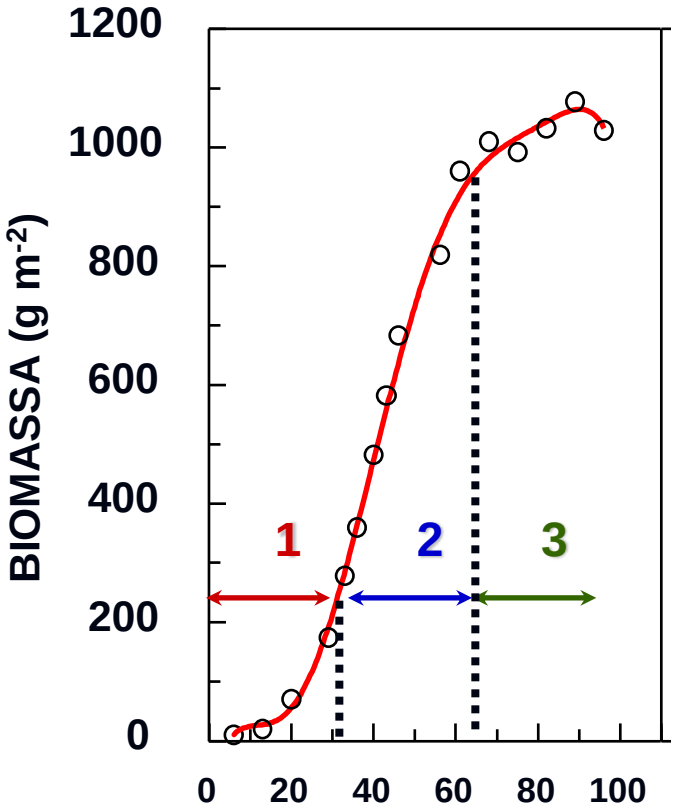
POMODORO da INDUSTRIA

- modelli

Francesco Tei
Università degli Studi di Perugia
Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali
francesco.tei@unipg.it

CRESCITA DI UNA COLTURA ANNUALE



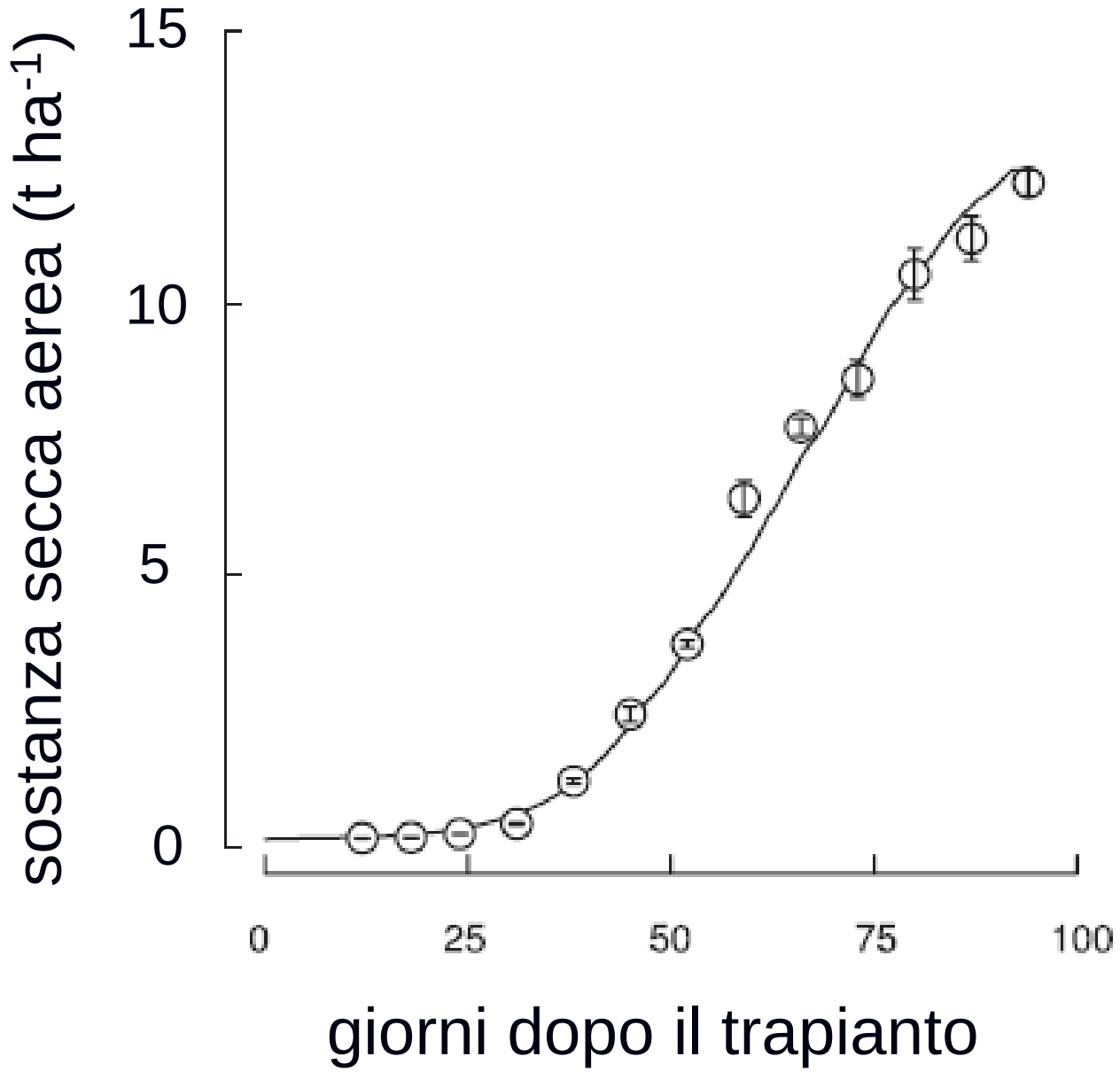
FASI DI CRESCITA

1) iniziale esponenziale

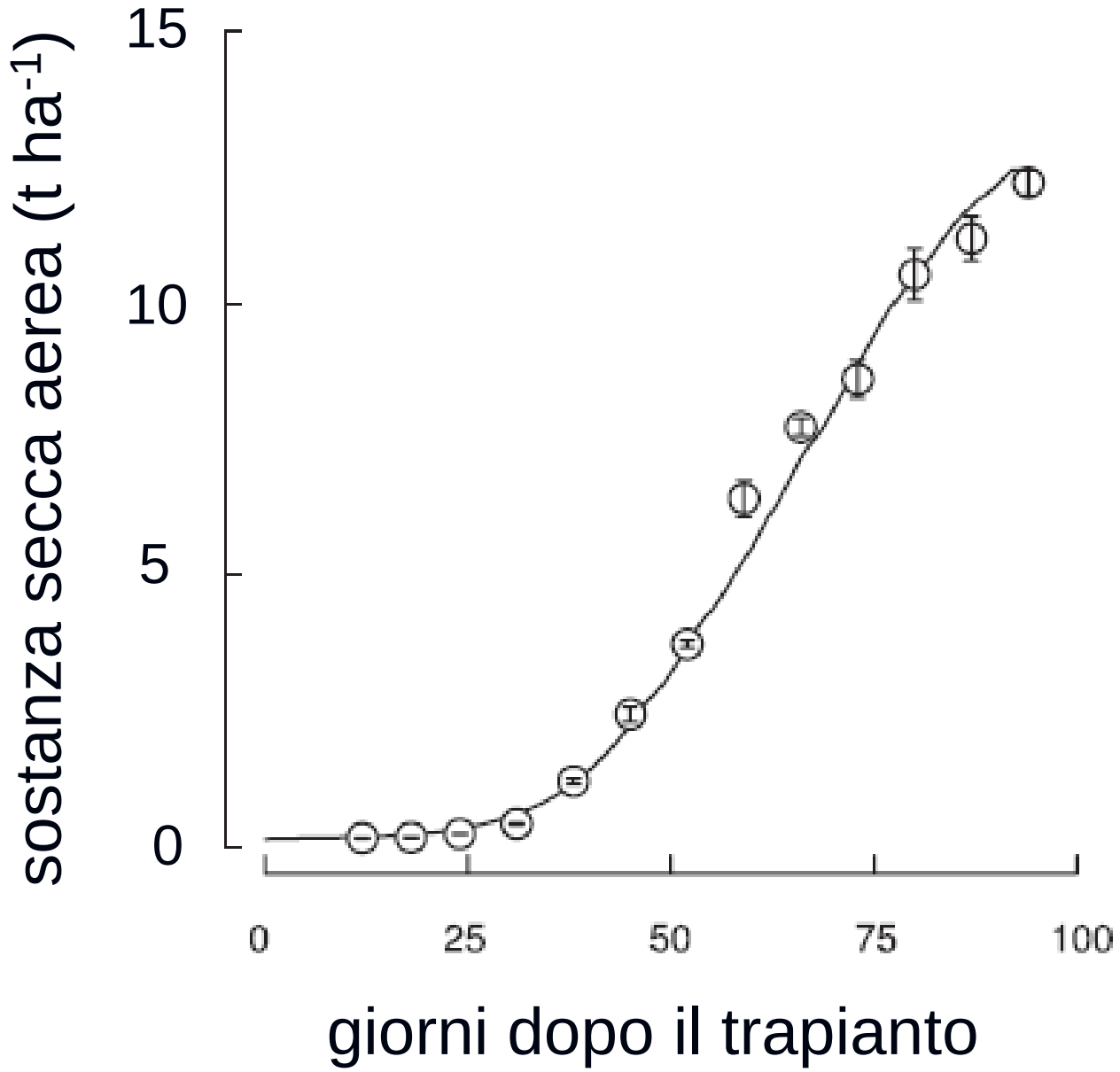
2) centrale lineare

3) di senescenza (o maturazione)

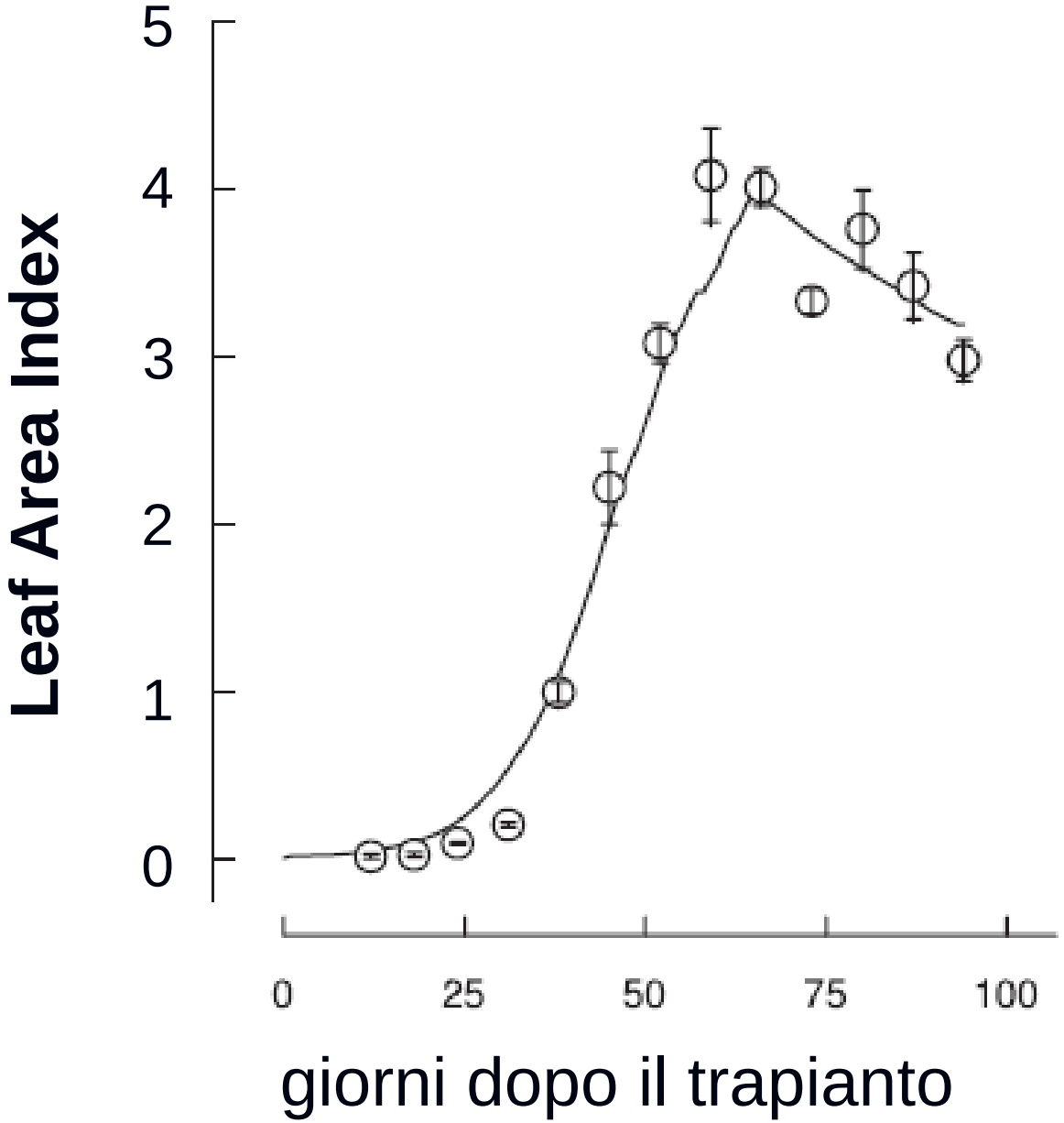
POMODORO DA INDUSTRIA – Perfectpeel (ex PS1296)



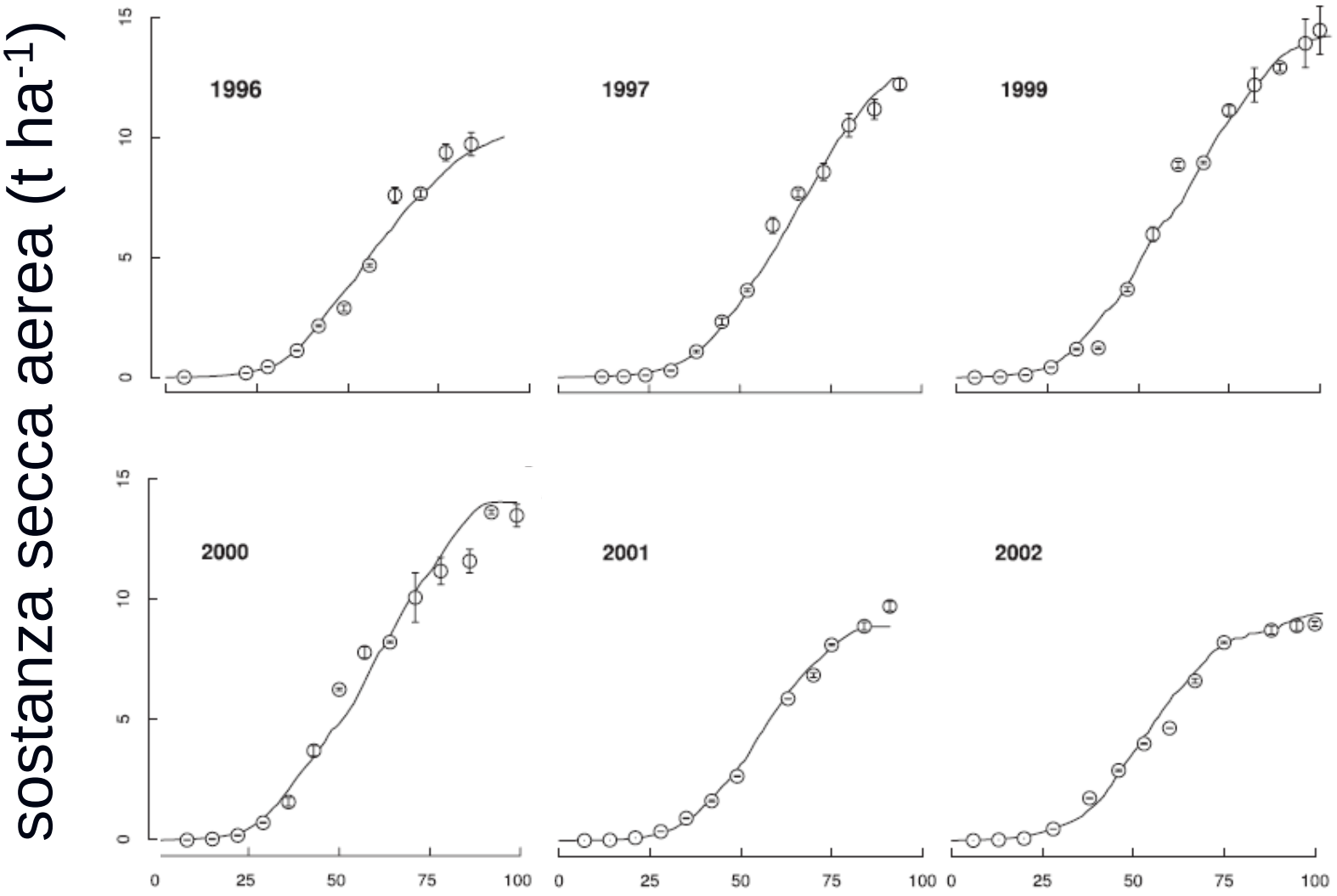
POMODORO DA INDUSTRIA – Perfectpeel (ex PS1296)



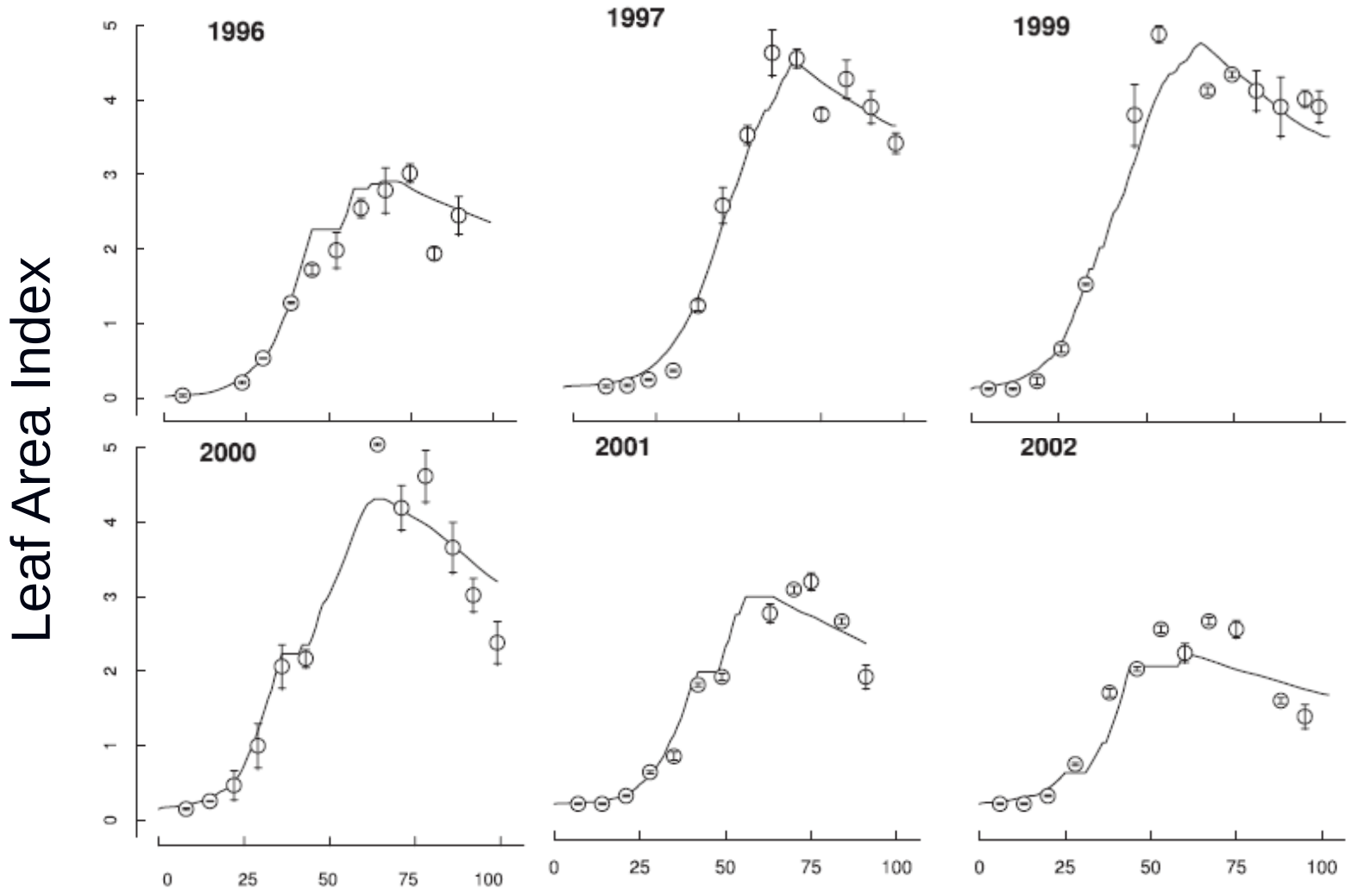
POMODORO DA INDUSTRIA – Perfectpeel (ex PS1296)



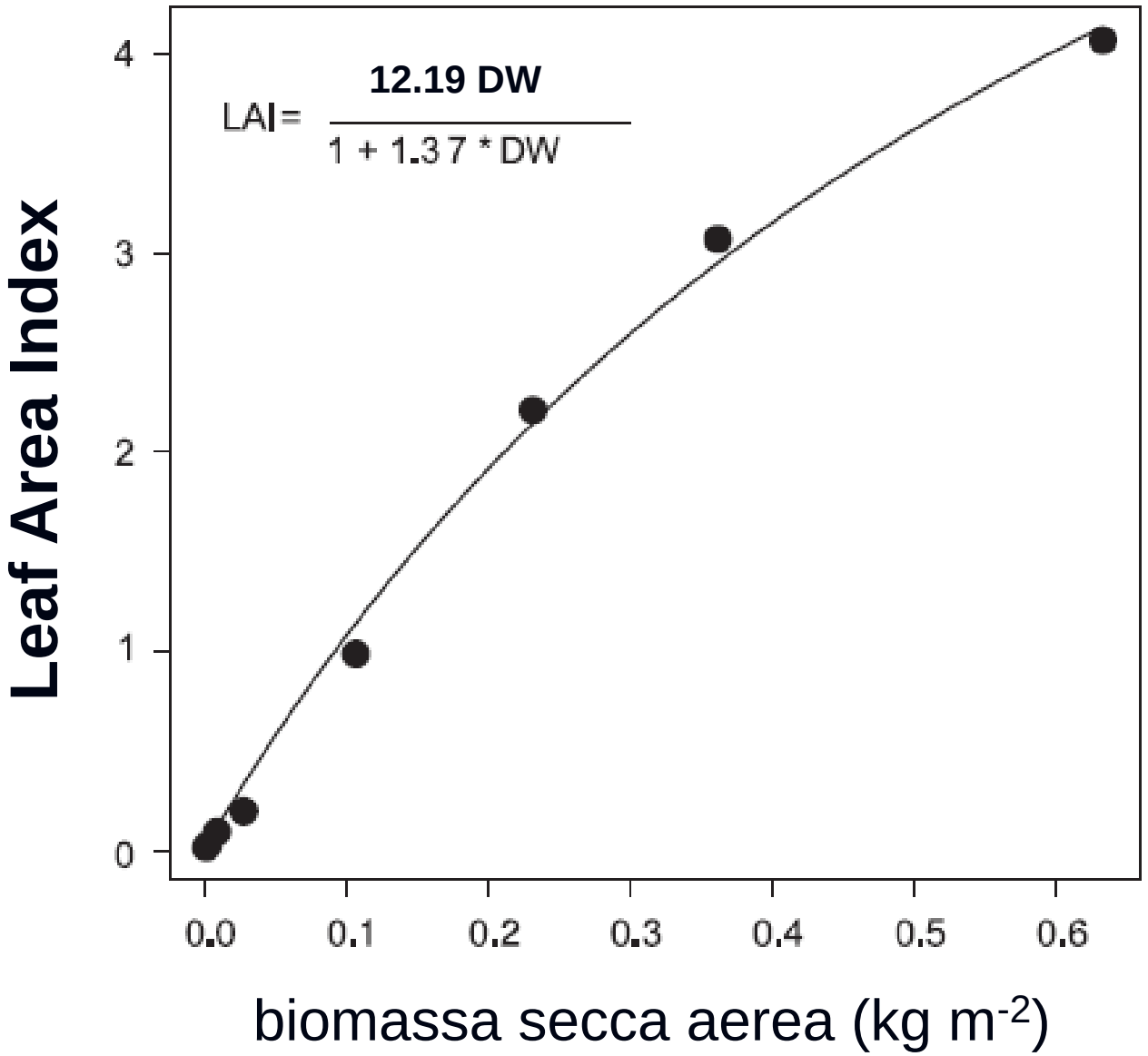
POMODORO DA INDUSTRIA – Perfectpeel (ex PS1296)

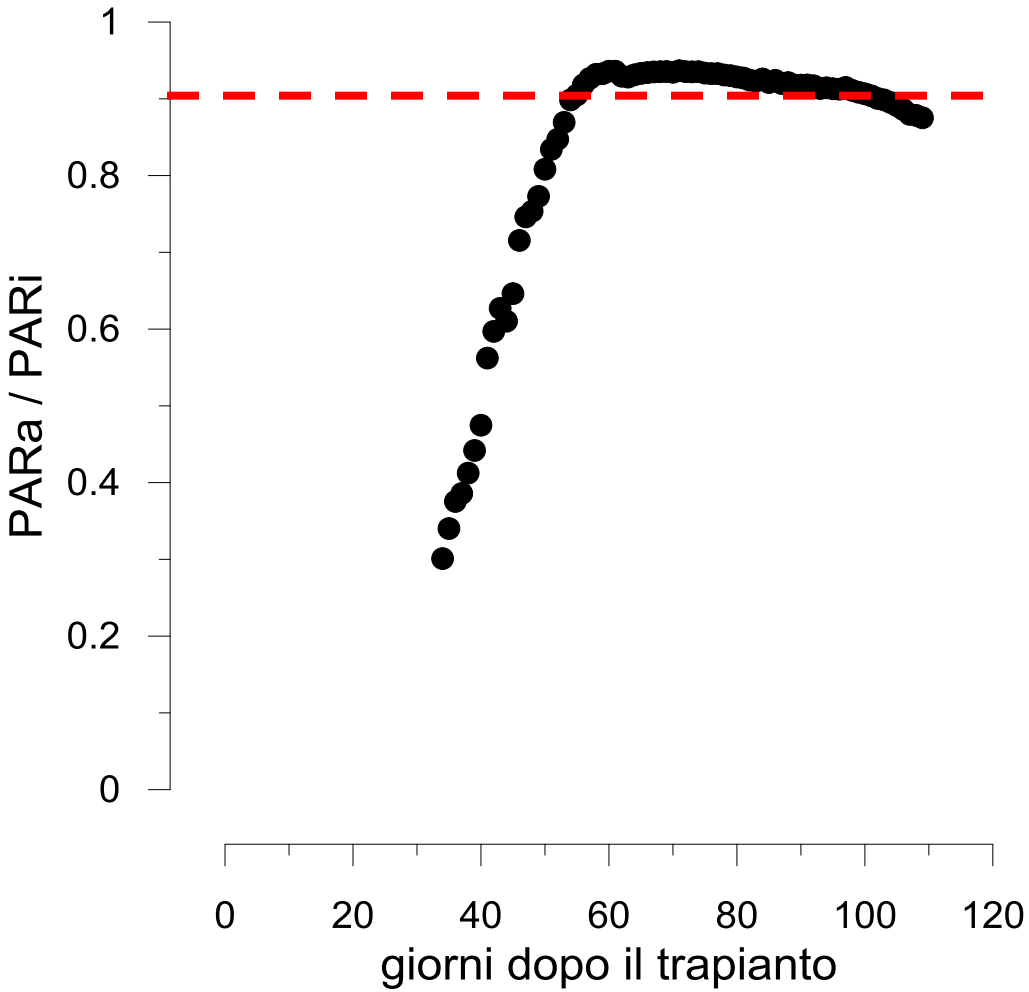


POMODORO DA INDUSTRIA – Perfectpeel (ex PS1296)



POMODORO DA INDUSTRIA – Perfectpeel (ex PS1296)

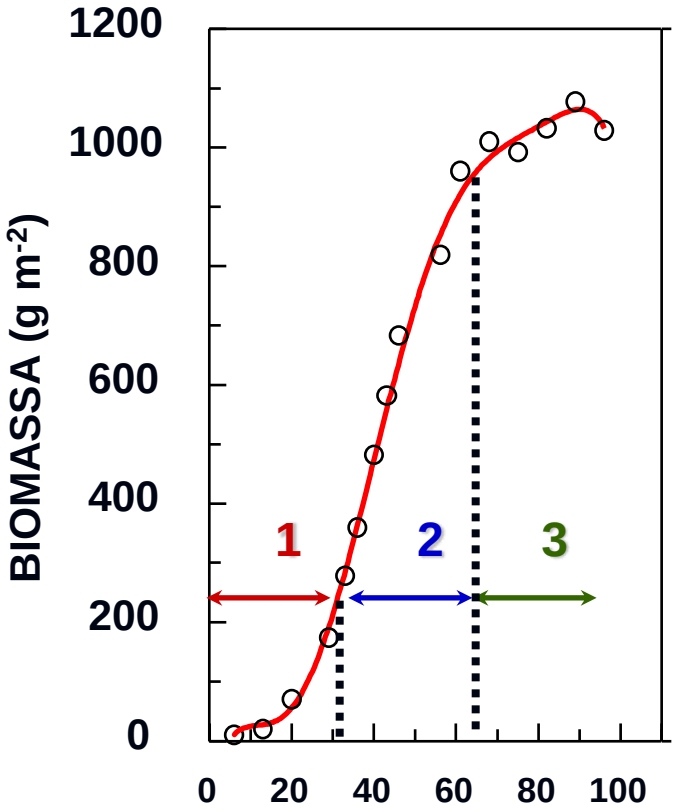




Andamento nel tempo della PAR assorbita dalla coltura rispetto alla PAR incidente

POMODORO DA INDUSTRIA – Perfectpeel (ex PS1296)

Fase fenologica	Durata (giorni)
Trapianto – ricoprimento del terreno del 10%	20
Ricoprimento 10% - inizio crescita rapida	10
Rapida crescita apparato fogliare – fioritura	10
Fioritura – comparsa prime bacche	10
Ingrossamento bacche / massima copertura	30
Massima copertura – maturazione 30% bacche	10
Maturazione 30% bacche – raccolta	20
Totale ciclo	110



FASI DI CRESCITA

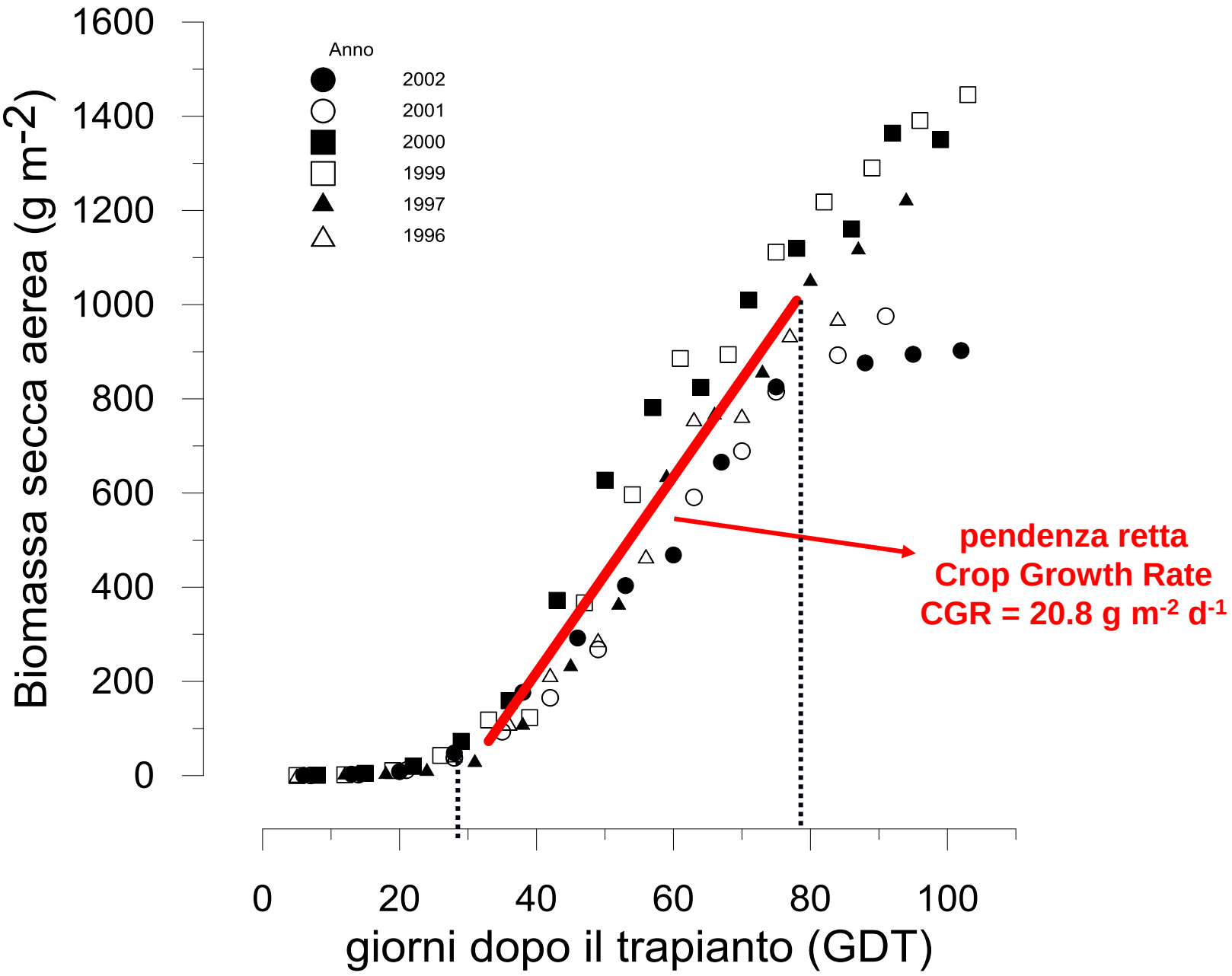
1) iniziale esponenziale

2) centrale lineare

3) di senescenza (o maturazione)

POMODORO DA INDUSTRIA – Perfectpeel (ex PS1296)

Fase crescita	Durata (settimane)
esponenziale	4
lineare	7
finale	4


Biomassa secca aerea (g m-2)
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Anno
2002
2001
2000
1999
1997
1996
pendenza retta
Crop Growth Rate
CGR = 20.8 g m-2 d-1
0
20
40
60
80
100
giorni dopo il trapianto (GDT)

Esigenze termiche del pomodoro

Fase e tipo di temperatura	°C
Germinazione	
minima	9 - 10
ottimale	20 - 25
Crescita	
base	10
minima letale	0 - 2
Fioritura	
minima	21
Allegagione	
ottimale diurna	22 - 26
ottimale notturna	13 -16

Perfectpeel (ex PS1296)

Growing Degree Days (GDD) = gradi giorno (°C d^{-1})

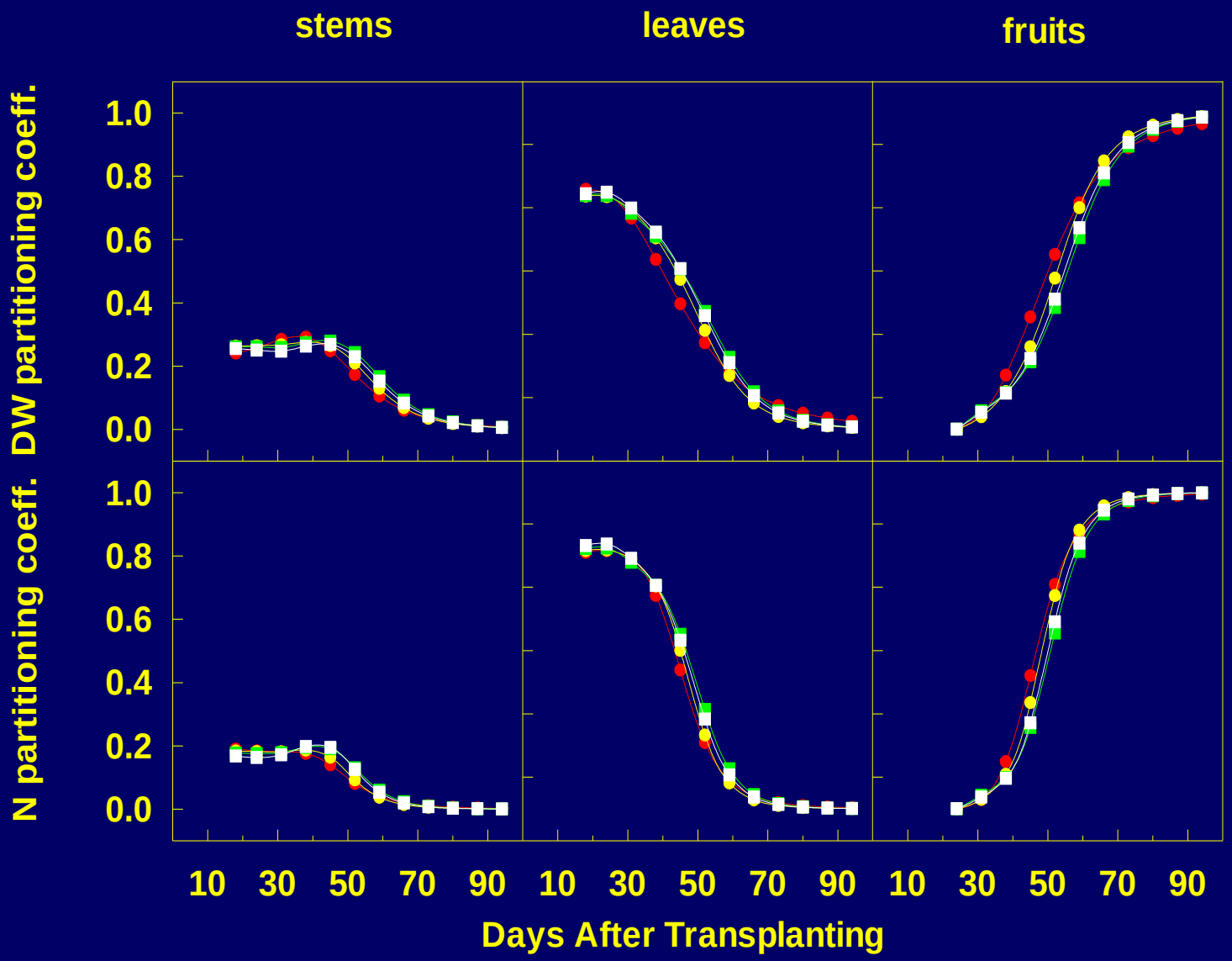
GDD = T media – T base

T media = (T max + T min) / 2

T base = 10°C
T cutoff = 35°C

Fasi	GDD
Trapianto – fioritura	300
Trapianto – Inizio ingrossamento bacche	400
Trapianto – LAI max	800
Trapianto - maturità	1300

Perfectpeel (ex PS1296) RIPARTIZIONE SOSTANZA SECCA



Perfectpeel (ex PS1296)

CGR fase lineare (g m^{-2} d^{-1})	= 20.8
LAI max	= 3 - 5
LAI max GDT	= 70
LAI max GDD	= 800
HARVEST INDEX	= 0.65
produzione totale (t ha^{-1})	= 149.4
produzione comm.le (t ha^{-1})	= 120.0
n. bacche rosse / pianta	= 62.7
peso medio bacca (g)	= 58.5
tasso maturazione (% d^{-1})	= 2

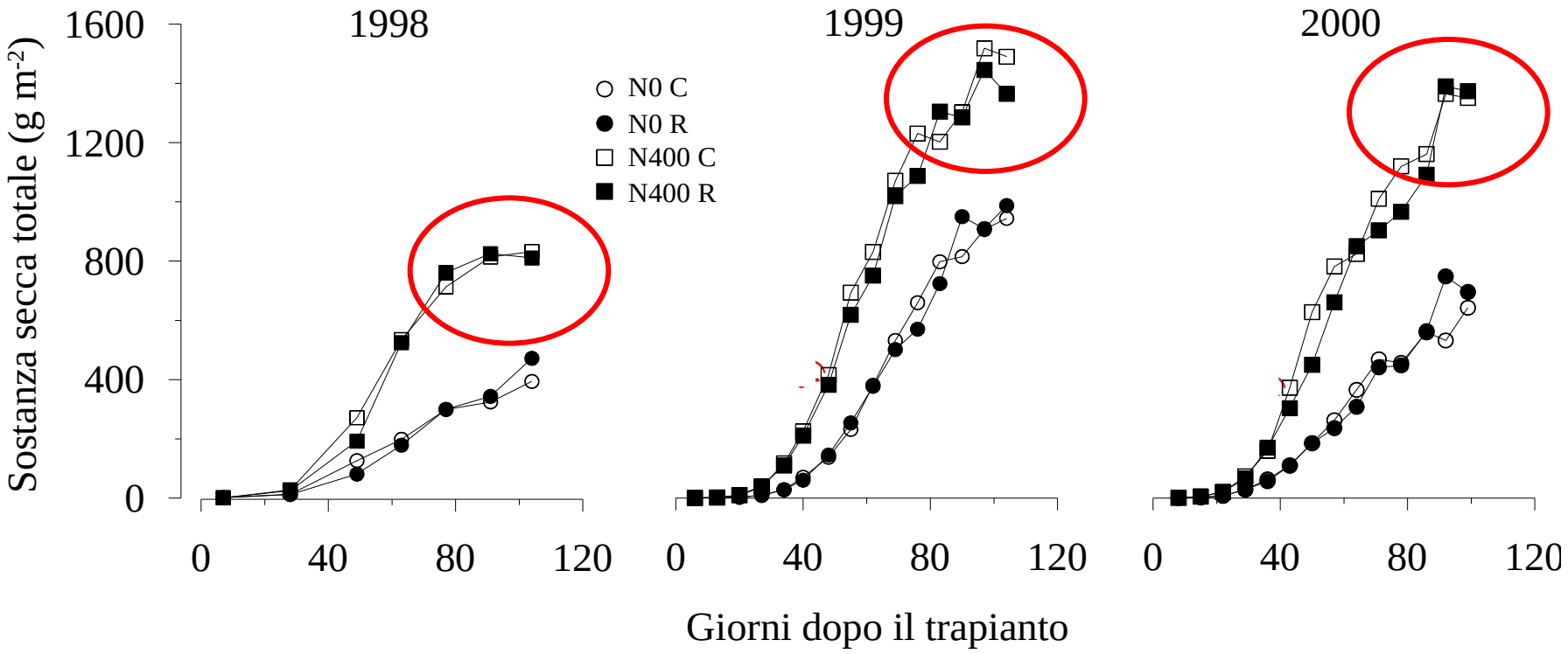
Modificazione artificiale delle relazioni “source – sink” in pomodoro da industria

C = controllo (piante non trattate)
R = sink ridotti (eliminazione fiori apicali*)

x

2 livelli di concimazione N
0 e 400 kg N / ha

* diradamento manuale dei fiori, effettuato con cadenza settimanale, eseguito in modo da lasciare su ciascuna infiorescenza soltanto il fiore prossimale del grappolo



Stessa produzione di sostanza secca finale

La pianta con dirado di fiori ripartisce s.s. più verso foglie e steli

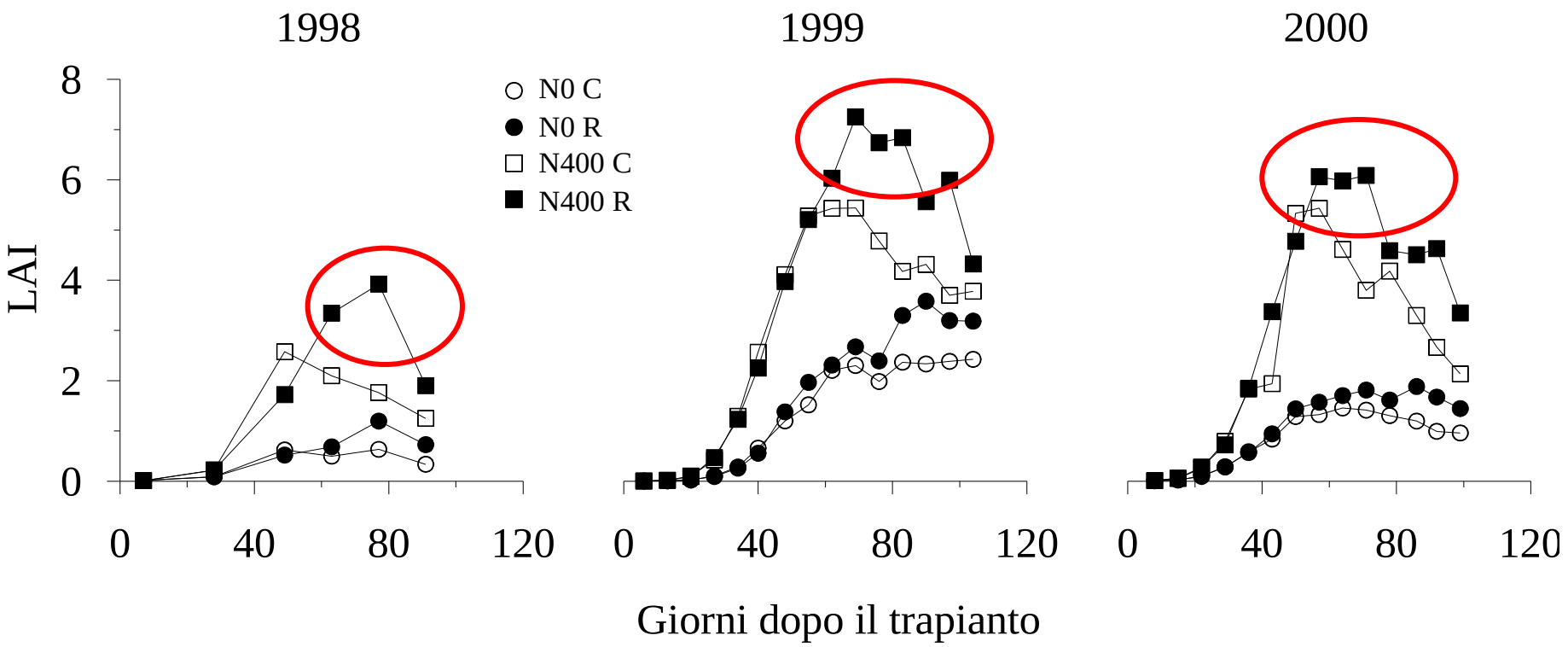
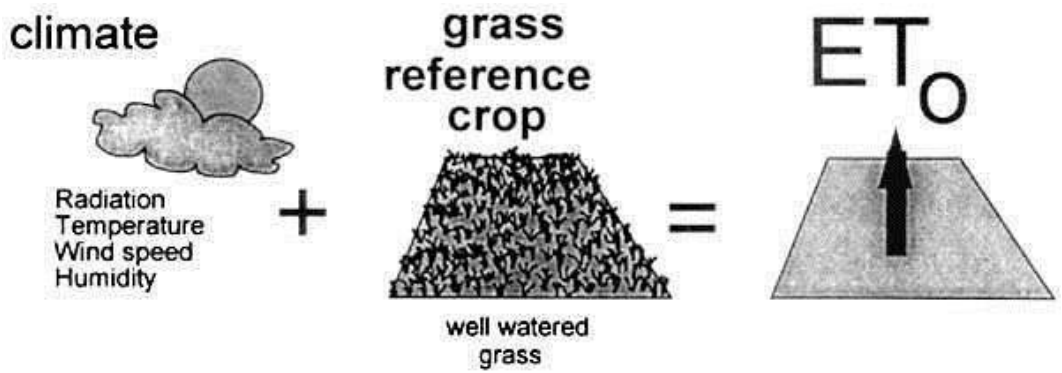
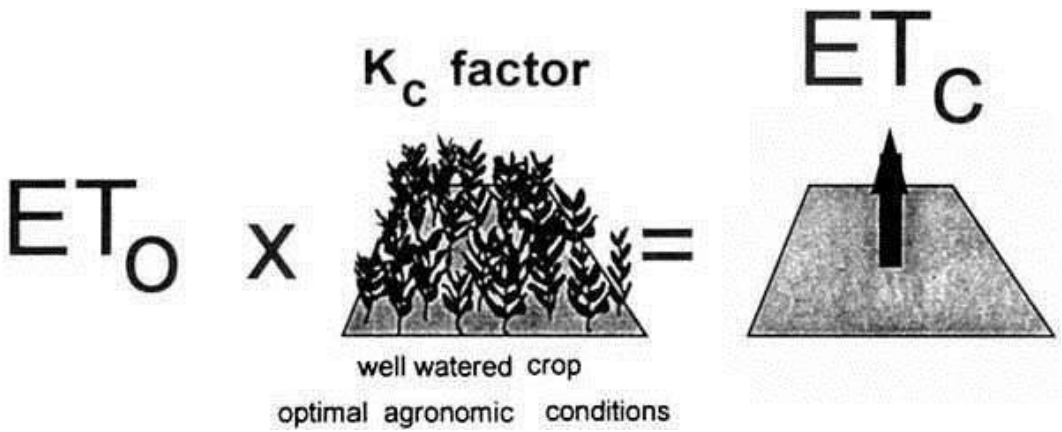

1998
1999
2000
N0 C
N0 R
N400 C
N400 R
LAI
0
2
4
6
8
0
40
80
120
Giorni dopo il trapianto

Tabella 2. Numero di bacche totali presenti a fine ciclo e peso medio di una singola bacca in funzione della disponibilità di azoto (N0 e N400) e della disponibilità dei *sink* (C = controllo, R =ridotto). Errori standar tra parentesi.

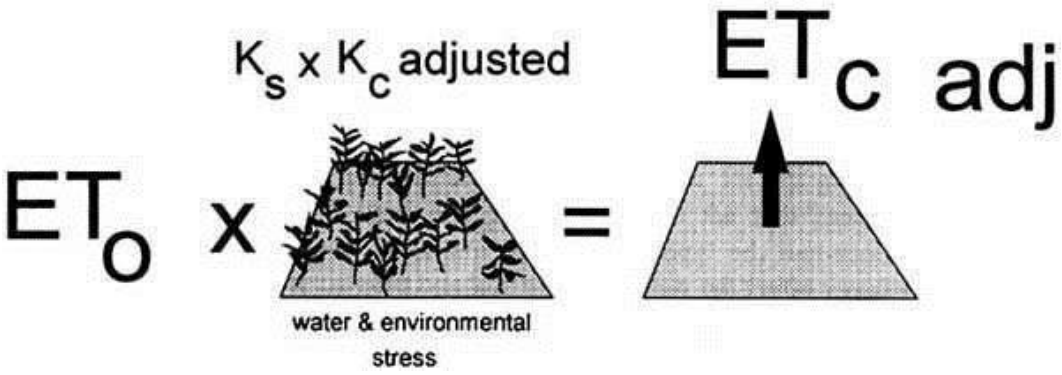
Anno	Dotazione *sink* e N	Numero bacche totali	Riduzione % n/p.ta	Peso medio di 1 bacca (g)	Incremento % del peso
1998	0 C	108 *(7. 0)*		35 *(2.9)*	
	0 R	58 *(0.1)*	46	46 *(0.1)*	31
	400 C	225 *(0.1)*		45 *(0.1)*	
	400 R	116 *(0.1)*	48	57 *(0.1)*	26
1999	0 C	141 *(9.5)*		42 *(1.9)*	
	0 R	72 *(1.0)*	48	61 *(4.7)*	45
	400 C	215 *(21.5)*		43 *(2.1)*	
	400 R	80 *(5.0)*	63	69 *(1.5)*	60
2000	0 C	135 *(19.5)*		44 *(3.3)*	
	0 R	96 *(6.5)*	29	62 *(5.9)*	41
	400 C	258 *(30.0)*		44 *(4.1)*	
	400 R	185 *(10.5)*	28	65 *(1.3)*	48



Evapotraspirazione di riferimento



Evapotraspirazione di una coltura in condizioni standard



Evapotraspirazione di una coltura in condizioni non standard

Determinazione di ET_0

MISURAZIONE

- **BILANCIO ENERGETICO E METODI MICROCLIMATOLOGICI**
- **BILANCIO IDRICO DEL TERRENO**
- **LISIMETRI**

CALCOLO DA DATI METEOROLOGICI

- **METODO di Thornthwaite** (T media mensile)
- **METODO di Blaney-Criddle** (T, lunghezza giorno)
- **METODO di Penman-Monteith** (radiazione, pressione vapore, vento, T)

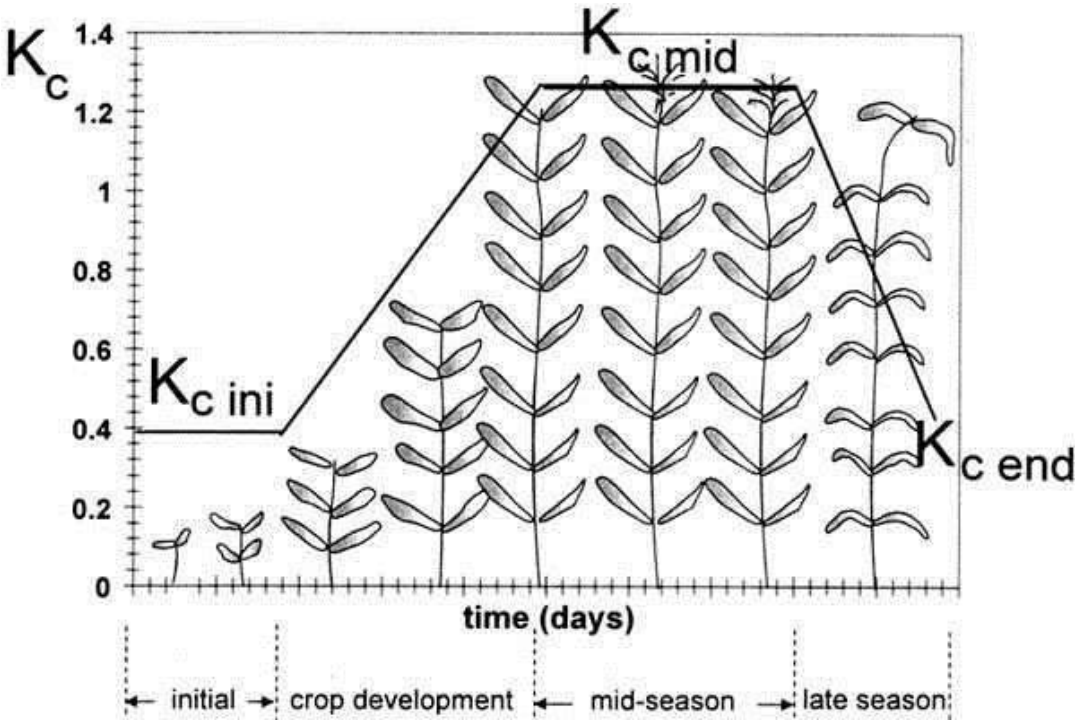
STIMA

- **da EVAPORAZIONE da VASCA**

ETo = Epan X Kp
Epan = evaporazione da vasca Pan
Kp = coefficiente di vasca
metodo usato solo per periodi minimi di 7-10 giorni

Coefficiente colturale singolo

- Subito dopo l'impianto $K_{c\ ini}$ è piccolo (spesso $K_{c\ ini} < 0.4$)
- K_c inizia ad aumentare all'inizio della fase lineare di crescita e raggiunge il suo massimo ($K_{c\ mid}$) al massimo sviluppo della pianta.
- Durante la fase finale del ciclo, quando si verifica l'invecchiamento e la senescenza delle foglie K_c decresce fino raggiungere alla fine del ciclo il valore $K_{c\ end}$.



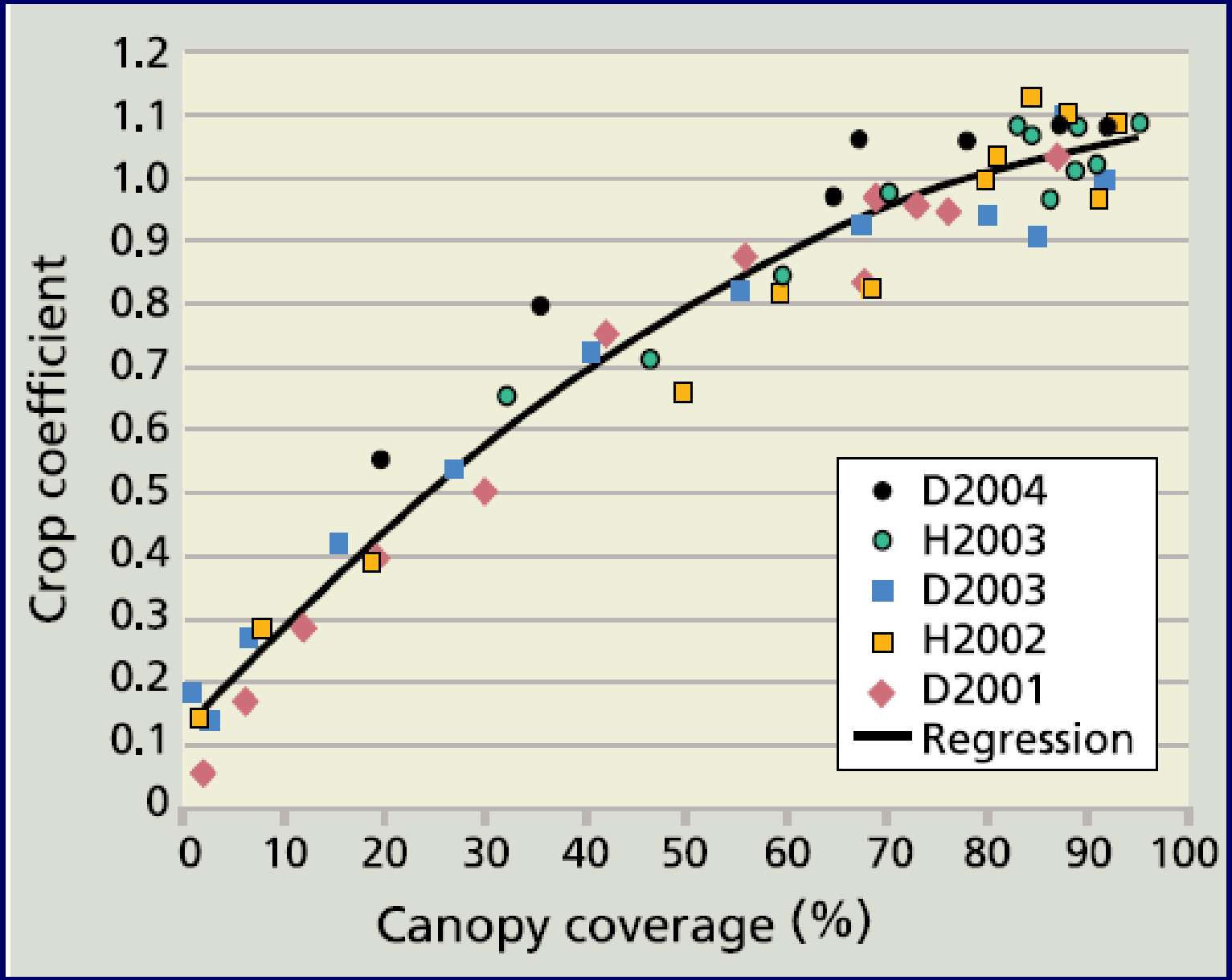
BILANCIO IDRICO E IRRIGUO

Coefficienti colturali (K_c) del pomodoro da industria trapiantato

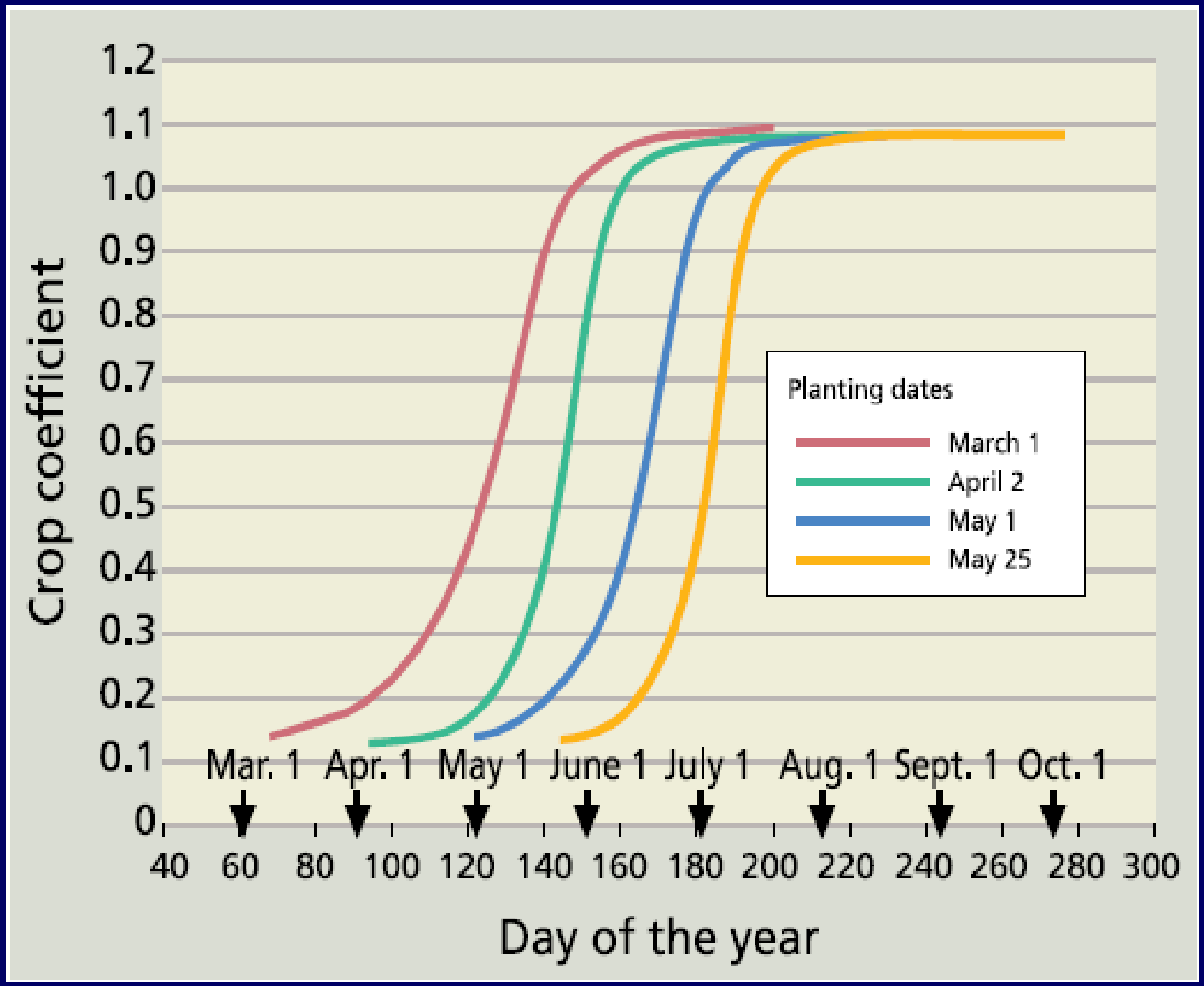
codice	**Fase fenologica**	**Durata (giorni)**	**K_c**
1	Trapianto – ricoprimento del terreno del 10%	20	0.4
2	Ricoprimento 10% - inizio crescita rapida	10	0.6
3	Rapida crescita apparato fogliare - Fioritura	10	0.8
4	Fioritura – comparsa primi frutti	10	1.0
5	Ingrossamento bacche/massima copertura	30	1.05
6	Massima copertura – maturazione 30% bacche	10	0.9
7	Maturazione 30% bacche - raccolta	20	0.6
	Totale ciclo	**110**	

Profondità apparato radicale : 0.60 - 0.70 m

Limite critico d'intervento : 40% acqua disponibile



Hanson & May, 2006



Hanson & May, 2006

CALCOLO DEL FABBISOGNO IDRICO
esempio

Calcolo esemplificativo del fabbisogno idrico di una coltura di pomodoro da industria trapiantata il 10 maggio, con ciclo di 113 giorni e irrigato con sistema localizzato a manichetta forata.

Mese	maggio		giugno			luglio			agosto			**totale**
Fase (1)	1	1	2	3	4	5	5	5	6	7	7	
Durata (giorni) (2)	10	11	10	10	10	10	10	11	10	10	11	**113**
Coefficiente colturale (3)	0,4	0,4	0,6	0,8	1,0	1,05	1,05	1,05	0,9	0,2	0,2	
ETP_0 (mm al giorno) (4)	3	3	4	4	5	5	6	6	6	5	4	
ETP_c (mm al giorno) (5 = 3 x 4)	1,2	1,2	2,4	3,2	5	5,25	6,3	6,3	5,4	1	0,8	
ETP_c (mm/decade) (6 = 5 x 2)	12	13,2	24	32	50	52,5	63	69,3	54	10	8,8	**380**
Piogge affidabili (mm/decade) (7)	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Piogge utili (mm/decade) (8)	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fabb. irriguo netto (mm/decade) (9 = 6 – 8)	0	13,2	24	32	50	52,5	63	69,3	54	0	0	**358**
Efficienza di irrigazione (10)	0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0	0	
Fabb. irriguo di campo (mm/decade) (9 / 10)	0	14,7	26,7	35,6	55,6	58,3	70	77	60	0	0	**398**

Coefficiente colturale doppio (*dual crop coefficient*) $K_{cb} + K_e$

Gli effetti della traspirazione della coltura e dell'evaporazione del terreno sono determinati separatamente.

I 2 coefficienti sono:

K_{cb} = coefficiente colturale di base

K_e = coefficiente di evaporazione dell'acqua dal terreno

$K_c = K_{cb} + K_e$

Coefficiente colturale doppio (*dual crop coefficient*)
$K_{cb} + K_e$

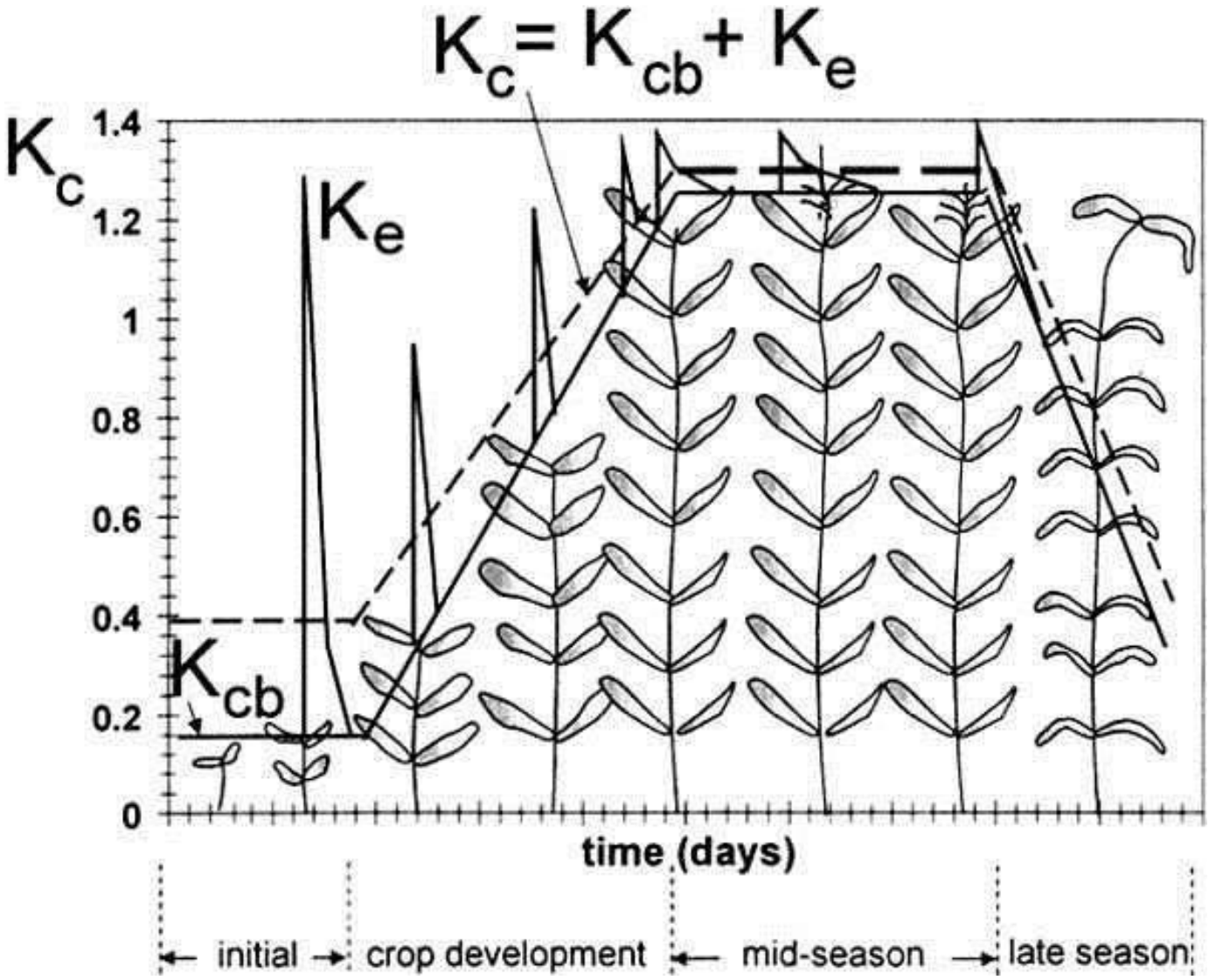
$ET_c = ET_0 (K_{cb} + K_e)$

$ET_c = K_{cb}\ ET_0 + K_e\ ET_0$

$K_{cb}\ ET_0$ = componente traspirativa di ET_c

$K_e\ ET_0$ = componente evaporativa di ET_c

Coefficiente colturale doppio



Evapotraspirazione di una coltura in condizioni non standard ($ET_{c\ adj}$)

- presenza di avversità parassitarie
- **stress idrico e salinità**
- bassa fertilità del terreno
- coltivata su piccole superfici
- limitate disponibilità idriche
- ristagno idrico
- **pacciamatura**
- vegetazioni contigue
- consociazione
- colture di bordo
- …

crescita limitata
minore densità

$ET_{c\ adj} < ET_c$

$ET_{c\ adj} = K_s\ K_c\ ET_0$

K_s = coefficiente di stress idrico

ET_c in condizioni di stress idrico

$$ET_{c\ adj} = K_s\ K_c\ \ ET_0$$

K_s = coefficiente di stress idrico

K_c = coefficiente colturale

dato che la ridotta disponibilità di acqua nel terreno influenza prevalentemente la traspirazione piuttosto che l'evaporazione sarebbe meglio adottare il coefficiente colturale doppio

$$ET_{c\ adj} = (K_s\ K_{cb} + Ke)\ ET_0$$

K_s = coefficiente di stress idrico

K_{cb} = coefficiente colturale di base

K_{cb} = coefficiente di evaporazione

quando la componente evaporativa non è molto grande anche l'approccio con coefficiente colturale singolo dà comunque risultati affidabili

Ovviamente si ha stress idrico quando il potenziale dell'acqua nel terreno scende ad un livello tale che la pianta non è più grado di assorbire acqua a livello radicale

Per stimare il K_s = coefficiente di stress idrico è, pertanto, necessario conoscere nello **STRATO ESPLORATO DALLE RADICI**

TAW = TOTAL AVAILABLE WATER (ACQUA TOTALE DISPONIBILE)

RAW = READILY AVAILABLE WATER (ACQUA FACILMENTE DISPONIBILE)

$$\mathbf{TAW = 1000\ (\theta_{FC} - \theta_{WP})\ Z_r}$$

TAW = acqua totale disponibile (*Total Available Water*)

θ_{FC} = contenuto di acqua del terreno alla capacità di campo (*field capacity*) [$m^3\ m^{-3}$]

θ_{WP} = contenuto di acqua del terreno al punto di appassimento (*wilting point*) [$m^3\ m^{-3}$]

Z_r = strato esplorato dalle radici [m]

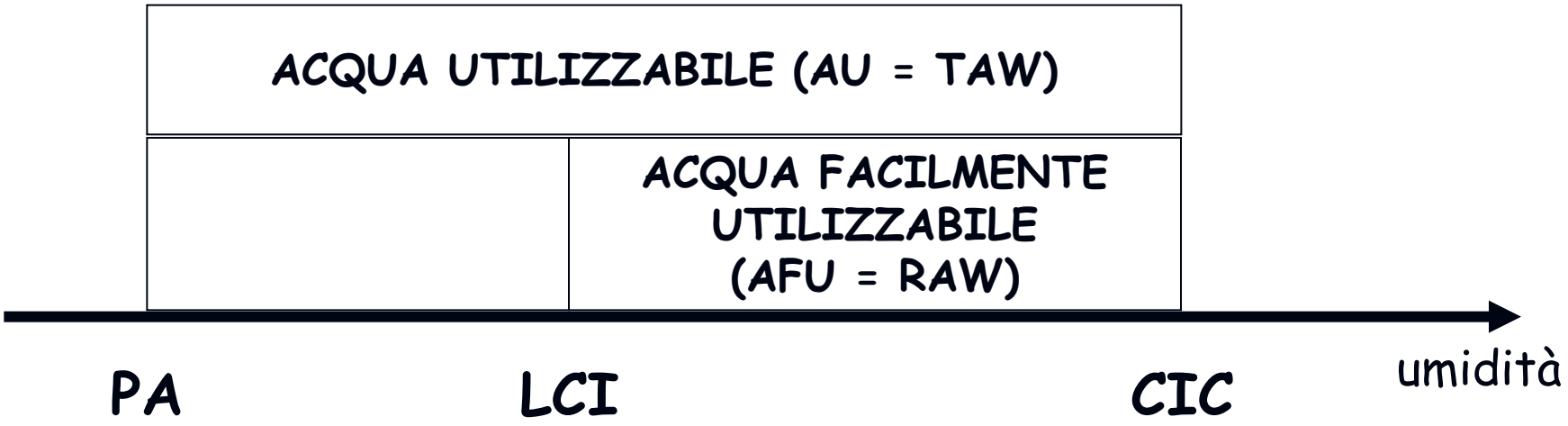
$$\mathbf{RAW = p\ TAW}$$

RAW = acqua facilmente disponibile (*Readily Available Water*)

p = frazione di TAW che può essere consumata prima che si verifichi stress (LIMITE CRITICO D' INTERVENTO, *soil water depletion factor for no stress*)

dal punto di vista pratico le piante utilizzano solo una parte dell'acqua utile senza evidenziare stress idrici
esiste cioè un LIMITE CRITICO D'INTERVENTO (LCI) che è intermedio tra punto d'appassimento (PA = θ_{WP}) e capacità idrica di campo (CIC = θ_{FC})

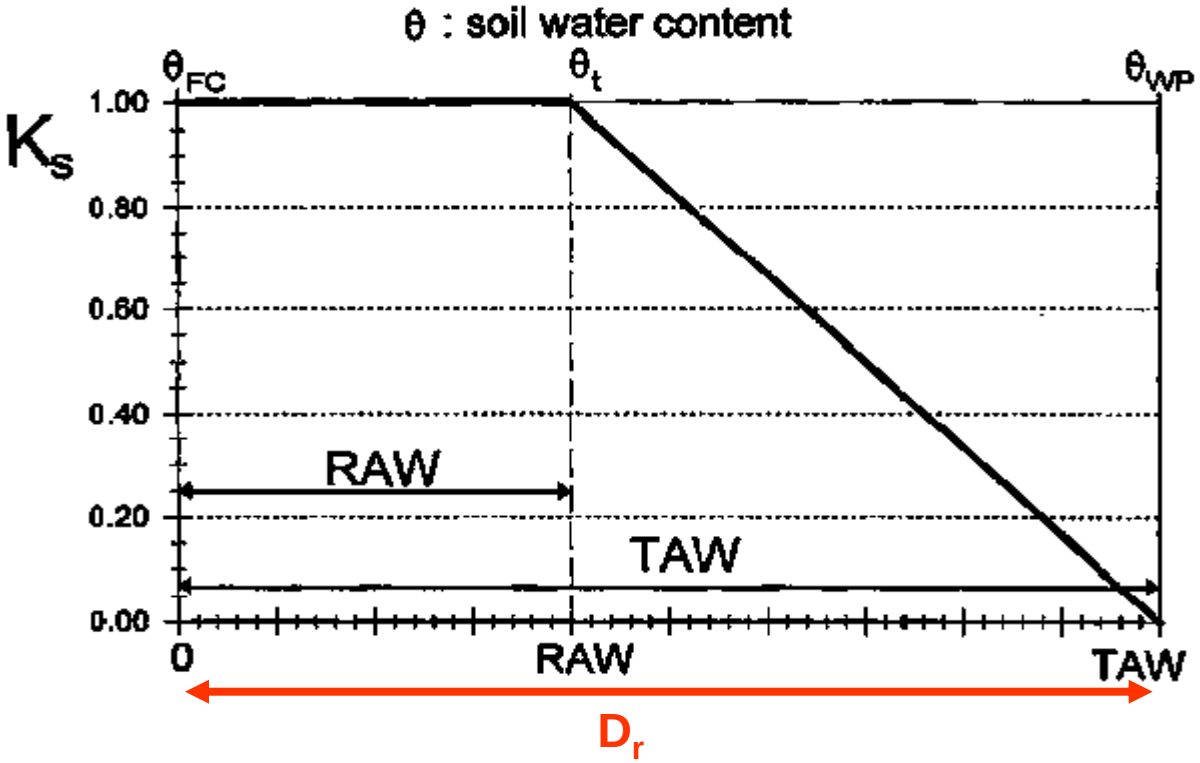
ACQUA UTILIZZABILE (AU = TAW) = CIC - PA
ACQUA FACILMENTE UTILIZZABILE (AFU = RAW) è una frazione p di TAW



LCI varia con la coltura (capacità assorbimento radicale, contenuto acqua)

Coefficiente di stress idrico (*water stress coefficient* K_s)

Il contenuto di acqua nella zona radicale può essere espresso anche come consumo di acqua cumulato D_r relativo al contenuto massimo alla capacià di campo
Alla capacità di campo $D_r = 0$
Quando l'acqua dal terreno diminuisce a causa della evapotaspirazione D_r aumenta e si avrà inizio di stress quando D_r = RAW
Con D_r > RAW (cioè oltre la soglia θ_t) l'evapotraspirazione sarà ridotta proporzionalmente alla quantità di acqua che rimane nella zona radicale



Coefficiente di stress idrico (*water stress coefficient* K_s)

con $D_r \leq RAW$ ➡ **$K_s = 1$**

con $D_r > RAW$ ➡ **$K_s < 1$**

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1-p)TAW}$$

TAW = acqua totale disponibile (*Total Available Water*, mm)

RAW = acqua facilmente disponibile (*Readily Available Water*, mm)

p = frazione di TAW che può essere consumata prima che si verifichi stress

Dr = acqua consumata nella zona radicale (*root zone depletion*, mm)

Relazione stress idrico - produzione

FAO Irrigation and Drainage Paper N° 33

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y\left(1 - \frac{ET_{c\,adj}}{ET_c}\right)$$

Y_a = produzione osservata

Y_m = produzione massima attesa in assenza di carenza idrica

ET_c = EvapoTraspirazione della coltura in condizioni standard (mm d^{-1})

$ET_{c\ adj}$ = EvapoTraspirazione (osservata) corretta della coltura (mm d^{-1})

K_y = fattore di risposta produttiva

K_y è specie-specifico
varia con la fase fenologica (fasi critiche)

Relazione stress idrico-produzione

$$\left(1-\frac{Y_a}{Y_m}\right)=K_y\left(1-\frac{ET_{c\,adj}}{ET_c}\right)$$

Y_a = produzione osservata

Y_m = produzione max attesa in assenza di carenza idrica

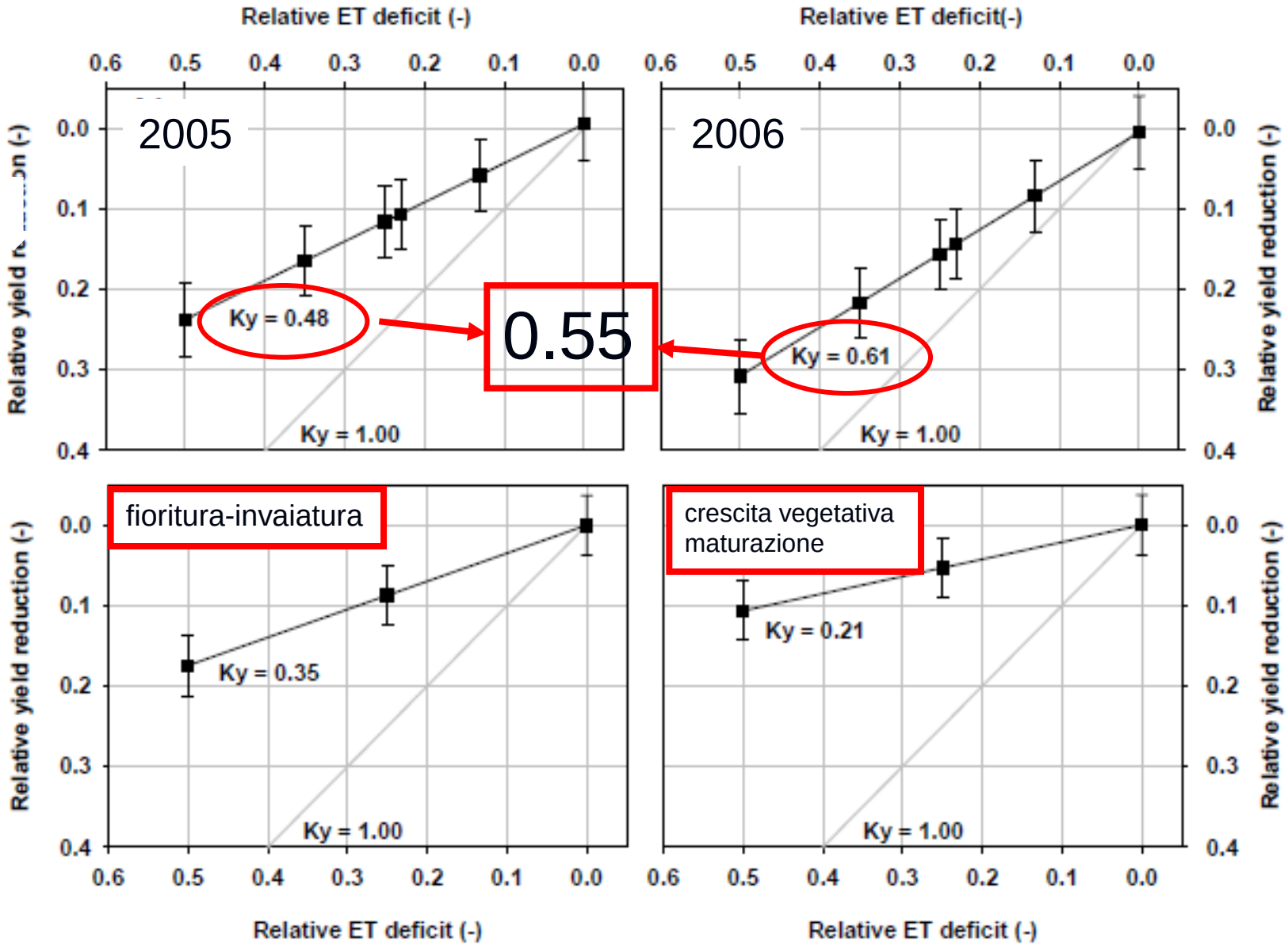
ET_c = Evapotraspirazione della coltura in condizioni standard (mm d^{-1})

$ET_{c\,adj}$ = EvapoTraspirazione (osservata) corretta della coltura (mm d^{-1})

K_y = fattore di risposta produttiva

fase fenologica	Ky
crescita vegetativa	0.4
fioritura	1.1
inizio crescita bacche	0.8
maturazione	0.4
ciclo colturale intero	1.05

Doorenbos & Kassam (1979)



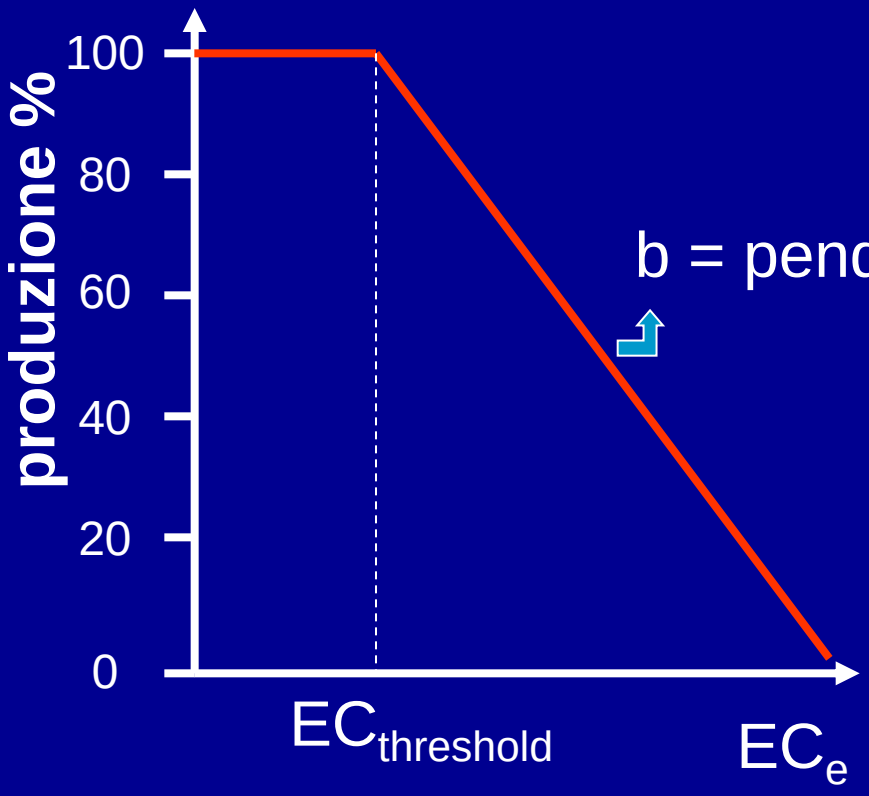
sabbia 40%, limo 25%, argilla 35%. s.o. 1.9%

Gatta et al., 2007

EFFETTO DELLA SALINITA' DEL TERRENO

Tolleranza alla salinità

FAO Irrigation and Drainage Papers No. 33 and 48



b = pendenza decremento lineare

Relazione salinità-produzione

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - (EC_e - EC_{e\,treshold})\frac{b}{100}$$

per $EC_e < EC_{threshold}$

Y_a = produzione osservata

Y_m = produzione massima attesa quando $EC_e < EC_{e\ threshold}$

EC_e = conducibilità elettrica media dell'estratto di saturazione nella zona radicale [dS m^{-1}]

$EC_{e\ threshold}$ = conducibilità elettrica soglia dell'estratto di saturazione quando la produzione della coltura inizia ad essere < Y_m [dS m^{-1}]

b = riduzione % della produzione per aumento unitario di EC_e [%/(dS m^{-1})]

POMODORO $EC_{e\ threshold} = 0,9 – 2,5$ dS m^{-1}

$b = 9,0$ % / (dS m^{-1})

Relazione combinata salinità-riduzione di ET

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - (EC_e - EC_{e\,treshold})\frac{b}{100}$$

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y\left(1 - \frac{ET_{c\,adj}}{ET_c}\right)$$

2 casi

- in assenza di stress idrico (D_r < RAW)
- in presenza di stress idrico (D_r > RAW)

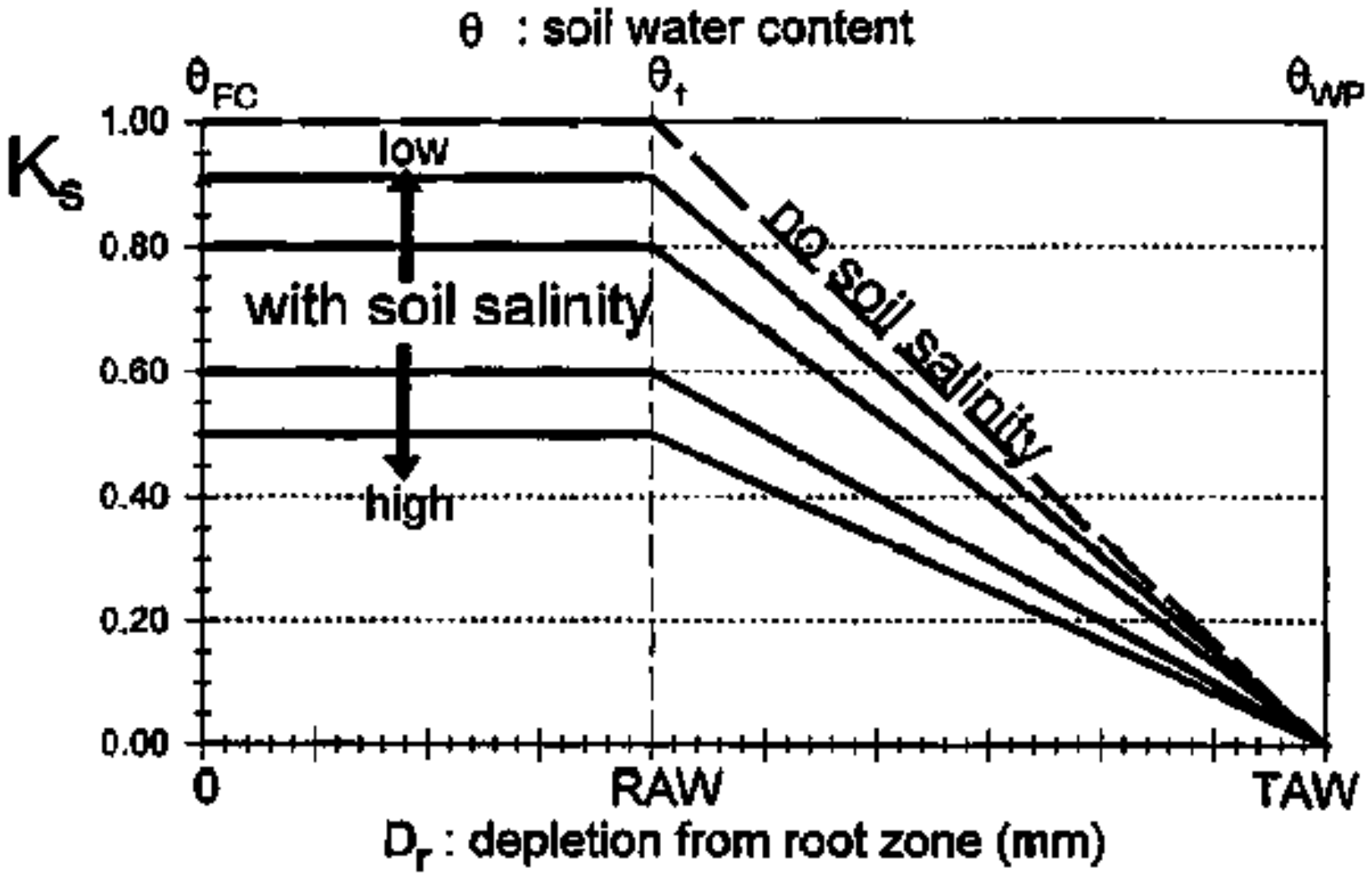
Salinità (EC_e > $EC_{e\ threshold}$) in assenza di stress idrico (D_r < RAW)

risolte per $K_s = ET_{c\ adj}/ET_c$

$$K_s = 1 - \frac{b}{K_y\,100}(EC_e - EC_{e\,treshold})$$

Salinità (EC_e > $EC_{e\ threshold}$) in presenza di stress idrico (D_r > RAW)

$$K_s = \left(1 - \frac{b}{K_y\,100}(EC_e - EC_{e\,treshold})\right)\left(\frac{TAW - D_r}{TAW - RAW}\right)$$

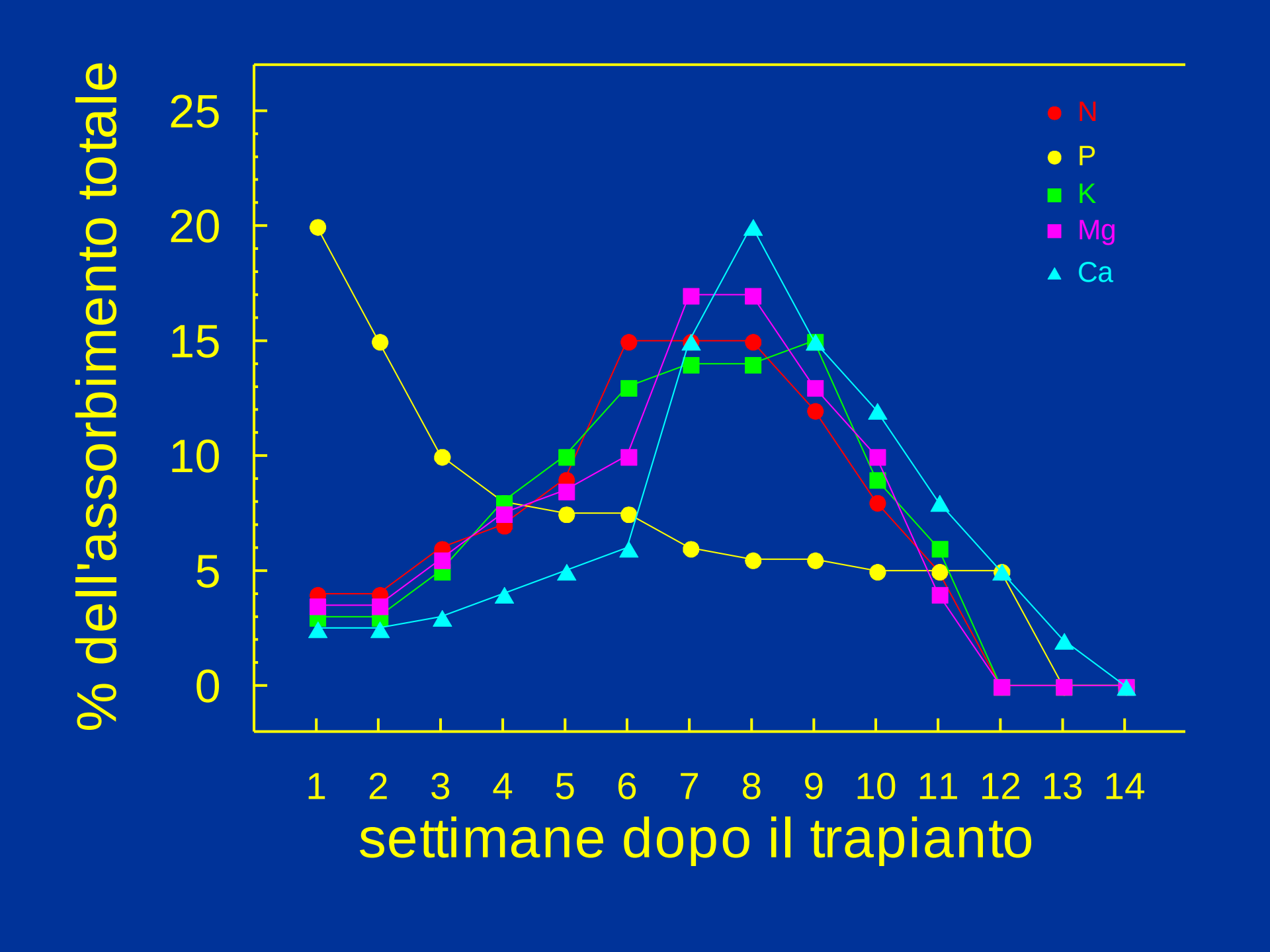


Effetto della salinità del terreno sul coefficiente di stress idrico K_s

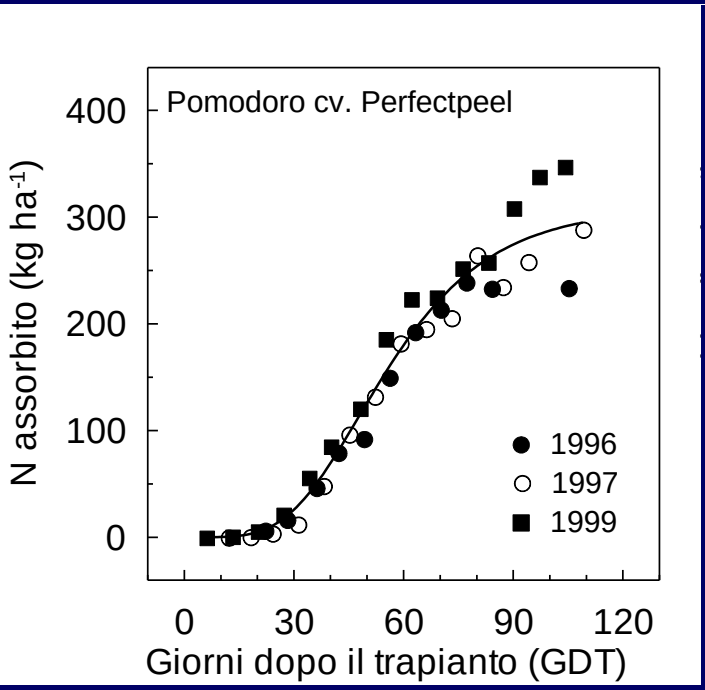
FABBISOGNI NUTRITIVI

Elemento	kg/t bacche
Azoto (N)	2.0
Fosforo (P_2O_5)	1.5
Potassio (K_2O)	4.0
Calcio (CaO)	4.0
Magnesio (MgO)	0.7

- **CONCIMAZIONE TRADIZIONALE**
- **FERTIRRIGAZIONE**


% dell'assorbimento totale
25
20
15
10
5
0
N
P
K
Mg
Ca
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
settimane dopo il trapianto

Pomodoro da industria – cv. Perfectpeel



fabbisogni medi di azoto
2.2 kg N t^{-1} bacche

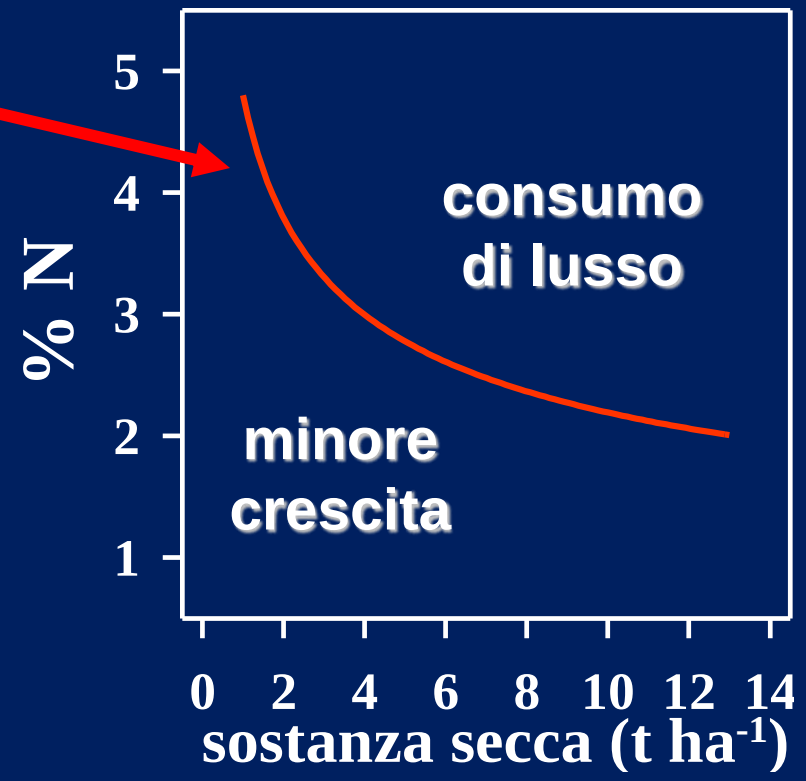
Fase di crescita	Durata (settimane)	NUR (kg N ha^{-1} d^{-1})	% N assorbito sul totale
esponenziale	4	0.66	6
lineare	7	4.85	79
finale	4	1.63	15

Comparazione
valori osservati *vs.* valori critici

per "aggiustamento" concimazione N durante il ciclo

concentrazione critica N

concentrazione minima
per massima crescita



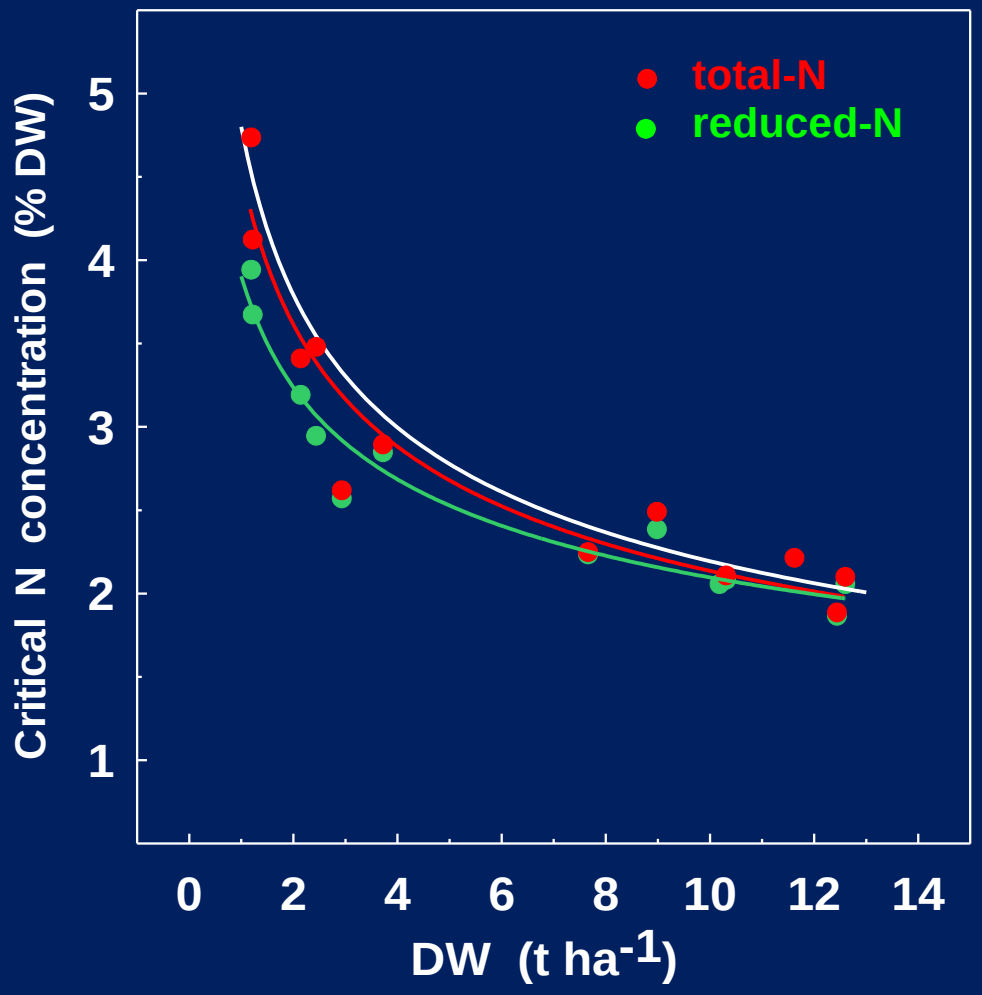
Curve di "diluizione" di N

$$\%N = a\,DW^{-b}$$

%N in DW

t/ha

POMODORO DA INDUSTRIA cv Perfectpeel



Lemaire & Gastal, 1997
for C3 cops
%Nc = 4.8 DW $^{-0.34}$

Tei et al., 2001

total-N
%Nc = 4.53 DW $^{-0.327}$

reduced-N
%Nc = 3.9 DW $^{-0.27}$

Curve di "diluizione" di N

$$\% N = a\ DW^{-b}$$

%N in DW

t/ha

Curve di assorbimento di N

$$N = 10\ a\ DW^{1-b}$$

Kg N ha^{-1}

t/ha

Contenuto N della pianta

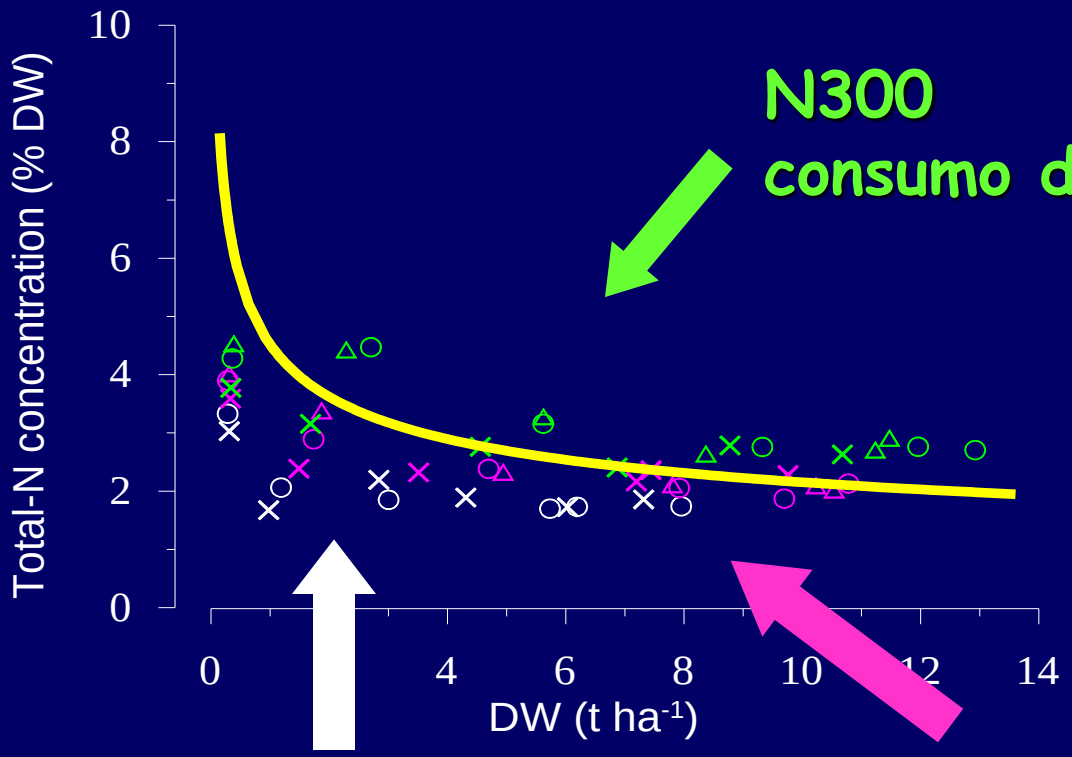
per "aggiustare" la concimazione N durante il ciclo colturale

analisi laboratorio

sap test elettrodo iono-specifico (Cardy meter)

misure della clorofilla SPAD

Concentrazione di N totale in pomodoro da industria e curva critica dell' azoto



N300
consumo di lusso

N0 carenza

N100 ~ optimum

Valutazione dello stato nutritivo azotato

sub-ottimale, ottimale, consumo di lusso

Sap test

intervalli di sufficienza UC-DAVIS

GDT	mg $N\text{-}NO_3$ L^{-1}
30	700-900
42	600-800
57	500-700
71	500-700
84	400-600

Contenuto % N totale parte aerea

- curva N critico (Tei *et al.*, 2002)
- NNI = % N_{obs} / $\%N_c$ (Houles *et al.*, 2007; Lemaire *et al.*, 2008)

correlatione lineare

- concentrazione linfa
- SPAD

} vs conc. % N totale

Linear correlations between SAP, SPAD and total-N plant concentration

Relazioni	r				
	30 GDT	42 GDT	57 GDT	71 GDT	84 GDT
% total-N plant vs SAP	0.716	0.917	0.851	0,866	0,819
% total-N plant vs SPAD	0.828	0.898	0.098	0,743	0,525

Agreement of sap test and critical-N curve

Treatments	30 GDT		42 GDT		57 GDT		71 GDT		84 GDT	
	sap	NNI	sap	NNI	sap	NNI	sap	NNI	sap	NNI
F1 N0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
F3 N0	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
F1 N100	S	S	S	S	S	S	S	S	S	O
F1+I2 N100	S	S	S	S	S	S	S	S	S	O
F3 N100	S	S	S	S	S	S	S	S	S	O
F1 N300	S	S	S	S	O	O	S	O	O	L
F1+I2 N 300	O	S	L	L	L	L	L	L	O	L
F3 N300	S	S	L	L	L	L	L	L	O	L

Sap test AFFIDABILE

- primi 2/3 del ciclo colturale
- epoca cruciale per gestione concimazione

SPAD chlorophyll readings

POCO SENSIBILE e AFFIDABILE