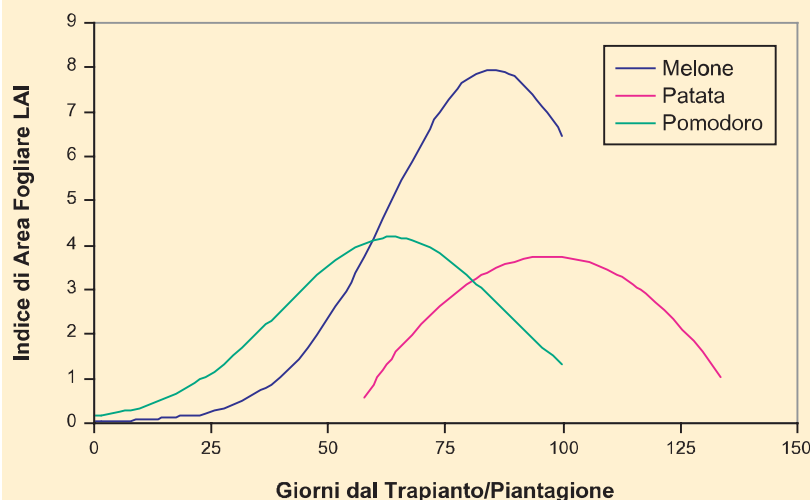
A livelli ancora minori di umidità nel terreno, la pianta inizierà anche a ridurre le perdite d'acqua con chiusura degli stomi attraverso i quali l'acqua viene traspirata e aumentando la concentrazione osmotica nei tessuti vegetali. In casi estremi l'adattamento della pianta allo stress idrico la porterà a sviluppare foglie più piccole e più spesse, ancora più negative in termini di funzionalità produttiva della coltura.

La conoscenza dell'evapotraspira-

Fig. 1 - Tragitto dell'acqua tra suolo, pianta ed atmosfera.



Fig. 2 - Sviluppo dell'indice di Area Fogliare (m^2 foglia/ m^2 di terreno) di alcune colture in Emilia-Romagna.



zione delle colture è quindi molto importante sia per valutarne l'adattabilità nei diversi ambienti climatici, sia per la compilazione dei bilanci idrici finalizzati ad un pilotaggio irriguo efficiente e senza sprechi della risorsa idrica.

L'EVAPORAZIONE (E)

L'evaporazione è il processo fisico per cui l'acqua liquida passa a vapore acqueo, in conseguenza della temperatura dell'aria riscaldata dalla radiazione solare (energia). L'acqua evapora da tutte le superfici: terreno, foglie bagnate, specchi d'acqua, ecc. e la forza di rimozione dipende fortemente dal vento e dall'umidità dell'aria, infatti, cala se lo strato d'aria tra la superficie e l'atmosfera è già saturo di vapor d'acqua e non è sostituito da aria meno umida.

In una coltura, l'evaporazione dipende anche dall'ombreggiamento dato dalla vegetazione presente e dalla

quantità d'acqua disponibile.

A suolo nudo, o nelle prime fasi di sviluppo della coltura, l'evaporazione sarà quindi più elevata rispetto a quando il terreno è coperto dalle piante.

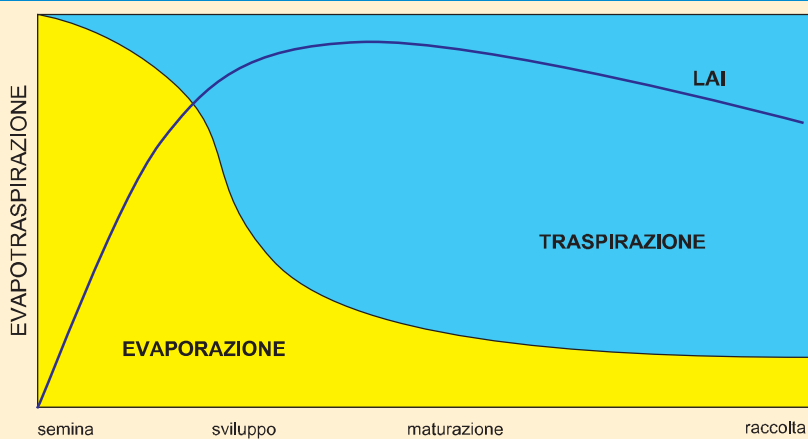
Inizialmente, quindi, l'evaporazione sarà la componente principale dell'evapotraspirazione, per poi progressivamente diventarne una frazione modesta. Sulle coltivazioni arboree ed erbacee allevate a file larghe il terreno non sarà mai completamente ombreggiato dalla vegetazione, in tal caso, l'evaporazione resta una discreta parte (15-30 %) dell'evapotraspirazione.

In presenza di piogge o irrigazioni frequenti, il terreno rimarrà a lungo soggetto al potere evaporante dell'atmosfera e le perdite saranno elevate, viceversa, al distanziarsi di piogge ed irrigazioni la capacità del terreno di portare acqua in superficie, per risalita capillare, si ridurrà e la superficie asciutta avrà un effetto pacciamate capace di ridurre e poi annullare quasi completamente l'evaporazione.

LA TRASPIRAZIONE (T)

La traspirazione è lo stesso fenomeno fisico dell'evaporazione, ma avviene a carico delle foglie come acqua che passa allo stato di gas uscendo principalmente dagli stomi ed in misura più modesta attraverso la superficie fogliare.

Fig. 3 - Rapporto tra evaporazione e traspirazione in relazione all'indice di area fogliare (LAI) della coltura.



La soluzione circolante di acqua e nutrienti viene perciò prelevata dalle radici assorbenti e trasportata attraverso la pianta sino alle foglie (Fig.1), dove gli stomi controllano con un sofisticato sistema la perdita di vapor acqueo, permettendola quasi liberamente se la pianta ha un ottimale regime idrico, riducendola drasticamente quando le riserve del suolo sono quasi esaurite.

Le caratteristiche di resistenza o tolleranza alla siccità di una specie rispetto ad un'altra sono prevalentemente dovute al numero di stomi e all'efficienza del sistema di controllo delle proprie perdite d'acqua.

La traspirazione è influenzata dal tipo di terreno e dalla disponibilità d'acqua e quindi dalla capacità del terreno di trasportare l'acqua vicino alle radici, man mano che esse la prelevano.

Naturalmente, anche l'entità del potere evaporante dell'atmosfera e le caratteristiche proprie d'ogni specie, portano a diverse quantità d'acqua traspirata per unità di superficie.

La maggiore variabilità è poi data dalla fase di sviluppo della coltura e quindi dalla quantità di superficie fogliare sviluppata ed a contatto con il potere evaporante dell'atmosfera. Nelle fasi iniziali la superficie fogliare della coltura è modesta e molto inferiore a quella del terreno; l'evapotraspirazione sarà prevalentemente evaporazione dal terreno se bagnato in superficie e poca acqua sarà persa per traspirazione dalle foglie. Lo sviluppo della coltura porta l'apparato fogliare ad aumentare (Fig. 2), ed il rapporto tra superficie fogliare e superficie di terreno investita (LAI= Indice di Area Fogliare) raggiunge valori compresi tra 3 (coltura poco fogliosa) e 8-10 (colture con apparato fogliare denso ed espanso). In tale situazione la quantità di superficie traspirante a contatto con l'atmosfera determinerà i massimi valori di traspirazione, anche perché nelle colture primaverili-estive, la massima espansione della vegetazione coincide proprio con le giornate più calde dell'anno.

Nel complesso l'Evapotraspirazione, quindi il rapporto tra evaporazione e traspirazione, sarà decisamente proporzionale a quello tra superficie del terreno e delle foglie esposte alla radiazione solare, nell'evolversi delle diverse fasi di crescita della coltura. A terreno nudo il 100% dell'evapotraspirazione è determinata dalla evaporazione, mentre a piena copertura vegetale e con il massimo indice di area la traspirazione prevarrà sino a rappresentare l'80-90% del fenomeno (Fig. 3).

L'EVAPOTRASPIRAZIONE DI RIFERIMENTO (ET₀)

Come tutte le altre componenti del bilancio idrico anche l'evapotraspirazione viene misurata o stimata in mm d'acqua.

Il potere evaporante dell'atmosfera rappresentativo di un dato territorio o di un'azienda agricola, deve essere valutato indipendentemente dal tipo di coltura e del suo sviluppo. Per ET₀ si intende, quindi, l'evapotraspirazione di un prato di

Fig. 4 - Valori medi giornalieri dell'ET₀ (mm) in Emilia-Romagna.

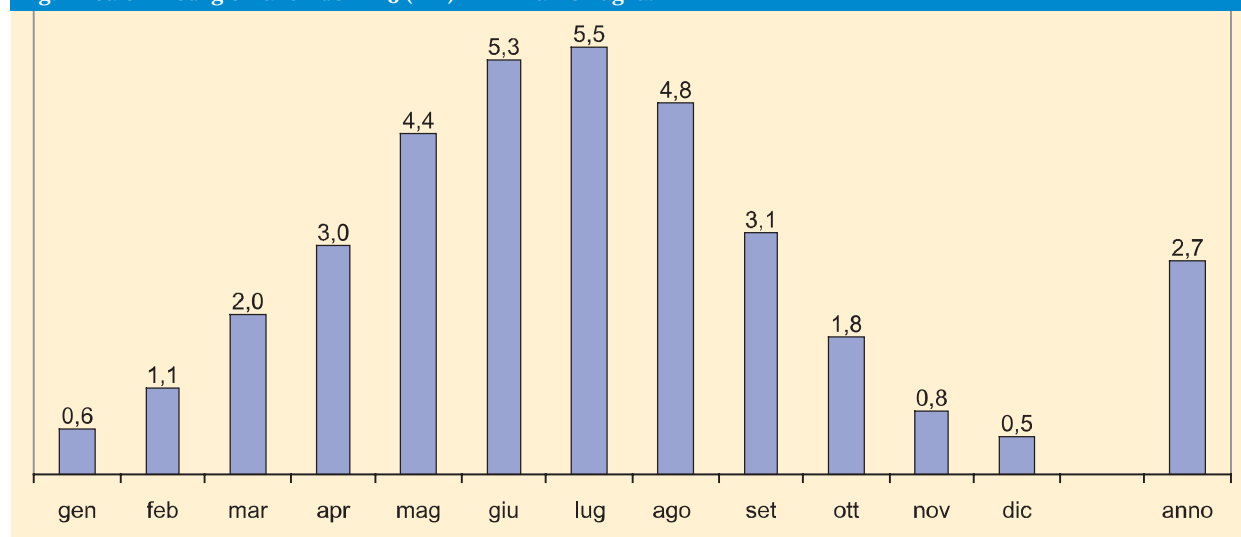
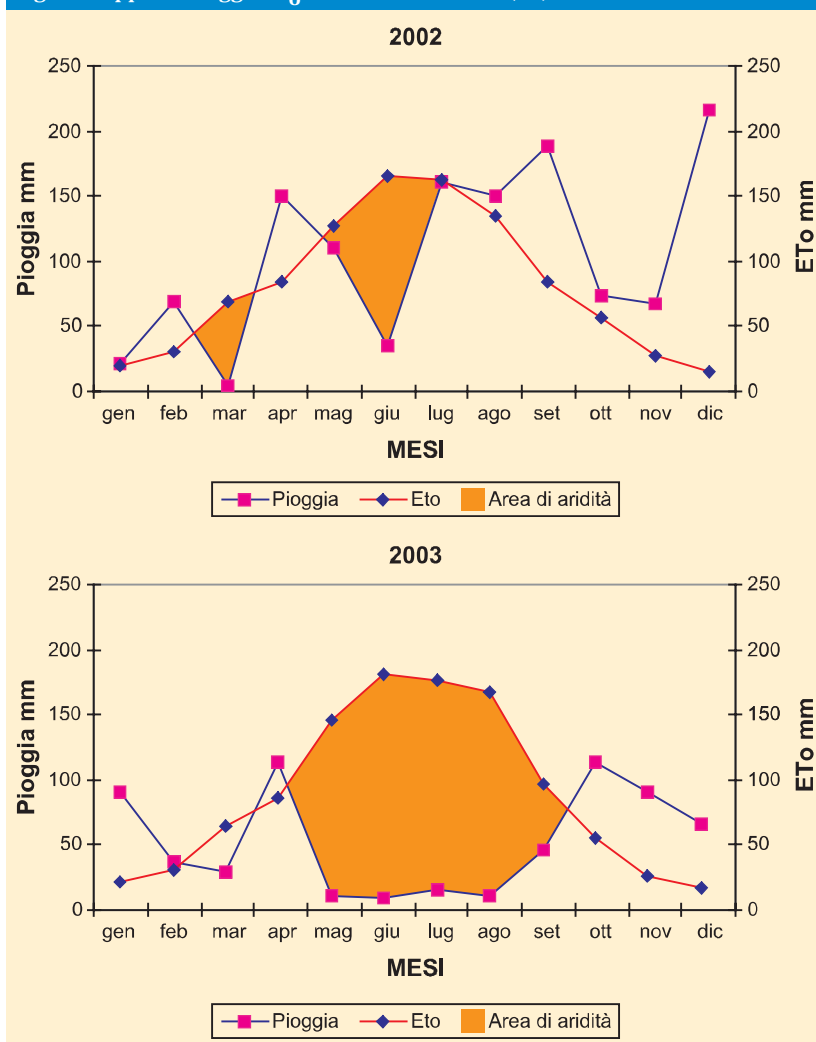


Fig. 5 - Rapporto Piogge/ET₀ della stazione Savio (RA).



graminacee alto 12 cm, mantenuto in ottimali condizioni, completamente ombreggiante il terreno ed abbastanza esteso.

L'esperienza ha ormai dimostrato che, nonostante la semplicità ed il costo ragionevole delle attuali stazioni meteorologiche utili alla misura dei dati climatici, solo aziende

agricole molto avanzate e di grandi dimensioni possono autonomamente procedere ai calcoli ed alla loro successiva utilizzazione in programmi di bilancio idrico. Sono stati perciò creati dei servizi di assistenza tecnica irrigua capaci di utilizzare la tecnica agroclimatica per fornire all'azienda agricola consi-

gli precisi sul bilancio idrico delle proprie colture.

Pur nella variabilità delle annate e dei differenti territori agricoli, l'ET₀ annua dell'Emilia-Romagna è di circa 1000 mm/anno, pari a circa 2,7 mm/giorno. A gennaio il basso potere evaporante dell'atmosfera determina una ET₀ di 0,6 mm/giorno che poi assume valori di 1,1; 2,0; 3,0 in febbraio, marzo ed aprile rispettivamente. Con l'allungamento della lunghezza delle giornate e la più elevata radiazione solare nei mesi successivi l'evapotraspirazione di riferimento aumenta raggiungendo i 4,4, 5,3 e 5,5 mm/giorno in maggio, giugno e luglio, per poi diminuire nuovamente in agosto (4,8 mm/giorno) sino al minimo annuale di dicembre di circa 0,5 mm/giorno (Fig. 4).

Una prima analisi delle necessità irrigue di un territorio agricolo, può essere fatta verificando il rapporto tra la piovosità e l'evapotraspirazione di riferimento. L'andamento mensile delle piogge rispetto a quello dell'ET₀ consente anche di verificare l'ampiezza dell'area di aridità, cioè del periodo nel quale il potere evaporante prevale sulle piogge, rendendo negativo un bilancio idrico standard. Per la stessa zona la variabilità del rapporto è molto elevata tra le diverse annate; la variabilità risulta molto evidente confrontando i dati della stazione Savio (RA) degli anni 2002 e 2003 (Fig. 5), nel primo una piccola area di aridità e quindi modeste necessità irrigue, viceversa, nel secondo, l'ET₀ assume valori molto superiori alla media e le piogge estive sono scarsissime; l'area di aridità intercettata dai due valori è quindi molto ampia, sottolineando che l'estate 2003 è stata la più arida dell'ultimo sessantennio.

L'EVAPOTRASPIRAZIONE MASSIMA DELLA COLTURA (ETM)

L'evapotraspirazione di riferimento ET_0 è, per definizione, riferita ad un prato standard in buone condizioni irrigue e dunque non rappresenta il consumo delle altre colture.

L'evapotraspirazione massima di una coltura ETM in ottimali condizioni di umidità nel terreno è però facilmente calcolabile tramite l'equazione:

$$ETM = ET_0 \times Kc$$

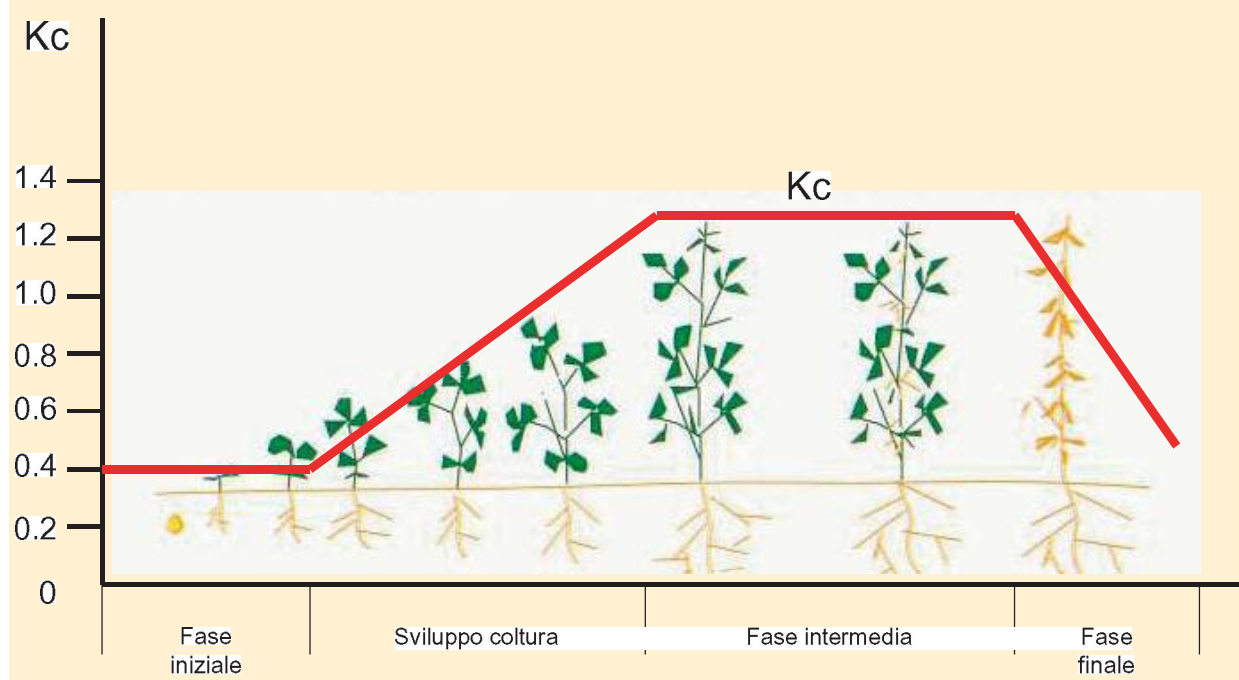
Dove il Kc è il coefficiente culturale, tipico di ogni coltura in ogni fase del suo ciclo. Il Kc è individuato dalla ricerca secondo il rapporto tra il consumo per evapotraspirazione della coltura studiata, con quella del prato di riferimento: $Kc = ETM / ET_0$. Mentre però ET_0 prescinde dalla coltura e dalla fase di crescita, l'ETM

varia in funzione delle caratteristiche di ogni coltura, della copertura vegetale del terreno e dell'Indice di area fogliare della coltura.

Ad inizio del ciclo culturale il Kc della coltura a suolo nudo assume valori di circa 0,2-0,4, secondo la frequenza delle piogge capaci di bagnarlo in superficie. Immediatamente dopo l'emergenza od il trapianto delle colture annuali, o la ripresa vegetativa di quelle poliennali, la traspirazione a carico delle foglie determina un leggero incremento dell'evapotraspirazione, in precedenza esclusivamente dovuto dall'evaporazione, con un innalzamento del valore del coefficiente culturale. Nella successiva fase di veloce sviluppo della coltura il Kc cresce velocemente sino a raggiungere il valore massimo di 1,1-1,3, che si mantiene

tale sino all'inizio del periodo d'invecchiamento, momento dal quale inizia a calare sino a tornare ai valori minimi iniziali di 0,4-0,5 (Fig. 6). Naturalmente immediatamente dopo la pioggia o l'irrigazione il Kc subirà dei rapidi innalzamenti per effetto dell'incremento della evaporazione dal terreno o dalle foglie bagnate e quindi, minimi in caso di irrigazione a goccia e massimi con l'asperzione. La ricerca internazionale ha messo a punto i coefficienti culturali per ognuna di queste fasi, la sperimentazione condotta dal Consorzio per il Canale Emiliano Romagnolo ha prima consentito di individuare i Kc più adatti alle specifiche condizioni dell'Emilia-Romagna, cercando anche di rendere individuabile in campo il momento di passaggio da una fase all'altra (Tab. 1 e 2), per poi individuare l'an-

Fig. 6 - Andamento generale del coefficiente culturale Kc per una coltura tipo.



RISPARMIO IDRICO / IRRIGAZIONE E BILANCIO IDRICO

Tab. 1 - Coefficienti culturali (Kc) per colture erbacee consigliati nell'ambiente emiliano-romagnolo.

Specie	Kc	Fase fenologica	Specie	Kc	Fase fenologica	Specie	Kc	Fase fenologica
Asparago	0,3	fine raccolta turioni	Fagiolo	0,4	semina	Melanzana	0,4	trapianto
	0,6	bottone florale	e fagiolino	0,6	emergenza		0,9	sino ad attecchimento
	0,8	fiori e foglie		0,8	quattro foglie vere		1,0	fase vegetativa
	1,0	80% bacche rosse		1,0	abbozzi florali		1,2	inizio e piena produzione
Bietola da seme	0,4	semina/trapianto	Fragola	0,3	risveglio vegetativo	Patata	0,4	semina
		emissione foglie basali		0,6	primi fiori		0,6	emergenza
		chiusura sulla fila e tra le file		0,8	primi frutti bianchi		0,8	inizio formazione tuberi
	0,6	fase piena fioritura		1,0	prima raccolta		1,1	massimo sviluppo vegetativo
	1,2	fase piena allegagione		1,0	raccolta in aprile		1,0	ingiallimento fogliare
	0,7	giomeruli suberosi		1,0	raccolta in maggio	Pisello	0,4	semina
Bietola a seme	0,4	semina	Girasole	0,3	semina		0,6	emergenza
	0,6	sesta foglia		0,4	emergenza		0,8	quattro foglie vere
	0,8	ottava foglia		0,6	comparsa calatide (infiorescenza)		1,0	abbozzi florali
	1,0	dodicesima foglia		0,8	fioritura	Pomodoro da industria	0,4	semina o trapianto
0,8	diciottesima foglia	1,1	allegagione	0,6	primi frutti			
Cipolla	0,4	semina	Mais	0,4	semina	0,8	secondo palco con frutti	
	0,6	emergenza		0,5	sesta foglia	1,0	10% bacche rosse	
	0,8	due foglie vere		0,8	levata	0,8	25% bacche rosse	
	1,0	inizio formazione bulbi		1,2	emissione pennacchio	Soia	0,4	semina o trapianto
0,8	20% piante collassate	1,0	imbruttimento sete	0,8	quarta foglia			
Cocomero	0,4	trapianto	0,8	fine maturazione lattea	1,0		fioritura primo palco	
	0,6	rimozione copertura			0,8	riempimento baccelli 5° palco		
	0,8	diametro frutti 10 cm			0,8	completo ingrossamento semi		
	1,0	inizio raccolta						
0,8	fine raccolta							

Tab. 2 - Coefficienti culturali (Kc) per colture arboree consigliati nell'ambiente emiliano-romagnolo.

Specie	Kc		Mese e/o fase fenologica	Specie	Kc		Mese e/o fase fenologica
	Terreno inerbito	Terreno lavorato			Terreno inerbito	Terreno lavorato	
Actinidia	0,5	0,45	aprile	Melo	0,45	0,5	aprile
	0,75	0,5	maggio		0,75	0,55	maggio
	1,1	0,9	giugno		1,0	0,75	giugno
	1,25	1,15	da luglio a ottobre		1,1	0,85	da luglio a settembre
Albicocco	0,45	0,5	aprile	Pero	0,6	0,45	agosto o post raccolta
	0,5	0,7	maggio		0,5	0,45	aprile
	0,65	0,9	giugno		0,6	0,7	maggio
	0,75	1,0	luglio (anche post raccolta)		0,9	0,8	giugno
	0,4	0,5	agosto post raccolta		1,0	0,9	da luglio a settembre
Ciliegio	0,45	0,5	aprile	Pesco	0,5	0,4	agosto o post raccolta
	0,75	0,55	maggio		0,5	0,45	aprile
	1,0	0,75	giugno		0,7	0,5	maggio
	1,1	0,85	luglio		0,9	0,65	giugno
	0,6	0,45	luglio e agosto post raccolta		1,0	0,75	luglio e agosto
			0,5	0,4	luglio e agosto in post raccolta		
			Vite	0,75	0,55	pre-chiusura grappolo	
				0,6	0,8	inizio invaiatura	

damento dei coefficienti culturali basandosi non su osservazioni dirette, ma su modelli di sviluppo delle stesse basati sui dati climatici.

La sperimentazione del Consorzio per il CER ha anche in parte adattato i Kc per l'ottenimento non dell'Evapotraspirazione Massima (ETM) del-

la coltura, ma di una Evapotraspirazione Agronomica, cioè quella per la quale sono eliminati i consumi di lusso e per la quale si ottiene il massimo

prodotto commerciale, o la qualità desiderata dal mercato (zucchero per la bietola, pezzature commerciali per la patata e la cipolla, ecc.). L'ETM, infatti, è per definizione di una coltura in ottimali condizioni di rifornimento idrico, condizione non sempre ideali per le colture industriali, che richiedono un alto contenuto dell'elemento da trasformare o per molte colture ortofrutticole e la vite dove il contenuto zuccherino rappresenta un elemento importante della qualità; tale adattamento ha consentito un primo compromesso capace di determinare un risparmio della risorsa idrica.

L'EVAPOTRASPIRAZIONE EFFETTIVA DELLA COLTURA (ETE)

Mentre l'ETM è il consumo della coltura mantenuta in un perfetto rifornimento d'acqua che gli garantisca, appunto, la possibilità di traspirare senza limitazioni; ma nel caso concreto anche le colture irrigate da bilancio idrico riducono il loro tasso di traspirazione se l'irrigazione è ritardata e l'acqua contenuta nel terreno scende al di sotto di quella che abbiamo definito la Riserva Facilmente Utilizzabile (RFU), che è variabile per ogni specie.

Ecco che allora occorre individuare l'evapotraspirazione Effettiva ETE

della coltura; quando la coltura è in buone condizioni d'umidità nel suolo, senza scendere al di sotto della RFU avremo che ETE è uguale a ETM, cioè la evapotraspirazione effettiva coincide con quella massima, in caso opposto occorre calcolare l'effettiva evapotraspirazione applicando un coefficiente di stress Ks, dove $ETE = ET_{O} \times Kc \times Ks$.

La RFU è tipica di ogni tipo di terreno (vedi pag. 82) e variabile da coltura a coltura sulla base della sua efficienza d'estrazione d'acqua dal terreno e della profondità del suo apparato radicale (Tab 1 a pag. 57). In un bilancio compilato giornalmente andranno quindi sottratti i millimetri di ETM persi il giorno precedente, ma se la quantità d'acqua dello strato di suolo interessato dalle radici scende al di sotto del valore

di RFU, andrà sottratta la ETE valutando la limitazione dei consumi della coltura, tramite l'applicazione del Ks individuabile graficamente in figura 7; il Ks si mantiene eguale ad 1 sino alla RFU, per poi calare sino a 0 e raggiungere il valore del Punto di Appassimento (PA), annullando i consumi stimati del giorno.

Nel caso di una RFU pari al 50% dell'Acqua Disponibile il Ks sarà 0,8 al raggiungimento del 60% dell'acqua disponibile consumata, diventa 0,6 al 70% è 0,4 all'80%, 0,2 al 90%, per poi essere 0 raggiunto l'intero consumo dell'acqua disponibile nello strato considerato (punto di appassimento).

In quest'ultima situazione l'ETE sarà eguale a zero, ed il bilancio idrico stimerà l'annullamento dei consumi, per mancanza di acqua assorbibile dalle piante.

Fig. 7 - Individuazione grafica del coefficiente di stress idrico Ks per una coltura con Riserva Facilmente Utilizzabile pari al 50% dell'Acqua Disponibile.

