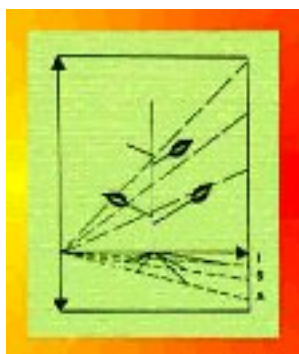


# ISTITUTO SPERIMENTALE AGRONOMICO – BARI



PROGETTO CLIMAGRI:

SCHEDA INFORMATIVA SULLE ATTIVITA' DEL SECONDO ANNO

***LINEA DI RICERCA 3.2: Programmazione irrigua e analisi della gestione dell'acqua in relazione ai futuri cambiamenti climatici***

Bari, marzo 2004

Il responsabile della ricerca  
Dott. Marcello Mastrorilli

## Introduzione

Negli ambienti a clima mediterraneo, con estati siccitose, la gran parte del reddito agricolo deriva dai sistemi colturali in irriguo.

Negli ultimi decenni si è assistito ad una forte espansione delle aree irrigue. La crescita della pratica irrigua è, però, frenata, oltre che dalla cronica penuria di acqua di buona qualità dell'Italia del Sud, dagli irregolari andamenti meteorologici che sono stati registrati nelle ultime annate, soprattutto per quanto riguarda le precipitazioni (fig. 1). A Foggia, a titolo di esempio, negli ultimi 15 anni, la precipitazione media annuale si è ridotta a 480 mm (69 mm in meno rispetto alla media di 53 anni) e, sempre in questo quindicennio, sono comprese 8 delle annate meno piovose in assoluto (mediamente con 387 mm di pioggia all'anno) dell'intero periodo di osservazione (1951-2003).

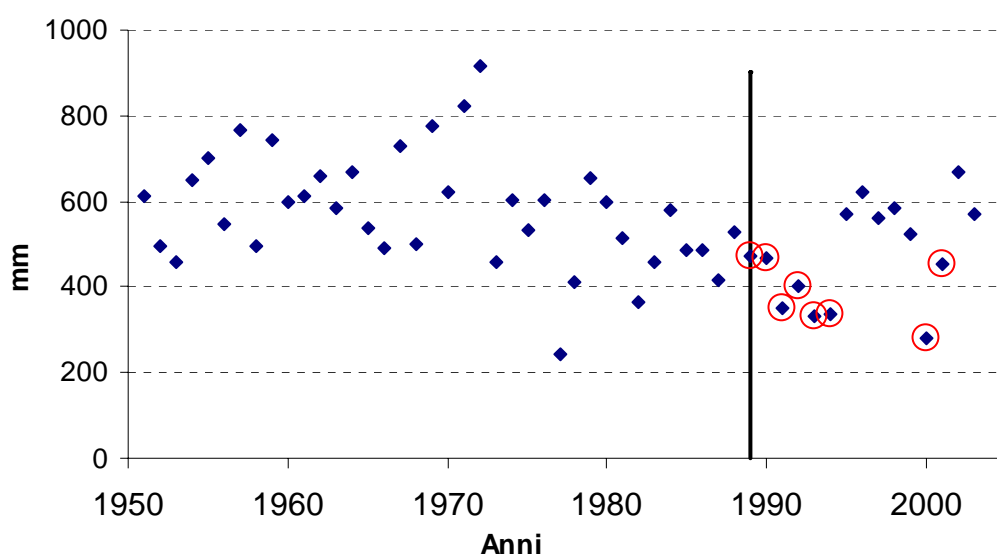


Figura 1. Precipitazioni annuali registrate presso la stazione agrometeorologica di Foggia dell'Istituto Sperimentale Agronomico dal 1951 al 2003.

Per diverse annate successive, all'aumento dei valori di evapotraspirazione potenziale - anche durante la stagione invernale (fig. 2) - è corrisposta una minore piovosità, tanto che, negli ultimi tre lustri si sono registrati sette tra gli inverni più siccitosi dell'intero periodo di osservazione. Ciò potrebbe provocare alterazioni significative nelle riserve idriche nelle falde, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo.

L'espansione delle superfici irrigabili e la maggiore durata della stagione irrigua determinano una più intensa pressione dell'agricoltura sulle falde sotterranee, che tendono ad esaurirsi. Nelle falde delle zone costiere, l'abbassamento dei livelli delle falde aumenta i rischi di intrusione marina, o, nei casi meno drammatici, fenomeni stagionali di salinizzazione.

Il ripetersi di annate caratterizzate da scarsa pluviometria, con l'aumento della salinità del terreno e la diminuzione delle risorse idriche rinnovabili, innesca i processi di desertificazione.

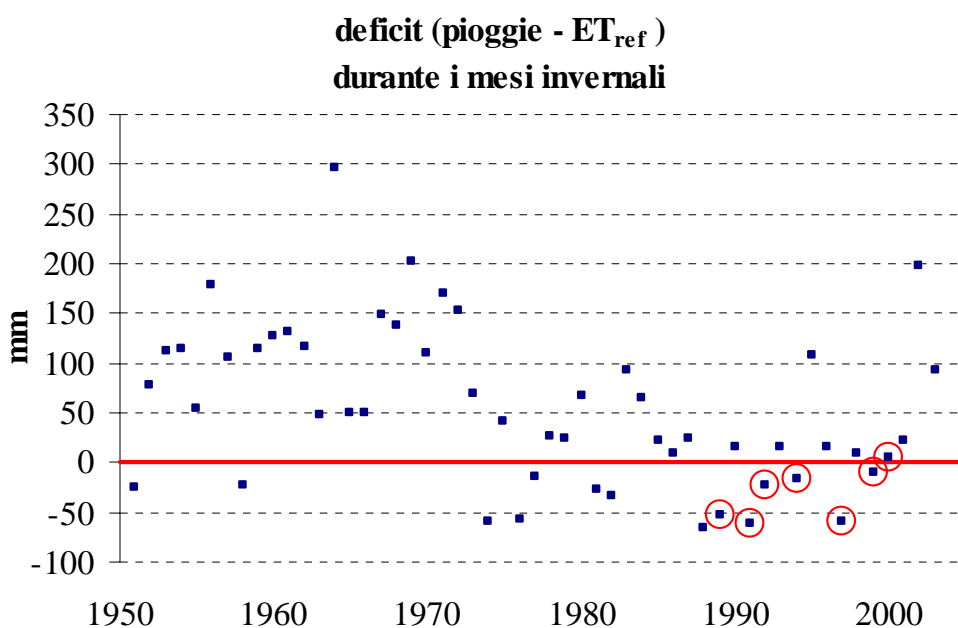


Figura 2. Differenza tra le precipitazioni e l'evaporazione di riferimento registrata durante i mesi invernali presso la stazione agrometeorologica di Foggia dell'Istituto Sperimentale Agronomico dal 1951 al 2003.

### Obiettivi del secondo anno di ricerca

Data questa situazione di riferimento e presa la Puglia come area di studio, la ricerca condotta nel secondo anno di attività si è articolata in tre fasi:

1. utilizzazione della metodologia, messa a punto e calibrata durante il primo anno di attività, per calcolare i fabbisogni irrigui delle specie agrarie che occupano un ruolo preminente negli attuali sistemi colturali;
2. applicazione del calcolo dei fabbisogni irrigui a modelli alternativi di gestione irrigua miranti a limitare i consumi di acqua;
3. monitoraggio dello stato qualitativo di alcune falde, da cui si preleva l'acqua per l'irrigazione, al fine di individuare le interconnessioni tra la domanda climatica, il fabbisogno irriguo e il degradamento della qualità dell'acqua; analisi qualitativa delle acque di pioggia.

### Materiali e metodi

Da alcuni decenni l'Istituto Sperimentale Agronomico cura il rilievo dei dati agrometeorologici di alcune località in Puglia e Basilicata, dove sono ubicate le proprie aziende sperimentali. Per la ricerca sono state selezionate le stazioni agrometeorologiche di Foggia, Bitetto e Rutigliano, che rappresentano realtà agricole diverse ed importanti dal punto di vista economico.

Il modello adottato per il calcolo dell' $ET$  è quello di Penman-Monteith. E' stato realizzato un software per la misura giornaliera dell' $ET_{ref}$  e del calcolo dell' $ET$  per le principali colture irrigue utilizzando il coefficiente colturale ( $K_c$ ) "dual". Le colture esaminate sono:

- erbacee: barbabietola da zucchero, pomodoro da industria;
- arboree: agrumi, olivo, vite.

Per determinare in maniera “ottimale” il momento dell’intervento irriguo e il volume di adacquamento, si esegue giornalmente il bilancio idrico. In pratica, l’irrigazione è prevista quando, per effetto dell’evapotraspirazione, si esaurisce la riserva idrica prontamente utilizzabile dalle colture. Il volume di adacquamento corrisponde alla quantità di acqua da restituire al terreno per riportarlo alla capacità idrica di campo (CIC).

Il modo di procedere “ottimale” fornisce i risultati più corretti, dal punto di vista agronomico, in termini di resa (questa tecnica di gestione dell’acqua irrigua evita che le colture subiscano lo stress idrico per tutta la durata del ciclo colturale) e di consumo dell’acqua (l’irrigazione è somministrata in base alle esigenze della specie, dell’andamento meteorologico, delle proprietà idrauliche del terreno). La gestione “ottimale” può essere applicabile qualora l’azienda non abbia alcun vincolo (temporale o quantitativo) di disponibilità idrica.

In alternativa al metodo “ottimale”, sono stati analizzati altri metodi di gestione dell’irrigazione che si adattano alla maggior parte delle aziende agricole che operano in irriguo nell’ambiente meridionale. In particolare sono stati ipotizzati:

1. momento irriguo variabile (in funzione della domanda climatica dell’ambiente) e volumi irrigui razionati (da 85 fino a 40 % del volume irriguo ottimale); questa ipotesi corrisponde al caso delle aziende agricole che dispongono sempre di acqua (a domanda), ma in quantità limitata;
2. turni fissi (ogni 4 - 7 - 9 - 12 - 15 – 20 giorni) e volumi irrigui variabili (pari alla quantità di acqua necessaria a ripristinare nel terreno la riserva idrica prontamente utilizzabile); corrisponde alla consegna “turnata” dell’acqua in azienda da parte degli enti gestori (cooperative o consorzi di bonifica) senza limitazioni quantitative;
3. turni fissi (ogni 7 o 9 giorni, qualora lo stato idrico del terreno sia inferiore alla quantità di acqua prontamente disponibile) e volumi irrigui pari ad una dotazione fissa (compresa tra 10 e 50 mm); si tratta di aziende che, a prescindere dalle condizioni climatiche e dalle esigenze colturali, dispongono sempre dello stesso quantitativo di acqua a giorni prestabiliti.

Questi tre modelli di gestione irrigua dovrebbero consentire un risparmio di acqua, ma al contempo, producono un effetto negativo sulla resa finale.

Per verificare i quattro modelli di gestione dell’irrigazione (ottimale + i tre con vincoli) sono stati utilizzati i tre data-set “storici” della Puglia. L’analisi è stata condotta per evidenziare il “range” inter-annuale di variabilità dei volumi irrigui stagionali, dello stress idrico e della produttività.

Per valutare l’effetto del regime irriguo sub-ottimale sulla produttività, sono state calcolate le decurtazioni di resa, per le specie agrarie di cui si conosce la relazione che correla la resa relativa (resa in regime idrico sub-ottimale rispetto alla resa in regime idrico ottimale) all’indice di stress idrico ( $K_s = ET_{sub}/ET_{ott}$ , rapporto tra l’evapotraspirazione stagionale della coltura in regime idrico sub-ottimale e ottimale).

Infine, in parallelo a queste determinazioni, sono state individuate 21 località, rappresentative dei più importanti comprensori irrigui della regione pugliese (figura 3), dalle quali si rileva sistematicamente (ogni 15 giorni) la qualità delle acque di falda. La conducibilità elettrica dell’acqua ( $CE_w$ , espressa in  $dS\ m^{-1}$ ) e il SAR (Sodium Adsorption Ratio) sono i criteri utilizzati per definire la qualità dell’acqua. In cinque località si preleva anche l’acqua di pioggia per l’analisi qualitativa. In più, per ogni località da cui si campiona l’acqua di falda, è stato analizzato il terreno agricolo dal punto di vista chimico e fisico.



Figura 3. Localizzazione di alcune falde e delle stazioni pluviometriche da cui provengono i campioni per il monitoraggio della qualità delle acque:

di falda			di pioggia		
LOCALITA'	AZIENDA	codice	LOCALITA'	AZIENDA	codice
Lesina	Fiorentino	FG1	Lesina	Idrov. Lauro	P1
Sannicandro	Libero	FG2	Manfredonia	Idrovora	P2
Lucera	Chiarella	FG3	Foggia	ISA pod. 124	P3
Manfredonia	Carella	FG4	Rutigliano	ISA	P4
Manfredonia	pod. 32	FG5	Carovigno	Greco	P5
Foggia	ISA pod. 124	FG6			
San Giovanni	Salcuni	FG7			
Molfetta	Scorbeto	BA1			
Molfetta	Cooperativa	BA2			
Molfetta	Le coppe	BA3			
Rutigliano	ISA	BA4			
Mola	La Noira	BA5			
Torre S.Sabina	Laghezza	BR1			
Carovigno	Annichiarico	BR2			
Carovigno	Greco	BR3			
Castellaneta	Perniola	TA1			
Castellaneta	D'Eredità	TA2			
Monteroni	I.S.T.	LE1			
Leuca	Salve	LE2			
Ruffano	Pasanisi	LE2			
Metaponto	ISA	MTP			

## Risultati conseguiti nel secondo anno

### a) i fabbisogni irrigui delle specie agrarie

Durante il secondo anno di attività è stata condotta l'indagine sui consumi delle specie agrarie di pieno campo più diffuse nei sistemi produttivi del mezzogiorno.

Le variabili prese in considerazione durante la stagione colturale sono: evapotraspirazione di riferimento (calcolata secondo il metodo di Penman-Monteith), evapotraspirazione della coltura ( $ET_c = ET_{ref} \times K_c$  "dual") senza limitazioni idriche (ogni qual volta si esaurisce l'acqua prontamente disponibile per la coltura, l'irrigazione ripristina nel terreno la riserva idrica massima) e minerali, pioggia totale e pioggia utile (eventi piovosi > 5 mm al netto dell'acqua drenata) e variabili irrigue (volume stagionale e numero di interventi). Le piogge aumentano l'acqua disponibile del terreno fino alla capacità idrica di campo, superato il limite massimo di trattenuta del terreno, l'acqua si perde per drenaggio.

I principali parametri per stimare l' $ET_c$  e per eseguire il bilancio idrico per le colture erbacee sono riportati in tabella 1.

Tabella 1. Percentuale di superficie di terreno bagnata a seguito dell'adacquamento, profondità dell'apparato radicale e altezza della coltura, frazione della riserva idrica del terreno prontamente utilizzabile dalla coltura, durata delle principali fenofasi, valori del coefficiente colturale di "base".

		Pomodoro	Barbabetola
Superficie di terreno bagnata	%	30	30
Profondità apparato radicale	m	0.60	0.90
Altezza pianta	m	0.60	0.5
Riserva idrica prontamente utilizzabile	%	10 - 40	10 - 40
Inizio ciclo	data	1° maggio	1° novembre
Durata del $K_{c_{ini}}$	gg   $K_c$	20   0.15	45   0.15
Durata del $K_{c_{svi}}$	gg   $K_c$	25   0.15-1.15	75   0.15-1.15
Durata del $K_{c_{mat}}$	gg   $K_c$	35   1.15	80   1.15
Durata del $K_{c_{sen}}$	gg   $K_c$	20   1.15	30   1.15-0.90
Raccolta	data	8-9 agosto	20 giugno

Per quanto riguarda le due specie erbacee prese in considerazione (tabella 2), si nota che nonostante la diversa durata del ciclo colturale (dal 1° novembre alla seconda decade di giugno per la bietola e dal 1° maggio alla 1° decade di agosto per il pomodoro), la domanda climatica dell'ambiente ( $ET_{ref}$ ) e i volumi irrigui stagionali siano dello stesso ordine di grandezza. Rispetto alla bietola, i turni irrigui sono più brevi per la coltura di pomodoro e il numero di interventi irrigui è doppio. La barbabetola è una specie che compie parte del suo ciclo colturale tra la fine dell'autunno e l'inverno, quindi beneficia della maggior piovosità (oltre 100 mm di pioggia utile), ma circa la metà delle piogge si perde per drenaggio, senza essere utilizzata dalle piante. Anche per la coltura a ciclo primaverile-estivo, una cospicua percentuale delle precipitazioni (tra il 24 e il 41%) si perde per drenaggio. Ciò conferma che le precipitazioni estive, oltre ad essere scarse, sono per lo più a carattere temporalesco. Le piogge utili per il pomodoro rappresentano meno del 10 % (20% a Rutigliano) del fabbisogno idrico.

I valori di "standard deviation" denunciano l'elevata variabilità interannuale della richiesta evapotraspirativa e, di conseguenza, dei volumi irrigui stagionali.

Tabella 2. Variabili irrigue calcolate per le colture di pomodoro e di barbabietola da zucchero in tre località pugliesi. Valori medi della serie storica  $\pm$  deviazioni standard.

località	periodo	ET <sub>ref</sub> (mm)	pioggia totale (mm)	pioggia utile (mm)	ET <sub>c</sub> (mm)	volume irriguo (mm)	irrigazioni (n°)	drenaggio (mm)
Pomodoro								
Foggia	1951- -2003	491,6 $\pm 60,4$	102,9 $\pm 52,3$	38,3 $\pm 25,5$	497,4 $\pm 67,9$	416,67 $\pm 83,1$	23,5 $\pm 5,5$	42,5 $\pm 33,6$
Rutigliano	1984 - -2003	484,4 $\pm 45,5$	128,4 $\pm 64,5$	83,9 $\pm 49,4$	480,8 $\pm 53,4$	407,6 $\pm 67,1$	23,4 $\pm 4,6$	30,6 $\pm 23,8$
Bitetto	1977 - -2000	480,9 $\pm 22,6$	67,7 $\pm 41,8$	28,3 $\pm 21,8$	475,9 $\pm 26,9$	409,9 $\pm 45,3$	22,7 $\pm 2,7$	21,4 $\pm 21,3$
Barbabietola								
Foggia	1951- -2003	498,7 $\pm 68,1$	377,5 $\pm 92,5$	126,4 $\pm 40,5$	583,5 $\pm 72,0$	356,4 $\pm 95,4$	12,4 $\pm 3,5$	165,4 $\pm 74,3$
Rutigliano	1984 - -2003	536,4 $\pm 65,1$	403,7 $\pm 113,5$	128,5 $\pm 40,8$	630,6 $\pm 72,3$	396,1 $\pm 91,3$	14,3 $\pm 3,5$	190,6 $\pm 98,9$
Bitetto	1977 - -2000	528,9 $\pm 27,8$	311,2 $\pm 148,1$	105,0 $\pm 54,5$	608,1 $\pm 31,8$	407,4 $\pm 76,6$	13,7 $\pm 2,3$	130,1 $\pm 86,4$

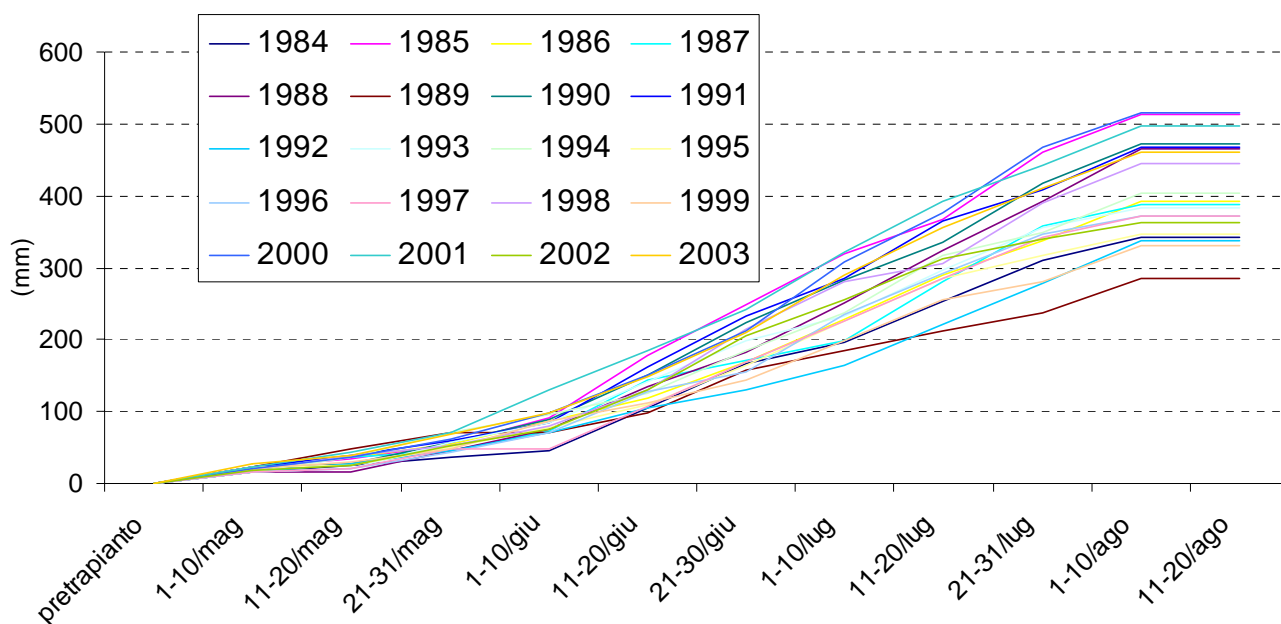


Figura 4. Valori cumulati dei volumi irrigui decadali simulati per la coltura di pomodoro a Rutigliano in 20 annate (dal 1984 al 2003).

A titolo di esempio nella figura 4 si riportano gli andamenti decadali dei volumi richiesti durante la stagione di crescita dal pomodoro a Rutigliano. Mediamente sono necessari 407 mm per soddisfare pienamente le esigenze idriche di questa coltura, ma i valori sono variati da un minimo di 284 (nel 1989) a 515 mm (nel 2000). I due principali parametri agrometeorologici che determinano questa variabilità sono l'ET<sub>ref</sub> e le piogge efficaci. Nel 1989 ad un bassa domanda evapotraspirativa

dell'ambiente (403 mm durante la stagione di crescita del pomodoro) è corrisposta una buona quantità di pioggia (183 mm) regolarmente distribuita durante il ciclo colturale (0 mm di acqua percolata); nel 2000 l'ET<sub>ref</sub> è stata pari a 560 mm e le piogge si sono ridotte a 8 mm.

Oltre alle due specie erbacee, sono state considerate tre colture arboree, utilizzando il data set agrometeorologico di Rutigliano. Le fenofasi si evolvono in funzione della temperatura media dell'aria. Dopo la stasi invernale, la ripresa vegetativa avviene quando la temperatura si stabilizza al di sopra di un valore soglia che dipende dalla specie. La durata delle tre principali fenofasi (iniziale, di sviluppo e di maturazione), invece, dipende da intervalli di temperatura. Per ogni fenofase corrisponde un valore "base" di coefficiente colturale (Kc). La tabella 3 riassume le caratteristiche e le esigenze termiche delle tre colture, insieme ad alcuni parametri necessari alla simulazione.

Tabella 3. Percentuale di superficie di terreno bagnata a seguito dell'adacquamento, profondità dell'apparato radicale e altezza della coltura, frazione della riserva idrica del terreno prontamente utilizzabile dalla coltura, temperature medie dell'aria in corrispondenza delle quali si verificano le principali fenofasi, valori di "base" di coefficiente colturale.

		Agrumi		Olivo		Vite	
Superficie di terreno bagnata	%	10		10		20	
Profondità apparato radicale	m	0.80		0.90		0.70	
Altezza pianta	m	3		4		2	
Riserva idrica prontamente utilizzabile	%	50		65		40	
T <sub>med</sub> per la ripresa vegetativa	° C	> 10		> 7		> 10	
T <sub>med</sub> per Kc <sub>ini</sub>	° C Kc	10-18	0.75	7-14	0.30	14-17	0.15
T <sub>med</sub> per Kc <sub>svi</sub>	° C Kc	18-23	0.75	14-18	0.30-0.45	17-21	0.15-0.70
T <sub>med</sub> per Kc <sub>mat</sub>	° C Kc	> 23	0.75	> 18	0.45	> 21	0.70
T <sub>med</sub> per Kc <sub>sen</sub>	° C Kc	< 13	0.75	< 7	0.45	< 14	0.70-0.40

#### Agrumi.

Con la procedura per reperire le principali fenofasi, si è calcolato che la stagione di crescita dura mediamente (20 anni di rilievi agrometeorologici)  $194.2 \pm 6.1$  giorni (in un intervallo massimo di variabilità che va da 185 a 205 giorni). In questo periodo cadono normalmente  $203.3 \pm 76.2$  mm di pioggia (il range di variabilità va da un minimo di 89 mm ad un massimo di 376 mm), assai al di sotto dell'evapotraspirazione di riferimento dello stesso periodo ( $791 \pm 82$  mm, da un minimo di 657 ad un massimo di 932 mm). La pioggia utile durante il ciclo vegetativo degli agrumi è pari a  $241 \pm 69$  mm e l'evapotraspirazione effettiva  $766 \pm 82$  mm. Per evitare decurtazioni di resa, si deve intervenire con un volume irriguo stagionale pari a  $386.8 \pm 85.7$  mm.

#### Olivo

Le condizioni climatiche della località prescelta fanno sì che il ciclo colturale dell'olivo duri tutto l'anno (solo in una annata il ciclo si è ridotto a 326 giorni). Le piogge durante il ciclo colturale ammontano a  $532.5 \pm 121.5$  mm (variabili tra un minimo di 298 ad un massimo di 758 mm). La richiesta evapotraspirativa dell'ambiente è doppia (ET<sub>ref</sub> =  $1077 \pm 127$  mm). Irrigando ogniqualvolta si esaurisce l'acqua prontamente disponibile, i fabbisogni irrigui stagionali ammontano a  $247.7 \pm 76$  mm a cui si devono aggiungere le piogge utili ( $179 \pm 57$  mm).

#### Vite

Si è scelta l'uva da tavola precoce (raccolta ai primi di settembre) allevata a tendone, con la vegetazione a 2 metri dal terreno. Il ciclo colturale della vite dura mediamente  $194 \pm 6.1$  giorni, con oscillazioni estreme dei 20 anni considerati che vanno da 185 a 205 giorni. In questo periodo le precipitazioni ammontano a  $201.4 \pm 75$  mm (variabili tra 89 e 376 mm), mentre la richiesta evapotraspirativa dell'ambiente (ET<sub>ref</sub>) è di  $794 \pm 81$  mm (con variazioni

estreme comprese tra 657 e 932 mm). La pioggia utile si riduce a  $122.2 \pm 47.2$  mm. Per fare fronte completamente alle esigenze idriche della vite ( $ET_a=457.5 \pm 55$ ) sono necessari  $271.6 \pm 71.7$  mm di acqua irrigua distribuita in  $7.5 \pm 2.2$  interventi irrigui. L'analisi eseguita a Rutigliano per l'uva da tavola è stata ripetuta anche per le altre due località di cui si disponeva della serie storica dei dati agrometeorologici (tabella 4). Solo la quantità di acqua perduta per drenaggio a Rutigliano, risulta inferiore rispetto a Foggia e Bitetto, mentre le altre variabili rimangono pressoché immutate.

Tabella 4. Variabili irrigue calcolate per la coltura di uva da tavola in tre località pugliesi. Valori medi della serie storica  $\pm$  deviazioni standard.

	periodo	ciclo colturale	$ET_{ref}$	Pioggia totale	Pioggia utile	$ET_c$	volume irriguo	numero interventi	drenaggio
Foggia	1951- -2003	194,3 $\pm 6,1$	794,0 $\pm 80,9$	201,4 $\pm 74,6$	122,2 $\pm 47,2$	457,5 $\pm 55,0$	271,6 $\pm 71,7$	7,5 $\pm 2,2$	165,4 $\pm 74,3$
Rutigliano	1984 - -2003	195,2 $\pm 8,2$	805,8 $\pm 100,5$	254,7 $\pm 101,0$	126,3 $\pm 36,5$	479,5 $\pm 72,5$	277,8 $\pm 87,1$	8,0 $\pm 2,9$	80,9 $\pm 73,2$
Bitetto	1977 - -2000	192,1 $\pm 8,1$	775,1 $\pm 43,0$	153,67 $\pm 69,2$	90,6 $\pm 47,8$	443,7 $\pm 26,2$	277,3 $\pm 47,7$	7,5 $\pm 1,3$	130,1 $\pm 86,4$

#### b) modelli alternativi di gestione irrigua

Al fine di limitare i consumi di acqua irrigua sono stati ipotizzati diversi modelli di gestione dell'irrigazione. Al mancato soddisfacimento dei fabbisogni irrigui corrisponde una perdita di produttività della coltura. Nei calcoli di seguito riportati, la pioggia utile è stata calcolata come differenza tra la precipitazione giornaliera ( $> 5$  mm) e l'acqua perduta per drenaggio.

Per quanto riguarda gli agrumi (tabella 5a), irrigando con un volume di adacquamento pari al 60% dell'acqua disponibile (modello di gestione irrigua n°1), ogni qual volta si esaurisce la riserva idrica facilmente utilizzabile, è stato calcolato un volume stagionale medio dei 20 anni pari a  $232 \pm 51$  mm. Durante il ciclo colturale la coltura subisce uno stress ( $K_s$ ) quantificabile intorno a  $0.84 \pm 0.06$  che si ripercuote sulla resa finale con una decurtazione del  $17.2 \pm 4.5$  (tabella 5b).

Se invece si adottasse il modello di gestione irrigua n° 2, i turni irrigui brevi comportano un forte aumento dei volumi irrigui stagionali ( $>500$  mm). Per contenere le richieste irrigue (volume irriguo stagionale  $353 \pm 43$  mm) bisognerebbe adottare intervalli irrigui di 20 giorni, che provocano un lieve aumento del  $K_s$  ( $0.83 \pm 0.11$ ) e una riduzione di resa inferiore al 10% ( $9.0 \pm 5.8\%$ ).

Il modello di gestione irrigua n° 3 (tabella 5c) si dimostra assai vantaggioso in quanto consente di graduare le adacquate alle effettive esigenze dell'agrumeto. Disponendo settimanalmente anche di un minimo quantitativo di acqua (25 mm), si riesce a contenere lo stress ( $K_s = 0.97 \pm 0.02$ ) e le decurtazioni di resa ( $3.9 \pm 1.4\%$ ).

Regime Irriguo		Pioggia utile (mm)	$ET_a$ (mm)	N. Irrig	Volume irriguo (mm)
100%	media	244.1	766.1	9.5	386.8
(OTTIMALE)	dev.st	69.3	81.7	2.2	85.7

85%	media	264.3	732.8	9.5	328.8
85%	dev.st	74.7	75.4	2.3	67.9
60%	media	278.6	652.0	9.5	232.1
60%	dev.st	71.1	64.9	2.2	51.4
50%	media	281.6	617.3	9.6	194.6
50%	dev.st	71.7	61.6	2.2	42.4
	media	283.7	580.2	9.5	154.7
	dev.st	72.1	60.3	2.2	34.3

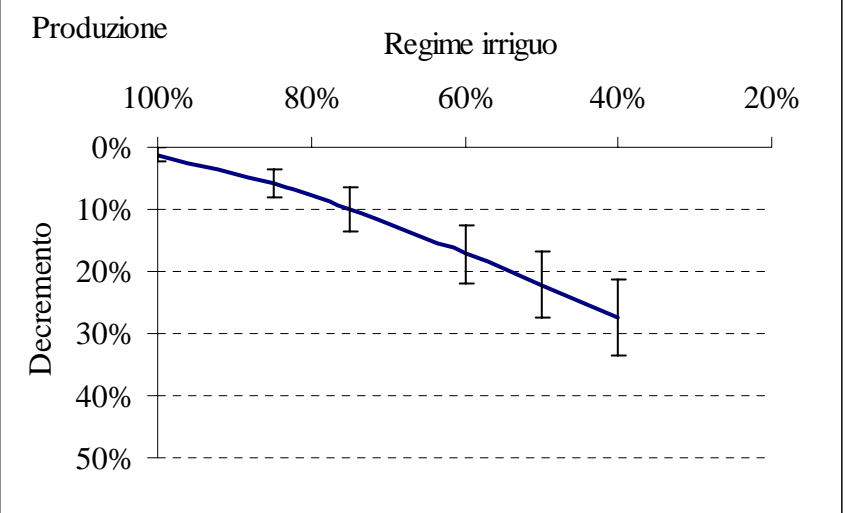
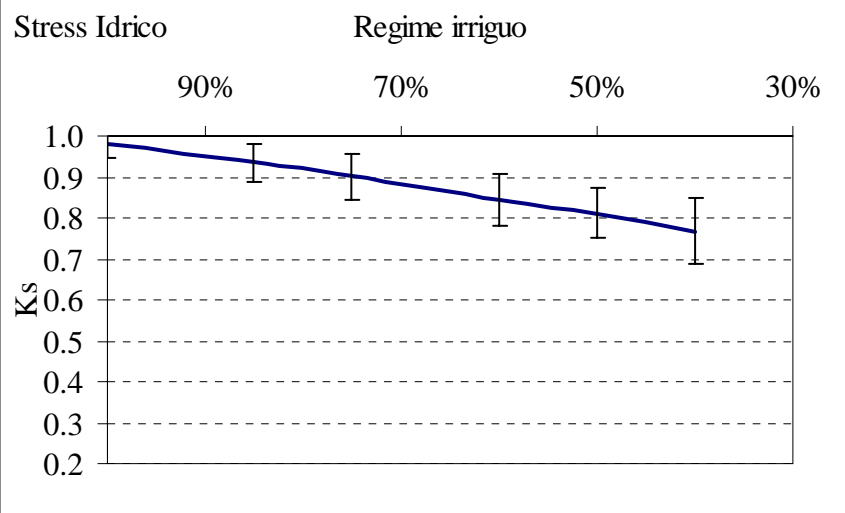
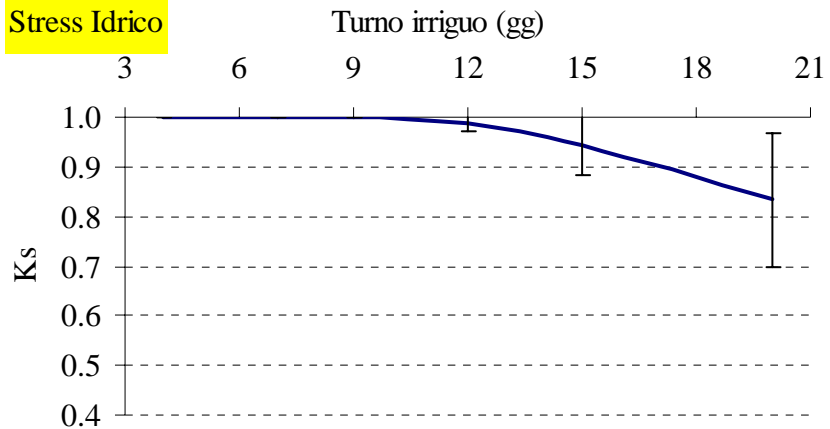


Tabella 5b. Agrumi, modello di gestione irriguo n°2.

Turno Irriguo (gg)	Pioggia	ETa	N. Irrig	Irrigazione	
4	media	110.0	782.6	36.4	541.1
	dev.st	35.9	90.5	5.3	86.0
	media	123.7	756.1	24.6	502.0
	dev.st	42.8	86.1	3.7	80.7
	media	137.0	740.5	19.9	475.6
	dev.st	45.8	84.1	2.9	74.2

9	media	137.0	740.5	19.9	475.6
12	media	151.8	727.8	15.9	449.2
	dev.st	52.4	76.6	2.3	68.2
15	media	158.4	706.7	12.9	419.0
	dev.st	46.6	62.1	1.8	51.8
	media	178.0	659.1	9.9	352.9
	dev.st	64.1	64.4	1.3	43.1

### Stress Idrico



### Produzione

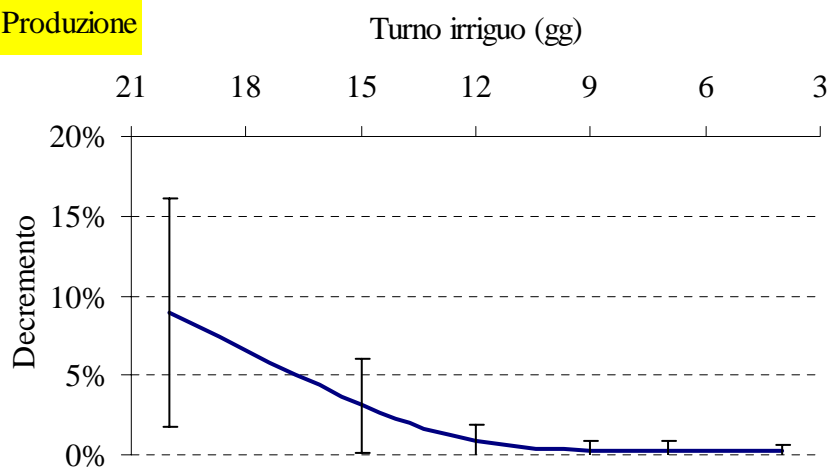
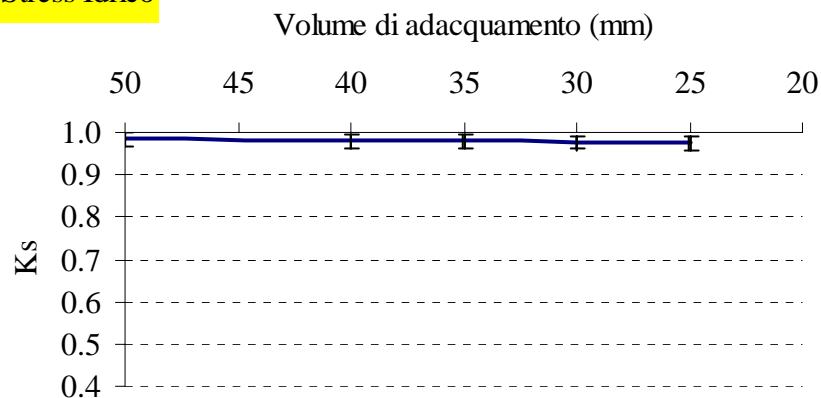


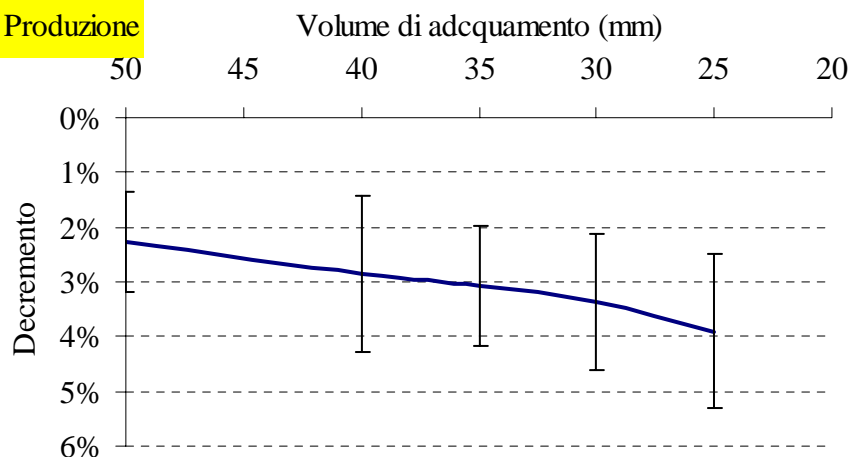
Tabella 5c. Agrumi, modello di gestione irriguo n°3.

Volume Irriguo (mm)		Pioggia Utile (mm)	ETa (mm)	N. Irrig	Irrigazione (mm)
25	media	222.1	719.9	14.6	364.5
	dev.st	65.9	83.6	3.4	85.1
30	media	226.5	721.0	12.1	363.2
	dev.st	73.4	88.7	2.9	86.5
35	media	217.5	716.5	10.5	368.4
	dev.st	70.2	82.1	2.3	80.3
40	media	209.3	710.9	9.3	370.5
	dev.st	66.3	78.1	1.9	74.0
50	media	204.5	708.7	7.7	384.2
	dev.st	59.4	80.4	1.7	83.4

**Stress Idrico**



**Produzione**



Per quanto riguarda l'olivo, irrigando con un volume di adacquamento pari al 60% dell'acqua disponibile (gestione irrigua n°1), ogni qual volta si esaurisce la riserva idrica facilmente utilizzabile, è stato calcolato un volume stagionale medio dei 20 anni pari a  $150 \pm 45$  mm (tabella 6a). Durante il ciclo colturale la coltura subisce uno stress ( $K_s$ ) quantificabile intorno a  $0.81 \pm 0.11$ .

Non conoscendo la relazione che lega il Ks alla riduzione di resa, per l'olivo non è possibile prevedere le decurtazioni dovute al mancato soddisfacimento delle esigenze idriche.

Tabella 6a. Olivo, modello di gestione irriguo n°1.					
Regime Irriguo		Pioggia Utile (mm)	ETa (mm)	N. Irrig	Volume irriguo (mm)
100% (OTTIMALE)	media	178.7	539.2	5.4	247.7
	dev.st	56.8	77.3	1.8	76.0
85%	media	211.7	536.6	5.4	210.5
	dev.st	58.3	72.5	1.8	64.6
70%	media	221.7	511.3	5.4	175.4
	dev.st	60.6	68.3	1.8	53.0
60%	media	226.8	491.0	5.4	150.3
	dev.st	62.7	65.7	1.8	45.5
50%	media	230.5	469.7	5.4	125.3
	dev.st	64.6	64.6	1.8	37.9
40%	media	233.0	448.0	5.4	100.2
	dev.st	66.1	64.3	1.8	30.3

Stress Idrico		Regime irriguo			
		90%	70%	50%	30%
K <sub>s</sub>	media	0.95	0.85	0.78	0.70
	dev.st	0.04	0.08	0.12	0.16

Nel caso l'olivo dovesse essere irrigato a turni fissi (modello di gestione n°2), sarebbero auspicabili i turni più ampi (tabella 6b). In caso di turno irriguo di 15 giorni, il consumo sarebbe pari a  $265.8 \pm 58.5$  mm e lo stress idrico impercettibile ( $K_s = 0.98 \pm 0.04$ ).

L'irrigazione all'olivo a turni fissi (ogni 9 giorni, come nel modello di gestione n° 3) si dimostra vantaggiosa anche con limitati sussidi irrigui (tabella 6c). Infatti, non superando i 20 mm per adacquata, il volume stagionale irriguo è pari a  $214 \pm 67$  mm e il Ks si riduce di poco ( $0.94 \pm 0.06$ ).

Tabella 6b. Olivo, modello di gestione irriguo n°2.

Turno Irriguo (gg)		Pioggia Utile (mm)	ETa (mm)	N. Irrig	Volume irriguo (mm)
4	media	121.2	595.5	28.4	353.2
	dev.st	48.8	88.4	6.4	85.4
7	media	133.3	577.3	20.8	324.5
	dev.st	45.2	81.3	3.3	74.7
9	media	144.8	563.5	16.8	300.7
	dev.st	50.7	81.7	2.8	75.6
12	media	152.5	553.3	13.7	285.7
	dev.st	53.3	75.6	2.1	64.3
15	media	155.7	538.7	11.4	265.8
	dev.st	48.4	70.7	2.0	58.5
20	media	174.0	509.4	8.3	221.4
	dev.st	61.9	58.9	1.6	43.1

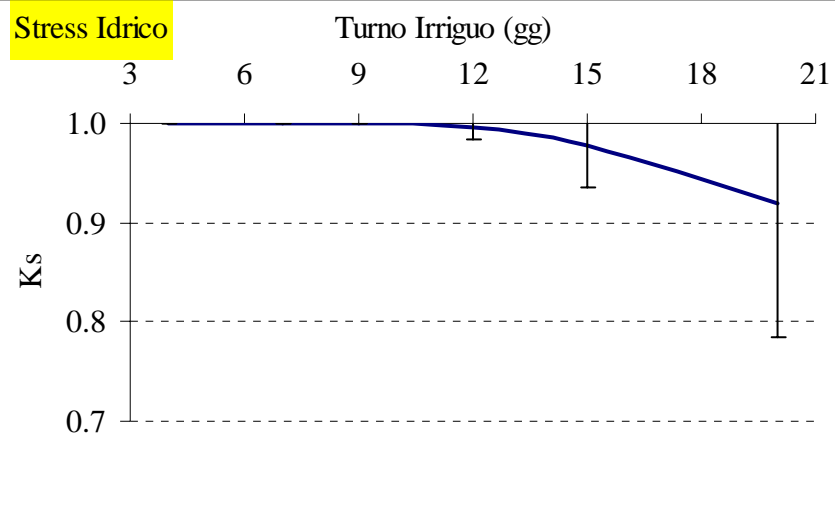
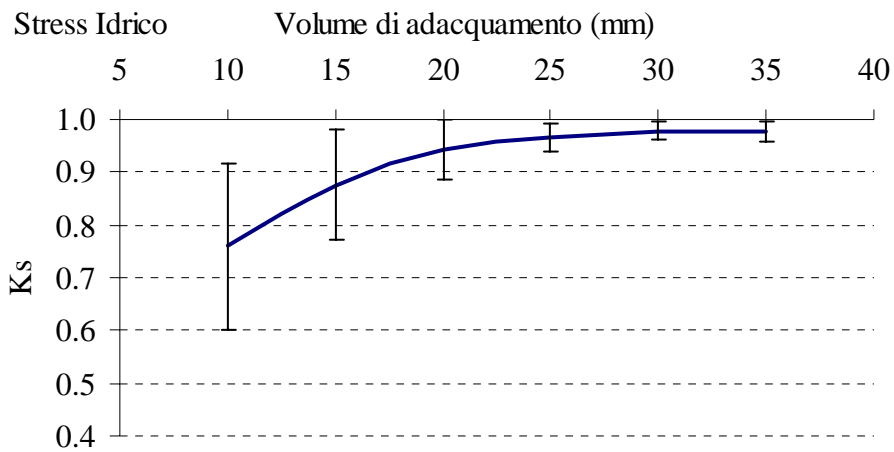


Tabella 6c. Olivo, modello di gestione irriguo n°3.

Volumi irrigui (gg)		Pioggia utile (mm)	ETa (mm)	N. Irrig	Volume irriguo (mm)
10	media	213.8	474.2	14.1	140.5
	dev.st	65.9	62.9	3.9	39.4
15	media	209.1	514.2	12.6	188.7
	dev.st	65.2	59.1	3.4	50.6
20	media	204.8	536.7	10.7	213.7
	dev.st	67.0	66.6	3.4	67.0
25	media	202.0	541.1	8.9	222.4
	dev.st	65.8	71.4	2.8	70.2
30	media	205.2	542.6	7.5	224.2
	dev.st	66.6	75.2	2.6	77.7
35	media	192.7	542.9	6.7	233.9
	dev.st	64.5	75.2	2.3	79.2



Il volume irriguo stagionale da applicare all’uva da tavola può essere ridotto restituendo solo una percentuale dell’acqua perduta per evapotraspirazione. Le ripercussioni sulla resa si manifestano in modo più evidente rispetto alle altre specie arboree considerate. Infatti, riducendo i volumi irrigui del 25% rispetto all’ottimale, lo stress idrico diventa 0.80 e la resa diminuisce mediamente di oltre il 12% (tabella 7°).

Tabella 7a. Vite da tavola, modello di gestione irriguo n°1.

Regime Irriguo		Pioggia Utile (mm)	ETa (mm)	n° Irrigazioni	Volume irriguo (mm)
100% (OTTIMALE)	media	122.2	457.5	7.5	271.6
	dev.st	47.2	55.0	2.2	71.7
85%	media	134.1	430.4	7.5	230.8
	dev.st	51.2	49.1	2.2	61.0
75%	media	139.0	396.4	7.5	190.1
	dev.st	54.9	45.7	2.2	50.2
60%	media	141.5	372.4	7.5	162.9
	dev.st	57.0	45.1	2.2	43.0
50%	media	142.0	347.0	7.5	135.8
	dev.st	57.8	45.2	2.2	35.9
40%	media	144.3	321.6	7.5	107.8
	dev.st	58.2	46.9	2.2	28.6

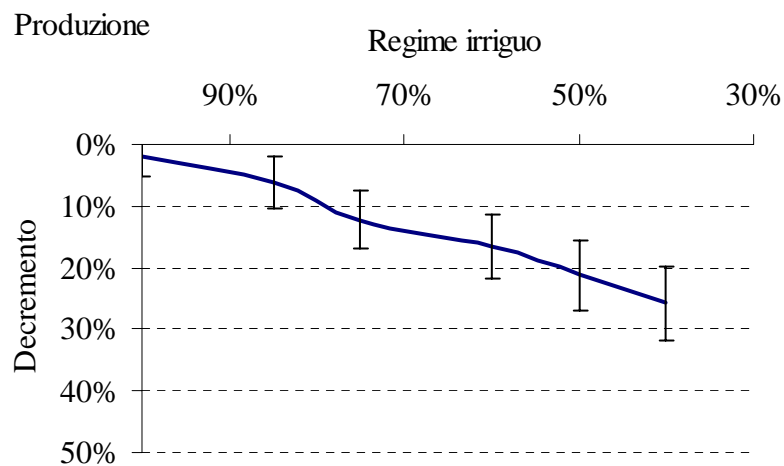
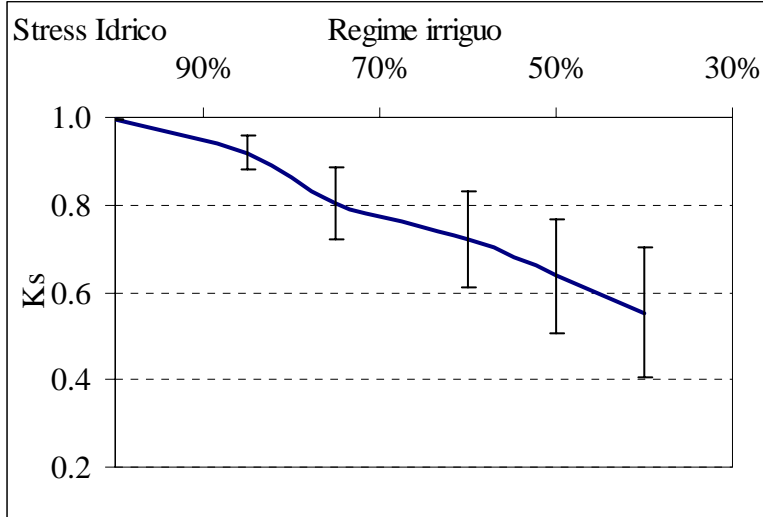
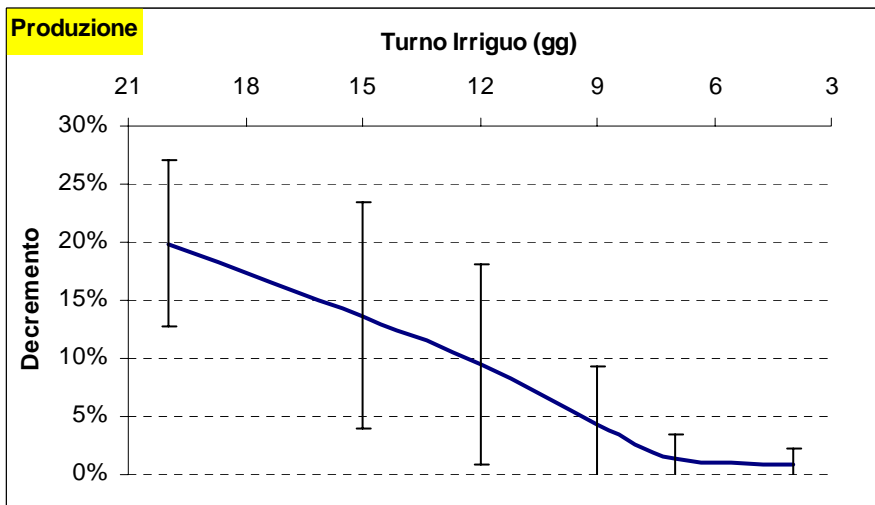
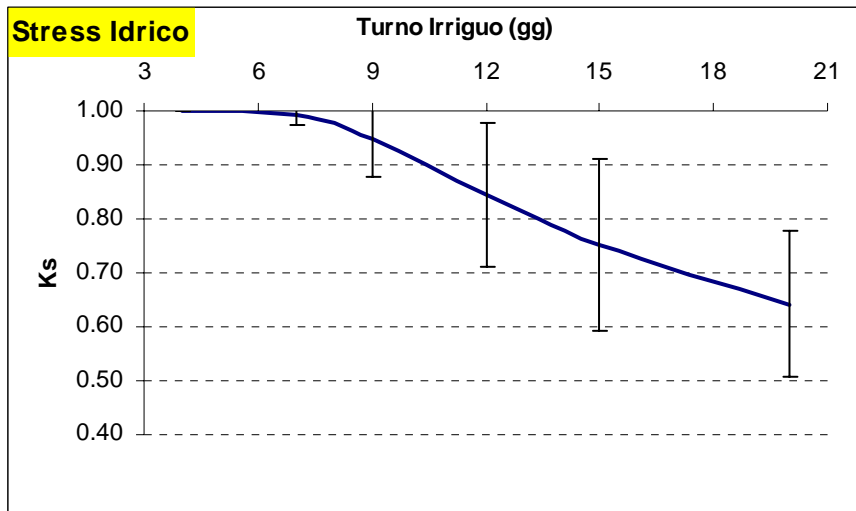


Tabella 7b. Vite da tavola, modello di gestione irriguo n° 2.

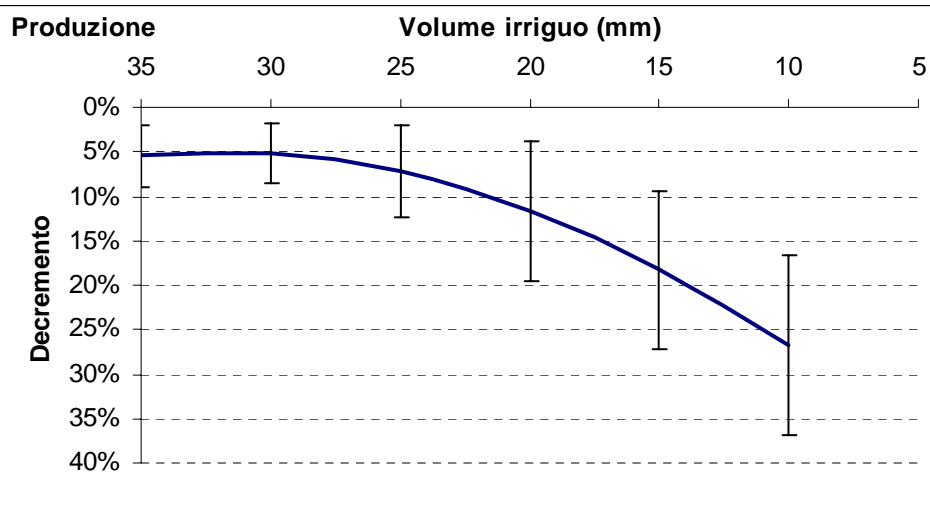
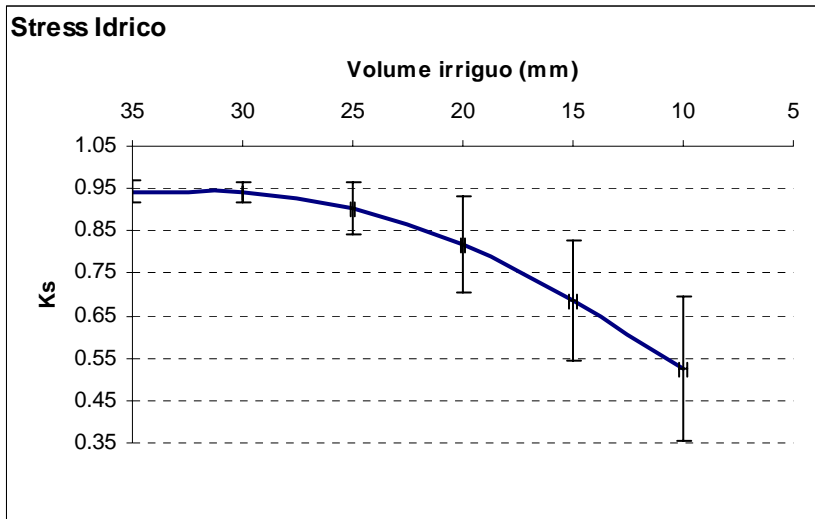
Turno Irriguo (gg)		Pioggia Utile (mm)	ETa (mm)	N. Irrig	Irrigazione (mm)
4	media	83.0	490.0	21.8	344.0
	dev.st	38.3	62.4	3.3	64.2
7	media	90.7	471.8	14.6	317.3
	dev.st	34.1	54.8	1.5	53.5
9	media	103.8	445.9	11.2	277.9
	dev.st	38.7	43.5	1.0	36.4
12	media	111.1	412.7	9.5	235.2
	dev.st	46.2	41.2	1.2	30.2
15	media	112.1	382.7	7.8	202.7
	dev.st	42.4	37.5	0.9	19.8
20	media	123.3	348.1	6.1	156.4
	dev.st	54.8	44.1	1.1	24.7



Qualora in azienda l'acqua venga consegnata a turni fissi, la resa viene decurtata sensibilmente (> 9.5 %) in caso di intervalli irrigui superiori ai 12 giorni (tabella 7b). I risparmi di acqua che derivano dall'adozione di questo modello di gestione irrigua risultano inferiori rispetto al modello precedente.

Tabella 7c. Vite da tavola, modello di gestione irriguo n° 3.

Volume Irriguo (mm)		Pioggia Utile (mm)	ETa (mm)	N. Irrig	Irrigazione (mm)
10	media	141.1	319.8	10.9	109.0
	dev.st	53.3	45.2	2.0	20.2
15	media	140.1	366.3	10.7	159.8
	dev.st	56.5	39.7	2.2	33.5
20	media	138.5	402.3	10.0	199.0
	dev.st	54.8	38.8	2.3	46.6
25	media	133.1	427.0	9.2	228.8
	dev.st	52.1	42.1	2.2	55.8
30	media	136.6	435.5	7.9	237.0
	dev.st	54.7	47.0	2.3	70.1
35	media	132.0	433.1	6.8	238.0
	dev.st	51.8	47.8	1.9	65.8



Infine, nel caso in cui il vigneto fosse irrigato a turni settimanali (tabella 7c) ) si possono contenere le riduzioni di resa (< 10% dell'ottimale) se si dispone di un volume di adacquamento non inferiore a 25 mm. In termini di risparmio di acqua, questo modello di gestione assicura i migliori risultati per l'uva da tavola.

c) monitoraggio della qualità dell'acqua di falda e di pioggia.

La elevata domanda evapotraspirativa, associata alla scarsa piovosità, determina le condizioni che favoriscono il maggior prelievo di acque dalle falde per far fronte alle esigenze delle colture. La qualità dell'acqua di una falda sottoposta a prelievi ripetuti potrebbe peggiorare. A questo scopo, sono stati ispezionati regolarmente diversi pozzi, localizzati nelle aree irrigue pugliesi, che attingono a falde di diversa natura. I risultati di questo monitoraggio sono sintetizzati nella figura 5 in cui si riportano le variazioni della salinità (in  $\text{dS m}^{-1}$ ) dell'acqua di falda, misurata durante il periodo aprile 2001 – dicembre 2003. I 21 siti di campionamento sono stati ripartiti in tre aree geografiche: quella centrale, con i 5 pozzi della provincia di Bari, quella a Nord (7 siti in provincia di Foggia) e quella salentina (3 punti di campionamento in provincia di Brindisi, 3 in quella di Lecce, 2 in provincia di Taranto e 1 in provincia di Matera).

In provincia di Bari, i due siti più interni (BA4 e BA2 a circa 7 km di distanza dalla costa, dove la falda si situa ad oltre 120 m di profondità) mostrano valori di salinità contenuti ed accettabili dal punto di vista agronomico. La falda "BA4", gestita da un privato per la propria azienda agraria non mostra variazioni di conducibilità elettrica; al contrario, la qualità dell'acqua del pozzo BA2 (valore medio =  $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ ) tende a peggiorare con il proseguire della stagione irrigua, con oscillazioni comprese tra un minimo di  $1,1 \text{ dS m}^{-1}$  e un massimo di  $2,6 \text{ dS m}^{-1}$ . Questo andamento potrebbe indicare un possibile rischio di salinizzazione della falda. Infatti, mentre il pozzo che attinge dalla prima falda è utilizzato per irrigare una sola azienda di modesta superficie, nel secondo caso diversi agricoltori si sono consorziati per realizzare un pozzo e portare l'acqua, in tubazioni superficiali, alle aziende orticole dislocate lungo la costa e frequentemente prelevano l'acqua tutti contemporaneamente, in funzione dell'andamento meteorologico. In prossimità della costa (BA1, BA3 e BA5) la salinità dell'acqua di falda è più elevata (oltre  $5 \text{ dS m}^{-1}$ ) e può essere utilizzata in agricoltura solo con forti limitazioni. I valori minimi di salinità corrispondono ai prelievi eseguiti alla fine dell'inverno.

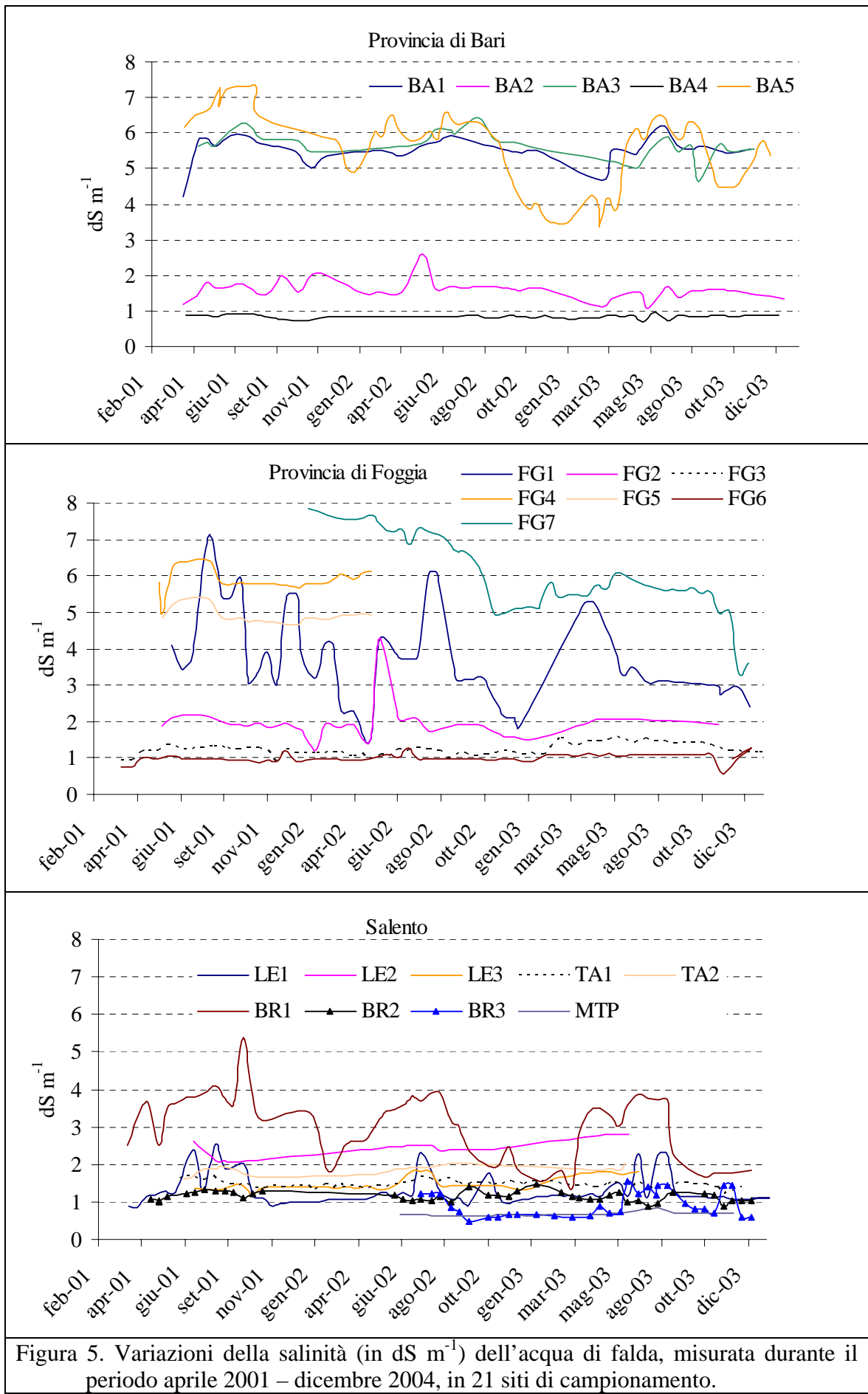


Figura 5. Variazioni della salinità (in  $\text{dS m}^{-1}$ ) dell'acqua di falda, misurata durante il periodo aprile 2001 – dicembre 2004, in 21 siti di campionamento.

In provincia di Foggia, i pozzi localizzati nella zona di Capitanata (FG3 e FG6) mostrano un'ottima qualità, mentre nella zona di Manfredonia (FG4 e FG5) la salinità dell'acqua di falda risulta troppo elevata per essere utilizzata ai fini irrigui senza le dovute precauzioni. Il monitoraggio della qualità delle acque provenienti dai due pozzi della zona di Lesina (FG1 e FG2) rivela oscillazioni della salinità tra i successivi campionamenti. Queste fluttuazioni dei valori di conducibilità elettrica potrebbero essere attribuiti al fatto che le falde sono superficiali (a pochi metri di profondità dalla superficie del terreno), pertanto soggette ad una maggiore o minore concentrazione dei sali a seconda dell'entità dei prelievi da parte degli agricoltori e degli apporti da parte degli eventi meteorici.

Nella zona salentina le acque esaminate non mostrano particolari difetti di qualità, ad eccezione di BR1 che si caratterizza per una estrema variabilità tra i prelievi (da 1,4 a 5,4 dS m<sup>-1</sup>). Questo sito è localizzato nelle vicinanze della costa (< 1 Km), in una zona balneare, in cui nei mesi primaverili-estivi, ai consumi determinati dalla maggior richiesta degli agricoltori, si sommano quelli dei turisti che popolano le numerose abitazioni presenti nella zona e che utilizzano l'acqua della stessa falda per usi spesso diversi (orti domestici, giardini, pulizia, ecc.). Tale coincidenza potrebbe spiegare gli aumenti di salinità dalla primavera alla fine dell'estate. Dall'autunno in poi i valori di salinità dell'acqua tendono a diminuire, per i minori prelievi di acqua e per il sopraggiungere delle piogge che contribuiscono ad alimentare le falde. Si fa presente, infine, che dai pozzi "LE2" e "TA2" si attinge l'acqua per l'irrigazione di un oliveto e di un pescheto; per questo motivo i campioni si prelevano limitatamente al periodo dell'esercizio irriguo e non continuativamente.

Tra le altre determinazioni eseguite sull'acqua di falda, in tabella si riportano gli andamenti del SAR (Sodium Adsorption Ratio), che indicano il rischio di ridurre la permeabilità dei terreni a seguito dell'irrigazione eseguita con acque ricche di sodio (rispetto agli altri cationi bivalenti). Valori di SAR inferiori a 3 non destano particolari preoccupazioni dal punto di vista della conservazione della fertilità del terreno. Generalmente le acque irrigue dovrebbero essere utilizzate con cautela se il valore di SAR dovesse raggiungere valori superiori e prossimi a 10. Valori elevati di SAR (figura 6) si riscontrano analizzando le acque prelevate dalle tre aziende situate sul litorale barese (BA3, BA4 e BA5), nella zona di Manfredonia (FG4 e FG5) e sulle prime pendici del Gargano (FG7).

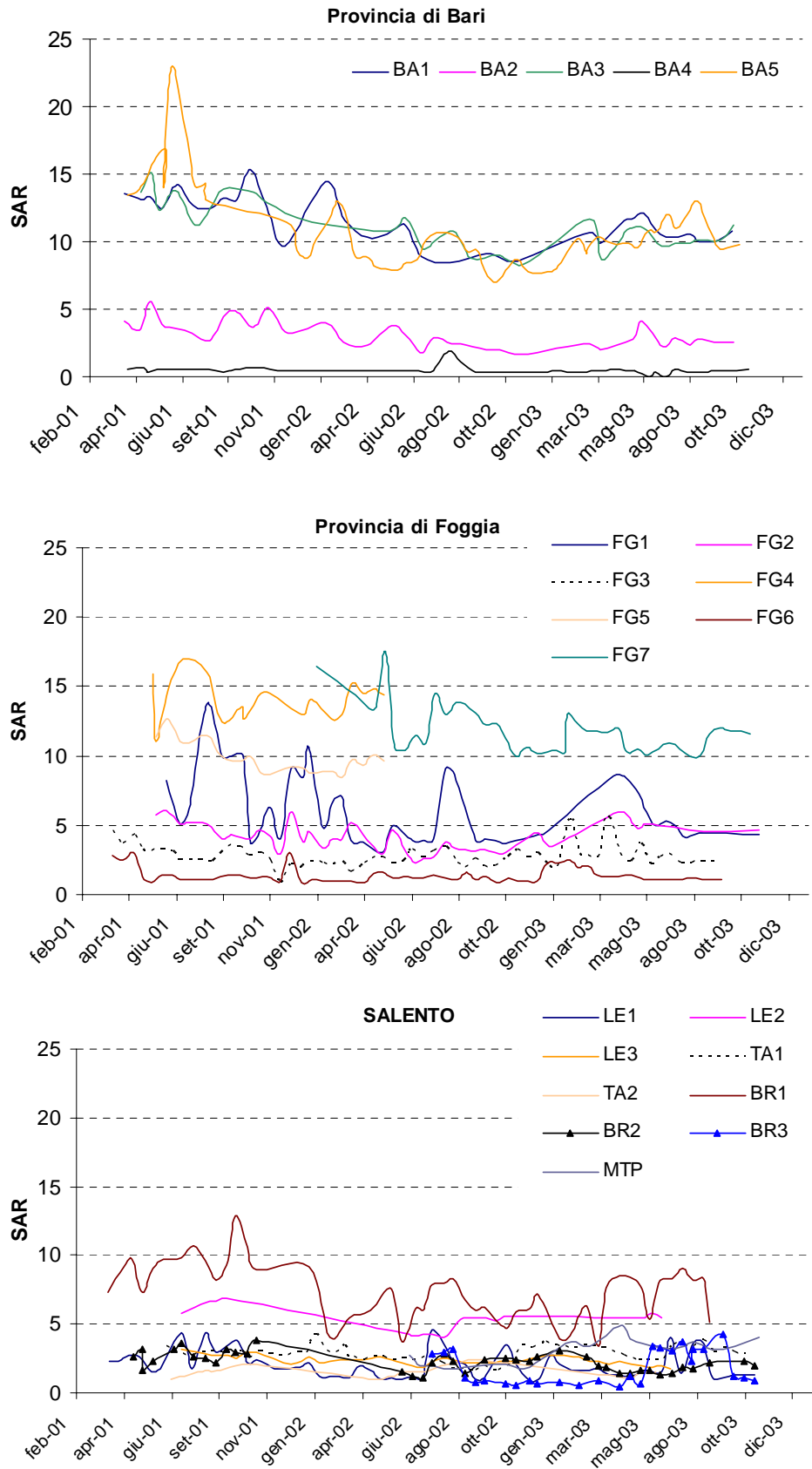
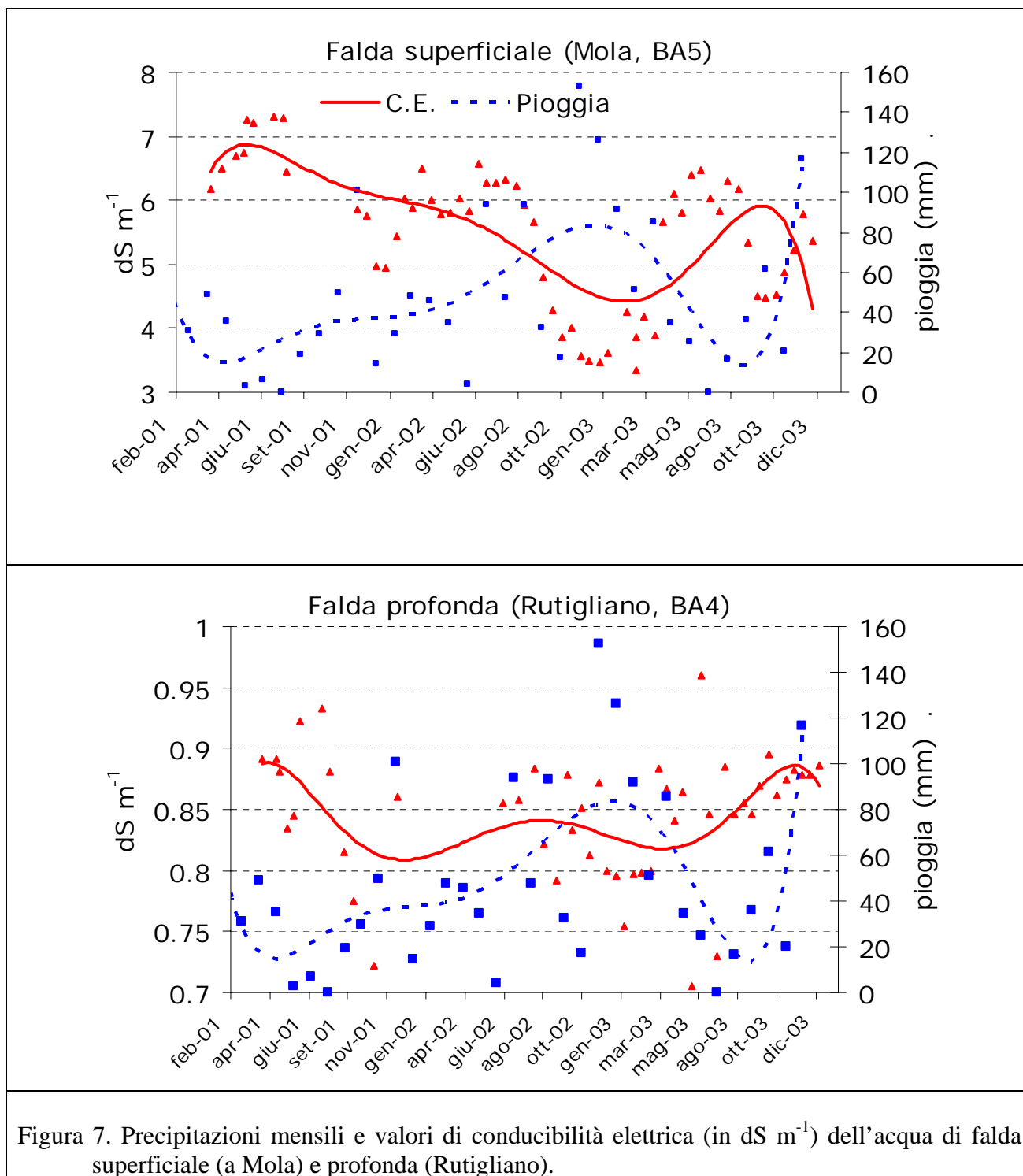


Figura 6. Variazioni di SAR dell'acqua di falda, misurata durante il periodo aprile 2001 – dicembre 2004, in 21 siti di campionamento.

Per verificare l'ipotesi che il regime pluviometrico contribuisce direttamente (effetto diluizione) e indirettamente (aumento dei prelievi) sulla qualità dell'acqua di falda, sono stati riportati in grafico i valori puntuali di salinità e quelli mensili di pioggia misurati per l'intero periodo della ricerca. Dall'esempio riportato nella figura 7 si constata che all'aumentare delle precipitazioni si abbassa la salinità delle acque di falda e viceversa. Tale corrispondenza è stata verificata sia nelle falde superficiali, che in quelle profonde, non soggette a evidenti problemi di salinità.



L'ultima fase della ricerca ha riguardato la qualità dell'acqua di pioggia (figura 8). Tranne che per alcuni valori eccezionali, le precipitazioni non sembrano essere affette da problemi di salinità. La media dei valori del pH è risultata 7.59 a Rutigliano e 7.44 a Foggia, con una dispersione che va da 9.2 a 5.2 per Foggia e da 9.5 a 5.5 per Rutigliano. Le variazioni di pH non sembrano associate ad alcun trend meteorologico.

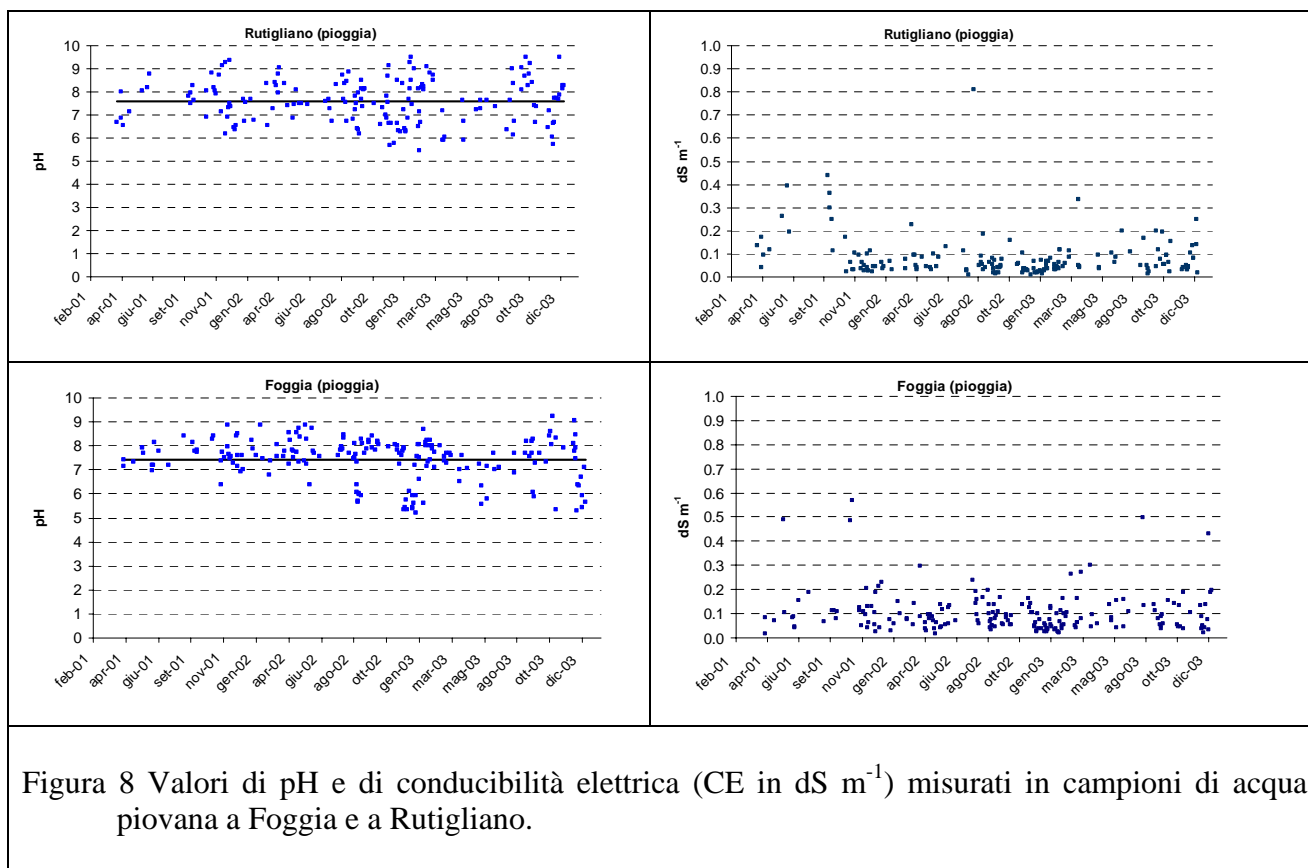


Figura 8 Valori di pH e di conducibilità elettrica (CE in  $\text{dS m}^{-1}$ ) misurati in campioni di acqua piovana a Foggia e a Rutigliano.

### Prospettive future

La ricerca proseguirà secondo le due direttive previste:

- utilizzare la metodologia, messa a punto e calibrata durante i primi due anni di attività, per calcolare i fabbisogni irrigui delle specie agrarie che occupano un ruolo preminente negli attuali sistemi colturali, alla luce degli scenari climatici futuri;
- completare il monitoraggio dello stato qualitativo delle falde da cui si emunge l'acqua per l'irrigazione al fine di individuare le interconnessioni tra la domanda climatica, il fabbisogno irriguo e il degradamento della qualità dell'acqua.