



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

Dipartimento DEMETRA

Dottorato di Ricerca in Sistemi arborei agrari e forestali

XXIII Ciclo

*L'influenza dell'irrigazione su diversi parametri vegeto-
produttivi ed eco-fisiologici del Pistacchio
(Pistacia vera L.)*

Settore scientifico disciplinare AGR03

TESI DI

Sebastiano Di Martino

COORDINATORE DEL DOTTORATO

Prof. Tiziano Caruso

DOCENTE TUTOR

Prof. Ettore Barone

Anno 2011

DOTTORATO



Sommario

Premessa	3
1. Il Pistacchio	6
1.1 Origine e diffusione della specie	6
1.2 Notizie botaniche	7
1.3 Descrizione ed ecologia della specie	8
1.4 Il Ciclo biologico	11
1.5 L'alternanza di produzione	12
1.6 L'irrigazione del pistacchio	15
1.6.1 La stima del fabbisogno irriguo del pistacchio	17
1.6.2 L'uso dell'irrigazione nei diversi areali di coltivazione del pistacchio	18
2. Progetto di ricerca	20
3. Materiali e metodi	21
3.1 L'area sperimentale	21
3.1.1 Caratteristiche pedo-climatiche dell'area	21
3.2 I rilievi meteorologici	24
3.3 Lo schema sperimentale e le pratiche colturali	25
3.4 Stima del fabbisogno irriguo con il software CROPWAT 8.0	28
3.5 Rilievi in campo	40
a. Biometrici	40
b. Eco-fisiologici	41
3.6 Rilievi biometrici distruttivi	43
3.7 Stima del peso secco del germoglio	44
3.8 Stima del peso secco e della superficie della foglia	44
3.9 Stima del peso secco del frutto e dell'infruttescenza	45
3.10 Analisi del contenuto di clorofilla nei frutti	45
3.11 Calcolo dell'AGR e dell'RGR	46
3.12 Analisi statistica dei dati	47
4. Risultati e discussioni	48
4.1 Potenziale idrico xilematico	48
4.2 Accrescimento del germoglio	50

4.3 Accrescimento delle foglie.....	53
4.4 Accrescimento del frutto e dell'infruttescenza.....	58
4.5 AGR e RGR	63
4.6 Cascola delle gemme a fiore	66
4.7 Risultati produttivi	68
4.7.1 Dati quantitativi.....	68
4.7.2 Dati qualitativi.....	71
4.8 Risultati dei rilievi eco-fisiologici.....	76
4.8.1 Curve di risposta della fotosintesi alla luce.....	76
4.8.2 Assimilazione massima	79
4.8.3 Conduttanza stomatica	80
4.8.4 Efficienza dell'uso dell'acqua (WUE)	81
4.8.5 Correlazione tra il potenziale idrico xilematico e l'assimilazione massima	83
4.8.6 Correlazione tra la conduttanza stomatica e l'assimilazione massima.....	84
5. Conclusioni.....	86
6. APPENDICE.....	91
<i>Attività di studio e ricerca all'estero</i>	<i>91</i>
<i>Confronto di diverse metodologie per la misurazione della conduttanza stomatica.....</i>	<i>91</i>
Introduzione	91
Esperimenti e risultati ottenuti	92
Conclusioni	99
7. Ringraziamenti	100
8. Bibliografia.....	101

Premessa

I nuovi orientamenti della politica agricola comunitaria tendono a legare sempre più frequentemente l'aspetto produttivo dell'agricoltura con gli aspetti ambientali, ecologici, turistici, salutistici. Questa visione "multifunzionale" dell'agricoltura si presume permetterà, da un lato, il miglioramento delle condizioni economiche dell'imprenditore agricolo e, dall'altro, potrà aprire la strada alla riscoperta di specie vegetali di minore importanza economica, ma di sicuro interesse locale o regionale a motivo della loro rilevanza nel contesto dell'agricoltura più tradizionale, o per la tipicità e talvolta per l'unicità dei prodotti. Tali specie già adesso espletano, in contesti svantaggiati e in aree marginali, ruoli molto importanti in sistemi agro-forestali multifunzionali, contribuendo all'aumento della biodiversità e al miglioramento della sostenibilità ambientale dell'attività agricola. Tra le specie arboree minori di notevole interesse per l'area del Mediterraneo un posto di prim'ordine spetta al Pistacchio (*Pistacia vera* L.). Questa specie, originaria dell'Asia centrale, si è diffusa nel tempo in tutti Paesi del Mediterraneo e conserva in alcuni di essi una lunga tradizione culturale nel più ampio contesto produttivo mondiale a fianco di paesi in cui tale coltura è di più recente introduzione.

Dai dati pubblicati dalla FAO nel 2010 la produzione mondiale di pistacchi in guscio ammonta a circa 900.000 tonnellate. Il principale paese produttore è l'Iran, che da solo copre il 48% della produzione globale, seguono gli Usa con il 23% della produzione totale. L'Italia occupa il nono posto tra i produttori mondiali e detiene soltanto lo 0,2% del totale, concentrando la totalità della produzione in Sicilia. La pistacchicoltura siciliana interessa una superficie di circa 4000 ettari di cui l'84% sono localizzati nella provincia di Catania, il 7,5% nella provincia di Agrigento e il 5,4% nella provincia di Caltanissetta (Barone *et al.*, 1985; Barone e Marra, 2004; Caruso *et al.*, 2008) (Figura 1). Nonostante l'elevato valore di mercato dei frutti, la coltivazione del pistacchio in Sicilia non ha fatto registrare negli ultimi anni significative estensioni delle superfici investite (Figura 2), probabilmente anche a causa di talune problematiche specifiche tra le quali quelle dell'accentuata alternanza di produzione tipica della specie. È noto, infatti, che nel pistacchio la contemporanea presenza di frutti in accrescimento e di gemme a fiore in via di sviluppo sul ramo dell'anno, determina una elevata competizione tra i sink in attiva crescita avvantaggiando i frutti. Come conseguenza di tale intensa competizione nelle piante con frutti, durante lo sviluppo

dell'embrione, si verifica la cascola quasi totale delle gemme a fiore compromettendo la produzione dell'anno seguente. Molti studi (Crane e Nelson, 1971, 1972; Crane *et al.*, 1973; Sparks e Davis, 1974; Crane, 1984; Garcia-Luis *et al.*, 1988) hanno cercato di fare chiarezza sulle cause del fenomeno, ma finora si è pervenuti alla formulazione di due ipotesi non necessariamente in contrasto tra loro. Secondo alcuni studiosi la causa prima dell'abscissione delle gemme a fiore è la competizione nutrizionale che si instaura tra queste e i frutti; il forte richiamo di fotosintetati da parte dei frutti in accrescimento deprime lo sviluppo delle gemme a fiore tanto da comprometterne la vitalità. Secondo altre evidenze sperimentali il fenomeno sarebbe imputabile a fattori ormonali. In particolare è stata postulata la presenza di un promotore dell'abscissione delle gemme a fiore inviato dai frutti e contemporaneamente il richiamo nel frutto di un inibitore della cascola delle gemme a fiore prodotto dalle foglie. È comunque risultato evidente che nessuna delle due ipotesi può spiegare compiutamente il fenomeno per cui è molto probabile che l'alternanza di produzione sia da imputare all'interazione di fattori nutrizionali e ormonali mediati a loro volta dall'interazione genotipo - ambiente e tecniche colturali, che rappresentano motivo d'interesse per la ricerca e che riservano la necessità di essere ulteriormente indagate.

Questo lavoro è stato finalizzato a chiarire ulteriormente alcuni aspetti del fenomeno dell'alternanza di produzione del pistacchio, focalizzando l'attenzione sugli effetti dell'irrigazione sull'attività fotosintetica, sui processi di accrescimento dei diversi organi di rami fruttiferi ("carichi") di pistacchio, sui parametri quanti-qualitativi della produzione e sulla possibile alterazione del ciclo fenologico della pianta irrigata. I risultati ottenuti nel corso del presente studio verranno illustrati e commentati al fine di evidenziare il potenziale ruolo positivo dell'irrigazione in relazione al miglioramento dello status nutrizionale della pianta nell'ambito delle pratiche colturali del pistacchio, in un contesto quale quello della pistacchicoltura siciliana dove tradizionalmente tale coltura è di norma condotta in asciutto.

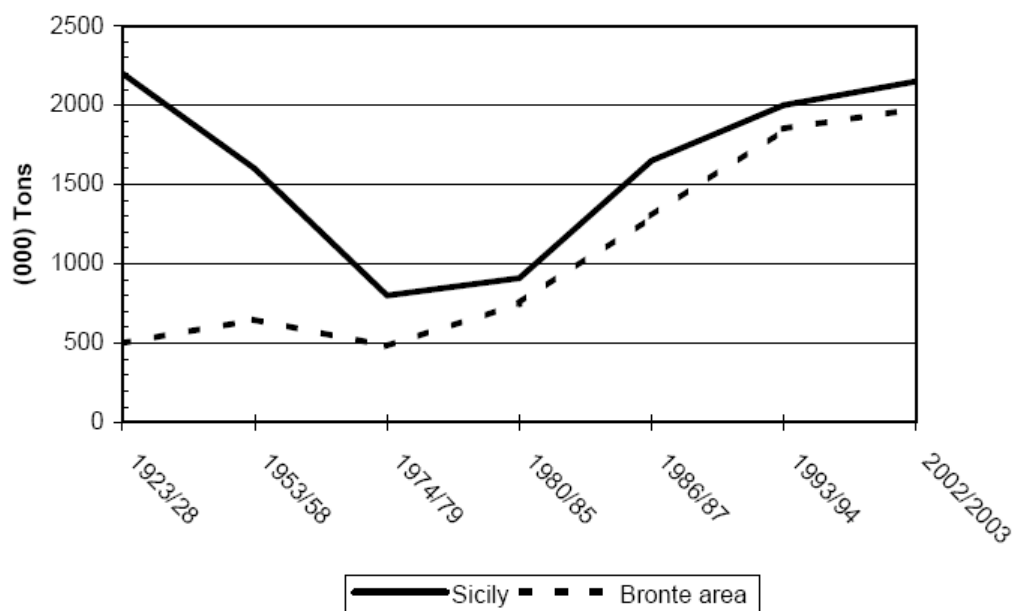


Figura 1. Andamento della produzione totale siciliana di pistacchio a confronto con la produzione della sola area di Bronte (Barone e Marra, 2004)

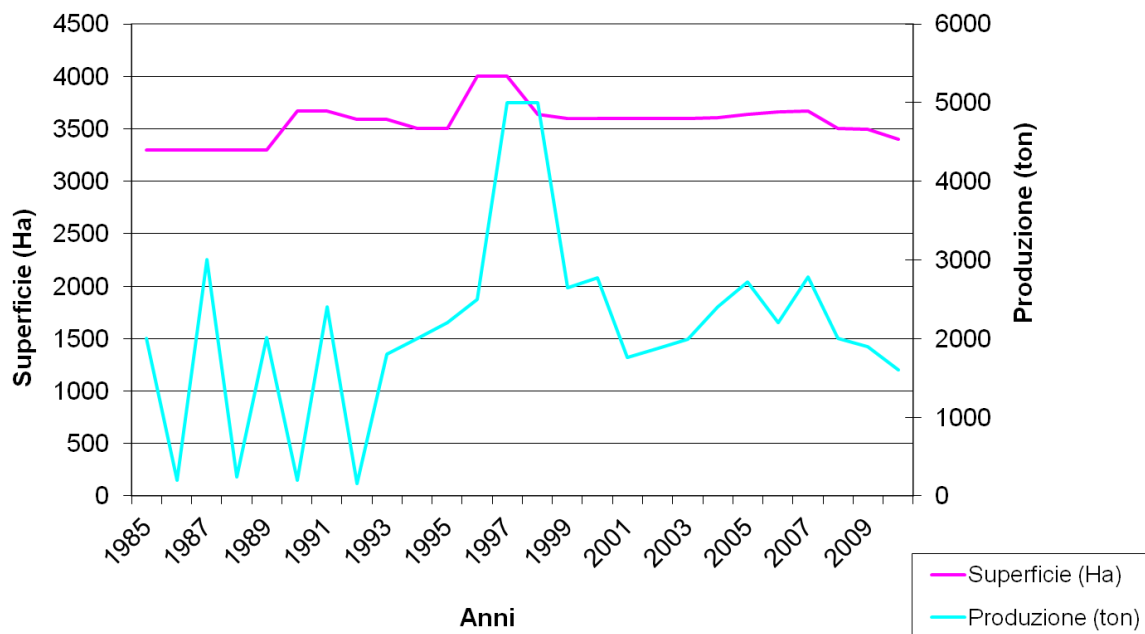


Figura 2. Produzione e superficie totale investita a pistacchio in Italia dal 1985 al 2010 (Dati FAO 2012)

1. Il Pistacchio

1.1 Origine e diffusione della specie

Il pistacchio (*Pistacia vera* L.) è originario delle zone aride dell'Asia centrale. Le indagini più approfondite per l'individuazione del centro di diffusione della specie sono state condotte da Whitehouse (1957) e Zohary (1952, 1973) tra la fine degli anni venti e gli anni sessanta del novecento nel sud ovest dell'Asia. Questi due studiosi hanno individuato piante spontanee di *P. vera* L. nelle zone collinari e semi desertiche comprese tra il nord dell'Iran, il nord dell'Afghanistan, il Turkmenistan, l'Uzbekistan, il Tajikistan e il Kirghizistan. In quest'area si collocano i due principali centri di diversificazione genetica della specie: le aree a sud del Mar Caspio (Iran) ed i territori compresi tra l'Afghanistan e il Kirghizistan (Vavilov, 1951). Le fonti storiche lasciano, comunque, ipotizzare una maggiore diffusione della specie in aree limitrofe dove oggi non è più possibile individuare piante spontanee a causa della forte pressione antropica esercitata attraverso il taglio degli alberi per la produzione di legna da ardere e la massiccia presenza della pastorizia che ne ha ostacolato il naturale rinnovo. La presenza di frutti del genere *Pistacia* in ritrovamenti archeologici dimostra lo stretto e antico legame tra queste specie e le attività umane. Sono state rinvenute delle drupe in molti scavi archeologici di siti risalenti al Neolitico (6000 a.C.) nell'area ad ovest dei monti Zagros (area di confine tra Iran e Iraq), altre tracce sono state rinvenute nel sito di Beidha vicino le rovine di Petra (Giordania), in diversi siti in Siria (Aswad, Ghoraife, Ramad, Murcybit, Sharma), in Turchia (Cayonu e Catal Huyuk), a Jarmo nel nord est dell'Iraq e in vari siti iraniani (Sarab, Guran e Ganj Darch). È stata, invece, accertata la presenza di frutti di *Pistacia vera* L. in scavi archeologici effettuati a Shortughai in Afghanistan e a Yahya nel sud est dell'Iran, due aree prossime agli odierni insediamenti naturali della specie, dove è presumibile ne sia iniziata la coltivazione propagando per seme le piante spontanee più vigorose e produttive. Da qui il pistacchio si è diffuso nei territori dell'Impero Persiano e il legame con l'antica Persia è sottolineato dall'etimologia del nome della specie: "Pistacchio" deriverebbe dall'antica lingua persiana Zend o Avesta in cui la pianta era chiamata *pista – pistak*. In Assiria, intorno al X sec. a.C., la regina di Saba aveva monopolizzato la limitata produzione di pistacchi del regno per farne un uso esclusivo all'interno della sua corte. Due secoli dopo fonti storiche riferiscono di alberi di pistacchio piantati nei giardini del re babilonese

Merodach Baladan. Anche nella Bibbia sono menzionati i pistacchi: sono i preziosi frutti portati in Egitto dai figli di Giacobbe “*Allora Israele, loro padre, rispose: “Poiché è necessario, fate così: prendete nei vostri sacchi i prodotti migliori di queste regioni: balsamo, miele, adragante, laudano, pistacchi e mandorle, per farne dono a quell’uomo.”* (Genesi 43:11). Lo storico greco Posidonio (Apamea, 135 a.C. circa – Roma, 50 a.C.) parla di coltivazioni di pistacchio in Siria, notizia che ha fuorviato scrittori greci e romani i quali hanno considerato erroneamente questo paese come centro di diffusione della specie (Hormaza *et. al.*, 1994). Plinio riporta nel suo *Historia naturalis* che il governatore romano Lucio Vitellio introdusse il pistacchio in Sicilia dalla Siria, alla fine del regno dell’imperatore Tiberio intorno al 30 d.C.. La successiva diffusione della specie nell’Isola deve attribuirsi agli Arabi, che, tra il IX e l’XI secolo, la coltivarono soprattutto sui terreni poco profondi e calcarei delle aree interne (Minà Palumbo, 1882). La Sicilia potrebbe rappresentare un centro di diversificazione secondario della specie, proprio a causa della sua antica introduzione (Maggs, 1973). Successivamente, la specie si diffuse in Spagna grazie al console Flavio Pompeo e successivamente in Francia e nei paesi dell’Africa che si affacciano sul Mediterraneo. La coltivazione del pistacchio si è diffusa contestualmente verso est; le prime tracce della sua coltivazione in Cina risalgono al X sec. d.C. (Hormaza *et. al.*, 1994). Alla fine del 1800 il pistacchio fu introdotto negli Stati Uniti, ma solo negli anni ’70 del novecento si diffuse in coltura intensiva (Hendricks e Ferguson, 1995) mentre ancora più recentemente è stato introdotto in Australia (Maggs, 1982).

1.2 Notizie botaniche

Il pistacchio appartiene all’ordine delle Terebinthales, alla famiglia delle *Anacardiaceae* e al genere *Pistacia*. Sono ascritte a tal genere una ventina di specie tra cui *P. vera* L., *P. terebinthus* L., *P. atlantica* Desf., *P. lentiscus* L., *P. integerrima* Stewart, *P. mutica* Fisher e Meyer, *P. chinensis* Bunge, *P. formosana* Stocks, *P. mexicana* H.B.K., *P. texana* Swingle, *P. oleosa* Lour e Willd., *P. palaestina* Boissier (sottospecie di *P. terebinthus* L.), *P. kinjiuk* Stocks, *P. falcata* Becc., *P. coccinea* Collett, *P. eurycarpa* Yaltirik. Alcune tra queste sono impiegate, negli ambienti d’origine, come portainnesti di *Pistacia vera* L., unica ad essere coltivata per i suoi frutti eduli.

1.3 Descrizione ed ecologia della specie

L'albero di pistacchio ha una crescita molto lenta ma, nelle condizioni pedoclimatiche migliori, può raggiungere e superare i 10 metri d'altezza. La corteccia è rossastra nei rami di un anno, mentre diventa grigio-cenere nelle branche più grosse e grigio-scuro sul fusto. Presenta delle lenticelle più dense sul legno più giovane.

La specie è decidua e dioica con piante maschili più vigorose e assurgenti delle femminili. L'habitus vegetativo della pianta è influenzato dalla accentuata dominanza apicale. La nuova vegetazione, infatti, è quasi esclusivamente prodotta dal germogliamento della gemma apicale di ciascun ramo. Le foglie sono composte, imparipennate con 3-5 foglioline verdi, di cui la terminale generalmente più grande delle laterali. In giovane età le foglioline si presentano vellutate, mentre, a sviluppo completo, sono glabre e coriacee. Alla base di ogni foglia è presente una gemma ascellare. Il genere si caratterizza per una spiccata anfistomia. Secondo Faust (1989) il 60% degli stomi si trova nella pagina inferiore della foglia mentre il restante 40% nella pagina superiore della foglia (Tabella 1).

Tabella 1. Densità stomatica (n° di stomi per mm²) in alcune specie da frutto (da Faust, 1989)

<i>Specie</i>	<i>Densità stomatica</i>	
	Pagina inferiore	Pagina superiore
Melo	294	0
Pesco	249	0
Ciliegio amaro	225	0
Fico	243	13
Vite	125	0
Gelso bianco	480	0
<i>Pistacchio (P. vera)</i>	304	226
Noce nero	461	0
Olivo	500	0

Da rilievi personalmente effettuati sulle cultivar Bianca e Kerman è emersa la presenza del 70% di stomi sulla pagina inferiore della foglia e il 30% su quella superiore.

I fiori femminili sono apetalati e riuniti in infiorescenze a pannocchia, portate sui rami di un anno. Nelle infiorescenze femminili sono presenti generalmente da 100 a 400 fiori, ma solo il 15-20% di questi divengono frutti maturi (Caruso *et al.*, 1987). Il fiore maschile ha 5-7 brattee, 5 stami che portano grosse antere gialle che si aprono longitudinalmente emettendo abbondante polline. I fiori sono riuniti in pannocchie cimose. La specie è caratterizzata da una accentuata proterandria. Il frutto, raggruppato in infruttescenze, è una drupa monosperma ovoidale, in cui l'epicarpo e il mesocarpo costituiscono il mallo (pericarpo), poco consistente, di colore variabile dal bianco roseo al giallo-crema, al rosso violaceo, in relazione alla cultivar e al livello di maturazione del frutto (Figura 3). L'endocarpo è legnoso, di colore avorio; a maturità può presentare diversi gradi di deiscenza in relazione alla cultivar e al carico di frutti.

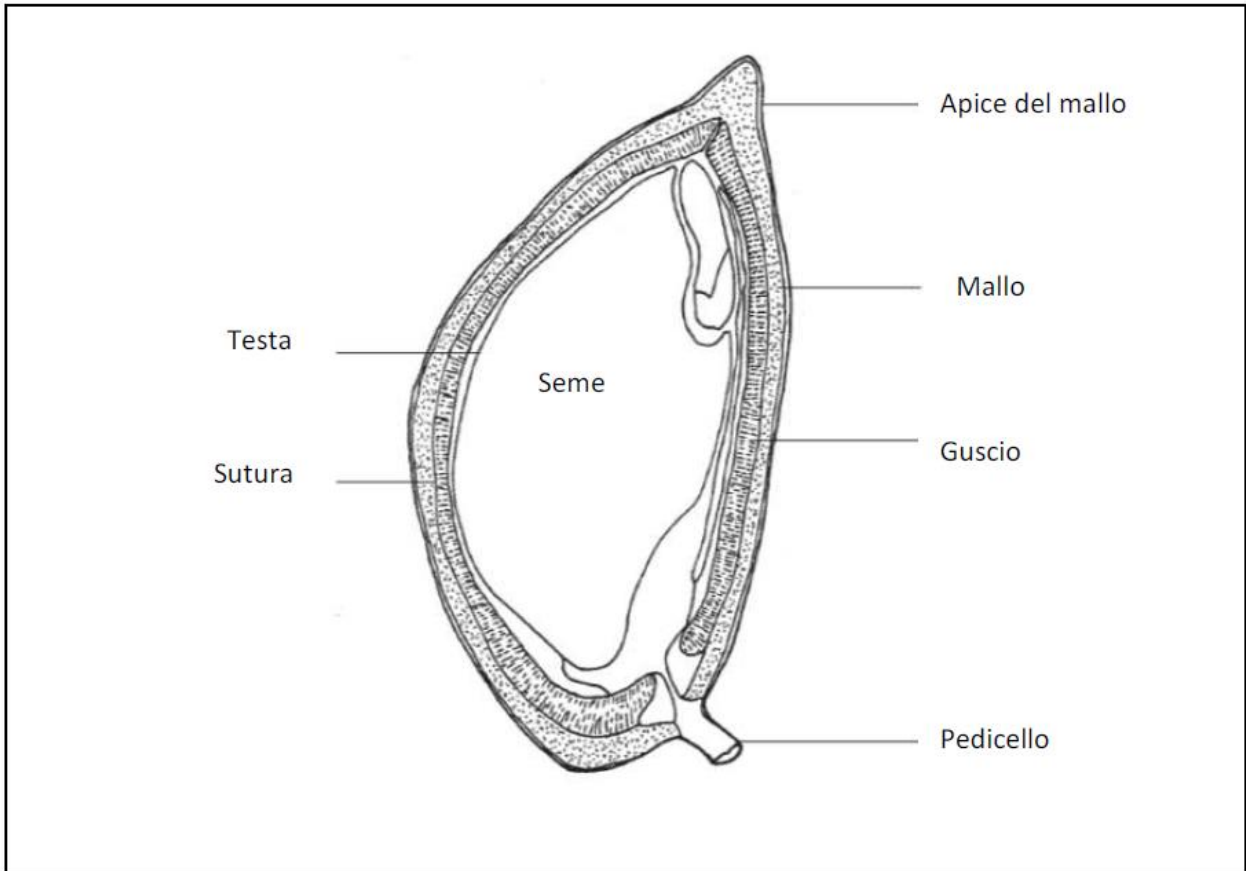


Figura 3. Sezione laterale di un frutto di pistacchio (modificato da IPGRI, 1997).

L'embrione è provvisto di due cotiledoni molto sviluppati, di colore giallastro nelle cultivar asiatiche o di colore verde in quelle mediterranee.

La pianta è molto rustica, xerofila, tollera lunghi periodi di siccità ed alte temperature, in corrispondenza della fioritura e fino alla maturazione dei frutti (aprile-settembre); allo stesso tempo, riesce a vivere in ambienti con una piovosità invernale compresa tra i 250 e i 400 mm (Whitehouse, 1957). Durante il riposo invernale riesce a sopravvivere a 20-30°C sottozero, mentre in estate tollera anche 50°C, purché accompagnati da scarsa umidità atmosferica (Khalife, 1959). Risulta, invece, estremamente vulnerabile alle gelate primaverili, soprattutto dalla fine di marzo, quando cominciano a divaricarsi le perule sia nelle gemme a legno che in quelle a fiore. Per quanto riguarda le esigenze podologiche, il pistacchio si adatta a terreni di diversa natura; ha una discreta tolleranza a pH moderatamente elevati, ma non tollera il ristagno idrico. Sia *Pistacia vera* L. che le altre specie utilizzate come portainnesti, infatti, risultano molto sensibili all'elevata umidità del suolo, anche per periodi brevi.

1.4 Il Ciclo biologico

La specie si caratterizza per un fabbisogno in freddo variabile tra 600 e 1000 CU, in funzione delle diverse varietà e del loro areale di origine. La ripresa dell'attività vegetativa della pianta coincide nei nostri ambienti con la fine di marzo, quando si schiudono sia le gemme a fiore laterali che quelle a legno inserite all'apice dei rami di un anno. L'antesi delle cultivar maschili generalmente precede quella delle cultivar femminili, che si verifica nella seconda metà del mese di aprile. Nei quindici giorni successivi la piena antesi, si assiste al rapido accrescimento del germoglio, che si arresta del tutto già 30-35 giorni dopo la piena fioritura (Barone *et al.*, 1994). Contemporaneamente all'accrescimento del germoglio, avviene la colatura di circa il 60% dei fiori e, dopo l'allegagione, si manifesta la cascola di circa il 55% dei frutticini allegati. Solitamente, quindi, soltanto il 15-20% dei frutti allegati giungono a maturazione (Caruso *et al.*, 1987). Epicarpo e mesocarpo (mallo), endocarpo (guscio), embrione e cotiledoni (seme) hanno ritmi di accrescimento diversi nel tempo e l'accumulo della sostanza secca nel frutto segue il tipico andamento a doppia sigmoide: subito dopo l'allegagione (tra il 15° e il 45° Giorno dopo la Piena Fioritura) si assiste all'allungamento e ingrossamento delle cellule del mallo e del guscio che insieme raggiungono l'80% delle dimensioni finali, segue la lignificazione dell'endocarpo; infine, dopo circa trenta giorni di stasi nell'accrescimento del frutto, si completa lo sviluppo della drupa con il progressivo accrescimento dell'embrione dal 60° al 135° G.d.P.F (Crane e Iwakiri, 1981; Caruso *et al.*, 1987). Sei settimane prima della raccolta si inizia ad intravedere la separazione della linea di sutura del guscio, processo che si accentua con il progredire della maturazione e che determina in taluni casi la deiscenza dei frutti. Due settimane prima della raccolta il mallo inizia ad invaiare ed assume il colore tipico della cultivar; infine, raggiunta la maturità fisiologica, si distacca facilmente dall'endocarpo. A maturazione completa (circa 135° G.d.P.F.) il frutto si distacca facilmente dall'infruttescenza (Figura 4).

Nel pistacchio, dunque, durante i cinque mesi della stagione primaverile-estiva, si verificano contemporaneamente intensi processi vegetativi e riproduttivi: l'accrescimento e l'ingrossamento dei frutti, e l'induzione e la differenziazione delle gemme a fiore, ovvero la potenziale produzione dell'anno successivo. Ciò implica fenomeni di competizione metabolica tra frutti, germogli in accrescimento e gemme a fiore in formazione.

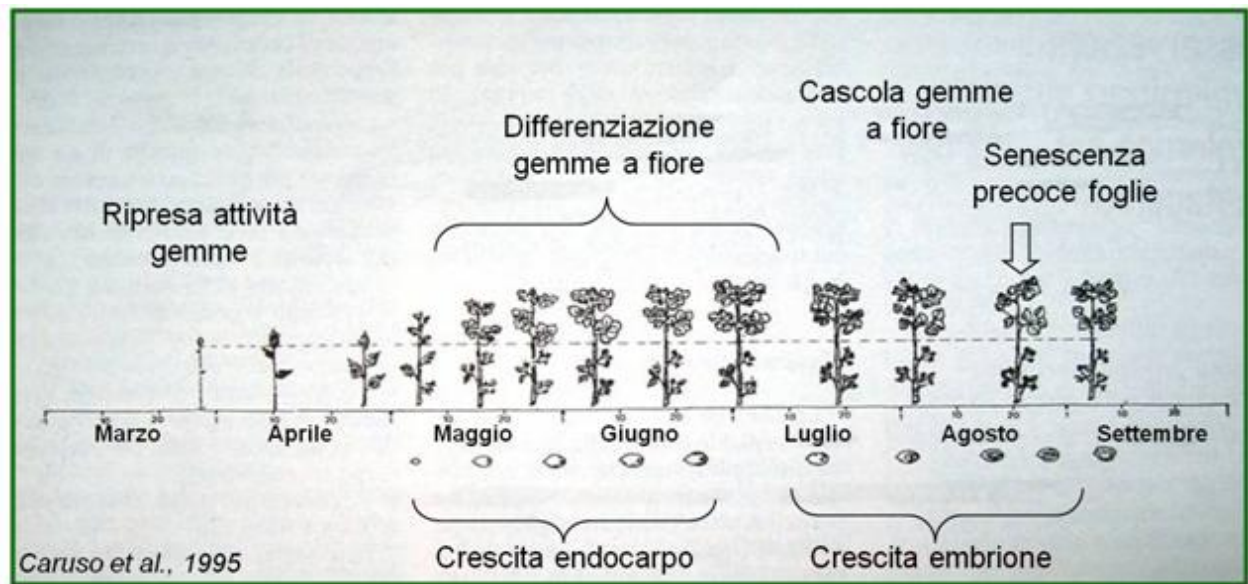


Figura 4. Schematizzazione del ciclo vegeto-produttivo del pistacchio. Modificato da Caruso *et al.* (1995).

1.5 L'alternanza di produzione

Il pistacchio (*Pistacia vera* L.) è caratterizzato da una variazione biennale della produttività, causata dalla cascola delle gemme a fiore che si formano in contemporanea all'accrescimento del frutto. Questa caratteristica peculiare differenzia la specie dalle altre specie alternanti in cui la variazione produttiva è causata dalla mancata differenziazione delle gemme a fiore durante l'anno di carica (Monselise e Goldschmidt, 1982).

Il processo di graduale perdita delle gemme a fiore inizia alla fine di giugno, contestualmente alle ultime fasi di accrescimento del pericarpo, si intensifica notevolmente in luglio e agosto con il rapido accrescimento dell'embrione e continua fino alla completa maturazione in settembre. Pertanto la perdita del potenziale produttivo futuro, durante l'annata caratterizzata da una buona produzione, determina la scarsa produttività dell'annata successiva e in conseguenza l'instaurarsi di un processo di alternanza di produzione. Le cause che regolano tale fenomeno, non sono ancora del tutto chiare; la comunità scientifica è ormai d'accordo nel sostenere che l'origine del problema ha ragioni nutrizionali e ormonali.

Molte evidenze sperimentali hanno rilevato che l'abscissione delle gemme a fiore è dovuta all'intenso richiamo di fotosintetati esercitato dal seme in accrescimento. In queste condizioni la

competizione nutrizionale tra frutti e gemme a fiore favorirebbe i frutti (sink più forti) e creerebbe condizioni nutrizionali insufficienti allo sviluppo e al mantenimento delle gemme a fiore, che per tale ragione abscindono. (Crane e Nelson, 1971, 1972; Crane *et al.*, 1973; Sparks e Davis, 1974; Crane, 1984; Garcia-Luis *et al.*, 1988; Caruso *et al.*, 1995; Marra e Motisi, 1996; Spann *et al.*, 2008). La competizione nutrizionale tra frutti e gemme a fiore è stata evidenziata attraverso l'uso del ^{14}C ; somministrando per via fogliare questo isotopo radioattivo del carbonio su rami carichi e scarichi di pistacchio è stato possibile osservare come sui rami carichi la maggior parte del ^{14}C veniva traslocato sotto forma di fotosintetati all'interno dei frutti, mentre in assenza di frutti nelle gemme a fiore è stata rilevata una quantità doppia di ^{14}C rispetto alle gemme a fiore dei rami carichi, testimoniando la scarsa capacità competitiva delle gemme a fiore rispetto ai frutti nell'attrarre a se i fotosintetati prodotti dalle foglie (Takeda *et al.*, 1980). Risultati simili sono emersi da uno studio sull'accumulo di azoto, fosforo e potassio sui diversi organi del ramo in piante cariche e scariche: le gemme a fiore di rami scarichi hanno accumulato quantitativi significativamente maggiori di macroelementi rispetto alle gemme a fiore dei rami carichi (Baninasab *et al.*, 2007). È stato, inoltre, rilevato che la cascola delle gemme si intensifica quando il seme raggiunge il massimo tasso di accrescimento. Al contrario, l'uso della decorticazione anulare effettuata tra il ramo di un anno, dove si trovano le infruttescenze, e il ramo dell'anno, dove sono inserite le gemme a fiore, favorisce il mantenimento di un numero maggiore di gemme a fiore a causa dell'interruzione del flusso della linfa elaborata verso i frutti (Crane e Nelson, 1972; Vemmos, 2005). Vari studi hanno inoltre evidenziato la correlazione diretta tra il carico di frutti e l'intensità della cascola delle gemme a fiore (Porlingis, 1974; Crane e Iwakiri, 1987; Crescimanno *et al.*, 1987; Wolpert e Ferguson, 1990; Caruso *et al.*, 1992). Inoltre è stato dimostrato che la presenza dell'infruttescenza sfavorisce l'accrescimento degli altri organi del germoglio (Barone *et al.*, 1994; Nzima *et al.*, 1997), e che piante private dei frutti per due anni successivi accumulano maggiori sostanze di riserva e pertanto esprimono un maggiore potenziale di crescita vegetativa rispetto a quelle lasciate nel normale ciclo biennale di produzione (Marra *et al.*, 1998). Questi risultati sottolineano l'importanza delle sostanze di riserva che, seppur immagazzinate negli organi permanenti della pianta durante l'anno di scarica, non sono sufficienti per la piena espressione del potenziale di crescita. Inoltre l'ultima fase di accrescimento dei frutti, coincidente con il rapido sviluppo del seme, causa un'intensa

mobilitazione di fotoassimilati verso i frutti; ciò sembra compromettere la funzionalità delle foglie provocandone l'anticipata senescenza e la caduta, prima che il frutto sia giunto a maturazione. La precoce filloptosi limita la formazione di riserve per l'anno successivo, poiché interrompe l'attività fotosintetica prima della raccolta dei frutti e impedisce la produzione di fotosintetati nella fase successiva alla raccolta per la ricostituzione delle riserve (Barone *et al.*, 1994; Marra *et al.*, 1998).

L'ipotesi secondo cui il fenomeno dipenda dalla sola competizione nutrizionale non spiega completamente alcune evidenze. Da alcuni studi è emerso che sono sufficienti 20 frutti per ramo, valore molto più basso del numero medio di frutti per ramo (circa 60), per provocare la totale abscissione delle gemme a fiore (Crane e Nelson, 1971; Porlingis, 1974), ed inoltre è emerso che la defogliazione dei rami non comporta un aumento della cascola delle gemme (Crane *et al.*, 1973; Porlingis, 1974); per altro verso, dall'analisi della concentrazione di carboidrati sul legno e sulla corteccia di piante cariche e scariche, non sono emerse differenze significative tra i due tipi di piante (Crane *et al.*, 1976). Pertanto alcuni studiosi hanno ipotizzato la presenza di un meccanismo di regolazione ormonale che agisce attraverso la produzione di un inibitore ed un promotore della cascola delle gemme a fiore, sintetizzati rispettivamente dalle foglie e dai frutti, i quali agiscono alternativamente a seconda della presenza o assenza dei frutti in accrescimento (Crane *et al.*, 1973; Porlingis, 1974). Successivi studi sui livelli di acido abscissico (ABA) nei frutti e nelle gemme a fiore, non hanno evidenziato relazioni tra i livelli di questo ormone e la cascola (Takeda e Crane, 1980). Prove effettuate applicando gibberelline (GAs) sulle gemme a fiore di rami carichi e scarichi hanno fatto registrare una uguale cascola in entrambe le condizioni produttive (Lin *et al.*, 1984a); ulteriori indagini hanno fatto registrare l'assenza di sostanze gibberellino-simili nelle gemme a fiore sia in annate cariche che scariche, escludendo di fatto l'ipotesi di possibili influenze di queste sostanze ormonali sul fenomeno (Lin *et al.*, 1984b). Vemmos e collaboratori (1994), studiando il ruolo dell'etilene sull'abscissione delle gemme a fiore, hanno misurato una simile produzione di questo ormone su rami carichi e scarichi. Interessanti risultati sembrano emergere dallo studio dell'influenza delle poliammine (PA) sul fenomeno, è stato infatti osservato che la graduale riduzione di questi composti nelle gemme a fiore ne favorisce la senescenza e la cascola (Roussos *et al.*, 2004). Molti sono ancora gli aspetti

da chiarire circa l'influenza dei processi ormonali interni alla pianta e dell'uso di sostanze ormono-simili per mitigare il fenomeno della cascola delle gemme a fiore (Vemmos, 2010).

In definitiva sembra chiaro che il fenomeno dell'alternanza di produzione del pistacchio non può essere spiegato seguendo una sola delle due ipotesi in campo; le diverse emergenze sperimentali suggeriscono una interazione tra i fenomeni di produzione e allocazione dei fotosintetati e gli equilibri ormonali della pianta, e suggeriscono comunque ulteriori indagini e valutazioni.

1.6 L'irrigazione del pistacchio

La moderna agricoltura industriale è nata grazie all'avvento della concimazione minerale, alla meccanizzazione delle operazioni colturali e alla disponibilità di risorse idriche suppletive. In particolare, l'introduzione della pratica dell'irrigazione nella coltivazione delle specie erbacee ed arboree ha dato nuovo impulso all'agricoltura. In alcuni contesti ambientali, caratterizzati da scarse precipitazioni durante la stagione primaverile estiva, l'uso dell'irrigazione trasforma radicalmente le condizioni ambientali, amplia il ventaglio delle scelte produttive dell'imprenditore agricolo e implica miglioramenti nelle rese quanti-qualitative.

Nell'ambito delle coltivazioni arboree da frutto la pratica irrigua permette un incremento della densità di impianto, una più rapida entrata in produzione dell'arboreto, un maggior assorbimento di elementi minerali dal suolo, un miglioramento dell'attività fotosintetica e in definitiva un incremento del budget di foto assimilati disponibili per l'accrescimento dei diversi organi della pianta e al tempo stesso un maggiore accumulo di sostanze di riserva. La maggiore disponibilità idrica ha ricadute positive sulla fertilità potenziale degli alberi, poiché stimola la differenziazione antogena delle gemme, diminuisce la cascola dei frutti e ne incrementa lo sviluppo volumetrico e ponderale.

Il pistacchio è considerato una specie marcatamente arido-resistente. Negli areali di differenziazione riesce a vivere sfruttando i limitati apporti idrici meteorici che variano dai 250 ai 400 mm annui (Whitehouse, 1957). L'area di Rafsanjan, nel nord dell'Iran, è una delle regioni pistacchicole più importanti del paese ed è caratterizzata da piovosità media annua inferiore a 100 mm e da una evapotraspirazione potenziale di 3000 mm (Dastorani *et al.*, 2010). Da prove effettuate nel deserto del Negev (Israele) è emerso che la pianta riesce comunque a differenziare gemme a fiore e portarle in produzione, nonostante le estreme condizioni di aridità (54-163 mm

di pioggia nei due anni della prova) e l'elevata richiesta evapotraspirativa (2600 mm ET) (Spiegelroy *et al.*, 1977). Studi condotti su piante della cv. Kerman innestate su *P. atlantica* Desf., hanno registrato la persistenza di attività fotosintetica in piante con un potenziale idrico della foglia compreso tra -5 e -6 MPa, evidenziando come la risposta allo stress idrico nel pistacchio può essere considerata tra le migliori delle specie arboree da frutto e di altre specie tipicamente xerofite (Behboudian *et al.*, 1986). L'elevata arido resistenza della specie è certamente connessa con il poderoso sviluppo dell'apparato radicale che, in condizioni ambientali estremamente siccitose, può raggiungere profondità di 2,5 metri alla ricerca di strati di suolo umidi (Kanber *et al.*, 1993).

Molti studi hanno, inoltre, evidenziato l'elevata adattabilità ai suoli salini, tipici dell'areale d'origine; nella provincia di Kerman, nota per la coltivazione del pistacchio iraniano, sono stati campionati suoli con conducibilità elettrica (EC) di 3,7-5,6 dS/m (Saadatmand *et al.*, 2008). Sepaskhah e Karimi-Goghari (2005) hanno evidenziato la capacità della specie di beneficiare della presenza di falde idriche poco profonde ad alte concentrazioni di sali, in condizioni climatiche avverse come quelle del deserto centrale dell'Iran. Sulla base di queste considerazioni diversi studiosi hanno indagato la possibilità di utilizzare acque ad elevata concentrazione salina per l'irrigazione della specie (Tavallali *et al.*, 2009; Karimi *et al.*, 2011; Mehdi *et al.*, 2011).

Nonostante la spiccata arido-resistenza e l'adattabilità ai suoli salini, il pistacchio migliora le sue performance produttive se posto in condizioni pedologiche e idriche ottimali. L'introduzione dell'irrigazione tra le pratiche colturali può essere di fondamentale importanza per migliorare le potenzialità vegeto-produttive della coltura. Prove condotte da Monastra e collaboratori (1995) su piante della cv. Larnaka innestate su *P. integerrima* hanno fatto rilevare che l'irrigazione accelera lo sviluppo diametrico del tronco, incrementa la superficie fogliare media e il numero di infruttescenze per ramo; inoltre le piante irrigate sono entrate in produzione prima rispetto a quelle in asciutto.

Analizzando i risultati di studi condotti in diverse aree di coltivazione del pistacchio del mondo è emerso che l'utilizzo dell'irrigazione influisce positivamente sulle rese sia in termini quantitativi che in termini qualitativi (Polito e Pinney, 1999; Goldhamer, 2005). In prove condotte in Turchia l'introduzione dell'irrigazione ha prodotto un aumento delle rese del 74%, un incremento del grado di deiscenza dei frutti (+56%) ed un aumento della percentuale dei frutti pieni (+18%) (Ak

e Agackesen, 2006). Risultati simili sono emersi da ricerche condotte in Spagna sulla cultivar Kerman innestata su terebinto (Gijon *et al.*, 2009).

Inoltre l'irrigazione mitiga il fenomeno dell'alternanza di produzione, favorendo l'istaurarsi di un migliore *status* nutrizionale all'interno della pianta (Kanber *et al.*, 1993). A conferma di ciò, ricerche condotte dal Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Bari sulla cultivar Larnaka, hanno evidenziato che l'irrigazione induce l'incremento del tasso di assimilazione fogliare di CO₂ (De Palma e Novello, 1998).

1.6.1 La stima del fabbisogno irriguo del pistacchio

L'individuazione degli adeguati volumi irrigui da impiegare, per l'ottenimento di elevate rese quanti – qualitative, scaturisce dall'interrelazione tra il ciclo vegeto-produttivo della specie in esame e l'ambiente di coltivazione. La tecnica più diffusa per il calcolo di queste quantità è incentrata sulla individuazione delle richieste evapo-traspirative della coltura nelle sue diverse fasi di sviluppo in uno specifico areale produttivo.

Per fare ciò Goldhamer (1995, 2005) in California e Kamber (1993) in Turchia hanno determinato il coefficiente colturale (Kc) idoneo nelle diverse fasi della stagione primaverile-estiva, per il calcolo dell'evapotraspirazione colturale (ETc) a partire dall'evapotraspirazione potenziale (EVp) dell'ambiente di coltivazione (Tabella 2). Nel confronto tra i valori di Kc individuati nei due diversi areali emerge che nelle fasi iniziali del ciclo Kamber consiglia dei valori di Kc più elevati di quelli suggeriti da Goldhamer, mentre durante tutto il periodo estivo e fino alla conclusione del ciclo produttivo i Kc consigliati da Goldhamer sono sempre più elevati. Queste differenze sono ovviamente da imputare alla diversità delle condizioni ambientali in cui sono stati elaborati. I valori riportati evidenziano come il pistacchio, pur essendo una specie spiccatamente arido-resistente, si avvantaggia molto dell'accresciuta disponibilità idrica, mantenendo un tasso di traspirazione elevato anche nei giorni più caldi dell'estate.

Occorre, inoltre, sottolineare che i valori di Kc individuati da Goldhamer vengono comunemente utilizzati per il calcolo dei volumi irrigui in California e sono stati utilizzati anche per lo studio degli effetti dell'irrigazione in Spagna (Guerrero *et al.*, 2006; Gijon *et al.*, 2009).

Tabella 2. Coefficienti culturali (Kc) suggeriti da Goldhamer (Kc₁) in California e da Kamber (Kc₂) in Turchia per le diverse epoche della stagione vegeto-produttiva

<i>Date</i>	<i>Kc₁</i>	<i>Kc₂</i>
1–15 Aprile	0,07	0,65
16–30 Aprile	0,19	0,65
1–15 Maggio	0,41	0,49
16–30 Maggio	0,64	0,49
31 M.–14 Giug.	0,86	0,6
15–29 Giugno	1,09	0,6
30 G.–14 Lug.	1,19	0,7
15–29 Luglio	1,19	0,7
30 L.–13 Agosto	1,19	0,8
14–28 Agosto	1,19	0,8
29 Ag.–12 Sett.	1,01	0,4
13–30 Sett.	0,66	0,4

1.6.2 L'uso dell'irrigazione nei diversi areali di coltivazione del pistacchio

L'uso della tecnica irrigua è molto differente nei diversi areali di produzione del pistacchio. In Iran, primo produttore mondiale, persistono aree in cui la coltura viene gestita con tecniche irrigue tradizionali come l'irrigazione superficiale per scorrimento. Tale tecnica presenta, come è noto, notevoli svantaggi connessi con la scarsa efficienza nell'uso dell'acqua e le elevate perdite per evaporazione e infiltrazione profonda. Negli ultimi anni, le crescenti esigenze idriche delle popolazioni locali e le sempre minori disponibilità di attingimento dalle falde sovra sfruttate, hanno costretto la pistacchicoltura iraniana ad utilizzare moderne tecniche di microirrigazione localizzata. Interessanti risultati sono emersi dal confronto tra l'irrigazione superficiale e la subirrigazione sperimentata nell'area di Rafsanjan. Utilizzando gli stessi volumi idrici nelle piante subirrigate sono stati rilevati una produttività e un accrescimento dei germogli doppio

rispetto a alle piante irrigate tradizionalmente (Dastorani *et al.*, 2010). È semplice ipotizzare che nei prossimi anni questa importante area produttiva adotterà pratiche irrigue più efficienti.

Gli Stati Uniti, secondo produttore mondiale, concentrano la massima parte della produzione in California. Qui la coltura è comunemente gestita in irriguo utilizzando anche volumi di 10.000 m³/Ha annui. Sono ampiamente diffuse la microirrigazione in superficie e la subirrigazione che permettono di massimizzare l'efficienza dell'uso dell'acqua. Nell'ultimo decennio, l'incremento del costo dell'acqua e le limitazioni alla distribuzione imposte dal governo durante le stagioni particolarmente siccitose, hanno spinto molto la ricerca sull'applicabilità della tecnica del **deficit idrico controllato** alla coltivazione del pistacchio. Per tale scopo Goldhamer e Beede (2004) hanno proposto una suddivisione del ciclo vegeto-produttivo della pianta in tre stadi:

1. (primo stadio) dall'emissione delle foglie al completo sviluppo dell'endocarpo;
2. (secondo stadio) dal completo sviluppo dell'endocarpo all'inizio del rapido accrescimento dell'embrione;
3. (terzo stadio) dall'inizio del rapido accrescimento dell'embrione fino alla raccolta.

Prove effettuate dagli stessi autori hanno dimostrato che riduzioni dell'irrigazione di percentuali variabili tra il 25 e il 50% rispetto all'ETc durante il secondo stadio e nel post raccolta, non influenzano negativamente le rese né in termini quantitativi, né in termini qualitativi (frutti abortiti e deiscenti). È emerso, inoltre, che la riduzione dell'irrigazione durante il primo stadio ha effetti negativi sul peso medio del frutto, ma al tempo stesso incrementa la deiscenza dei frutti. Mentre la riduzione della disponibilità idrica durante il terzo stadio compromette gravemente le rese, incrementando la percentuale di frutti vuoti e di embrioni abortiti, riducendo le dimensioni medie del frutto e la deiscenza. Pertanto la fase del rapido accrescimento dell'embrione è la più sensibile allo stress idrico.

In Spagna la coltivazione del pistacchio è stata tradizionalmente gestita in asciutto, ma negli ultimi anni la diffusione in nuovi areali produttivi, ha reso possibile l'introduzione dell'irrigazione tra le pratiche culturali. Anche qui ha suscitato interesse la tecnica del deficit idrico controllato. I risultati emersi da prove condotte nel centro della Spagna su piante della cv. Kerman innestata su terebinto, hanno confermato la suscettibilità della specie allo stress idrico durante l'ultima fase di accrescimento del frutto, evidenziando inoltre la necessità di volumi

irrigui superiori al 100% dell'ETc nelle prime fasi del processo di rapido accrescimento dell'embrione (Guerrero *et al.*, 2005; Gijon *et al.*, 2009).

2. Progetto di ricerca

Il progetto di ricerca, intrapreso nella primavera 2009, ha indagato il diverso comportamento produttivo di piante di pistacchio della cv Bianca sottoposte a diversi regimi idrici in un areale di coltivazione tipico dell'entroterra siciliano. L'obiettivo primario è stato quello di verificare le potenzialità e gli effetti dell'introduzione della pratica irrigua nella coltivazione del pistacchio, che tradizionalmente avviene in asciutto. In particolare sono stati confrontati i ritmi di accrescimento dei diversi organi del ramo carico (germoglio, foglie, infruttescenze, frutti) di piante irrigate e non; è stata indagata l'evoluzione del rapporto foglie/frutti. Sono stati analizzati gli effetti delle accresciute disponibilità idriche della pianta sulla superficie fogliare, al fine di mettere in luce le possibili connessioni tra un aumento delle disponibilità di fotosintetati per l'accrescimento dei frutti e il mantenimento dell'efficienza fotosintetica delle foglie per un periodo più lungo, migliorando anche i processi di accumulo delle riserve nutrizionali nel post raccolta. È stata studiata l'influenza dell'irrigazione sullo sviluppo e il mantenimento delle gemme a fiore dei rami carichi, preconditione fondamentale per la riduzione del fenomeno dell'alternanza di produzione. È stato rilevato il carico produttivo delle piante in tesi confrontando le rese produttive in termini di "efficienza produttiva" (peso dei frutti prodotti rapportato all'area della sezione del tronco) e "crop density" (numero dei frutti prodotti rapportato all'area della sezione del tronco).

Sul fronte della qualità delle produzioni sono state indagate le influenze dell'irrigazione sulla deiscenza dei frutti, sulla percentuale di frutti vuoti e sulla concentrazione di clorofille nel seme. Al tempo stesso è stato indagato l'andamento del potenziale idrico xilematico delle piante, al fine di evidenziare la presenza di stati di stress idrico durante le diverse fasi del ciclo vegeto-produttivo. Conseguentemente è stata indagata l'attività fotosintetica in termini di assimilazione netta nelle piante assoggettate ai due diversi regimi idrici ed è stata studiata inoltre la variazione dell'assimilazione fotosintetica al variare della luce nelle diverse fasi del ciclo produttivo. Sul

fronte dell'utilizzazione dell'acqua da parte della pianta è stato indagato l'andamento della conduttanza stomatica fogliare e l'efficienza dell'uso dell'acqua.

In definitiva questo studio ha voluto contribuire ad accrescere le conoscenze sulle influenze dell'irrigazione e dello stress idrico sia sugli aspetti strettamente connessi con le rese quantitative della coltura nel nostro areale di coltivazione, sia su aspetti del comportamento eco-fisiologico della specie posta nelle diverse condizioni idriche, così da concorrere alla comprensione di un fenomeno quale quello dell'alternanza di produzione che ancora presenta molti punti oscuri.

3. Materiali e metodi

3.1 L'area sperimentale

Sulla base di queste considerazioni è stata individuata un'azienda pistacchicola dell'interno siciliano dove impostare l'attività sperimentale. È stata scelta l'azienda "Morello" sita in agro di Caltanissetta, contrada Misteci (37°26'02" N, 360 m s.l.m.) poiché si tratta di una delle poche aziende pistacchicole siciliane gestite in irriguo, grazie alle disponibilità offerte dalla presenza di un bacino per l'accumulo delle acque meteoriche e di falda. Il pistacchieto sul quale sono state condotte le prove è costituito da piante della cultivar Bianca innestata su Terebinto (*Pistacia terebinthus* L.). L'impianto risale a circa venti anni fa ed è caratterizzato da sesto rettangolare (6,5 X 4,5 m).

3.1.1 Caratteristiche pedo-climatiche dell'area

L'impianto ricade su un'area caratterizzata dal prevalere dei suoli bruni vertici ricchi di scheletro, tipici della serie gessoso solfifera (Fierotti, 1988). Dall'analisi di un campione di suolo proveniente dall'area interessata dalle prove è emerso che ricade nella classe tessiturale dei suoli argillosi (Tabella 3).

Tabella 3. La tessitura del suolo

<i>Componenti granulometriche</i>	<i>(%)</i>
SABBIA	33,8
LIMO	15,1
ARGILLA	51,1

Dall'analisi dei principali parametri chimici (Tabella 4) si evince che il suolo in esame ha un pH marcatamente basico in conseguenza dell'elevata concentrazione di sodio e dell'elevata percentuale di calcare attivo. Il basso tenore di sostanza organica è tipico dei suoli agricoli frequentemente lavorati dell'area in esame. L'elevata capacità di scambio cationico è connessa con il predominare delle argille nella composizione granulometrica del suolo. L'elevata concentrazione di potassio è indice della elevata presenza di argille che liberano questo catione durante i naturali processi evolutivi pedogenetici (vermiculitizzazione). Le spiccate caratteristiche vertiche sono correlate con l'origine montmorillonitica delle argille presenti.

Tabella 4. Risultati dell'analisi dei principali parametri chimici del terreno.

<i>PARAMETRI</i>	<i>METODO UTILIZZATO</i>	<i>UNITA' DI MISURA</i>	<i>VALORE</i>	<i>GIUDIZIO</i>	<i>VALORI DI CONFRONTO</i>
Reazione	suolo acqua 1 : 2,5	p H	8,5	MOLTO ALCALINO	6,6 - 7,3
Indice di salinità del terreno	suolo acqua 1 : 2,5	condutt.	125	TRASCURABILE	
Sostanza organica	C.organico x 1,724	%	0,4	POVERO	1,6 - 2,5
Calcare totale	Dietrich-Fruehling	%	50,6		2,5 - 18,0
Calcare attivo	Druineau	%	16,2	ELEVATO	5,0 - 15,0
Azoto totale (N)	Kjeldahl	%	0,06	BASSO	0,1 - 0,2
Fosforo (P) ass.	Olsen	p.p.m.	18,2	NORMALE	15,0 - 60,0
Potassio (K) scamb.	spettrof. A.A.	p.p.m.	348,0	ELEVATO	150 - 300
Magnesio (Mg) scamb.	spettrof. A.A.	p.p.m.	215,0	NORMALE	100 - 500
Calcio (Ca) scamb.	spettrof. A.A.	p.p.m.	5526,0	ELEVATO	1000 - 2000
Sodio (Na) scamb.	spettrof. A.A.	p.p.m.	482,0	ELEVATO	<300
Ferro (Fe) ass.	spettrof. A.A.	p.p.m.	86,0	NORMALE	50,0 - 300,0
Zinco (Zn) ass.	spettrof. A.A.	p.p.m.	3,2	BASSO	3,5 - 15,0
Manganese (Mn) ass.	spettrof. A.A.	p.p.m.	154,0	NORMALE	50,0 - 300,0
Rame (Cu) ass.	spettrof. A.A.	p.p.m.	4,6	BASSO	5,0 - 10,0
CSC	calcolata	meq/100g	32,634	ELEVATA	10,0 - 20,0

Il clima della zona è termo-mediterraneo con 5 mesi secchi nel periodo primaverile estivo (Piogge ≤ 2 Temp.) e inverni miti con piovosità irregolare (Figura 5). Le precipitazioni medie annue sono di circa 510 mm (media trentennale) concentrate nel periodo autunno-vernino (Cartabellotta *et al.*, 1998).

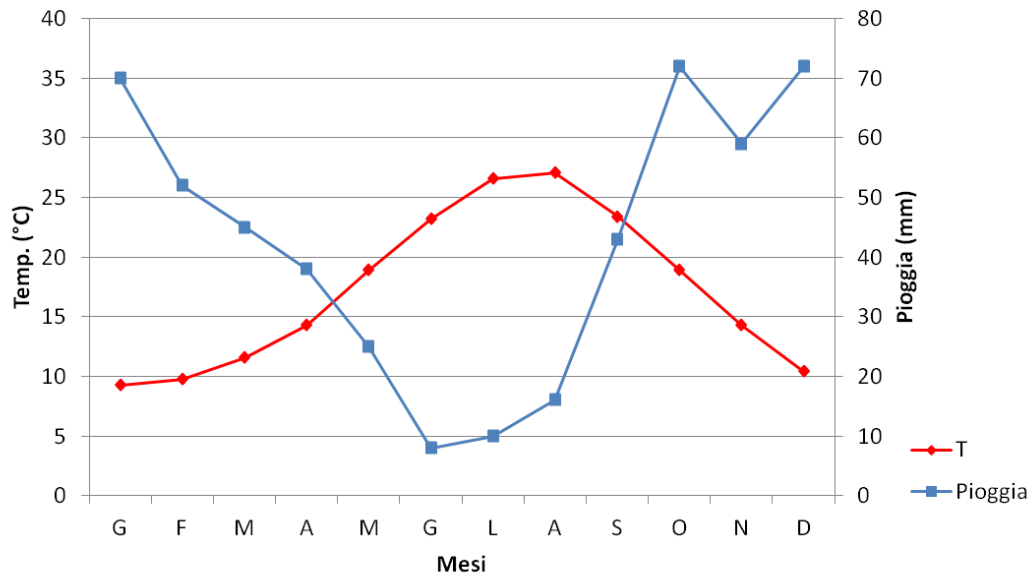


Figura 5. Diagramma termopluviometrico di Bagnouls & Gausson della stazione di Caltanissetta (da Cartabellotta *et al.*, 1998) .

3.2 I rilievi meteorologici

Al fine di ricavare le principali grandezze meteorologiche d'interesse per lo studio si è provveduto ad installare in azienda una capannina meteo per la raccolta dei dati meteorologici per l'intera durata della sperimentazione. La temperatura e l'umidità relativa dell'aria sono state misurate con un sensore MP100 (Rotronic Instruments (UK) Ltd), il PPFD (*photosynthetic photon flux density* – flusso fotonico fotosinteticamente attivo) è stato rilevato utilizzando un sensore Li-190 Quantum (Li-Cor Biosciences – Nebraska, USA) e con un fotodiodo al silicene (Micropto, silicon NPN phototransistor, model DFT02). I dati relativi alla piovosità sono stati rilevati installando un pluviometro. Gli strumenti sono stati connessi con un datalogger CR1000 (Campbell Scientific Inc. – Utah, USA) per la registrazione delle medie orarie dei dati rilevati (Figura 6). Inoltre sono stati utilizzati i dati di una capannina meteorologica installata dal SIAS

(Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano) in un'area limitrofa all'area in esame per ottenere i dati relativi all'insolazione e alla velocità del vento.

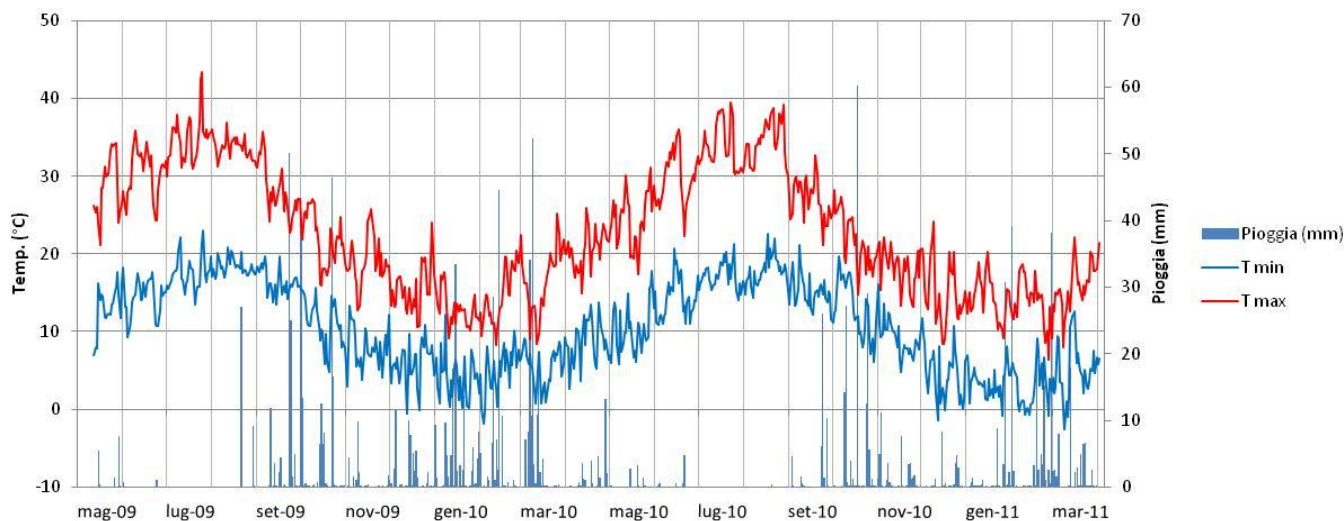


Figura 6. Andamento termopluviometrico della stazione da maggio 2009 a marzo 2011.

Nei due anni della prova è stato registrato un andamento termico abbastanza simile, la temperatura minima di $-1,9^{\circ}\text{C}$ è stata registrata nei mesi di febbraio e dicembre del 2009 e nel mese di febbraio del 2010, le massime di $43,4^{\circ}\text{C}$ e di $39,5^{\circ}\text{C}$ sono state registrate rispettivamente nel 2009 e nel 2010 in entrambe i casi durante il mese di luglio. L'entità delle piogge è stata di 800 mm e 720 mm rispettivamente per il 2009 e per il 2010, valori di gran lunga più elevati rispetto alla piovosità media annua di 510 mm calcolata sulla base dei valori di piovosità annua trentennali (Cartabellotta *et al.*, 1998).

3.3 Lo schema sperimentale e le pratiche colturali

L'azienda è dotata di un impianto di irrigazione localizzata a goccia costituito da due ali gocciolanti per fila con gocciolatori autocompensanti da 1,6 l/h posti a 80 cm. Volumi irrigui di circa $500 \text{ m}^3/\text{Ha}$, vengono somministrati, nell'ordinarietà colturale, durante la stagione primaverile – estiva.

Al fine di valutare gli effetti di due diverse condizioni idriche sono state impostate due tesi:

- irrigato con $500 \text{ m}^3/\text{Ha}$ anno (50 mm), utilizzando le ali gocciolanti presenti in azienda,
- controllo non irrigato.

Nella primavera del 2009 in una porzione pianeggiante del pistacchieto sono stati tracciati 6 blocchi di piante disposte su tre file, individuando, sulle file centrali dei blocchi, tre piante omogenee per dimensioni, realizzando un disegno sperimentale in tre blocchi per tesi (Figura 7). Sono state quindi prese in osservazione un totale di 18 piante. Per ragioni connesse alle intuibili difficoltà tecniche non è stato possibile randomizzare i blocchi delle diverse tesi.

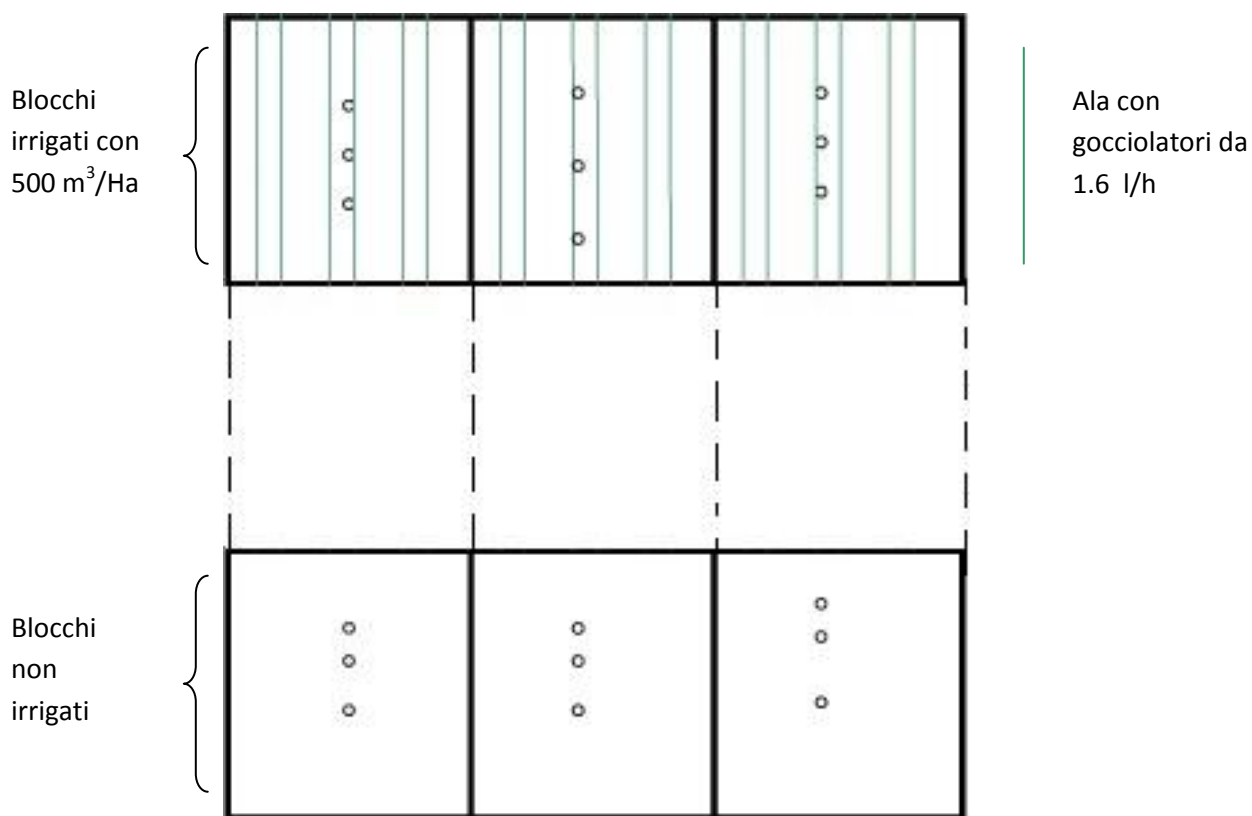


Figura 7. Schema sperimentale adottato

Di seguito si riporta il calendario irriguo delle due annate in esame (Figura 8). Durante l'anno 2009 sono stati effettuati 12 interventi irrigui dalla metà di maggio alla metà di settembre,

somministrando in totale 53,54 mm di acqua; nel secondo anno della prova sono stati effettuati 9 interventi irrigui dall'inizio di giugno alla metà di agosto, per un totale di 48 mm di acqua somministrata. In entrambe le annate la maggior parte degli interventi sono stati concentrati nei mesi di luglio e agosto, in coincidenza con la massima richiesta evapotraspirativa della specie nell'areale di riferimento. Durante il 2010 a causa di un problema tecnico all'impianto di pompaggio non è stato possibile continuare l'irrigazione dalla seconda metà del mese di agosto fino a fine ciclo.

2009	<i>Irrigazione (mm)</i>	2010	<i>Irrigazione (mm)</i>
18/05	0,62	08/06	4,92
20/05	0,62	18/06	4,92
25/06	5,54	25/06	4,92
17/07	5,54	30/06	4,92
22/07	5,54	06/07	4,92
27/07	5,54	12/07	4,92
01/08	5,54	27/07	6,15
07/08	5,54	03/08	6,15
12/08	5,54	16/08	6,15
17/08	5,54	Totale	48,00
21/08	5,54		
17/09	2,46		
Totale	53,54		

Figura 8. Calendari irrigui delle due stagioni in esame.

Nel Maggio del 2009 sono stati somministrati al suolo 14 kg/Ha di N, 10 Kg/Ha di P₂O₅ e 6 kg/Ha di K₂O sotto forma di urea e fosfato monopotassico (52 – 34). Mentre durante la primavera

del 2010 (Aprile) sono stati somministrati 36 kg/ha di N, 18 Kg/ha di P₂O₅ e 18 kg/ha di K₂O sotto forma di concime ternario (20 – 10 – 10).

Per quanto riguarda gli aspetti fitosanitari l'arboreto viene gestito limitando al minimo gli interventi di controllo chimico delle avversità biotiche. È stato effettuato un unico trattamento contro le cimici dal 12 al 15 giugno del 2010 usando due diversi prodotti commerciali a base di Spinosad.

La raccolta è stata effettuata il 4 e il 5 settembre 2009 e il 6 e il 7 settembre 2010 utilizzando uno scuotitore meccanico presente in azienda.

3.4 Stima del fabbisogno irriguo con il software CROPWAT 8.0

Al fine di confrontare l'entità dei volumi irrigui effettivamente utilizzati in azienda con le esigenze idriche teoriche della specie nell'areale di coltivazione, si è proceduto alla stima del fabbisogno irriguo teorico della coltura attraverso il software CROPWAT 8.0, messo appunto dalla FAO (Allen *et al.*, 1998). Utilizzando le medie mensili della temperatura massima e minima, dell'umidità relativa, della velocità del vento e della durata del giorno, il programma calcola la radiazione solare (MJ m⁻² giorno⁻¹) e l'evapotraspirazione di riferimento (ET₀) (mm/giorno). Il calcolo dell' ET₀ è effettuato utilizzando la seguente equazione di Penman-Monteith modificata dalla FAO:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

dove

ET₀ = evapotraspirazione di riferimento [mm giorno⁻¹],
R_n = radiazione netta sulla superficie della coltura [MJ m⁻² giorno⁻¹],
G = flusso di calore del suolo [MJ m⁻² giorno⁻¹],
T = temperature media giornaliera a 2 m dal suolo [°C],
u₂ = velocità del vento a 2 m dal suolo [m s⁻¹],
e_s = pressione di vapore saturo [kPa],
e_a = pressione di vapore attuale [kPa],

Δ = pendenza della curva di saturazione del vapore [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$],
 γ = costante psicrometrica [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$].

Di seguito si riportano le tabelle con i parametri climatici utilizzati per il calcolo della radiazione solare netta (Rad) e dell'evapotraspirazione di riferimento (ET_0) nei due anni dell'esperimento (Tabella 5 e Tabella 6).

Tabella 5. Medie mensili dei parametri climatici utilizzati per il calcolo della radiazione solare netta e dell'evapotraspirazione di riferimento con il software Cropwat 8.0 (Anno 2009).

MONTHLY ETO PENMAN-MONTEITH DATA							
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\CL2009.PEM)							
Country: Italy				Station: Caltanissetta			
Altitude: 370 m.				Latitude: 37.26 °N		Longitude: 14.04 °E	
Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	0.2	17.6	89	166	9.7	12.7	1.31
February	-1.9	20.4	85	166	10.6	16.4	2.10
March	0.7	25.2	84	185	11.7	21.4	3.40
April	2.7	25.9	78	167	12.9	26.4	4.32
May	6.9	34.3	61	110	13.9	29.7	5.96
June	9.3	35.9	57	130	14.5	31.2	6.71
July	13.4	43.4	47	120	14.3	30.5	7.59
August	16.8	36.9	59	115	13.4	27.7	6.26
September	13.4	35.7	77	114	12.2	23.1	5.01
October	4.8	27.1	87	110	11.0	17.8	2.86
November	2.9	25.8	89	96	9.9	13.4	1.80
December	-1.9	24.0	89	126	9.5	11.6	1.56
Average	5.6	29.4	75	134	12.0	21.8	4.07

Tabella 6 Medie mensili dei parametri climatici utilizzati per il calcolo della radiazione solare netta e dell'evapotraspirazione di riferimento con il software Cropwat 8.0 (Anno 2010).

MONTHLY ETO PENMAN-MONTEITH DATA							
(File: C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\CL2010.PEM)							
Country: Italy				Station: Caltanissetta			
Altitude: 370 m.				Latitude: 37.26 °N		Longitude: 14.04 °E	
Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	0.2	17.6	89	171	9.7	12.7	1.32
February	-1.9	20.4	85	185	10.6	16.4	2.15
March	0.7	25.2	84	138	11.7	21.4	3.25
April	2.7	25.9	78	114	12.9	26.4	4.19
May	5.8	31.2	67	150	13.9	29.7	5.75
June	10.8	36.0	59	139	14.5	31.2	6.79
July	14.0	39.5	56	126	14.3	30.5	7.14
August	14.4	39.2	50	122	13.4	27.7	6.64
September	11.5	32.7	77	128	12.2	23.1	4.69
October	6.1	28.1	90	119	11.0	17.8	2.91
November	4.8	22.2	92	123	9.9	13.4	1.59
December	-1.4	24.2	85	122	9.5	11.6	1.58
Average	5.6	28.5	76	136	12.0	21.8	4.00

Il software utilizza i dati di piovosità mensile per il calcolo della pioggia utile, secondo la formula proposta dall'*USDA Soil Conservation Service* (Tabella 7).

Tabella 7. Piovosità mensile e calcolo della pioggia utile nei due anni dell'esperimento con il software Cropwat 8.0.

Station: Caltanissetta					
Eff. rain method: USDA Soil Conservation Service formula:					
Peff = Pmon * (125 - 0.2 * Pmon) / 125			for Pmon <= 250 mm		
Peff = 125 + 0.1 * Pmon			for Pmon > 250 mm		
	Rain mm	Eff rain mm		Rain mm	Eff rain mm
January	216.8	141.6	January	128.2	101.9
February	64.8	58.1	February	111.6	91.7
March	53.2	48.7	March	154.4	116.3
April	58.8	53.3	April	33.2	31.4
May	31.0	29.5	May	8.2	8.1
June	1.8	1.8	June	6.8	6.7
July	0.0	0.0	July	0.0	0.0
August	36.4	34.3	August	0.4	0.4
September	105.4	87.6	September	51.4	47.2
October	155.4	116.8	October	158.4	118.3
November	22.8	22.0	November	44.0	40.9
December	53.2	48.7	December	23.8	22.9
Total	799.6	642.2	Total	720.4	585.7
	2009			2010	

Per descrivere le esigenze idriche della coltura occorrono:

- la data d'inizio del ciclo colturale annuale,
- i coefficienti colturali (Kc) nelle fasi iniziali, intermedie e finali del ciclo fenologico annuale,
- la durata delle diverse fasi fenologiche,
- la profondità massima delle radici,

- la massima riduzione del contenuto idrico nel suolo che può essere operata senza indurre stress idrico nella coltura nelle diverse fasi fenologiche (critical depletion) (espressa come frazione rispetto al contenuto idrico totale) (Allen *et al.*, 1998),
- lo “yield response factor”, ovvero la riduzione della resa in funzione della riduzione dell’evapotraspirazione nelle diverse fasi fenologiche,
- l’altezza della coltura.

I parametri colturali utilizzati per il pistacchio sono rappresentati in Figura 10. I valori di coefficiente colturale (K_c) proposti da Goldhamer per la California sono stati corretti secondo un indice di copertura del suolo (K_r) del 60%, ottenendo così un coefficiente colturale corretto (K_{c_r}) che rispecchia la reale condizione dell’arboreto ($K_{c_r} = K_c \cdot K_r$) (Tabella 8).

Tabella 8. Confronto tra i coefficienti colturali consigliati da Goldhamer (K_c) e i coefficienti colturali corretti per l’indice di copertura del suolo (K_{c_r}).

<i>Periodo di riferimento</i>	K_c	K_{c_r}
1–15 Aprile	0,07	0,04
16–30 Aprile	0,19	0,11
1–15 Maggio	0,41	0,25
16–30 Maggio	0,64	0,38
31 M.–14 Giug.	0,86	0,52
15–29 Giugno	1,09	0,65
30 G.–14 Lug.	1,19	0,71
15–29 Luglio	1,19	0,71
30 L.–13 Agosto	1,19	0,71
14–28 Agosto	1,19	0,71
29 Ag.–12 Sett.	1,01	0,61
13–30 Sett.	0,66	0,40

La durata delle diverse fasi del ciclo fenologico è quella tipica degli areali di coltivazione del pistacchio in Sicilia (Caruso *et al.*, 1987). Il risveglio vegetativo avviene all'incirca i primi di aprile e nei 26 giorni successivi si assiste all'inizio dell'accrescimento del germoglio apicale del ramo e alle prime fasi di sviluppo delle foglie, in contemporanea si sviluppano le infiorescenze che giungono alla piena fioritura intorno al 25 aprile. Durante questi primi giorni i valori di evapotraspirazione sono bassi a causa del limitato sviluppo vegetativo. Seguono sessanta giorni in cui si assiste ad un graduale incremento dell'evapotraspirazione connesso con i processi di accrescimento del germoglio, la distensione delle foglie, l'allegagione dei frutti e il conseguente accrescimento dell'endocarpo. Alla fine di giugno il valore di evapotraspirazione si stabilizza mantenendo la stessa entità fino alla fine di agosto (60 giorni circa). In questo periodo si verifica il processo di sclerificazione dell'endocarpo e il frutto completa il suo sviluppo con il rapido accrescimento dell'embrione. Nei successivi venti giorni si assiste ad una graduale diminuzione dell'evapotraspirazione a causa della conclusione dei processi di maturazione del frutto e della ridotta funzionalità delle foglie.

Per la riduzione massima del contenuto di acqua disponibile nel suolo (*critical depletion*) è stato impostato un valore di 0,60, più elevato rispetto allo 0,40 proposto per il pistacchio dalla FAO (Allen *et al.*, 1998) in ragione delle limitate disponibilità idriche e della nota arido-resistenza della specie (Whitehouse, 1957; Spiegelroy *et al.*, 1977; Behboudian *et al.*, 1986; Kanber *et al.*, 1993; Dastorani *et al.*, 2010). Il fattore di risposta della resa (*yield response factor*) è stato stimato sulla base della suscettibilità della coltura allo stress idrico nelle diverse fasi del suo ciclo fenologico (Goldhamer e Beede, 2004; Gijon *et al.*, 2009).

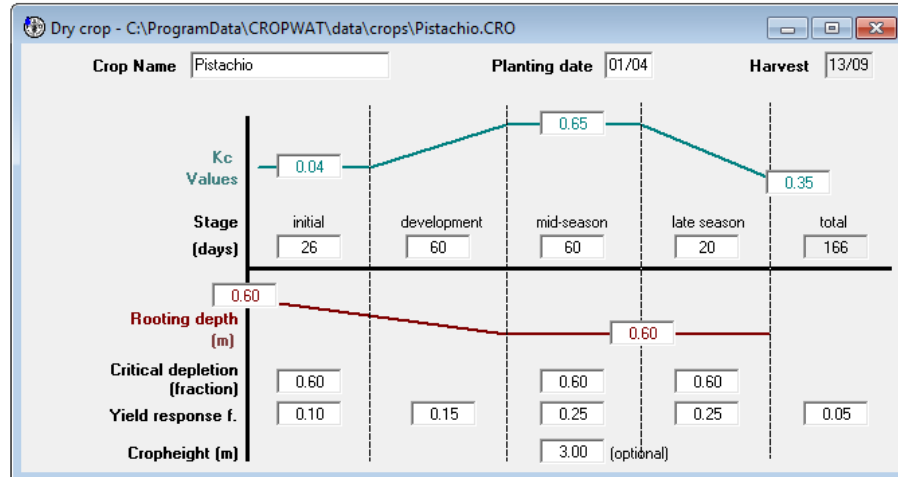


Figura 10. Schermata dei dati della coltura in Cropwat 8.0.

Il programma inoltre necessita dei seguenti dati sulle caratteristiche pedologiche dell'area in esame:

- il totale di acqua disponibile nel suolo (vol. idrico alla Capacità di campo – vol. idrico al punto di appassimento) (mm m^{-1}),
- la velocità massima di infiltrazione (mm giorno^{-1}),
- la profondità massima delle radici (cm),
- la riduzione iniziale del contenuto idrico del suolo rispetto al volume totale di acqua disponibile (%),
- il volume di acqua disponibile nel suolo all'inizio del ciclo vegeto produttivo (mm m^{-1}).

Le caratteristiche pedologiche necessarie per la stima del bilancio idrico della coltura sono schematicamente rappresentate in Figura 11. Non disponendo di analisi idrologiche su campioni di suolo provenienti dall'appezzamento su cui ricade la ricerca, i parametri necessari sono stati calcolati utilizzando il programma di "Calcolo dei parametri idrologici dei suoli" messo appunto dal Servizio Agrometeorologico per la Sardegna (S.A.R.) (disponibile sul sito <http://www.sar.sardegna.it/servizi/agro/idrosuoli.asp>) a partire dalle percentuali di sabbia e argilla presenti nel suolo.

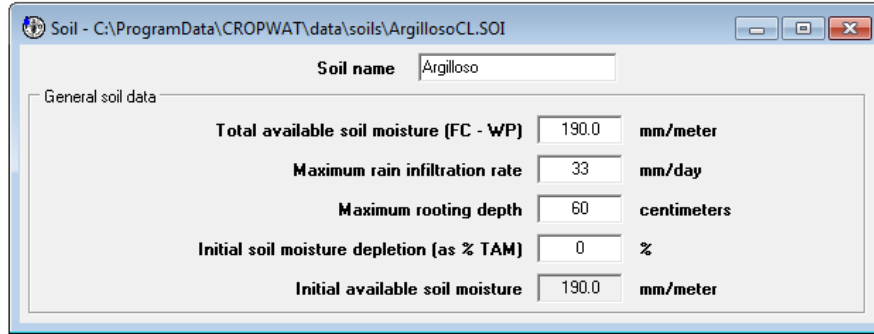


Figura 11. Schermata dei parametri idrologici per il terreno in Cropwat 8.0.

Dall'implementazione di tutti i dati sopracitati il software ha stimato la richiesta idrica della coltura nei due anni considerati (Tabella 9 e Tabella 10).

Tabella 9. Esigenze idriche della coltura calcolate per l'anno 2009 dal software Cropwat 8.0.

CROP WATER REQUIREMENTS							
ETo station: Caltanissetta				Crop: Pistachio			
Rain station: Caltanissetta				Planting date: 01/04			
Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Apr	1	Init	0.04	0.16	1.6	18.1	0.0
Apr	2	Init	0.04	0.17	1.7	19.1	0.0
Apr	3	Deve	0.05	0.25	2.5	16.0	0.0
May	1	Deve	0.15	0.79	7.9	12.6	0.0
May	2	Deve	0.26	1.54	15.4	10.0	5.5
May	3	Deve	0.38	2.34	25.7	6.8	18.9
Jun	1	Deve	0.49	3.20	32.0	1.9	30.0
Jun	2	Deve	0.61	4.07	40.7	0.0	40.7
Jun	3	Mid	0.70	4.92	49.2	0.0	49.2
Jul	1	Mid	0.71	5.30	53.0	0.0	53.0
Jul	2	Mid	0.71	5.56	55.6	0.0	55.6
Jul	3	Mid	0.71	5.19	57.1	0.1	57.0
Aug	1	Mid	0.71	4.78	47.8	7.1	40.8
Aug	2	Mid	0.71	4.47	44.7	10.6	34.1
Aug	3	Late	0.67	3.90	42.9	16.8	26.1
Sep	1	Late	0.49	2.64	26.4	24.0	2.4
Sep	2	Late	0.37	1.84	5.5	9.1	0.0
					509.8	152.1	413.2

Tabella 10. Esigenze idriche della coltura calcolate per l'anno 2010 dal software Cropwat 8.0.

CROP WATER REQUIREMENTS							
ETo station: Caltanissetta				Crop: Pistachio			
Rain station: Caltanissetta				Planting date: 01/04			
Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Apr	1	Init	0.04	0.15	1.5	18.0	0.0
Apr	2	Init	0.04	0.17	1.7	7.6	0.0
Apr	3	Deve	0.05	0.24	2.4	6.0	0.0
May	1	Deve	0.15	0.77	7.7	4.6	3.1
May	2	Deve	0.26	1.50	15.0	1.7	13.3
May	3	Deve	0.38	2.31	25.4	1.9	23.5
Jun	1	Deve	0.50	3.20	32.0	2.5	29.5
Jun	2	Deve	0.61	4.14	41.4	2.4	39.0
Jun	3	Mid	0.71	4.88	48.8	1.6	47.2
Jul	1	Mid	0.72	5.04	50.4	0.1	50.3
Jul	2	Mid	0.72	5.13	51.3	0.0	51.3
Jul	3	Mid	0.72	5.01	55.1	0.0	55.1
Aug	1	Mid	0.72	4.93	49.3	0.0	49.3
Aug	2	Mid	0.72	4.84	48.4	0.0	48.4
Aug	3	Late	0.67	4.06	44.7	0.5	44.2
Sep	1	Late	0.49	2.61	26.1	9.8	16.3
Sep	2	Late	0.37	1.73	5.2	4.4	0.0
					506.4	61.2	470.3

Dall'analisi di tali dati emerge che nel 2010 l'irrigazione richiesta è stata superiore rispetto all'anno precedente, questa differenza è imputabile alla minore piovosità del 2010 (720 mm) rispetto al 2009 (799 mm). L'evapotraspirazione colturale segue un andamento gaussiano e si mantiene costantemente sopra i 5 mm/giorno durante l'intero mese di luglio in entrambe le annate. L'evapotraspirazione colturale massima è stata stimata per la seconda decade di luglio in entrambe le annate (5,56 mm/giorno nel 2009; 5,13 mm/giorno nel 2010). Ne deriva che le richieste idriche crescono gradualmente dall'inizio di maggio e si mantengono elevate durante l'intero periodo estivo, raggiungendo il picco massimo durante la terza decade di luglio in concomitanza con la fase di rapido accrescimento dell'embrione per poi diminuire nei 20 giorni successivi.

Il software ha inoltre generato il piano irriguo della coltura nei due anni di riferimento, con un'efficienza dell'irrigazione del 90%, mantenendo il suolo al 70% della capacità di campo e senza indurre un abbassamento dell'evapotraspirazione colturale. Nella Tabella 11 e nella Tabella

12 sono riportati rispettivamente i piani irrigui per come calcolati dal software per il 2009 e per il 2010.

Tabella 11. Piano irriguo per l'anno 2009 generato dal software Cropwat 8.0.

CROP IRRIGATION SCHEDULE											
ETo station:		Caltanissetta	Crop:		Pistachio	Planting date:		01/04			
Rain station:		Caltanissetta	Soil:		Argilloso	Harvest date:		13/09			
Yield red.:		0.0 %									
Crop scheduling options											
Timing:		Irrigate at 100 % depletion									
Application:		Refill to 70 % of field capacity									
Field eff.:		90 %									
Table format: Irrigation schedule											
Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta %	Depl %	Net Irr mm	IrrDeficit mm	Loss mm	Gr. Irr mm	Flow l/s/ha
13 Jun	74	Dev	0.0	1.00	100	61	48.6	20.5	0.0	53.9	0.08
24 Jun	85	Dev	0.0	1.00	100	60	48.2	20.5	0.0	53.5	0.56
4 Jul	95	Mid	0.0	1.00	100	62	50.7	20.5	0.0	56.3	0.65
13 Jul	104	Mid	0.0	1.00	100	61	48.5	20.5	0.0	53.9	0.69
22 Jul	113	Mid	0.0	1.00	100	61	49.3	20.5	0.0	54.8	0.70
1 Aug	123	Mid	0.0	1.00	100	63	51.4	20.5	0.0	57.1	0.66
14 Aug	136	Mid	0.0	1.00	100	61	48.5	20.5	0.0	53.9	0.48
1 Sep	154	End	0.0	1.00	100	60	48.2	20.5	0.0	53.5	0.34
13 Sep	End	End	0.0	1.00	0	2					
Totals:											
Total gross irrigation				437.0	mm	Total rainfall				174.3	mm
Total net irrigation				393.3	mm	Effective rainfall				112.7	mm
Total irrigation losses				0.0	mm	Total rain loss				61.6	mm
Actual water use by crop				508.0	mm	Moist deficit at harvest				1.9	mm
Potential water use by crop				508.0	mm	Actual irrigation requirement				395.2	mm
Efficiency irrigation schedule				100.0	%	Efficiency rain				64.7	%
Deficiency irrigation schedule				0.0	%						
Yield reductions:											
Stagelabel		A	B	C	D	Season					
Reductions in ETC		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %					
Yield response factor		0.10	0.15	0.25	0.25	0.05					
Yield reduction		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %					
Cumulative yield reduction		0.0	0.0	0.0	0.0	%					

Tabella 12. Piano irriguo per l'anno 2010 generato dal software Cropwat 8.0

CROP IRRIGATION SCHEDULE												
ETo station:		Caltanissetta		Crop:		Pistachio		Planting date:				01/04
Rain station:		Caltanissetta		Soil:		Argilloso		Harvest date:				13/09
Yield red.:		0.0 %										
Crop scheduling options												
Timing:		Irrigate at 100 % depletion										
Application:		Refill to 70 % of field capacity										
Field eff.:		90 %										
Table format: Irrigation schedule												
Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta %	Depl %	Net Irr	IrrDeficit	Loss	Gr. Irr	Flow	
10 Jun	71	Dev	0.0	1.00	100	62	49.7	20.5	0.0	55.3	0.09	
22 Jun	83	Dev	0.0	1.00	100	61	48.7	20.5	0.0	54.1	0.52	
3 Jul	94	Mid	0.1	1.00	100	64	52.4	20.5	0.0	58.3	0.61	
13 Jul	104	Mid	0.0	1.00	100	62	50.6	20.5	0.0	56.2	0.65	
23 Jul	114	Mid	0.0	1.00	100	63	50.9	20.5	0.0	56.6	0.65	
2 Aug	124	Mid	0.0	1.00	100	62	49.9	20.5	0.0	55.5	0.64	
12 Aug	134	Mid	0.0	1.00	100	61	49.1	20.5	0.0	54.6	0.63	
23 Aug	145	Mid	0.2	1.00	100	62	50.6	20.5	0.0	56.3	0.59	
10 Sep	163	End	0.0	1.00	100	61	48.6	20.5	0.0	54.0	0.35	
13 Sep	End	End	0.0	1.00	0	15						
Totals:												
Total gross irrigation				500.8 mm		Total rainfall				65.8 mm		
Total net irrigation				450.7 mm		Effective rainfall				37.2 mm		
Total irrigation losses				0.0 mm		Total rain loss				28.6 mm		
Actual water use by crop				504.6 mm		Moist deficit at harvest				16.7 mm		
Potential water use by crop				504.6 mm		Actual irrigation requirement				467.4 mm		
Efficiency irrigation schedule				100.0 %		Efficiency rain				56.5 %		
Deficiency irrigation schedule				0.0 %								
Yield reductions:												
Stagelabel		A		B		C		D		Season		
Reductions in ETC		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0 %		
Yield response factor		0.10		0.15		0.25		0.25		0.05		
Yield reduction		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0 %		
Cumulative yield reduction		0.0		0.0		0.0		0.0		%		

I piani prevedono otto interventi irrigui nel 2009 e nove interventi irrigui nel 2010 a partire dall'inizio di giugno fino alla prima decade di settembre, cadenzando le irrigazioni ogni dieciquindici giorni e somministrando mediamente 55 mm di acqua per intervento. L'irrigazione totale lorda è risultata pari a 437 mm per l'anno 2009 e a 500 mm per il 2010.

Dal confronto tra l'irrigazione richiesta stimata con il software e i volumi irrigui utilizzati dall'azienda pistacchicola presso la quale sono state condotte le prove, emergono grosse differenze. Se infatti con CROPWAT si perviene a valori di 437 e 500 mm di acqua somministrata nel periodo primaverile-estivo rispettivamente per i due anni in esame, l'azienda ha somministrato volumi irrigui di circa 50 mm per anno durante le medesime fasi del ciclo vegeto produttivo.

In definitiva i volumi irrigui effettivamente impiegati in azienda, rappresentando soltanto l'11,4 % e il 10 % del totale delle potenziali richieste idriche della coltura rispettivamente nel 2009 e nel 2010, consentono di definire di *soccorso* l'irrigazione adottata. Ciononostante tali volumi idrici possono considerarsi rappresentativi dell'ordinarietà della pratica irrigua nell'areale siciliano e, pertanto, è sembrato opportuno effettuare l'esperimento mantenendo invariati i volumi idrici aziendali ritenendo, peraltro, difficilmente ipotizzabile, nelle attuali condizioni infrastrutturali, un possibile incremento degli stessi nel futuro prossimo.

3.5 Rilievi in campo

Le piante in tesi sono state raccolte separatamente rilevando la produzione di frutti per pianta dopo smallatura.

a. Biometrici

Sulle piante selezionate sono stati preliminarmente misurati i diametri del tronco a 10 cm dal punto di innesto per il calcolo dell'area della sezione del tronco. Sulle stesse piante sono stati

etichettati quattro rami carichi per ciascuno degli anni del rilievo, sui quali sono stati effettuati con cadenza quindicinale i seguenti rilievi biometrici:

- lunghezza del germoglio,
- n. di foglie composte,
- n. di foglioline/foglia composta,
- n. infruttescenze,
- n. frutti/infruttescenza,
- n. gemme a fiore.

I rilievi biometrici sono stati effettuati il 5 giugno, il 19 giugno, il 4 luglio e il 24 luglio 2009 e l'11 maggio, il 25 maggio, il primo giugno, il 10 giugno, il 17 giugno, il primo luglio, il 9 agosto 2010.

b. Eco-fisiologici

Al fine di evidenziare le possibili variazioni nel comportamento eco-fisiologico delle piante sottoposte a diversi regimi idrici, sono state effettuate contestualmente misurazioni del potenziale idrico fogliare e degli scambi gassosi delle foglie su rami carichi di tutte le piante in tesi.

Il **potenziale idrico fogliare** è stato rilevato su una foglia in ombra per pianta in tesi, coprendo l'intera foglia con pellicola trasparente e con carta alluminio un'ora prima della misurazione. La misurazione è stata eseguita utilizzando una camera a pressione (PMS Instrument Co., Corvallis – Oregon); le letture sono state effettuate sovrapponendo un quadratino di carta assorbente al picciolo così da permettere una più agevole identificazione del momento della fuoriuscita dell'acqua xilematica (*end point*) escludendo dalla lettura la fuoriuscita delle resine e del lattice tipiche della specie in esame (Ritchie e Hinckley, 1975; Pearcy, *et al.* 1994; Gijon *et al.*, 2009).

L'**attività fotosintetica**, in termini di assimilazione massima, e la **conduttanza stomatica** sono state indagate utilizzando il CIRAS-2 (PP Systems®), strumento della famiglia degli IRGA, che permette di misurare gli scambi gassosi della foglia (CO₂ e H₂O) collegato ad una camera di

assimilazione automatica (PLC6 (U) Automatic Universal Leaf Cuvette). Le misurazioni sono state effettuate su una foglia apicale del tratto mediano del ramo su tre piante per tesi, registrando cinque letture a distanza di circa cinque secondi l'una dall'altra.



Figura 12. Misurazione degli scambi gassosi della foglia con CIRAS 2

Per effettuare le misure, una porzione di ciascuna foglia, equivalente a $2,5 \text{ cm}^2$, è stata posta all'interno della camera di assimilazione e posizionata con la pagina superiore esposta alla luce (Figura 12); la temperatura, la concentrazione di CO_2 e l'umidità all'interno della cuvette sono state mantenute a livelli costanti.

Durante il secondo anno di rilievi sono state inoltre registrate delle **curve della fotosintesi alla variazione dell'intensità della luce** in diversi momenti del ciclo vegeto-produttivo. Per fare ciò la camera di assimilazione è stata provvista di un illuminatore (LED light units), in grado di generare luce a diverse intensità, e di sensori per la misura della radiazione incidente ($\text{PPFD} - \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e della temperatura ($^{\circ}\text{C}$). L'intensità del flusso fotonico fotosinteticamente attivo è stata diminuita progressivamente, da 1500 a $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, con intervalli di $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ al minuto.

Le impostazioni dello strumento hanno consentito di registrare i valori di PPFD solo alla stabilità. Sono stati memorizzati tre valori per ogni livello di PPFD .

Durante il primo anno i primi rilievi fotosintetici sono stati effettuati il 5 giugno; mentre a partire dal 12 giugno e per tutte le successive epoche dei rilievi (12 giugno, 26 giugno, 17 luglio, 29 luglio, 6 agosto, 3 settembre), sono stati misurati in contemporanea i dati relativi all'attività

fotosintetica delle foglie e i valori di potenziale idrico xilematico alla foglia durante le ore centrali del giorno (*midday*). In alcune epoche di rilievo sono state effettuate delle misurazioni dei due parametri in esame anche nelle fasce orarie precedenti e successive a mezzogiorno al fine di avere un quadro completo degli scambi gassosi delle foglie durante le diverse ore del giorno.

Durante il secondo anno sono stati rilevati in contemporanea i valori di assimilazione massima e i potenziali idrici fogliari durante le ore centrali del giorno (*midday*) su una pianta per blocco nei seguenti giorni: 25 maggio, 10 giugno, 1 luglio, 22 luglio 2010. Purtroppo a causa dell'accidentale distruzione degli strumenti e delle relative memorie sono andati perduti i dati relativi ai rilievi fotosintetici del mese di agosto.

3.6 Rilievi biometrici distruttivi

Durante le due stagioni vegeto produttive sono stati prelevati periodicamente tre rami carichi per tesi (un ramo da ognuna delle piante centrali del singolo blocco) sui quali sono stati effettuati i rilievi biometrici già citati sopra, e il peso fresco e secco (dopo essiccazione in stufa a 60°C) dei seguenti organi:

- germoglio
- ramo di un anno
- foglie
- infruttescenze
- frutti interi

Inoltre è stata rilevata la misura della superficie fogliare mediante Leaf Area Meter (WinFOLIA System – Regent Instrument Inc.), distinguendo negli ultimi due rilievi del secondo anno la superficie verde (fotosinteticamente attiva), da quella ingiallita.

I rami etichettati sono stati raccolti dalle piante in tesi il 3 settembre 2009 e il 3 settembre 2010. Su questi rami sono stati misurati i parametri biometrici già rilevati in campo, la lunghezza del

ramo di un anno e delle singole infruttescenze, la superficie delle singole foglie, il numero dei frutti deiscenti, il numero dei frutti vuoti e il peso fresco dei seguenti organi:

- germoglio
- ramo di un anno
- singole foglie
- rachidi
- frutti interi
- frutti smallati
- embrioni

Successivamente all'essiccazione in stufa a 60°C è stato misurato il peso secco degli stessi organi sopra citati.

3.7 Stima del peso secco del germoglio

Al fine di descrivere l'accrescimento del germoglio dei rami etichettati sulle piante in tesi, i dati di peso secco dei rami spia prelevati durante l'intero ciclo vegeto-produttivo del secondo anno dei rilievi sono stati utilizzati per stimare il peso secco dei germogli etichettati.

Il peso secco del germoglio spia è stato diviso per la sua lunghezza, ottenendo così il peso per unità di lunghezza; questo valore è stato moltiplicato per la lunghezza del germoglio del ramo etichettato.

3.8 Stima del peso secco e della superficie della foglia

Ad ogni epoca di rilievo, sui rami portati in laboratorio per le analisi distruttive sono stati determinati i valori medi del peso secco e della superficie di ogni singola foglia.

Per stimare il peso secco totale delle foglie composte inserite su ciascun ramo etichettato, il valore medio del peso di una foglia, ottenuto in laboratorio, è stato moltiplicato per il numero totale di foglie in campo.

La superficie fogliare dell'intero germoglio etichettato è stata ottenuta moltiplicando l'area media di una foglia, determinata in laboratorio, per il numero di foglie presenti sul ramo in campo.

3.9 Stima del peso secco del frutto e dell'infruttescenza

Dai rami portati in laboratorio è stato calcolato il peso medio di un frutto intero. Questo valore è stato moltiplicato per il numero di frutti presenti sulla singola infruttescenza portata dal ramo etichettato. Suddividendo il peso di tutte le infruttescenze stimate per il numero di infruttescenze presenti è stato calcolato il peso medio di un infruttescenza per ramo etichettato.

3.10 Analisi del contenuto di clorofilla nei frutti

Dai campioni di frutti prelevati alla fine delle due stagioni di rilievo sono state effettuate delle prove di estrazione della clorofilla al fine di evidenziare eventuali differenze tra i frutti provenienti dalle piante sottoposte a diverso regime idrico. L'estrazione è stata effettuata con N,N-Dimetilformamide (Moran, 1982; Porra *et al.*, 1989; Porra, 2002) su un campione di frutti essiccati in azienda al sole.

Per l'estrazione è stato prelevato un campione di dieci frutti per blocco. Dopo la sgusciatura i semi sono stati privati del tegumento violaceo che li ricopre e sono stati sfarinati utilizzando uno Sterilmixer della PbiBrand. Da ogni campione sono stati prelevati 0,25 g di sfarinato da sottoporre ad estrazione con 5 ml di N,N-dimetilformamide in matracci da 10 ml rivestiti di carta alluminio. Dopo aver mantenuto i campioni per 72 ore a 4°C, l'estratto è stato posto allo spettrofotometro per misurare l'assorbanza a 647 e 664 nm. Successivamente è stata ricavata la concentrazione di clorofilla a (Ca), b (Cb) e totale (Ct) utilizzando le seguenti formule:

$$Ca = 12,64 A_{664} - 2,99 A_{647}$$

$$Cb = -5,6 A_{664} + 23,26 A_{647}$$

$$Ct = 7,04 A_{664} + 20,27 A_{647}$$

Dove:

A_{664} : assorbanza a 664 nm;

A_{647} : assorbanza a 647 nm.

3.11 Calcolo dell'AGR e dell'RGR

L'*Absolute Growth Rate* (AGR – Tasso di accumulo assoluto) è un parametro utilizzato per descrivere la crescita di un organo nel tempo in funzione dell'aumento della sua sostanza secca.

I diversi organi della pianta si accrescono attraendo a se i fotosintetati con diversa forza. In questo processo gli organi in accrescimento, utilizzatori dei fotosintetati, vengono definiti “sink”, gli organi produttori di fotosintetati sono definiti “source” (Ho, 1988; Ho *et al.*, 1989). L'intensità con cui un organo richiama le risorse può essere valutata in funzione della velocità con cui questo riesce ad accumulare fotoassimilati nell'unità di tempo, ovvero dall'AGR.

In assenza di limitazioni alle disponibilità nutrizionali e minerali il l'AGR descrive la forza “potenziale” del sink; rappresenta pertanto l'intensità massima dell'accumulo di sostanza secca dell'organo in esame (DeJong e Goudrian, 1989; Grossman e DeJong, 1994).

Il calcolo dell'AGR è stato effettuato secondo la seguente formula:

$$AGR = \frac{(P_2 - P_1)}{(t_2 - t_1)}$$

in cui:

P_1 e P_2 = sostanza secca (grammi) in due epoche di campionamento successive;

t_1 e t_2 = tempo intercorso tra le due epoche di campionamento (giorni).

L'unità di misura è grammi giorno⁻¹.

Il *Relative Growth Rate* (RGR - Tasso di accumulo relativo) esprime invece l'incremento in peso secco per unità di peso nell'unità di tempo. Tale parametro indica l'attività del sink in quanto svincolato dalle sue dimensioni. Se infatti l'AGR può essere paragonato alla “velocità” con cui

l'organo si accresce accumulando sostanza secca, l'RGR rappresenta il contributo al processo di accrescimento del singolo grammo di sostanza secca dell'organo.

Per il calcolo del RGR è stata utilizzata la seguente formula:

$$RGR = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \times \frac{1}{P_2} = AGR \times \frac{1}{P_2}$$

in cui:

P_1 e P_2 = sostanza secca (grammi) in due epoche di campionamento successive;

t_1 e t_2 = tempo intercorso tra le due epoche (giorni).

L'unità di misura è grammi grammi⁻¹ giorno⁻¹.

La presenza di differenze significative nell'AGR e nel RGR tra due tesi a confronto, indica periodi di limitata disponibilità di risorse e competizione tra i diversi organi per l'utilizzo di queste risorse limitate.

3.12 Analisi statistica dei dati

Dai dati raccolti sono state calcolate le medie, le deviazioni standard e gli errori standard per tesi e per anno. Tutti i dati sono stati ulteriormente analizzati secondo il modello statistico di analisi della varianza (ANOVA) e le medie sono state confrontate utilizzando il test di Tukey con il software Systat 12.0 (Systat Software, Inc. 225 W Washington St., Suite 425 - Chicago, IL 60606).

4. Risultati e discussioni

4.1 Potenziale idrico xilematico

I valori medi del potenziale idrico xilematico nelle ore centrali del giorno (*midday*) durante le diverse fasi del ciclo vegeto produttivo e nei due anni del rilievo sono graficamente rappresentati nella Figura 13. Dall'analisi statistica dei dati non sono emerse differenze significative tra le tesi ($P \leq 0,05$) in entrambe le stagioni di rilievo. Occorre, comunque, evidenziare che durante l'ultima decade di agosto del primo anno (2009) si sono verificate delle piogge (36,4 mm) che hanno ridotto lo stress idrico indotto nella tesi in asciutto. I valori di Ψ_{swp} si sono ridotti progressivamente durante l'intero ciclo evidenziando come l'elevato richiamo evapo-traspirativo dell'ambiente in esame induce un incremento della forza esercitata dalla pianta per trattenere l'acqua all'interno dei suoi vasi. L'assenza di differenze tra le due tesi testimonia la limitata influenza dei bassi volumi irrigui somministrati sul potenziale idrico della piante irrigata. I valori presentati segnalano l'assenza di forti condizioni di stress idrico nelle piante per una parte del ciclo vegeto produttivo, poiché valori di potenziale idrico compresi tra -1 e -1,5 MPa non implicano effetti negativi sulla produttività della specie in esame (Shackel *et al.*, 1994). In prove condotte in Spagna, su piante di pistacchio in asciutto, sono stati rilevati potenziali idrici di circa -2,2 MPa durante la fase di rapido accrescimento dell'embrione, mentre nello stesso periodo su piante irrigate con il 100% dell'ETc sono stati misurati potenziali di -1,2 -1,4 MPa. (Guerrero *et al.*, 2006; Testi *et al.*, 2008; Gijon *et al.*, 2009). Prove effettuate in assenza di irrigazione al fine di studiare gli effetti dello stress idrico hanno fatto registrare valori di potenziale idrico di -3,8 MPa (Gijon *et al.*, 2010) e in estreme condizioni di siccità compresi tra -5 e -6 MPa (Behboudian *et al.*, 1986). Molto interessanti sono i risultati emersi in prove di irrigazione a diversi intervalli di tempo su piante di pistacchio in Iran (Pour *et al.*, 2005) in cui dal confronto del potenziale idrico fogliare su piante di pistacchio irrigate con intervalli di uno, tre e sette giorni non sono emerse differenze rilevanti tra i trattamenti, mentre sono state evidenziate delle differenze significative nel confronto del potenziale osmotico, risultato significativamente più negativo nelle piante irrigate ogni sette giorni, e nel potenziale di turgore, significativamente più elevato nella tesi irrigata ogni sette giorni. Ciò mette in luce come il pistacchio, pur non evidenziando una

condizione di stress idrico attraverso il potenziale idrico, pone in atto meccanismi di arido-resistenza, come l'incremento della concentrazione di soluti nei succhi cellulari, in modo da mantenere un elevato turgore cellulare (aggiustamento osmotico), preconditione fondamentale per il mantenimento della funzionalità dei processi metabolici per la produzione dei fotosintetati. Inoltre altre evidenze sperimentali hanno messo in luce una maggiore influenza dell'aggiustamento osmotico durante il secondo stadio e il terzo stadio del ciclo fenologico annuale della coltura (dal completo sviluppo dell'endocarpo fino alla raccolta), ovvero nelle fasi in cui si assiste all'incremento dei tassi di accumulo di fotosintetati nei frutti in accrescimento (Gijon *et al.*, 2011). L'influenza dell'aggiustamento osmotico sul turgore cellulare è stato evidenziato in vari studi (Hsiao, 1973; Hsiao *et al.*, 1976; Jones e Turner, 1980; Munns, 1988) e su diverse specie e/o cultivar con spiccata arido-resistenza. Johnson e coll. (1984) e Moustafa e coll. (1996) su cultivar di frumento hanno osservato come l'influenza dell'aggiustamento osmotico sia stata significativamente superiore nei genotipi più arido-resistenti rispetto a quelli più sensibili allo stress idrico. In condizioni di stress idrico sono stati registrati valori di potenziale osmotico significativamente più negativi su lupino (*Lupinus* spp.) (Turner *et al.*, 1987), su quattro diversi genotipi del genere *Vigna* spp. (Campos *et al.*, 1999) e su olivo (Dichio *et al.*, 1999). Studi effettuati sui meccanismi di arido-resistenza di due specie del genere *Pinus* (*P. pinaster* e *P. canariensis*) hanno evidenziato il ruolo chiave dell'aggiustamento osmotico nel mantenimento del turgore cellulare (Lopez *et al.*, 2009).

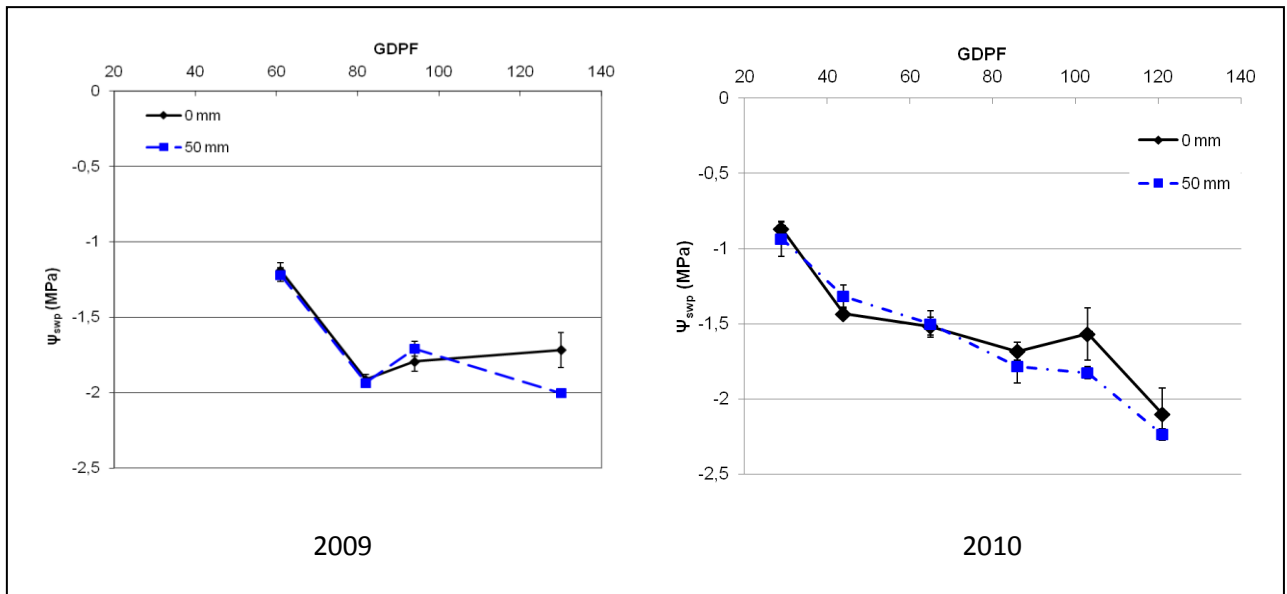


Figura 13. Andamento del potenziale idrico xilematico rilevato nelle ore centrali del giorno (midday) (media \pm E.S.).

4.2 Accrescimento del germoglio

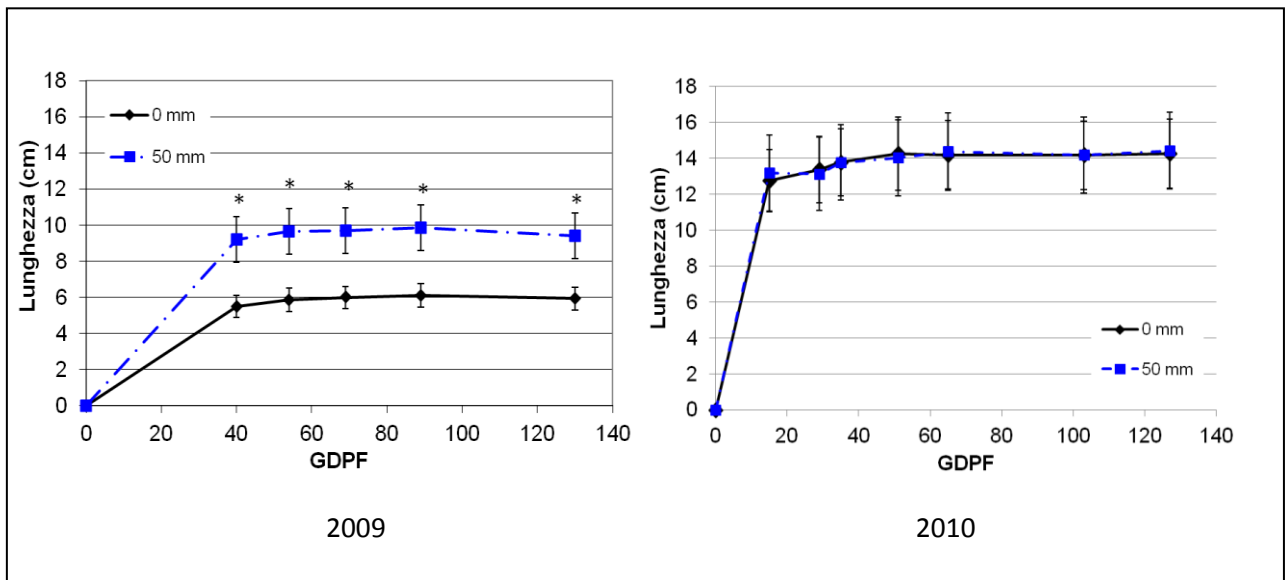


Figura 14. Evoluzione della lunghezza del germoglio apicale dei rami etichettati nei due anni di rilievi (media \pm E.S.) (* $P \leq 0,05$).

Nei grafici in Figura 14 si presenta l'evoluzione della lunghezza del germoglio apicale nelle due diverse tesi e nei due anni. Durante il primo anno si osserva un accrescimento del germoglio maggiore nella tesi irrigata, mentre nel secondo anno non si sono registrate differenze significative. I ritmi di accrescimento seguono lo stesso andamento. La maggiore disponibilità idrica della tesi irrigata non sembra aver influito sul modello di accrescimento del germoglio che in entrambe le prove blocca il suo sviluppo circa 60 giorni dopo la piena fioritura (GDPF). Al riguardo è possibile ipotizzare un differente effetto legato allo stato nutrizionale della pianta: durante il primo anno, in cui le piante si trovavano in carica produttiva, il germoglio della tesi irrigata si avvantaggia della maggiore disponibilità idrica per sfruttare al meglio le riserve di foto assimilati accantonate durante il precedente anno di scarica; nel 2010, invece, l'elevato stress metabolico, causato dalla carica produttiva dell'anno precedente, fa sì che non ci siano differenze nell'accrescimento lineare del germoglio tra le due tesi.

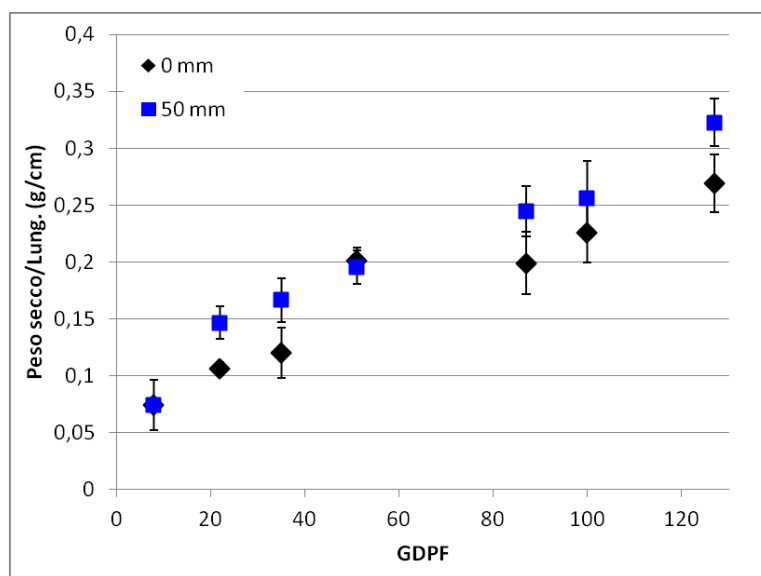


Figura 15. Evoluzione del rapporto tra peso secco e lunghezza del germoglio apicale (media \pm E.S.) (anno 2010).

Al fine di descrivere i ritmi di accumulo della sostanza secca nel germoglio è stato fatto il rapporto tra il peso secco e la lunghezza dei germogli spia prelevati dalle piante in tesi durante il secondo anno dei rilievi, così da ottenere il peso secco del germoglio per unità di lunghezza. Dal grafico (Figura 15) si evidenzia come i ritmi di accumulo siano simili nell'andamento, anche se

in quasi tutte le epoche la sostanza secca accumulata nei germogli delle tesi irrigate è leggermente superiore, pur non essendo significativamente diversa.

Utilizzando questi dati è stato calcolato il peso secco del germoglio etichettato in campo, così da poter ottenere un dato complessivo sull'accumulo di sostanza secca sull'intero germoglio. I dati ottenuti per singola data sono stati interpolati utilizzando le procedure di interpolazione non lineare del software Tablecurve 2D (Jandel Scientific, San Rafael (CA), USA) secondo la seguente funzione sigmoidea:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-[(x-b)/c]}}$$

per le piante non irrigate “0 mm”: a = 4,1444; b = 38,0879; c = 12,6083; $r^2 = 0,17$;

per le piante irrigate “50 mm”: a = 4,4738; b = 40,4224; c = 12,9863; $r^2 = 0,15$;

dove:

y = peso secco del germoglio (g),

x = giorni dopo la piena fioritura,

a = asintoto della curva,

b = valore (giorni) in cui il germoglio raggiunge il 50% dell'accrescimento complessivo,

c = parametro adimensionale che definisce la forma della curva.

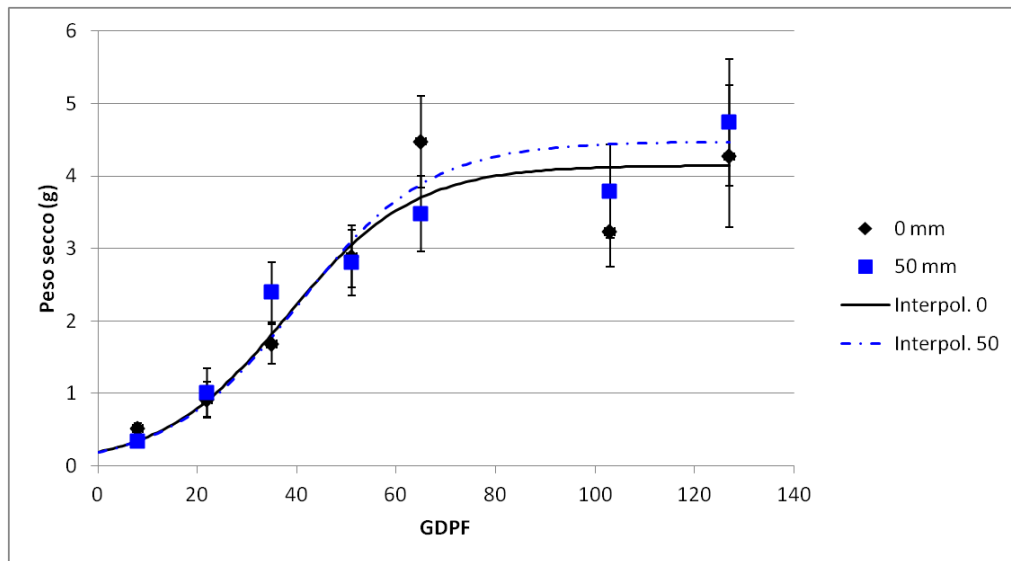


Figura 16. Evoluzione del peso secco del germoglio apicale del ramo nelle due tesi (2010). (media \pm E.S. e curve interpolanti).

Dal grafico (Figura 16) si nota che l'accrescimento del germoglio in termini di sostanza secca segue lo stesso andamento in entrambe le tesi e che non si registrano differenze significative in termini di accumulo di sostanza secca nei germogli della tesi irrigata. Comunque è possibile affermare che i germogli delle piante irrigate, pur avendo raggiunto un allungamento analogo a quello delle piante in asciutto, hanno accumulato un quantitativo di sostanza secca leggermente superiore; tale trend se confermato nei prossimi anni potrebbe dimostrare che l'incremento delle disponibilità idriche può aumentare la capacità di accumulo delle sostanze di riserva nel germoglio, con implicazioni positive sull'incremento del budget di carboidrati a disposizione della successiva stagione vegeto-produttiva, così come testimoniato da altre evidenze sperimentali (Monastra *et al.*, 1995; 1998).

4.3 Accrescimento delle foglie

Per quanto concerne lo sviluppo delle foglie è stato possibile osservare che il numero complessivo di foglie per ramo e il numero complessivo delle singole foglioline delle foglie composte per ramo si mantengono costanti dalla fase di completo sviluppo del germoglio (50° giorno dopo la piena fioritura - GDPF) fino all'inizio della fase di rapido accrescimento

dell'embrione (90 – 100 GDPF). Dopo questa fase di stabilità si assiste ad una graduale riduzione del numero sia delle foglioline che delle foglie intere. Tale fenomeno di progressiva precoce abscissione, dovuto presumibilmente alla forte competizione dei frutti in accrescimento è da legare al forte richiamo da parte dei frutti di macroelementi (N, P, K) che vengono in parte traslocati dalle foglie verso le infruttescenze (Picchioni *et al.*, 1997). Nel confronto tra le tesi è emersa una significativa minore abscissione delle foglie nelle tesi irrigate, evidenziando, quindi, l'esistenza di uno stretto legame tra la disponibilità idrica e la funzionalità delle foglie, soprattutto nella fase conclusiva dell'accrescimento e della maturazione dei frutti (90 -130 GDPF) (Figura 17 e Figura 18).

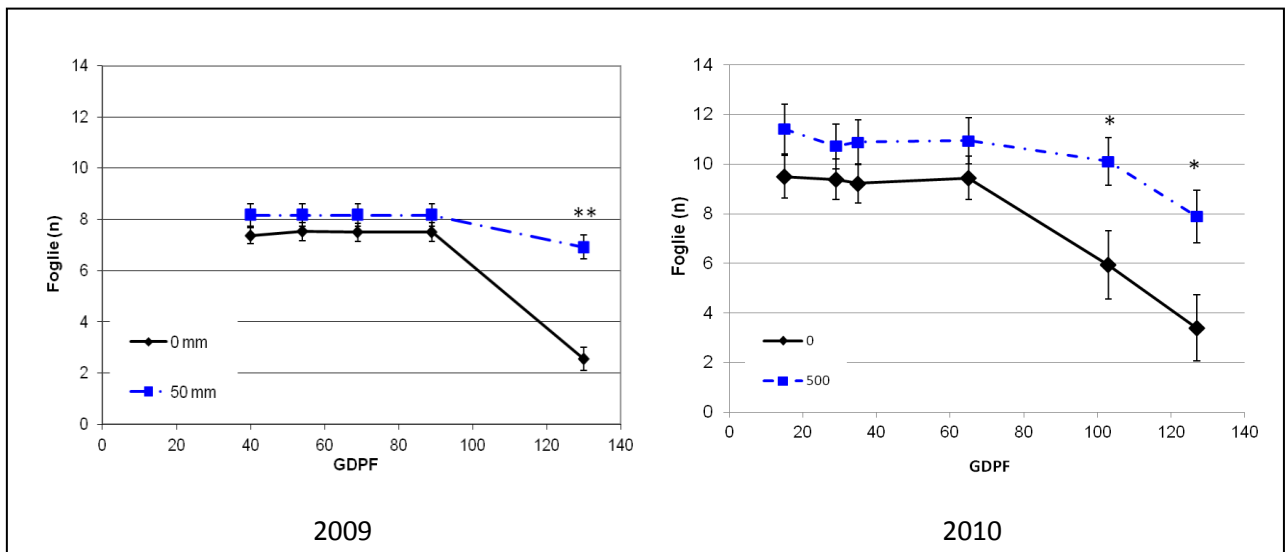


Figura 17. Evoluzione del numero di foglie composte del ramo (media ± E.S.)
 (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,001$)

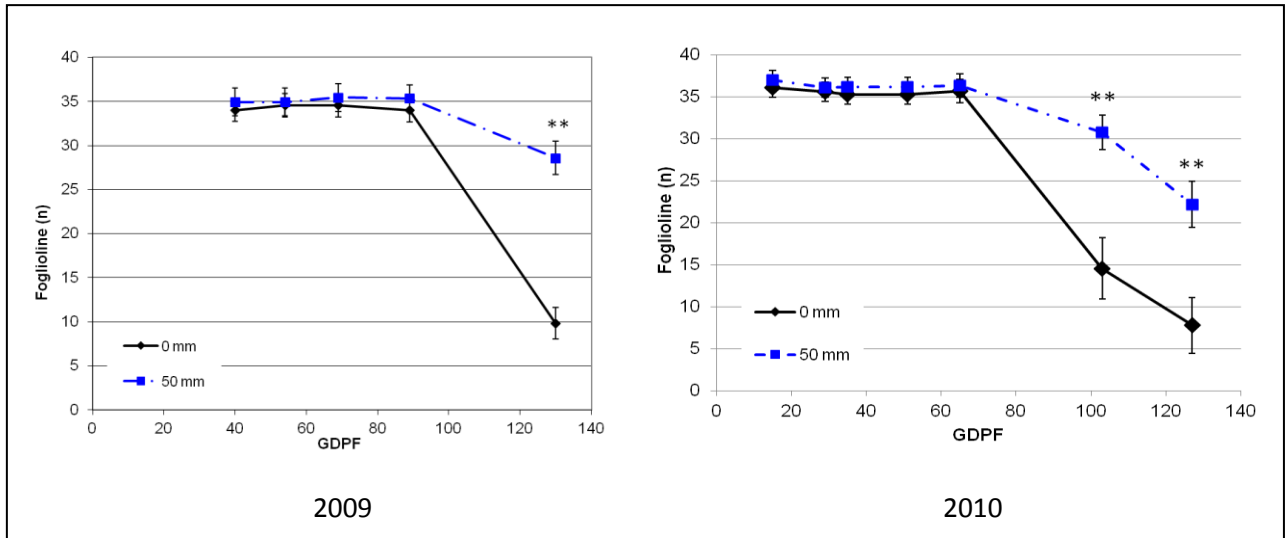


Figura 18. Evoluzione del numero di foglioline delle foglie composte del ramo (media \pm E.S.) ($P \leq 0,001$)**

Per descrivere i ritmi di accrescimento in termini di **sostanza secca della foglia** i dati di peso secco delle foglie, per l'anno 2010, sono stati mediati e interpolati (Figura 19), utilizzando le stesse procedure già descritte per il germoglio, con il software Tablecurve secondo la seguente funzione sigmoidea:

$$y = \frac{a}{1 + e^{-[(x-b)/c]}}$$

per le piante non irrigate "0 mm": $a = 2,007544475$; $b = 23,9381106$; $c = 14,19254709$; $r^2 = 0,53$;

per le piante irrigate "50 mm": $a = 2,030079646$; $b = 15,02782068$; $c = 8,331536447$; $r^2 = 0,34$;

dove:

y = peso secco della foglia (g),

x = giorni dopo la piena fioritura,

a = asintoto della curva,

b = valore (giorni) in cui la foglia raggiunge il 50% del suo accrescimento complessivo,

c = parametro adimensionale che definisce la forma della curva.

L'evoluzione del valore medio di peso secco della foglia composta per ramo evidenzia un più rapido sviluppo per le foglie delle piante irrigate e significative differenze di peso dal 35° al 50° GDPF. Probabilmente le migliori condizioni del bilancio nutrizionale delle piante irrigate hanno generato un maggiore accumulo di fotosintetati di riserva alla fine della precedente annata, ciò ha permesso alle foglie di queste piante di fruire di una maggiore disponibilità di nutrienti e incrementare così la velocità di accrescimento durante i primi 40 GDPF. Successivamente le differenze di peso si attutiscono e il peso finale della singola foglia si mantiene pressoché costante. Occorre, comunque, evidenziare che a fine ciclo si registra una elevata variabilità nel peso della foglia a causa degli anzidetti processi di senescenza, che hanno causato la completa defogliazione di 12 dei 18 rami etichettati sulle piante in asciutto, e di solo 2 dei 18 rami delle piante irrigate

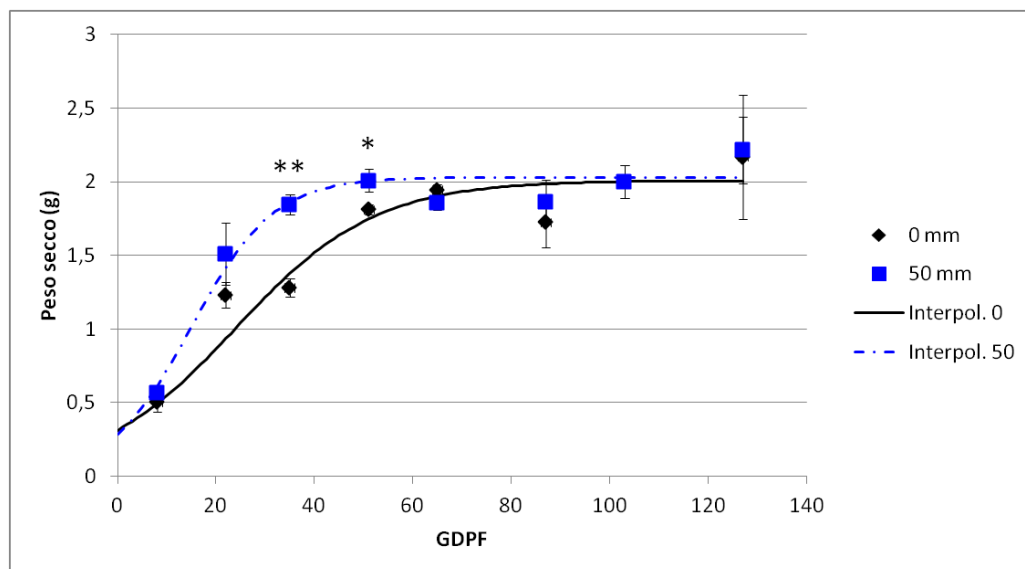


Figura 19. Evoluzione del peso secco della foglia composta nelle due tesi per l'anno 2010 (media \pm E.S. e curve interpolanti) (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,001$).

Per quanto concerne l'**evoluzione della superficie fogliare totale del ramo** (Figura 20) occorre evidenziare che durante il secondo anno dei rilievi si è assistito ad un ritardo nella completa distensione delle foglie per la tesi in asciutto. Si può infatti notare dal grafico che mentre le foglie delle piante irrigate raggiungono la completa distensione, quindi la massima superficie, 35

GDPF, quelle delle piante in asciutto fanno registrare la completa distensione ben 65 GDPF. Questo sfasamento nel processo di sviluppo delle foglie dei rami delle due tesi ha fatto emergere differenze significative nella superficie fogliare totale del ramo durante le prime epoche dei rilievi. Dopo il 65° GDPF la precoce senescenza delle foglioline e quindi delle foglie intere è stata la causa di una graduale riduzione della superficie fogliare in entrambe le tesi. È evidente, però, che l'irrigazione ha attutito il fenomeno e a fine ciclo, per entrambe le annate, emergono delle differenze significative tra la superficie fogliare totale del ramo delle due tesi che portano le piante in asciutto a presentare una superficie fogliare totale per ramo pari ad un terzo circa di quella posseduta dalle piante irrigate.

Inoltre alla fine della seconda stagione di rilievi è stata misurata la **superficie fogliare fotosinteticamente attiva**, ovvero la sola porzione di foglia che mantiene una colorazione verde (Tabella 13). I dati ottenuti, pur non evidenziando differenze significative tra le foglie rimaste sui rami produttivi delle due tesi a confronto, evidenziano un minor ingiallimento nelle piante irrigate rispetto a quelle in asciutto. A fine ciclo nelle piante irrigate le foglie rimaste sul ramo presentano mediamente l'86,67% di superficie fotosinteticamente attiva, di contro le poche foglie rimaste sui rami delle piante non irrigate mantengono il 73,53% di superficie fotosinteticamente attiva.

Tabella 13. Superficie fogliare verde espressa come percentuale della superficie fogliare totale del ramo (media ± E.S.) (Anno 2010).

	<i>0 mm</i>		<i>50 mm</i>	
GDPF	Sup. Verde (%)	E.S.	Sup. Verde (%)	E.S.
127	73,53	± 8,13	86,67	± 3,19

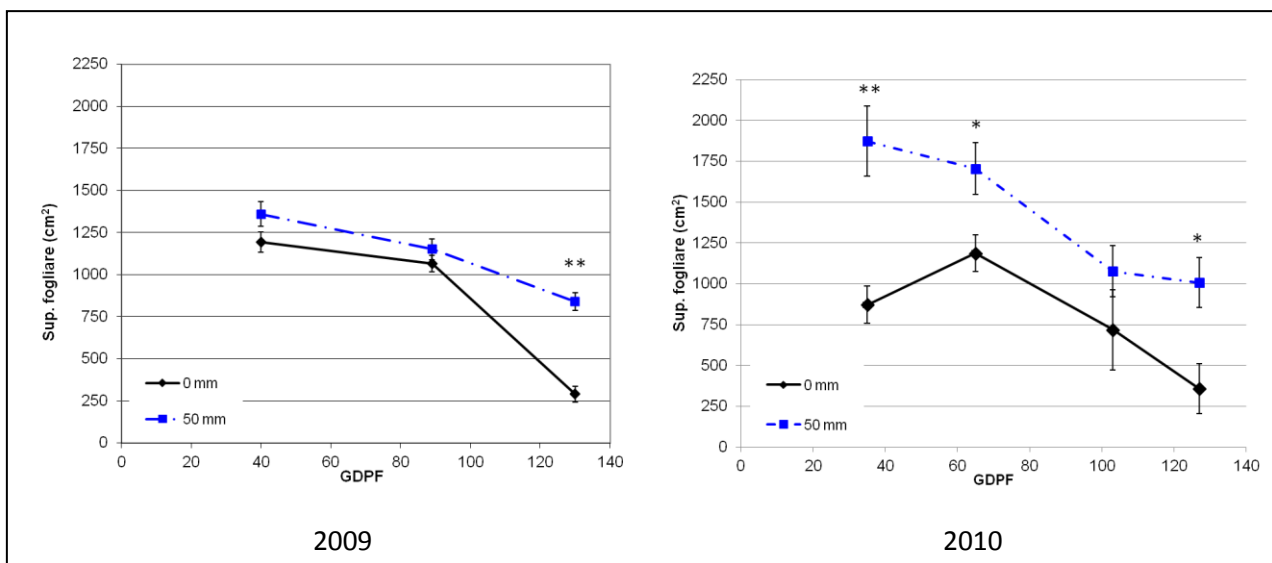


Figura 20. Evoluzione della superficie fogliare totale del ramo (media \pm E.S.)
 (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,001$)

4.4 Accrescimento del frutto e dell'infruttescenza

Dall'analisi statistica del peso medio del frutto per ogni epoca di rilievo non sono emerse differenze significative (Figura 21). L'accumulo di sostanza secca e i ritmi di accrescimento del frutto intero non hanno subito l'influenza della diversa disponibilità idrica denotando una identica **evoluzione del peso secco del frutto** nelle due tesi. Il maggior numero dei rilievi nel 2010 ha evidenziato che lo sviluppo del frutto segue il classico andamento a doppia sigmoide. Si possono distinguere tre fasi di accrescimento della drupa: la prima fase che va dall'allegagione fino al completo sviluppo dell'endocarpo (65 GDPF), segue la fase di lignificazione dell'endocarpo in cui si assiste ad una stasi nell'incremento di peso (da 65 a 90 GDPF), infine si assiste alla fase di rapido accrescimento dell'embrione che si estende da 90 a 130 GDPF.

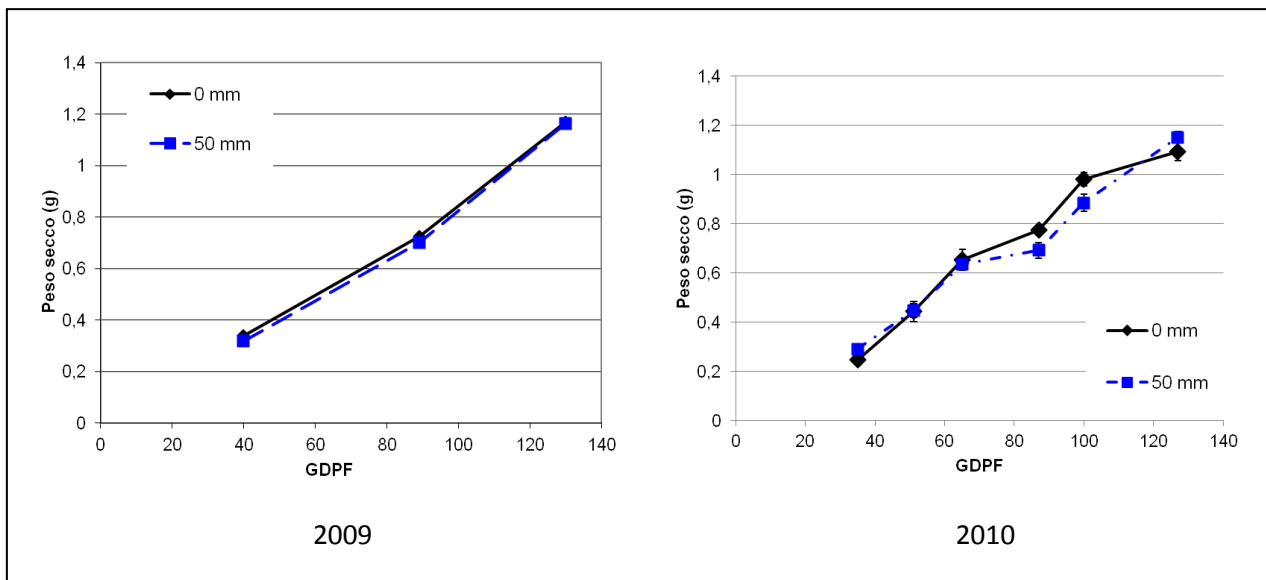


Figura 21. Evoluzione del peso secco di un frutto intero nei due anni di rilievi (media \pm E.S.)

Anche l'evoluzione del **numero di frutti per singola infruttescenza** non ha fatto registrare differenze significative nel comportamento delle due diverse tesi (Figura 22). I rilievi del 2010 hanno evidenziato una prima cascola di frutticini circa 30 GDPF (cascola di giugno) dovuta alla naturale competizione tra i frutti allegati sulla stessa infruttescenza; inoltre è emersa una ulteriore cascola di frutti a fine ciclo (cascola pre-raccolta) poiché a maturazione completa il frutto risente della diminuita forza di attacco peduncolare e più facilmente si stacca dall'infruttescenza. Durante il 2009 l'infruttescenza della tesi non irrigata ha perso un solo frutto, mentre quella della tesi irrigata non ha perso frutti; nel 2010 in entrambe le tesi ogni infruttescenza ha perso mediamente 3 frutti.

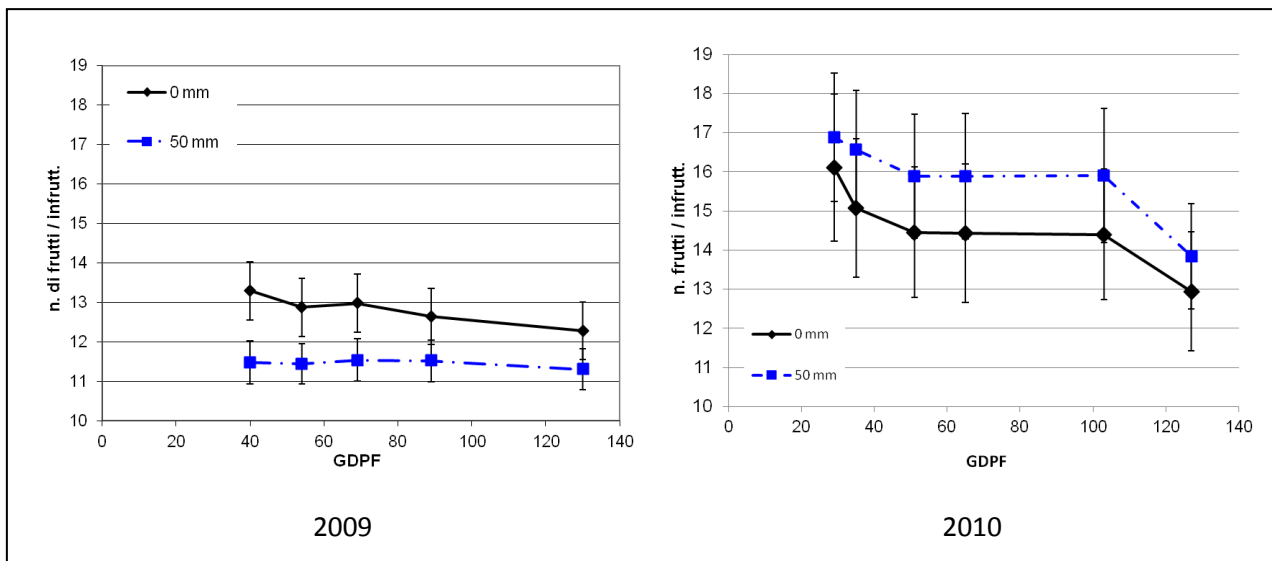


Figura 22. Evoluzione del numero di frutti per singola infruttescenza nelle due tesi per i due anni di rilievi (media \pm E.S.).

Nella Figura 23 viene riportato il dato relativo all'evoluzione del **numero medio dei frutti per ramo** nelle due tesi e nei due anni di rilievi. Nel 2009 sono emerse differenze significative tra le due tesi in tutte le date dei rilievi, con un numero medio di frutti alla data di raccolta pari a 60 e 47 circa, rispettivamente nelle piante irrigate e in quelle in asciutto. Durante il secondo anno non sono emerse differenze significative per questo parametro. L'andamento riscontrato nel tempo è del tutto simile a quello osservato a carico del numero di frutti per singola infruttescenza.

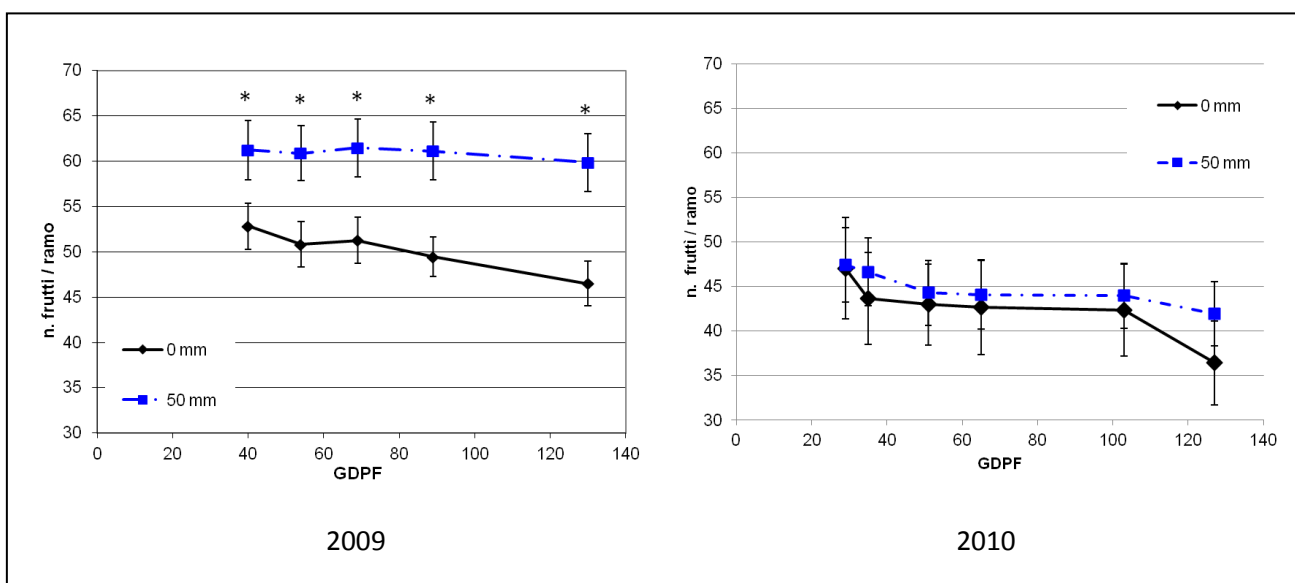


Figura 23. Evoluzione del numero medio dei frutti per ramo nelle due tesi e nei due anni di rilievi (media \pm E.S.) (* $P < 0,05$)

Il valore del **peso medio dell'embrione alla raccolta** è riportato in Figura 24. Dal confronto tra i dati non si evidenziano differenze significative nell'accumulo della sostanza secca tra le due tesi così come nel confronto tra le due annate produttive. Pertanto, la maggiore disponibilità idrica non ha influito né sul peso del frutto intero, né su quello dell'embrione. Ciò conferma quanto evidenziato in tal senso da altri autori (Kanber *et al.*, 1992; Monastra *et al.*, 1995; Monastra *et al.*, 1998; Gijon *et al.*, 2009). Inoltre questi dati confermano che l'irrigazione non incrementa le dimensioni del singolo frutto, ma può influire sulle rese produttive aumentando il numero dei frutti allegati (Monastra *et al.*, 1998). Infine appare utile osservare, nel confronto tra i dati dei due anni, che anche in questo caso non emergono differenze significative nonostante un carico di frutti per ramo significativamente più alto nel 2009 nelle piante irrigate (Figura 23).

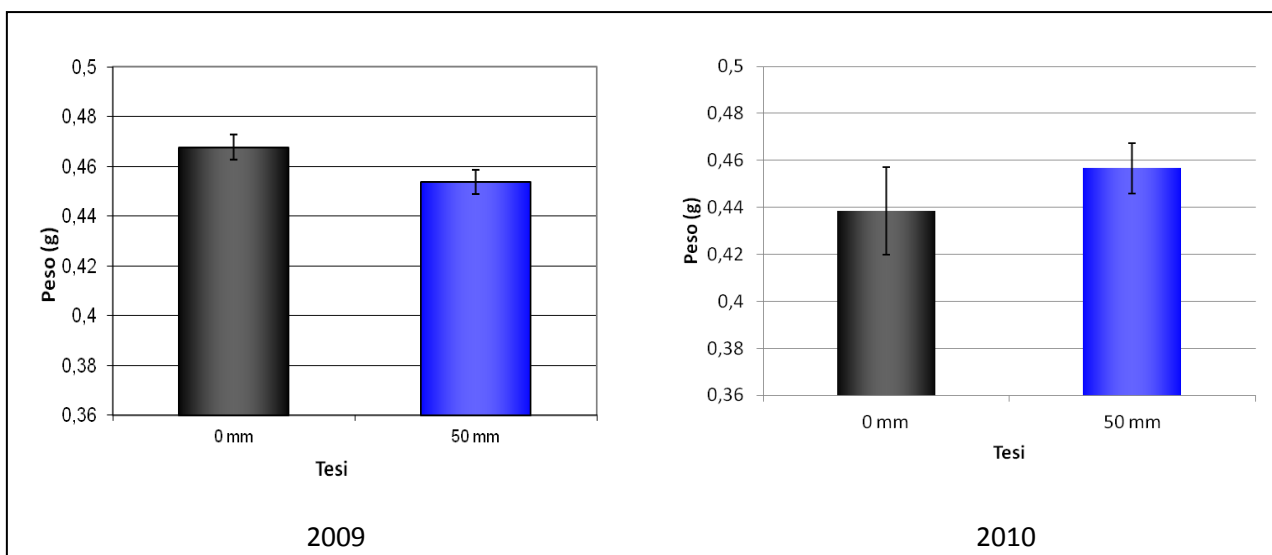


Figura 24. Peso secco dell'embrione alla raccolta nelle due annate dei rilievi (media \pm E.S.)

Il numero medio di infruttescenze per ramo, riportato in Figura 20, si è mantenuto costante durante l'intero ciclo vegeto-produttivo. Nel confronto tra le tesi sono emerse differenze altamente significative per questo parametro durante il primo anno dei rilievi, mentre non ci sono state differenze nel secondo anno. Probabilmente gli effetti dell'irrigazione sull'incremento del numero di infruttescenze per ramo saranno visibili dopo un periodo più lungo di esposizione a diverse condizioni idriche. Monastra e collaboratori (1995) hanno osservato delle differenze

significative nel numero di infruttescenze per ramo dopo sette anni dall'introduzione dell'irrigazione.

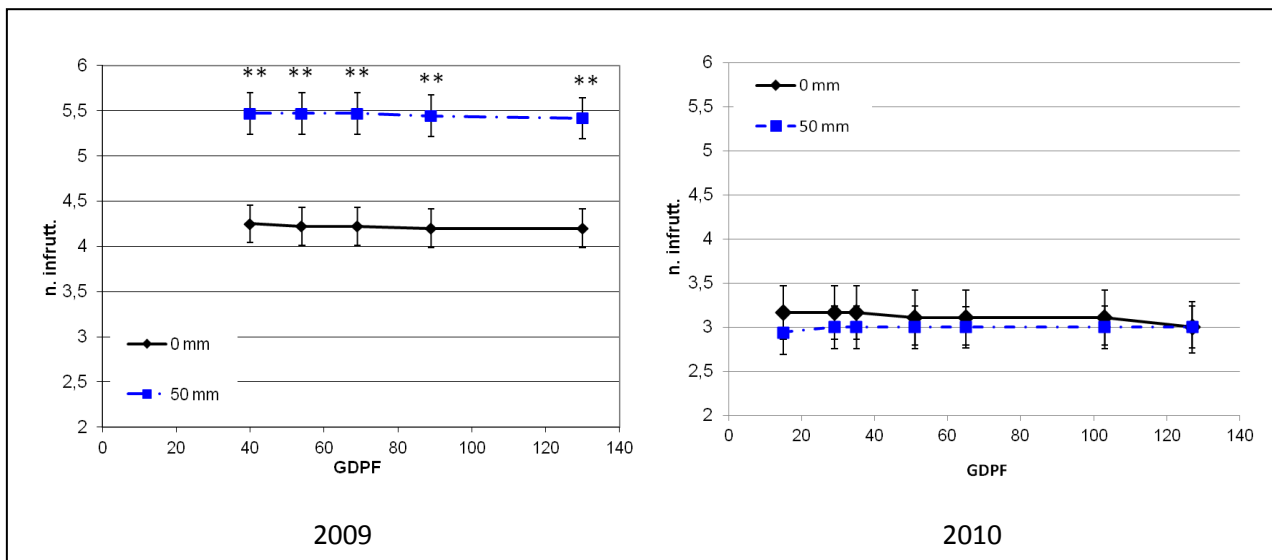


Figura 25. Evoluzione del numero medio di infruttescenze per ramo nelle due tesi e nei due anni dei rilievi (media ± E.S.) (** $P \leq 0,001$)

Lo sviluppo dell'intera infruttescenza è stato descritto utilizzando i dati dei rilievi distruttivi del secondo anno (Figura 26). Nel confronto tra le due tesi non sono emerse differenze significative di peso secco dell'infruttescenza. L'andamento dell'accrescimento ricalca quello già descritto per il singolo frutto.

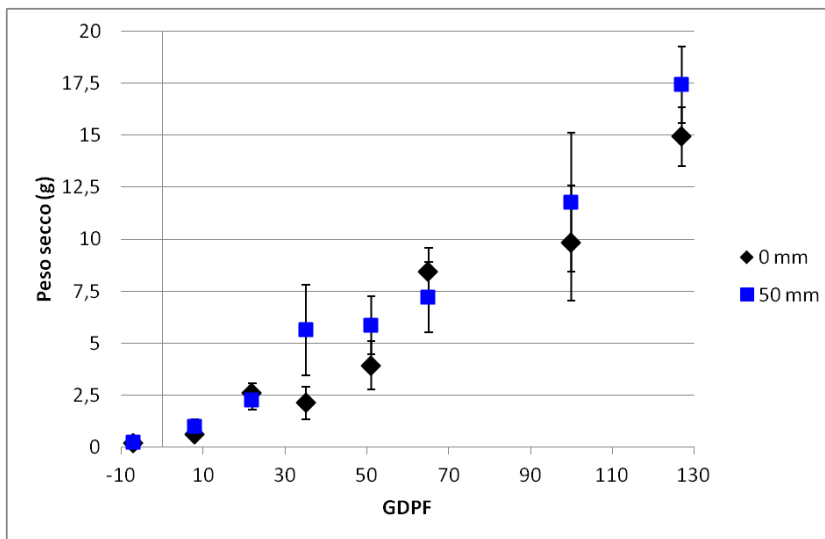


Figura 26. Evoluzione del peso secco dell'infruttescenza nelle due tesi (Anno 2010) (media ± E.S.).

Tabella 14. Evoluzione della superficie fogliare media per singolo frutto pieno nelle due tesi per l'anno 2010 (media \pm E.S.).

GDPF	0 mm		50 mm	
	Superficie fogliare media/ frutto pieno (cm ²)	E.S.	Superficie fogliare media/ frutto pieno (cm ²)	E.S.
35	44,42	\pm 12,87	60,86	\pm 11,18
65	59,65	\pm 15,95	56,21	\pm 9,36
103	28,23	\pm 15,04	24,00	\pm 7,26
127	30,36	\pm 16,13	35,71	\pm 8,63

Analizzando l'evoluzione della superficie fogliare per singolo frutto in accrescimento si evidenzia un andamento del tutto simile a quello della superficie fogliare totale del ramo (Tabella 14). Pur non essendoci differenze significative tra le tesi nelle diverse epoche del rilievo, si nota una maggiore superficie fogliare per singolo frutto nella tesi irrigata. Inoltre alla raccolta (127 GDPF) si evidenzia una maggiore riduzione della superficie fogliare per la tesi in asciutto (42%) rispetto alla tesi in irriguo (33,5%), confermando la già evidenziata influenza positiva dell'irrigazione sulla funzionalità delle foglie.

4.5 AGR e RGR

Il calcolo dell'AGR e dell'RGR è stato effettuato utilizzando i valori calcolati dalle equazioni delle curve di interpolazione del peso secco del germoglio e delle foglie, mentre per descrivere i tassi di accumulo di sostanza secca del frutto sono stati utilizzati i valori puntuali di peso secco delle diverse date dei rilievi distruttivi. L'**Absolute Growth Rate (AGR)** dei diversi organi in accrescimento è rappresentato nella Figura 27. L'analisi comparata dei suddetti valori ha rivelato i tassi di crescita dei vari organi presi in considerazione. In particolare, le foglie si accrescono molto velocemente nei primi 30 GDPF, il tasso di accumulo massimo è stato di 0,07 g giorno⁻¹

per le foglie delle piante irrigate e di $0,04 \text{ g giorno}^{-1}$ per quelle delle piante in asciutto; la superiorità del tasso di accumulo delle foglie della tesi irrigua conferma quanto già evidenziato nell'analisi del peso secco delle foglie. Il germoglio ha fatto registrare un incremento del tasso di accumulo fino al 40° GDPF quando raggiunge il valore massimo di $0,086 \text{ g giorno}^{-1}$ sulle piante irrigate e di $0,082 \text{ g giorno}^{-1}$ per quelle in asciutto. Il tasso di accumulo di sostanza secca nel frutto evidenzia chiaramente le tre fasi di sviluppo della drupa: lo sviluppo dell'endocarpo fa crescere l'AGR fino al 60° GDPF , quando si registra un picco; segue la fase dell'indurimento del guscio caratterizzata dalla riduzione del tasso di accumulo fino a circa 90 GDPF ; dopo questa data il tasso di crescita ricomincia ad aumentare grazie al rapido accrescimento dell'embrione. I valori di AGR del frutto sono in linea con quelli riportati in letteratura (Goldhamer e Beede, 2004; Spann *et al.*, 2008). Da un'analisi comparativa delle performance dello stesso organo nelle due tesi non si evidenziano differenze degne di nota tra i valori di AGR delle due tesi. In definitiva durante la prima parte del ciclo vegeto produttivo la foglia e il germoglio hanno evidenziato i tassi di accumulo assoluti più elevati, mentre nella parte conclusiva del ciclo (dopo il 90° GDPF) il frutto mantiene il tasso di accumulo più alto rispetto agli altri organi.

Il **Relative Growth Rate (RGR)** evidenzia la forza con cui un organo attrae a se fotoassimilati indipendentemente dal suo peso. Utilizzando questo parametro è quindi possibile individuare la gerarchia tra i sink nelle diverse fasi del ciclo e mettere in luce eventuali fenomeni di competizione nutrizionale tra i diversi organi in accrescimento. Dai dati riportati in Figura 28 emerge la maggiore forza delle foglie e dei germogli durante le prime fasi del ciclo vegeto-produttivo. Circa 40 GDPF si assiste ad un'inversione di tendenza: i frutti divengono i sink più forti esercitando la maggiore capacità attrattiva nei confronti dei fotosintetati ed emerge con tutta evidenza la competizione di questi nei confronti dello sviluppo vegetativo. I dati rilevati sono in linea con quelli riportati in letteratura (Marra *et al.*, 2009) e testimoniano come la presenza dei frutti in accrescimento influisca negativamente sullo sviluppo degli organi vegetativi del ramo anche nelle piante della tesi irrigua. Ad esclusione delle evidenti differenze nei tassi di accumulo delle foglie nelle due tesi, non sono emersi dei significativi mutamenti nei tassi di accumulo degli altri organi delle piante sottoposte a diverso regime idrico.

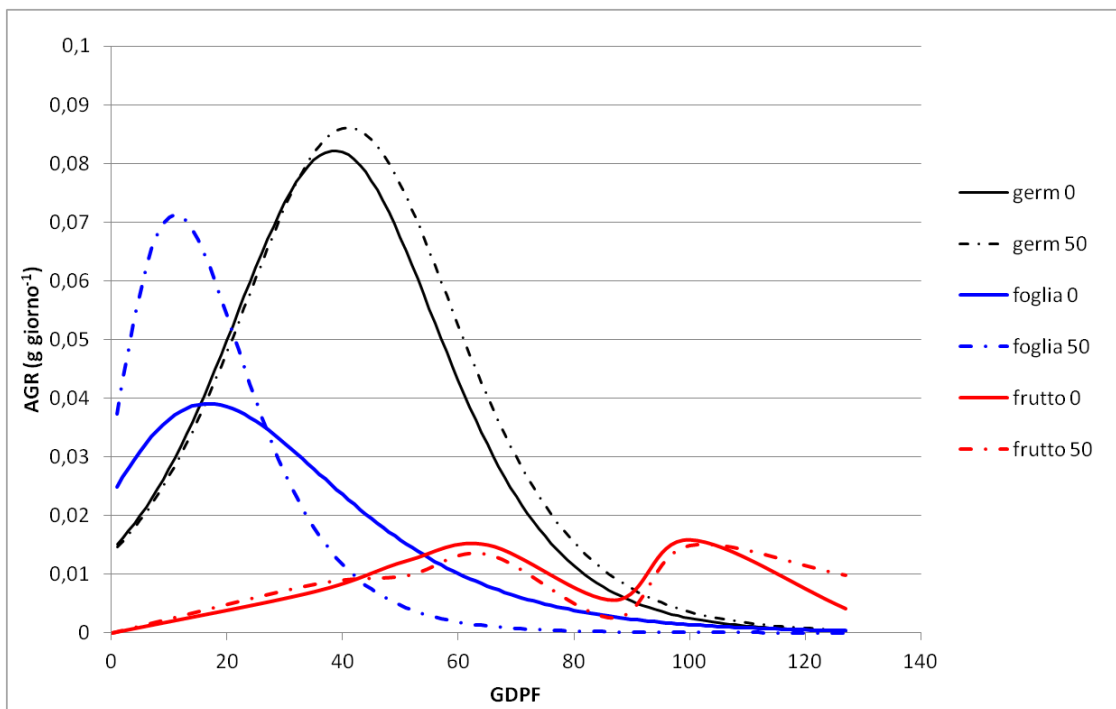


Figura 27. Evoluzione stagionale dell'AGR (g giorno⁻¹) di germoglio, foglia e frutto nelle due tesi (Anno 2010).

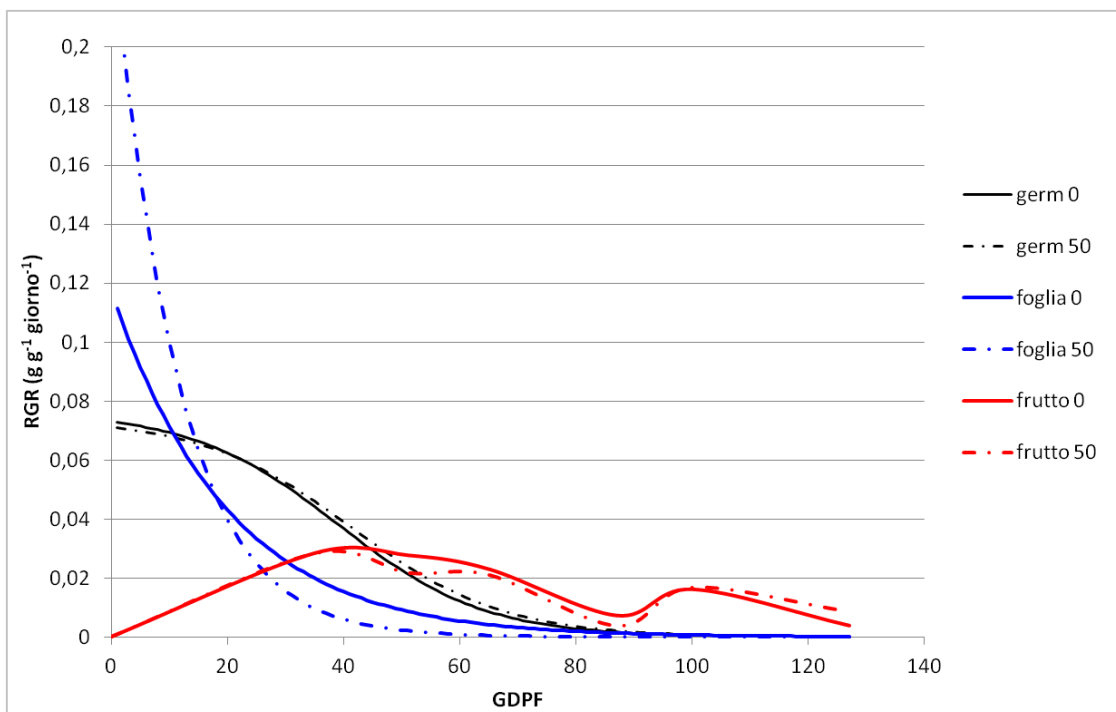


Figura 28. Evoluzione stagionale dell'RGR (g g⁻¹ giorno⁻¹) di germoglio, foglia e frutto nelle due tesi (Anno 2010).

4.6 Cascola delle gemme a fiore

Durante le due stagioni vegeto-produttive è stata monitorata la cascola delle gemme a fiore sui rami etichettati (Figura 29 e Figura 30). Nel primo anno la disponibilità idrica non ha influito sulla percentuale di cascola. Entrambe le tesi hanno fatto registrare alla raccolta una eguale percentuale di cascola delle gemme a fiore pari a circa il 90% rispetto alle gemme presenti all'inizio dello sviluppo del germoglio, mantenendo dunque 1 sola gemma delle 6-7 inizialmente presenti. È, peraltro, da sottolineare come a fronte di un risultato di cascola non differente tra le tesi a confronto, diverso possa considerarsi il modello di evoluzione di tale fenomeno nel tempo. Infatti, sempre con riferimento al 2009, la tesi non irrigata ha fatto registrare delle percentuali di cascola maggiore già 90 giorni dopo la piena fioritura, probabilmente a causa dell'istaurarsi di una precoce competizione tra i frutti in accrescimento e gli altri organi del ramo.

Durante il secondo anno di rilievi, analogamente a quanto già riferito riguardo al 2009, si è assistito ad un'evoluzione più intensa e precoce della cascola nelle piante in asciutto. In valore assoluto al termine delle osservazioni è stata, invece, registrata un'entità della cascola delle gemme a fiore sulle piante irrigate significativamente inferiore rispetto a quella registrata sulle piante in asciutto. A fine ciclo queste piante avevano perso mediamente circa il 90% delle gemme iniziali, contro il 65% delle piante irrigate. In definitiva solo durante il secondo anno dei rilievi è stata annotata una significativa riduzione della cascola delle gemme a fiore nelle piante irrigate. La prosecuzione delle prove nei prossimi anni potrà eventualmente mettere in luce un graduale miglioramento delle condizioni nutrizionali delle piante irrigate e di conseguenza una amplificazione del potenziale produttivo anche attraverso la riduzione della cascola delle gemme a fiore. Questa tendenza trova conferme in altre indagini sperimentali che hanno evidenziato gli effetti di lungo periodo dell'irrigazione sulla riduzione della cascola delle gemme a fiore e, quindi, di conseguenza, dell'alternanza di produzione (Monastra *et al.*, 1998).

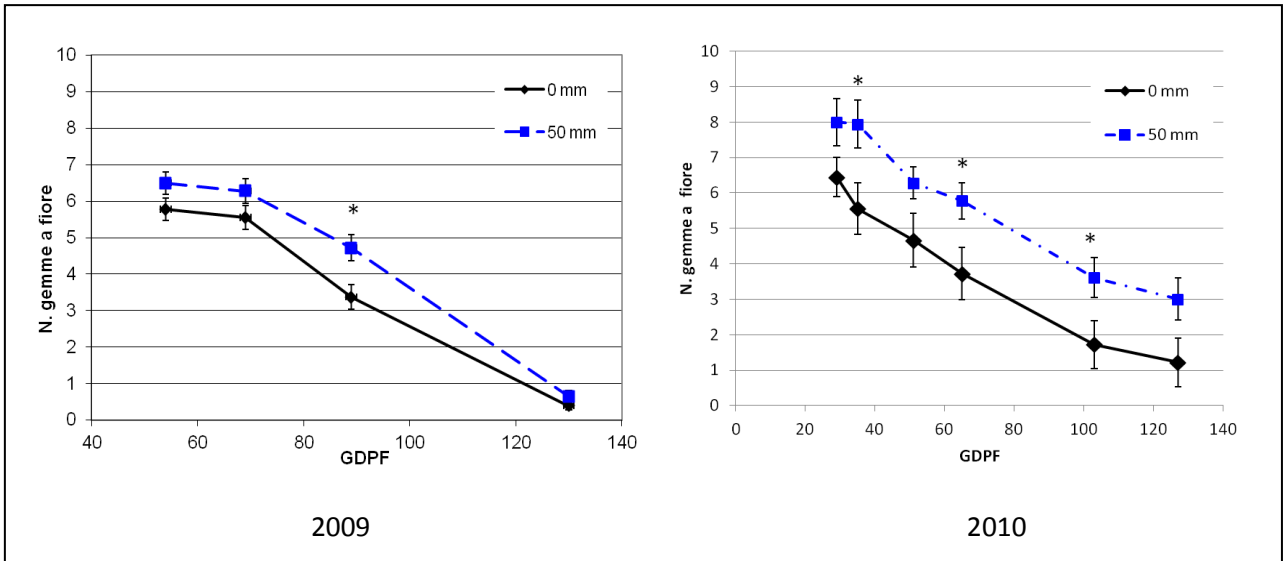


Figura 29. Evoluzione del numero delle gemme a fiore del ramo nelle due tesi e nei due anni di rilievi (media ± E.S.) (* P ≤ 0,05)

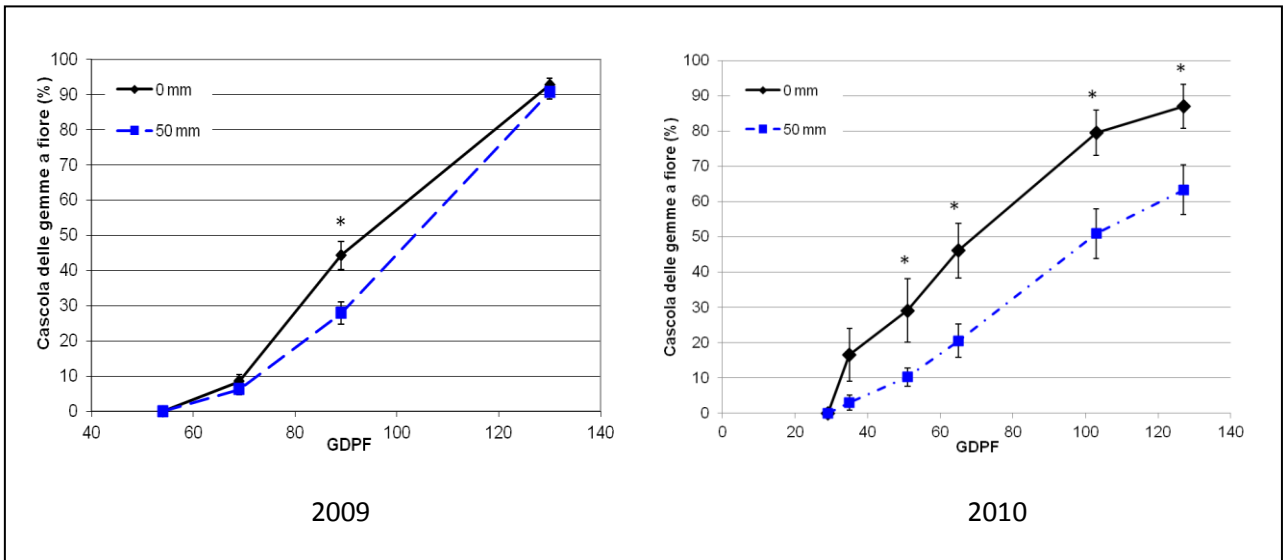


Figura 30. Evoluzione della cascola delle gemme a fiore espressa in percentuale rispetto al numero iniziale di gemme formatesi sul germoglio (media ± E.S.) (* P ≤ 0,05)

4.7 Risultati produttivi

4.7.1 Dati quantitativi

Nella Tabella 15 si riportano le medie dei parametri produttivi esaminati nei due anni di rilievi per entrambe le tesi. Alla raccolta del 2009 le piante irrigate hanno fatto registrare una produzione media della singola pianta doppia rispetto alla tesi in asciutto (14 kg per le piante irrigate, 7 kg per le piante in asciutto) ($P \leq 0,001$). Analogo risultato è emerso nel confronto del numero dei frutti per pianta (10.000 per le piante irrigate, 5.000 c.a. per quelle in asciutto) ($P \leq 0,001$). Questi parametri, pur evidenziando differenze altamente significative tra le tesi, non possono essere del tutto imputati agli effetti dell'irrigazione, poiché sono anche frutto delle diverse potenzialità produttive maturate dalla pianta durante la precedente annata produttiva. Nella successiva annata entrambi i parametri produttivi si sono drasticamente abbassati e non sono emerse differenze significative tra le tesi. La produzione media della singola pianta è stata di 2,79 kg nelle piante non irrigate e di 3,44 kg nelle piante irrigate, mentre il numero medio di frutti per pianta è stato di circa 2.250 nelle piante in asciutto e di 2.700 in quelle irrigate. Il risultato produttivo del 2010 conferma l'incidenza del fenomeno dell'alternanza di produzione e testimonia il mancato effetto del volume irriguo adoperato sulla sua mitigazione. Per quantificare il fenomeno è stato calcolato un coefficiente di alternanza che esprime la produzione dell'anno di scarica come percentuale rispetto alla produzione nell'anno di carica. Durante l'anno di scarica (2010) le piante irrigate hanno prodotto il 25,86% rispetto alla produzione dell'anno precedente, mentre le piante non irrigate hanno prodotto il 39,6%. Non sono emerse differenze significative nel confronto del coefficiente di alternanza calcolato nell'anno di scarica per le piante delle due tesi. Dai frutti presenti sui rami etichettati è stata calcolata la resa in sgusciato espressa come incidenza percentuale del peso del seme sul peso totale del frutto. Questo parametro ha fatto registrare valori pressoché uguali per le due tesi in entrambi gli anni di rilievi (40% per i frutti delle piante in asciutto, 39% per i frutti delle piante irrigate). Dall'analisi statistica è emerso che la resa in sgusciato delle piante in asciutto per la raccolta del 2009 è stata significativamente superiore ($P \leq 0,05$) rispetto alle piante della tesi irrigua; mentre non sono emerse differenze significative nel confronto dello stesso parametro nel successivo anno di produzione.

Tabella 15. Produzione/pianta (frutti interi non smallati), n. di frutti/pianta, resa in sgusciato, coefficiente di alternanza e TCSA per entrambe le tesi a confronto nei due anni di rilievi (media \pm E.S.).

	2009				2010			
	0 mm		50 mm		0 mm		50 mm	
	<i>media</i>	<i>E.S.</i>	<i>media</i>	<i>E.S.</i>	<i>media</i>	<i>E.S.</i>	<i>media</i>	<i>E.S.</i>
Prod./pianta (Kg)	7,3	\pm 0,75	14,0	\pm 1,15	2,8	\pm 0,53	3,4	\pm 0,40
N°frutti/pianta	5.119,4	\pm 490,79	10.001,9	\pm 896,56	2.253,8	\pm 456,93	2.700,2	\pm 317,47
Resa in sgusciato (%)	40,1	\pm 0,38	39	\pm 0,30	40	\pm 0,81	39,6	\pm 0,49
Coeff. Alternanza (%)	100		100		39,6	\pm 7,34	25,8	\pm 3,40
TCSA (cm ²)	237,4	\pm 13,02	335,4	\pm 23,33				

Al fine di valutare i risultati produttivi in funzioni delle dimensioni della pianta, sono state calcolate l'**efficienza produttiva** come peso dei frutti prodotti rapportato all'area della sezione del tronco (TCSA) e la **crop density** come numero dei frutti prodotti rapportato all'area della sezione del tronco (Lombard *et al.*, 1988) (Figura 31 e Figura 32). Dai grafici si evince che la maggiore disponibilità idrica ha influito positivamente sull'efficienza produttiva e sulla crop density il primo anno (anno di carica), evidenziando significative differenze tra le due tesi. I dati del secondo anno (anno di scarica) non hanno posto in evidenza differenze significative tra i due diversi trattamenti. Inoltre, confrontando i risultati produttivi delle due annate per singola tesi, sono emerse differenze altamente significative ($P \leq 0,001$) sia in termini di efficienza produttiva che in termini di crop density come era logico attendersi in linea con i risultati già esposti sopra. Si può comunque evidenziare che, nonostante l'assenza di effetti diretti sul fenomeno dell'alternanza produttiva in soli due anni dall'inizio della pratica irrigua, l'incremento della disponibilità idrica ha, comunque, permesso di ottenere risultati produttivi significativamente superiori durante l'anno di carica. Questo dato testimonia un generale incremento delle performance produttive della pianta irrigata che pur essendo in condizioni di elevato stress metabolico, a causa della elevata carica produttiva, riesce comunque a produrre più fotosintetati della pianta in asciutto e per questo a sostenere la crescita di un maggiore carico di frutti. Risultati simili sono emersi in altre indagini sperimentali finalizzate allo studio degli effetti di diversi livelli idrici sul pistacchio (Kamber *et al.* 1993; Monastra *et al.* 1995; 1998) dalle quali

sono state messe in luce le ricadute positive della pratica irrigua di lungo periodo sulla coltura in esame.

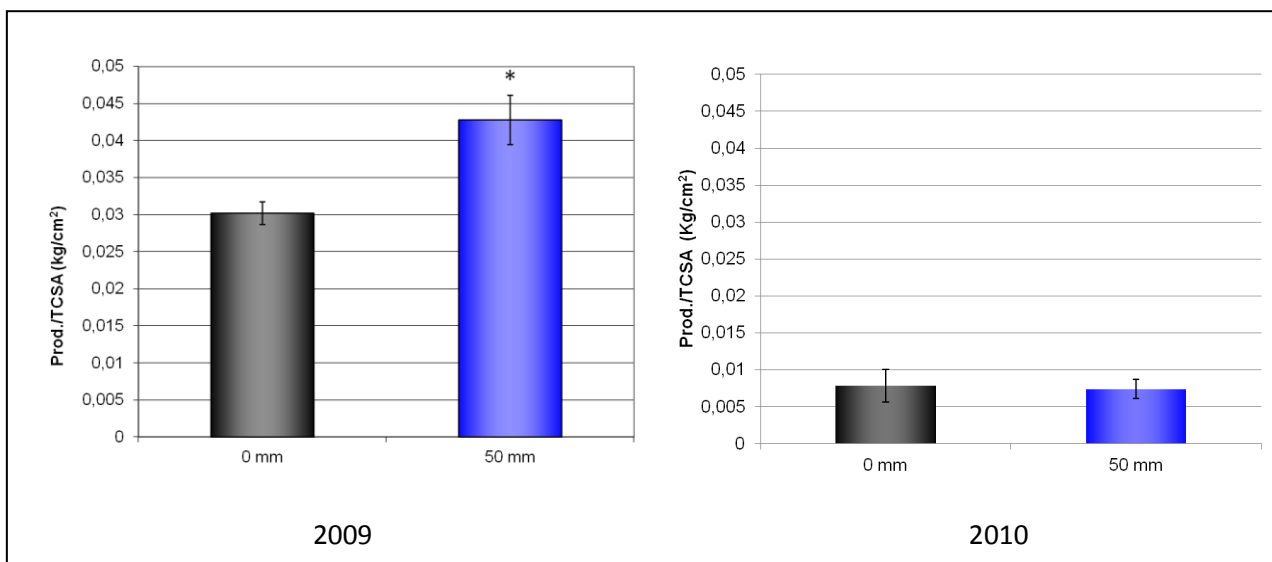


Figura 31. Efficienza produttiva (Produzione pianta/TCSA) (media \pm E.S.) (* $P \leq 0,05$)

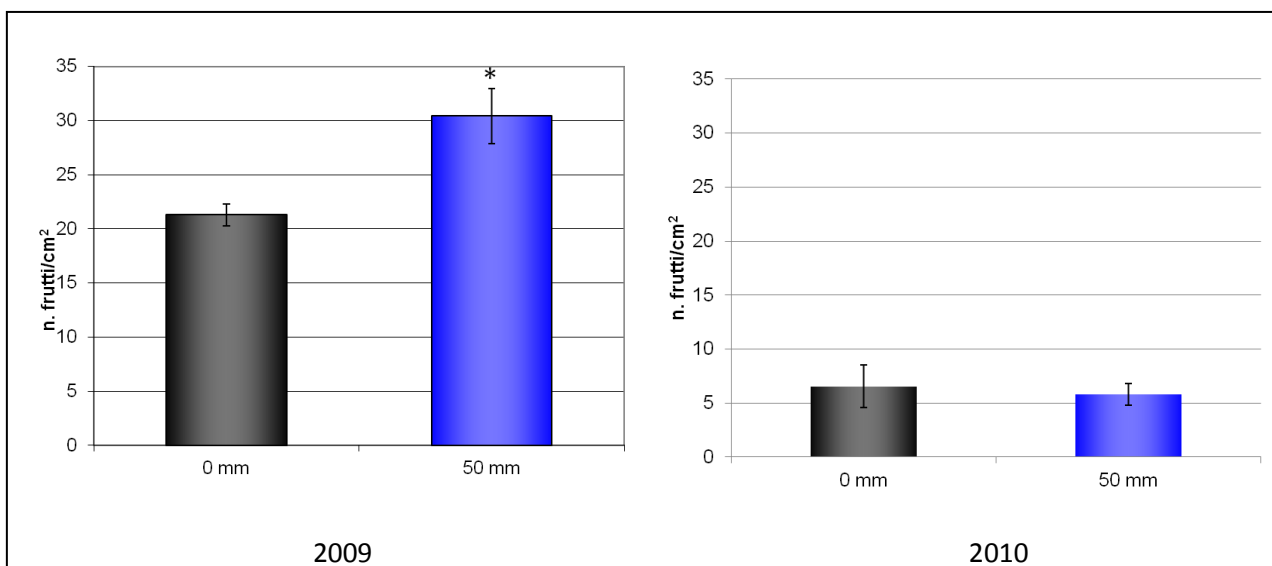


Figura 32. Crop density (N. frutti pianta/TCSA) (media \pm E.S.) (* $P \leq 0,05$)

4.7.2 Dati qualitativi

Sui campioni di frutti prelevati alla raccolta sono state calcolate le percentuali di frutti vuoti e di frutti deiscenti. Il confronto della **percentuale di frutti vuoti** (Figura 33) nelle due tesi, per singolo anno di produzione, non ha fatto rilevare differenze significative; mentre confrontando lo stesso parametro nelle due annate produttive, risulta significativamente maggiore l'incidenza dei frutti vuoti nel secondo anno di prove sia nel confronto tra le piante in asciutto ($P \leq 0,05$), sia nel confronto tra le piante irrigate ($P \leq 0,001$). Questo risultato da un lato sembrerebbe escludere una diretta influenza dell'irrigazione sull'incidenza dei frutti vuoti sulla produzione, dall'altro potrebbe evidenziare una relazione tra il budget di riserve presenti durante le fasi iniziali del processo di accrescimento dei frutti e la maggiore o minore incidenza dei frutti vuoti. È indubbio che durante l'annata di carica produttiva si realizzano le condizioni per un ridotto accumulo di riserve di fotoassimilati disponibili per la successiva stagione vegeto-produttiva (Marra *et al.*, 2004; Spann *et al.*, 2008; Marra *et al.*, 2009), pertanto questa iniziale limitata disponibilità nutrizionale, soprattutto durante le prime fasi di allegagione e sviluppo del frutto, in cui peraltro le foglie non si sono ancora completamente distese, potrebbe essere la causa dell'aumento dei frutti vuoti durante l'anno di scarica. Del resto, come è noto, il fenomeno della cascola delle gemme a fiore non riguarda le piante maschili per cui non appare plausibile invocare, a spiegazione dei dati osservati, un ipotetico effetto negativo legato a limitate disponibilità di polline nell'anno di scarica.

E' stato tenuto conto anche del parametro "deiscenza dei frutti" anche se tale condizione, commercialmente indicata come frutto "a bocca aperta" è irrilevante per la destinazione tipica dei pistacchi siciliani, destinati nella totalità all'industria di trasformazione. Purtroppo se ne è tenuto conto poiché tale parametro rientra tra quelli utilizzati per la qualificazione internazionale dei frutti di pistacchio ed è dunque sembrato utile evidenziarne il comportamento nel confronto asciutto-irriguo. In effetti, la **percentuale di frutti deiscenti** ha mostrato differenze significative tra le due tesi in entrambe le annate, evidenziando una maggiore deiscenza dei frutti delle piante non irrigate, di entità pari a circa il doppio (Figura 34). Il fenomeno della deiscenza dei frutti di pistacchio è stato indagato in diversi studi condotti al di fuori dell'Italia finalizzati ad individuarne le possibili cause. Secondo alcuni autori la deiscenza è strettamente connessa con la

crescita dell'embrione ed in particolare con l'incremento in volume del seme: l'espansione dei cotiledoni eserciterebbe una pressione sul guscio che sarebbe la causa della rottura dell'endocarpo lungo la linea di sutura, pertanto, secondo questa interpretazione, la deiscenza sarebbe il risultato di un semplice fenomeno fisico (Nevo *et al.*, 1974; Polito e Pinney, 1999). Secondo altri studi (Crane e Iwakiri, 1982; Crane, 1986) la deiscenza dell'endocarpo è dovuta alla produzione da parte dell'embrione in accrescimento di un indefinito agente biochimico che induce la rottura dell'endocarpo. Non sono stati ancora del tutto chiariti gli effetti dell'irrigazione sulla deiscenza. Alcuni studi hanno messo in luce l'assenza di una influenza positiva dell'incremento delle disponibilità idriche sulla percentuale di frutti deiscenti (Kamber *et al.*, 1993; Gijon *et al.*, 2009). In prove di irrigazione effettuate in Basilicata sulla cv. Larnaka (Monastra *et al.*, 1995) è emerso che le piante irrigate con il 50% e il 75% dell'ETc hanno fatto registrare una maggiore percentuale di frutti vuoti e una minore percentuale di frutti deiscenti, rispetto alle piante non irrigate. Goldhamer e Beede (2004) hanno evidenziato gli effetti del deficit idrico controllato sulla deiscenza di frutti della cv. Kerman, testimoniando una variazione della suscettibilità alla deiscenza in funzione dello stadio del ciclo vegeto-produttivo in cui si riduce l'apporto idrico. In particolare è emerso che lo stress idrico durante il primo stadio (dall'emissione delle foglie al completo sviluppo dell'endocarpo) incrementa significativamente la percentuale di frutti deiscenti; durante il secondo stadio (dal completo sviluppo dell'endocarpo all'inizio del rapido accrescimento dell'embrione) non ha effetti sulla deiscenza, durante il terzo stadio (dall'inizio del rapido accrescimento dell'embrione fino alla raccolta) abbatte in maniera significativa la percentuale di frutti deiscenti.

Quest'ultimi risultati ottenuti tramite l'applicazione in stadi differenti della tecnica del RDI suggeriscono in maniera sufficientemente chiara come alla base del fenomeno possano collocarsi le differenti crescite relative, ottenute nel corso delle fasi di sviluppo del frutto, delle sue due componenti essenziali: seme ed endocarpo. Una crescita armonica non alterata da fenomeni di stress anche idrici comporta il raggiungimento di dimensioni compatibili tra le due parti dando luogo a scarsa incidenza del fenomeno della deiscenza. Al contrario una contrazione dello sviluppo potenziale dell'endocarpo per effetto di un temporaneo stress idrico seguito da condizioni favorevoli per la crescita del seme si tradurrebbe in un prevalere dei fenomeni di

deiscenza. Ulteriori indagini per chiarire il fenomeno in funzione della variazione della disponibilità idrica sono comunque auspicabili.

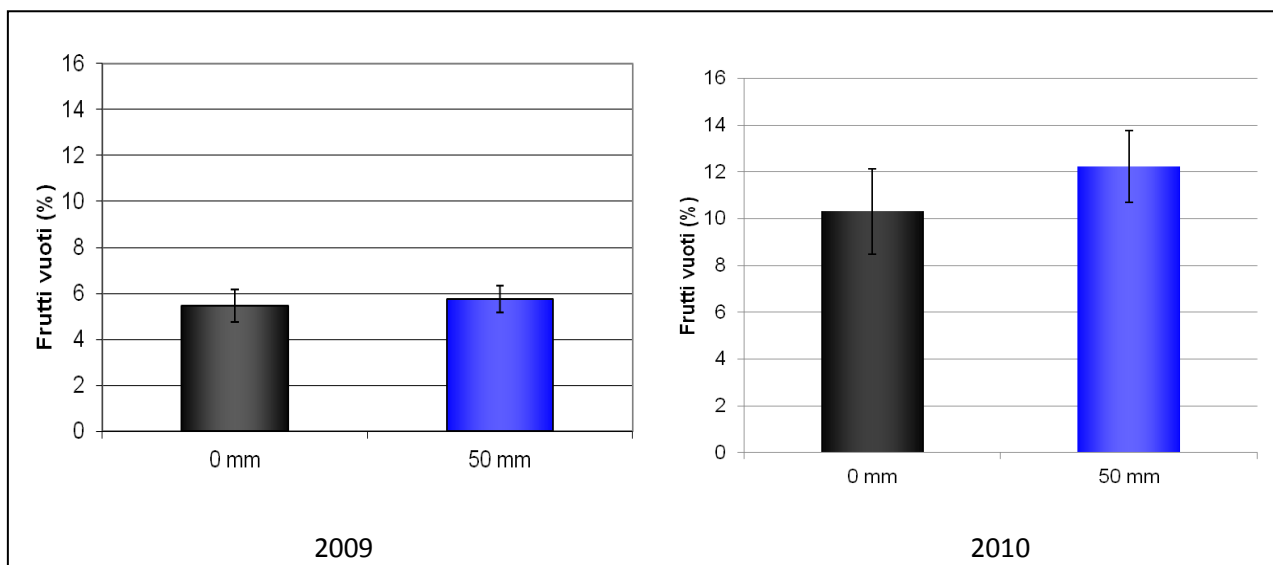


Figura 33. Percentuale di frutti vuoti sul totale dei frutti per ramo (media \pm E.S.)

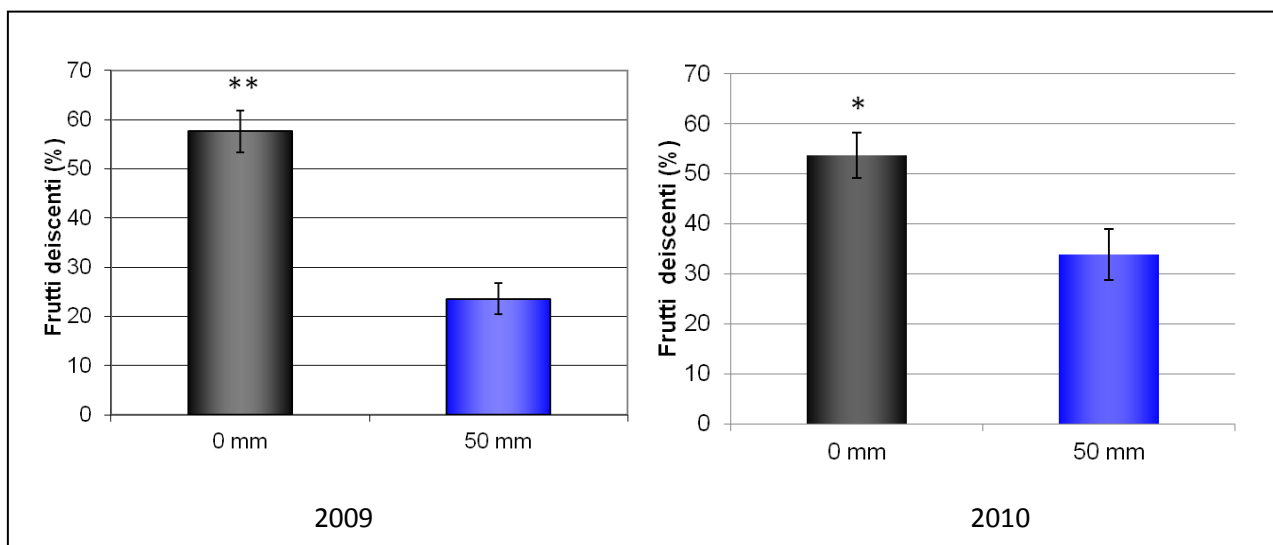


Figura 34. Percentuale di frutti deiscenti sul totale dei frutti per ramo (media \pm E.S.)
(* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,001$)

La colorazione verde del seme è considerata indice di qualità soprattutto quando il frutto viene avviato al mercato dei prodotti per la pasticceria, la gelateria e la produzione di confetti e insaccati, come nel caso della pistacchicoltura siciliana. La tipica colorazione del seme è dovuta alla concentrazione di clorofilla A, B e luteina (Bellomo e Fallico, 2007). Dai risultati delle prove di estrazione di **clorofilla dai frutti** è emersa una concentrazione significativamente più alta di pigmenti fotosintetici nei frutti della tesi irrigata (Figura 35). In particolare per il primo anno di rilievi è emersa una significativa maggiore concentrazione di clorofilla A, B e totale nei frutti prodotti da piante irrigate, mentre i dati del secondo anno hanno fatto registrare differenze significative solo per la concentrazione di clorofilla A e totale. Dai dati emerge, quindi, una correlazione positiva tra l'incremento della disponibilità idrica e il contenuto di clorofille nei frutti che può essere fonte di apprezzamento potenziale da parte dei mercati posto che questi richiedono appunto frutti spiccatamente verdi. Non è, peraltro, possibile effettuare confronti con ricerche analoghe poiché finora non risultano altre indagini circa l'influenza dell'irrigazione sulla concentrazione delle clorofille nei frutti. Sono invece già state indagate le relazioni tra il contenuto di clorofille nel seme e l'area geografica di produzione. In particolare dal confronto tra frutti prodotti in Iran, Turchia, Grecia, Siria, Tunisia e Italia è emerso che i pistacchi di provenienza italiana hanno una maggiore concentrazione di clorofilla (Agar *et al.*, 1998; Bellomo e Fallico, 2007). Occorre comunque evidenziare che la concentrazione di pigmenti fotosintetici tende a diminuire quando i frutti sono esposti alla luce e/o ad elevate temperature e che la stessa tendenza si registra con l'avanzare dei processi di maturazione del seme (Giovannini e Condorelli, 1958). A tal proposito, confrontando la stabilità nel tempo dei pigmenti fotosintetici in funzione della varietà, è emerso che la cultivar Bianca, la più diffusa negli areali di coltivazione italiani, ha una concentrazione di clorofille alla raccolta più elevata rispetto alle cultivar Larnaka e Kerman e che mantiene questo primato anche dopo 12 e 18 mesi di conservazione (La Russa *et al.*, 2007).

In definitiva, per chiarire meglio, e nell'ipotesi di confermare, l'eventuale influenza della disponibilità idrica sulla concentrazione di clorofilla nei frutti è comunque necessario condurre ulteriori approfondimenti.

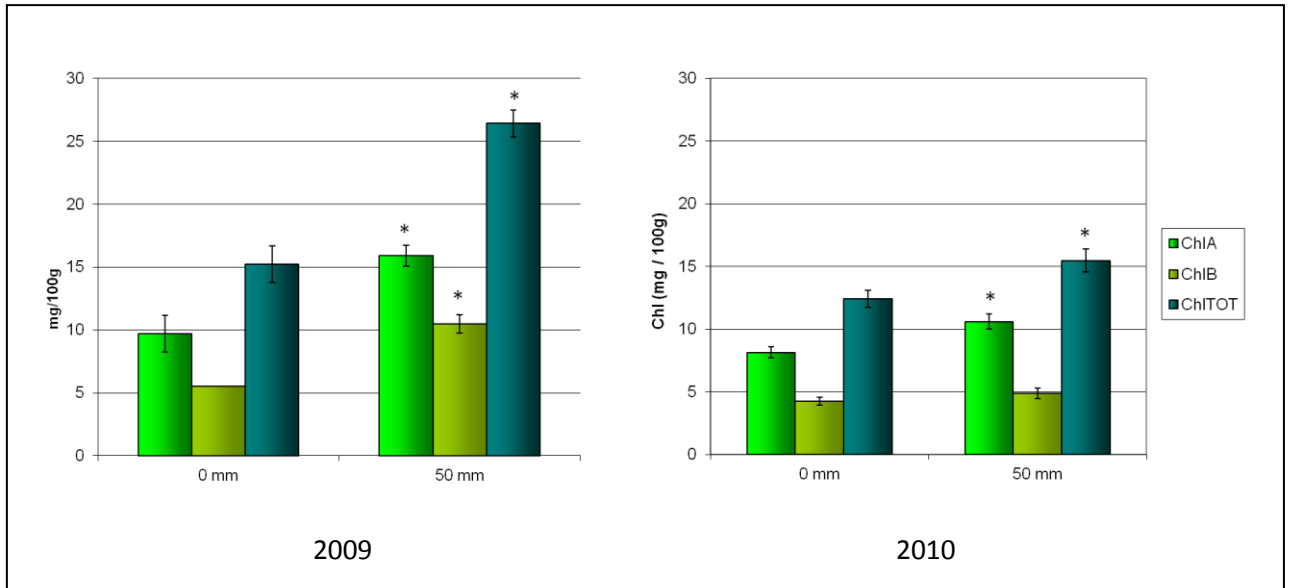


Figura 35. Contenuto di clorofilla A (ChlA), B (ChlB) e totale (ChlTOT) in semi essiccati con metodo naturale (media ± E.S.) (* P ≤ 0,05)

4.8 Risultati dei rilievi eco-fisiologici

4.8.1 Curve di risposta della fotosintesi alla luce

In tre diversi momenti del ciclo vegeto produttivo dell'anno 2010 sono stati rilevati i valori dell'assimilazione fotosintetica al variare dell'intensità della luce (PPFD – Photosynthetic photon flux density). I valori ottenuti sono stati interpolati utilizzando le procedure di interpolazione non lineare implementate nel software Tablecurve 2D, secondo la seguente funzione asintotica:

$$y = a + b \cdot (1 - e^{(-c \cdot x)})$$

22 GDFP

per le piante non irrigate “0 mm”: $a = -2,065502438$; $b = 8,596778418$; $c = 0,00785895$; $r^2 = 0,96$;
per le piante irrigate “50 mm”: $a = -2,710391623$; $b = 13,35001417$; $c = 0,004009109$; $r^2 = 0,99$;

51 GDFP

per le piante non irrigate “0 mm”: $a = -2,003949296$; $b = 17,3989986$; $c = 0,00355509$; $r^2 = 0,96$;
per le piante irrigate “50 mm”: $a = -2,969251007$; $b = 20,49850105$; $c = 0,002346995$; $r^2 = 0,99$;

65 GDFP

per le piante non irrigate “0 mm”: $a = -2,109193689$; $b = 23,8263269$; $c = 0,00265655$; $r^2 = 0,99$;
per le piante irrigate “50 mm”: $a = -0,280589808$; $b = 19,7672376$; $c = 0,00258034$; $r^2 = 0,99$;

dove:

y = fotosintesi netta ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);

x = PPFD ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$);

a = intercetta della funzione con l'asse y ;

b = assimilazione massima;

c = resa quantica.

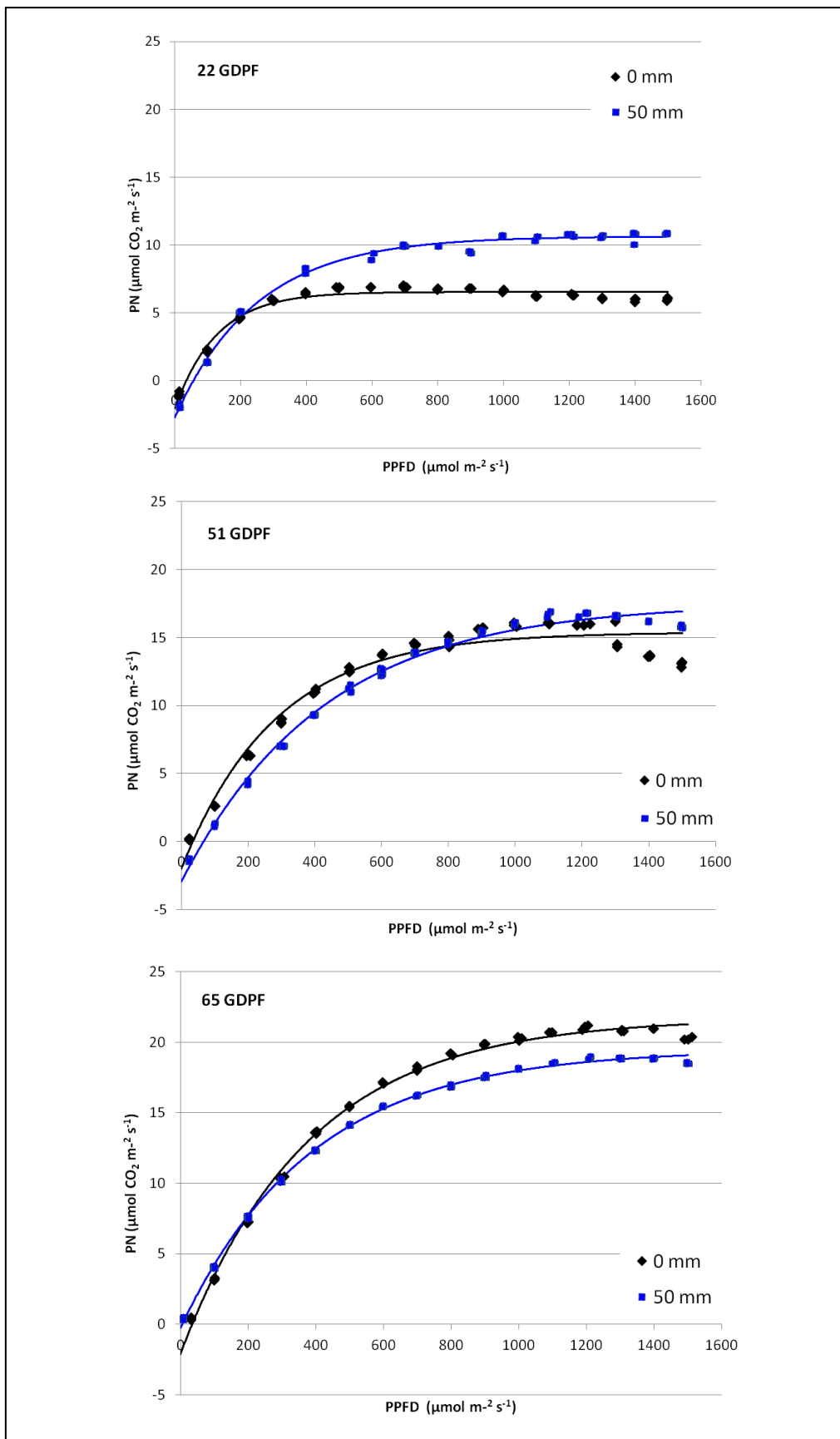


Figura 36. Curve di risposta della fotosintesi alla luce rilevate il 22°, 51° e 65° giorno dopo la piena fioritura nelle due tesi a confronto (2010).

Dal confronto delle curve ottenute per le due tesi (Figura 36) non è emersa una costante superiorità della tesi irrigua nel tempo. Alla prima data del rilievo (22 GDPF) la tesi irrigua mostra una maggiore capacità di assimilazione della CO₂ (assimilazione massima = 8,6 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ per la tesi 0 mm; = 13,3 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ nella tesi 50 mm) con tutta probabilità connessa al più rapido sviluppo delle foglie delle piante irrigate, già evidenziato in precedenza (Figura 19 e Figura 20). Nelle successive due date (51 e 65 GDPF) non emergono differenze degne di nota (assimilazione massima 51 GDPF 0 mm = 17,4 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹; 50 mm = 20,5 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) (assimilazione massima 65 GDPF 0 mm = 23,8 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹; 50 mm = 19,7 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). L'assimilazione massima misurata nel range di PPFd in esame è stata di circa 20 μmol m⁻² s⁻¹ per entrambe le tesi il 65° GDPF, in concomitanza con la massima superficie fogliare misurata sulle due tesi. Osservando le curve secondo un ordine cronologico si nota un andamento crescente dell'assimilazione della CO₂, che testimonia lo stretto legame tra la capacità fotosintetica della foglia e il suo stadio di sviluppo. I valori di PPFd corrispondenti al punto di compensazione per le due tesi e nelle diverse epoche di rilievo sono stati i seguenti:

- 22 GDPF: 0 mm = 35 μmol m⁻² s⁻¹; 50 mm = 57 μmol m⁻² s⁻¹
- 51 GDPF: 0 mm = 35 μmol m⁻² s⁻¹; 50 mm = 67 μmol m⁻² s⁻¹
- 65 GDPF: 0 mm = 35 μmol m⁻² s⁻¹; 50 mm = 6 μmol m⁻² s⁻¹.

Purtroppo la indisponibilità di dati relativi al periodo successivo per motivi indipendenti dalla nostra volontà, non ha consentito di mettere in evidenza pur probabili differenze tra le tesi nelle fasi del ciclo vegeto produttivo in cui è maggiore l'influenza dell'accrescimento dei frutti sulla funzionalità delle foglie, così come già evidenziato nell'analisi dell'andamento della superficie fogliare totale, del numero di foglie e di foglioline per ramo.

4.8.2 Assimilazione massima

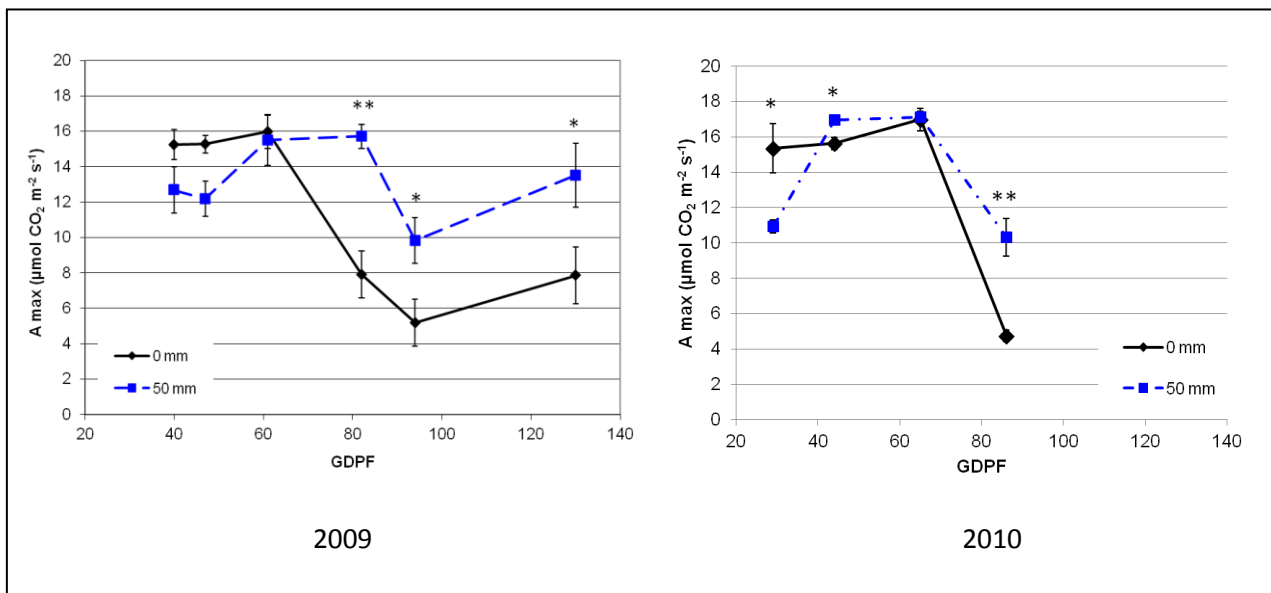


Figura 37. Andamento dell'assimilazione massima di CO₂ (A max) (media ± E.S.)
 (* P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,001)

L'analisi dell'andamento dell'assimilazione massima di CO₂ ha fatto registrare delle differenze tra le tesi, contrariamente a quanto rilevato per il potenziale idrico xilematico. Come si evince dai grafici (Figura 37) l'assimilazione massima inizialmente non assume valori molto diversi tra le due tesi a confronto, mentre, dopo l'80° GDPF, i valori registrati testimoniano una superiorità nella capacità di assimilazione delle foglie delle piante irrigate. Le differenze con le piante in asciutto si evidenziano maggiormente nel periodo in cui i frutti sono in attivo accrescimento e divengono i sink più forti tra i diversi organi del ramo. Seppur in assenza di evidenti stress idrici la pianta si avvantaggia della maggiore disponibilità idrica migliorando la funzionalità delle foglie e quindi l'attività fotosintetica. I valori massimi di assimilazione si sono registrati circa 80 GDPF (2009) e 65 GDPF (2010), e sono risultati compresi tra 16 e 17 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ per entrambe le tesi e senza risentire dei differenti livelli di carica di frutti esistenti nei due anni. I valori rilevati nel corso delle prove sono in linea con quelli riportati in letteratura (Behboudian *et al.*, 1986; De Palma e Novello, 1998). Il tasso di assimilazione più elevato durante la prima parte del ciclo fenologico può essere correlato all'elevato tasso di divisione cellulare che caratterizza queste prime fasi di sviluppo del frutto, come evidenziato da Sajjadinia e collaboratori (2010).

Mentre nelle successive fasi la riduzione del tasso di assimilazione sembra connessa con la graduale senescenza delle foglie e con le elevate temperature registrate. Un trend simile è stato evidenziato studiando i tassi di assimilazione dell'olivo (Proietti, 2000) e dell'albicocco (Wang *et al.*, 2007).

Confrontando i tassi di assimilazione di diverse specie arboree da frutto Larcher (1969) ha evidenziato a carico del pistacchio una efficienza fotosintetica simile a quella del mandorlo e superiore rispetto al melo, al pesco, al susino, al ciliegio, all'albicocco e al noce.

4.8.3 Conduttanza stomatica

L'evoluzione della conduttanza stomatica (g_s) (Figura 38) segue un trend simile a quello rilevato per l'assimilazione massima (A_{max}). La tesi irrigua ha fatto registrare dei valori più elevati in entrambi gli anni del rilievo. Le maggiori differenze sono state riscontrate nel secondo anno. I valori massimi per le piante irrigate sono stati di $450 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per il 2009 (80 GDPF) e di $520 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per il 2010 (65 GDPF). Per la tesi in asciutto la massima conduttanza stomatica è stata di $390 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per il 2009 (45 GDPF) e di $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per il 2010 (65 GDPF). I valori registrati evidenziano un calo della conduttanza stomatica nelle fasi caratterizzate dal rapido accrescimento dell'embrione così come riportato in letteratura (De Palma e Novello, 1998; Guerrero *et al.*, 2006; Gijon *et al.*, 2009). Occorre inoltre evidenziare che le attività di scambio gassoso delle foglie sono positivamente correlate con il contenuto idrico relativo delle stesse, poiché ad una riduzione di questo parametro corrisponde un calo dell'attività fotosintetica, della traspirazione e della conduttanza stomatica (David, 2002). Si può pertanto ipotizzare che pur non rilevando differenze nel potenziale idrico xilematico tra le due tesi, probabilmente a causa dell'aggiustamento osmotico, le differenze relative sia all'attività fotosintetica che alla conduttanza stomatica siano da imputare proprio al diverso contenuto idrico delle foglie. A conferma di ciò Pour e collaboratori (2005) hanno evidenziato che la conduttanza stomatica non sempre è funzione del potenziale idrico della foglia, ovvero può accadere che il g_s vari pur in assenza di una correlata variazione del potenziale idrico. Inoltre è stato osservato che la chiusura degli stomi può essere indotta da un incremento della concentrazione di acido abscissico (ABA) che si verifica in concomitanza con stati di stress idrico (Schroeder *et al.*, 2001). In diverse specie

l'ABA viene prodotto dalle radici, in condizioni di limitata disponibilità idrica, e successivamente traslocato nelle foglie (Kramer e Boyer, 1995). Pertanto la complessità dei meccanismi che sovrintendono alla regolazione dell'apertura stomatica dovranno essere ulteriormente indagati, anche alla luce dei particolari meccanismi di arido-resistenza messi in atto dalla specie in esame.

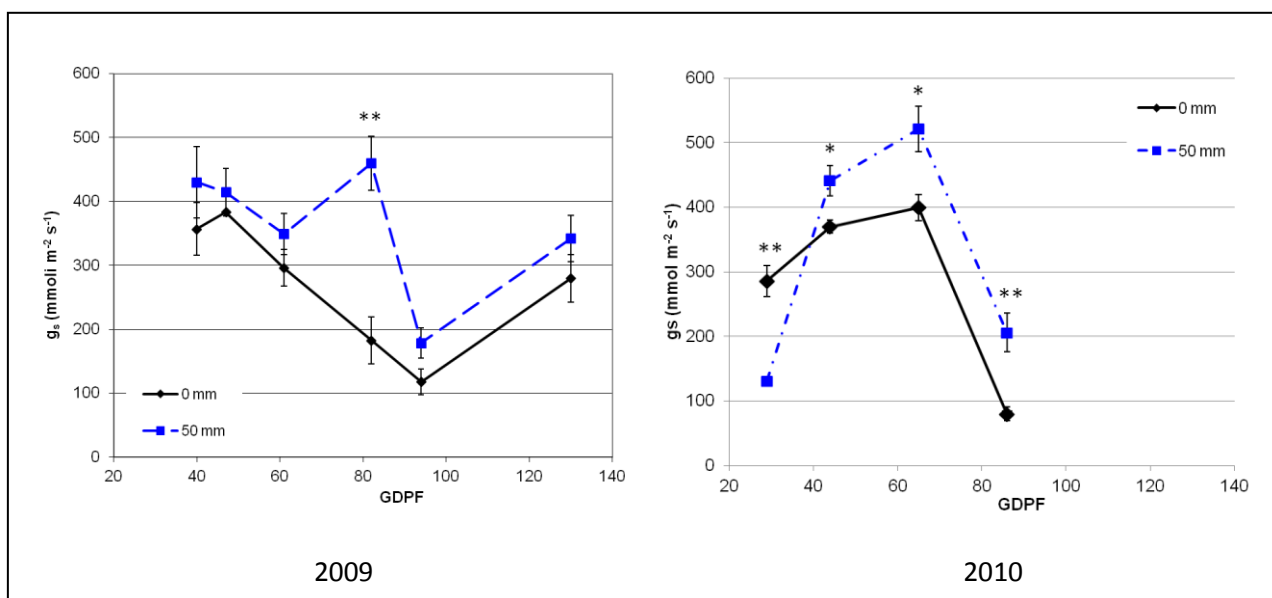


Figura 38. Andamento della conduttanza stomatica (g_s) (media \pm E.S.)
 (* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,001$)

4.8.4 Efficienza dell'uso dell'acqua (WUE)

L'efficienza dell'uso dell'acqua (WUE) è stata calcolata come rapporto tra l'assimilazione massima e la conduttanza stomatica della foglia (Figura 39). I valori riportati mostrano una significativa superiorità della tesi in asciutto per il 2009 limitatamente alle fasi centrali del ciclo, mentre l'analisi dell'andamento di questo parametro per il 2010 fa emergere inizialmente un valore significativamente più alto per la tesi irrigua (30 GDPF) e successivamente (65 GDPF) un valore significativamente più alto per la tesi non irrigata. Questa evoluzione sottolinea l'assenza di una chiara influenza dei volumi idrici somministrati sulla variazione dell'efficienza dell'uso dell'acqua. Nelle date in cui si rilevano differenze significative, le piante in asciutto hanno fatto registrare alti livelli di assimilazione a valori di bassa conduttanza stomatica. Ciò testimonia la

elevata resistenza della specie allo stress idrico ed è indice delle strategie messe in atto per massimizzare l'assimilazione di CO₂ in condizioni di scarsa disponibilità idrica (Behboudian *et al.*, 1986; De Palma e Novello, 1998). Dall'analisi della variazione dell'efficienza dell'uso dell'acqua al variare del potenziale idrico Behboudian e collaboratori (1986) hanno evidenziato una certa stabilità del parametro fino a valori di potenziale idrico di -3 MPa. In condizioni di stress idrico più marcato, con valori inferiori a -3 MPa, è stato registrato un declino dell'efficienza dell'uso dell'acqua che può essere giustificato dal fatto che a tali livelli di stress per la pianta è più importante sopravvivere piuttosto che economizzare l'utilizzo dell'acqua. Queste condizioni estreme sono tipiche delle zone di origine e differenziazione della specie, dove lo stress idrico è sempre accompagnato dalle alte temperature, in questi areali pertanto il mantenimento di una quota di traspirazione è finalizzata a dissipare il calore accumulato dalle foglie.

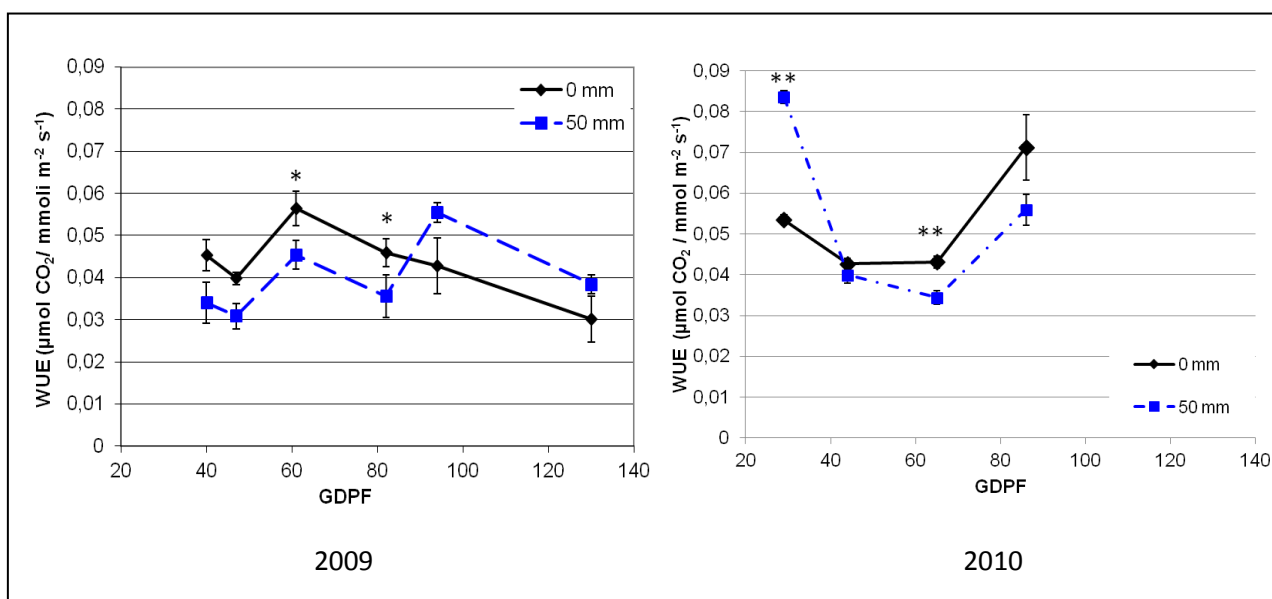


Figura 39. Andamento dell'efficienza dell'uso dell'acqua (WUE) (media ± E.S.)
 (* P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,001)

4.8.5 Correlazione tra il potenziale idrico xilematico e l'assimilazione massima

Le rappresentazioni grafiche delle correlazioni tra il potenziale idrico xilematico e l'attività fotosintetica, rilevati durante l'intero ciclo vegeto produttivo, non fanno emergere differenze rilevanti tra le tesi (Figura 40). Così come già evidenziato in precedenza l'assenza di differenze nei potenziali xilematici impedisce di rilevare una correlazione tra questo parametro e la variabilità della fotosintesi. Nessuna correlazione è stata inoltre evidenziata tra l'andamento del potenziale idrico xilematico e i valori di conduttanza stomatica e WUE per entrambi gli anni dei rilievi (dati non presentati). Tutti i dati fin qui collezionati evidenziano comunque la presenza di correlazioni positive tra la maggiore disponibilità idrica e l'entità degli scambi gassosi della foglia, pur non riscontrando una correlata variazione sui potenziali idrici delle diverse piante in tesi. Probabilmente i volumi idrici somministrati in questa prova pur non influenzando significativamente la variazione del potenziale idrico della pianta, hanno espletato un ruolo positivo sull'attività metabolica fogliare che sovrintende agli scambi gassosi. Presumibilmente condizioni di stress idrico più marcate o condizioni di maggiore disponibilità irrigua rispetto a quelle dell'attuale prova, avrebbero potuto condurre ad un maggiore grado di correlazione tra il potenziale idrico e i parametri degli scambi gassosi delle foglie. In prove condotte in Iran, in un areale di coltivazione molto siccitoso, è stato possibile mettere in luce una chiara correlazione tra l'attività fotosintetica e il potenziale idrico fogliare in un range di variabilità che andava da -1 a -6 MPa, registrando una graduale riduzione dell'assimilazione netta da circa $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Behboudian *et al.*, 1986).

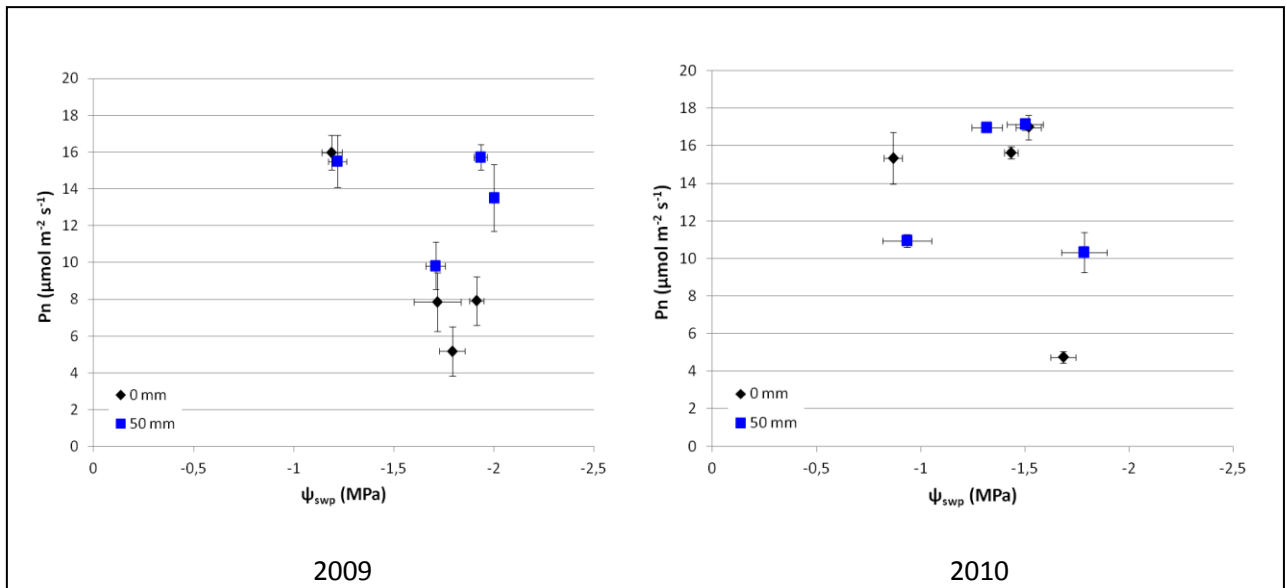


Figura 40. Correlazione tra il potenziale idrico xilematico (ψ_{swp}) e l'assimilazione massima (P_n) nei due anni del rilievo (media \pm E.S.)

4.8.6 Correlazione tra la conduttanza stomatica e l'assimilazione massima

Dalle rappresentazioni grafiche della correlazione tra la conduttanza stomatica e l'assimilazione massima emerge una chiara interconnessione tra i due parametri (Figura 41). Seppur non si evidenzino andamenti diversi tra le due tesi irrigue, si nota chiaramente come all'aumentare della conduttanza stomatica aumenti anche l'assimilazione netta in entrambi gli anni del rilievo. Inoltre dall'analisi dei dati del 2010 emerge una stasi nell'incremento dell'attività fotosintetica a valori di g_s superiori a $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; trend analoghi sono stati ritrovati in letteratura (Gijon *et al.*, 2011) e permettono di ipotizzare un parziale controllo stomatico dell'assimilazione di CO_2 così come evidenziato per altre specie arido-resistenti come l'olivo (Moriani *et al.*, 2002). Occorre infatti evidenziare che l'assenza di un incremento nell'assimilazione netta a valori di conduttanza stomatica superiori ai $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ indica l'esistenza di altre limitazioni all'attività fotosintetica probabilmente connesse con processi di saturazione che bloccano, oltre certi limiti, la capacità di organizzazione della CO_2 nella fase oscura del processo fotosintetico.

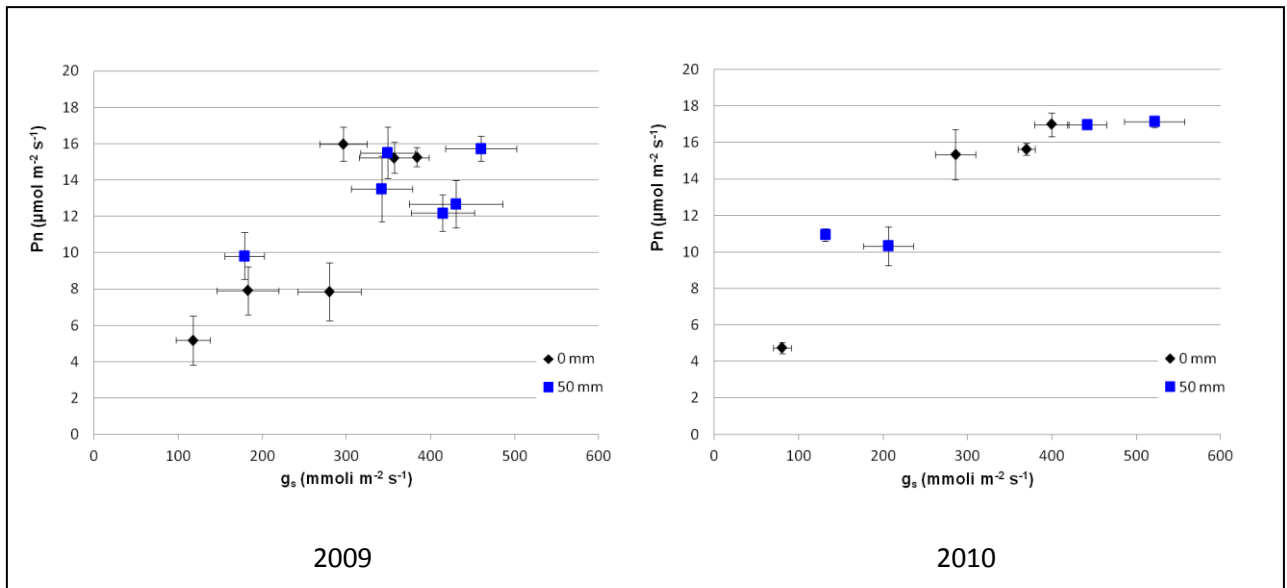


Figura 41. Correlazione tra la conduttanza stomatica (g_s) e l'assimilazione massima (P_n) nei due anni del rilievo (media \pm E.S.)

5. Conclusioni

Da un'analisi complessiva dei risultati emersi in questo studio è stato possibile evidenziare gli effetti di limitati volumi idrici su diversi parametri vegeto-produttivi ed eco-fisiologici del pistacchio. L'assenza di differenze significative tra i potenziali idrici xilematici delle piante irrigate e di quelle in asciutto, non necessariamente testimonia l'assenza di differenze nello stato idrico delle piante, bensì suggerisce qualche perplessità circa l'affidabilità di questo parametro nello studio delle relazioni idriche del pistacchio in condizioni di limitata disponibilità idrica e in presenza di irrigazioni di soccorso. Sembra infatti evidente che nelle suddette condizioni la specie metta in atto meccanismi di arido resistenza in grado di mantenere un elevato turgore cellulare pur in condizioni di limitata disponibilità idrica. Evidenze sperimentali hanno messo in luce il ruolo dell'aggiustamento osmotico nella regolazione del potenziale idrico del pistacchio, mostrando come la specie in condizioni di stress idrico riesca a mantenere valori di potenziale comparabili a quelli rilevati in assenza di stress (Pour *et al.*, 2005). Le conoscenze fin qui acquisite suggeriscono da un lato la necessità di indagare maggiormente l'influenza dell'aggiustamento osmotico sul potenziale idrico della specie in esame, dall'altro l'esigenza di studiare lo stato idrico della pianta attraverso parametri più strettamente connessi con il contenuto idrico dei tessuti, come il *Relative Water Content* o le curve Pressione – Volume, così da pervenire ad una migliore descrizione della correlazione esistente tra lo stato idrico della pianta e tutti i parametri produttivi e fisiologici studiati. Appare infatti evidente che pur in assenza di differenze nel potenziale idrico xilematico tra le due tesi, emergono alcune differenze sia sui parametri vegeto-produttivi sia sul comportamento fisiologico delle piante che meritano di essere interpretate. Analizzando i modelli di crescita degli organi vegetativi è emerso che durante l'anno di carica il germoglio apicale del ramo delle piante irrigate ha fatto registrare un maggiore sviluppo in lunghezza rispetto a quello delle piante in asciutto; mentre le foglie, pur avendo fatto registrare valori simili in termini di numero di foglie/ramo, numero di foglioline/foglia composta e superficie fogliare durante le fasi iniziali e intermedie del ciclo in entrambi i trattamenti irrigui, seguono una evoluzione diversa durante la fase conclusiva del ciclo in cui i processi di rapido accrescimento dell'embrione provocano la precoce senescenza delle foglie soprattutto sulle piante in asciutto. Nel successivo anno di scarica non sono emerse differenze significative né in

termini di allungamento né in termini di peso secco del germoglio apicale tra le due tesi, mentre sono riemerse differenze significative sui parametri misurati sulle foglie, confermando nuovamente una maggiore incidenza dei processi di precoce senescenza delle foglie nelle piante in asciutto. Queste evidenze testimoniano la positiva influenza dell'incrementata disponibilità idrica sia sullo sviluppo del germoglio che sullo sviluppo e sul mantenimento delle foglie soprattutto nelle condizioni di elevato stress metabolico indotto dal carico produttivo. L'assenza di differenze nello sviluppo del germoglio durante l'anno di scarica è certamente frutto della limitata disponibilità di sostanze di riserva all'inizio del ciclo, causata dallo scarso accumulo di riserve alla fine del precedente anno di scarica. Dall'analisi dei parametri di crescita che riguardano i frutti e le infruttescenze sono emerse alcune differenze riconducibili solo in parte all'influenza dell'irrigazione. Il più alto valore di frutti/ramo e di infruttescenze/ramo nelle piante irrigate nell'anno di carica (2009) risente indubbiamente del potenziale produttivo che le piante hanno maturato durante il precedente anno in cui tutte le piante erano assoggettate allo stesso regime idrico, per cui questa superiorità è difficilmente riconducibile all'introduzione dell'irrigazione. D'altra parte però, pur in condizioni di maggiore carico produttivo, il frutto della pianta irrigata raggiunge alla raccolta un peso secco analogo a quello della pianta in asciutto ed inoltre il ramo della pianta irrigata riesce comunque a mantenere più a lungo la funzionalità delle foglie. Seguendo l'evoluzione della cascola delle gemme a fiore, fenomeno alla base del processo di alternanza produttiva tipico della specie, non sono emerse differenze significative tra le due tesi durante l'anno di carica, mentre si è registrata una minore cascola delle gemme sulle piante irrigate alla fine dell'anno di scarica.

Queste evidenze sono un primo segnale dell'incremento delle potenzialità produttive delle piante irrigate connesse al migliorato status nutrizionale della pianta e alle minori conseguenze della competizione tra sink e source soprattutto nelle fasi finali di crescita del frutto

Dall'analisi dei tassi di accumulo della sostanza secca (AGR e RGR) nel germoglio, nella foglia e nel frutto di piante irrigate e non, si evince che durante i primi quaranta giorni dopo la piena fioritura gli organi vegetativi (germoglio e foglia) si accrescono molto più intensamente del frutto. Lo sviluppo del germoglio prosegue secondo tassi di crescita analoghi in entrambe le tesi, mentre la foglia della pianta irrigata fa registrare un tasso di crescita superiore rispetto a quella della pianta in asciutto, durante i primi venti giorni dopo la piena fioritura. Ciò può essere

correlato alla maggiore disponibilità di risorse di riserva accumulate durante la precedente annata irrigua. Nella seconda fase del ciclo (dopo 40 GDPF) il tasso di crescita del frutto supera quello dei due organi vegetativi e rimane su valori costantemente più elevati fino alla fine del ciclo. Anche per il frutto, così come per il germoglio, non sono emerse differenze tra i tassi di crescita nelle due tesi. L'irrigazione pertanto non sembra avere modificato le fasi fenologiche tipiche della specie ed inoltre ha influito positivamente sul tasso di crescita della foglia mentre non ha influito sui tassi di accumulo della sostanza secca del germoglio e del frutto.

Confrontando la produttività delle piante irrigate e non irrigate è emersa una superiorità delle piante irrigate sia in termini di efficienza produttiva che di crop density durante l'anno di carica, mentre non sono emerse differenze nel successivo anno di scarica. I dati hanno inoltre rivelato il persistere del fenomeno di alternanza di produzione. Questi risultati evidenziano l'esistenza di un'influenza dell'irrigazione sulla resa e al tempo stesso suggeriscono la necessità di ulteriori approfondimenti circa gli effetti della pratica irrigua in un arco temporale più lungo rispetto ai soli due anni considerati in questo studio. Analizzando i parametri qualitativi dei frutti è emersa una scarsa influenza dell'irrigazione sulla riduzione del numero di frutti vuoti, per cui entrambe le tesi hanno fatto registrare analoghi valori per questo parametro mentre il numero di frutti vuoti ha subito un incremento durante l'anno di scarica. Ciò fa supporre una influenza del budget di riserve presenti all'inizio dell'accrescimento del frutto, poiché è noto che alla fine dell'anno di carica le riserve accantonate sono molto limitate e pertanto possono influire negativamente sulla fase iniziale di sviluppo dei frutti della successiva annata di scarica. Ulteriori approfondimenti sono necessari circa l'influenza dell'irrigazione sulla deiscenza dei frutti considerato che, dai risultati ottenuti è emersa una correlazione negativa in entrambe le annate tra questo parametro e la maggiore disponibilità idrica. Promettenti risultati sono invece emersi dall'analisi della concentrazione di clorofille nei frutti che hanno fatto registrare valori significativamente maggiori nelle piante irrigate.

Prendendo in considerazione i dati relativi ai parametri eco-fisiologici considerati è emersa una positiva influenza dell'irrigazione sull'assimilazione netta di CO₂ (A max) soprattutto nelle fasi fenologiche caratterizzate dall'accrescimento del frutto. Meno chiara è stata l'influenza dell'irrigazione sulla conduttanza stomatica che ha seguito un andamento simile nelle due tesi durante l'anno di carica, mentre si è attestata a valori significativamente più elevati nelle piante

irrigate durante l'anno di scarica. Entrambe i parametri hanno seguito un andamento decrescente durante il ciclo vegeto produttivo, risentendo negativamente della graduale perdita di funzionalità delle foglie connessa con i processi competitivi già descritti. L'analisi dell'efficienza dell'uso dell'acqua (WUE) ha messo in luce un andamento strettamente connesso con l'arido-resistenza della specie, registrando in diversi momenti del ciclo vegeto produttivo valori significativamente più elevati nelle piante in asciutto rispetto a quelle irrigate. Le strategie di conservazione dell'acqua hanno fatto sì che le piante non irrigate mostrassero una capacità di assimilazione dell'anidride carbonica più alta per ogni mole di acqua traspirata.

L'assenza di una variabilità del potenziale idrico xilematico connessa con il diverso regime idrico, non ha consentito di correlare questo parametro all'assimilazione netta, alla conduttanza stomatica e all'efficienza dell'uso dell'acqua; mentre è stata individuata una più chiara correlazione tra la conduttanza stomatica e l'assimilazione netta, sottolineando come la capacità di assimilare l'anidride carbonica è strettamente connessa con l'apertura stomatica, ma che a valori di conduttanza superiori ai $400 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ non si assiste ad un aumento dell'assimilazione netta, lasciando così ipotizzare la presenza di limitazioni extrastomatiche connesse probabilmente alla saturazione dei processi di organizzazione del carbonio.

I dati raccolti suggeriscono la necessità di ulteriori valutazioni e approfondimenti al fine di valutare, soprattutto nel più lungo periodo, l'influenza di limitati volumi idrici nella coltivazione del pistacchio. Precedenti esperienze di irrigazione sulla specie in esame hanno evidenziato infatti come i primi risultati tangibili sull'incremento delle rese e sul miglioramento generale dello status nutrizionale della pianta, con ricadute positive sulla riduzione dello sfavorevole fenomeno dell'alternanza produttiva, si registrano dopo diversi anni dall'inizio dell'irrigazione (Kanber *et al.*, 1993). Monastra e collaboratori (1998), confrontando il comportamento vegeto-produttivo di piante di pistacchio sottoposte per dieci anni a quattro regimi idrici (0% - 25% - 50% - 75% ETc), hanno evidenziato un graduale aumento delle produzioni, in termini di incremento del numero dei frutti prodotti, e un maggiore sviluppo dell'area della sezione del tronco, sulle piante maggiormente irrigate dopo il settimo anno dall'inizio dell'irrigazione. Da questi risultati emerge chiaramente lo stretto legame esistente tra l'incremento delle capacità di accumulo dei fotosintetati negli organi permanenti della pianta e il miglioramento delle rese produttive (Marra *et al.*, 1998; Spann *et al.*, 2008). A conferma di ciò i dati esposti hanno evidenziato dei segnali di

miglioramento delle condizioni degli organi fotosintetici delle piante irrigate, sia per quanto concerne il mantenimento delle foglie e il ritardo della senescenza, sia per quanto riguarda l'attività fotosintetica che fa registrare dei valori leggermente più elevati nelle tesi irrigue, soprattutto durante le fasi del ciclo fenologico caratterizzate da un grande richiamo di fotosintetati da parte dei sink forti (frutti in rapido accrescimento). Tali evidenze potrebbero suggerire l'uso della tecnica del deficit idrico controllato (Goldhamer *et al.*, 2004; Goldhamer, 2005; Guerrero *et al.*, 2005; Gijon *et al.*, 2009) al fine di concentrare i limitati volumi idrici disponibili negli ambienti tipici di coltura in cui si è operato durante le fasi del ciclo fenologico potenzialmente più suscettibili allo stress idrico, al fine di massimizzare l'efficienza dell'uso dell'acqua e contribuire al miglioramento del bilancio dei fotosintetati nella pianta. I risultati ottenuti suggeriscono l'opportunità di ulteriori valutazioni circa la perdita di efficienza fotosintetica delle foglie in corrispondenza delle fasi precedenti la loro anticipata senescenza (Barone *et al.*, 1994, Marra *et al.*, 1998), al fine di valutare l'effetto dello stress indotto dal carico di frutti e del diverso regime idrico a cui la pianta è assoggettata.

In definitiva si presume che i risultati ottenuti potranno fornire utili indicazioni per la stima dei fabbisogni idrici ottimali per la specie nelle condizioni ambientali dell'interno siciliano, migliorando le rese quanti- qualitative della pistacchicoltura italiana. Nell'insieme questi risultati, soprattutto se confermati da ulteriori approfondimenti, potranno avere importanti ricadute sotto il profilo tecnico-culturale della gestione del sistema pianta e del sistema impianto, anche alla luce delle maggiori conoscenze acquisite sulle relazioni idriche della pianta in condizioni di limitata disponibilità irrigua.

6. APPENDICE

Attività di studio e ricerca all'estero

Da maggio a novembre 2011 ho svolto un periodo di studio e approfondimento presso il Department of Plant Sciences - University of California Davis, sotto la supervisione del Prof. Kenneth Shackel. Di seguito si riportano i risultati del lavoro svolto.

Confronto di diverse metodologie per la misurazione della conduttanza stomatica

Introduzione

La conduttanza stomatica misura il tasso di diffusione del vapore acqueo e dell'anidride carbonica attraverso gli stomi. Numericamente la conduttanza stomatica è il reciproco della resistenza stomatica ed è strettamente connessa allo stato idrico della pianta, per tale ragione è di fondamentale importanza negli studi sulle relazioni idriche.

Da un'analisi sulla strumentazione utilizzata per la misura della conduttanza stomatica negli ultimi dieci anni è emerso che i porometri continuano ad essere i più utilizzati (Licor 1600, Decagon, Delta T). Questi strumenti calcolano la conduttanza stomatica utilizzando i dati di temperatura e umidità ambientali e della foglia. Al tempo stesso negli ultimi anni sta aumentando gradualmente l'utilizzo degli IRGA (Infra Red Gas Analyser) che permettono di ottenere un quadro generale sugli scambi gassosi delle foglie (H_2O e CO_2), calcolando da questi non solo la conduttanza stomatica, ma anche l'assimilazione netta e la traspirazione. Infine diversi sono i modelli matematici che a partire da parametri della pianta e parametri ambientali stimano il valore della conduttanza stomatica (Figura 42).

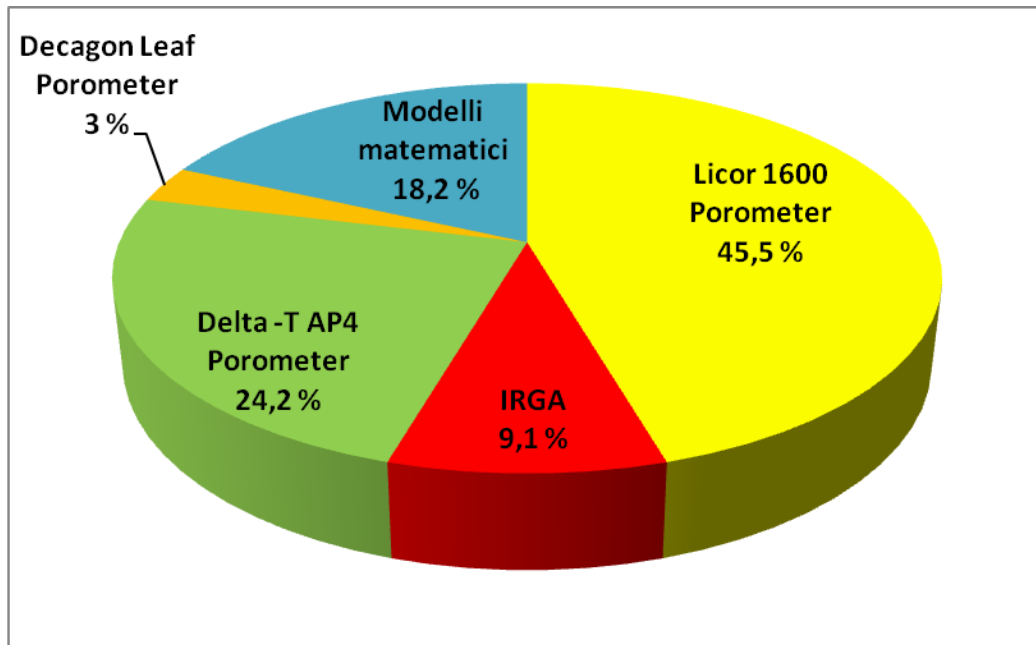


Figura 42. Gli strumenti per la misurazione e il calcolo della conduttanza stomatica negli ultimi dieci anni di ricerca scientifica (dati elaborati dalla banca dati Isi Web of Knowledge - Ott. 2011)

Esperimenti e risultati ottenuti

Nello specifico il lavoro di ricerca è stato incentrato sul confronto del Porometro della Licor (Licor 1600) e quello della Decagon Device in diverse condizioni di campo e su diverse specie, al fine di evidenziare eventuali differenze nella misurazione della conduttanza stomatica. I risultati ottenuti sono stati sottoposti all'analisi della varianza (ANOVA) utilizzando il pacchetto di analisi statistica SAS per Windows.

Il **Licor 1600** calcola il tasso di traspirazione misurando il flusso di aria secca insufflata dentro la cuvette per mantenere costante l'umidità relativa. Questo flusso è strettamente connesso con la traspirazione della foglia posizionata nella cuvette e quindi con la conduttanza degli stomi attraverso cui la foglia traspira (Figura 43).



Figura 43. Licor 1600 e particolare della cuvette.

Il **Porometro** dalla **Decagon Device** (Figura 44) calcola la conduttanza stomatica utilizzando i dati di umidità e temperatura misurati da due sensori siti all'interno della pinza dentro cui viene posizionata la foglia. Misurando la concentrazione di vapore in due diversi punti della cuvette (il primo vicino la foglia, il secondo nella parte più esterna della cuvette misura la concentrazione di vapore dell'aria) e conoscendo la resistenza che intercorre tra questi due punti, è possibile calcolare la conduttanza stomatica della foglia. Lo strumento può operare letture in modalità manuale o in modalità automatica. Nel primo caso lo strumento restituisce il dato di conduttanza della foglia in tempo reale e occorre attendere diversi minuti per poter registrare un valore stabile. Impostando la modalità automatica lo strumento restituisce, dopo 30 secondi dall'inizio della misurazione sulla foglia, un valore di conduttanza stomatica stabile attraverso un algoritmo che ne stima il valore in funzione dell'andamento delle misure operate nei trenta secondi. Il produttore raccomanda l'utilizzo della modalità automatica nella generalità dei casi, mentre consiglia l'uso della modalità manuale soltanto per misurazioni di bassi livelli di conduttanza stomatica ($< 20 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$).



Figura 44. Porometro della Decagon Device

Il primo confronto dei due strumenti ha riguardato la misurazione della temperatura e dell'umidità ambientale in pieno sole e in ombra utilizzando come controllo gli stessi parametri misurati con uno psicrometro.

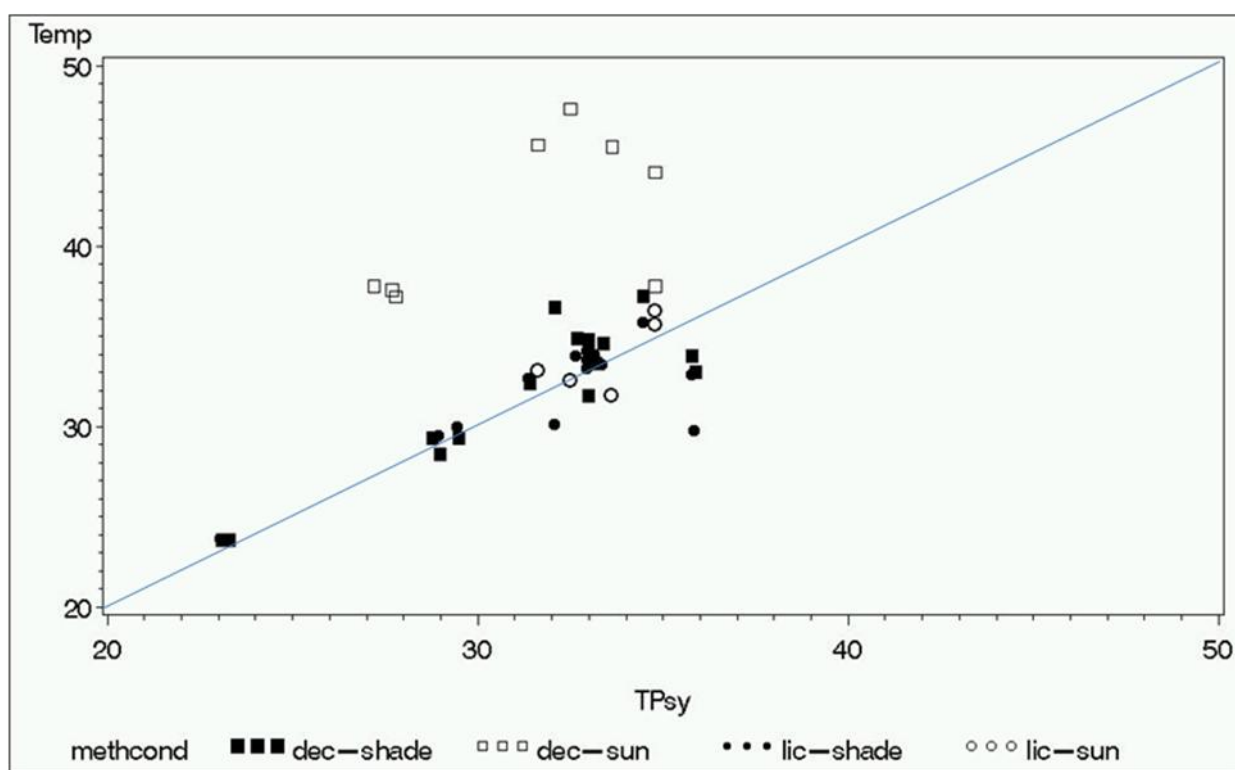


Figura 45. Correlazione tra la temperatura (°C) misurata con Licor (lic) e Decagon (dec) (asse y) e la temperatura misurata con psicrometro (TPsy) (asse x) in condizioni di pieno sole (sun) e di ombra (shade).

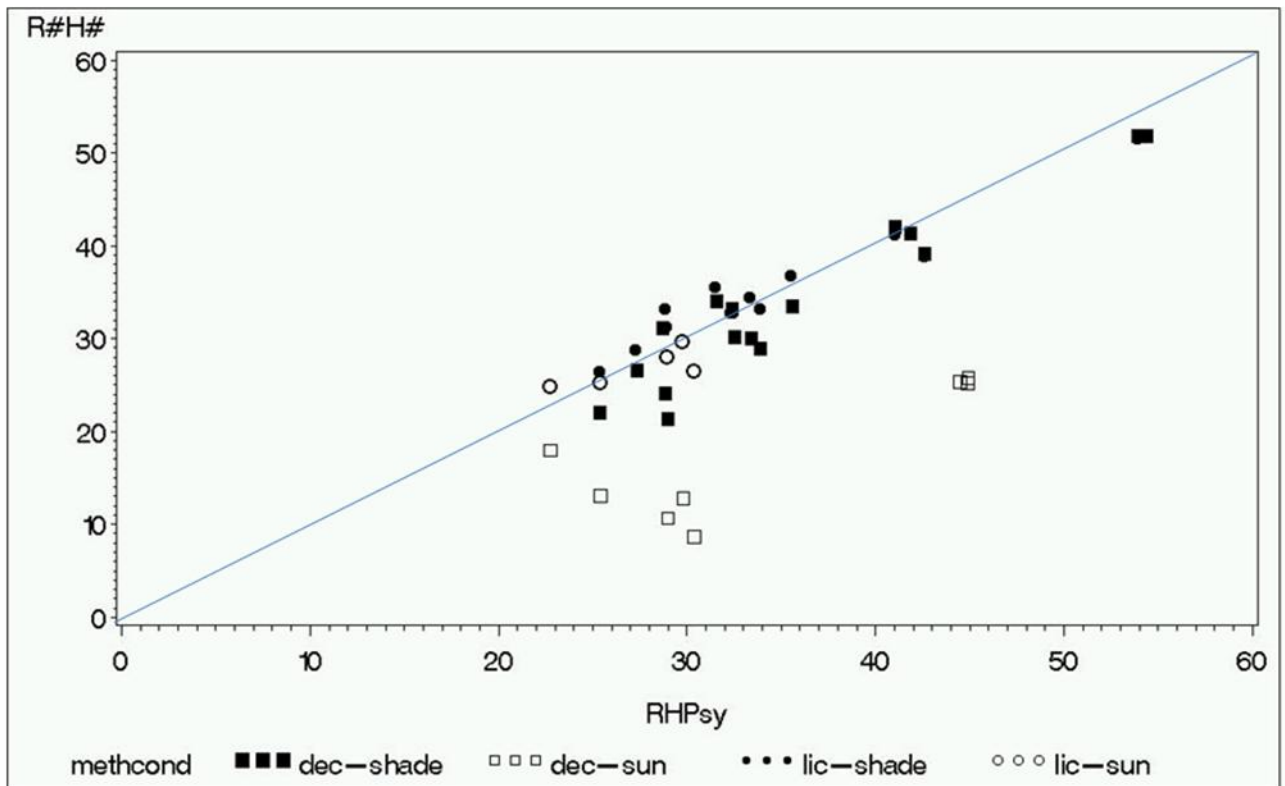


Figura 46. Correlazione tra l'umidità relativa (RH %) rilevata con Licor (lic) e Decagon (dec) (asse y) e l'umidità relativa misurata con psicrometro (RHPsy) (asse x) in condizioni di pieno sole (sun) e di ombra (shade).

Dai grafici emerge chiaramente che il Decagon posto in condizioni di pieno sole fa registrare temperature più alte di quelle misurate con Licor 1600 e valori di umidità relativa più bassi di quelli registrati dal Licor 1600 (Figura 45 e Figura 46).

Per chiarire meglio l'influenza dell'insolazione sul funzionamento dei sensori di umidità e temperatura del Decagon è stata effettuata un'altra prova di lettura dei due parametri. Lo strumento è stato posto inizialmente in ombra e successivamente è stato spostato in pieno sole; sono stati quindi registrati ogni trenta secondi i dati di temperatura e umidità relativa dei due sensori e gli stessi parametri misurati con uno psicrometro. Dal grafico (Figura 47) emerge chiaramente come l'esposizione al sole implichi una notevole variazione dei due parametri misurati dal Decagon, mentre non influisce sullo psicrometro. Quest'ultimo ha, infatti, registrato dei valori abbastanza costanti in ombra e in pieno sole (T 27-29°C; UR 37-38%), mentre il Decagon, pur registrando inizialmente dei valori di temperatura ed umidità assolutamente in linea

con quelli dello psicrometro, spostato in pieno sole ha fatto registrare un incremento della temperatura (da 29°C a 38°C) e una riduzione dell'umidità relativa (da 37% a 25%) con entrambi i sensori (leaf e amb).

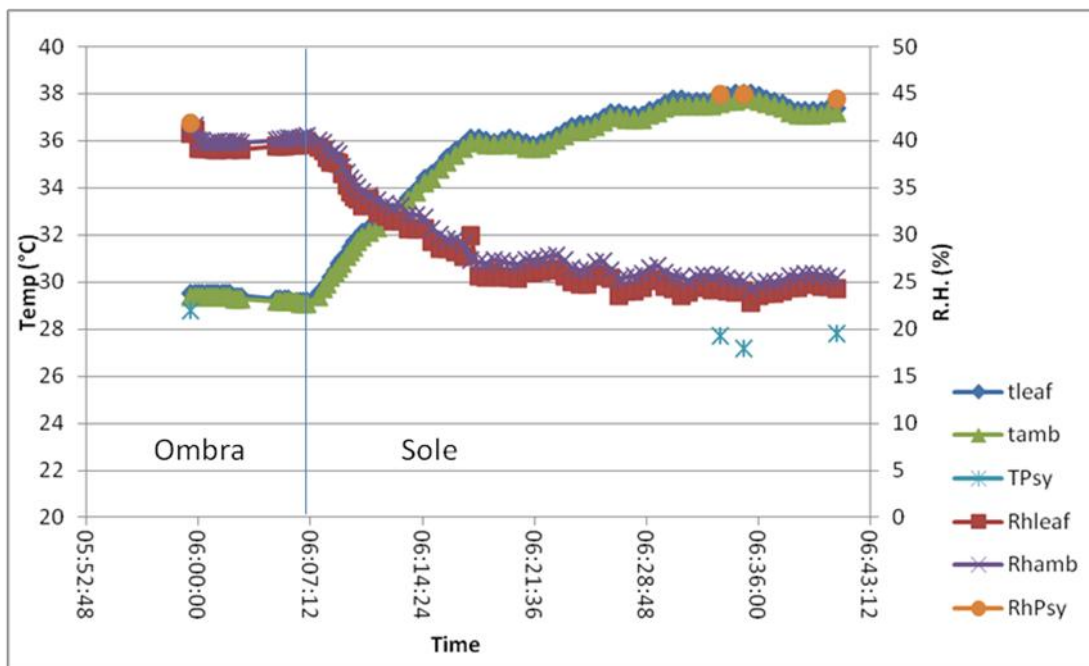


Figura 47. Andamento della temperatura e dell'umidità relativa misurate con uno psicrometro (TPsy e RhPsy) e con i due sensori del Decagon (tleaf – tamb; Rhleaf – Rhamb) in ombra e successivamente in pieno sole.

Avendo osservato una chiara influenza dell'esposizione al sole sulla variabilità dei parametri di temperatura e umidità relativa ambientali misurati dal Decagon, è stata impostata un'altra prova finalizzata ad evidenziare la presenza di una correlazione tra questa variabilità e i valori di conduttanza stomatica rilevati sulla stessa foglia con il Decagon e con il Licor 1600, in normali condizioni di campo e ombreggiando artificialmente la pinza del Decagon. Nel grafico (Figura 48) sono stati correlati i valori di conduttanza rilevati dal Licor 1600 (asse x) con i valori rilevati dal Decagon non ombreggiando la pinza (may be shaded) e ombreggiando la pinza (shaded) (asse y). Nel confronto sono emerse delle differenze nelle letture operate dai due strumenti sulla stessa foglia, ma tale variabilità non è imputabile all'ombreggiamento della pinza del Decagon, poiché non ci sono differenze significative ($P \leq 0,05$) tra i valori rilevati con le due modalità operative.

Tale risultato sembra indicare l'assenza di una influenza diretta della scarsa affidabilità dei sensori del Decagon posti in pieno sole sui valori di conduttanza stomatica misurati.

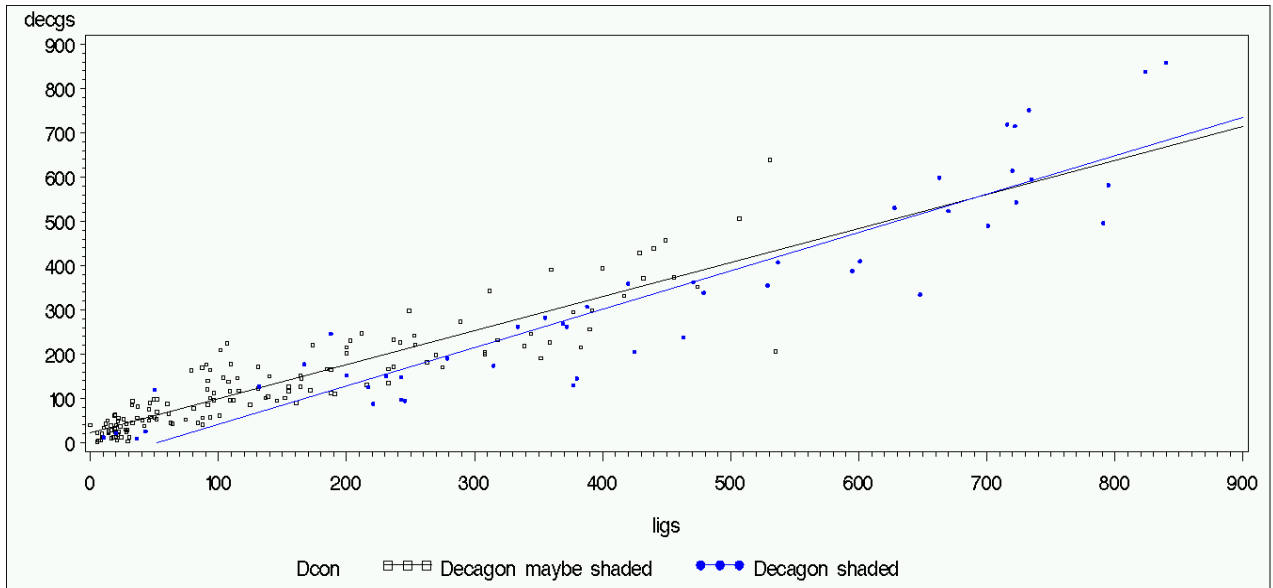


Figura 48. Correlazione dei valori di conduttanza stomatica ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) rilevati sulla stessa foglia con Licor 1600 (ligs) e Decagon (degs) con la pinza ombreggiata (Decagon shaded) e non, ovvero in normali condizioni di campo (Decagon may be shaded).

Procedendo nel confronto dei due porometri è stata effettuata un'altra prova finalizzata all'individuazione dell'eventuale variabilità delle letture operate utilizzando il Decagon nella modalità di lettura automatica e manuale. È stata, quindi, rilevata la conduttanza stomatica sulle due metà della stessa foglia utilizzando il Licor 1600 e il Decagon alternativamente nelle due modalità di funzionamento (automatica e manuale) mantenendo la pinza del Decagon artificialmente ombreggiata (Figura 49).

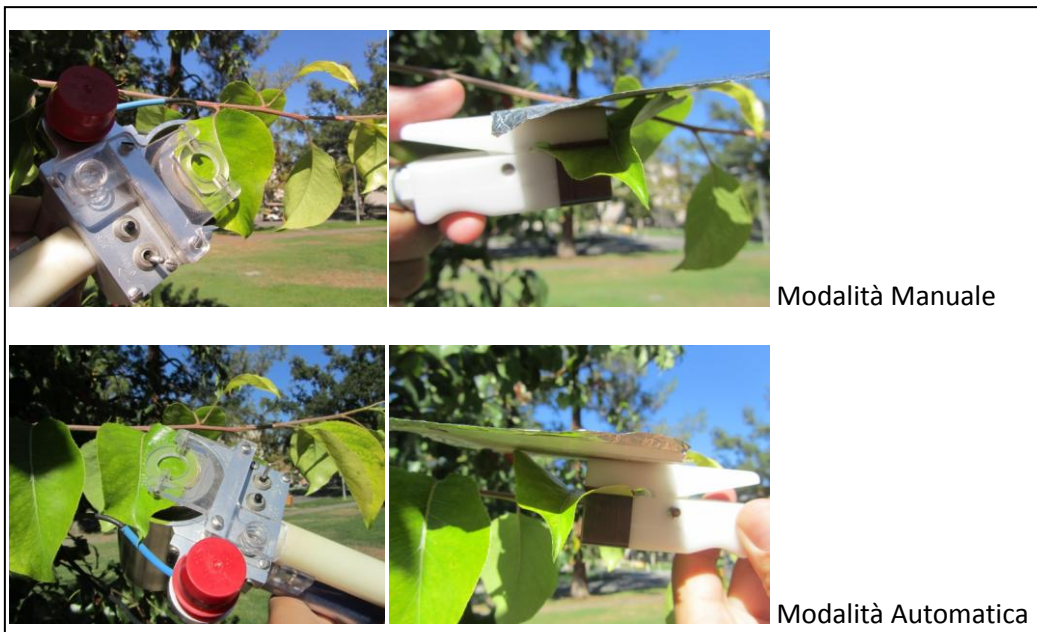


Figura 49. Schematizzazione fotografica dei rilievi effettuati sulle due metà della stessa foglia utilizzando alternativamente le due modalità operative del Decagon a confronto con il Licor 1600.

Dall'analisi dei dati rappresentati nel grafico (Figura 50) emerge che le differenze tra le due modalità di lettura del Decagon, seppur presenti, non sono significative ($P \leq 0,05$). Si nota comunque l'esistenza di una migliore correlazione tra i valori di conduttanza stomatica del Licor 1600 e quelli del Decagon rilevati in modalità manuale.

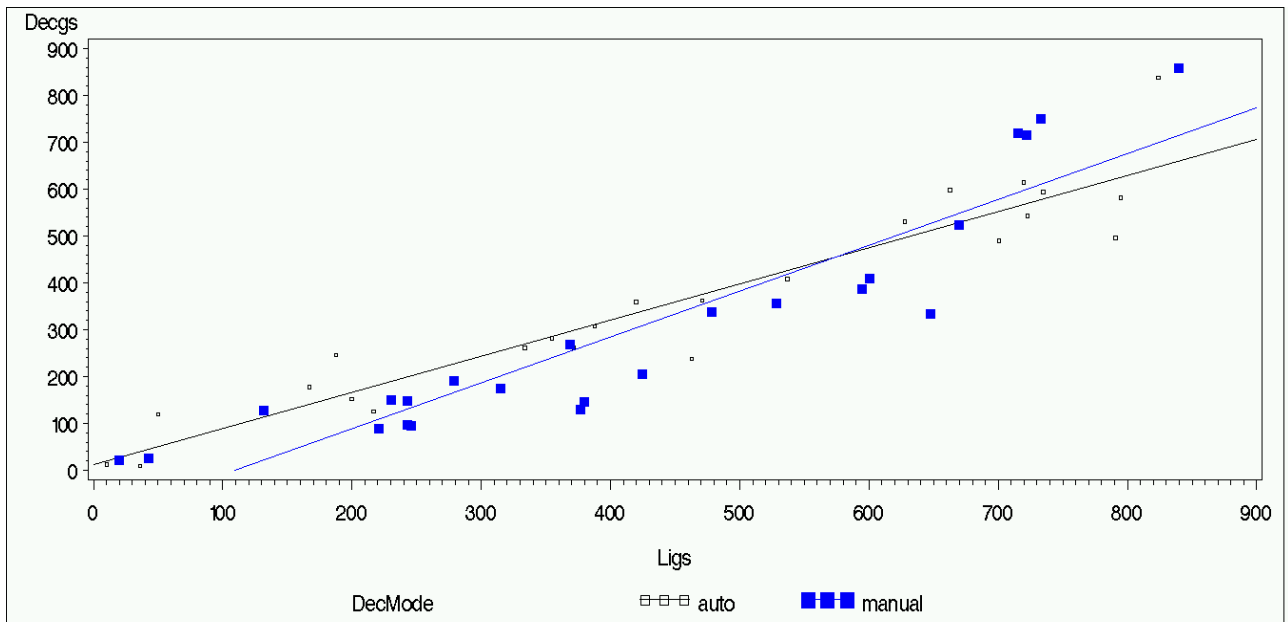


Figura 50. Correlazione dei valori di conduttanza stomatica ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) rilevati sulla stessa foglia con Licor 1600 (Ligs) e Decagon (Decgs) in modalità automatica (auto) e manuale (manual).

Conclusioni

Le prove effettuate hanno fatto emergere chiaramente l'influenza delle condizioni ambientali sull'affidabilità dei sensori di temperatura (T) e umidità relativa (UR) del porometro della Decagon Device; in condizioni di pieno sole la parte della pinza dentro cui sono allocati i sensori si surriscalda, probabilmente a causa del rivestimento in alluminio, e ciò causa delle letture di UR e T errate. Al tempo stesso è stato possibile verificare l'assenza di una influenza diretta tra la scorretta misurazione dei valori di T e UR e i valori di conduttanza stomatica che ne scaturiscono, probabilmente perché la contemporanea variazione dei due parametri non influisce sulle equazioni di calcolo della conduttanza. È comunque importante evidenziare che il produttore raccomanda la ricalibrazione dello strumento ogni giorno prima di iniziare le misurazioni oppure quando le condizioni ambientali in cui si opera fanno registrare una variazione di 15°C nella temperatura o del 20% sull'umidità relativa rispetto a quelle alle quali lo strumento era stato calibrato in precedenza. Dalle prove di confronto tra il Licor 1600 e il Decagon nelle due modalità operative (automatica e manuale) non sono emerse differenze significative anche se il produttore raccomanda l'uso della modalità manuale soltanto per valori di conduttanza stomatica molto bassi ($< 20 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). In definitiva sono state osservate delle differenze nella

misurazione della conduttanza stomatica con i due diversi porometri, ma queste differenze non sono significative. Tale variabilità potrebbe essere dovuta alla diversa dimensione di superficie fogliare utilizzata dai due strumenti (2 cm² nel Licor 1600, quasi puntuale nel Decagon) e di conseguenza alla naturale variabilità dell'apertura stomatica nelle diverse porzioni della medesima foglia. Per tale ragione è allo studio la possibilità di utilizzare una foglia artificiale, a conduttanza nota, per testare i due strumenti azzerando la naturale variabilità di una foglia vera. Resta comunque da approfondire lo studio sull'influenza dell'insolazione sui sensori del Decagon, soprattutto in considerazione del fatto che lo strumento dovrebbe avere la massima affidabilità anche in condizioni di campo molto calde e secche. I dati raccolti e gli ulteriori dati che emergeranno dal prosieguo delle prove saranno quanto prima oggetto di pubblicazione.

7. Ringraziamenti

La mia gratitudine va innanzi tutto al Prof. Ettore Barone, per avermi guidato e sostenuto pazientemente durante tutte le diverse fasi di questo triennio.

Inoltre ringrazio il Prof. Francesco Paolo Marra per i consigli e i suggerimenti che mi ha dato nell'organizzazione dell'attività di ricerca e per la disponibilità che mi ha sempre dimostrato.

Infine voglio ringraziare tutti i compagni di viaggio che in questi tre anni mi hanno arricchito professionalmente e umanamente: i colleghi e il personale tecnico del Dipartimento di Colture Arboree, il Prof Kenneth Shackel e i colleghi del suo gruppo di ricerca del Department of Plant Sciences dell'Università della California di Davis.

8. Bibliografia

- Agar I.T., Kafkas S., Kaska N. (1998). Variation in kernel chlorophyll content of different pistachio varieties grown in six countries. *Acta Hort.* 470: 372-377.
- Ak B.E., Agackesen N. (2006). Some pomological fruit traits and yield of *Pistacia vera* grown under irrigated and unirrigated conditions. *Acta Hort.* 726: 165-168.
- Allen R., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998). Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements – FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome.
- Baninasab B., Rahemi M., Shariatmadari H. (2007). Seasonal changes in mineral content of different organs in the alternate bearing of pistachio trees. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:241-258.
- Barone E., Caruso T., Di Marco L. (1985). Il pistacchio in Sicilia: superfici coltivate e aspetti agronomici. *Informatore agrario.* 40: 35-42.
- Barone E., Caruso T., Marra F.P. e Motisi A. (1994). Vegetative growth and inflorescence bud abscission in bearing and non-bearing pistachio trees. *Acta Hort.* 419: 29-35.
- Barone E., Marra F.P. (2004). The Pistachio Industry in Italy: current situation and prospects. *Nucis*, 12:16-19.
- Behboudian M.H., Walker R.R., Torokfalvy E. (1986). Effects of water stress and salinity on photosynthesis of Pistachio. *Scientia Horticulturae.* 29: 251-261.
- Bellomo M.G., Fallico B. (2007). Anthocyanins, chlorophylls and xanthophylls in pistachio nuts (*Pistacia vera*) of different geographic origin. *Journal of Food Composition and Analysis.* 20: 352-359.
- Campos P.S., Ramalho J.C., Lauriano J.A., Silva M.J., Matos M.C. (1999). Effects of drought on photosynthetic performance and water relations of four *Vigna* genotypes. *Photosynthetica.* 36: 79-87.

- Cartabellotta D., Drago A., Lo Bianco B., Lombardo M. (1998). *Climatologia della Sicilia*. Assessorato Agricoltura e Foreste – Gruppo IV Servizi allo Sviluppo Unità di Agrometeorologia.
- Caruso T., Barone E., Marra F.P. (2008). Il pistacchio in Italia: interventi agronomici e tecnici per il miglioramento della coltura. *Italus Hortus*. 15 (3): 23-31
- Caruso T., Di Marco L., Motisi A., Raimondo A. (1992). Effects of debudding and defruiting on alternate bearing in Pistachio (*Pistacia vera* L.). *Fruit Varieties Journal*. 46: 170-174.
- Caruso T., Fabbri A. e Giovannini D. (1995). Inflorescence Bud Growth, Development and Abscission in Shoots of Bearing and Disbudded Bianca Pistachio Trees. *Journal of Horticultural Science*. 70(6): 857-866.
- Caruso T., Motisi A., Raimondo A. (1987). Osservazioni preliminari sul ciclo biologico annuale del pistacchio. *Rivista di Frutticoltura*. 12: 67-71.
- Crane J.C. (1984). Pistachio production problems. *Fruit Varieties Journal*. 38(3): 74-85.
- Crane J.C., Al-Shalan I.M. e Carlson R.M. (1973). Abscission of pistachio inflorescence buds as affected by leaf area and number of nuts. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98(6): 591-592.
- Crane J.C., Catlin P.B. e Al-Shalan I.M. (1976). Carbohydrate levels in the pistachio as related to alternate bearing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 101(4): 371-374.
- Crane J.C., Iwakiri B.T. (1981). Morphology and reproduction of pistachio cultivars, California. *Hortic. Rev.* 3: 376-393.
- Crane J.C. e Iwakiri B.T. (1987). Reconsideration of the cause of inflorescence bud abscission in Pistachio. *Hortscience*. 25(6): 1315-1316.
- Crane J.C. e Nelson M. M. (1971). The unusual mechanism of alternate bearing in pistachio. *HortScience*. 6(5): 489-490.
- Crane J.C. e Nelson M. M. (1972). Effect of crop load, girdling and auxin application on alternate bearing of the pistachio. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 97(3): 337-339.

Crescimanno F.G., Di Marco L., Caruso T., Bazan E., Palazzolo E. (1987). Ricerche sulla nutrizione minerale del pistacchio: variazione stagionale del contenuto in azoto, fosforo, potassio, calcio, magnesio e sodio in foglie e frutti. *Agricoltura Ricerca*. 80: 73-78.

Dastorani M.T., Heshmati M. e Sadeghzadeh M.A. (2010). Evaluation of the efficiency of surface and subsurface irrigation in dryland environments. *Irrig. and Drain*. 59: 129–137.

David W. (2002). Limitation to photosynthesis in water stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of botany*. 89: 871-885.

De Palma L., Novello V. (1998). Effect of drip irrigation on leaf gas exchanges and stem water potential in pistachio cv. Larnaka. *Acta Hort*. 470: 317-323.

DeJong T.M., Goudrian J. (1989). Modeling peach fruit growth and carbohydrate requirements: reevaluation of the double-sigmoid growth pattern. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*. 114: 800-804.

Dichio B., Nuzzo V., Xiloyannis C. (1999) Osmoregolazione in foglie di olivo sottoposto a carenza idrica. *Atti Convegno Nazionale “L’agrometeorologia per il monitoraggio dei consumi idrici”*. Sassari, 3-4 novembre. 113:122.

FAO (2012). Food and Agriculture Organization - WebPage.

Faust M., (1989). *Physiology of temperate zone fruit trees*. Pubblicato da Wiley (New York).

Fierotti G. (1988). *Carta dei suoli della Sicilia*. Ed. Regione Sicilia – Ass. Agricoltura e Foreste.

Garcia-Luis A., Fornes F., Sanz A., Guardiola J.T. (1988). The regulation of flowering and fruit set in citrus: relationship with carbohydrate levels. *Israel J. Bot*. 37: 329-345.

Gijon M.C., Gimenez C., Perez-Lopez D., Guerrero J., Couceiro J. F. e Moriana A. (2010). Rootstock influences the response of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Kerman) to water stress and rehydration. *Scientia Horticulturae*. 125: 666-671.

Gijon M.C., Gimenez C., Perez-Lopez D., Guerrero J., Couceiro J. F. e Moriana A. (2011). Water relations of pistachio (*Pistacia vera* L.) as affected by phenological stages and water regimes. *Scientia Horticulturae*. 128: 415-422.

- Gijon M. C., Guerrero J., Couceiro J. F. e Moriana A. (2009). Deficit irrigation without reducing yield or nut splitting in pistachio (*Pistacia vera* cv. Kerman on *Pistacia terebinthus* L.). *Agricultural Water Management* 96(1): 12-22.
- Giovannini E., Condorelli G. (1958). Contributo alla conoscenza del metabolismo dei pigmenti cloroplastici e delle loro correlazioni con i tocoferoli. *La Ricerca Scientifica*. 9: 1-10.
- Goldhamer D.A. (1995). Irrigation management. In: Ferguson L. (Ed.), *Pistachio Production*. p.71–81.
- Goldhamer D.A. (2005). Tree water requirements and regulated deficit irrigation. In: Ferguson L. (Ed.), *Pistachio Production Manual*. Fourth Edition. p.103–116.
- Goldhamer D.A., Beede R.H. (2004). Regulated deficit irrigation effects on yield, nut quality and water use efficiency of mature pistachio trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 79: 538-545.
- Grossman Y.L., DeJong T.M. (1994). PEACH: A simulation model of reproductive and vegetative growth in peach trees. *Tree Physiol*. 14: 329-345.
- Guerrero J., Moriana A., Perez-Lopez D., Couceiro J.F., Olmedilla N. e Gijon M.C. (2006). Regulated deficit irrigation and the recovery of water relations in pistachio trees. *Tree Physiology* 26 (1): 87–92.
- Hendricks L., Ferguson L. (1995). The pistachio tree. In: L. Ferguson (ed.). *Pistachio production*.
- Hsiao T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24: 519-570.
- Hsiao T.C., Acevedo E., Fereres E., Henderson D.W. (1976). Stress metabolism: water stress, growth, and osmotic adjustment. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B* 273: 479-500.
- Ho L. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. *Ann. Rev. Plant Mol. Biol.* 39: 355-378.

Ho L., Grange R.I. e Shaw A.F. (1989). Source/sink regulation. *In* Trasport of Photoassimilates. Ed. D.A. Baker e J.A. Milburn. Longman Scientific and Technical, Harlow, Essex, UK. pp: 306-344.

Hormaza J.I., Dollo L., Polito V.S. (1994) Determination of relatedness and geographical movements of *Pistacia vera* (Pistachio, Anacardiaceae) germoplasm by RAPD analysis. *Economic Botany* 48: 349-358.

IPGRI. (1997). Descriptors for Pistachio (*Pistacia vera* L.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.

Johnson R.C., Nguyen H.T., Croy L.I. (1984). Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*. 24: 957-961.

Jones M.M., Turner N.C. (1980). Osmotic adjustment in expanding and fully expanded leaves of sunflower in response to water deficits. *Aust. J. Plant Physiol.* 7: 181-192.

Kanber R., Yazar A., Önder S., Köksal H. (1993). Irrigation response of Pistachio (*Pistacia vera* L.). *Irrigation Science*. 14 (1): 7-14.

Karimi H.R., Ebadi A., Zamani Z., Fatahi R. (2011). Effects of water salinity on growth indices and physiological parameters in some pistachio rootstocks. *Journal of Plant Nutrition*. 34: 935-944.

Khalife T. (1959). Recherches sur la culture du pistachier en Syrie. Institut Agronomique de l'Etat.

Kramer P.J, Boyer J.S. (1995). *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press, Inc., San Diego, California. Cap.8 – Stomata and Gas Exchange.

Larcher W. (1969). The effect of environmental and physiological variables on the carbon dioxide exchange of trees. *Photosynthetica*. 3: 167-198.

La Russa E., Finoli C., Barone E., Caruso T., Marra F.P., Mineo V. (2007). Frutti di pistacchio a confronto in fase di conservazione. *L'Informatore Agrario*. 27: 25-29.

- Lin T.S., Crane J.C. e Ryugo K. (1984a). Effect of gibberellic acid on vegetative and inflorescence buds of pistachio. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 109(1): 39-42.
- Lin T.S., Crane J.C. and Ryugo K., (1984b). Gibberellin-like substances as related to inflorescence bud abscission. *Hortscience*. 19: 267-268.
- Lombard P.B., Callan N.W., Dennis F.G., Looney N.E., Martin G.C., Renquist A.R., Mielke E.A. (1988). Towards a standardized nomenclature, procedures, values, and units in determining fruit and nut tree yield performance. *HortScience* 23 (5): 813-817.
- López R., Aranda I., Gil L. (2009). Osmotic adjustment is a significant mechanism of drought resistance in *Pinus pinaster* and *Pinus canariensis*. *Invest. Agraria: Sist. Recur. For.* 18(2): 159-166.
- Maggs D.H. (1973). *Genetic Resources in Pistachio*. CSIRO Australia.
- Maggs D.H. (1982). *An introduction to pistachio growing in Australia*. CSIRO Australia.
- Marra F.P., Barone E., Caruso T., Motisi A. e Sidari M. (1998). Dry matter accumulation and carbohydrate content within branches of fruiting and deblossomed pistachio (*Pistacia vera* L.) trees. *Acta Hort.* 470: 331-339.
- Marra F.P., Barone E., La Mantia M., Caruso T. (2009). Towards the definition of a carbon budget model: seasonal variation and temperature effect on respiration rate of vegetative and reproductive organs of pistachio trees (*Pistacia vera* L.). *Tree Physiology*. 29 (9): 1095-1103
- Marra F.P., Fabbri A., Li Vigni L., Barone E., Motisi A. (2004). Histological studies on pistachio vegetative organs as related to fructification. XXVIth Int. Hort. Congress, Toronto (Canada) 11-17 agosto 2002. *Acta Hort.* 636: 381-386.
- Marra F.P., Motisi A. (1996). Recenti acquisizioni sull'alternanza di produzione del pistacchio. *Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura*.12: 53-55.
- Mehdi H., Chelli Chaabouni A., Boujnah D., Boukhris M. (2011). Effect of salinity on physiological and growth parameters of Pistachio (*Pistacia vera*). *Acta Hort.* (ISHS) 912:155-161

- Minà Palumbo F. (1882). Monografia sulla coltivazione dei pistacchi in Sicilia. Lorusnaider Giovanni Tipografo, Palermo.
- Monastra F., Avanzato D., Martelli S., Dascanio R. (1995). Pistachio trial under different volumes of irrigation in Italy. *Acta Hort.* 419: 249-252.
- Monastra F., Avanzato D., Martelli S., Dascanio R. (1998). Irrigation of Pistachio in Italy: ten years of observation. *Acta Hort.* 470: 516-522.
- Monselise S.P., Goldschmidt E.E. (1982). Alternate bearing in fruit trees. *Hortic. Rev.* 4: 128-173.
- Moran R. (1982). Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-Dimethylformamide. *Plant Physiology.* 69: 1376-1381.
- Moriana A., Villalobos F.J., Fereres E. (2002). Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant Cell Environ.* 25: 395-405.
- Moustafa M.A., Boersma L., Kronstad W.E. (1996). Response of four spring wheat cultivars to drought stress. *Crop Science.* 36: 982-986.
- Munns R. (1988). Why measure osmotic adjustment? *Aust. J. Plant Physiol.* 15: 717-726.
- Nevo A., Werker E. e Ben-Sasson R. (1974). The problem of indehiscence of pistachio (*Pistacia vera* L.) fruit. *Israel Journal of Botany.* 23: 1-13.
- Nzima M.D.S., Martin G.C., Nishijima C. (1997). Leaf development, dry matter accumulation, and distribution within branches of alternate bearing Kerman pistachio trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(1): 31-37.
- Pearcy R.W., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Rundel P.W. (1994). *Plant Physiological Ecology – Field methods and instrumentation.* Chapman & Hall.
- Picchioni G.A., Brown P.H., Weinbaum S.A. e Muraoka T.T. (1997). Macronutrient allocation to leaves and fruit of mature, alternate bearing Pistachio trees: magnitude and seasonal patterns at the whole canopy level. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(2): 267-274.

- Polito V.S., Pinney K. (1999). Endocarp Dehiscence in Pistachio (*Pistacia vera* L.) International Journal of Plant Sciences. 160 (5): 827–835.
- Porlingis I.C. (1974). Flower bud abscission in Pistachio (*Pistacia vera* L.) as related to fruit development and other factors. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99: 121-125.
- Porra R.J. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. Photosynthesis Research. 73: 149-156.
- Porra R.J., Thompson W.A., Kriedemann P.E. (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of concentration of chlorophyll standards by atomic adsorption spectroscopy. Biochimica et Biophysica Acta, 975: 384-394.
- Pour A.T., Sepaskhah A.R., Maftoun M. (2005). Plant water relations and seedling growth of three pistachio cultivars as influenced by irrigation frequency and applied potassium. Journal of Plant Nutrition, 28: 1413-1425.
- Proietti P. (2000). Effect of fruiting on leaf gas exchange in olive (*Olea europaea* L.). Photosynthetica. 38: 396-402.
- Ritchie G. A. and Hinckley T.M. (1975). The pressure chamber as an instrument for ecological research. Adv. Ecol. Res., 9, 165-254.
- Roussos P.A., Pontikis C.A., Zoti M.A. (2004). The role of free polyamines in the alternate-bearing of pistachio (*Pistacia vera* cv. Pontikis). Trees-Structure and Function. 18: 61-69.
- Saadatmand A.R., Banihashemi Z., Sepaskhah A.R., Maftoun M. (2008). Soil salinity and water stress and their effect on susceptibility to Verticillium wilt disease, ion composition and growth of pistachio. Journal of Phytopathology. 156: 287-292.
- Sajjadinia A., Ershadi A., Hokmabadi H., Khayyat M., Gholami M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. Austr. J. Agric. Eng. 1(1): 1–6.

- Sepaskhah A.R., Karimi-Goghari S. (2005). Shallow groundwater contribution to pistachio water use. *Agricultural Water Management*. 72: 69-80.
- Schroeder J.I., Allen G.J., Hugouvieux V., Kwak J.M., Waner D. (2001). Guard cell signal transduction. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52: 627–58.
- Shackel K., Stevenson M., Teranishi R., Goldhamer D.A., Ferguson L. (1994). Stress strategy on deep vs. shallow soils: second year report. *California Pistachio Industry Annual Report, Crop Year 1993-1994*:114-117.
- Spann, T.M., Beede, R.H. and DeJong, T.M. (2008). Seasonal carbohydrate storage and mobilization in bearing and not-bearing pistachio (*Pistacia vera*) trees. *Tree Physiology*. 28:207-213.
- Sparks D., Davis J.T. (1974). Alternate bearing relates to carbohydrates. *Pecan Quarterly*. 8(4): 20-22, 24-28.
- Spiegelroy P., Mazigh D., Evenari M. (1977). Response of Pistachio to low soil-moisture conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 102: 470-473.
- Takeda F., Ryugo K. e Crane J.C. (1980). Translocation and Distribution of Photosynthates-C-14 in Bearing and Non-Bearing Pistachio Branches. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 105(5): 642-644.
- Tavallali V., Rahemi M., Maftoun M., Panahi B., Karimi S., Ramezani A., Vaezpour M. (2009). Zinc influence and salt stress on photosynthesis, water relations, and carbonic anhydrase activity in pistachio. *Scientia Horticulturae*. 123: 272-279.
- Testi L., Goldhamer D. A., Iniesta F., Salinas M. (2008). Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*. 26: 395-405.
- Turner N.C., Stern R.W., Evans P. (1987). Water relations and osmotic adjustment of leaves and roots of lupins in response to water deficit. *Crop Science*. 27: 977-983.

Vemmos S.N. (2005). Effects of shoot girdling on bud abscission, carbohydrate and nutrient concentrations in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80: 529-536.

Vemmos S.N. (2010). Alternate bearing and the possible role of carbohydrates in bud abscission of pistachio (*Pistacia vera* L.). XIV GREMPA Meeting on Pistachios and Almonds - Options Méditerranéennes, A no. 94: 9-18.

Vemmos S.N., Pontikis C.A., Tolzamarioli A.P. (1994). Respiration rate and ethylene production in inflorescence buds of Pistachio in relation to alternate bearing. *Scientia Horticulturae*. 57: 165-172.

Wang F.L., Wang H., Wang G. (2007). Photosynthetic responses of apricot (*Prunus armeniaca* L.) to photosynthetic photon flux density, leaf temperature, and CO₂ concentration. *Photosynthetica*. 45(1): 59-64.

Whitehouse W.E. (1957). The pistachio nut - a new crop for Western United States. *Economic Botany*. 11: 281-321.

Wolpert J.A., Ferguson L. (1990). Inflorescence bud retention in Kerman Pistachio – Effects of defruiting date and branch size. *Hortscience*. 25: 919-921.

Zohary M. (1952). A monographical study of the genus *Pistacia*. *Palestine Journal of Botany (Jerusalem Series)*. 5(3):187-228.

Zohary M. (1973). *Geobotanical foundations of Middle East*. Fischer Verlag. Stuttgart.